



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ENLACES INALÁMBRICOS
PARA ANALIZAR LOS PARÁMETROS TÉCNICOS QUE
GARANTICEN LA TRANSMISIÓN DE VIDEO, MEDIANTE
ENLACES PUNTO A PUNTO Y PUNTO MULTIPUNTO”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTORES:

SHIRLEY VIVIANA CHÁVEZ AMAGUAYA

DARWIN EDGAR VARGAS AMAGUAYA

Riobamba - Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ENLACES INALÁMBRICOS
PARA ANALIZAR LOS PARÁMETROS TÉCNICOS QUE
GARANTICEN LA TRANSMISIÓN DE VIDEO, MEDIANTE
ENLACES PUNTO A PUNTO Y PUNTO MULTIPUNTO”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTORES: SHIRLEY VIVIANA CHÁVEZ AMAGUAYA

DARWIN EDGAR VARGAS AMAGUAYA

DIRECTOR: Ing. PAÚL DAVID MORENO AVILÉS PhD.

Riobamba - Ecuador

2021

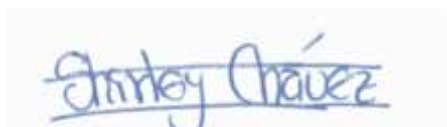
©2021, Shirley Viviana Chávez Amaguaya & Darwin Edgar Vargas Amaguaya.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, SHIRLEY VIVIANA CHÁVEZ AMAGUAYA y DARWIN EDGAR VARGAS AMAGUAYA, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 07 de diciembre de 2021.




Shirley Viviana Chávez Amaguaya
060395278-9



Darwin Edgar Vargas Amaguaya
060421569-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación; Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ENLACES INALÁMBRICOS PARA ANALIZAR LOS PARÁMETROS TÉCNICOS QUE GARANTICEN LA TRANSMISIÓN DE VIDEO, MEDIANTE ENLACES PUNTO A PUNTO Y PUNTO MULTIPUNTO**”, realizado por la señorita **SHIRLEY VIVIANA CHÁVEZ AMAGUAYA** y el señor **DARWIN EDGAR VARGAS AMAGUAYA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación quedando autorizado su presentación.

	FIRMA	FECHA
<p>Ing. Pedro Severo Infante Moreira Dr. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</p>	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA	2021-12-07
<p>Ing. Paúl David Moreno Avilés PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</p>	 PAUL DAVID MORENO AVILES	2021-12-07
<p>Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira Ramírez PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL</p>	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMIREZ	2021-12-07

DEDICATORIA

Mi tesis se la dedico con todo mi corazón a mis padres Ligia y Elías, porque con su apoyo, paciencia, motivación, esfuerzo y sobre todo por el amor que me brindan a diario permitieron que cumpla una meta más en mi vida. De manera especial a mis hermanos Alexander y Josué por estar siempre a mi lado en este proceso importante. Los amo.

Shirley Chávez

Lleno de regocijo, amor y esperanza, dedico este trabajo de titulación a cada uno de seres queridos quienes han sido mis pilares fundamentales para alcanzar una meta más en mi vida. A Dios por darme vida y salud lo largo de esta carrera profesional, a mis padres Edgar Vargas y Martha Amaguaya por ser la motivación, ejemplo de vida y orgullo de ser lo que soy y lo que seré, a mis hermanos, hermano político y sobrinos, por su cariño y apoyo en momentos difíciles, finalmente a mis amigos por su compañía en todos los años que hemos compartido para llegar a este momento. Gracias por siempre confiar en mí.

Darwin Vargas

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial a mis padres por su esfuerzo y dedicación, por siempre motivarme y estar presentes en cada etapa de mi vida, a mis hermanos por siempre apoyarme para que siga adelante, a mi familia por sus buenos deseos y consejos, y a mis amigos porque han estado junto a mí en este proceso, por siempre hablar de nuestros sueños y apoyarnos para seguir cumpliéndolos.

Shirley Chávez

Agradezco especialmente a mis padres, por su esfuerzo y sacrificio realizado día a día por sacar adelante a su familia, a mis hermanos por su ayuda en todo este camino, a mis amigos por sus consejos y apoyo en todo este proceso.

Darwin Vargas

De manera especial queremos agradecer a nuestro tutor de tesis el Ing. David Moreno por su guía para desarrollar el trabajo de titulación, al Ing. William Calvopiña y a la empresa SITCOM por brindarnos todo el apoyo necesario para poder culminar esta etapa con éxito.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xxi
INDICE DE GRÁFICOS.....	xxiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xxv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xxvi
RESUMEN	xxviii
SUMMARY	xxix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Formulación del problema.....	3
1.3.	Sistematización del problema	3
1.4.	Justificación del trabajo de Titulación	4
1.5.	Objetivos.....	8

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1.	Fundamentos de los Radioenlaces.....	9
2.1.1.	<i>Radiocomunicación</i>	<i>9</i>
2.1.2.	<i>Formas de onda de radio</i>	<i>10</i>
2.1.2.1.	<i>Onda superficie</i>	<i>10</i>
2.1.2.2.	<i>Onda ionosférica</i>	<i>10</i>
2.1.2.3.	<i>Onda espacial.....</i>	<i>11</i>
2.1.2.4.	<i>Onda de dispersión troposférica</i>	<i>11</i>
2.1.3.	<i>Bandas de frecuencias.....</i>	<i>11</i>
2.1.4.	<i>Ancho de banda</i>	<i>11</i>
2.1.5.	<i>Fenómenos relacionados a la propagación</i>	<i>13</i>
2.1.5.1.	<i>Interferencia</i>	<i>13</i>
2.1.5.2.	<i>Desvanecimiento.....</i>	<i>13</i>
2.1.5.3.	<i>Absorción.....</i>	<i>15</i>

2.1.5.4.	<i>Refracción</i>	15
2.1.5.5.	<i>Atenuación</i>	15
2.1.5.6.	<i>Reflexión</i>	16
2.1.5.7.	<i>Difracción</i>	16
2.1.6.	<i>Zona de Fresnel</i>	16
2.1.7.	<i>Línea de vista</i>	17
2.1.8.	<i>Antenas</i>	17
2.1.8.1.	<i>Parámetros de las antenas</i>	18
2.1.8.2.	<i>Tipos de antenas</i>	20
2.1.9.	<i>Potencia</i>	21
2.1.9.1.	<i>Potencia isotrópica efectiva irradiada</i>	21
2.1.9.2.	<i>Potencia de recepción</i>	21
2.1.10.	<i>Pérdidas</i>	22
2.1.10.1.	<i>Perdidas básicas</i>	22
2.1.10.1.	<i>Perdidas de transmisión</i>	22
2.1.11.	<i>Topologías</i>	23
2.1.11.1.	<i>Punto a punto</i>	23
2.1.11.2.	<i>Punto multipunto</i>	23
2.1.12.	<i>Margen de desvanecimiento</i>	24
2.1.13.	<i>Umbral de recepción</i>	24
2.2.	<i>Tratamiento de la información</i>	24
2.2.1.	<i>Modulación</i>	24
2.2.1.1.	<i>Modulación analógica</i>	25
2.2.1.2.	<i>Modulación digital</i>	27
2.2.2.	<i>Compresión de video</i>	30
2.2.2.1.	<i>H.264</i>	32
2.2.2.2.	<i>H.265</i>	34
2.2.3.	<i>Codificación de canal</i>	35
2.2.3.1.	<i>Forward Error Correction (FEC)</i>	35
2.2.3.2.	<i>Automatic Repeat Request (ARQ)</i>	36
2.2.3.3.	<i>Código Convolutacional</i>	37
2.2.4.	<i>Resolución de pantalla</i>	37
2.2.4.1.	<i>SD</i>	38
2.2.4.2.	<i>HD</i>	38
2.3.	<i>Parámetros de medición</i>	38
2.3.1.	<i>Indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI)</i>	38
2.3.2.	<i>Piso de ruido (Noise floor)</i>	38

2.3.3.	<i>Relación señal a ruido</i>	39
2.3.4.	<i>Retardo (Delay)</i>	39
2.3.5.	<i>Variación del retardo (jitter)</i>	39
2.3.6.	<i>Throughput</i>	39
2.3.7.	<i>Tasa de error de bits (BER)</i>	39
2.3.8.	<i>Pérdidas de paquetes</i>	40
2.3.9.	<i>Calidad de conexión del cliente (CCQ)</i>	40
2.4.	Servicios de video	40
2.4.1.	<i>IPTV</i>	40
2.4.1.1.	<i>Funcionamiento y arquitectura</i>	41
2.4.2.	<i>Video on Demand (VoD)</i>	42
2.4.2.1.	<i>Funcionamiento y arquitectura</i>	43
2.4.3.	<i>Video vigilancia</i>	45
2.4.3.1.	<i>Funcionamiento y arquitectura</i>	46
2.5.	Infraestructura tecnológica	48
2.5.1.	<i>Transmisor</i>	48
2.5.1.1.	<i>Router CR1036-12G-4S</i>	48
2.5.1.2.	<i>DVR (Digital video recorder)</i>	49
2.5.2.	<i>Antenas transmisoras y receptoras</i>	50
2.5.2.	<i>POE</i>	54
2.5.3.	<i>Torres</i>	55
2.5.4.	<i>Cables y conectores</i>	55
2.5.3.1.	<i>Conector RJ45</i>	55
2.5.3.2.	<i>Cable UTP categoría 6</i>	56
2.6.	Simuladores	57
2.6.1.	<i>Google Earth</i>	57
2.6.2.	<i>WinBox</i>	58
2.6.3.	<i>Radio Mobile</i>	58

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	60
3.1.	Análisis de las encuestas aplicadas en el sector rural	60
3.1.1.	<i>Encuesta a las personas de la parroquia de Nabuzo</i>	60
3.1.2.	<i>Encuesta a las personas de la parroquia de Quimiag</i>	65
3.2.	Diseño de enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto en la zona urbana	71

3.2.1.	<i>Enlace punto a punto</i>	71
3.2.1.1.	<i>Enlace SITCOM – Cerro San Francisco</i>	72
3.2.1.2.	<i>Enlace Cerro San Francisco – CPE</i>	73
3.2.2.	<i>Enlace punto multipunto</i>	75
3.3.	Diseño de los enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto en la zona rural	78
3.3.1.	<i>Enlace punto a punto</i>	78
3.3.1.1.	<i>Enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag</i>	80
3.3.1.2.	<i>Enlace Nodo Quimiag – CPE</i>	81
3.3.2.	<i>Enlace punto multipunto</i>	83
3.4.	Implementación de los enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto en la zona urbana	86
3.4.1.	<i>Enlace punto a punto</i>	86
3.4.1.1.	<i>Enlace SITCOM – Cerro San Francisco</i>	86
3.4.1.2.	<i>Cerro San Francisco – CPE</i>	89
3.4.2.	<i>Enlace punto multipunto</i>	92
3.5.	Implementación de los enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto en la zona rural	95
3.5.1.	<i>Enlace punto a punto</i>	95
3.5.1.1.	<i>Enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag</i>	95
3.5.1.2.	<i>Enlace Nodo Quimiag – CPE</i>	97
3.5.2.	<i>Enlace punto multipunto</i>	99
3.6.	Metodología de medición	101
3.6.1.	<i>Variación de parámetros para video bajo demanda e IPTV</i>	101
3.6.2.	<i>Variación de parámetros para video vigilancia</i>	103
3.6.3.	<i>Método de obtención de los parámetros técnicos</i>	104

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	108
4.1.	Parámetros técnicos obtenidos en enlaces punto a punto urbano	108
4.1.1.	<i>Enlace SITCOM – Cerro San Francisco</i>	108
4.1.1.1.	<i>Calidad del enlace con un ancho de banda de 10MHz</i>	108
4.1.1.2.	<i>Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz</i>	109
4.1.1.3.	<i>Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz</i>	109
4.1.1.4.	<i>IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz</i>	112
4.1.1.5.	<i>IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz</i>	112

4.1.1.6.	<i>VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	113
4.1.1.7.	<i>VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	113
4.1.1.8.	<i>Calidad del enlace con un ancho de banda de 20MHz.....</i>	114
4.1.1.9.	<i>Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	114
4.1.1.10.	<i>Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	114
4.1.1.11.	<i>IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	117
4.1.1.12.	<i>IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	117
4.1.1.13.	<i>VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	118
4.1.1.14.	<i>VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	118
4.1.2.	<i>Enlace Cerro San Francisco – CPE</i>	119
4.1.2.1.	<i>Calidad del enlace en 10MHz</i>	119
4.1.2.2.	<i>Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	119
4.1.2.3.	<i>Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	119
4.1.2.4.	<i>IPTV-Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	122
4.1.2.5.	<i>IPTV – Calidad HD-Ancho de banda de 10MHz.....</i>	122
4.1.2.6.	<i>VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	123
4.1.2.7.	<i>VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	123
4.1.2.8.	<i>Calidad del enlace en 20MHz</i>	124
4.1.2.9.	<i>Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	124
4.1.2.10.	<i>Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	124
4.1.2.11.	<i>IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	127
4.1.2.12.	<i>IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	127
4.1.2.13.	<i>VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	128
4.1.2.14.	<i>VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	128
4.2.	<i>Parámetros técnicos obtenidos en enlaces punto multipunto urbano.....</i>	129
4.2.1.	<i>Enlace cerro San Francisco – CPEI</i>	129
4.2.1.1.	<i>Calidad del enlace en 10MHz</i>	129
4.2.1.2.	<i>Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	129
4.2.1.3.	<i>Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	129
4.2.1.4.	<i>IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	132
4.2.1.5.	<i>IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	132
4.2.1.6.	<i>VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	133
4.2.1.7.	<i>VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	133
4.2.1.8.	<i>Calidad del enlace en 20MHz</i>	134
4.2.1.9.	<i>Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	134
4.2.1.10.	<i>Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	134
4.2.1.11.	<i>IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	137

4.2.1.12.	<i>IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	137
4.2.1.13.	<i>VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	138
4.2.1.14.	<i>VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	138
4.2.2.	<i>Enlace Cerro San Francisco – CPE2</i>	139
4.2.2.1.	<i>Calidad del enlace en 10MHz</i>	139
4.2.2.2.	<i>Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	139
4.2.2.3.	<i>Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	139
4.2.2.4.	<i>IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	142
4.2.2.5.	<i>IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	142
4.2.2.6.	<i>VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	143
4.2.2.7.	<i>VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	143
4.2.2.8.	<i>Calidad del enlace en 20MHz</i>	144
4.2.2.9.	<i>Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	144
4.2.2.10.	<i>Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	144
4.2.2.11.	<i>IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	147
4.2.2.12.	<i>IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	147
4.2.2.13.	<i>VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	148
4.2.2.14.	<i>VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	148
4.2.3.	<i>Enlace Cerro San Francisco – CPE3</i>	149
4.2.3.1.	<i>Calidad del enlace en 10MHz</i>	149
4.2.3.2.	<i>Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	149
4.2.3.3.	<i>Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	149
4.2.3.4.	<i>IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	152
4.2.3.5.	<i>IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	152
4.2.3.6.	<i>VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	153
4.2.3.7.	<i>VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	153
4.2.3.8.	<i>Calidad del enlace en 20MHz</i>	154
4.2.3.9.	<i>Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	154
4.2.3.10.	<i>Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	154
4.2.3.11.	<i>IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	157
4.2.3.12.	<i>IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	157
4.2.3.13.	<i>VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	158
4.2.3.14.	<i>VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....</i>	158
4.3.	<i>Parámetros técnicos obtenidos en enlaces punto a punto rural</i>	159
4.3.1.	<i>Enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag.....</i>	159
4.3.1.1.	<i>Calidad del enlace en 10MHz</i>	159
4.3.1.2.	<i>Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....</i>	159

4.3.1.3.	Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	159
4.3.1.4.	IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	162
4.3.1.5.	IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	162
4.3.1.6.	VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	163
4.3.1.7.	VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	163
4.3.1.8.	Calidad del enlace en 20MHz	164
4.3.1.9.	Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	164
4.3.1.10.	Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	164
4.3.1.11.	IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	167
4.3.1.12.	IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	167
4.3.1.13.	VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	168
4.3.1.14.	VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	168
4.3.2.	Enlace Nodo Quimiag – CPE.....	169
4.3.2.1.	Calidad del enlace en 10MHz	169
4.3.2.2.	Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	169
4.3.2.3.	Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	169
4.3.2.4.	IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	169
4.3.2.5.	IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	170
4.3.2.6.	VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	170
4.3.2.7.	VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	170
4.3.2.8.	Calidad del enlace en 20MHz	174
4.3.2.9.	Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	174
4.3.2.10.	Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	174
4.3.2.11.	IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	175
4.3.2.12.	IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	175
4.3.2.13.	VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	175
4.3.2.14.	VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	175
4.4.	Parámetros técnicos obtenidos en enlaces punto multipunto rural	179
4.4.1.	Enlace Nodo Quimiag – CPEI.....	179
4.4.1.1.	Calidad del enlace en 10MHz	179
4.4.1.2.	Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	179
4.4.1.3.	Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	180
4.4.1.4.	IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	180
4.4.1.5.	IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	180
4.4.1.6.	VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	180
4.4.1.7.	VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	183
4.4.1.8.	Calidad del enlace en 20MHz	184

4.4.1.9.	Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	184
4.4.1.10.	Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	185
4.4.1.11.	IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	185
4.4.1.12.	IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	185
4.4.1.13.	VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	188
4.4.1.14.	VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	188
4.4.2.	Enlace Nodo Quimiag – CPE2.....	189
4.4.2.1.	Calidad del enlace en 10MHz	189
4.4.2.2.	Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	190
4.4.2.3.	Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	190
4.4.2.4.	IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	190
4.4.2.5.	IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	190
4.4.2.6.	VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	193
4.4.2.7.	VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	193
4.4.2.8.	Calidad del enlace en 20MHz	194
4.4.2.9.	Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	194
4.4.2.10.	Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	195
4.4.2.11.	IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	195
4.4.2.12.	IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	195
4.4.2.13.	VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	198
4.4.2.14.	VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	198
4.4.3.	Enlace Nodo Quimiag – CPE3.....	199
4.4.3.1.	Calidad del enlace en 10MHz	199
4.4.3.2.	Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	200
4.4.3.3.	Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	200
4.4.3.4.	IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	200
4.4.3.5.	IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	200
4.4.3.6.	VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz.....	203
4.4.3.7.	VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz.....	203
4.4.3.8.	Calidad del enlace en 20MHz	204
4.4.3.9.	Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	205
4.4.3.10.	Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	205
4.4.3.11.	IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	205
4.4.3.12.	IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	205
4.4.3.13.	VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.....	208
4.4.3.14.	VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz.....	208
4.5.	Análisis de resultados obtenidos.....	209

4.5.1.	<i>Análisis de resultados de los enlaces punto a punto urbano.....</i>	210
4.5.1.1.	<i>Enlace SITCOM – Cerro San Francisco.....</i>	210
4.5.1.2.	<i>Enlace Cerro San Francisco – CPE.....</i>	212
4.5.2.	<i>Análisis de resultados de los enlaces punto multipunto urbano.....</i>	213
4.5.2.1.	<i>Enlace Cerro San Francisco – CPE1.....</i>	213
4.5.2.2.	<i>Enlace Cerro San Francisco – CPE2.....</i>	215
4.5.2.3.	<i>Enlace Cerro San Francisco – CPE3.....</i>	217
4.5.3.	<i>Análisis de resultados de los enlaces punto a punto rural.....</i>	219
4.5.3.1.	<i>Enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag.....</i>	219
4.5.3.2.	<i>Enlace Nodo Quimiag – CPE.....</i>	220
4.5.4.	<i>Análisis de resultados de los enlaces punto multipunto rural.....</i>	222
4.5.4.1.	<i>Enlace Nodo Quimiag – CPE1.....</i>	222
4.5.4.2.	<i>Enlace Nodo Quimiag – CPE2.....</i>	224
4.5.4.3.	<i>Enlace Nodo Quimiag – CPE3.....</i>	225
CONCLUSIONES.....		228
RECOMENDACIONES.....		230
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Enlaces punto a zona rural y urbana punto y enlaces punto multipunto.....	6
Tabla 1-2:	Bandas de frecuencias	12
Tabla 2-2:	Bandas de frecuencias para el servicio de radiodifusión y TV.....	12
Tabla 3-2:	Bandas de frecuencias microondas.....	12
Tabla 4-2:	Clasificación de los desvanecimientos	14
Tabla 5-2:	Diferencias entre H.264 y H.265	34
Tabla 1-3:	Coordenadas donde se ubicaron las antenas.....	72
Tabla 2-3:	Coordenadas donde se ubicaron las antenas.....	75
Tabla 3-3:	Coordenadas donde se ubicaron las antenas.....	79
Tabla 4-3:	Coordenadas donde se ubicaron las antenas.....	83
Tabla 5-3:	Configuración inicial de las antenas.....	87
Tabla 6-3:	Valores obtenidos en cada una de las frecuencias	88
Tabla 6-3:	(Continuación).....	89
Tabla 7-3:	Configuración inicial de las antenas.....	91
Tabla 8-3:	Configuración inicial de las antenas.....	93
Tabla 9-3:	Configuración inicial de las antenas.....	96
Tabla 10-3:	Configuración inicial de las antenas.....	98
Tabla 11-3:	Configuración inicial de las antenas.....	100
Tabla 12-3:	Tabla de modulación y data rate teórico basado en el estándar 802.11n.....	103
Tabla 1-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace SITCOM - Cerro San Francisco	109
Tabla 2-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	110
Tabla 3-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	111
Tabla 4-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	112
Tabla 5-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	112
Tabla 6-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	113
Tabla 7-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.....	113
Tabla 8-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace SITCOM - Cerro San Francisco	114
Tabla 9-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	115
Tabla 10-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	116
Tabla 11-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	117
Tabla 12-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	117
Tabla 13-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	118

Tabla 14-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD	118
Tabla 15-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE	119
Tabla 16-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	120
Tabla 17-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia	121
Tabla 18-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	122
Tabla 19-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV	122
Tabla 20-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	123
Tabla 21-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD	123
Tabla 22-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE	124
Tabla 23-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	125
Tabla 24-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia	126
Tabla 25-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	127
Tabla 26-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV	127
Tabla 27-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	128
Tabla 28-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD	128
Tabla 29-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace cerro San Francisco-CPE1	129
Tabla 30-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	130
Tabla 31-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia	131
Tabla 32-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	132
Tabla 33-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV	132
Tabla 34-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	133
Tabla 35-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD	133
Tabla 36-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace cerro San Francisco-CPE1	134
Tabla 37-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	135
Tabla 38-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia	136
Tabla 39-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	137
Tabla 40-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	137
Tabla 41-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	138
Tabla 42-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD	138
Tabla 43-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE2	139
Tabla 44-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	140
Tabla 45-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia	141
Tabla 46-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	142
Tabla 47-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV	142
Tabla 48-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	143
Tabla 49-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD	143
Tabla 50-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE2	144

Tabla 51-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	145
Tabla 52-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	146
Tabla 53-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	147
Tabla 54-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	147
Tabla 55-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	148
Tabla 56-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.....	148
Tabla 57-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE3.....	149
Tabla 58-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	150
Tabla 59-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	151
Tabla 60-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	152
Tabla 61-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	152
Tabla 62-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD.	153
Tabla 63-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.....	153
Tabla 64-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE3.....	154
Tabla 65-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	155
Tabla 66-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	156
Tabla 67-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	157
Tabla 68-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	157
Tabla 69-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	158
Tabla 70-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.....	158
Tabla 71-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag.....	159
Tabla 72-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	160
Tabla 73-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	161
Tabla 74-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	162
Tabla 75-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	162
Tabla 76-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	163
Tabla 77-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.....	163
Tabla 78-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag.....	164
Tabla 79-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	165
Tabla 80-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	166
Tabla 81-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	167
Tabla 82-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	167
Tabla 83-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	168
Tabla 84-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.....	168
Tabla 85-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag-CPE.....	170

Tabla 86-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	171
Tabla 87-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	172
Tabla 88-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	173
Tabla 89-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	173
Tabla 90-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	173
Tabla 91-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.....	174
Tabla 92-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag-CPE.....	175
Tabla 93-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	176
Tabla 94-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	177
Tabla 95-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	178
Tabla 96-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	178
Tabla 97-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	178
Tabla 98-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.....	179
Tabla 99-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag - CPE1.....	180
Tabla 100-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	181
Tabla 101-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	182
Tabla 102-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	183
Tabla 103-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	183
Tabla 104-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	184
Tabla 105-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.....	184
Tabla 106-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag - CPE1.....	185
Tabla 107-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	186
Tabla 108-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	187
Tabla 109-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	188
Tabla 110-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	188
Tabla 111-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	189
Tabla 112-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.....	189
Tabla 113-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag – CPE2.....	190
Tabla 114-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	191
Tabla 115-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	192
Tabla 116-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	193
Tabla 117-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	193
Tabla 118-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	194
Tabla 119-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.....	194
Tabla 120-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag – CPE2.....	195
Tabla 121-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	196
Tabla 122-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	197

Tabla 123-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	198
Tabla 124-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV	198
Tabla 125-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	199
Tabla 126-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD	199
Tabla 127-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag – CPE3	200
Tabla 128-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	201
Tabla 129-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	202
Tabla 130-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	203
Tabla 131-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	203
Tabla 132-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	204
Tabla 133-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD	204
Tabla 134-4:	Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag – CPE3	205
Tabla 135-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia.....	206
Tabla 136-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia.....	207
Tabla 137-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV	208
Tabla 138-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.....	208
Tabla 139-4:	Valores obtenidos en la calidad SD de VOD	209
Tabla 140-4:	Valores obtenidos en la calidad HD de VOD	209
Tabla 141-4:	Resultados elegidos para la calidad del enlace.....	210
Tabla 142-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio SD.....	211
Tabla 143-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio HD.....	211
Tabla 144-4:	Resultados elegidos para la calidad del enlace.....	212
Tabla 145-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio SD.....	212
Tabla 146-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio HD.....	213
Tabla 147-4:	Resultados elegidos para la calidad del enlace.....	214
Tabla 148-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio SD.....	214
Tabla 149-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio HD.....	215
Tabla 150-4:	Resultados elegidos para la calidad del enlace.....	215
Tabla 151-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio SD.....	216
Tabla 152-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio HD.....	216
Tabla 153-4:	Resultados elegidos para la calidad del enlace.....	217
Tabla 154-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio SD.....	217
Tabla 155-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio HD.....	218
Tabla 156-4:	Resultados elegidos para la calidad del enlace.....	219
Tabla 157-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio SD.....	219
Tabla 158-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio HD.....	220
Tabla 159-4:	Resultados elegidos para la calidad del enlace.....	221

Tabla 160-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio SD.....	221
Tabla 161-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio HD.....	221
Tabla 162-4:	Resultados elegidos para la calidad del enlace.....	222
Tabla 163-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio SD.....	223
Tabla 164-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio HD.....	223
Tabla 165-4:	Resultados elegidos para la calidad del enlace.....	224
Tabla 166-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio SD.....	224
Tabla 167-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio HD.....	225
Tabla 168-4:	Resultados elegidos para la calidad del enlace.....	225
Tabla 169-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio SD.....	226
Tabla 170-4:	Resultados elegidos para la calidad de servicio HD.....	226

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Enlace entre en cerro San Francisco y la parroquia Nabuzo.....	7
Figura 1-2:	Sistema de comunicación inalámbrica	9
Figura 2-2:	Tipos de ondas de radio en un sistema de radio comunicación inalámbrica.....	10
Figura 3-2:	Refracción en una frontera plana entre dos medios	15
Figura 4-2:	Reflexión electromagnética en una frontera plana entre dos medios.....	16
Figura 5-2:	Línea de vista y las zonas de Fresnel entre el Tx y el Rx	17
Figura 6-2:	(a) Diagrama de radiación de una antena en tres dimensiones, (b) Diagrama de radiación en dos dimensiones.....	20
Figura 7-2:	Esquema de enlace Punto a Punto.....	23
Figura 8-2:	Esquema de enlace Punto Multipunto.....	24
Figura 9-2:	Generación de la modulación de amplitud.....	25
Figura 10-2:	Modulación de fase y frecuencia de una señal portadora senoidal	26
Figura 11-2:	Modulación ASK	27
Figura 12-2:	Modulación FSK.....	28
Figura 13-2:	Modulación BPSK	28
Figura 14-2:	Modulador QPSK: (a) tabla de verdad; (b) diagrama fasorial; (c) diagrama de constelación.....	29
Figura 15-2:	Señal de salida modulada con QPSK.....	29
Figura 16-2:	Constelación 16QAM.....	30
Figura 17-2:	Imagen de video sin comprimir	31
Figura 18-2:	Imagen comprimida	32
Figura 19-2:	Diagrama de bloques general de H.264 / MPEG-4 AVC	33
Figura 20-2:	Sistema digital genérico de comunicación con FEC.....	35
Figura 21-2:	Sistema digital genérico de comunicación con ARQ.....	36
Figura 22-2:	Esquema de codificación convolucional $R = 3/4$	37
Figura 23-2:	Arquitectura básica del funcionamiento de IPTV	41
Figura 24-2:	Elementos del sistema VoD.....	43
Figura 25-2:	Arquitectura centralizada	44
Figura 26-2:	Arquitectura distribuida	45
Figura 27-2:	Sistema analógico de video vigilancia	47
Figura 28-2:	Sistema digital de video vigilancia	47
Figura 29-2:	Sistema híbrido de video vigilancia	48
Figura 30-2:	Router corporativo CR1036-12G-4S	48
Figura 31-2:	DVR DH-XVR1B16H.....	49

Figura 32-2:	Antena Mikrotik LHG 5.....	50
Figura 33-2:	Patrón de radiación de antena LHG 5 en orientación horizontal y vertical	51
Figura 34-2:	Antena Mikrotik SXT SA5	52
Figura 35-2:	Patrón de radiación de antena SXT SA5 en orientación horizontal y vertical	52
Figura 36-2:	Antena CPE SXTsq 5.....	53
Figura 37-2:	Patrón de radiación de antena SXTsq 5 en orientación horizontal y vertical	53
Figura 38-2:	Esquema de conexión a través de Power over Ethernet (PoE)	54
Figura 39-2:	Torre de telecomunicaciones ubicada en el Cerro San Francisco.....	55
Figura 41-2:	Conector Tipo RJ45	56
Figura 40-2:	Estructura del cable UTP cat6.....	56
Figura 43-2:	Ventana de Google Earth	57
Figura 44-2:	Interfaz gráfica del programa WinBox	58
Figura 42-2:	Ventana de Radio Mobile	59
Figura 1-3:	Diseño del enlace punto a punto urbano	71
Figura 2-3:	Enlace punto a punto desde SITCOM al Cerro San Francisco	72
Figura 3-3:	Simulación del enlace punto a punto desde SITCOM al Cerro San Francisco.....	73
Figura 4-3:	Enlace punto a punto desde el Cerro San Francisco al CPE	74
Figura 5-3:	Simulación del enlace punto a punto desde el Cerro San Francisco al CPE.....	74
Figura 6-3:	Diseño del enlace punto multipunto.....	76
Figura 7-3:	Simulación del enlace punto multipunto.....	76
Figura 8-3:	Simulación del enlace punto multipunto desde el Cerro San Francisco al CPE1	77
Figura 9-3:	Simulación del enlace punto multipunto desde el Cerro San Francisco al CPE2	77
Figura 10-3:	Simulación del enlace punto multipunto desde el Cerro San Francisco al CPE3	78
Figura 11-3:	Diseño del enlace desde la matriz SITCOM al nodo Quimiag	79
Figura 12-3:	Diseño del enlace del nodo Quimiag al CPE	80
Figura 13-3:	Enlace punto a punto desde el cerro San Francisco al Nodo Quimiag	80
Figura 14-3:	Simulación del enlace punto a punto desde el Cerro San Francisco al Nodo Quimiag.....	81
Figura 15-3:	Enlace punto a punto desde el Nodo Quimiag al CPE.....	82
Figura 16-3:	Simulación del enlace punto a punto desde el Nodo Quimiag al CPE	82
Figura 17-3:	Diseño del enlace punto multipunto en la parroquia rural Quimiag	84
Figura 18-3:	Simulación del enlace punto multipunto.....	84
Figura 19-3:	Simulación del enlace punto multipunto desde el Nodo Quimiag al CPE1	85
Figura 20-3:	Simulación del enlace punto multipunto desde el Nodo Quimiag al CPE2.....	85

Figura 21-3:	Simulación del enlace punto multipunto desde el Nodo Quimiag al CPE3.....	86
Figura 22-3:	Configuración de las antenas Mikrotik LHG 5, antes de ser instaladas en las torre	87
Figura 23-3:	Instalación de las antenas Mikrotik LHG 5, a) torre ubicada en la empresa SITCOM y b) torre ubicada en el cerro San Francisco	88
Figura 24-3:	Estado del enlace SITCOM-Cerro San Francisco.....	90
Figura 25-3:	Antenas Mikrotik LHG 5 utilizadas en el enlace Cerro San Francisco – CPE ...	90
Figura 26-3:	Instalación de las antenas Mikrotik LHG 5, a) en la torre ubicada en el cerro San Francisco y b) en la torre ubicada en el CPE.....	91
Figura 28-3:	Estado del enlace Cerro San Francisco-CPE	92
Figura 29-3:	Instalación de las antenas Mikrotik SXTsq 5 en la torre ubicada en el Cerro San Francisco.	93
Figura 30-3:	Instalación de las antenas, a) CPE1 b) CPE2 y c) CPE3.	94
Figura 31-3:	Estado del enlace Cerro San Francisco hacia el a) CPE1, b) CPE2 y c) CPE3. .	94
Figura 32-3:	Antenas Mikrotik LHG 5 utilizadas en el enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag.....	95
Figura 33-3:	Instalación de las antenas Mikrotik LHG 5, a) en la torre ubicada en el Cerro San Francisco y b) Nodo Quimiag	96
Figura 34-3:	Estado del enlace cerro San Francisco – Nodo Quimiag	97
Figura 35-3:	Instalación de las antenas Mikrotik SXTsq 5, a) en el mástil ubicado en el nodo Quimiag y b) en el CPE.....	98
Figura 36-3:	Estado del enlace nodo Quimiag – CPE	99
Figura 37-3:	Instalación de la antena Mikrotik SXTSA5 en el mástil ubicado en el Nodo Quimiag.....	100
Figura 38-3:	Instalación de las antenas, a) CPE1 b) CPE2 y c) CPE3	101
Figura 39-3:	Estado del enlace nodo Quimiag hacia el a) CPE1, b) CPE2 y c) CPE3.....	101
Figura 40-3:	Página web de Pelisplus.....	102
Figura 41-3:	Aplicación IPTV Smarters Player.....	102
Figura 42-3:	Visualización de las cuatro cámaras instaladas en la empresa SITCOM.....	103
Figura 43-3:	Página web de Dahua.....	104
Figura 44-3:	Visualización del estado del enlace en Winbox.....	104
Figura 45-3:	Visualización de la capacidad real del canal (C) en Bandwidth Test	105
Figura 46-3:	Parámetro de retardo (delay) en Wireshark	106
Figura 47-3:	Propiedades de archivo de captura.....	107

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Resultado de la pregunta: ¿Tiene actualmente servicio de internet?.....	61
Gráfico 2-3:	Resultado acerca de si el internet es fijo o móvil (plan de datos).....	61
Gráfico 3-3:	Resultado de la pregunta: ¿Con qué compañía tiene contrato de internet?	62
Gráfico 4-3:	Resultado de la pregunta: ¿Cómo califica su servicio de internet?	62
Gráfico 5-3:	Resultado de la pregunta: ¿Estaría dispuesto a cambiarse a un mejor servicio de internet?	63
Gráfico 6-3:	Resultado de la pregunta: ¿Cuánto paga por el servicio de internet?.....	63
Gráfico 7-3:	Resultado de la pregunta: ¿Estaría usted dispuesto a contratar el servicio de internet?	64
Gráfico 8-3:	Resultado de la pregunta: ¿Hasta cuanto estaría dispuesto usted a pagar por un servicio de internet?.....	64
Gráfico 9-3:	Resultado de la pregunta: ¿Indique la edad promedio de las personas que habitan en su hogar?.....	65
Gráfico 10-3:	Resultado de la pregunta: ¿Algún miembro de su hogar actualmente se encuentra estudiando o realizando teletrabajo?	65
Gráfico 11-3:	Resultado de la pregunta: ¿Tiene actualmente servicio de internet?.....	66
Gráfico 12-3:	Resultado acerca de si el internet es fijo o móvil (plan de datos).....	66
Gráfico 13-3:	Resultado de la pregunta: ¿Con qué compañía tiene contrato de internet?	67
Gráfico 14-3:	Resultado de la pregunta: ¿Cómo califica su servicio de internet?	67
Gráfico 15-3:	Resultado de la pregunta: ¿Estaría dispuesto a cambiarse a un mejor servicio de internet?	68
Gráfico 16-3:	Resultado de la pregunta: ¿Cuánto paga por el servicio de internet?.....	68
Gráfico 17-3:	Resultado de la pregunta: ¿Estaría usted dispuesto a contratar el servicio de internet?	69
Gráfico 18-3:	Resultado de la pregunta: ¿Hasta cuanto estaría dispuesto usted a pagar por un servicio de internet?.....	69
Gráfico 19-3:	Resultado de la pregunta: ¿Indique la edad promedio de las personas que habitan en su hogar?.....	70
Gráfico 20-3:	Resultado de la pregunta: ¿Algún miembro de su hogar actualmente se encuentra estudiando o realizando teletrabajo?	70

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Encuesta de aceptación para provisión del servicio de internet
- ANEXO B:** Hoja técnica del DVR dahua DH-XVR1B16H_
- ANEXO C:** Hoja técnica de la antena LHG 5.
- ANEXO D:** Hoja técnica de la antena SXTsq 5.
- ANEXO E:** Hoja técnica de la antena SXT SA5.
- ANEXO F:** Certificados de participación en el Proyecto Fondo 1 a 1.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACK:	Acuse de recibo o asentimiento (acknowledgement)
AES:	Advanced encryption standard
AHD:	Analog high definition
AM:	Modulación de amplitud
AP:	Punto de acceso
ARQ:	Automatic repeat request
ASK:	Modulación por corrimiento de amplitud
AVC:	Any video converter
AWG:	American wire gauge
BER:	Tasa de error de bits
BPSK:	Modulación por desplazamiento de fase binaria
CCQ:	Calidad de conexión del cliente
CPE:	Customer premises equipment
CVBS:	Composite video baseband signal
DSL:	Línea de suscriptor digital
DVD:	Digital versatile disc
DVR:	Digital video recorder
EHF:	Extremely high frequency
FEC:	Forward error correction
FHD:	Full HD
FM:	Modulación de frecuencia
FSK:	Modulación por corrimiento de frecuencia
FTTH:	Fiber to the home
HD:	High definition
HDCVI:	Interfaz de Vídeo Compuesta en Alta Definición.
HDTV:	TV de alta definición.
HEVC:	High efficiency video coding
HF:	High frequency
HPBW:	Ancho de haz de media potencia
HTTP:	Hypertext transfer protocol
IP:	Internet protocol
IPSEC:	Seguridad del protocolo de Internet
IPTV:	Internet Protocol television

ISDN:	Red digital de servicios integrados
ISO:	International Organization for Standardization
ISP:	Internet service provider
UIT:	Unión internacional de telecomunicaciones
LAN:	Local area network
LF:	Low frequency
MF:	Medium frequency
MHz:	Mega hertz
MPEG:	Moving picture experts group
NAC:	Network access control
NVR:	Network video recorder
OOK:	Modulación de encendido-apagado
PIRE:	Potencia isotrópica radiada efectiva
PM:	Modulación de fase
POE:	Power over Ethernet
QAM:	Modulación de amplitud en cuadratura
QPSK:	Modulación por corrimiento de fase en cuadratura
RSSI:	Indicador de fuerza de la señal recibida
SD:	Standard digital
SHF:	Super high frequency
SNR:	Signal to Noise Ratio
TCP:	Transmission control protocol
TVI:	Televisión independiente
UDP:	User datagram protocol
UHF:	Ultra high frequency
UTP:	Unshielded twisted pair
VCEG:	Video coding experts group
VHF:	Very high frequency
VLf:	Very low frequency
VOD:	Video on demand
WDS:	Wireless distribution system

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación es el diseño e implementación de enlaces inalámbricos para analizar los parámetros técnicos que garanticen la transmisión de video (video vigilancia, video bajo demanda e IPTV), mediante enlaces punto a punto y punto multipunto en la ciudad de Riobamba y la parroquia Quimiag. El diseño y la simulación de los enlaces se realizó en el software Radio Mobile, con la finalidad de observar las características técnicas del enlace. Después se instaló las antenas y se monitoreo los parámetros técnicos en la transmisión de video, variando el ancho de banda de 10MHz y 20MHz, y las modulaciones BPSK1/2, QPSK1/2, QPSK3/4, 16QAM1/2, 16QAM3/4, 64QAM2/3, 64QAM3/4 y 64QAM5/6. En el caso de video vigilancia se varió la codificación y compresión H.265, H.264B, H.264 y H264H. En video bajo demanda e IPTV se realizó únicamente la etapa de modulación, debido a que ya posee etapa de compresión y codificación. Para obtener la calidad de servicio se utilizó el programa Wireshark y para la calidad del enlace el programa WinBox. Para calcular el jitter y delay (calidad de servicio) se utilizó estadística descriptiva, ya que el monitoreo de los datos no se realizó bajo las mismas condiciones (medio de propagación, horarios de monitoreo, condiciones climáticas y equipos), por ello los datos no cumplen una distribución normal. Después de analizar la calidad de servicio y calidad de enlace, la configuración recomendada para los enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto para el área urbana son las modulaciones 16QAM3/4 y 64QAM5/6, y para el área rural las modulaciones 64QAM5/6 y 64QAM3/4 con un ancho de banda de 20MHz para la calidad SD y HD. Para futuras investigaciones se propone realizar la recolección de datos bajo las mismas condiciones, para que los datos cumplan una distribución normal y realizar un análisis más profundo mediante estadística inferencial.

Palabras clave: <ENLACES INALÁMBRICOS> <TRANSMISIÓN DE VIDEO> < VIDEO VIGILANCIA> <VIDEO BAJO DEMANDAN> <CALIDAD DE SERVICIO



Firmado electrónicamente por:
HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA
2166-DBRA-UPT-2021

2021-11-26

SUMMARY

The objective of this work is the design and implementation of wireless links to analyze the technical parameters which guarantee the transmission of video (video surveillance, video on demand and IPTV), through point-to-point and point-multipoint links in Riobamba and Quimiag parish. The design and simulation of the links was carried out in the Radio Mobile software, in order to observe the technical characteristics of the link.

After that, the antennas were installed and the technical parameters in the video transmission were monitored, varying the bandwidth from 10MHz and 20MHz, and the modulations BPSK1 / 2, QPSK1 / 2, QPSK3 / 4, 16QAM1 / 2, 16QAM3 / 4, 64QAM2 / 3, 64QAM3 / 4 and 64QAM5 / 6. In the case of video surveillance, the H.265, H.264B, H.264 and H264H encoding and compression were varied. In video on demand and IPTV, only the modulation stage was carried out, since it already has a compression and coding stage. To obtain the quality of service, the Wireshark program was used and the WinBox program for link quality. Descriptive statistics were used to calculate the jitter and delay (quality of service), since the data monitoring was not carried out under the same conditions (means of propagation, monitoring schedules, weather conditions and equipment), therefore the data did not meet a normal distribution. After analyzing the quality of service and link quality, the recommended configuration for point-to-point and point-multipoint wireless links for urban areas are 16QAM3 / 4 and 64QAM5 / 6 modulations, and for rural areas 64QAM5 / 6 modulations and 64QAM3 / 4 with a 20MHz bandwidth for SD and HD quality. For future research, it is proposed to collect data under the same conditions, so that the data comply with a normal distribution and perform a more in-depth analysis using inferential statistics.

Keywords: <WIRELESS LINKS> <VIDEO STREAMING> <VIDEO SURVEILLANCE>
<VIDEO ON DEMAND> <QUALITY OF SERVICE>.



Firmado electrónicamente por:
**WILSON GONZALO
ROJAS YUMISACA**

Lic. Wilson G. Rojas

NOMBRE Y FIRMA PROFESOR

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la transmisión de datos de video puede ser a través de medios guiados como es el cable de cobre, cable coaxial y fibra óptica y medios no guiados como radioenlaces terrenales y enlaces satelitales. Actualmente el medio de transmisión que brinda un servicio confiable y de alta calidad es la fibra óptica, pero la instalación de esta infraestructura suele ser costosa en comparación con los radioenlaces terrenales. Por esta razón se realiza un estudio de los parámetros técnicos mínimos necesarios que garanticen la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV, en enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto en el área urbana y rural de la ciudad de Riobamba, en las instalaciones de la empresa SITCOM.

Por ello, primero se realiza el diseño y simulación de los enlaces inalámbrico punto a punto y punto multipunto en el software Radio Mobile con el objetivo de ingresar los parámetros de las antenas utilizadas, con la finalidad de observar el diagrama de radiación y las características técnicas del enlace (distancia, nivel de recepción, RX relativo, etc.). Una vez simulados los enlaces, se procedió a la instalación de las antenas, en el entorno urbano y rural.

Después se procede a la medición de los parámetros técnicos en los tres tipos de transmisión de video (video vigilancia, video bajo demanda e IPTV). Para ello se modificó el ancho de banda y el formato SD y HD en cada tipo de video. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de modulación/codificación, codificación y compresión. En video bajo demanda e IPTV se realizó únicamente la etapa de modulación/codificación, debido a que ya posee etapa de codificación y compresión.

Durante la transmisión de video se realiza la captura del tráfico enviado por los tres tipos de transmisión de video con el programa Wireshark, donde se obtuvo el delay, variación del retardo (jitter), número de paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (Throughput), y para determinar la calidad del enlace se utilizó el programa WinBox, donde se visualizó los valores de ganancia, potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER). Todas las mediciones fueron tomadas en un lapso de 5 minutos, en condiciones de prestación de servicio.

Finalmente, una vez obtenidas las capturas de tráfico en cada tipo de video, se realiza el análisis, evaluación y recomendación de los parámetros técnicos ideales mínimos que garanticen la transmisión de video bajo demanda, video vigilancia e IPTV en calidad SD y HD, utilizando estadística descriptiva

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

El avance en la tecnología de las telecomunicaciones ha permitido una comunicación más rápida, eficiente y de buena calidad, el servicio de audio y video es uno de los servicios que mayor evolución e importancia ha tomado en los últimos años. Es muy utilizado para la transmisión de películas, videoconferencias, clases virtuales, teletrabajo, diagnósticos mediante telemedicina, distribución de TV, video bajo demanda, distribución de multimedia en internet, etc., además que existen plataformas de video Streaming como Netflix, HBO, Disney +, Prime Video, entre otras, que necesitan una buena calidad de video para ser cotizado en el mercado.

En sus inicios los primeros sistemas de comunicación brindaban la posibilidad de ver imágenes en movimiento, solían ser lentos y de baja calidad, además las imágenes almacenadas ocupaban demasiado espacio (Castro y Colmenar, 2021, p.5), por lo que hubo la necesidad de la compresión de video en diferentes formatos y calidad (SD, HD y FHD), para su transmisión en redes de telecomunicaciones, convirtiéndose así en un sistema habitual de comunicación. La mayoría de estos servicios se transmiten de forma digital ya que presenta una serie de ventajas frente a la transmisión analógica, al verse reducida la información a una serie de bits. Ahora con la digitalización de los contenidos de audio y video es posible el uso de las redes de banda ancha para la entrega de servicios.

Hoy en día la transmisión de datos puede ser a través de medios guiados (cable de cobre, cable coaxial y fibra óptica) y no guiados (radioenlaces terrestres y satelitales). El medio de transmisión para brindar un servicio confiable y de alta calidad es la fibra óptica debido a sus características como son el gran ancho de banda, suele ser inmune a la interferencia y ruido, el retardo es bajo, la velocidad de transmisión puede llegar a un 1Tbps, pero la infraestructura que requiere suele ser costosa en comparación con los radioenlaces terrestres, debido al costo de la infraestructura existen muchos lugares donde no llega este medio de transmisión, ya sea por su difícil acceso o el costo beneficio no representa las ganancias deseadas. Una solución es utilizar radioenlaces.

La ventaja de utilizar radioenlaces terrestres es que permite la comunicación en lugares geográficamente poco accesibles, el costo de instalación no suele ser muy elevado en comparación con la red FTTH, ya que se evita la instalación de la última milla, pero suele ser sensible a las pérdidas causadas por el clima, la vegetación, interferencias de canal y canal adyacente, la distancia, etc. Por ello suele ser complicado lograr un enlace inalámbrico estable y de alta calidad.

A nivel nacional en Sangolquí se realizó una tesis sobre el “ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACION DEL SERVICIO DE IPTV SOBRE LA RED WiMAX DE LA ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO” por JAVIER ALEJANDRO MERINO MALDONADO. El estudio lo realizaron a través de una red WiMAX por su alta escalabilidad, por su gran cobertura y por las robustas técnicas de codificación digital, se concluyó que es una red óptima para la transmisión de IPTV además que reduce los costos de instalación. (Merino, 2011, pp. 1-2)

A nivel local se encontró la tesis realizada por Braulio Wladimir Sarabia Buñay, con el tema “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD MEDIANTE VIDEO VIGILANCIA INALÁMBRICO USANDO CÁMARAS IP PARA LA FIE”. Realiza un estudio para la transmisión de video de alta definición en la Facultad de Informática y Electrónica a través de un medio no guiado (inalámbrico), como su trabajo de titulación se basa en videovigilancia, se enfoca más en las características de técnicas de los equipos, como el de las cámaras que debe ser de alta calidad. (Sarabia, 2018, pp. 1-2)

En la empresa SITCOM ubicada en la provincia de Chimborazo no se ha realizado estudios acerca de los parámetros técnicos mínimos necesarios para transmitir video bajo demanda, videovigilancia e IPTV.

1.2. Formulación del problema

¿Es necesario realizar el diseño e implementación de enlaces inalámbricos para analizar los parámetros técnicos que garanticen la transmisión de video, mediante enlaces punto a punto y punto multipunto en la empresa SITCOM en la ciudad de Riobamba?

1.3. Sistematización del problema

¿Cómo funciona la transmisión de video bajo demanda, video vigilancia e IPTV?

¿Cuáles son los métodos de codificación, compresión y modulación que se realiza en el procesamiento de video para transmitir a través de enlaces inalámbricos?

¿Qué parámetros se analiza para realizar el diseño de los enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto en la zona urbana y rural, para simular en el software Radio Mobile y su posterior implementación?

¿Una vez implementados los radioenlaces, cuáles son los parámetros técnicos que se medirán durante la transmisión de video en tiempo real para garantizar enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto de alta calidad en un medio urbano y rural?

¿Los resultados obtenidos se pueden contrastar entre ellos, para saber cuál es el mejor escenario para la transmisión de video en tiempo real?

1.4. Justificación del trabajo de Titulación

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El principal problema en la transmisión de vídeo es que requiere una alta capacidad de canal, ya que las secuencias de vídeo utilizan volúmenes de información muy elevados, y a mayor capacidad, mayor es el ancho de banda que necesita. Además, es sensible al retardo, jitter y pérdida de paquetes.

El envío de video a través de enlaces guiados y no guiados requiere que tanto el servicio como las redes de telecomunicaciones sean debidamente gestionadas para garantizar la calidad en los contenidos entregados a los usuarios.

La principal tecnología que ha permitido el despliegue de los servicios de video son las redes de fibra óptica, por las ventajas que presenta frente a otras tecnologías cableadas. Sin embargo, el costo de instalación en comparación a las tecnologías inalámbricas es elevado. Por ese motivo no siempre constituye una solución óptima para brindar banda ancha en zonas donde la población se encuentra dispersa o existe difícil accesibilidad (Cabrera Reyes, 2015, pp. 2-4). Es así como se ha visto una oportunidad en las tecnologías inalámbricas para ofrecer cobertura de banda ancha, gran velocidad y a gran distancia.

El despliegue del servicio de video sobre redes inalámbricas ha enfrentado serios desafíos debido a las limitaciones de ancho de banda, baja fiabilidad y calidad de los radioenlaces. Sin embargo, las últimas tecnologías inalámbricas de banda ancha se perfilan como redes idóneas para el despliegue de este servicio. (Rueda y Ramos, 2013, pp.40-45)

La empresa SITCOM ubicada en la ciudad de Riobamba brinda servicios integrales de Telecomunicaciones: Fibra Óptica, Radio, TV A/D, ISP, CATV, IPTV, Wireless, entre otros. La empresa actualmente busca brindar servicios de transmisión de video a través de enlaces inalámbricos en tiempo real. Nosotros al encontrarnos realizando las prácticas preprofesionales en la empresa se ha visto como tema el “Diseño e implementación de enlaces inalámbricos para analizar los parámetros técnicos que garanticen la transmisión de video, mediante enlaces punto a punto y punto multipunto”.

Para evaluar los parámetros técnicos que garanticen la transmisión de video se realizó en dos escenarios, en la zona urbana y rural a través de enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto. Enviando video bajo demanda (VOD), video vigilancia e IPTV en tipo real, con calidad de video Standard Digital (SD) y High Definition (HD).

Como zona urbana se eligió la ciudad de Riobamba y para la zona rural la parroquia Nabuzo perteneciente al cantón Penipe de la provincia de Chimborazo.

El desarrollo del trabajo de titulación consta de tres etapas: diseño, implementación, finalmente el análisis y evaluación de los parámetros técnicos para que el servicio de video que reciba el cliente sea continuo, de alta calidad y sin retardos.

La etapa más compleja, en donde se garantiza que el cliente reciba una transmisión de video de forma continua y sin pérdida de datos, es la implementación, ya que si se cae el enlace suele ser un problema la reconexión por el tiempo en que se demora en volver a enlazarse, generando latencia y problemas de transmisión.

Por toda la propuesta planteada y por la situación actual por la que está pasando el mundo a causa de la pandemia se ha decidido realizar el trabajo entre dos personas, ya que se dificulta la accesibilidad y el transporte a los lugares mencionados. Además, el tiempo para realizar el trabajo de titulación es corto (16 semanas).

La ventaja de realizar el proyecto para la empresa SITCOM, es que tiene a disposición los equipos para realizar las pruebas necesarias, por lo tanto, no se realizaron gastos económicos en la adquisición de equipos.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

En el presente proyecto se realizó el diseño e implementación de enlaces punto a punto y punto multipunto en dos entornos: urbano y rural, para posteriormente realizar el análisis y evaluación de parámetros técnicos necesarios para garantizar la transmisión de video bajo demanda, video vigilancia e IPTV en calidad SD y HD.

El desarrollo del trabajo de titulación consta de tres etapas: diseño, implementación, finalmente el análisis y evaluación de los parámetros técnicos mínimos necesarios para la transmisión de video.

Etapas de diseño. Se realizó la simulación de los enlaces en el software radio Mobile, En la Tabla 1-1, se muestra los enlaces que se realizó en la zona urbana y rural.

Para la zona rural se tomó en la parroquia Nabuzo que se encuentra a 19.26 Km en línea recta con existencia de línea de vista con el Cerro San Francisco. Como se puede visualizar en la Figura 1-1.

Para la zona rural se tomó en la parroquia Nabuzo que se encuentra a 19.26 Km en línea recta con existencia de línea de vista con el Cerro San Francisco. Como se puede visualizar en la Figura 1-1. Se realizó 3 tipos de transmisión: video vigilancia, video bajo demanda e IPTV.

En el caso de video vigilancia se tuvo la apertura de realizar todas las configuraciones del sistema, es posible realizar el procesamiento de la señal y dependió del software a utilizar, se eligió el tipo de modulación (16, 64, 256 QAM), compresión (H.265, H.264B, H.264, H264H) y la codificación de canal, la información se procesó a un alto nivel para aprovechar la capacidad del canal sin sobrepasarla. La señal captada por la cámara de vigilancia pasó por el procesamiento descrito a

través del DVR. Una vez procesado la señal, se alimentan los equipos a través de cable UTP (categoría 5) para realizar la transmisión. En la parte de recepción se realizó el procesamiento inverso demodulación, descompresión y decodificación de a señal de video.

Tabla 1-1: Enlaces punto a zona rural y urbana punto y enlaces punto multipunto

Ubicación	Tipo de enlace	Enlace	Tipos de antenas
Zona Urbana Ciudad de Riobamba	Enlace punto multipunto	Torre ubicada en las oficinas de SITCOM - 3 CPE dentro del área de cobertura en ciudad de Riobamba	Antena sectorial
	Enlace punto a punto	Torre ubicada en las oficinas de SITCOM – cerro San Francisco – CPE dentro del área de cobertura en ciudad de Riobamba	Antenas directivas
Zona rural Parroquia Nabuzo del cantón Penipe	Enlace punto a punto	Torre ubicada en las oficinas de SITCOM – Cerro San Francisco – Parroquia Nabuzo – 1 CPE dentro del área de cobertura en la parroquia Nabuzo	Antenas directivas
	Enlace punto multipunto	Torre ubicada en la Parroquia Nabuzo - 3 CPE dentro del área de cobertura en la parroquia Nabuzo	Antena sectorial

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

En el caso de video bajo demanda e IPTV se realizó únicamente la etapa de modulación debido a que ya posee etapa de compresión y codificación según el estándar.

Antes de realizar la implementación se realizó una prueba en el sitio conectando los equipos de transmisión y recepción para comprobar su funcionamiento.

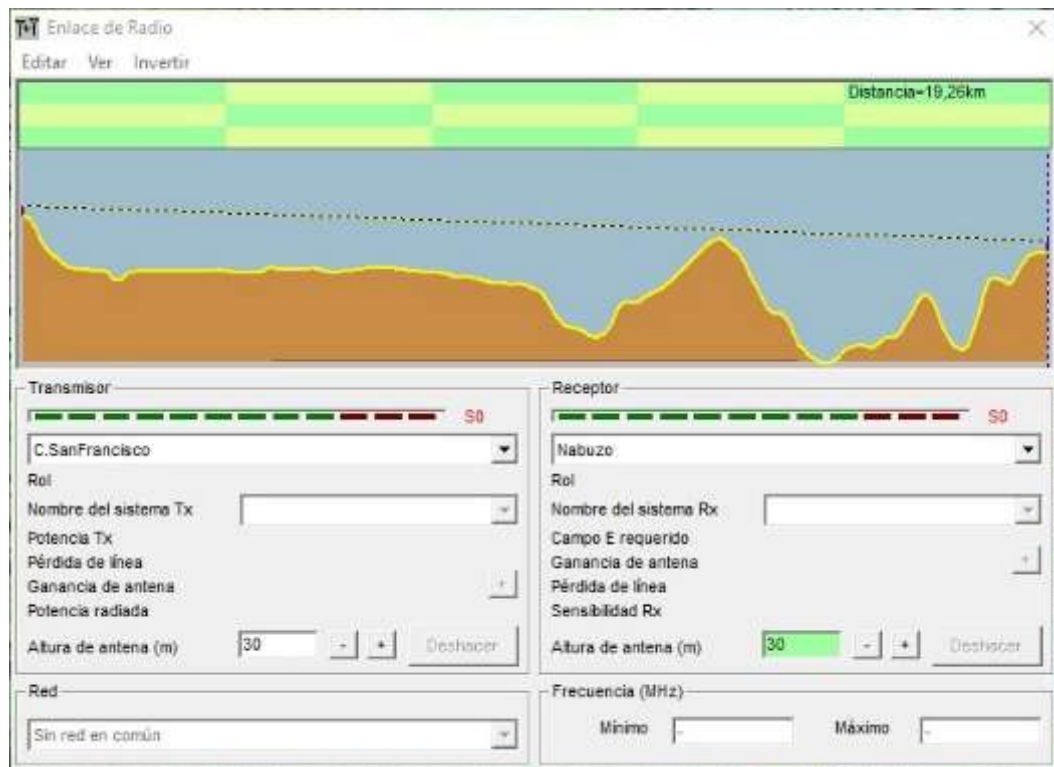


Figura 1-1: Enlace entre en cerro San Francisco y la parroquia Nabuzo.

Realizado por: Chávez, S.; Varga s, D. 2021.

Etapas de implementación. Una vez realizada la simulación de los enlaces y probados los parámetros técnicos se procedió a la instalación de los equipos en los lugares detallados. A continuación, se realizó las mediciones de campo de parámetros técnicos transmitiendo video bajo demanda, video vigilancia e IPTV en tiempo real en calidad SD y HD.

Los parámetros de medición son: delay, variación del retardo (jitter), pérdidas de paquetes, Throughput, tasa de error de bits (BER), la calidad de los enlaces está sujetos a las mediciones de capacidad del enlace, nivel de señal recibida, porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), relación señal a ruido, ganancia y potencia de las antenas. Al variar los parámetros de ancho de banda, frecuencia, modulación, compresión y codificación se buscó obtener las condiciones ideales mínimas para garantizar que la calidad de señal en la transmisión de video.

Etapas de análisis y evaluación. Para finalizar se realizó el análisis de los resultados obtenidos al variar los parámetros descritos en la etapa de implementación y se evaluó cuáles son los parámetros ideales para transmitir video bajo demanda, video vigilancia e IPTV en tiempo real en calidad SD y HD. Sin que exista retardos o pérdidas de paquetes durante la transmisión.

1.5. Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar enlaces inalámbricos para analizar los parámetros técnicos que garanticen la transmisión de video, mediante enlaces punto a punto y punto multipunto en la empresa SITCOM en la ciudad de Riobamba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un estado del arte de los parámetros técnicos para la transmisión de video bajo demanda, videovigilancia e IPTV en entornos inalámbricos.
- Aplicar métodos de codificación, compresión y modulación en el procesamiento de video, para mejorar la calidad del enlace y asegurar una transmisión de video de alta calidad, evitando cortes y retardos.
- Diseñar en el software Radio Mobile los enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto en la zona urbana y rural, tomando en cuenta los parámetros como: las características geográficas del sector, parámetros de las antenas, distancias, entre otros.
- Implementar los enlaces con los parámetros establecidos en el diseño y realizar mediciones de campo de los parámetros técnicos durante la transmisión de video en tiempo real en calidad SD, HD en enlaces punto a punto y punto multipunto en la zona urbana y rural.
- Comparar los resultados obtenidos y establecerlos parámetros mínimos necesarios para garantizar una transmisión adecuada y eficiente en cada uno de los casos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos de los Radioenlaces

2.1.1. Radiocomunicación

La radiocomunicación es la telecomunicación realizada por ondas radioeléctricas. La ITU define a las ondas radioeléctricas como ondas electromagnéticas propagadas por medios sin guía artificial. Los sistemas de radiocomunicación pueden ser terrestres o espaciales dependiendo de los elementos que utilice. (Hernando, 2008, p. 19)

En un sistema de radiocomunicación las ondas de radio se utilizan para transferir audio, video, datos o la combinación de los tres, desde el transmisor al receptor. Dependiendo del tipo de onda o frecuencia, la limitante es la distancia y la línea de vista. En la Figura 1-2, se muestra un sistema típico de comunicación inalámbrica que consiste en la fuente de información, el sistema transmisor (consta de moduladores, filtros, la antena), canal o medio de transmisión, y el sistema receptor. (Ugweje, 2004, pp.4-7)

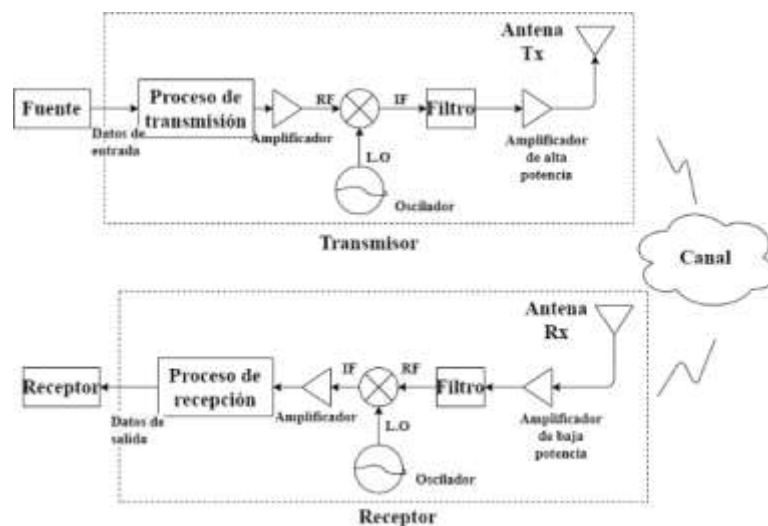


Figura 1-2: Sistema de comunicación inalámbrica

Fuente: (Ugweje, 2004, p.7)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

La combinación del transmisor (Tx) y del receptor (Rx) se utiliza para convertir la señal en una forma adecuada para la transmisión y luego convertir la señal de nuevo a su forma original. El transmisor realiza la modulación, codificación, conversión de analógico a digital, multiplexación, direccionamiento o enrutamiento de la información, además tiene etapas de filtrado y amplificación. El receptor realiza el proceso inverso del transmisor como la demodulación, decodificación, conversión digital a analógica y demultiplexación. (Ugweje, 2004, p.8)

El canal es el medio por el cual se propaga la señal por medios guiados y no guiados. En la comunicación inalámbrica el canal es el medio no guiado o el espacio libre. Se agrega ruido e

interferencia a la señal en el canal, lo que aumenta la atenuación, la distorsión, entre otros. (Ugweje, 2004, p.14)

2.1.2. Formas de onda de radio

Las ondas de radio se propagan en el espacio de diversas formas depende del diseño del sistema de comunicación inalámbrica. En la Figura 2-2, se puede observar los tipos de onda entre ellos la onda de superficie, onda ionosférica, onda espacial, onda de dispersión. La onda espacial tiene tres sub-modos onda directa, reflejada y multitrayecto. (Hernando, 2008, p. 22) (Ugweje, 2004, pp.15-16)

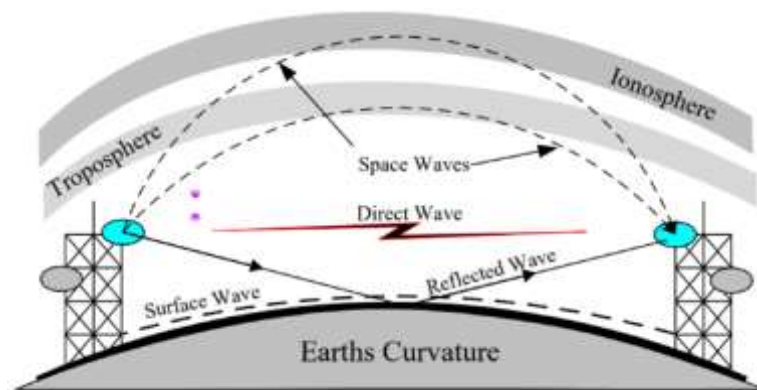


Figura 2-2: Tipos de ondas de radio en un sistema de radio comunicación inalámbrica

Fuente: (Ugweje, 2004, p.15)

2.1.2.1. Onda superficie

Este tipo de onda trabaja a frecuencias inferiores a los 30 MHz, está limitado por la superficie de la tierra y experimenta refracción debido a la variación de la densidad de la atmósfera. Una onda de superficie es afectada por el terreno y los objetos en el terreno como edificios, vegetación, colinas, montañas y otras irregularidades de la superficie de la tierra. (Ugweje, 2004, p.17)

2.1.2.2. Onda ionosférica

La propagación ionosférica está el rango de 3 a 30 MHz depende en gran medida del estado de la actividad solar y los niveles de ionización, ya que la onda se refleja en la capa ionosférica. Este tipo de onda puede se utiliza para comunicaciones marítimas, militares y aeronáuticas y para radiodifusión de onda corta. (Ugweje, 2004, p.17)

2.1.2.3. *Onda espacial*

La onda de superficie trabaja a frecuencias superiores a 30 MHz y está limitada por la distancia entre el transmisor y receptor, ya que deben tener línea de vista. Este tipo de onda puede ser perturbada por la reflexión, causando la disminución de la potencia recibida en el receptor. (Hernando Rabanos, 2008)

- **Onda directa.** Se propagan en el espacio libre sin ninguna obstrucción, son el tipo más simple de ondas de radio. Tiene línea de vista entre el transmisor y receptor. (Ugweje, 2004, p.16)
- **Onda reflejada.** Se conecta el transmisor con el receptor a través de la reflexión. La acción de flexión se debe a la constante dieléctrica cambiante de la atmósfera a través de la cual pasa la onda. (Ugweje, 2004, p.16)
- **Onda Multitrayecto.** Son ondas que llegan al receptor después de sufrir múltiples reflexiones. (Hernando, 2008, p. 24)

2.1.2.4. *Onda de dispersión troposférica*

La onda troposférica es la parte de la onda de radio cercana a la superficie de la tierra como resultado de la curvatura gradual en la atmósfera inferior. Este mecanismo de propagación tiene asociado pérdidas muy elevadas y este sujeto a desvanecimientos profundos. (Hernando, 2008, p. 24) (Ugweje, 2004, p.16)

2.1.3. *Ancho de banda*

Se denomina ancho de banda a la diferencia de la frecuencia máxima y mínima pertenecientes a un canal de comunicación, de forma que por debajo de su frecuencia inferior y por encima de su frecuencia superior el nivel de potencia existente es despreciable. El ancho de banda de un canal de comunicación debe ser mayor al ancho de banda de información y debe ser capaz de garantizar la transmisión de información a una cierta velocidad de transmisión y calidad requerida. (Tomasi, 2003, p. 8) (Hernando, 2008, p. 30)

2.1.4. *Bandas de frecuencias*

Banda de frecuencia es una forma estándar de nombrar a un rango de frecuencias. A una estación se le asigna un rango de frecuencias dependiendo del servicio radioeléctrico a brindar, la estación

está autorizada en transmitir solo dentro de ese rango. El espectro radioeléctrico se divide en bandas de radiofrecuencias, como se puede observar en la Tabla 1-2. (Hernando, 2008, p. 25) (Zennaro et al., 2004, pp. 4-5)

Tabla 1-2: Bandas de frecuencias

Número de la banda (N)	Símbolos (en inglés)	Gamas de frecuencias (excluido el límite inferior pero incluido el superior)	Designación métrica correspondiente	Abreviaturas métricas para las bandas
4	VLF	3 a 30 KHz	Ondas miriamétricas	B. Mam
5	LF	30 a 300 KHz	Ondas kilométricas	B. km
6	MF	300 a 3000 KHz	Ondas hectométricas	B. hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B. dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B. m
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas decimétricas	B. dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas	B. cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B. mm
12		300 a 3000 GHz	Ondas decimilimétricas	

Fuente: (Hernando, 2008, p. 26)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para el uso de radiodifusión y TV, se emplea la división de frecuencias como se observa en la Tabla 3-2, de esa forma lo describe el Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (CCIR) y la Unión Europea de Radiodifusión (UER).

Tabla 2-2: Bandas de frecuencias para el servicio de radiodifusión y TV

Banda I	41- 68 MHz
Banda II	87.5 - 108 MHz
Banda III	162 – 230 MHz
Banda IV	470 – 582 MHz
Banda V	582 – 960 MHz
Banda VI	12 GHz (radiodifusión por satélite)

Fuente: (Hernando, 2008, p. 26)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Las bandas de frecuencias microondas, se puede visualizar en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Bandas de frecuencias microondas

Banda	Frecuencias (GHz)
L	1 - 2
S	2 - 4
C	4 - 8
X	8 - 12
Ku	12 - 18
K	18 - 27
Ka	27 - 40
mm	40 - 300

Fuente: (Hernando, 2008, p. 27)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

2.1.5. Fenómenos relacionados a la propagación

2.1.5.1. Interferencia

Se define como interferencia al efecto que produce degradación de calidad a la señal deseada o pérdida de información a causa de energía proveniente de varias emisiones no deseadas captada en la recepción de un sistema de comunicación. (Hernando, 2008, p. 38).

Una interferencia puede darse a causa de:

- **Fuente.** Producida por el transmisor al generar componentes espectrales que se encuentran fuera de la banda.
- **Receptor.** Se produce en la circuitería del sistema receptor al sobrecargarse llegando a producir repuestas parásitas en la señal original.
- **Canal.** Producida por transmisiones que generan componentes no deseadas en la banda de la señal deseada.

Interferencias de este tipo se conocen como interferencias no lineales entre ellas están armónicas, modulación cruzada e interferencias de cocanal y canal adyacente. (Couch, 2008, p. 288).

2.1.5.2. Desvanecimiento

El desvanecimiento es la reducción de la potencia de la señal recibida con relación a su valor nominal (Hernando, 2008, p. 200). El desvanecimiento de la señal se puede dar por el medio de propagación, obstáculos existentes en el trayecto o las capas atmosféricas (Yáñez, 2009, p.14). En la Tabla 4-2, se observa la clasificación de los tipos de desvanecimientos.

Tabla 4-2: Clasificación de los desvanecimientos

Características	Tipo de desvanecimiento	
Profundidad	Profundo	Muy profundo
Duración	Lento	Rápido
Espectro de frecuencias	Plano	Selectivo
Mecanismo de producción	Plano K	Multitrayecto
Distribución Probabilística	Gaussiano	Rayleigh, Rice

Fuente: (Hernando, 2008, p. 201).

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

A continuación, se muestra una descripción breve de cada uno de los desvanecimientos dependiendo de sus características (Hernando, 2008, p. 201) (Yáñez, 2009, pp. 16-18):

Profundidad

La profundidad del desvanecimiento depende la distancia entre en transmisor y receptor, y de la frecuencia a la que se trabaje.

Duración

- **Lento:** se debe por la presencia de algún obstáculo de grandes dimensiones u ondulación del terreno, la cual impide la visión directa entre el transmisor y receptor. Estas pérdidas tienen una variación temporal lenta.
- **Rápido:** el tiempo de coherencia es menor al tiempo de símbolo, el efecto Doppler es alto y tiene multicaminos.

Espectro de frecuencias

- **Plano:** se produce cuando se presenta nieblas densas o aire frío en un clima cálido por ello el canal conserva el espectro de la señal transmitida porque trata a todas las frecuencias por igual.
- **Selectivo:** se da por la interferencia entre unos o más rayos de la atmósfera y causa que el canal se distorsione y no conserve el espectro de la señal transmitida.

Mecanismo de producción

- **Plano K:** se produce por las variaciones del índice de refracción.
- **Multitrayecto:** se da por los múltiples trayectos de propagación entre el transmisor y receptor. Se da ya sea por reflexiones en el suelo o por la refracción troposférica.

Distribución probabilística

- **Gaussiano:** tiene una densidad espectral de potencia constante sobre todo el ancho de banda del canal y no existe multitrayectos.
- **Rayleigh:** se produce cuando no existe línea de vista entre el transmisor y receptor, porque se encuentra obstruido el trayecto de propagación. Por ejemplo, este

desvanecimiento existe en la telefonía móvil o radiodifusión AM y FM, ya que la señal recibida es a través de ondas reflejadas.

- **Rice:** se produce cuando existe línea de vista entre el transmisor y receptor. Y existe una componente determinística y varias aleatorias.

2.1.5.3. Absorción

La absorción de una señal es la reducción de la densidad de potencia producida por partículas presentes en la atmósfera terrestre capaces de absorber la energía electromagnética de una señal al propagarse fuera del espacio libre (Tomasi, 2003, p. 352).

2.1.5.4. Refracción

La refracción es “el cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación” (Tomasi, 2003, p. 353). La trayectoria de una señal de radio se ve afectada al pasar de un medio a otro con distinta densidad, variando la velocidad de propagación al ser inversamente proporcional a la densidad del material, por el que atraviesa la onda, como se observa en la Figura 3-2.

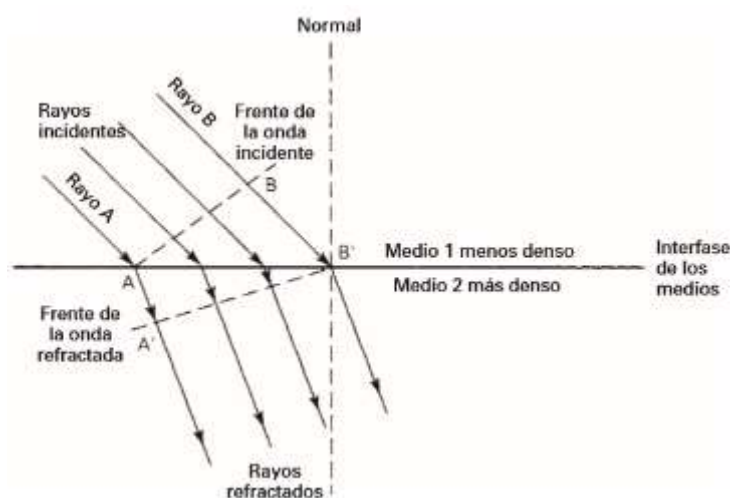


Figura 3-2: Refracción en una frontera plana entre dos medios

Fuente: (Tomasi, 2003, p. 353)

2.1.5.5. Atenuación

La atenuación es la reducción de la densidad de potencia. Una onda al propagarse en el espacio libre y alejarse de su fuente se dispersa en un área mayor, es decir, “el número de ondas por unidad de área es menor”, por consiguiente se produce una pérdida en la densidad de potencia en relación con la distancia, esta pérdida de potencia es conocida como atenuación. (Tomasi, 2003, p. 351)

2.1.5.6. Reflexión

La reflexión electromagnética se produce cuando una onda radio choca con la frontera entre dos materiales de distinta densidad al intentar atravesar de un medio a otro. Dependiendo de la superficie en la que se refleja la señal existen tres tipos de reflexión:

- **Reflexión difusa.** Cuando la superficie en la que se refleja la onda es irregular, esto produce que la onda se refleja en múltiples direcciones.
- **Reflexión especular.** Este tipo de reflexión se produce cuando la onda cae en una superficie lisa.
- **Reflexión semiáspera.** Este tipo de reflexión se produce cuando la onda cae en una mezcla de superficies irregulares y lisas (Tomasi, 2003, p. 356).

En la Figura 4-2 se observa la reflexión electromagnética en una frontera plana entre dos medios.

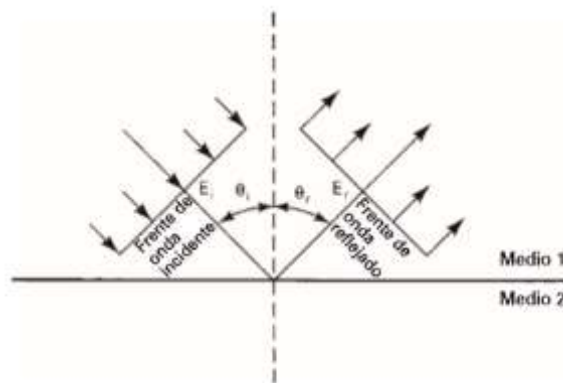


Figura 4-2: Reflexión electromagnética en una frontera plana entre dos medios

Fuente: (Tomasi, 2003, p. 356)

2.1.5.7. Difracción

Se define la difracción como “la modulación o redistribución de la energía dentro de un frente de onda, al pasar cerca de la orilla de un objeto opaco” (Tomasi, 2003 pág. 357). La difracción es la acción de dispersión de una onda en un obstáculo de tamaño equivalente a la longitud de onda de la señal (Tomasi, 2003, p. 357).

La técnica más utilizada para el análisis de problemas por difracción es el principio de Huygens-Fresnel, el cual establece “todo punto sobre determinado frente de onda esférico se puede considerar como una fuente puntual secundaria de ondas electromagnéticas, desde la cual se irradian y se alejan otras ondas secundarias” (Tomasi, 2003, p. 357).

2.1.6. Zona de Fresnel

La zona de Fresnel son elipsoides concéntricos que resultan de la revolución de distintos radios entre el transmisor y receptor con línea de vista. Las zonas de Fresnel calculan la obstrucción producida por un obstáculo a una distancia d , el cual es capaz de reducir el campo eléctrico en el receptor. Para que una zona de Fresnel sea considerada como permisible el nivel de obstrucción no debe sobrepasar el 40%, sin embargo, para garantizar un enlace de calidad es recomendable una obstrucción máxima del 20%. (Padrón et al., 2007, p. 2) (Hernando, 2008, p. 36). En la Figura 5-2, se observa la línea de vista y las zonas de Fresnel entre el Tx y el Rx.

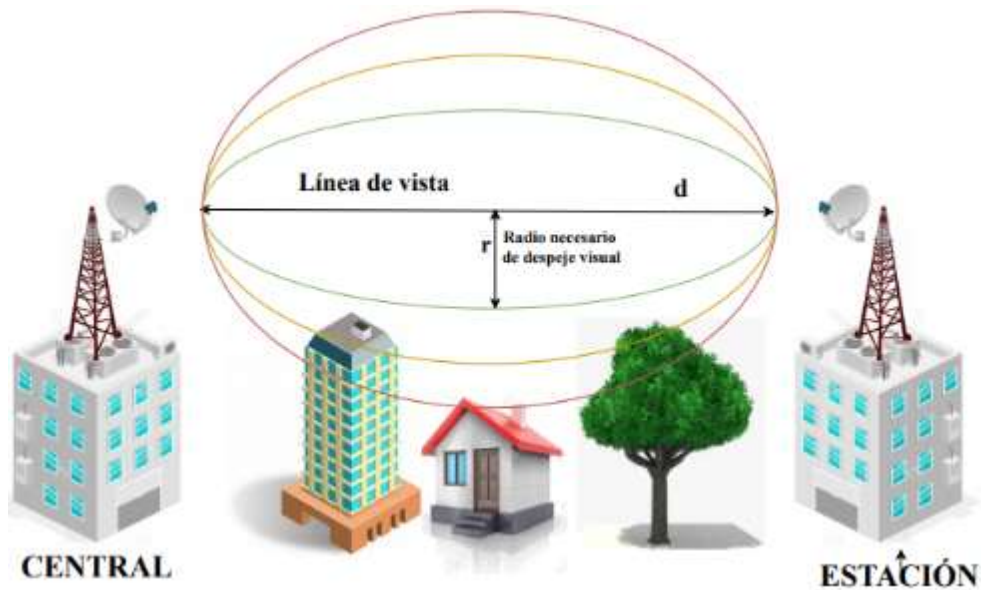


Figura 5-2: Línea de vista y las zonas de Fresnel entre el Tx y el Rx

Fuente: (Cevallos, 2016, p.35)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

2.1.7. Línea de vista

Se denomina línea de vista a la línea recta que conecta el transmisor y el receptor sin obstrucciones como se puede observar en la Figura 5-2, con el fin de lograr una mejor propagación de señales de radiofrecuencia. La línea de vista en un radioenlace toma en cuenta la forma del terreno en el cual se propaga la señal. (Padrón et al., 2007, p.3)

2.1.8. Antenas

Una antena es un dispositivo metálico empleado para radiar y recibir ondas electromagnéticas. Una antena es un sistema conductor que acopla la energía que se encuentra en una línea de transmisión guiada, transformando la energía en ondas electromagnéticas que viajan en el espacio libre, la antena receptora capta las ondas electromagnéticas y las convierte en energía. Un

principio fundamental de las antenas es el llamado principio de reciprocidad el cual establece que las estimaciones de ganancia de antena, ancho de haz y polarización son las mismas tanto para transmisión como para recepción (Tomasi, 2003, p. 372) (Crespo, 2008, p. 15) (Seybold, 2005, p. 38).

2.1.8.1. Parámetros de las antenas

- **Características de radiación de una antena**

Una antena produce un campo de radiación que varía con la dirección en la cual se está irradiando. Se definen los parámetros de intensidad de radiación y densidad de flujo en un punto lejano P de la antena (Hernando, 2008, p. 45) (Aguera et al., 2020, p.57).

La intensidad de radiación se define como la capacidad que posee una antena para irradiar potencia por unidad de ángulo sólido $d\Omega$, la unidad de medida es (Watt/estereorradián). La intensidad de radiación está dada por la siguiente ecuación:

$$i(\theta, \varphi) = \frac{dP(\theta, \varphi)}{d\Omega}$$

La densidad de flujo de potencia es la cantidad de campo eléctrico o magnético que fluye a través de una superficie (dS) medido en (Watt/m^2), como se observa en la siguiente ecuación (Hernando, 2008, p. 45) (Aguera et al., 2020, p.57):

$$\phi(\theta, \varphi) = \frac{dp(\theta, \varphi)}{dS} = \frac{i(\theta, \varphi)}{d^2}$$

- **Ganancia**

La ganancia es la forma en que se reparte la potencia entregada a una antena, hacia espacio libre. A continuación, se describe la ganancia directiva y la ganancia de potencia.

La ganancia directiva es la relación entre la intensidad de radiación de una antena en una dirección particular y la intensidad de radiación producida por una antena de referencia (isótropa) en el mismo punto. La ecuación que la define es:

$$g(\theta, \varphi)_{ant} = \frac{i(\theta, \varphi)_{ant}}{i_{iso}}$$

$$g(\theta, \varphi)_{ant} = \frac{i(\theta, \varphi)_{ant}}{pt/4\pi}$$

En la ganancia de potencia existen varias pérdidas que se dan en el trayecto desde que una antena es alimentada hasta que la potencia es irradiada, tomando en cuenta una antena real con pérdidas, y si se desea que irradie una potencia igual a una antena equivalente sin pérdidas se usa una potencia mayor a la que alimenta la antena. A la relación entre la potencia radiada de una antena con pérdidas y la potencia radiada de una antena sin pérdidas se le conoce como pérdidas del circuito disipativo de la antena (lat), esto está relacionado con la

eficiencia de la antena (Hernando, 2008, pp. 48-49) (Tomasi, 2003, p. 377) (Murillo, 20013, p. 50). La ganancia de potencia está definida por:

$$g^{(\theta,\varphi)} = \frac{g(\theta, \varphi)}{l_{at}}$$

- **Área efectiva**

El área efectiva es un área imaginaria utilizada por una antena receptora para capturar una onda electromagnética y extraer cierta cantidad de potencia enviada por el transmisor, la potencia capturada por el área efectiva es drenada hacia la carga acoplada en la antena receptora. El área efectiva también se define como “la relación entre la potencia que entrega la antena a su carga y la densidad de potencia de la onda incidente”, como se observa en la siguiente ecuación (Aguera et al., 2020, p.59):

$$A_{ef} = \frac{pr}{\phi} (m^2)$$

No necesariamente el área efectiva es igual al área física de una antena, es decir, muchas veces el área efectiva es mucho mayor a su área física (Tomasi, 2003, p. 381) (Aguera et al., 2020, p.59). En términos de ganancia el área efectiva viene dado por:

$$A_{ef} = \frac{\lambda^2 g(\theta, \varphi)}{4\pi} (m^2)$$

- **Patrón de radiación**

El diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena en función del ángulo en una región de campo lejano. Una forma de representar el diagrama de radiación es a través de un patrón bidimensional, en función de los ángulos de azimut y elevación.

Un patrón de radiación está compuesto por varios lóbulos que pueden clasificarse en lóbulos mayores, menores, lateral y posterior. El lóbulo mayor de la antena es el lóbulo donde se produce la ganancia máxima. El ancho de banda (HPBW) de una antena, es la separación angular entre dos puntos del lóbulo principal 3 dB por debajo del punto de ganancia máxima, como se observa en la Figura 6-2. Otro valor de gran interés es el nivel de lóbulo lateral máximo o pico, los lóbulos laterales bajos reducen el riesgo de recepción de señales no deseadas (Seybold, 2005, p. 43) (Balanis, 2005, p. 27).

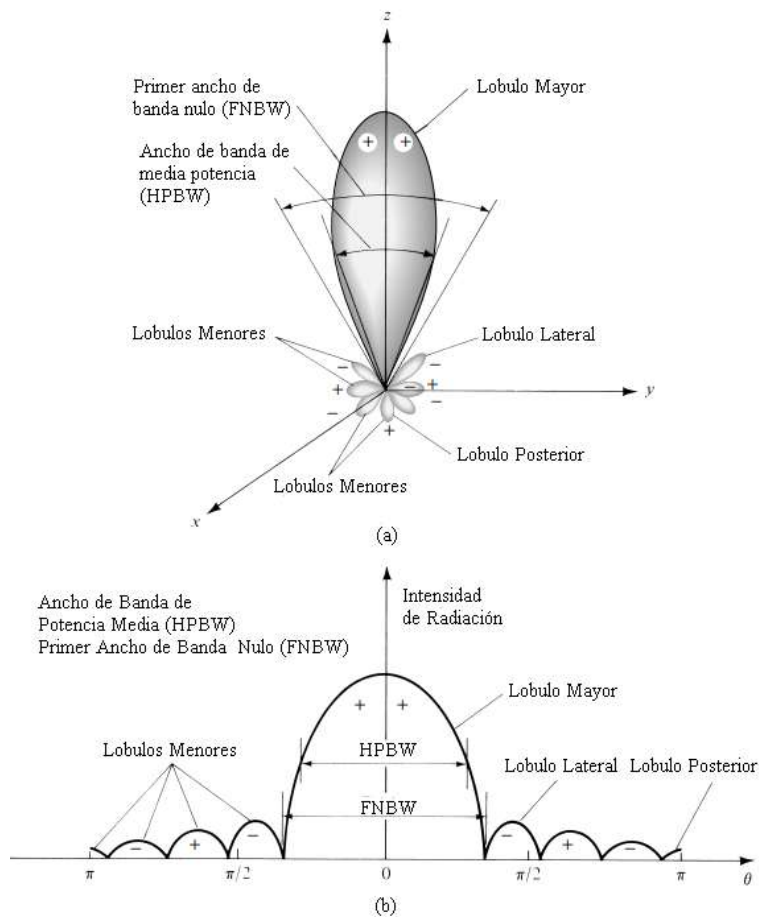


Figura 6-2: (a) Diagrama de radiación de una antena en tres dimensiones, (b) Diagrama de radiación en dos dimensiones

Fuente: (Balanis, 2005, p. 27)

- **Polarización**

La polarización se define como la orientación del plano de un campo eléctrico que es irradiado por una antena. La orientación de una antena se puede determinar por inspección, es decir, una antena puede tener polarización lineal si sus componentes de campo se encuentran en un plano horizontal o vertical, si sus componentes de campo al propagarse describen una elipse se denomina polarización elíptica, y si giran describiendo un círculo se dice que tiene polarización circular (Seybold, 2005, p. 44) (Tomasi, 2003, p. 382).

2.1.8.2. Tipos de antenas

- **Antenas Direccionales**

Las antenas direccionales o también conocidas como antenas directivas son antenas que concentran la mayor cantidad de señal o energía radiada en una dirección en específico, logrando así tener un mayor alcance con un menor ángulo de radiación hacia el dispositivo receptor. Su radiación cuenta con un lóbulo principal y lóbulos secundarios lo que provoca

que irradie en varias direcciones. Por lo general este tipo de antenas son utilizadas en enlaces punto a punto. (Serrano, 2018, p. 11).

- **Antenas Omnidireccionales**

Son antenas con la capacidad de irradiar energía en todas direcciones, es decir teóricamente son capaces de irradiar un valor de potencia igual de forma horizontal en sus 360 grados, con la finalidad de lograr establecer una conexión inalámbrica con todo dispositivo receptor que se encuentre a su alrededor. Este tipo de antenas son utilizadas en enlaces punto multipunto a distancias cortas, debido a que su rango de cobertura es más pequeño respecto a una antena direccional (Serrano, 2018, p.11).

- **Antenas sectoriales**

Este tipo de antenas es una combinación técnica entre antenas direccionales y antenas omnidireccionales. Las antenas sectoriales son capaces de irradiar la señal en forma de sector con un mayor ángulo de radiación en comparación a las antenas direccionales, pero menor a una antena omnidireccional, así también posee un mayor alcance que una antena omnidireccional, pero menor a una antena direccional. Los diseños más usuales para antenas sectoriales son las de 60°, 90° y 120°, este tipo de antenas son muy utilizadas para proveer internet de forma inalámbrica (Serrano, 2018, p. 12).

2.1.9. *Potencia*

2.1.9.1. *Potencia isotrópica efectiva irradiada*

La potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE), es la potencia equivalente con la que una antena isotrópica debería irradiar para lograr un valor igual al de la densidad de potencia de otra antena en una dirección y punto determinado. También se le conoce como la potencia equivalente de transmisión y se expresa como el producto de la potencia radiada (pt) y la ganancia direccional ($g(\theta, \varphi)$), como se expresa en la siguiente ecuación:

$$PIRE = pt \cdot g(\theta, \varphi)$$

También puede expresarse en términos de la potencia de entrada a la antena y la ganancia de potencia (Tomasi, 2003, p. 378) (Vela, 2015, p.19) (Hernando, 2008, p. 52).

$$PIRE = P_{ent} g'(\theta, \varphi)$$

2.1.9.2. *Potencia de recepción*

Se denomina potencia recibida en un sistema de radiocomunicación a la potencia disponible en una antena adaptada capturada en un área equivalente de recepción y se expresa como el producto

entre la densidad de flujo de potencia y el área efectiva de la antena, como se observa en la siguiente ecuación (Hernando, 2008, p. 59):

$$pr = \phi \cdot A_{ef}$$

2.1.10. Pérdidas

2.1.10.1. Perdidas básicas

Se conoce como pérdidas básicas al cociente entre la potencia transmitida por una antena isotrópica y la potencia recibida por otra antena de igual características. Las pérdidas básicas en el espacio libre (l_{bf}) ocurre al propagar una onda electromagnética en el vacío libre de pérdidas por absorción o reflexión producidas por objetos cercanos, este tipo de pérdidas depende mucho de la frecuencia de trabajo y aumentan con la distancia, (Hernando, 2008, pp. 73-75) (Tomasi, 2003, pp. 783-784). Las pérdidas básicas se determinan a través de la siguiente ecuación:

$$l_{bf} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$$

En unidades prácticas

$$L_{bf} = 92.5 + 20 \log f(\text{GHZ}) + 20 \log d(\text{Km})$$

Perdidas básicas en cualquier medio l_b (atenuación de campo)

$$a_e = \left(\frac{e}{e_0}\right)^2$$

$$l_b = l_{bf} + a_e$$

En unidades prácticas

$$L_b = L_{bf} + A_e$$

2.1.10.1. Perdidas de transmisión

Tomando en cuenta antenas ideales transmisora y receptora con ganancias g_t y g_r respectivamente, se definen las pérdidas de transmisión en el espacio libre (L_{tf}) es el cociente entre la potencia entregada a la antena y la potencia de recepción. (Hernando, 2008, pp. 70-73).

$$L_{tf} = \frac{P_{et}}{P_{dr}} = \frac{l_{bf}}{g_t \cdot g_r}$$

En dB

$$L_{tf}(\text{dB}) = L_{bf}(\text{dB}) - G_t(\text{dB}) - G_r(\text{dB})$$

La pérdida de transmisión en un medio arbitrario está dada por:

$$L_t = \frac{P_{et}}{P_{dr}} = a_e \cdot \frac{l_{bf}}{g_t \cdot g_r}$$

$$L_t(dB) = L_{bf}(dB) + A_e - G_t(dB) - G_r(dB)$$

2.1.11. Topologías

2.1.11.1. Punto a punto

La topología de conexión punto a punto es una arquitectura de red que permite la comunicación entre dos nodos o antenas, su principal característica es que permite la comunicación entre dos lugares que están separados a grandes distancias y es muy usado en enlaces Backbone o conexiones que requieren mayor ancho de banda. Para este tipo de conexión los equipos son configurados como punto de acceso (AP) y modo estación respectivamente. La Figura 7-2 muestra un esquema de conexión punto a punto. (Serrano, 2018, p. 27) (Cevallos, 2016, p. 36)

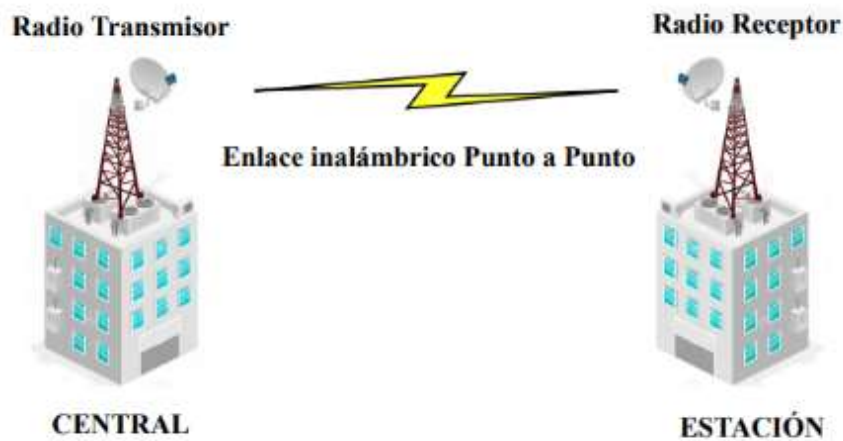


Figura 7-2: Esquema de enlace Punto a Punto

Fuente: (Serrano, 2018, p. 27)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

2.1.11.2. Punto multipunto

La topología de una red punto multipunto es un tipo de conexión centralizada que tiene un dispositivo transmisor, el cual se comunica con varios dispositivos receptores como se puede observar en la Figura 8-2. Este tipo de conexiones utiliza antenas omnidireccionales o a su vez un conjunto de antenas sectoriales. Al igual que la topología punto a punto, la configuración de los equipos se realiza como punto de acceso al equipo central y modo estación a los dispositivos receptores (Serrano, 2018, p. 35) (Cevallos, 2016, p. 36).

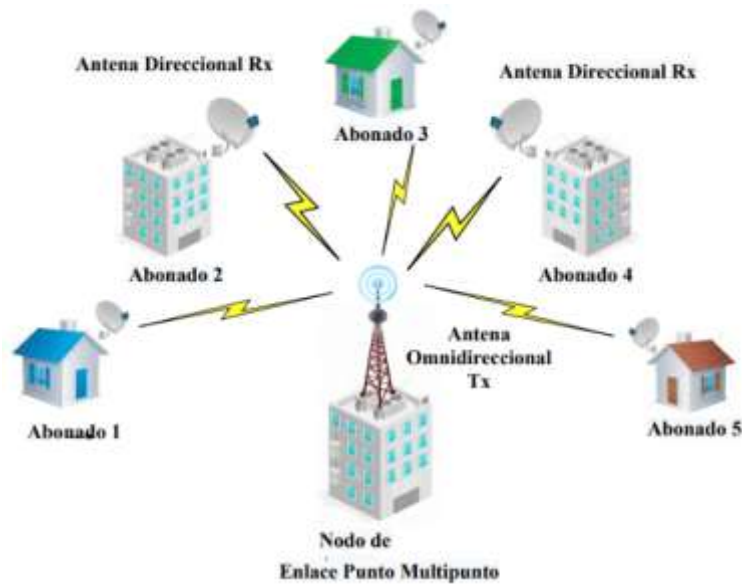


Figura 8-2: Esquema de enlace Punto Multipunto

Fuente: (Serrano, 2018, p. 35)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

2.1.12. Margen de desvanecimiento

El margen de desvanecimiento es la diferencia entre el nivel de potencia recibida y el umbral de recepción o sensibilidad de receptor. El margen de desvanecimiento también es conocido como el nivel de atenuación permisible antes de que el SNR disminuya a un nivel inferior no admisible. (Padrón et al., 2007, p.3)

2.1.13. Umbral de recepción

El umbral de recepción es el valor límite para poder recibir una señal en valores de campo o potencia y está dado por la sensibilidad del receptor. (Padrón et al., 2007, p. 3)

2.2. Tratamiento de la información

2.2.1. Modulación

“Modulación no es más que el proceso de cambiar una o más propiedades de la portadora, en proporción con la señal de información” (Tomasi, 2003, p. 2). Se realiza la modulación para evitar la interferencia con otras señales, por eso no es práctico propagar la señal sin modular a través de medios guiados o no guiados. La señal de información se modula con una señal analógica de mayor frecuencia, la cual se llama portadora. La señal de información puede modular a la

portadora en amplitud, fase o frecuencia. La demodulación es el proceso inverso de la modulación (Tomasi, 2003, p. 2). Existen dos tipos de modulación: modulación analógica y digital.

2.2.1.1. Modulación analógica

A continuación, se describe la modulación de amplitud (AM), modulación de frecuencia (FM) y modulación de fase (PM), ya que una señal analógica puede variar o modular en amplitud, frecuencia o fase.

- **Modulación de amplitud (AM)**

La modulación de amplitud (AM) es el proceso de variar la amplitud de la señal portadora en función de la señal moduladora, la forma de la onda modulada se llama envolvente AM como se observa en la Figura 9-2 (Tomasi, 2003, p. 100).

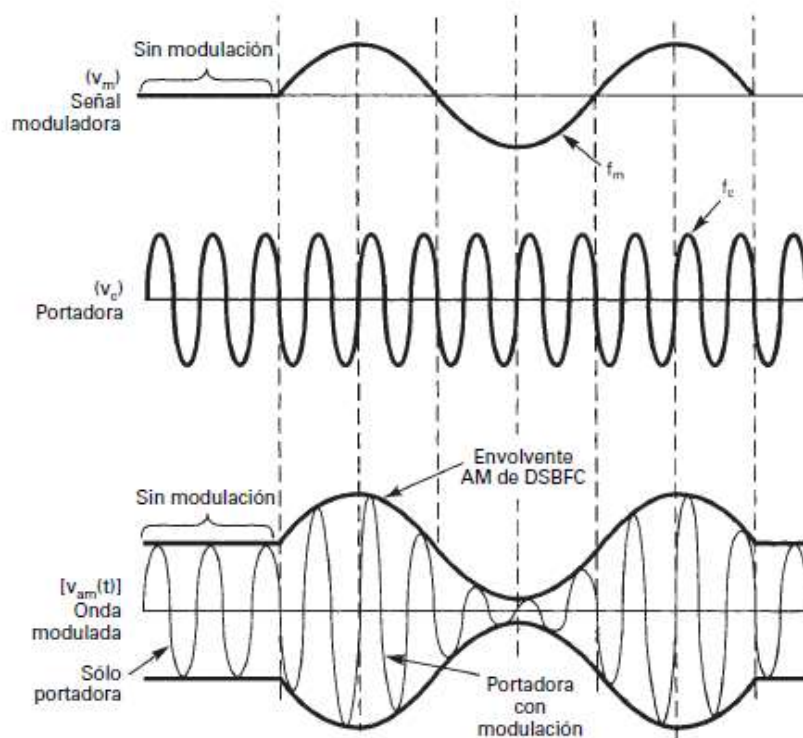


Figura 9-2: Generación de la modulación de amplitud

Fuente: (Tomasi, 2003, p. 100).

La frecuencia de la señal portadora es relativamente alta, en función de la señal moduladora. Existe algunos tipos de modulación AM, la que se usa con más frecuencia es la AM de portadora de máxima potencia y doble banda lateral (DSBFC). Este tipo de modulación es utilizada para emisiones de señales de audio, video y para radiocomunicaciones móviles en

dos sentidos. La implementación de un modulador AM es de bajo costo y de baja calidad en comparación a otro tipo de moduladores (Tomasi, 2003, p. 100).

- **Modulación angular**

La modulación angular es la variación del ángulo de fase (θ) de una onda senoidal con respecto al tiempo. La modulación angular tiene dos formas, la modulación de frecuencia (FM) y la modulación de fase (PM). La modulación de frecuencia es el proceso de variar la frecuencia de una onda portadora en proporción a la amplitud de la señal moduladora, mientras que, la modulación de fase es la variación de fase de la señal portadora en proporción a la amplitud de la señal moduladora. La amplitud de la señal portadora permanece constante en ambos casos (Tomasi, 2003, p. 229). En la Figura 10-2, el literal (a) es la señal portadora no modulada, (b) es la señal moduladora, (c) es la señal modulada en frecuencia y por último en el literal (d) es la señal modulada en fase (Tomasi, 2003, p. 233).

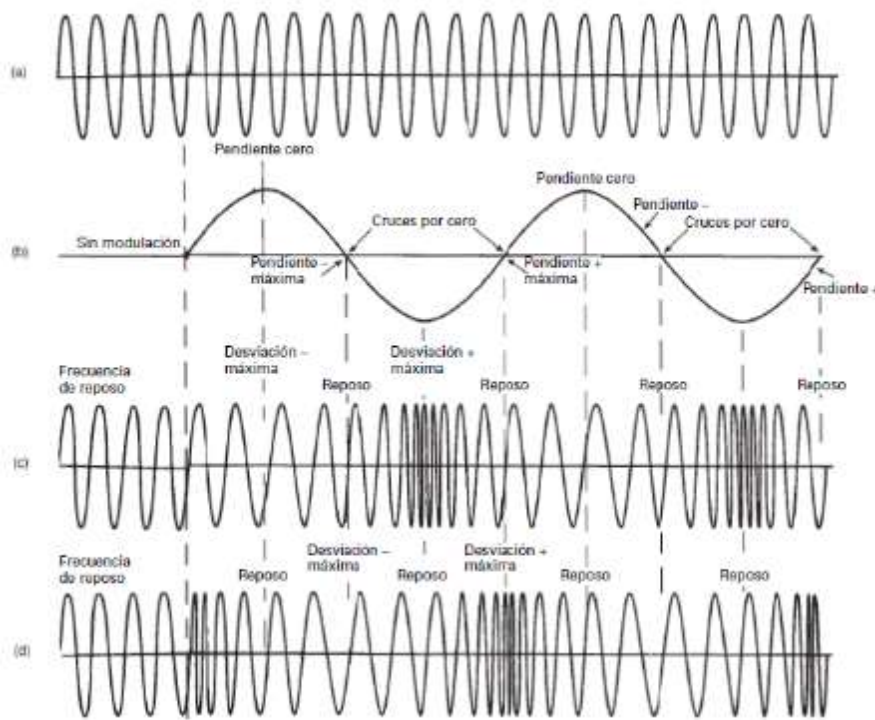


Figura 10-2: Modulación de fase y frecuencia de una señal portadora senoidal

Fuente: (Tomasi, 2003, p. 233).

Algunas ventajas de la modulación angular respecto a la modulación de amplitud es la reducción de ruido, brinda mejor fiabilidad al sistema y realiza un uso más eficiente de la potencia, también tiene desventajas como la necesidad de mayor ancho de banda y el uso de circuitos más complicados, tanto en los transmisores como en los receptores. La modulación angular es utilizada para radioemisión comercial, televisión y transmisión de sonido, radioteléfonos, radios celulares y sistemas de comunicaciones por microondas y satelitales (Tomasi, 2003, p. 228).

2.2.1.2. Modulación digital

- **Modulación por corrimiento de amplitud (ASK)**

La modulación por corrimiento de amplitud, también conocida como modulación de encendido-apagado (OOK) es el proceso de encender o apagar la señal portadora. La señal moduladora es una forma de onda binaria normalizada, en la que $V=1$ es un 1 lógico y $V=-1$ es un 0 lógico. Cuando se transmite la señal portadora es constante en amplitud, frecuencia y fase (Tomasi, 2003, p. 471). En la figura 11-2, se muestra la modulación ASK, en el literal (a) se muestra la señal binaria de entrada y el literal (b) muestra la forma de onda modulada.

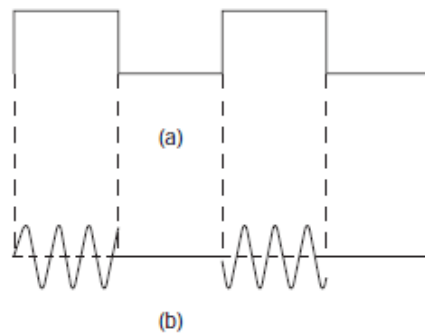


Figura 11-2: Modulación ASK

Fuente: (Tomasi, 2003 pág. 471).

- **Modulación por corrimiento de frecuencia (FSK)**

La modulación FSK es una modulación de frecuencia, amplitud constante y es parecido a la modulación FM. La señal moduladora es una señal binaria que varía entre dos valores de voltaje (0 o 1). Cuando la señal binaria de entrada cambia de un 0 lógico a un 1 lógico y viceversa, la frecuencia de salida se desplaza entre dos frecuencias: una frecuencia de marca o frecuencia de 1 lógico (f_m), y una frecuencia de espacio o de 0 lógico (f_s). En la Figura 12-2, se observa el proceso de la modulación FSK, en el literal (a) se muestra la señal portadora, en el (b) la señal moduladora y finalmente en (c) la señal modulada. Se podría decir que la modulación FSK es sencilla y de baja eficiencia (Tomasi, 2003, p. 471).

- **Modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK)**

La modulación BPSK es equivalente a la modulación de fase, y es una modulación digital angular de amplitud constante. La señal moduladora es una señal binaria que varía entre dos valores de voltaje (0 o 1). La señal modulada varía entre 0° y 180° cuando cambia el estado la señal moduladora (Tomasi, 2003, p. 478). En la Figura 13-2, se observa el proceso de la modulación BPSK, en el literal (a) se muestra la señal portadora, en el (b) la señal

moduladora que varía entre 0 y 1 lógico, y finalmente en (c) la señal modulada que se desfasa en 180° cuando cambia de estado la señal moduladora.

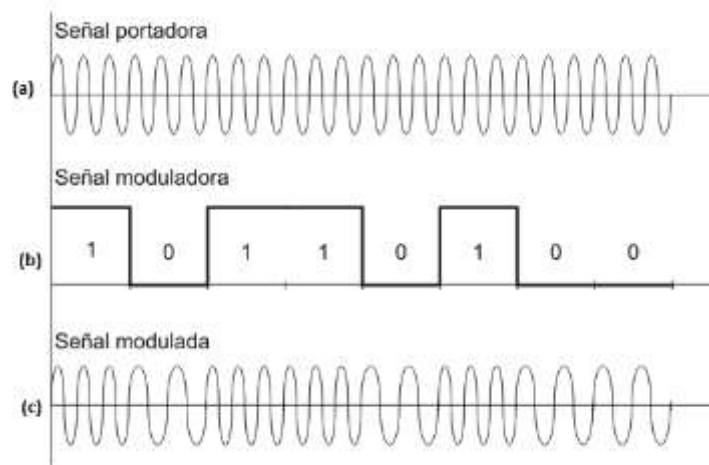


Figura 12-2: Modulación FSK

Fuente: (Textos científicos, 2005)

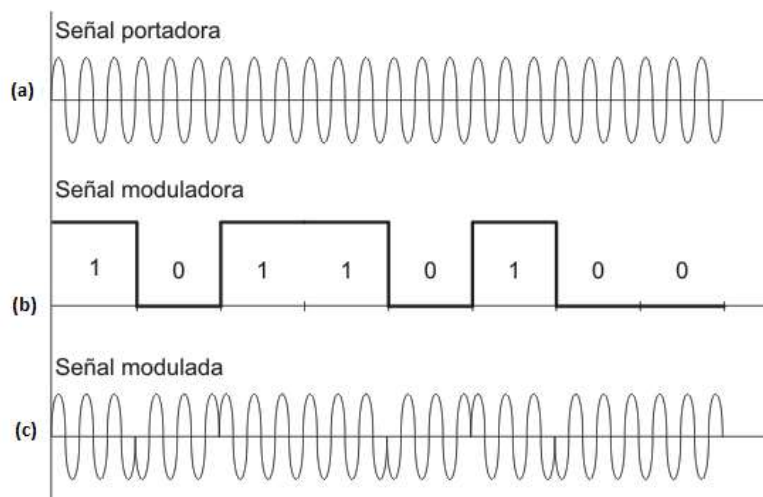


Figura 13-2: Modulación BPSK

Fuente: (Textos científicos, 2005)

- **Modulación por corrimiento de fase en cuadratura (QPSK)**

La modulación QPSK es una modulación digital angular de amplitud constante. QPSK utiliza la técnica de codificación M-aria, en la que $M=4$, con esta técnica de codificación se utiliza dos bits que se combinan para tener cuatro condiciones posibles: 00, 01, 10 y 11. El desplazamiento de fases es de $+45^\circ$ o -45° de la señal modulada, como se observa en la Figura 14-2 (Tomasi, 2003, p. 484).

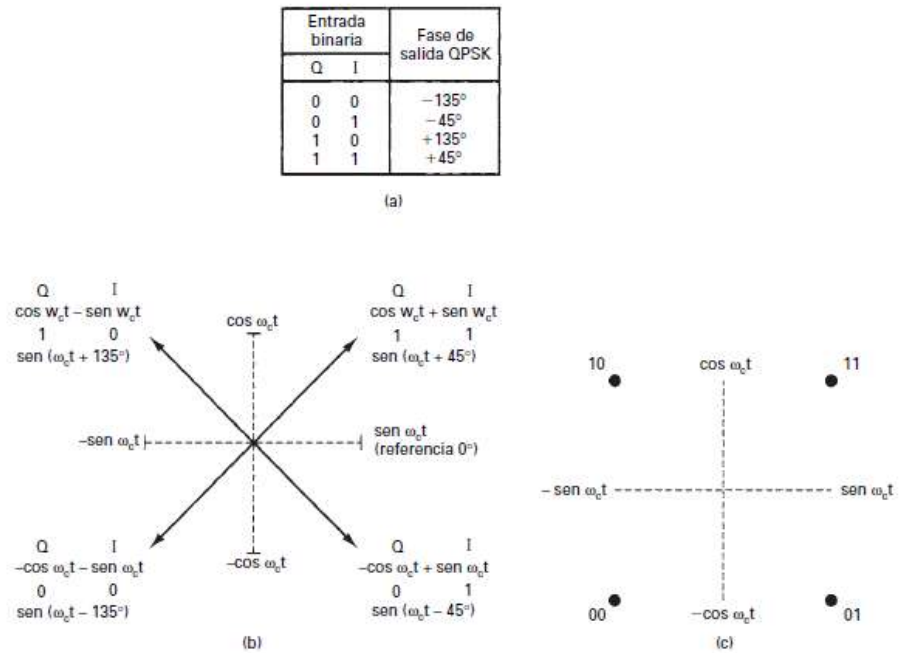


Figura 14-2: Modulador QPSK: (a) tabla de verdad; (b) diagrama fasorial; (c) diagrama de constelación

Fuente: (Tomasi, 2003, p. 486).

La modulación QPSK requiere dos señales de control, conocidas como componentes en fase (I) y en cuadratura (Q), para implementar los estados complejos de amplitud y fase de la portadora para la modulación en cuadratura. Un modulador QPSK es dos moduladores BPSK en paralelo (Tomasi, 2003, p. 484). En la Figura 15-2, se muestra una señal modulada desfasada en 45° con amplitud constante.

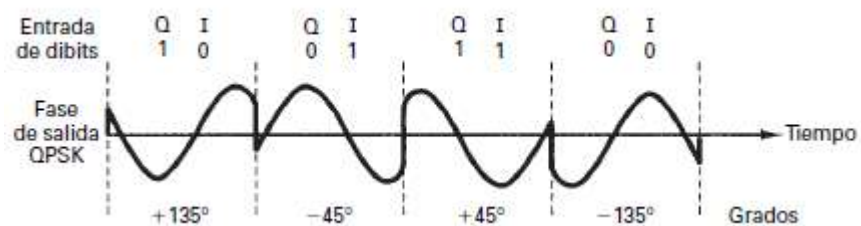


Figura 15-2: Señal de salida modulada con QPSK

Fuente: (Tomasi, 2003, p. 486).

- **Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)**

La modulación de amplitud en cuadratura o QAM es una técnica de modulación digital que utiliza los datos que se transmiten para variar tanto la amplitud como la fase de una forma de onda sinusoidal, mientras mantiene su frecuencia constante. (Festo Didactic, 2016, p. 9)

Los códigos de modulación de amplitud en cuadratura se utilizan en frecuencias de microondas para la transmisión con una eficiencia espectral mejorada en anchos de banda de canal limitados y es utilizado en aplicaciones que van desde comunicaciones inalámbricas de corto alcance hasta sistemas telefónicos (Campbell, 1989, p. 410).

La modulación QAM requiere dos señales de control, conocidas como componentes en fase (I) y en cuadratura (Q), para implementar estados complejos de amplitud y fase de la portadora para la modulación en cuadratura. El número de estados de QAM es 2^N , determinado por el número de bits binarios por símbolo. Por lo tanto, un sistema 16QAM (N=4), la portadora se modula en cualquiera de los 16 estados diferentes de amplitud y fase, mientras que, la portadora de un sistema 256QAM (N=8) tiene 256 estados de fase y amplitud (Festo Didactic, 2016, p. 9).

En la Figura 16-2 se observa un diagrama de constelación para una modulación 16QAM (4 símbolos por modulación). El diagrama de constelación es una representación pictórica que muestra todos los posibles símbolos de modulación como un conjunto de puntos. La posición de cada punto en el diagrama muestra la amplitud y la fase del símbolo correspondiente (Festo Didactic, 2016, p. 10).

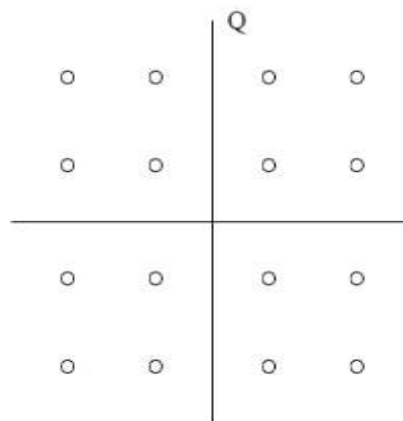


Figura 16-2. Constelación 16QAM

Fuente: (Festo Didactic, 2016, p. 10)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

2.2.2. *Compresión de video*

Obtener el video digital desde la fuente (de una cámara o un clip almacenado) a su destino, implica varios procesos como la compresión (codificación) y la descompresión (decodificación) (Richardson, 2003, p. 3). Las técnicas de compresión de video brindan soluciones eficientes para representar datos de video de una manera más compacta y robusta, de modo que el almacenamiento y la transmisión de video se pueda realizar a menor costo, tamaño, ancho de banda y consumo de energía. La ITU-T e ISO / IEC son las dos principales organizaciones

internacionales que deciden los estándares para las compresiones de video. El estándar ISO / IEC MPEG incluye MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, MPEG-4 Parte 10 (AVC), MPEG-7, MPEG-21 y M-JPEG. El estándar ITU-I VCEG incluye las series H.26x, H.261, H.263 y H.264 (Mahendran y Mahalakshmi, 2017, p. 1).

La compresión de video es una conversión que tiene dos beneficios importantes:

1. Permite utilizar el video digital en entornos de transmisión y almacenamiento que no admitirían el video sin comprimir.
2. La compresión de video permite un uso más eficiente de los recursos de transmisión y almacenamiento, ya que incluso con los constantes avances en la capacidad del almacenamiento y transmisión, siempre la compresión de los servicios será una componente esencial.

Los algoritmos de compresión de video funcionan eliminando la redundancia en los dominios temporal, espacial y / o de frecuencia. La Figura 17-2, muestra un ejemplo de un solo fotograma de video. En las regiones resaltadas, hay poca variación del contenido de la imagen, por lo tanto, existe una redundancia espacial. En la Figura 18-2 muestra el mismo fotograma después de que las regiones resaltadas se hayan reducido, eliminando parte de alta frecuencia.



Figura 17-2: Imagen de video sin comprimir

Fuente: (Richardson, 2003, p. 4)

El ojo y el cerebro humanos son más sensibles a las frecuencias más bajas y, por lo tanto, la imagen sigue siendo reconocible a pesar de que se ha eliminado gran parte de la "información": (Richardson, 2003, p. 4).



Figura 18-2: Imagen comprimida

Fuente: (Richardson, 2003, p. 4).

2.2.2.1. H.264

H.264 un proyecto desarrollado entre la ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) y el ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG). La ITU-T (International Telecommunication Union) es el sector que coordina los estándares de telecomunicaciones. La ISO significa Organización Internacional de Normalización e IEC significa International Electrotechnical Commission, el cual supervisa las normas eléctricas, electrónicas y tecnologías relacionadas. El nombre de H.264 es utilizado por la ITU-T, también es conocido como estándar internacional 14496-10 o MPEG-4 parte 10/AVC (codificación de video avanzada) por la ISO/IEC (AXIS COMMUNICATIONS, 2008, p.3) (Ostermann et al., 2004, p.11).

El estándar H.264/MPEG-4 AVC es una evolución de los estándares de codificación anteriores como del H.261 (1990), MPEG-1 Video (1993), MPEG-2 Video (1994), H.263 (1995, 1997), MPEG-4 Visual o parte 2 (1998). Estos estándares son el progreso tecnológico de la compresión y la adaptación de la codificación de video a diferentes aplicaciones y redes. El estándar H.264/MPEG-4 AVC se desarrolló en respuesta a la creciente necesidad de una mayor compresión de imágenes en movimiento para diversas aplicaciones como videoconferencia, medios de almacenamiento digital, transmisión de televisión, transmisión por Internet, entre otros. (Ostermann et al., 2004, p.12) (ITU, 2019, p. 5)

Como se puede observar en la Figura 19-2 el estándar H.264/MPEG-4 AVC se compone de varias etapas de procesamiento:

- Estimación de movimiento e intraestimación.

- Transformación (y Transformación inversa)
- Cuantificación (y cuantificación inversa)
- Filtro de bucle
- Codificación de entropía

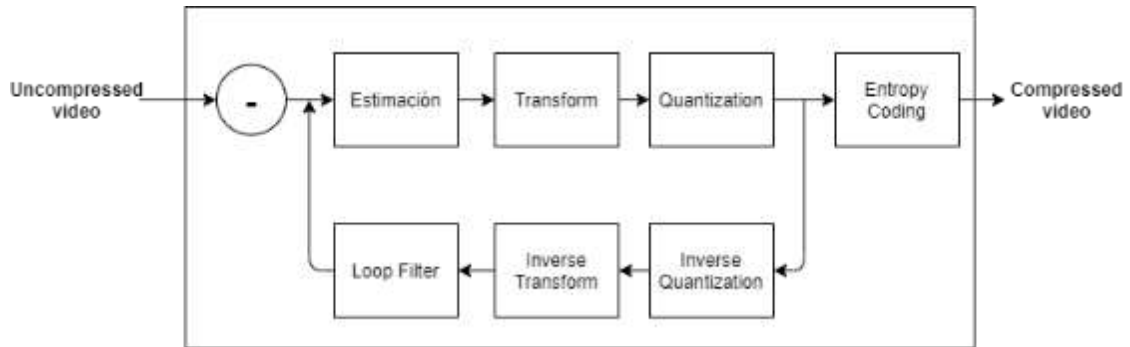


Figura 19-2: Diagrama de bloques general de H.264 / MPEG-4 AVC

Fuente: (LSI, 2003, p. 2)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

La etapa de estimación de movimiento se utiliza para identificar y eliminar las redundancias temporales que existen entre imágenes individuales. En los casos en que no se puede explotar la estimación del movimiento, se utiliza la intraestimación, la cual intenta predecir el bloque actual extrapolando los píxeles vecinos de bloques adyacentes en un conjunto definido de direcciones diferentes. Con los resultados de las etapas de estimación de movimiento o intraestimación se transforman del dominio espacial al dominio de frecuencia. Los coeficientes de la etapa de transformación están cuantificados, lo que tiende a eliminar los coeficientes de alta frecuencia, mientras se mantiene la calidad de percepción. El cuantificador también se utiliza para controlar la tasa de bits de salida. El filtro de bucle opera en macrobloques de 16x16 como en límites de bloque de 4x4, modificando los dos píxeles a cada lado del macrobloque o límite de bloque utilizando un filtro no lineal de adaptación de contenido. La codificación de entropía mejora la eficiencia de la codificación al asignar un número menor de bits a los símbolos utilizados con frecuencia y un mayor número de bits a los símbolos utilizados con menor frecuencia (LSI, 2003, p. 2).

Algunas aplicaciones del estándar H.264/MPEG-4 AVC:

- Difusión por cable, satélite, módem por cable, DSL, terrestre, etc.
- Almacenamiento interactivo o en serie en dispositivos ópticos y magnéticos, DVD, etc.
- Servicios de transmisión de datos sobre ISDN, Ethernet, LAN, DSL, redes inalámbricas y móviles, módems, etc. o combinación de estos.
- Servicios de transmisión de video bajo demanda o multimedia a través de ISDN, cable módem, DSL, LAN, redes inalámbricas, etc.

- Servicios de mensajería multimedia (MMS) sobre ISDN, DSL, ethernet, LAN, redes inalámbricas y móviles, etc. (Wiegand et al, 2003, p.560).

2.2.2.2. H.265

Recomendación ITU-T H.265/Norma internacional ISO/IEC23008-2 representa una evolución de las Recomendaciones de codificación de vídeo existentes (UIT-T H.261, UIT-T H.262, UIT-T H.263 y UIT-T H.264) y se desarrolló en respuesta a la creciente necesidad para una mayor compresión de imágenes en movimiento para diversas aplicaciones tales como transmisión por Internet, comunicación, videoconferencia, medios de almacenamiento digital, transmisión de televisión, entre otros. También está diseñado para permitir el uso de la representación de video codificado de una manera flexible para una amplia variedad de entornos de red (ITU, 2019, p.3).

H.265/HEVC tiene la misma estructura básica que los estándares anteriores, como MPEG-2 Video y H.264/AVC. Sin embargo, H.265/HEVC contiene algunas mejoras como:

- Partición más flexible, desde tamaños de partición grandes a pequeños.
- Mayor flexibilidad en los modos de predicción y tamaños de bloques transformados.
- Interpolación y filtros de desbloqueo más sofisticados.
- Predicción y señalización de modos y vectores de movimiento más sofisticados.
- Características para admitir un procesamiento paralelo eficiente.

El estándar H.265/HEVC está diseñado para lograr múltiples objetivos: eficiencia de codificación, facilidad de integración del sistema de transporte, resistencia a la pérdida de datos, y la capacidad de implementación utilizando arquitecturas de procesamiento paralelo. Las cámaras IP utilizan los estándares H.264 y H.265, para reducir el ancho de banda y el almacenamiento de la red (Uhrina et al., 2014, p.368)

En la Tabla 5-2, se puede observar algunas diferencias entre H.264 y H.265 (Weir et al., 2017, p.2):

Tabla 5-2: Diferencias entre H.264 y H.265

Características	H.264/ AVC	H.265/HEVC
Modelo de compresión	Híbrido Espacial/temporal Predicción	Híbrido mejorado Espacio temporal Predicción
Tamaño de fotograma	4K / 2160p (4096 x 2.304)	8K / 4320p (8192 x 4.320)
Formato de video	1080p30	2160p60
Velocidad de fotogramas	59,94 fps	300 fps
Ancho de banda objetivo	50% de MPEG-2 / H.262	50% de H.264 / AVC

Fuente: (Weir et al., 2017, p.2)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

2.2.3. Codificación de canal

La codificación de canal agrega redundancia a la señal de información para hacerlo más robusto contra el ruido, interferencia y desvanecimiento. Se utiliza porque el ruido y los errores son esencialmente inevitables en muchos sistemas de comunicación, ya sea inalámbricos o no. La codificación de canales agrega cuidadosamente la redundancia a un mensaje para que se pueda transmitir de manera confiable sobre canales ruidosos (Pfister, 2014, p.1).

La codificación de canal es diferente a la codificación de fuente, la codificación de fuentes corrige errores causados por el ruido del canal y la codificación de fuente codifica la información en una forma digital. Existen dos técnicas principales para reducir errores de los datos a la salida de un sistema de comunicación: FEC (Corrección de errores directa) y ARQ (Requisición de repetición automática) (Couch, 2008, p. 19).

2.2.3.1. Forward Error Correction (FEC)

En un sistema FEC, los datos transmitidos tienen suficientes datos redundantes para que el receptor detecte y corrija errores por sí solo y no requiera de retransmisión del remitente. El codificador FEC se utiliza en canales simplex o unidireccionales, y no realiza ACK/NAC ya que causaría retardos en el envío de información (Couch, 2008, p. 19).

La desventaja de aumentar bits redundantes a la información es que aumenta el ancho de banda y la velocidad de transmisión de la señal codificada. En la Figura 20-2, se puede observar un sistema básico de comunicación donde se encuentra la codificación y decodificación (Couch, 2008, p. 20).

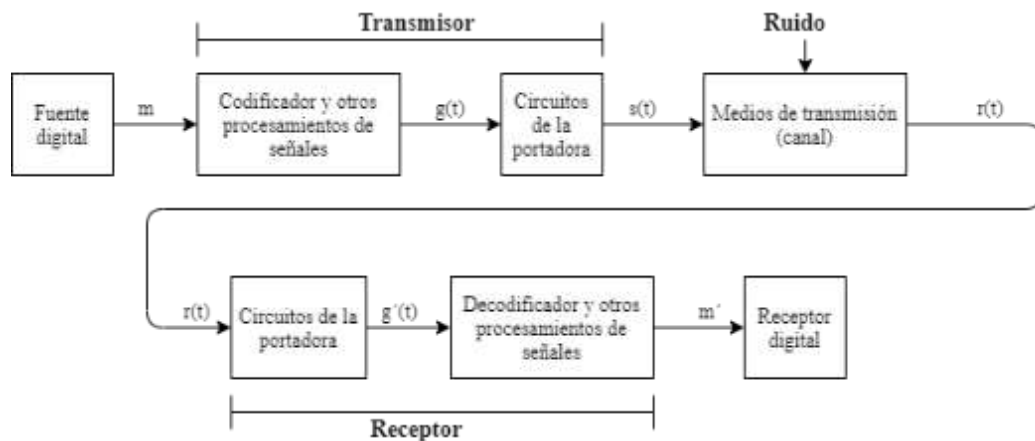


Figura 20-2: Sistema digital genérico de comunicación con FEC

Fuente: (Couch, 2008, p. 20)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Clasificación de las categorías de los códigos FEC (Weihong, 2015):

- Códigos de bloques (codificador sin memoria)
- Códigos convolucionales (codificador con memoria)
- Códigos cíclicos
- Códigos Reed-Solomon
- Código Turbo

2.2.3.2. Automatic Repeat Request (ARQ)

La función de una codificación ARQ es detectar de manera confiable si la información recibida contiene uno o más errores. En el caso de que una palabra recibida contenga errores, se envía una solicitud de retransmisión de la misma palabra desde el receptor al transmisor, entonces el circuito receptor detecta errores de paridad en un bloque de datos. (Ryan et al., 2009, p.3).

La ARQ generalmente usa un canal dúplex o bidireccional, porque si los datos se recibieron sin errores el terminal receptor transmite un ACK o una requisición de retransmisión (NAC) si los datos contienen errores. (Couch, 2008, p. 19). El transmisor envía una palabra de código (o paquete codificado) y permanece inactivo hasta que el receptor devuelve la señal de estado ACK/NAC. Si el receptor envía un ACK, el trasmisor envía un nuevo paquete; de lo contrario, si envía NAC, el trasmisor retransmite el paquete actual, que se almacenó en un búfer. El método de detener y esperar es ineficaz debido al tiempo de inactividad que se pasa esperando la confirmación. En la Figura 21-2, se puede observar un sistema de comunicación con un codificador ARQ. (Ryan et al., 2009, p.4).

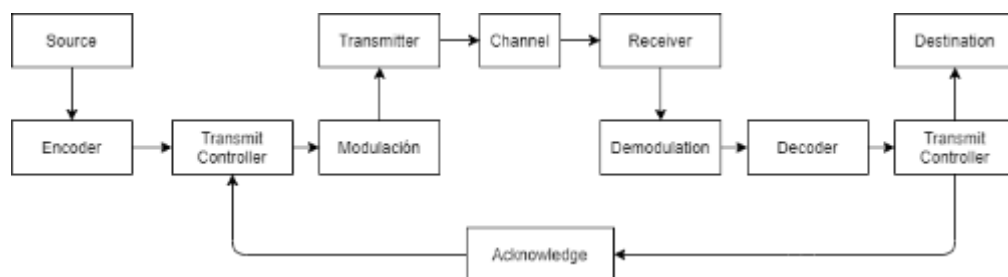


Figura 21-2: Sistema digital genérico de comunicación con ARQ

Fuente: (Agrawal et al., 2002, p. 8)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

También existen esquemas híbridos FEC/ARQ en los que se produce una solicitud de retransmisión si el decodificador no corrige los errores incurridos en el canal y detecta este hecho. En este caso, se dice que los códigos son códigos de detección y corrección de errores. (Ryan et al., 2009, p.4).

2.2.3.3. Código Convolutivo

En este tipo de codificación trabaja a través de registros de desplazamiento de longitud L en que se desplazan k bits de entrada, es decir, por cada trama de k bits de entrada se obtiene una trama con n bits de salida, la velocidad de codificación utilizada se da en relación $R=k/n$ en donde $n>k$ el cual proporciona redundancia de datos para garantizar una mayor protección en la transmisión de información (Couch, 2008, p. 22). En la Figura 22-2, se muestra un ejemplo de esquema de codificación convolutiva con $k=3$, $n=4$ y $L=4$.

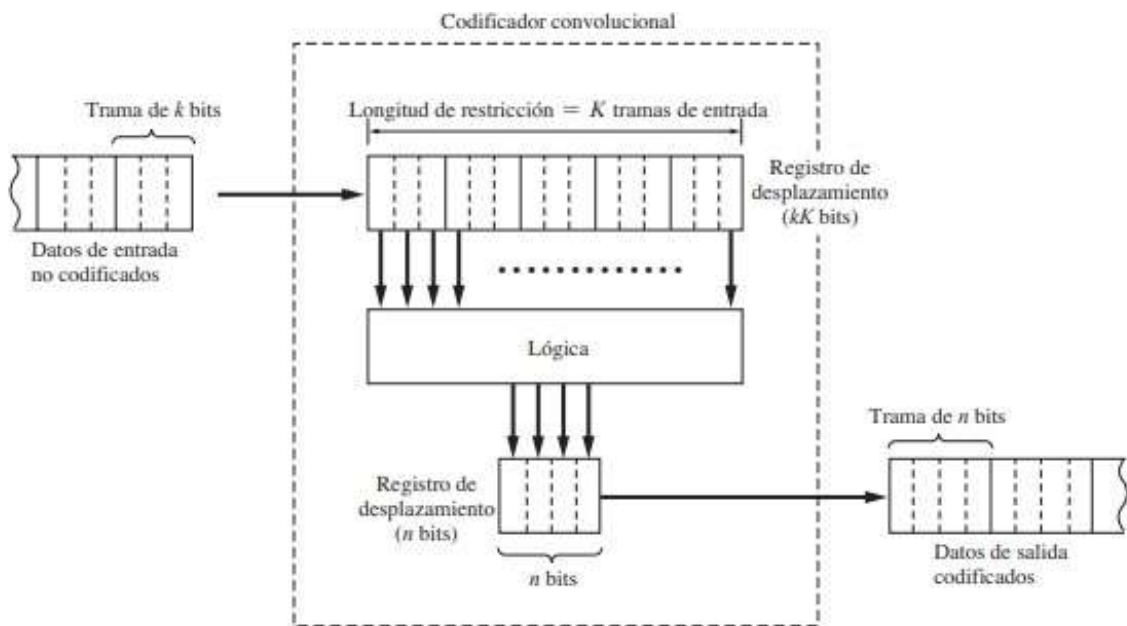


Figura 22-2: Esquema de codificación convolutiva $R = 3/4$

Fuente: (Couch, 2008, p. 20)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

2.2.4. Resolución de pantalla

La resolución se define como el número máximo de píxeles distintos que se pueden mostrar en una imagen. Dado que la resolución de una imagen está determinada por la cantidad de píxeles. Los píxeles son el punto más pequeño que muestra el color en una imagen, con elementos que componen una imagen (SCENE SERVERS, 2017, p. 1).

La resolución es una medida de la nitidez de la imagen, la cual puede verse afectado por varios factores, por ejemplo, el número de líneas o píxeles que componen una imagen, el método de escaneo (entrelazado o progresivo), la velocidad de cuadro o campo, el rango de contraste y la gama de colores. (SCENE SERVERS, 2017, p. 2).

2.2.4.1. SD

La definición estándar (SD) una 704x576 (PAL) o 720x480 (NTSC) tiene una imagen de formato 4: 3, la imagen se ve más suave o casi borrosa en comparación con las imágenes de alta definición actuales. Una razón de esto es la falta de resolución que resulta en menos detalles. Esta resolución reduce la cantidad de información de video en la señal en comparación con HD o megapíxeles, lo que ahorra ancho de banda y reduce las necesidades de almacenamiento de video. Una de las aplicaciones de los sistemas SD es de video vigilancia. (SCENE SERVERS, 2017, p. 2)

2.2.4.2. HD

Las imágenes HD contienen 720, 1080 y 1440 filas de píxeles que forman una imagen en formato 16:9. Los megapíxeles, aunque también son de alta resolución, siguen pautas de imagen no estándar, tiene mayor resolución que SD. (BOSCH, 2018, p.4). Las resoluciones más usadas son:

- 2560 x 1440 píxeles.
- 1920 x 1080 píxeles.
- 1280 x 720 píxeles.

2.3. Parámetros de medición

2.3.1. Indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI)

El RSSI mide el nivel de potencia de la señal recibida en dBm y es un valor negativo. El RSSI mientras más cercano a cero, mejor será la señal (Comunidad Huawei Enterprise, 2019). A continuación, se muestra una escala del RSSI:

- 0 dBm: señal ideal.
- -40 a -60 dBm: señal idónea, para una transferencia de datos estables.
- -70 dBm: se considera una señal débil.

2.3.2. Piso de ruido (Noise floor)

El piso de ruido es todas las señales interferentes no deseadas (son todas las señales distintas a la que se está monitoreando), además, el piso de ruido puede ser causado por el ruido térmico, ruido atmosférico y ruido de los componentes utilizados en un sistema de comunicación. Mientras menor sea el piso de ruido mucho mejor, ya que puede degradar la fuerza de la señal inalámbrica recibida (Comunidad Huawei Enterprise, 2019).

2.3.3. Relación señal a ruido

Es la relación entre el nivel de potencia de la señal deseada y el nivel de potencia de ruido producida en el receptor, y se lo analiza en un punto en el que se puede separar la señal de voz con la señal banda base para ser analizados independientemente (Tomasi, 2003). El SNR ideal es mayor o igual a 30 dB (Escobedo, 2019, p. 45).

2.3.4. Retardo (Delay)

El delay es la suma de los retardos temporales o es la latencia media calculada sobre un período de tiempo. El delay está constituido por el retardo de propagación y de la transmisión del paquete. Una forma de medir el delay es enviar paquetes al mismo tiempo y en el receptor comparar el tiempo de llega, obteniendo así la diferencia (Ferro y César, 2011, p. 114).

2.3.5. Variación del retardo (jitter)

El jitter se define como la variación de tiempo entre la llegada de paquetes, el cual es causado por la congestión de la red, pérdida de sincronización o porque los paquetes siguen diferentes rutas para llegar a su destino. El jitter se mide a partir de la suma de la variación del retardo en un intervalo de tiempo, el incremento del jitter puede determinar una posible pérdida de paquetes. El jitter se mide en las interfaces de red donde se desee detectar la congestión de red (Ferro y César, 2011, p. 115).

2.3.6. Throughput

El Throughput es la cantidad de datos que se puede transferir por unidad de tiempo a través de la red de un lugar a otro. El valor puede variar dependiendo del protocolo (UDP O TCP) o del tipo de tráfico de datos (HTTP, FTP, entre otros) (Vesga y Granado, 2012, p.22). A continuación, se muestra la ecuación del Throughput:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Bytes} * 8}{\text{Tiempo}(s)} \text{ (bps)}$$

2.3.7. Tasa de error de bits (BER)

La BER de un sistema de comunicación digital puede definirse como la probabilidad de que cualquier bit transmitido a través del sistema se reciba con error, por ejemplo, un 1 transmitido se

recibirá como un 0 y viceversa. El BER se puede medir transmitiendo un número finito de bits a través del sistema y contando el número de errores de bits recibidos (Maxim integrated, 2004, p.1). El BER puede ser causado por el ruido aleatorio, por lo tanto, ocurren en momentos aleatorios (Maxim integrated, 2004, p.1). El BER se calcula dependiendo si el medio tiene un desvanecimiento de tipo AWGN, Rayleigh o Rice.

2.3.8. Pérdidas de paquetes

La pérdida de paquetes puede suceder por la congestión de red, ancho de banda limitado, errores en los enlaces, enlaces caídos, entre otros. La pérdida de paquetes es muy notoria en una transmisión de datos a través del protocolo UDP, debido a que llega la información incompleta y no puede ser recuperada. Por ejemplo, en una transmisión de video cuando llega entre cortado el audio o no se visualiza bien la imagen existe una pérdida de paquetes. Mientras que, si utiliza el protocolo TCP para transmitir datos y existe pérdida de paquetes, vuelve a retransmitir generando latencia. Por ejemplo, si durante la transmisión de video existe pérdida de paquetes, congela la imagen (Ferro y César, 2011, p. 115).

2.3.9. Calidad de conexión del cliente (CCQ)

La calidad de conexión del cliente es un valor porcentual que muestra la eficiencia del uso del ancho de banda, un valor cercano al 100% es lo ideal para tener un buen enlace, sin embargo, los valores recomendables oscilan entre 90%, 70% hasta un mínimo de 50%, a pesar de que depende de factores externos para que este valor pase de aceptable a malo. Los factores que pueden degradar la calidad de la señal transmitida son la lluvia o la neblina, ya que la señal sufre absorción y atenuación (Freire, 2019, p. 21). A un menor nivel de CCQ, mayor nivel de retransmisión por pérdida de paquetes (Escobedo, 2019, p. 40).

2.4. Servicios de video

2.4.1. IPTV

IPTV es una forma de transmitir señales de televisión digital mediante el uso de redes IP para llegar a los usuarios. IPTV brinda servicios multimedia como: televisión, vídeo, audio, texto, gráficos y datos, con niveles razonables de calidad de servicio, seguridad, interactividad y confianza (López et al., 2013, p.18).

IPTV es un servicio de televisión, el contenido se muestra en una pantalla con un decodificador que accede a canales, servicios de suscripción, video bajo demanda y otros servicios multimedia

interactivos a través de una red segura de datos IP de banda ancha administrada por un operador de extremo a extremo con calidad de servicio (QoS) y calidad de experiencia (QoE) para el usuario. (Punchihewa et al., 2011, p.45)

Algunas características de IPTV son:

- **Soporte para TV interactiva:** Las capacidades bidireccionales de los sistemas de IPTV permiten a los proveedores de servicios ofrecer una amplia gama de aplicaciones de TV interactiva, como TV en vivo, TV de alta definición (HDTV), juegos interactivos y navegación por Internet de alta velocidad.
- **Personalización:** un sistema de IPTV de extremo a extremo admite comunicaciones bidireccionales y permite a los usuarios finales decidir qué quieren ver y cuándo quieren verlo.
- **Bajos requisitos de ancho de banda:** los proveedores no entregan todos los canales al usuario, sino transmite solo el canal que el usuario final ha solicitado. Esta característica de IPTV permite a los operadores de red conservar ancho de banda en sus redes.
- **Accesible en múltiples dispositivos:** la visualización de contenido de IPTV no se limita a televisores. Los consumidores pueden utilizar sus PC y dispositivos móviles para acceder a los servicios de IPTV. (Punchihewa et al., 2011, p.46)

2.4.1.1. Funcionamiento y arquitectura

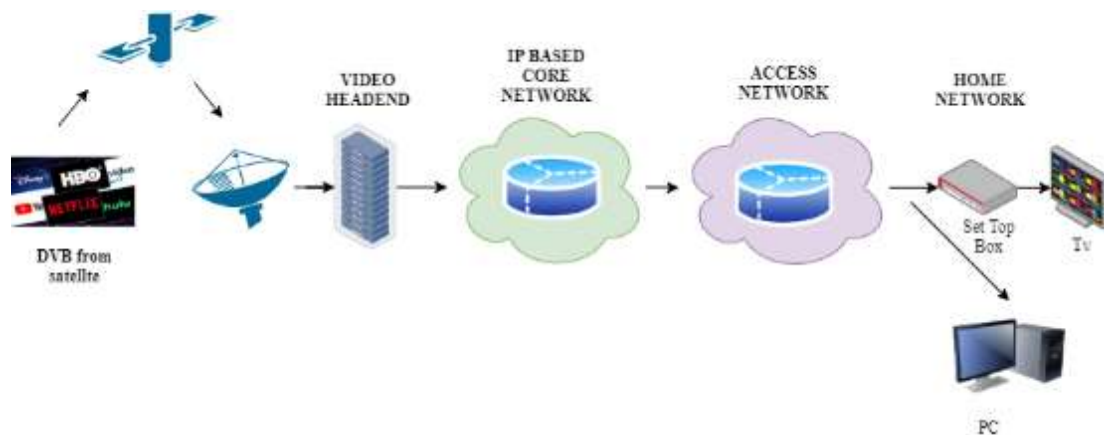


Figura 23-2: Arquitectura básica del funcionamiento de IPTV

Fuente: (López et al., 2013, p.19).

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para el funcionamiento del servicio de IPTV interactúan varios elementos:

- Producción de contenido: el proveedor de contenido crea y edita los diferentes contenidos como películas, series, documentales, entre otros.
- Agregación de contenido: el proveedor de servicios reúne el contenido de diversas fuentes y ofrece a los clientes.
- Entrega de contenido: el proveedor de red es responsable de transportar el contenido en forma cifrada a los clientes o usuarios finales.
- Reconstitución de contenido: transforma el contenido encriptado para que pueda ser visto por el usuario final que son los consumidores. (López et al., 2013, p.19).
- El Video Headend consiste en un codificador de video que captura las señales de video analógicas enviadas por el distribuidor de contenido y las transforma a un formato digital comprimido apto para transmisión por redes de paquetes IP.
- La red de transporte se compone de dos partes: la red central (IP based core network) y la red de acceso (Access network). La red central es un conjunto de dispositivos de enrutamiento que administran el protocolo IP e implementan diferentes técnicas de transporte de datos, multicasting y control de QoS. En la red de acceso conocida como "la última milla", hay una serie de tecnologías disponibles para brindar conexión al usuario final (xDSL, FTTx, WiMAX). La tecnología utilizada debe entregar un ancho de banda adecuado para proporcionar múltiples canales de televisión a un hogar, teniendo en cuenta que un canal en SD requiere al menos 2 Mbps, y para un canal en HD necesita al menos 9 Mbps, utilizando técnicas de compresión avanzadas.
- Los usuarios finales reciben la señal transmitida, la decodifican y la adaptan para que se muestre en un receptor de video estándar. Generalmente, es un decodificador el encargado en descomprimir el video, interpretar los metadatos recibidos y entregar la señal de video a través de algunas de sus interfaces de salida al televisor o dispositivo receptor (Punchihewa et al., 2011, p.46).

En la Figura 23-2, se observa una arquitectura básica del funcionamiento de IPTV.

2.4.2. Video on Demand (VoD)

La característica VoD es permitir que los espectadores vean cualquier programa (películas, series, eventos o cualquier contenido) que deseen cuando lo deseen, teniendo un mayor control sobre el contenido. El VoD se basa en la programación de video que se almacena y luego se entrega a un espectador cuando es necesario, permitiendo pausar, regresar o adelantar, porque utiliza el protocolo RSTP. El almacenamiento puede ser un servidor centralizado que está equipado para enviar programación simultáneamente a cientos de espectadores, o puede ser un almacenamiento distribuido en toda la red (Punchihewa et al., 2011, p.47).

Los servicios de VoD se clasifican en:

- **Suscripción VoD (SVoD):** Es un servicio VoD que brinda acceso ilimitado de contenidos por una tarifa monetaria. Los espectadores eligen pagar por los videos debido a la calidad del contenido que brindan servicios como HBO Go, Netflix, entre otros.
- **Transacción VoD (TVoD):** Se basa en el usuario paga una determinada cantidad de dinero por cada contenido que visualiza, es como una compra única, no es una suscripción ilimitada. Un ejemplo de TVOD es Apple iTunes, en el cual se puede comprar contenido como películas.
- **Anuncios VoD (AVoD):** es una transmisión de video normal, solo que se basa en la transmisión de comerciales o algún tipo de publicidad como la televisión tradicional. Por ejemplo, You Tube es una plataforma de contenido basado en publicidad (Ruether, 2020).

2.4.2.1. Funcionamiento y arquitectura

Para el funcionamiento de VoD interactúan tres elementos principales como se puede observar en la Figura 24-2.

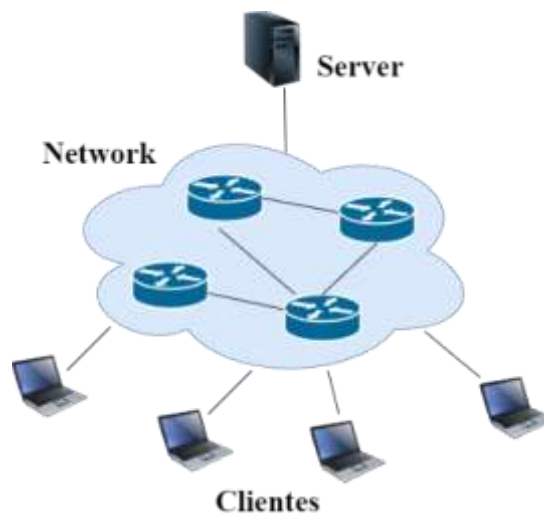


Figura 24-2: Elementos del sistema VoD

Fuente: (Godoi, 2009, p.22)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

- **Servidor:** el servidor de video almacena el contenido multimedia y controla la disponibilidad de recursos para atender las solicitudes de los clientes con QoS. El servidor transmite el contenido multimedia solicitado por el cliente (Godoi, 2009, p.21).
- **Red:** la red proporciona la interconexión de clientes y servidores mediante elementos de red como routers, cables, entre otros. La red debe proporcionar suficiente ancho de

banda para la transmisión de video. El protocolo de transporte de contenido que utiliza es RTP en UDP (López et al., 2013, p.21).

- **Cliente:** Los clientes reciben, decodifican y muestran la información del video esperando siempre una visualización continua y sincronizada durante la transmisión. El receptor del usuario puede ser una computadora o un Set-top-Box (STB).

La interfaz de red recibe la información de video, que se almacena en una región de la memoria que se usa temporalmente para almacenar datos, llamada búfer, el cual se usa para evitar fluctuaciones y fallas debido a la latencia de la red durante la reproducción del contenido (Godoi, 2009, p.23).

Existe dos tipos de arquitectura más utilizadas: arquitectura de red centralizada y la arquitectura de red distribuida.

- **Arquitectura de red centralizada**

En esta arquitectura, los clientes están conectados directamente al servidor a través de la red, como se muestra en la Figura 25-2. El servicio se basa en la relación cliente-servidor tradicional, es decir, los clientes solicitan contenido multimedia y son atendidos por el servidor. El servidor debe tener suficientes recursos de almacenamiento para mantener todo el contenido de videos y debe tener un alto ancho de banda de salida para atender las peticiones. El mayor problema de esta arquitectura es la escalabilidad, ya que la capacidad del servicio está limitada por el servidor (Godoi, 2009, p.25).



Figura 25-2: Arquitectura centralizada

Fuente: (Godoi, 2009, p.27)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

- **Arquitectura de red distribuida**

Para evitar la restricción de escalabilidad de la arquitectura centralizada, los sistemas VoD se orientaron a distribuir el servicio a través de muchos servidores. El contenido de video se distribuye a través de los servidores ubicados en los bordes de la red. No hay un servidor central, los contenidos siguen una estrategia de distribución para ser

asignados a los servidores locales. Los servidores locales se denominan servidores proxy y almacenan solo los contenidos populares de un catálogo principal. Los contenidos con baja popularidad se distribuyen en todo el conjunto de servidores de acuerdo con una política de ubicación. Si el servidor de video local no puede satisfacer la solicitud de un cliente, la solicitud se redirige a los servidores de video adyacentes en la arquitectura distribuida (Godoi, 2009, p.28). En la Figura 26-2, se observa una red distribuida.



Figura 26-2: Arquitectura distribuida

Fuente: (Godoi, 2009, p.30)

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

2.4.3. Video vigilancia

La videovigilancia es un sistema muy utilizado para brindar seguridad física y prevenir el crimen en instituciones, espacios públicos, bancos, casas, entre otros. La transmisión y visualización de video vigilancia es para un grupo limitado de personas, a diferencia de otros tipos de transmisión de video como IPTV, VoD, entre otros (Martí y Part, 2013, p.9).

Los elementos básicos que intervienen en un sistema de videovigilancia son:

- **Cámaras:** usualmente utilizan dos tipos de cámaras en un sistema de video vigilancia, las cámaras de red y las cámaras analógicas.

Las cámaras de red se conectan a redes basadas en IP, proporcionando visualización y grabación remota. Las cámaras de red disponen de alta definición (HD), para proporcionar mayor detalle a la imagen. Para la configuración, algunas cámaras IP proporcionan interfaces basadas en web (HTTP, Telnet, etc.), o se conectan a un servidor en la nube. La mayoría de las cámaras actúan como servidores web que proporcionan contenido de video a los clientes autorizados (SCENE SAVER, 2013, p. 3).

Las cámaras analógicas tienen opciones de alta resolución, lo que las hace aplicables a diversas necesidades de vigilancia. En la actualidad se siguen utilizando las cámaras analógicas, ya sea por el costo de actualización tecnológica a cámaras IP o porque existen conversores de señales de video analógico a digital (SAVER, 2013, p. 9).

- **Digital Video Recorders (DVR):** el DVR recibe video analógico, toma dos campos de la señal analógica y crea una imagen, que digitaliza y la comprime. Si el video que recibe el DVR es digital, normalmente lo comprime para ahorrar espacio de almacenamiento. Los DVR permiten elegir la capacidad de grabación, el tamaño del fotograma/imagen, el número de fotogramas por segundo, la velocidad de grabación de video, la compresión (MPEG, MPEG4 y H-264), entre otros (SAVER, 2013, p. 33).
- **Network Video Recorder (NVR):** Los NVR graban datos de video digital transmitidos a través de una red IP desde las cámaras IP o digitales. Los NVR se diferencian de los DVR en que la entrada de video se envía desde una red IP. Los DVR y NVR incluyen almacenamiento en el disco duro integral para que el video se grave como datos digitales comprimidos (SAVER, 2013, p. 35).
- **Monitor:** Los monitores son utilizados para visualizar las señales de video obtenidos por las cámaras de video vigilancia. Para este fin puede ser utilizado un monitor de PC, LCD, Plasma, OLED, entre otros (SAVER, 2013, p. 26-28).

2.4.3.1. *Funcionamiento y arquitectura*

Existe tres tipos de sistemas para la transmisión de video analógico, digital e híbrido.

- **Sistema analógico**

Las cámaras analógicas se conectan directamente al DVR a través de un cable coaxial o un cable UTP. El DVR recibe la señal analógica y realiza la conversión de analógico a digital para luego ser transmitido a un monitor que está conectado directamente o a través de la red y así visualizar el contenido de video (Martí y Part, 2013, p.10). En la Figura 27-2, se puede observar un sistema analógico de video vigilancia.

- **Sistema digital**

Las cámaras IP captan la señal de video y la transmiten a través de una red IP hacia otros dispositivos como una PC, NVR, o un dispositivo móvil. De esta manera los usuarios pueden visualizar, controlar, almacenar y gestionar la señal de video de forma local o remota en tiempo real (Martí y Part, 2013, p.9). En la Figura 28-2, se puede observar un sistema digital de video vigilancia.

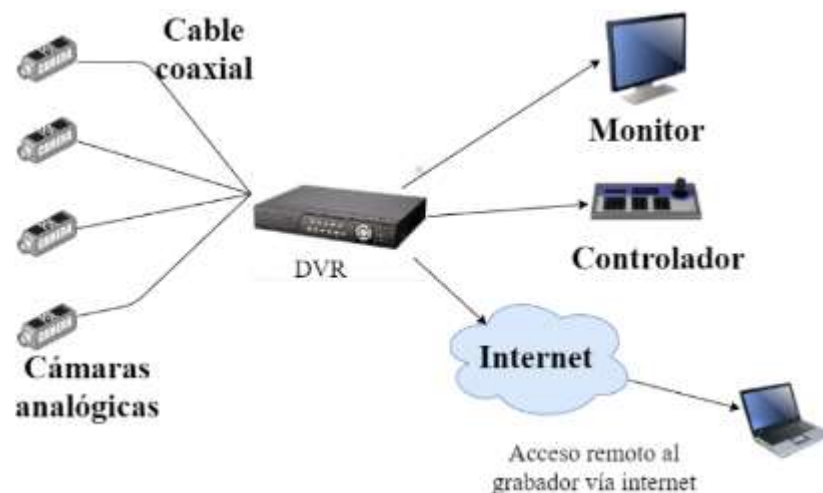


Figura 27-2: Sistema analógico de video vigilancia

Fuente: (Martí y Part, 2013, p.10).

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021



Figura 28-2: Sistema digital de video vigilancia

Fuente: (Martí y Part, 2013, p.10).

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

- **Sistemas Híbridos**

Un sistema híbrido de video vigilancia es la unión de un sistema analógico y un sistema digital, esto se realiza a través de un servidor. El servidor se conecta a la cámara analógica a través del cable coaxial y convierte la señal de vídeo en secuencias de vídeo digital y lo envía a través de la red IP, de esa manera logra la coexistencia entre los dos sistemas (Martí y Part, 2013, p.9). En la Figura 29-2, se puede observar un sistema híbrido.



Figura 29-2: Sistema híbrido de video vigilancia

Fuente: (Martí y Part, 2013, p.10).

2.5. Infraestructura tecnológica

2.5.1. Transmisor

2.5.1.1. Router CR1036-12G-4S

Es un router de grado industrial de alta velocidad gracias a su tecnología TILE con 36 núcleos de CPU con velocidad del clock de 1.2 GHz en cada núcleo para un rendimiento máximo de 40 Gbps, tiene puertos Gigabit Ethernet y puertos ópticos SFP de alta velocidad, admite aceleración de hardware IPSEC (hasta 6.2 Gbps con AES128) para convertirlo en un router corporativo de alta seguridad (Mikrotik, 2020). En la Figura 30-2, se observa el router corporativo CR1036-12G-4S.



Figura 30-2: Router corporativo CR1036-12G-4S

Fuente: (Mikrotik, 2020)

Entre sus principales características se encuentran:

- Modelo: CCR1036-12G-4S-EM
- Arquitectura: TLR4-03680
- CPU: TILE-Gx36
- CPU core count: 36

- Frecuencia Nominal CPU: 1.2 GHz x 36 núcleos
- Memoria RAM: 16GB de RAM
- Memoria de almacenamiento: 1GB flash
- Puerto óptico: 4x SFP
- Dimensiones: 443 x 175 x 44 mm
- Licencia nivel: 6
- Sistema Operativo: RouterOS
- Puerto USB: 2.0 microUSB tipo AB
- Puerto SmartCard: 1x SmartSIM
- Tarjeta de memoria: 1x tarjeta microSD
- Serial: RS232

2.5.1.2. DVR (Digital video recorder)

El DVR DH-XVR1B16H es un sistema de administración de video y grabación en sistemas de video análogo utilizado en video vigilancia, posee 16 entradas para cámaras, alta compresión de video, Admite entradas de video HDCVI / AHD / TVI / CVBS / IP, Ancho de banda entrante máximo de 96 Mbps, Admite 1 disco duro-SATA hasta 6 TB, búsqueda inteligente y sistema de video inteligente (dahua, 2020, pp.1-2). En la Figura 31-2, se observa el DVR.



Figura 31-2: DVR DH-XVR1B16H

Fuente: (dahua, 2020, pp.1)

Características:

- Analog Camera Input: 16 Channel, BNC.
- Video Compression: H.265+/H.265/H.264+/H.264.
- Resolution: 5M-N, 4M-N, 1080P, 1080N, 720P, 960H, D1, CIF.
- Record Rate Main Stream: the 1st & 2nd channels 5M-N(1~10fps); other channels 4M-N/1080P(1~15fps); 1080N/720P/960H/ D1/CIF (1~25/30fps) Sub stream: CIF/QCIF (1~15fps).

- Video Bit Rate 32Kbps ~ 6144Kbps Per Channel Record Mode Manual, Schedule (General, Continuous), MD (Video detection: Motion Detection, Video Loss, Tampering), Alarm, Stop.
- Record Interval 1 ~ 60 min (default: 60 min), Pre-record: 1 ~ 30 sec, Postrecord: 10 ~ 300 sec.
- Audio Compression: AAC (only for the 1st channel), G.711A, G.711U, PCM.
- Audio Sample Rate: 8KHz, 16 bit Per Channel.
- Audio Bit Rate: 64Kbps Per Channel.

2.5.2. *Antenas transmisoras y receptoras*

Las antenas utilizadas trabajan con un mecanismo de modulación y codificación adaptativa (AMC, Adaptive Modulation and Coding), técnica diseñada para adaptarse a las condiciones del canal modificando la modulación y codificación, con el propósito de conseguir altas tasas de transmisión en condiciones favorables del canal, y reduciéndola la tasa de transmisión de datos al producirse una degradación en las condiciones del canal (Salazar & Mosquera, 2011, p.22).

Antena Mikrotik LHG 5

Es un dispositivo ligero con una antena de cuadrícula integrada de doble polarización de 24.5dBi, utilizado en enlaces punto a punto y como CPE a largas distancias, trabaja a frecuencias de 5GHz con tecnología 802.11 a/n. El diseño de la rejilla garantiza la protección contra el viento y el hecho de que el elemento de la antena esté integrado en la unidad inalámbrica significa que no hay pérdida de cables (Mikrotik, 2020). En la Figura 32-2, se observa la antena Mikrotik LHG 5 y en la Figura 33-2, se observa el diagrama de radiación.



Figura 32-2: Antena Mikrotik LHG 5

Fuente: (Mikrotik, 2020)

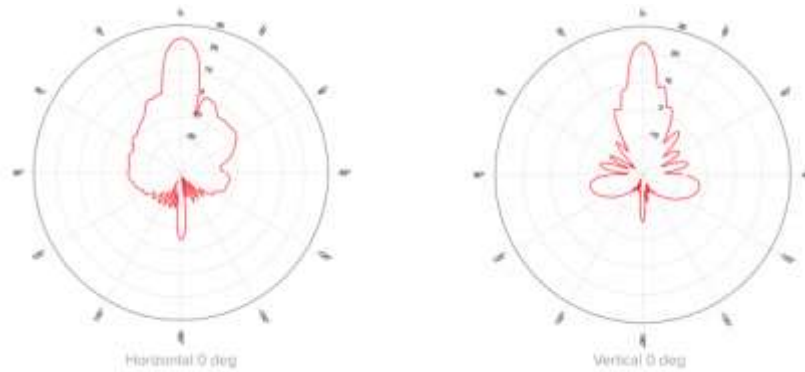


Figura 33-2: Patrón de radiación de antena LHG 5 en orientación horizontal y vertical

Fuente: (Mikrotik, 2020)

Entre sus principales características se encuentran:

- Arquitectura: MIPSBE
- UPC:AR9344
- Recuento de núcleos de CPU:1
- Frecuencia nominal de la CPU: 600 MHz
- Tamaño de RAM:64 MB
- TaPoE en: PoE pasivo
- PoE en voltaje de entrada:11-30 V
- Número de entradas DC: 1 (entrada PoE)
- Tamaño de almacenamiento: 16 MB
- Velocidad de datos máxima inalámbrica de 5 GHz: 300 Mbit / s
- Número de cadenas inalámbricas de 5 GHz: 2
- Estándares inalámbricos de 5 GHz: 802.11a / n
- Ganancia de antena para 5 GHz: 24,5 dBi
- Distancia aproximada: 12 Km
- Potencia: 25 dBm
- Sensibilidad: -96 dBm

Antena Mikrotik SXT SA5

SXTG-5HPnD-SAr2 es un punto de acceso de sector inalámbrico exterior de 5 GHz de alta velocidad y bajo costo. Es una antena de proporciona una cobertura de 90 grados y una ganancia de 14dBi (Mikrotik, 2020). En la Figura 34-2, se observa la antena Mikrotik SXT SA5, y en la Figura 35-2, se observa el diagrama de radiación.



Figura 34-2: Antena Mikrotik SXT SA5

Fuente: (Mikrotik, 2020)

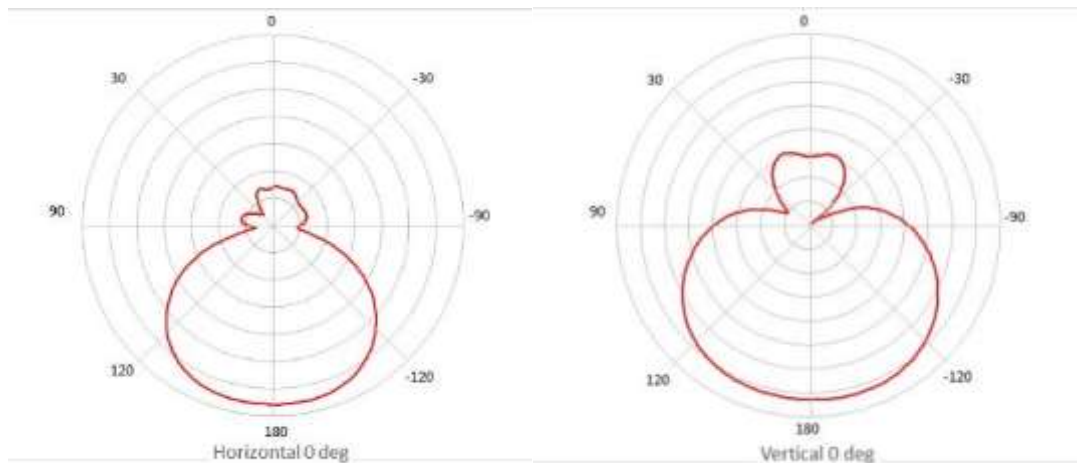


Figura 35-2: Patrón de radiación de antena SXT SA5 en orientación horizontal y vertical

Fuente: (Mikrotik, 2020)

Entre sus principales características se encuentran:

- CPU: AR9344-BC2A 600 MHz
- Memoria: 64 MB DDR2
- Ethernet: 1x 10/100/1000 Gigabit.
- Tarjetas inalámbricas: Módulo inalámbrico dual chain 5GHz 802.11a / n.
- Rango de frecuencia: 4920-5920MHz.
- Extras: Interruptor de reinicio, beeper, puerto USB 2.0, monitores de voltaje y temperatura.
- LED: LED de encendido, LED de Ethernet, 5 LED de señal inalámbrica.
- Opciones de energía: Alimentación a través de Ethernet: 8-30 V DC.
- Dimensiones: 140x140x56mm.
- Temperatura de funcionamiento: -30C a + 80C

- Certificaciones: FCC, CE, ROHS
- Antena Dual: pol. 90 grados, aislamiento de puerto a puerto de -35dB,
- Ganancia: 14dBi
- Distancia aproximada: 6Km
- Potencia: 27 y 30dBm
- Sensibilidad: -73 y -95dBm

Antena SXTsq 5

La antena SXTsq 5 es un dispositivo inalámbrico 802.11a/n de 5Ghz para exteriores compacto y liviano, perfecto para enlaces punto a punto o como una unidad CPE. El dispositivo tiene una ganancia de 16 dBi (Mikrotik, 2020). En la Figura 36-2, se observa la antena Mikrotik SXTsq 5, y en la Figura 37-2, se observa el diagrama de radiación.



Figura 36-2: Antena CPE SXTsq 5.

Fuente: (Mikrotik, 2020)

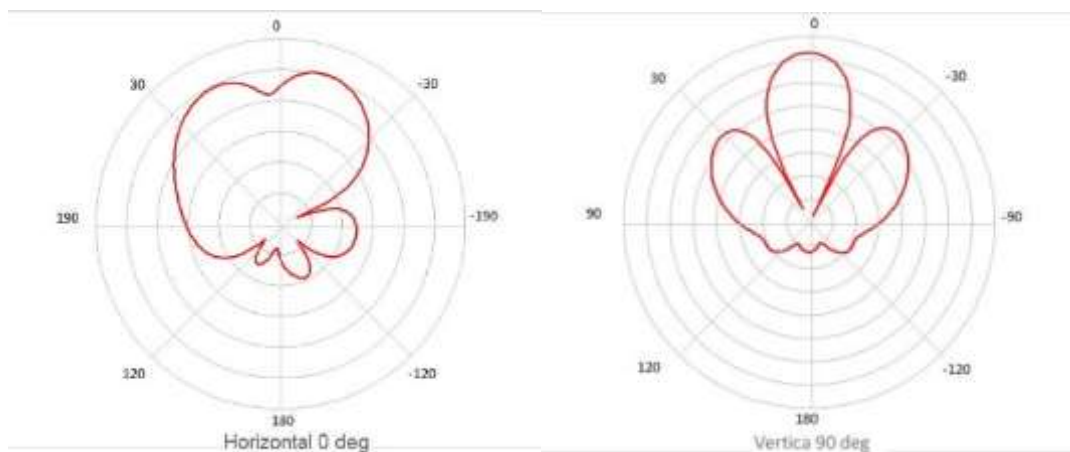


Figura 37-2: Patrón de radiación de antena SXTsq 5 en orientación horizontal y vertical

Fuente: (Mikrotik, 2020)

Entre sus principales características se encuentran:

- Modelo RBSXTsqG-5aD.
- Tamaño de RAM: 64 MB.
- Almacenamiento: Flash de 16 MB.
- Puertos: Ethernet 10/100.
- Bandas inalámbricas: 5 GHz.
- Frecuencia de operación: Internacional 5150 - 5875 MHz y EE. UU. 5170 - 5250 MHz y 5725 - 5835 MHz.
- Protocolos 802.11a / n.
- Ganancia: 16 dBi.
- Ancho del haz de antena 23 °.
- Voltaje de entrada admitido: 10 V - 30 V, PoE pasivo.
- Dimensiones_ 129 x 129 x 34 mm.
- Temperatura de funcionamiento: -40 a 70 ° C
- Sistema operativo: RouterOS
- Consumo máximo de energía: 7 W
- Potencia: 19 y 25 dBm
- Sensibilidad: -75 y 96 dBm

2.5.2. POE

Definido por el estándar IEEE 802.3af, es el primer estándar a nivel mundial utilizado para la distribución de alimentación a través de LAN Ethernet, el cual permite que dispositivos como cámaras IP, antenas, etc. con entrada ethernet reciban la alimentación y datos a través de su puerto LAN ethernet (López, 2008, p.16). En la Figura 38-2, se muestra un esquema de conexión a través de Power over Ethernet (PoE).



Figura 38-2: Esquema de conexión a través de Power over Ethernet (PoE)

Fuente: (Ubiquiti, 2020)

2.5.3. Torres

Las torres utilizadas para la implementación de los enlaces, se trata de torres triangulares con una altura de 36m ubicada en el cerro san francisco y 16m en las instalaciones de la Empresa SITCOM, las torres están marcadas por colores rojo y blanco para identificar la altura de la antenna teniendo una distancia de 6m entre cada color. En la Figura 39-2, se observa la torre de telecomunicaciones ubicada en el Cerro San Francisco.



Figura 39-2: Torre de telecomunicaciones ubicada en el Cerro San Francisco

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

2.5.4. Cables y conectores

2.5.3.1. Conector RJ45

Son conectores utilizados en la conexión de redes de computadoras por medio de cableado estructurado se usa como extremo de conexión en cable de par trenzado UTP conectado a sus 8 pines (Furukawa Electric, 2020, p.1).



Figura 41-2: Conector Tipo RJ45

Fuente: (Furukawa Electric, 2020, p.1)

Características:

- Desempeño superior a 250 Mhz.
- Resistencia por aislamiento $> 10 \text{ M } \Omega$.
- Protección de filamentos 50 μin oro platinado.
- Contactos de horquilla sistema IDC, por desplazamiento del aislante a 35o para una mayor fuerza de sujeción, soporta cables cal. 22, 23, 24 y 26 AWG.

2.5.3.2. Cable UTP categoría 6

Este tipo de cable es una evolución de cable UTP categoría 5e, diseñado para la transmisión de datos a una velocidad de 1Gbs, garantiza una operación estable a una frecuencia de 250MHz o superiores y aplicaciones de banda ancha. Compuesto por 4 pares trenzados de hilos de cobre calibre 23AWG, un dieléctrico de polietileno para lograr una mayor resistencia y recubierta CMR con capacidad de prevenir incendios (NEXT SOLUTIONS, 2020, pp. 1-3). En la Figura 40-2, se muestra la estructura del cable UTP cat6.

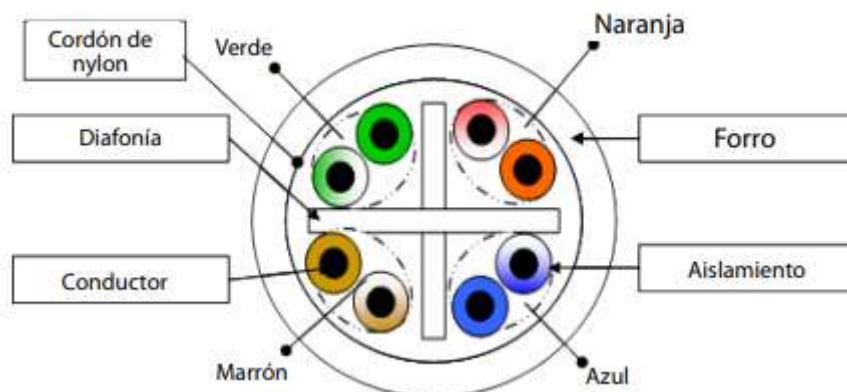


Figura 40-2: Estructura del cable UTP cat6

Fuente: (NEXT SOLUTIONS, 2020, pp. 1)

Características:

- Calibre del conductor: 23 AWG.
- Tipo de aislamiento: Polietileno.
- Tipo de ensamble: 4 pares con cruceta central.
- Tipo de cubierta: PVC con propiedades retardantes a la flama.
- Separador de polietileno para asegurar alto desempeño contra diafonía.
- Para conexiones y aplicaciones IP.
- Conductor de cobre sólido de 0.57 mm.
- Diámetro exterior 6.1 mm.
- Desempeño probado hasta 300 MHz.
- Impedancia: 100 Ω .

2.6. Simuladores

2.6.1. Google Earth

Google Earth es un programa informático para dispositivos móviles que permite la búsqueda, el posicionamiento y la visualización de lugares en globo terráqueo a través de imágenes satelitales en 3D, permitiendo realizar visitas virtuales con una perspectiva de 360° mediante StreetView, otras de las funciones de Google Earth es que permite la creación de mapas, medir distancias ver alturas y relieves de montañas y la función de poder sobrevolar cualquier lugar del planeta a través de herramientas avanzadas (Google, 2020). En la Figura 43-2, se observa la interfaz de Google Earth.

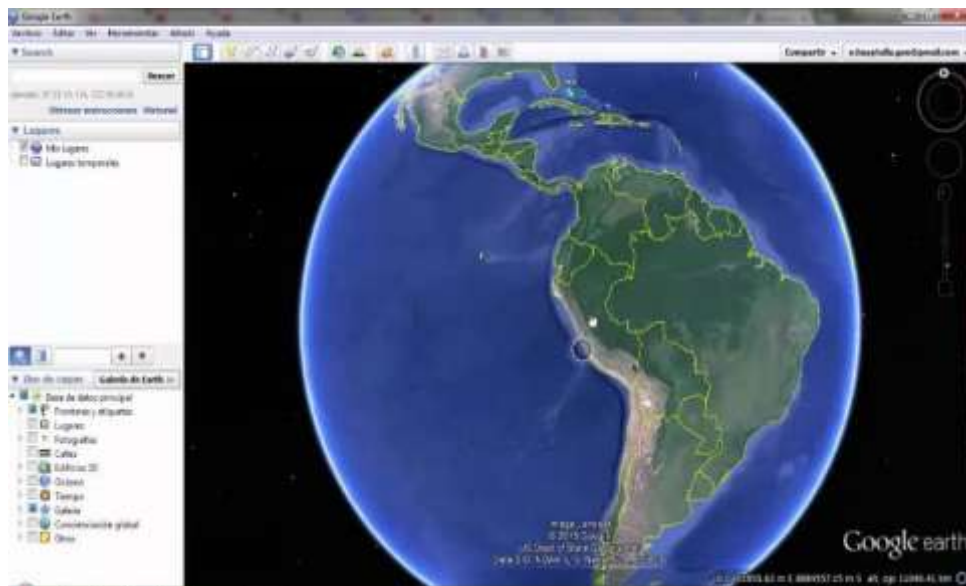


Figura 43-2: Ventana de Google Earth

Fuente: (Google, 2020)

2.6.2. WinBox

WinBox es una aplicación propietaria de Mikrotik utilizada para la administración y gestión de sus equipos Mikrotik RouterOS, a través de una interfaz gráfica de fácil manejo para los usuarios. Permite la conexión a través de direcciones IPv4 e IPv6 para realizar configuraciones, modificaciones y monitoreo de equipos por medio de conexiones vía FTP, telnet y SSH. Este software es compatible con Windows en todas sus versiones y ejecutable en Linux y MacOS mediante el uso de Wine. En la Figura 44-2, se observa la interfaz del programa WinBox.

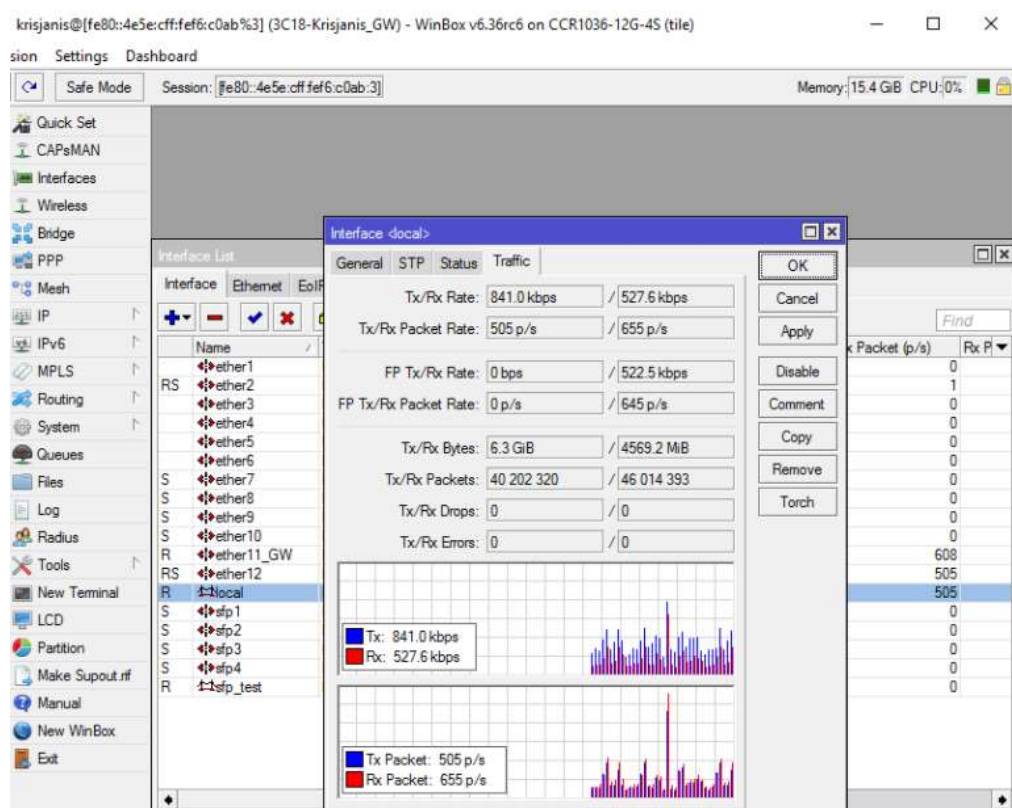


Figura 44-2: Interfaz gráfica del programa WinBox

Fuente: (Google, 2020)

2.6.3. Radio Mobile

Radio Mobile es una herramienta de predicción de propagación de ondas de radio. Utiliza información digital del terreno y un modelo matemático para simular transmisiones de radio entre dos sitios fijos (radioenlace) o entre un sitio fijo y un móvil (cobertura de radio). La información digital del terreno comprende dos bases de datos: elevación y cobertura del suelo (Radio Mobile, 2020). En la Figura 42-2, se observa una ventana de Radio Mobile, la cual permite observar parámetros como ángulo de azimut, ángulo de elevación, pérdidas, el campo eléctrico, obstrucción, nivel de recepción, zona de Fresnel, la distancia, la resistencia relativa, la potencia

de transmisión, pérdidas de línea, la ganancia de la antena transmisora y receptora, la sensibilidad, entre otros.

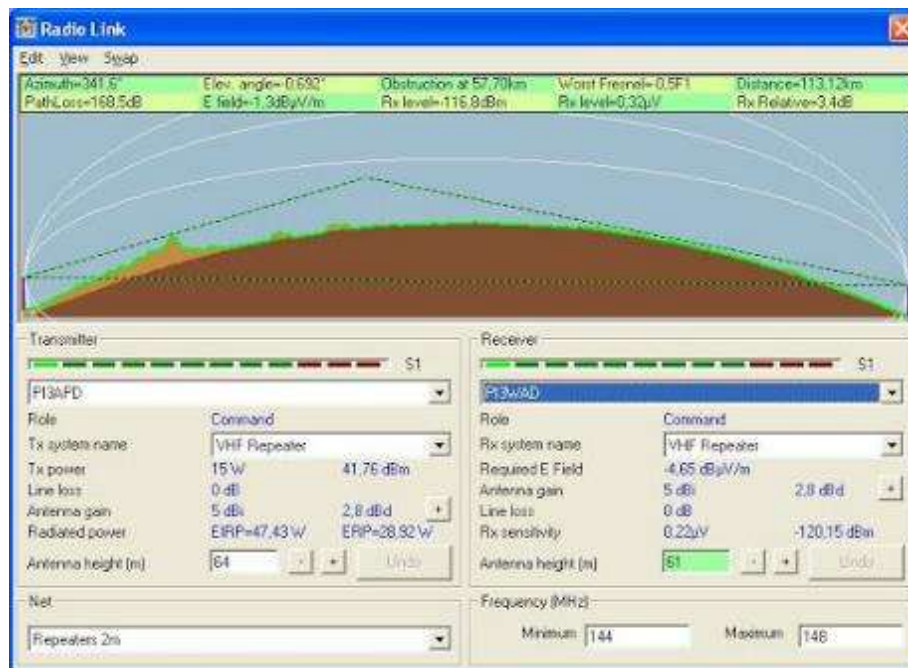


Figura 42-2: Ventana de Radio Mobile

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se realizó el diseño e implementación de enlaces punto a punto y punto multipunto en dos entornos: urbano y rural. Para las pruebas en el entorno urbano se eligió la ciudad de Riobamba, ya que en esta ciudad se encuentra la empresa SITCOM. Para elegir la locación rural se realizó encuestas en la parroquia de Nabuzo perteneciente al cantón Penipe y en la parroquia de Quimiag perteneciente al cantón Riobamba, con el objetivo de saber cuál lugar tiene la capacidad de adquirir internet en un futuro.

La etapa de diseño de los enlaces se realizó en el software Radio Mobile con los parámetros técnicos de cada uno de los equipos utilizados. Una vez simulados los enlaces, se procedió a la instalación de las antenas, en el entorno urbano y rural.

3.1. Análisis de las encuestas aplicadas en el sector rural

Las encuestas se aplicaron a la parroquia de Nabuzo perteneciente al cantón Penipe y a la parroquia de Quimiag perteneciente al cantón Riobamba, con el objetivo de identificar el sector rural que este en capacidad de adquirir el servicio de internet. Una vez identificado el lugar se realizó la instalación de los equipos necesarios para medir los parámetros técnicos necesarios para la transmisión de video bajo demanda, IPTV y video vigilancia. En un futuro la instalación de los equipos serviría para proveer internet al sector.

3.1.1. Encuesta a las personas de la parroquia de Nabuzo

Pregunta 1. ¿Tiene actualmente servicio de internet?

En el Gráfico 1-3 indica que el 58% de hogares cuenta con el servicio de internet, ya sea fijo o móvil (plan de datos) y el 42% no cuenta con el servicio de internet.

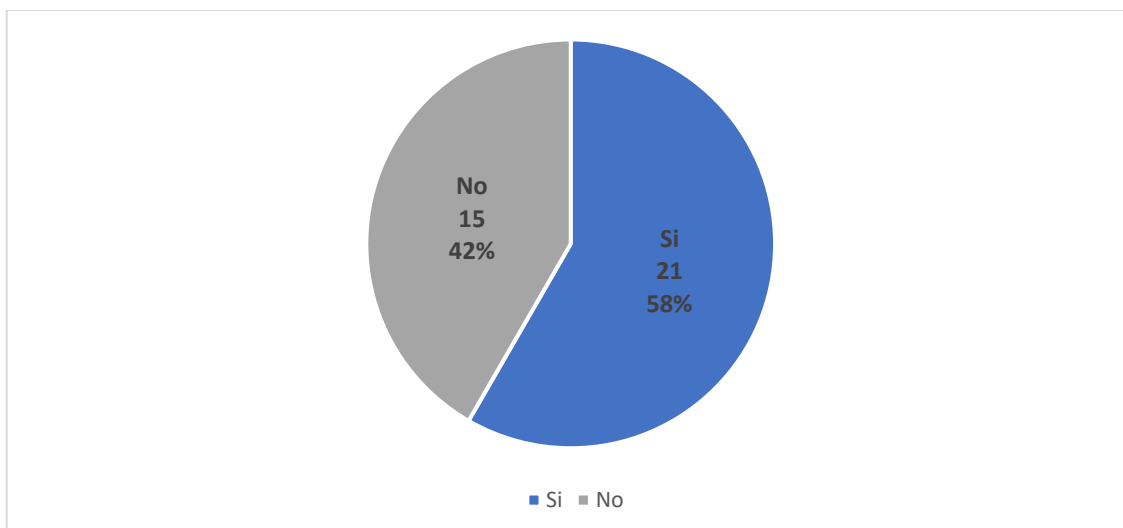


Gráfico 1-3: Resultado de la pregunta: ¿Tiene actualmente servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Pregunta 2. En caso de que su respuesta sea afirmativa:

Para las personas cuentan con servicio de internet se procedió a realizar las siguientes preguntas:

a) *Su servicio de internet es:*

El Gráfico 2-3 indica que el 81% de las personas tienen internet fijo y el 19% tienen internet móvil (plan de datos).

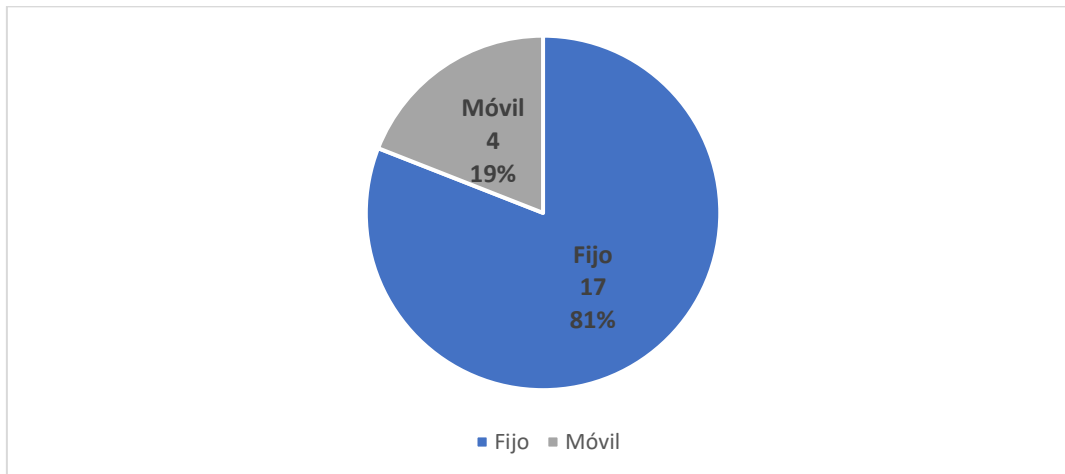


Gráfico 2-3: Resultado acerca de si el internet es fijo o móvil (plan de datos).

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

b) *¿Con qué compañía tiene contrato de internet?*

El Gráfico 3-3 indica que el 81% de las personas tienen internet con otra compañía en este caso es con Maxxnet, el 14% tiene internet a través de la compañía de Claro y el 5% con CNT.

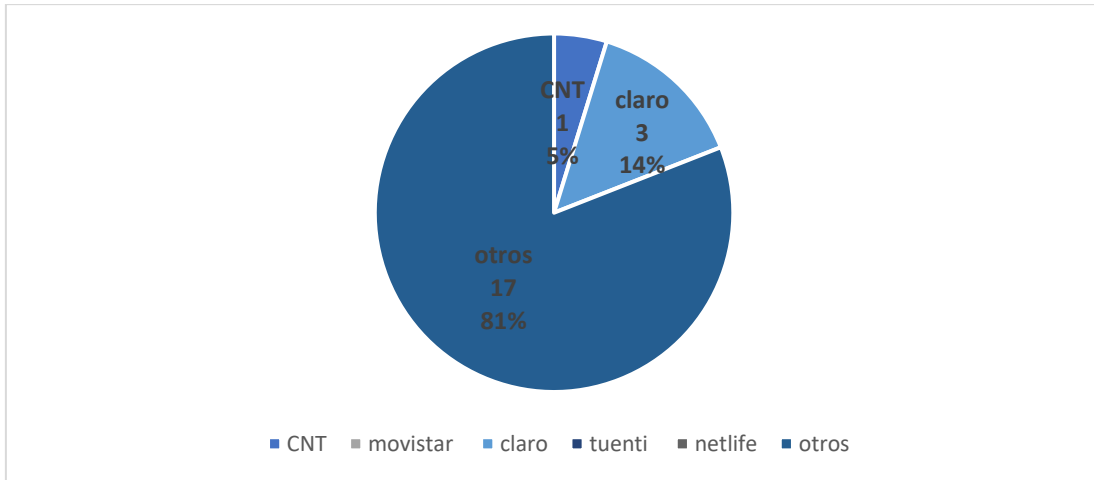


Gráfico 3-3: Resultado de la pregunta: ¿Con qué compañía tiene contrato de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

c) ¿Cómo califica su servicio de internet?

El Gráfico 4-3 indica que el 64% de las personas opinan que tienen un internet bueno, el 19% de las personas que su internet es malo y el 14% es muy malo.

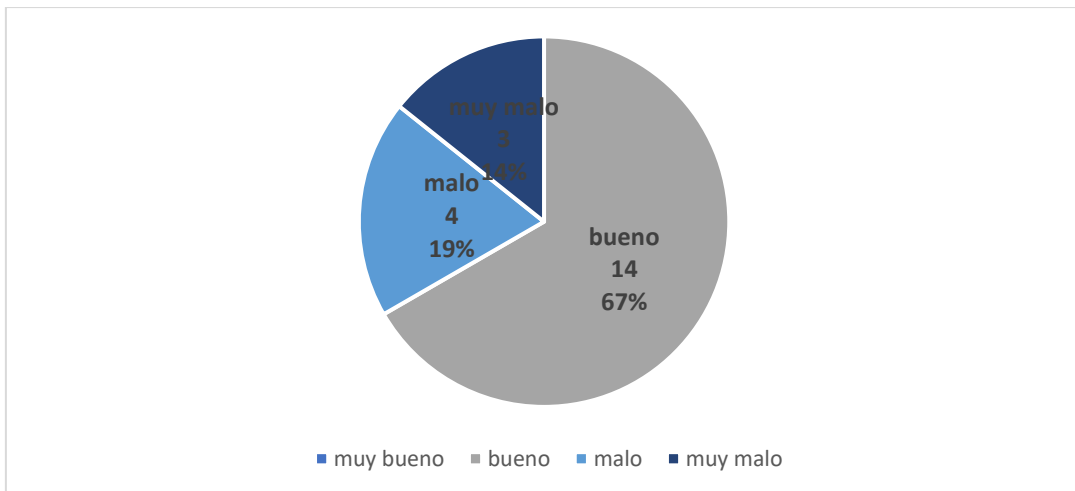


Gráfico 4-3: Resultado de la pregunta: ¿Cómo califica su servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

d) ¿Estaría dispuesto a cambiarse a un mejor servicio de internet?

El Gráfico 5-3 indica que el 76% de las personas estarían dispuestos a cambiarse de proveedor de internet, si les ofrecen un mejor servicio y el 24% no estaría dispuesto a cambiarse de proveedor.

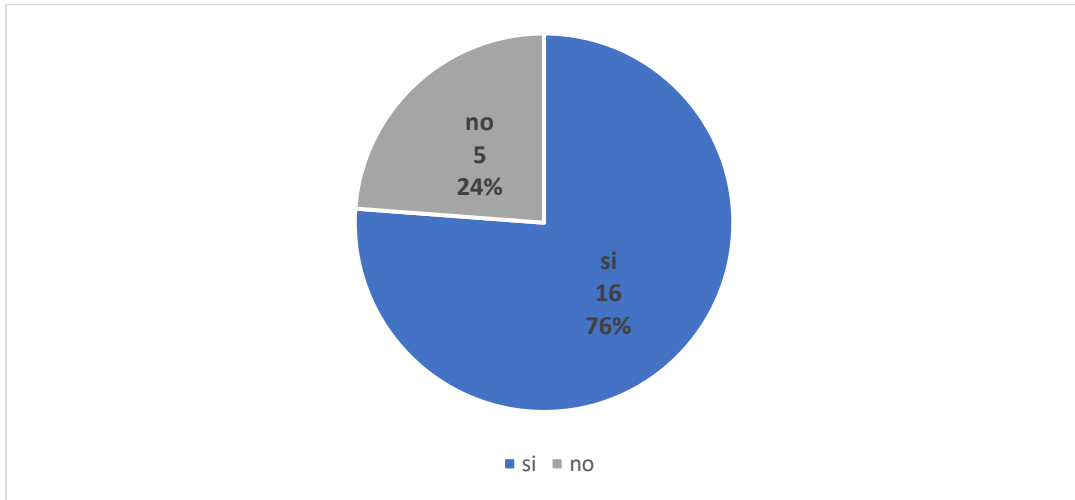


Gráfico 5-3: Resultado de la pregunta: ¿Estaría dispuesto a cambiarse a un mejor servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

e) *¿Cuánto paga por el servicio de internet?*

El Gráfico 6-3 indica que el 48% de las personas paga por el servicio de internet entre \$21-\$30, el 24% paga entre \$11-\$21, el 19% entre \$0-\$10 y el 9% paga más de \$30.

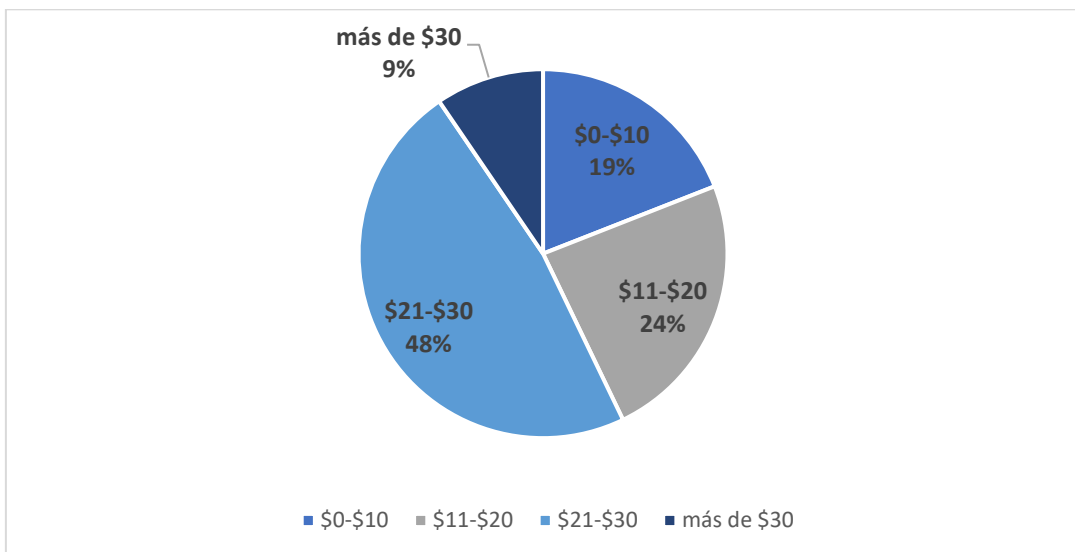


Gráfico 6-3: Resultado de la pregunta: ¿Cuánto paga por el servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Pregunta 3. En caso de que su respuesta sea negativa:

Para las personas que no cuentan con servicio de internet se procedió a realizar las siguientes preguntas:

f) *¿Estaría usted dispuesto a contratar el servicio de internet?*

El Gráfico 7-3 indica que el 40% de las personas que no cuentan con el servicio de internet estarían interesadas en contratar el servicio, y el 60% de las personas no están interesadas en el servicio de internet.

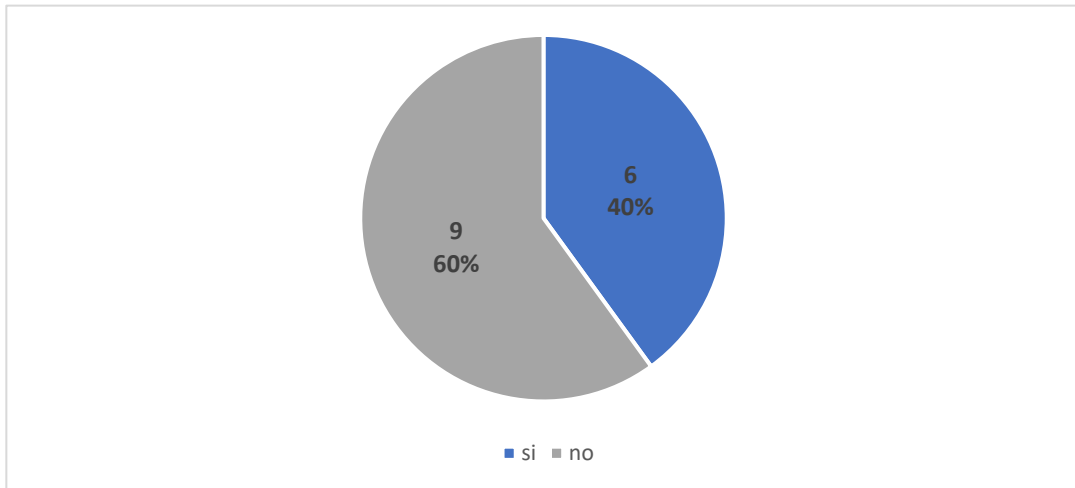


Gráfico 7-3: Resultado de la pregunta: ¿Estaría usted dispuesto a contratar el servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

g) ¿Hasta cuanto estaría dispuesto usted a pagar por un servicio de internet?

El Gráfico 8-3 indica que el 50% de las personas estarían dispuestos a pagar entre \$11-\$20 y el 50% restante entre \$0-\$10.

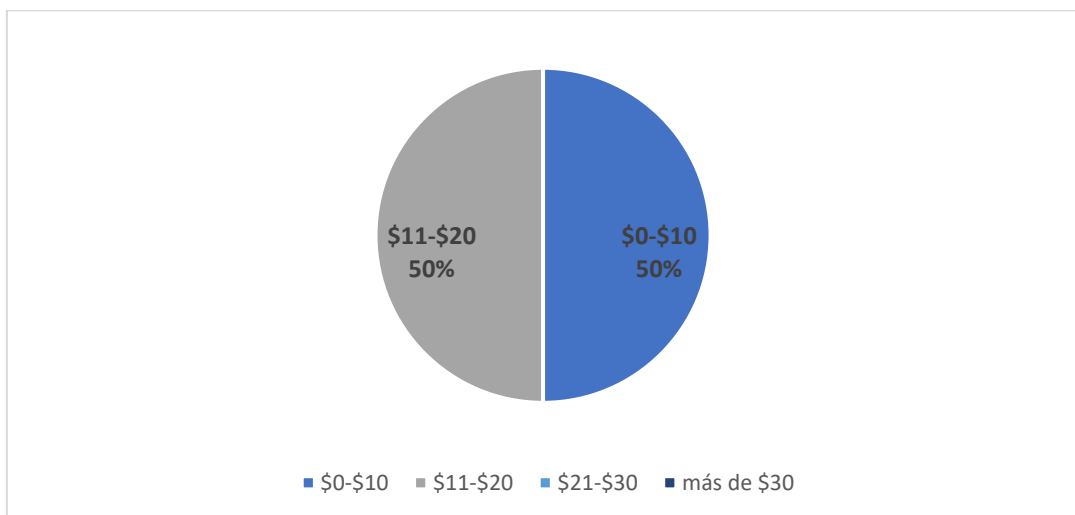


Gráfico 8-3: Resultado de la pregunta: ¿Hasta cuanto estaría dispuesto usted a pagar por un servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

h) ¿Indique la edad promedio de las personas que habitan en su hogar?

El Gráfico 9-3 indica que el 53% de las personas que habitan en cada hogar son mayores a 36 años, el 20% de las personas están en el rango de 19-18 años y el 27% son menores de 18 años.

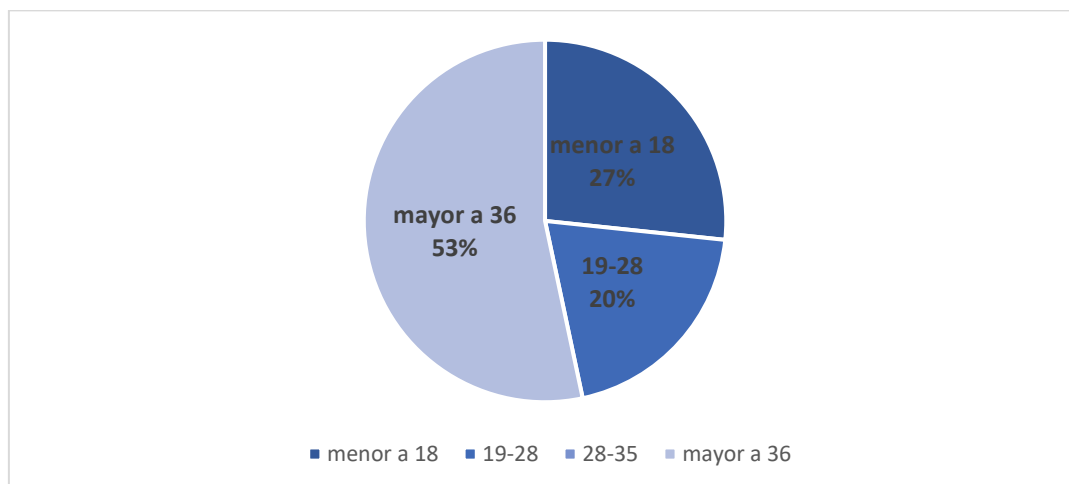


Gráfico 9-3: Resultado de la pregunta: ¿Indique la edad promedio de las personas que habitan en su hogar?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

i) ¿Algún miembro de su hogar actualmente se encuentra estudiando o realizando teletrabajo?

El Gráfico 10-3 indica que el 53% de las personas se encuentran estudiando o realizando teletrabajo y el 47% de las personas no.

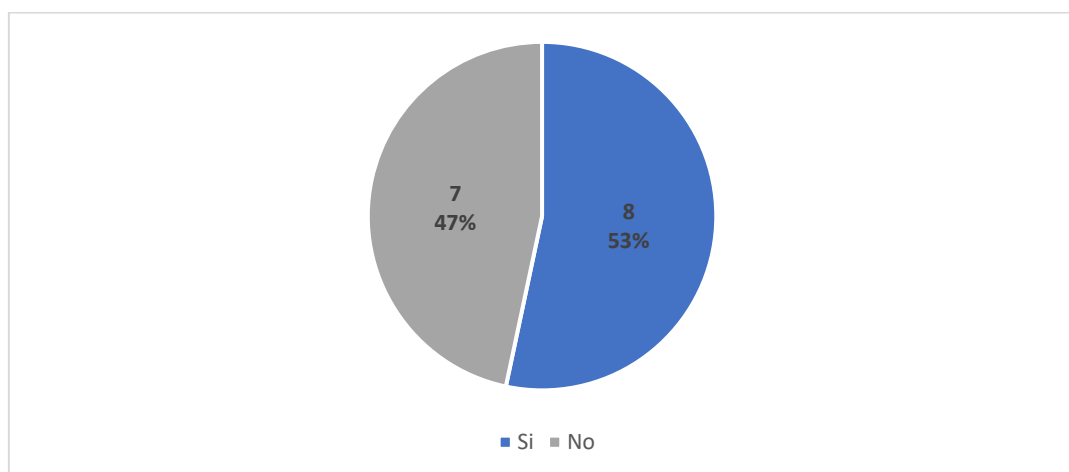


Gráfico 10-3: Resultado de la pregunta: ¿Algún miembro de su hogar actualmente se encuentra estudiando o realizando teletrabajo?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

3.1.2. Encuesta a las personas de la parroquia de Quimiag

Pregunta 1. ¿Tiene actualmente servicio de internet?

En el Gráfico 11-3 indica que el 76% de hogares cuenta con el servicio de internet, ya sea fijo o móvil (plan de datos) y el 24% no cuenta con el servicio de internet.

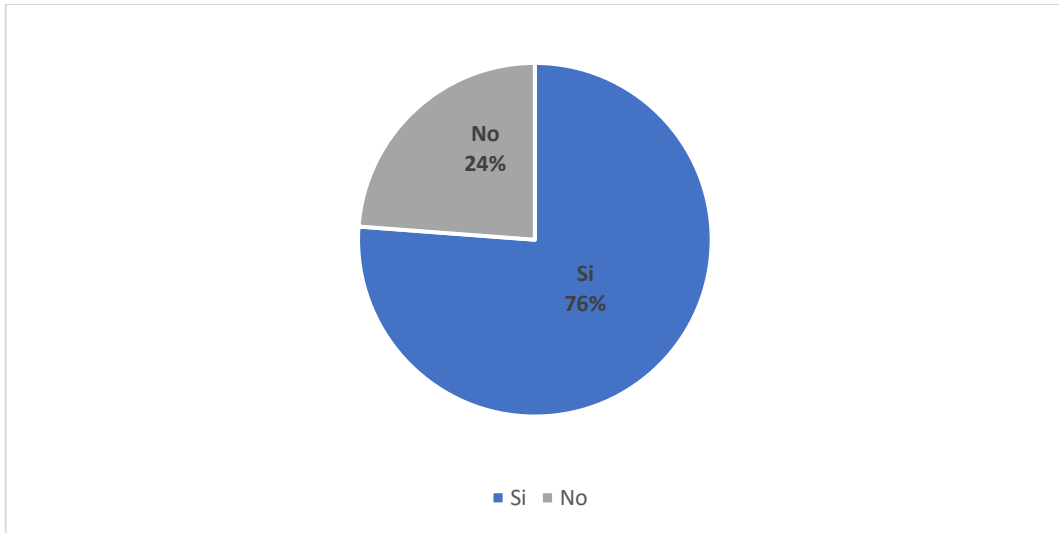


Gráfico 11-3: Resultado de la pregunta: ¿Tiene actualmente servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Pregunta 2. En caso de que su respuesta sea afirmativa:

Para las personas cuentan con servicio de internet se procedió a realizar las siguientes preguntas:

a. *Su servicio de internet es:*

El Gráfico 12-3 indica que el 75% de las personas tienen internet fijo y el 25% tienen internet móvil (plan de datos).

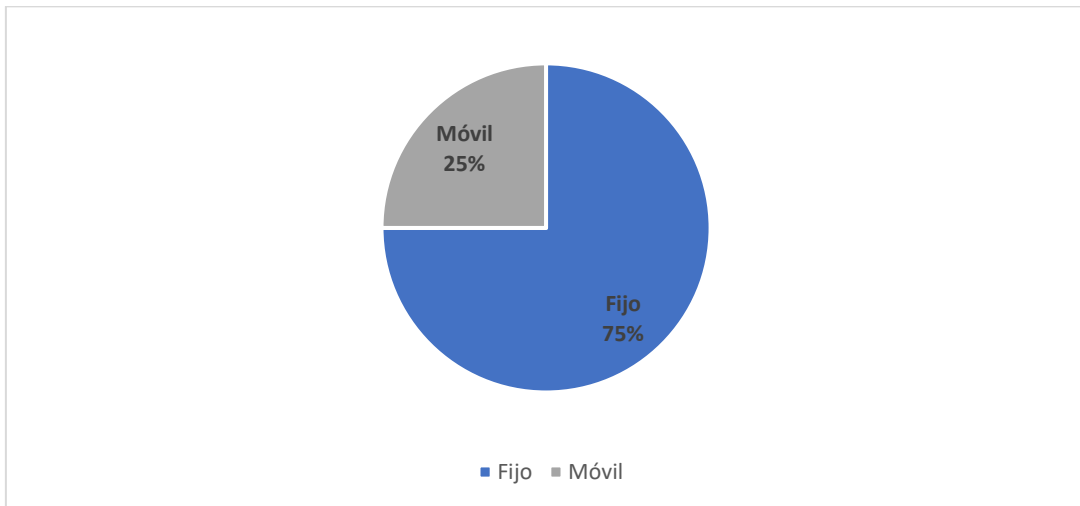


Gráfico 12-3: Resultado acerca de si el internet es fijo o móvil (plan de datos).

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

b. *¿Con qué compañía tiene contrato de internet?*

El Gráfico 13-3 indica que el 75% de las personas tienen internet de CNT, el 22% tienen internet a través de la compañía de Claro y el 3% con otras compañías.

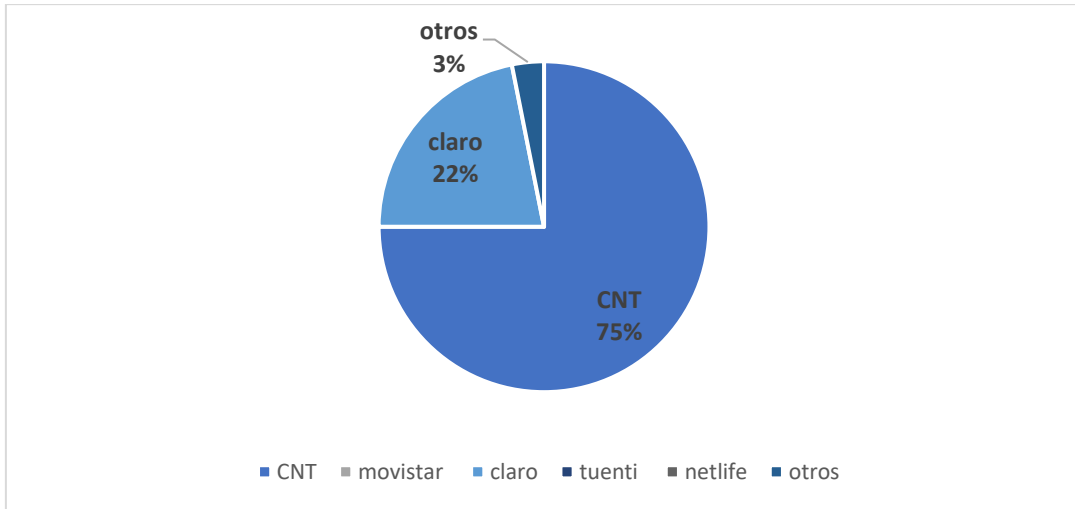


Gráfico 13-3: Resultado de la pregunta: ¿Con qué compañía tiene contrato de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

c. ¿Cómo califica su servicio de internet?

El Gráfico 14-3 indica que el 53% de las personas opinan que tienen un internet bueno y el 47% de las personas que su internet es malo.

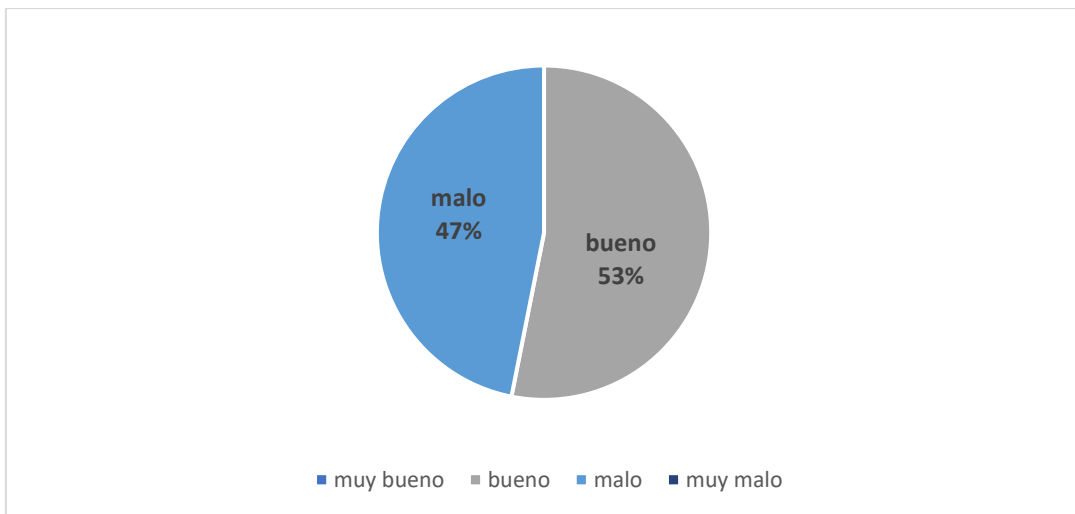


Gráfico 14-3: Resultado de la pregunta: ¿Cómo califica su servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

d. ¿Estaría dispuesto a cambiarse a un mejor servicio de internet?

El Gráfico 15-3 indica que el 75% de las personas estarían dispuestos a cambiarse de proveedor de internet, si les ofrecen un mejor servicio y el 25% no estaría dispuesto a cambiarse de proveedor.

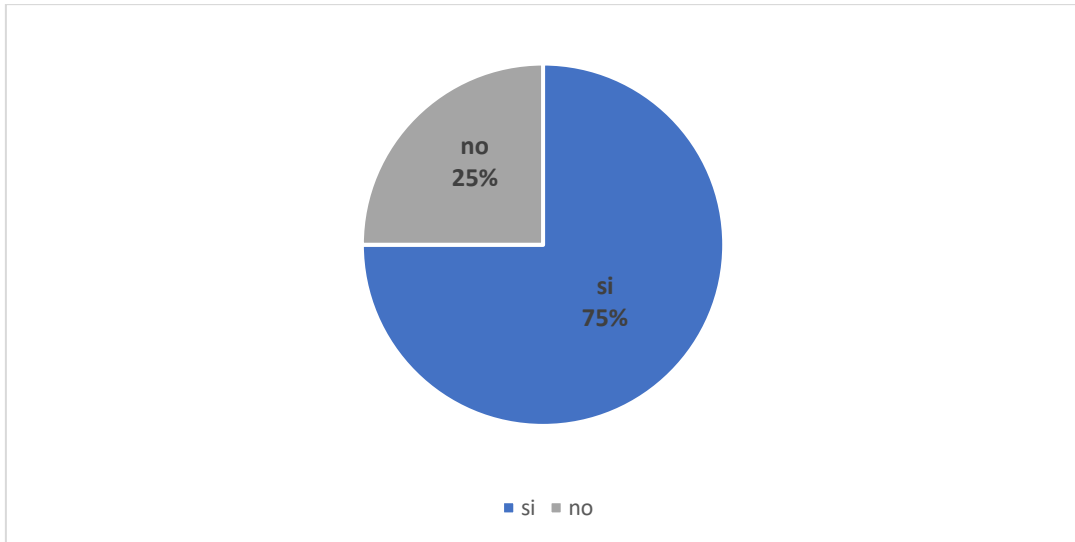


Gráfico 15-3: Resultado de la pregunta: ¿Estaría dispuesto a cambiarse a un mejor servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

e. *¿Cuánto paga por el servicio de internet?*

El Gráfico 16-3 indica que el 37% de las personas paga por el servicio de internet entre \$11-\$20, el 28% paga entre \$21-\$30, el 22% entre \$0-\$10 y el 13% paga más de \$30.

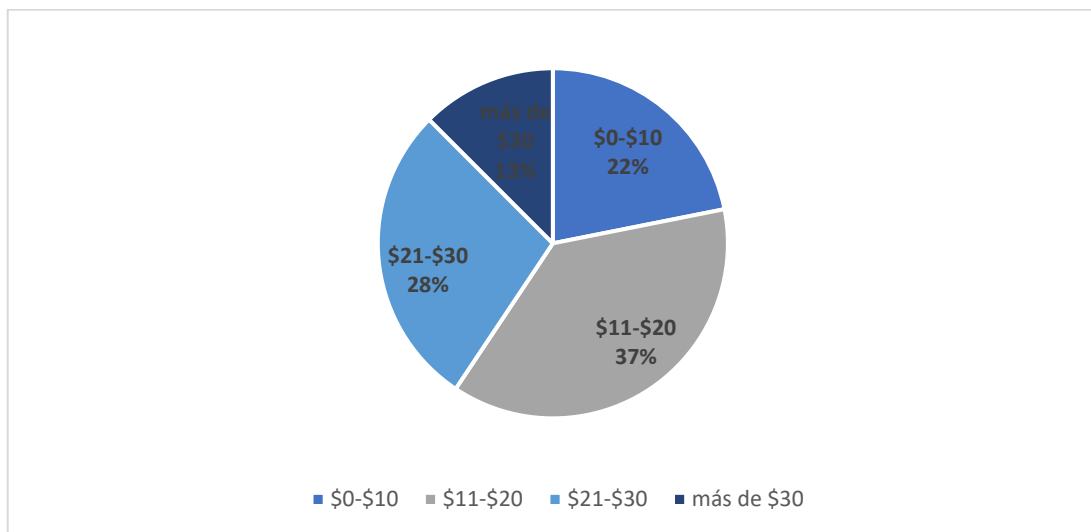


Gráfico 16-3: Resultado de la pregunta: ¿Cuánto paga por el servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Pregunta 3. En caso de que su respuesta sea negativa:

Para las personas que no cuentan con servicio de internet se procedió a realizar las siguientes preguntas:

f. *¿Estaría usted dispuesto a contratar el servicio de internet?*

El Gráfico 17-3 indica que el 70% de las personas que no cuentan con el servicio de internet no estarían interesadas en contratar el servicio, y el 30% de las personas si están interesadas en contratar el servicio de internet.

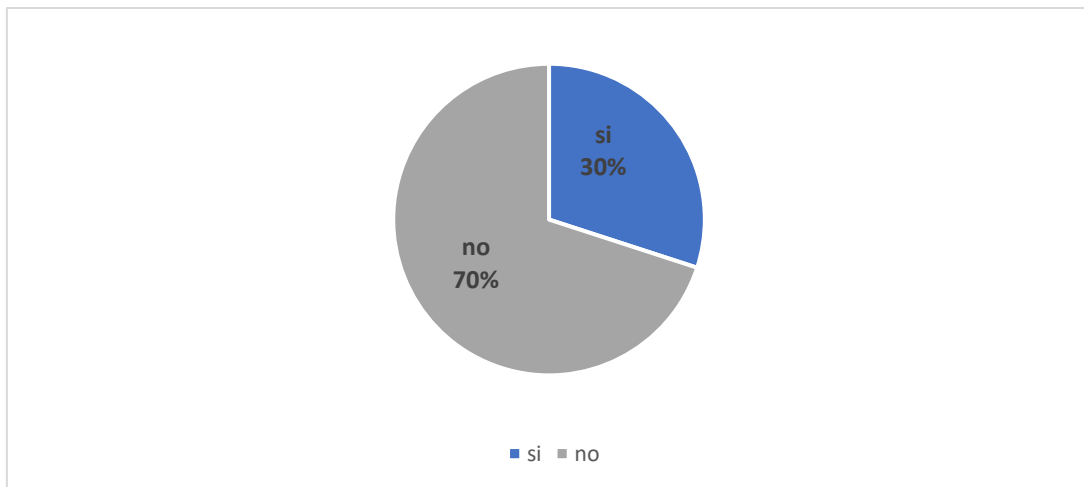


Gráfico 17-3: Resultado de la pregunta: ¿Estaría usted dispuesto a contratar el servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

g. ¿Hasta cuanto estaría dispuesto usted a pagar por un servicio de internet?

El Gráfico 18-3 indica que el 100% de las personas que estarían dispuestos a contratar el servicio de internet estarían dispuestos a pagar entre \$0-\$10.

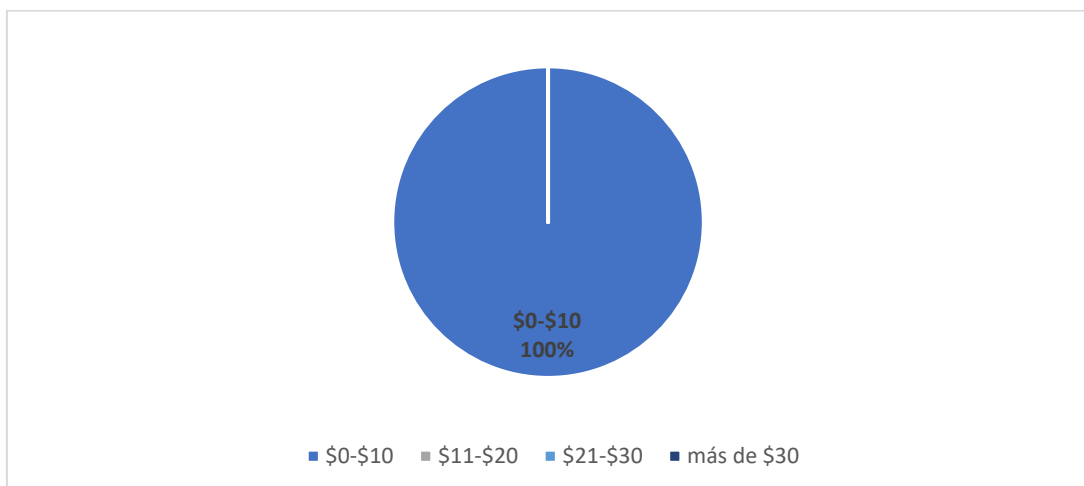


Gráfico 18-3: Resultado de la pregunta: ¿Hasta cuanto estaría dispuesto usted a pagar por un servicio de internet?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

h. ¿Indique la edad promedio de las personas que habitan en su hogar?

El Gráfico 19-3 indica que el 60% de las personas que habitan en cada hogar son mayores a 36 años, el 40% de las personas son menores de 18 años.

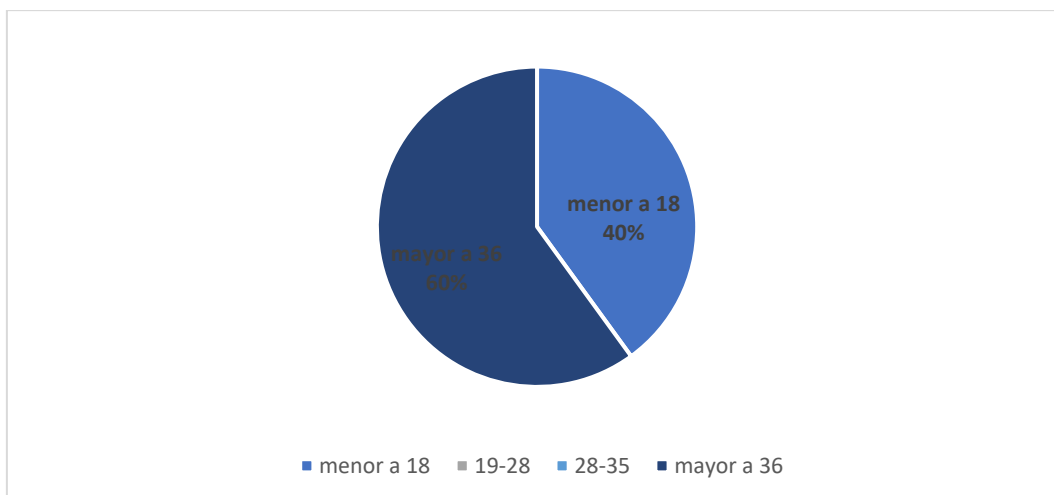


Gráfico 19-3: Resultado de la pregunta: ¿Indique la edad promedio de las personas que habitan en su hogar?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

i) *¿Algún miembro de su hogar actualmente se encuentra estudiando o realizando teletrabajo?*

El Gráfico 20-3 indica que el 70% de las personas no se encuentran estudiando o realizando teletrabajo y el 30% de las personas sí.

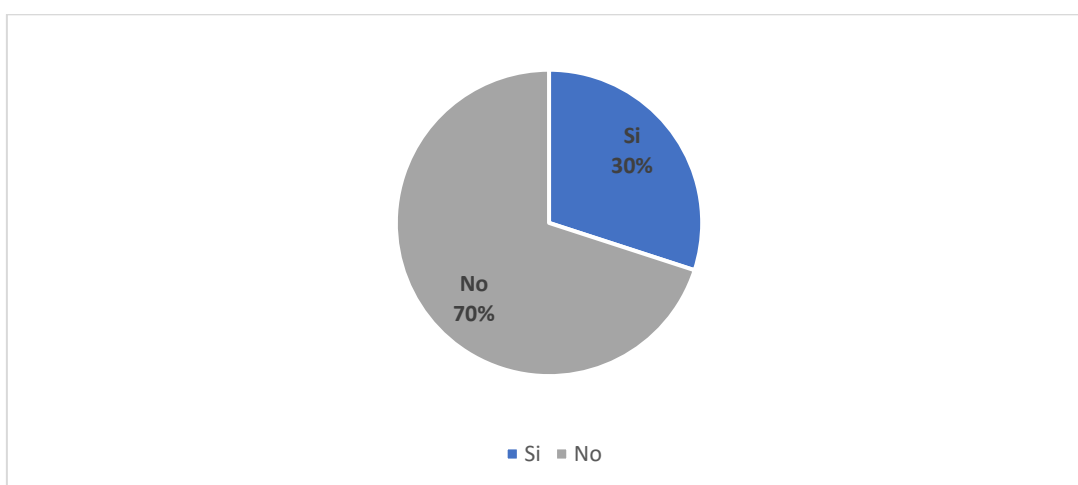


Gráfico 20-3: Resultado de la pregunta: ¿Algún miembro de su hogar actualmente se encuentra estudiando o realizando teletrabajo?

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

En conclusión, después de realizar la tabulación de las encuestas realizadas se obtuvo que el 64,29% de las personas encuestadas estarían dispuestos a contratar el servicio de internet en la parroquia de Quimiag y el 51.33% en la parroquia de Nabuzo, por lo cual se procedió a simular e instalar los equipos en la parroquia rural de Quimiag.

3.2. Diseño de enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto en la zona urbana

A continuación, se describen los lugares en los cuales se realizó la simulación e instalación de los equipos descritos en el capítulo anterior para los enlaces punto a punto y punto multipunto en la zona urbana.

3.2.1. Enlace punto a punto

Para realizar el enlace en la zona urbana se tomó en cuenta 3 lugares donde se diseñó, simuló e instaló los equipos necesarios:

- En SITCOM, porque se encuentran los equipos que se conectan con el proveedor de internet.
- El Cerro San Francisco, porque la empresa arrienda una caseta y una torre para realizar la instalación de sus equipos.
- Para el CPE se eligió un lugar en la zona urbana de la ciudad.

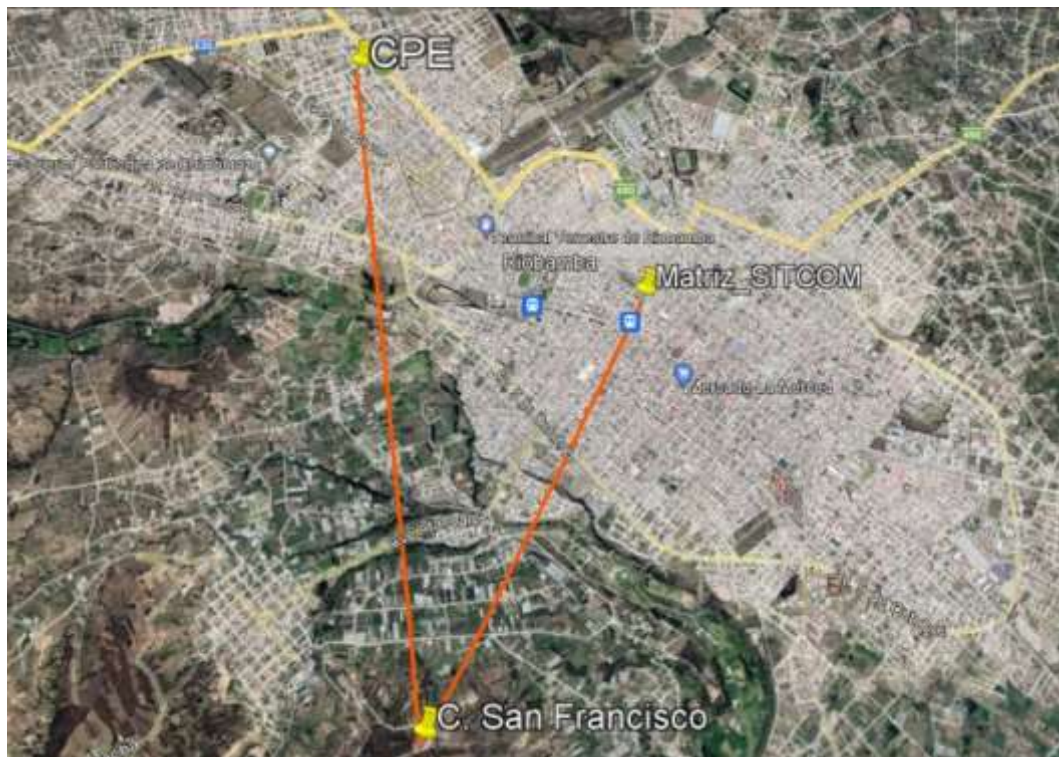


Figura 1-3: Diseño del enlace punto a punto urbano

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Google, 2020)

En la Tabla 1-3, se observa las coordenadas de los 3 lugares donde se ubicaron las antenas.

Tabla 1-3: Coordenadas donde se ubicaron las antenas

Lugar	Coordenadas
Matriz SITCOM	Latitud: 1°40'5.38"S Longitud: 78°39'9.29"O
Cerro San Francisco	Latitud: 1°41'47.34"S Longitud: 78°40'0.16"O
CPE	Latitud: 1°38'57.81"S Longitud: 78°40'20.77"O

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

En la Figura 1-3, se observa el diseño del enlace punto a punto urbano que va desde la Matriz_SITCOM al Cerro San Francisco y de ahí al CPE, que se encuentra en la zona urbana de la ciudad.

3.2.1.1. Enlace SITCOM – Cerro San Francisco



Figura 2-3: Enlace punto a punto desde SITCOM al Cerro San Francisco

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

El enlace va desde la empresa SITCOM al Cerro San Francisco. La simulación se realizó en el software RadioMobile, para ello se utilizó las antenas Mikrotik LHG 5, con las características

descritas en el capítulo anterior. En la Figura 2-3, se puede observar el diagrama de radiación de la antena transmisora hacia el Cerro San Francisco.

A continuación, en la Figura 3-3, se puede observar los resultados de la simulación realizada en RadioMobile, donde muestra los valores de los parámetros de potencia, ganancia de las antenas Tx y Rx, despejamiento, pérdidas de línea, distancia entre el transmisor y receptor, entre otros. Tiene una frecuencia central de 5085 MHz con un ancho de 20 MHz.

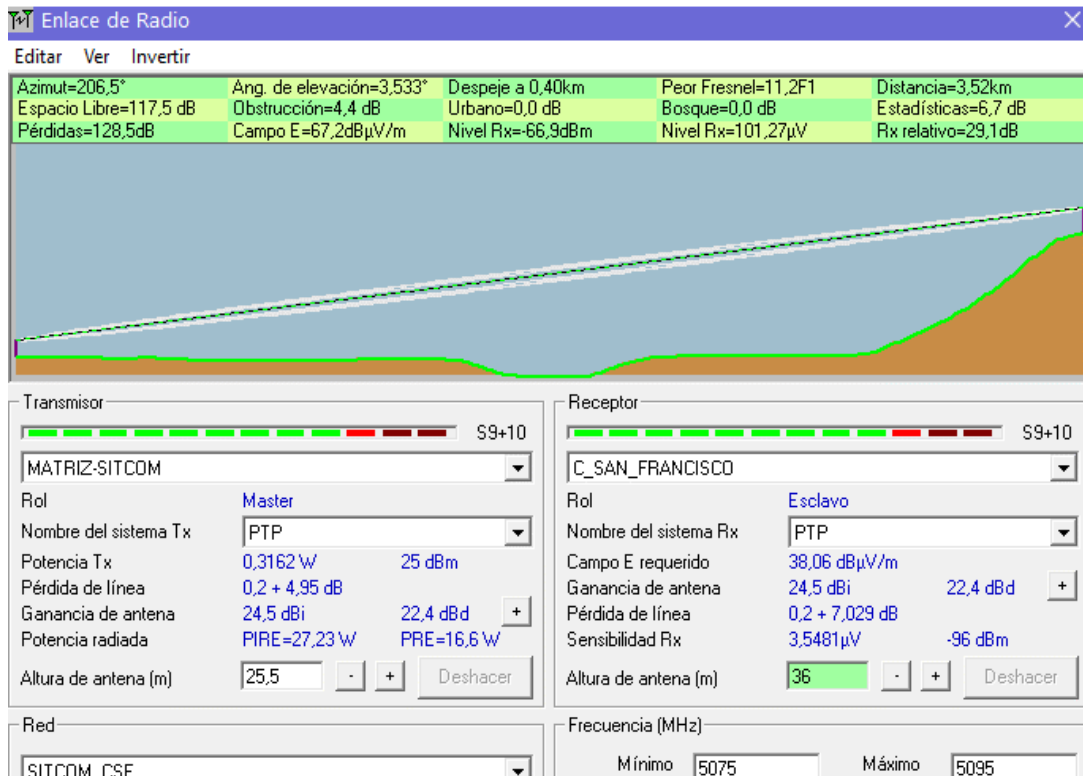


Figura 3-3: Simulación del enlace punto a punto desde SITCOM al Cerro San Francisco

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

3.2.1.2. Enlace Cerro San Francisco – CPE

El enlace va desde el Cerro San Francisco al CPE que se encuentra dentro de la zona urbana de la ciudad. La simulación se realizó en el software RadioMobile, para ello se utilizó las antenas Mikrotik LHG 5, con las características descritas en el capítulo anterior. En la Figura 4-3, se puede observar el diagrama de radiación de la antena transmisora hacia el CPE.

A continuación, en la Figura 5-3, se puede observar los resultados de la simulación realizada en RadioMobile, donde muestra los valores de los parámetros de potencia, ganancia de las antenas Tx y Rx, despejamiento, pérdidas de línea, distancia entre el transmisor y receptor, entre otros. Tiene una frecuencia central de 5555 MHz con un ancho de 20MHz.

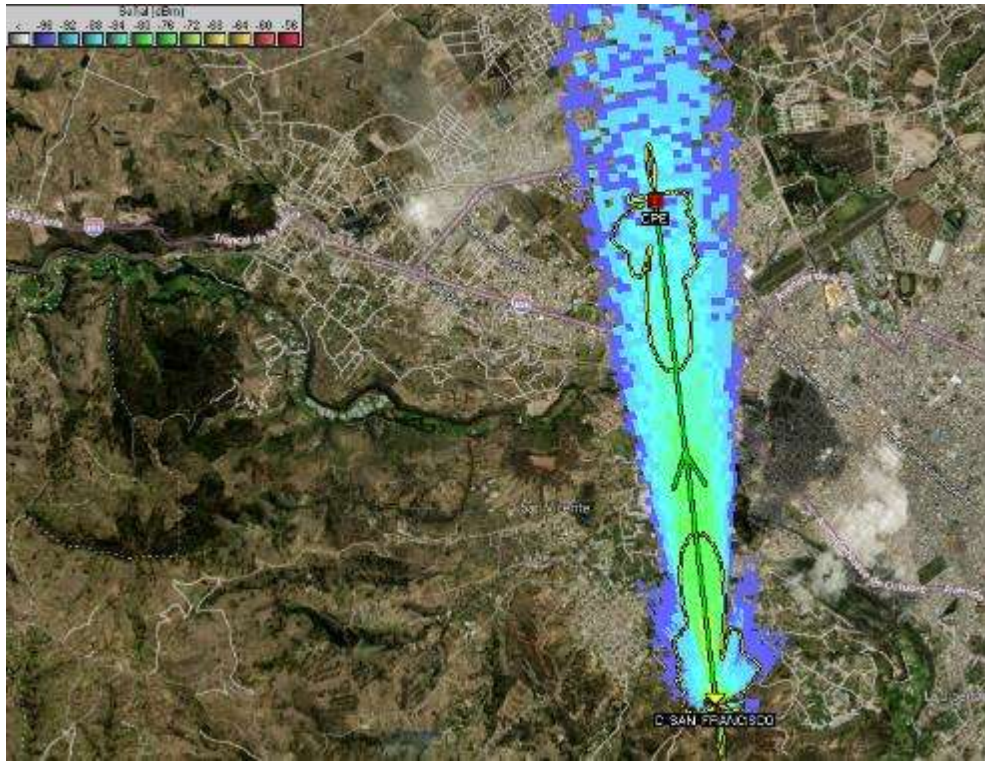


Figura 4-3: Enlace punto a punto desde el Cerro San Francisco al CPE

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

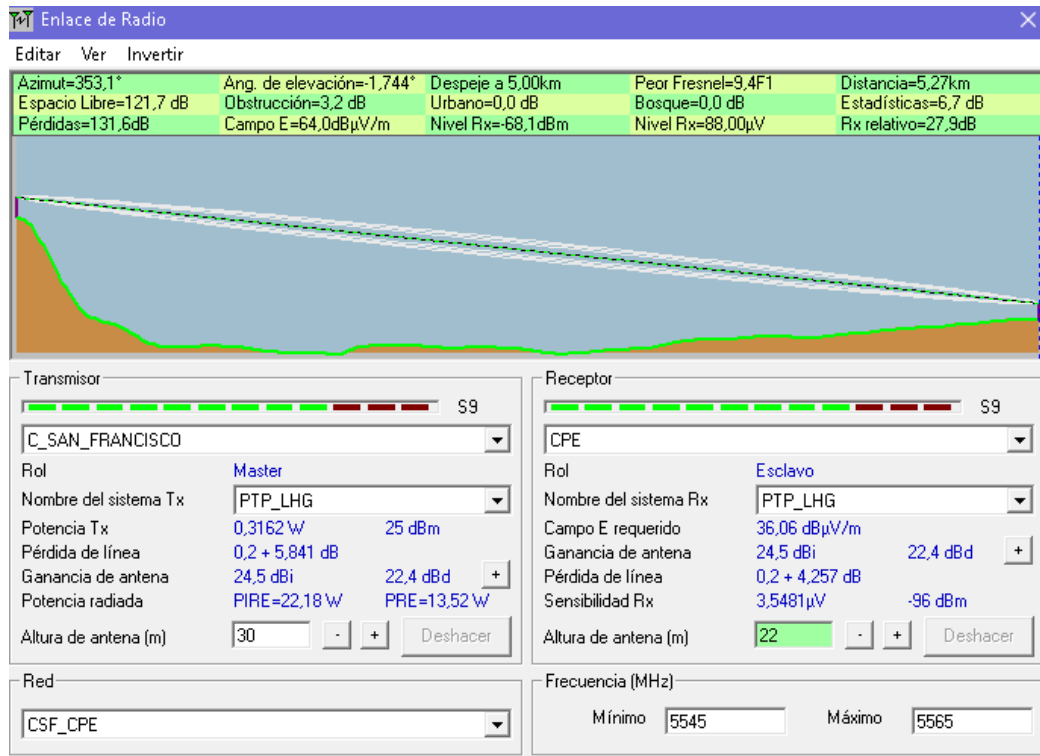


Figura 5-3: Simulación del enlace punto a punto desde el Cerro San Francisco al CPE

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

3.2.2. Enlace punto multipunto

Para el enlace punto multipunto se utilizó el enlace SITCOM – Cerro San Francisco descrito en la sección 3.2.1.1., y desde el Cerro San Francisco se irradió hacia la ciudad con una antena sectorial. En la Figura 6-3, se observa el diseño del enlace punto multipunto urbano, el cual irradia desde el Cerro San Francisco hacia los 3 CPE dentro de la zona urbana de la ciudad.

En la Tabla 2-3, se observa las coordenadas de los lugares donde se ubicaron las antenas.

Tabla 2-3: Coordenadas donde se ubicaron las antenas

Lugar	Coordenadas
Matriz SITCOM	Latitud: 1°40'5.38"S Longitud: 78°39'9.29"O
Cerro San Francisco	Latitud: 1°41'47.34"S Longitud: 78°40'0.16"O
CPE1	Latitud: 1°40'41.80"S Longitud: 78°39'25.40"O
CPE2	Latitud: 1°40'57.81"S Longitud: 78°39'11.82"O
CPE3	Latitud: 1°41'3.57"S Longitud: 78°38'13.11"O

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

La simulación se realizó en el software RadioMobile, para ello se utilizó la antena transmisora Mikrotik SXT SA5, y como antenas receptoras las Mikrotik LHG 5, con las características descritas en el capítulo anterior. En la Figura 7-3, se puede observar el diagrama de radiación de la antena transmisora hacia el CPE1, CPE2 y CPE3.

A continuación, en la Figura 8-3, Figura 9-3 y en la Figura 10-3, se puede observar los resultados de la simulación realizada en RadioMobile para el CPE1, CPE2 y CPE3, donde muestra los valores de los parámetros de potencia, ganancia de las antenas Tx y Rx, despejamiento, pérdidas de línea, distancia entre el transmisor y receptor, entre otros. Los enlaces están simulados una frecuencia central de 5645 MHz con un ancho de banda de 20 MHz.

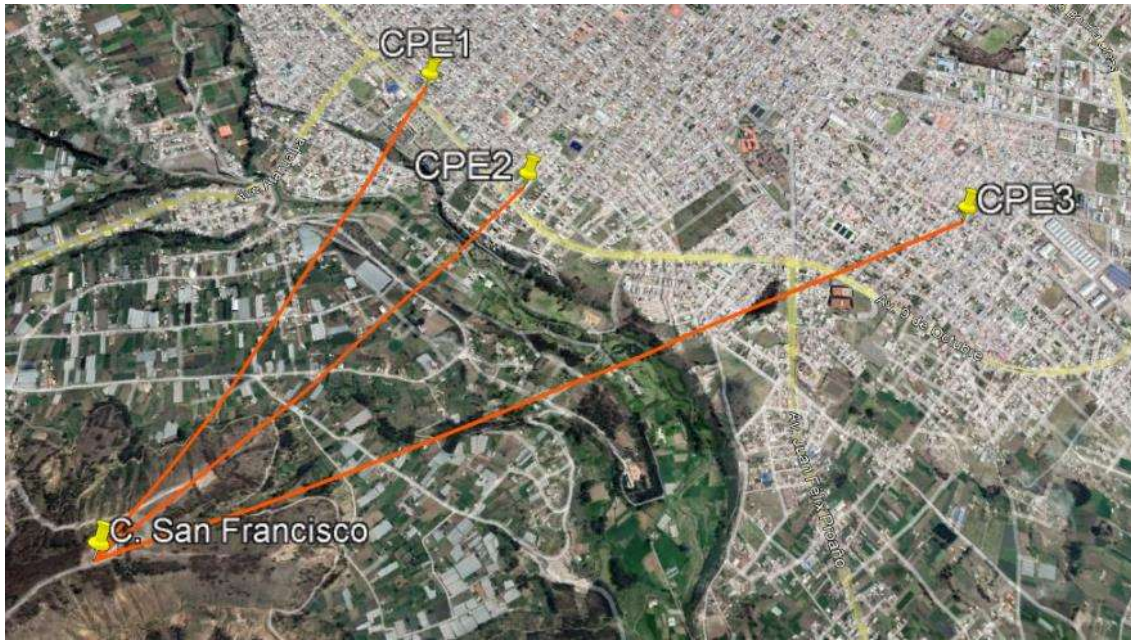


Figura 6-3: Diseño del enlace punto multipunto

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Google, 2020)

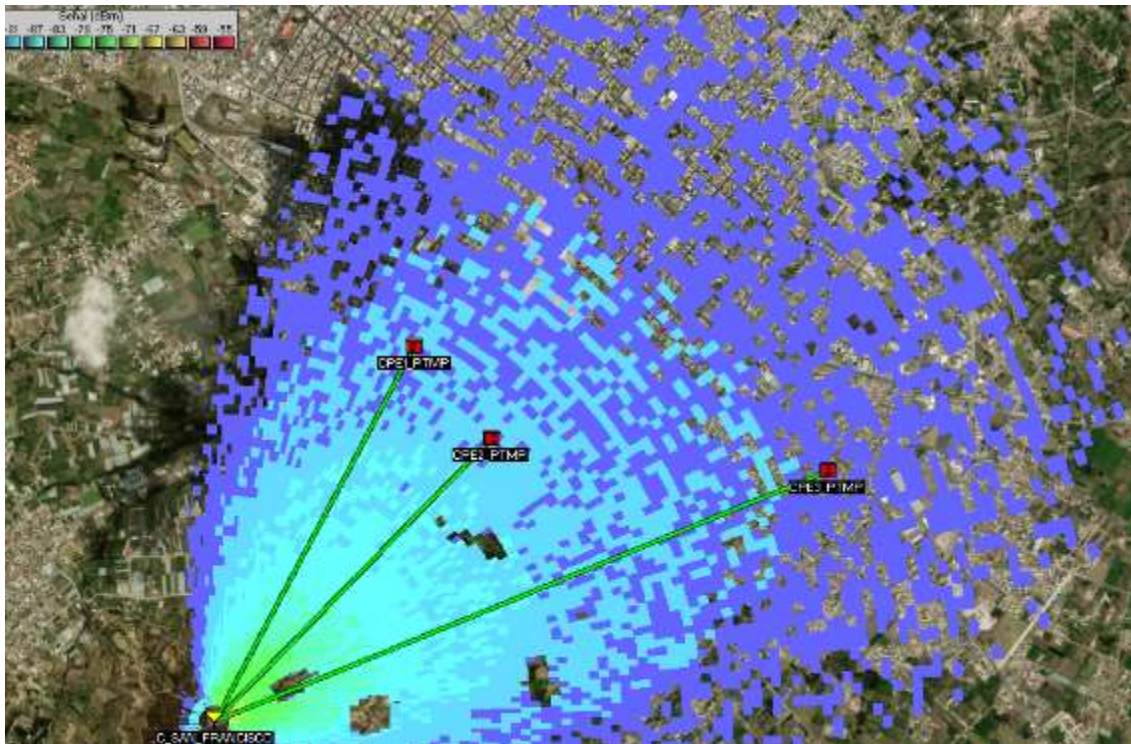


Figura 7-3: Simulación del enlace punto multipunto

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

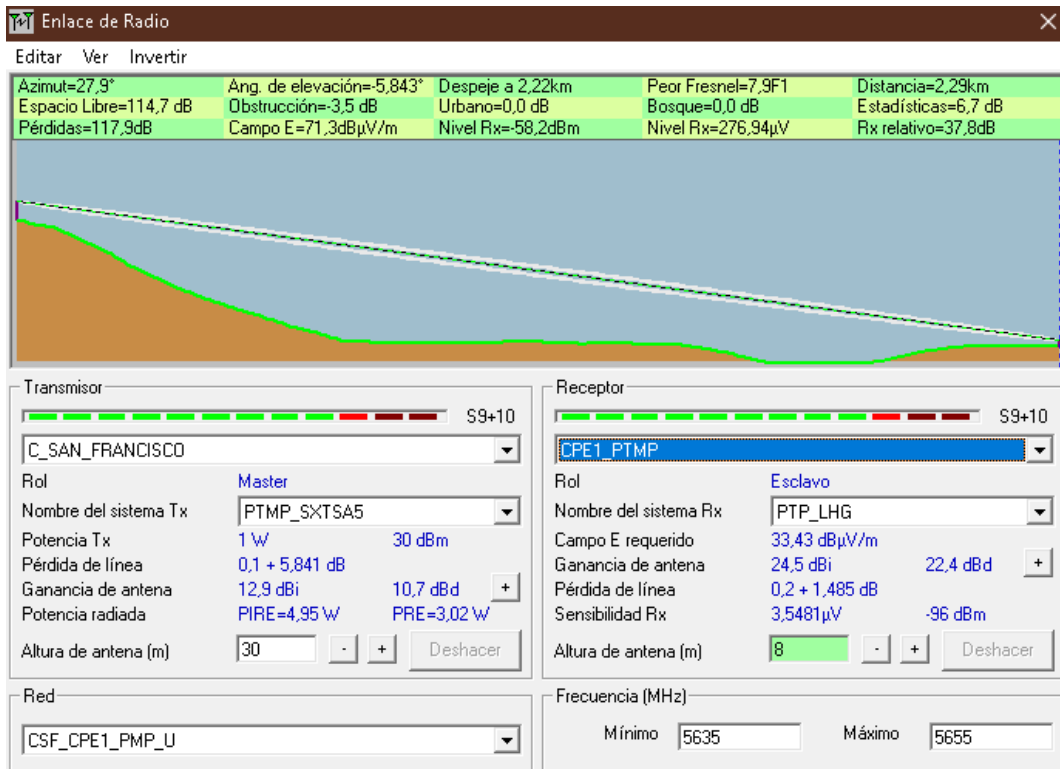


Figura 8-3: Simulación del enlace punto multipunto desde el Cerro San Francisco al CPE1

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

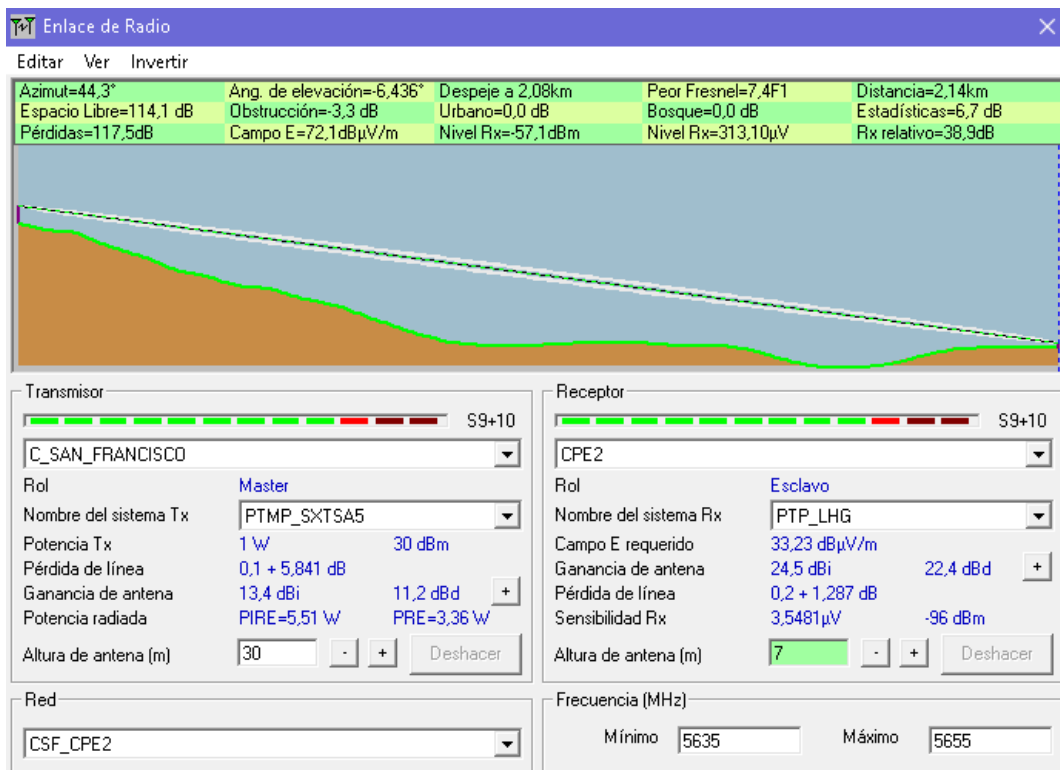


Figura 9-3: Simulación del enlace punto multipunto desde el Cerro San Francisco al CPE2

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

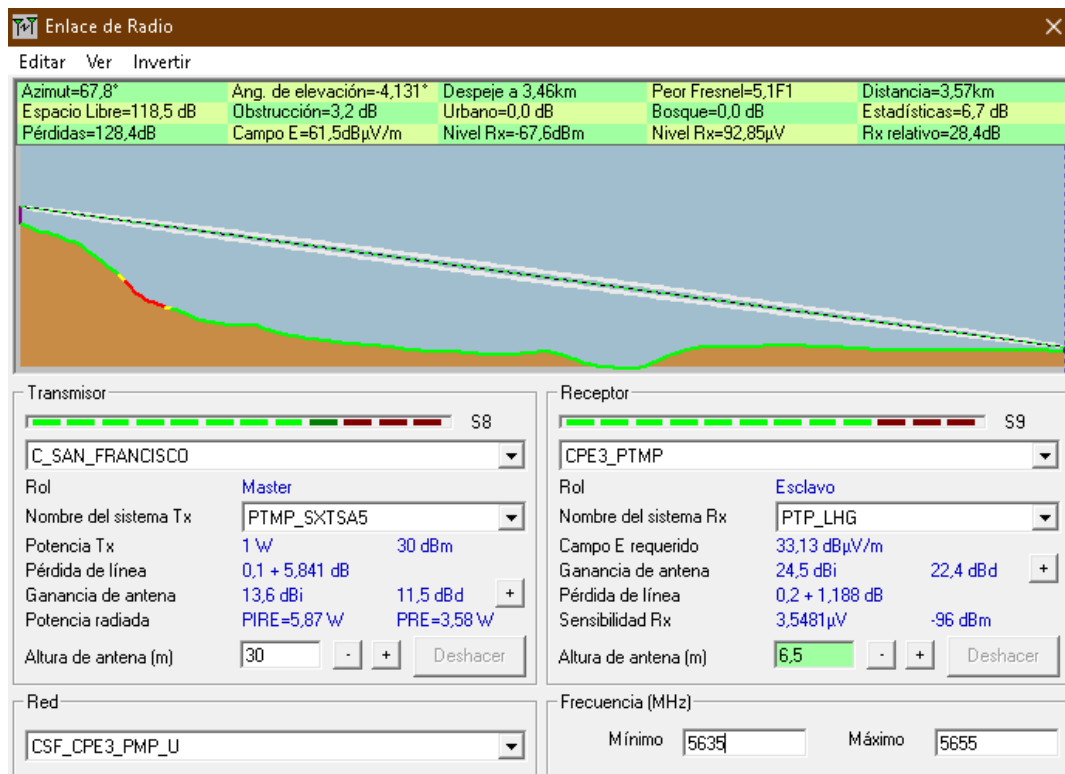


Figura 10-3: Simulación del enlace punto multipunto desde el Cerro San Francisco al CPE3

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

3.3. Diseño de los enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto en la zona rural

A continuación, se describen los lugares en los cuales se realizó la simulación e instalación de los equipos descritos en el capítulo anterior para los enlaces punto a punto y punto multipunto en la zona rural.

3.3.1. Enlace punto a punto

Para realizar el enlace en la zona rural se tomó en cuenta 4 lugares donde se diseñó, simuló e instaló los equipos necesarios:

- En SITCOM, porque se encuentran los equipos que se conectan con el proveedor de internet.
- El cerro San Francisco, porque la empresa arrienda una caseta y una torre para realizar la instalación de sus equipos.
- En la parroquia Quimiag, donde existe infraestructura para instalar los equipos.
- Para el CPE se eligió un lugar en la parroquia rural Quimiag.



Figura 11-3: Diseño del enlace desde la matriz SITCOM al nodo Quimiag

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Google, 2020)

En la Tabla 3-3, se observa las coordenadas de los 4 lugares donde se ubicaron las antenas.

Tabla 3-3: Coordenadas donde se ubicaron las antenas

Lugar	Coordenadas
Matriz SITCOM	Latitud: 1°40'5.38"S Longitud: 78°39'9.29"O
Cerro San Francisco	Latitud: 1°41'47.34"S Longitud: 78°40'0.16"O
Nodo Quimiag	Latitud: 1°39'30.87"S Longitud: 78°34'10.53"O
CPE	Latitud: 1°39'40.29"S Longitud: 78°34'7.18"O

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

En la Figura 11-3, se observa el diseño del enlace punto a punto rural que va desde la Matriz_SITCOM al Cerro San Francisco descrito en el numeral 3.2.1.1., y del Cerro San Francisco al Nodo_Quimiag, que se encuentra en la parroquia rural de Quimiag perteneciente al cantón Riobamba. En la Figura 12-3, se observa el enlace que va desde el Nodo_Quimiag al CPE.



Figura 12-3: Diseño del enlace del nodo Quimiag al CPE

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Google, 2020)

3.3.1.1. Enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag

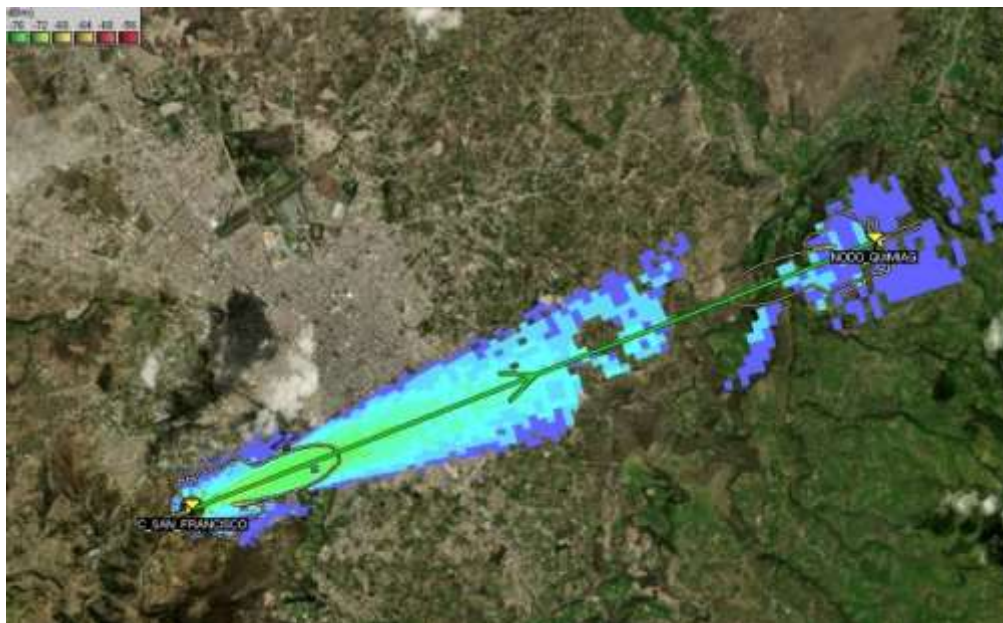


Figura 13-3: Enlace punto a punto desde el cerro San Francisco al Nodo Quimiag

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

El enlace va desde el cerro San Francisco al Nodo Quimiag que se encuentra dentro de la parroquia rural Quimiag. La simulación se realizó en el software RadioMobile, para ello se utilizó

las antenas Mikrotik LHG 5, con las características descritas en el capítulo anterior. En la Figura 13-3, se puede observar el diagrama de radiación de la antenna transmisora hacia el Nodo Quimiag. A continuación, en la Figura 14-3, se puede observar los resultados de la simulación realizada en RadioMobile, donde muestra los valores de los parámetros de potencia, ganancias de las antenas Tx y Rx, despejamiento, las pérdidas de línea, la distancia entre el transmisor y receptor, entre otros. Tiene una frecuencia central de 5470 MHz con un ancho de 20 MHz a una distancia de 11,58 Km.

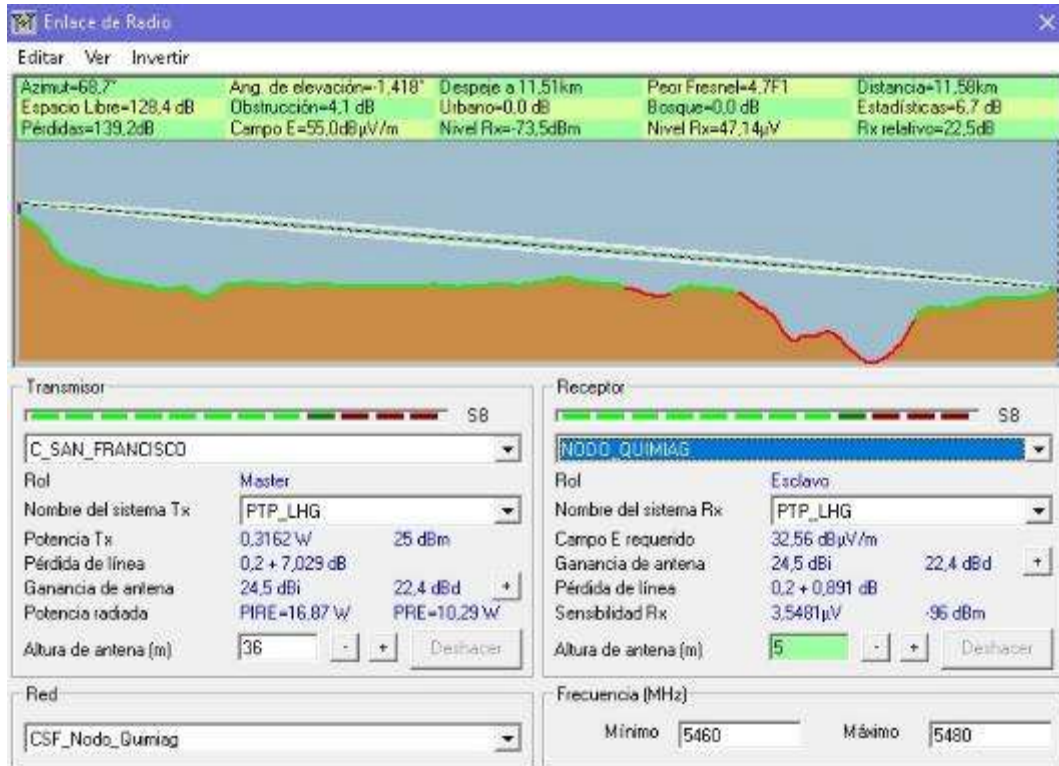


Figura 14-3: Simulación del enlace punto a punto desde el Cerro San Francisco al Nodo Quimiag

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

3.3.1.2. Enlace Nodo Quimiag – CPE

El enlace va desde el Nodo Quimiag al CPE que se encuentra dentro de la parroquia rural Quimiag. La simulación se realizó en el software RadioMobile, para ello se utilizó las antenas Mikrotik SXTsq 5, con las características descritas en el capítulo anterior. En la Figura 15-3, se puede observar el diagrama de radiación de la antenna transmisora hacia el CPE. A continuación, en la Figura 16-3, se puede observar los resultados de la simulación realizada en RadioMobile, donde muestra los valores de los parámetros de potencia, ganancias de las antenas Tx y Rx, despejamiento, las pérdidas de línea, la distancia entre el transmisor y receptor, entre

otros. Tiene una frecuencia central de 5560 MHz con un ancho de 20 MHz a una distancia de 0,31 Km.



Figura 15-3: Enlace punto a punto desde el Nodo Quimiag al CPE

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

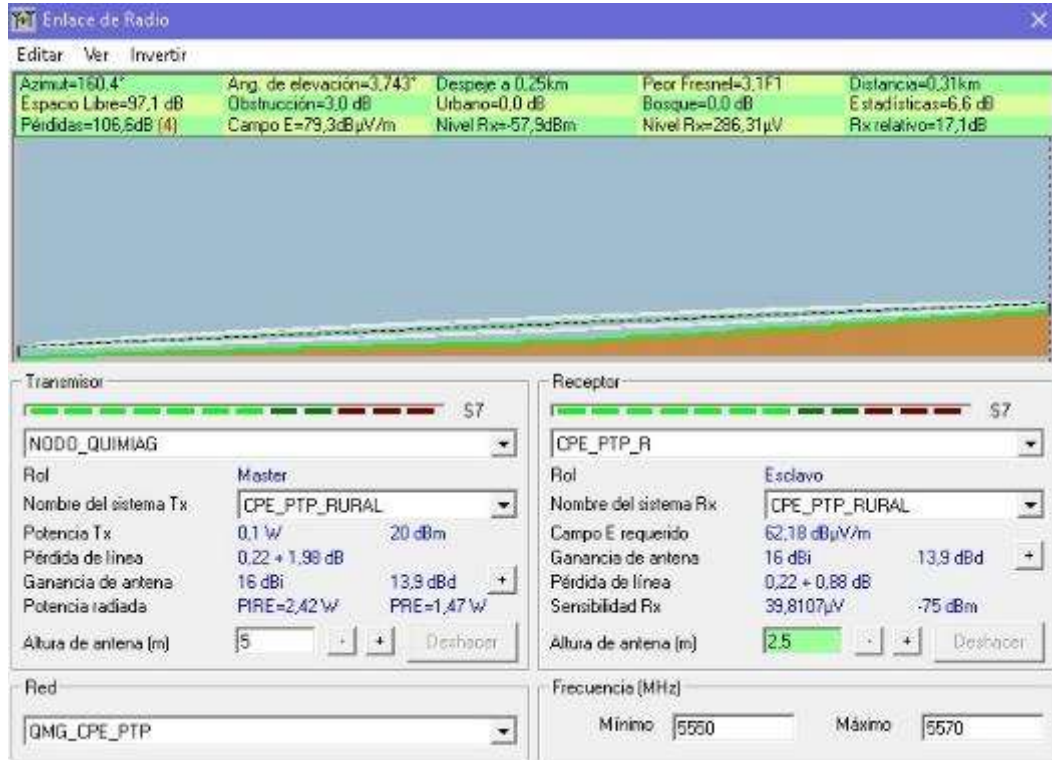


Figura 16-3: Simulación del enlace punto a punto desde el Nodo Quimiag al CPE

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

3.3.2. Enlace punto multipunto

Para el enlace punto multipunto se utilizó el enlace SITCOM – Cerro San Francisco descrito en la sección 3.2.1.1. y el enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag descrito en la sección 3.3.1.1. Desde el nodo Quimiag se irradió hacia la parroquia con la antena sectorial Mikrotik SXT SA5 de 90°. En la Figura 17-3, se observa el diseño del enlace punto multipunto rural, el cual irradia desde el nodo Quimiag hacia los CPE1, CPE2 y CPE3.

En la Tabla 4-3, se observa las coordenadas de los lugares donde se ubicaron las antenas.

Tabla 4-3: Coordenadas donde se ubicaron las antenas

Lugar	Coordenadas
Matriz SITCOM	Latitud: 1°40'5.38"S Longitud: 78°39'9.29"O
Cerro San Francisco	Latitud: 1°41'47.34"S Longitud: 78°40'0.16"O
Nodo Quimiag	Latitud: 1°39'30.87"S Longitud: 78°34'10.53"O
CPE1	Latitud: 1°39'28.28"S Longitud: 78°34'18.62"O
CPE2	Latitud: 1°39'28.05"S Longitud: 78°34'10.36"O
CPE3	Latitud: 1°39'28.79"S Longitud: 78°34'20.63"O

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

La instalación de los CPE 1 y CPE 3 se realizó en la Unidad educativa Puruhá y del CPE 2 en la Escuela de Educación Básica Bernardo Castillo.

La simulación se realizó en el software RadioMobile, para ello se utilizó la antena transmisora Mikrotik SXT SA5 y como antenas receptoras las Mikrotik SXTsq 5, con las características descritas en el capítulo anterior. En la Figura 18-3, se puede observar el diagrama de radiación de la antena transmisora hacia el CPE1, CPE2 y CPE3.

A continuación, en la Figura 19-3, Figura 20-3 y en la Figura 21-3, se puede observar los resultados de la simulación realizada en RadioMobile, donde muestra los valores de los parámetros de potencia, ganancia de las antenas Tx y Rx, despejamiento, pérdidas de línea, distancia entre el transmisor y receptor, entre otros. Los enlaces se simularon a una frecuencia central de 5370 MHz con un ancho de banda de 20 MHz.

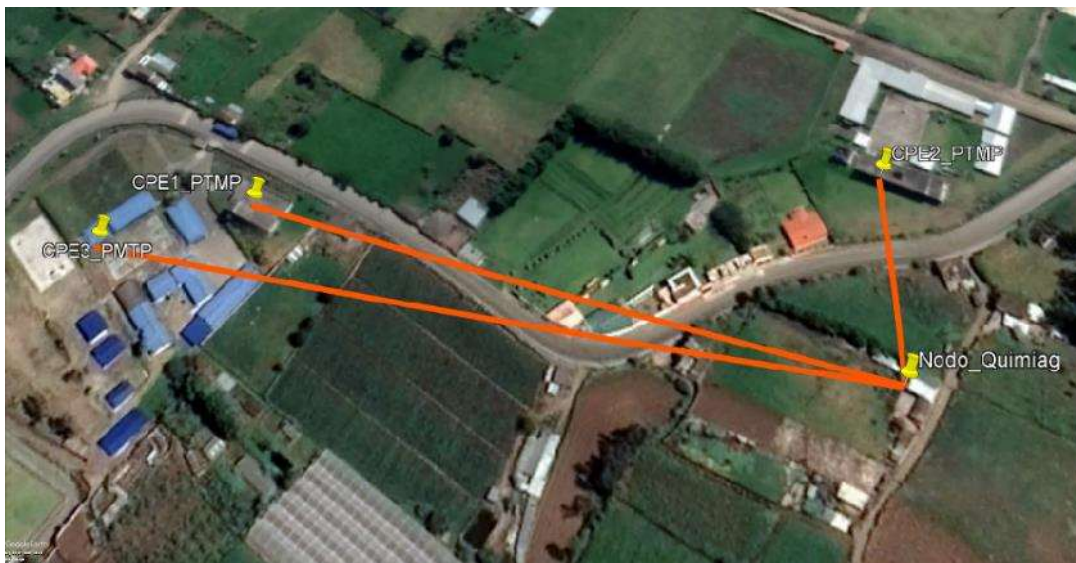


Figura 17-3: Diseño del enlace punto multipunto en la parroquia rural Quimiag

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Google, 2020)

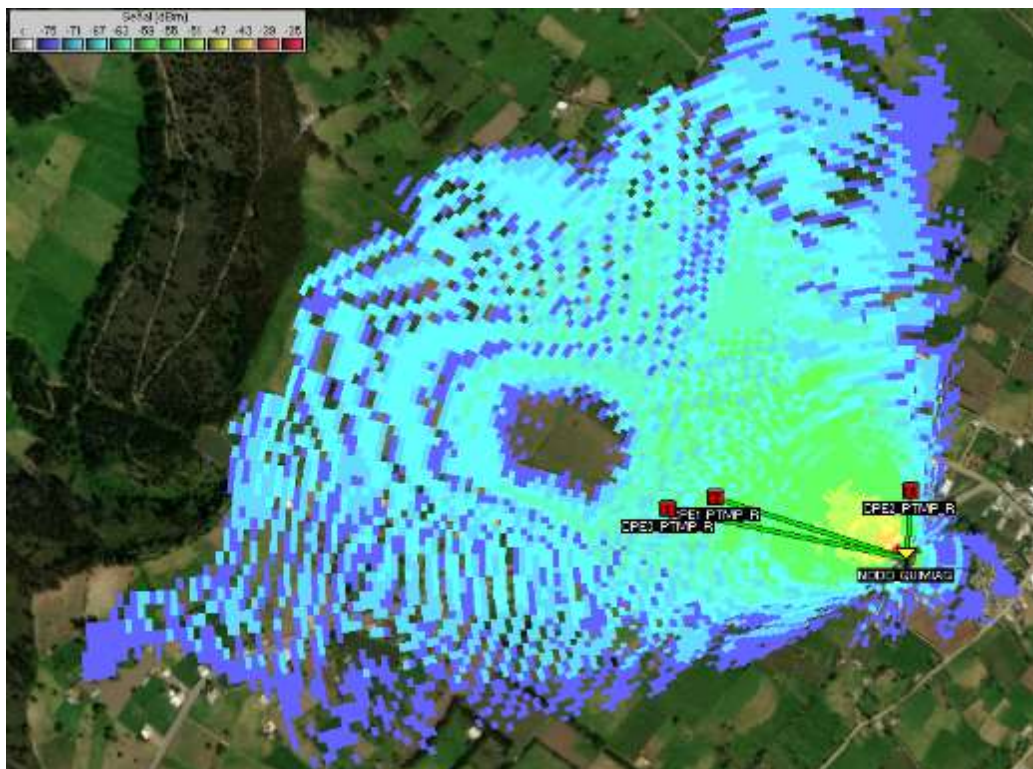


Figura 18-3: Simulación del enlace punto multipunto

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

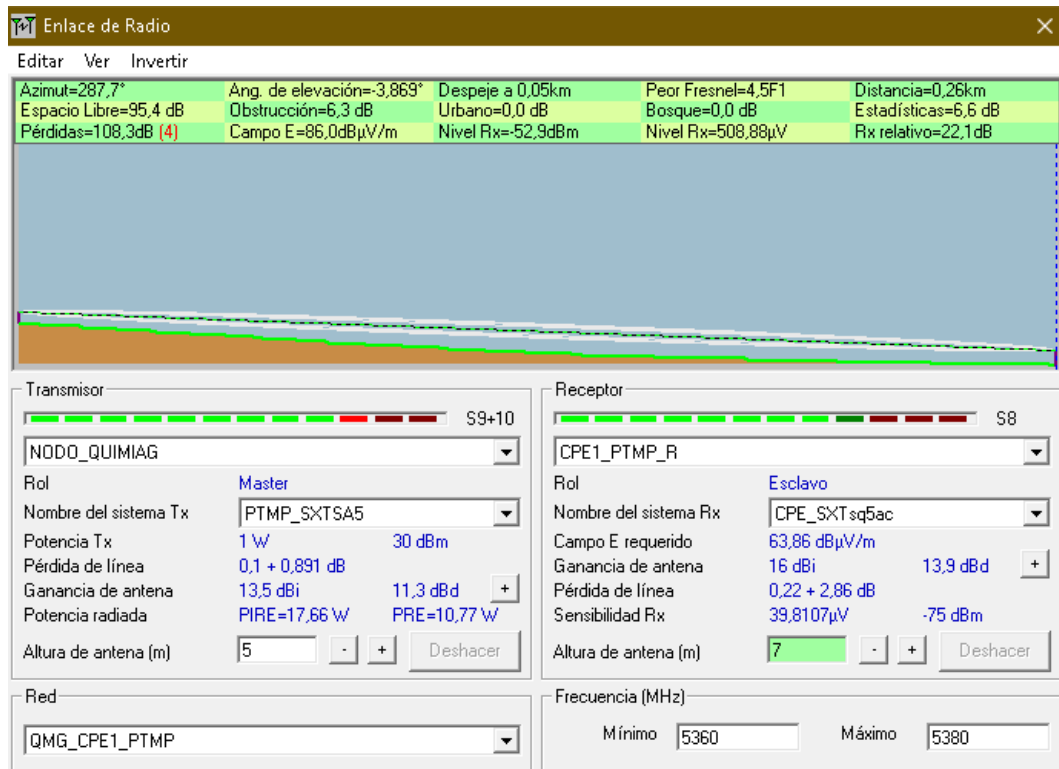


Figura 19-3: Simulación del enlace punto multipunto desde el Nodo Quimiag al CPE1

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

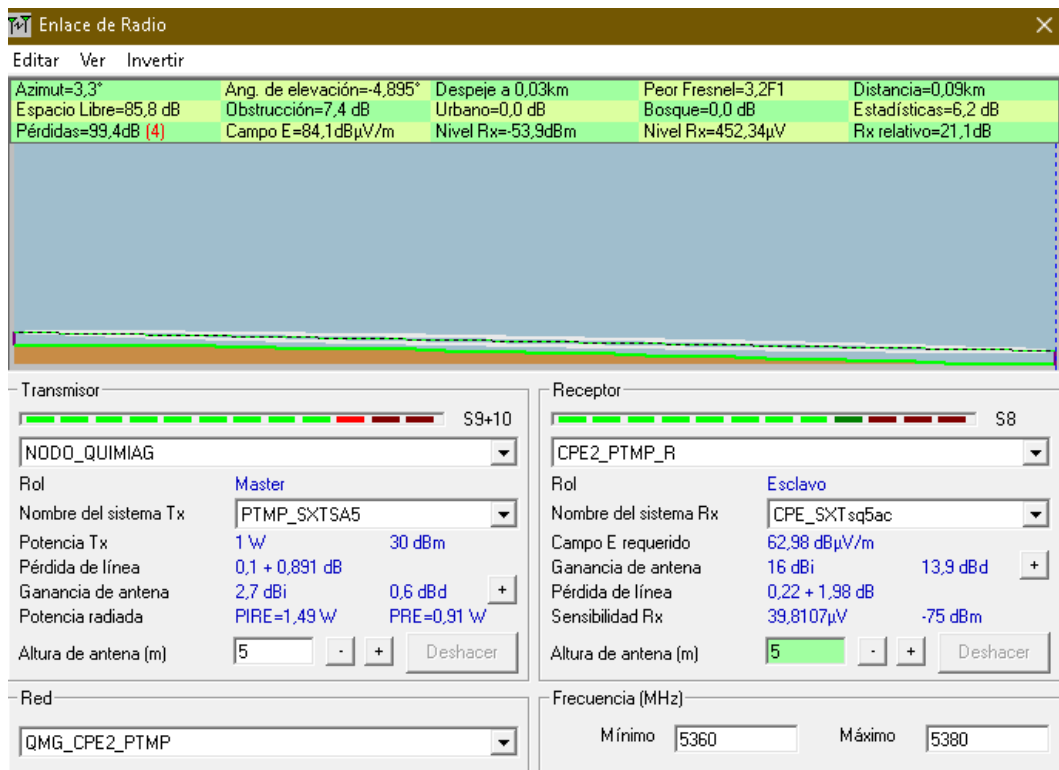


Figura 20-3: Simulación del enlace punto multipunto desde el Nodo Quimiag al CPE2

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

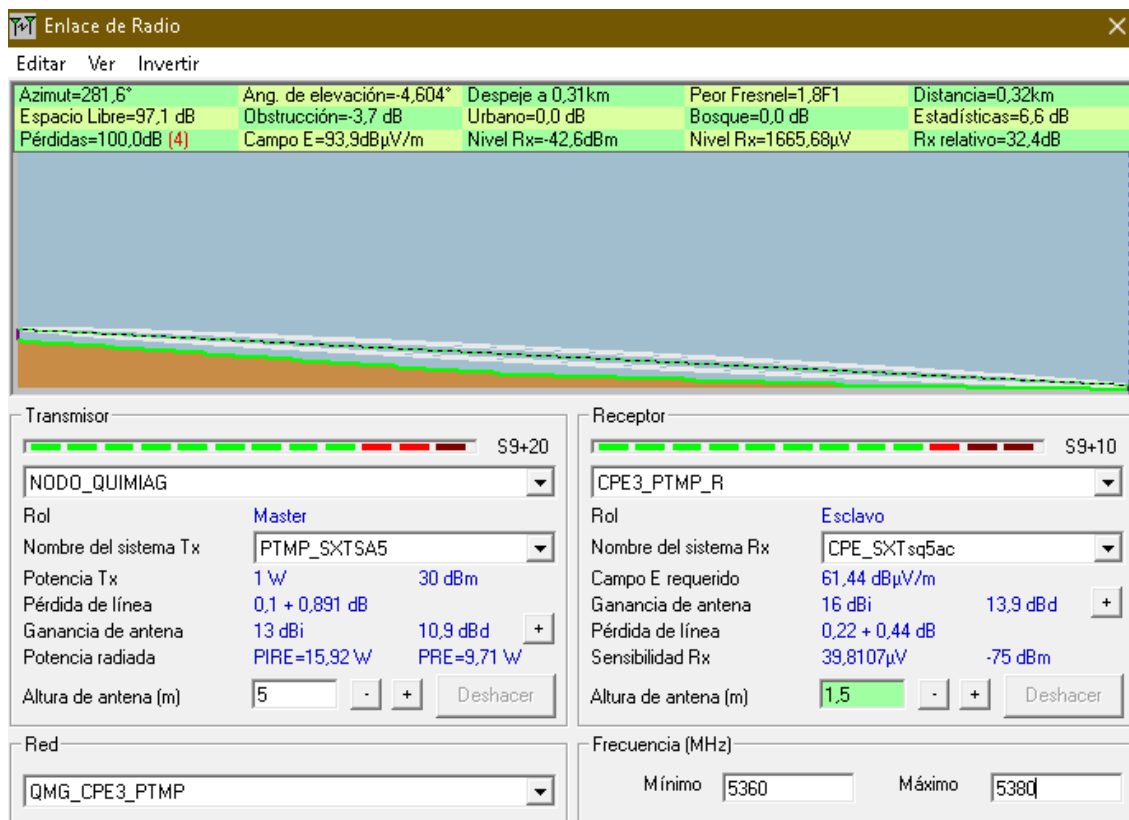


Figura 21-3: Simulación del enlace punto multipunto desde el Nodo Quimiag al CPE3

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Fuente: (Radio Mobile, 2020)

3.4. Implementación de los enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto en la zona urbana

En la siguiente sección se describe las configuraciones realizadas durante la instalación de las antenas, para posteriormente medir los parámetros técnicos necesarios para la transmisión de video bajo demanda, IPTV y video vigilancia para la zona urbana.

3.4.1. Enlace punto a punto

3.4.1.1. Enlace SITCOM – Cerro San Francisco

Antes de realizar la instalación de las antenas en cada una de las torres para el enlace SITCOM – Cerro San Francisco, se procedió a la configuración para enlazarlas. Las antenas utilizadas son las Mikrotik LHG 5, como se puede observar en la Figura 22-3.



Figura 22-3: Configuración de las antenas Mikrotik LHG 5, antes de ser instaladas en las torres

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

En la Tabla 5-3, se observa las configuraciones realizadas a cada una de las antenas.

Tabla 5-3: Configuración inicial de las antenas

Configuración	Antena Transmisora	Antena Receptora
Identificación	TX_SITCOM_CSF	RX_SITCOM_CSF
Nombre de la interfaz	Bridge 1	Bridge 1
Tipo de interfaz	Bridge	Station Bridge
Banda	5 GHz A/N	5 GHz A/N
Ancho de banda	20/40 MHz eC	20/40 MHz
Frecuencia	5300 MHz	5300 MHz
SSID	PTP	PTP
Wireless Protocol	Nv2	Nv2
Modo de Frecuencia	superchannel	superchannel
Ganancia de la antena	25 dBi	25 dBi
País	Ecuador	Ecuador
Bridge Mode	Enable	Enable
Potencia	default	default
WDS	dynamic	dynamic

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Después de configurar y realizar las pruebas de laboratorio correspondientes se procedió a la instalación de las antenas. En la Figura 23-3a se muestra la instalación en torre ubicada en las oficinas de SITCOM y en la Figura 23-3b se observa la instalación en la torre ubicada en las instalaciones en el cerro San Francisco.



Figura 23-3: Instalación de las antenas Mikrotik LHG 5, a) torre ubicada en la empresa SITCOM y b) torre ubicada en el cerro San Francisco

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Una vez instaladas las antenas se realizó un barrido de frecuencias para saber cuáles son las frecuencias menos utilizadas y probar con cada una de ellas para dejar al enlace en óptimas condiciones. En la Tabla 6-3, se observa los valores obtenidos en cada una de las frecuencias. En la Figura 24-3, se observa el estado del enlace SITCOM-Cerro San Francisco. La frecuencia elegida fue el 5795 MHz, ya que muestra un nivel de la señal óptimo de -50 dBm, un piso de ruido de -110 dBm y una relación señal a ruido de 60 dB.

Tabla 6-3: Valores obtenidos en cada una de las frecuencias

Frecuencia (MHz)	Tx/Rx nivel de señal (dBm)	Tx/RX Ch0 (dBm)	Tx/RX Ch1 (dBm)	Ruido de Piso (dBm)	Relación señal a ruido (dB)	Tx/RX CCQ (%)	Observación
4950	-65/-60	-65/-65	-70/-68	-116	55	70/6	
4955	-65/-61	-66/-64	-69/-66	-116	55	37/8	
4985	-62/-59	-64/-60	-67/-63	-116	59	62/76	Desconexión
5025	-58/-53	-58/-55	-63/-59	-115	62	34/7	Desconexión
5035	-57/-85	-60/-53	-64/-58	-116	64	28/6	Desconexión
5085	-56/-53	-58/-55	-59/-61	-113	61	18/9	

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 6-3: (Continuación)

5170	-52/-53	-55/-62	-57/-57	-107	51	30/6	
5265	-53/-53	-55/-57	-61/-56	-107	51	50/50	
5315	-52/-54	-53/-60	-57/-56	-106	51	35/26	
5325	-53/-53	-54/-56	-57/-55	-108	56	33/59	
5475	-53/-51	-54/-55	-57/-52	-109	56	51/59	
5525	-53/-53	-55/-56	-59/-53	-109	54	85/59	
5535	-53/54	-55/58	-57/58	-107	52	33/54	
5550	-54/-52	-53/-58	-57/-58	-108	57	59/59	
5375	-54/-53	-56/-59	-58/-54	-107	55	63/34	
5670	-54/-52	-58/-57	-58/-54	-112	59	44/57	
5710	-54/-55	-56/-56	-58/-54	-107	55	63/34	
5715	-55/-51	-59/-56	-58/-56	-112	59	44/57	
5755	-54/-544	-59/-59	-59/-55	-108	52	42/43	
5760	-55/-53	-59/-57	-57/-54	-110	56	64/45	
5795	-57/-50	-62/-59	-59/-51	-110	60	91/99	
5845	-58/-53	-59/-57	-57/-54	-110	62	48/36	
5860	-59/-54	-74/-53	-60/-55	-117	63	33/54	
5880	-61/-55	-76/-66	-62/-56	-120	64	41/68	
5905	-64/-58	-78/-68	-65/-56	-120	62	32/51	
5925	-68/-62	-82/-74	-69/-61	-119	56	32/64	
5920	-77/-60	-88/-74	-81/-68	-122	53	23/38	
5970	-78/-71	-80/-78	-79/-75	-121	50	20/6	
5980	-81/-74	-90/-80	-82/-75	-122	49	31/6	
6025	No se puede acceder a la antena						
6050	No se puede acceder a la antena						

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

3.4.1.2. Cerro San Francisco – CPE

Antes de realizar la instalación de las antenas en cada una de las torres para el enlace Cerro San Francisco – CPE, se procedió a la configuración para enlazarlas.

Las antenas utilizadas son las Mikrotik LHG 5, como se puede observar en la Figura 25-3.

Interface <lan1>						
WDS	Natreme	NV2	Tx Power	Current Tx Power	Advanced Status	Status
Last Link Down Time: Jan/22/2021 17:40:31						
Last Link Up Time: Jan/22/2021 17:41:38						
Link Downs: 78						
Channel: 5795/20-Jan						
Wireless Protocol: nv2						
Tx Rate: 54Mbps						
Rx Rate: 54Mbps						
SSID: PTP						
BSSID: 48:BF:5A:A4:04:8E						
Radio Name: 48BF5AA4048E						
Tx/Rx Signal Strength: -57/-50 dBm						
Tx/Rx Signal Strength Ch0: -62/-59 dBm						
Tx/Rx Signal Strength Ch1: -59/-51 dBm						
Tx/Rx Signal Strength Ch2:						
Tx/Rx Signal Strength Ch3:						
Noise Floor: -110 dBm						
Signal To Noise: 60 dB						
Tx/Rx CCK: 91/99 %						
Overall Tx CCK:						
Distance: 5 km						
RouterOS Version: 6.45.9						
Last IP: 192.168.10.108						
<input type="checkbox"/> WDS Link						
<input type="checkbox"/> Compression						

Figura 24-3: Estado del enlace SITCOM-Cerro San Francisco
Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021



Figura 25-3: Antenas Mikrotik LHG 5 utilizadas en el enlace Cerro San Francisco – CPE
Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

En la Tabla 7-3, se observa las configuraciones realizadas a cada una de las antenas. Después de configurar y realizar las pruebas de laboratorio correspondientes se procedió a la instalación de las antenas. En la Figura 26-3a se observa la instalación en la torre ubicada en las instalaciones en el cerro San Francisco, y en la Figura 26-3b se observa la instalación en la torre ubicada en el CPE.

Tabla 7-3: Configuración inicial de las antenas

Configuración	Antena Transmisora	Antena Receptora
Identificación	TX_CSF	RX_CPE
Nombre de la interfaz	Bridge 1	Bridge 1
Tipo de interfaz	Bridge	Station Bridge
Banda	5 GHz A/N	5 GHz A/N
Ancho de banda	20 MHz	20 MHz
Frecuencia	5125 MHz	5125 MHz
SSID	TX-SF-CI	TX-SF-CI
Wireless Protocol	Nv2	Nv2
Modo de Frecuencia	superchannel	superchannel
Ganancia de la antena	25 dBi	25 dBi
País	Ecuador	Ecuador
Bridge Mode	Enable	Enable
Potencia	default	default
WDS	dynamic	dynamic

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021



Figura 26-3: Instalación de las antenas Mikrotik LHG 5, a) en la torre ubicada en el cerro San Francisco y b) en la torre ubicada en el CPE

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Una vez instaladas las antenas se realizó un barrido de frecuencias para saber cuáles son las frecuencias menos utilizadas y probar con cada una de ellas para dejar al enlace en óptimas condiciones. En la Figura 27-3, se observa el estado del enlace Cerro San Francisco-CPE. La

frecuencia elegida fue 5075 MHz, ya que muestra un nivel de la señal óptimo de -55 dBm, un piso de ruido de -107 dBm, una relación señal a ruido de 52 dB y un CCQ del 97%.

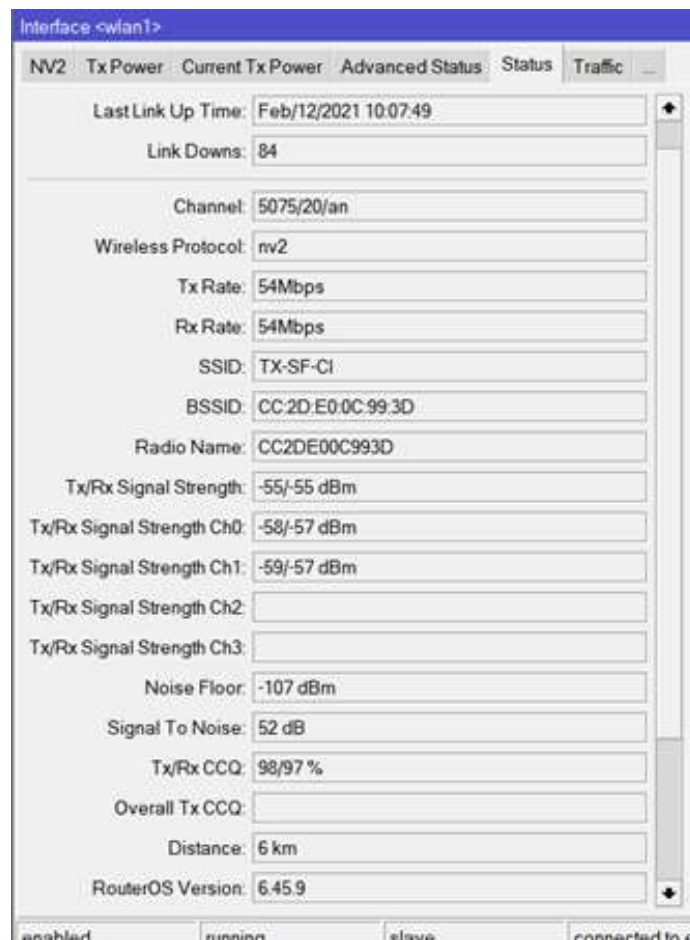


Figura 28-3: Estado del enlace Cerro San Francisco-CPE

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: WinBox

3.4.2. *Enlace punto multipunto*

Antes de realizar la instalación de las antenas en cada uno de los lugares para el enlace Cerro San Francisco hacia los CPE1, CPE2 y CPE3, se procedió a la configuración para enlazarlas. La antena transmisora utilizada es la Mikrotik SXT SA5 y las antenas receptoras son Mikrotik LHG 5.

En la Tabla 8-3, se observa las configuraciones realizadas a cada una de las antenas utilizadas para el enlace punto multipunto.

Después de configurar y realizar las pruebas de laboratorio correspondientes se procedió a la instalación. En la Figura 29-3, se observa la instalación de la antena transmisora Mikrotik SXT SA5 en el cerro San Francisco.

Tabla 8-3: Configuración inicial de las antenas

Configuración	Antena Transmisora	Antenas Receptoras		
		CPE1	CPE2	CPE3
Tipo de antena	Mikrotik SXT SA5	Mikrotik LHG 5	Mikrotik LHG 5	Mikrotik LHG 5
Identificación	AP_RBB_PTMP	RBB_PTMP_CPE1	RBB_PTMP_CPE2	RBB_PTMP_CPE3
Interfaz	Bridge 1	Bridge 1	Bridge 1	Bridge 1
Tipo de interfaz	Ap Bridge	Station Bridge	Station Bridge	Station Bridge
Banda	5 GHz-A/N	5 GHz-A/N	5 GHz-A/N	5 GHz-A/N
Ancho de banda	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz
Frecuencia	5240 MHz	5240 MHz	5240 MHz	5240 MHz
SSID	RBB_PTMP_URB	RBB_PTMP_URB	RBB_PTMP_URB	RBB_PTMP_URB
Wireless Protocol	Nv2	Nv2	Nv2	Nv2
Modo de Frecuencia	superchannel	superchannel	superchannel	superchannel
Ganancia	14 dBi	25 dBi	25 dBi	25 dBi
País	Ecuador	Ecuador	Ecuador	Ecuador
Bridge Mode	Enable	Enable	Enable	Enable
Potencia	default	default	default	default
WDS	dynamic	dynamic	dynamic	dynamic

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021



Figura 29-3: Instalación de las antenas Mikrotik SXTsq 5 en la torre ubicada en el Cerro San Francisco.

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

En la Figura 30-3 en el literal a), b) y c), se observa la instalación del CPE1, CPE2 y CPE3 respectivamente.



Figura 30-3: Instalación de las antenas, a) CPE1 b) CPE2 y c) CPE3.

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Una vez instaladas las antenas se realizó un barrido de frecuencias para saber cuáles son las frecuencias menos utilizadas. Después de varias pruebas, la frecuencia elegida fue 5255 MHz, ya que muestra un nivel de la señal óptimo en cada uno de los CPE. En la Figura 31-3a, se puede observar el estado del enlace hacia el CPE1, en la Figura 31-3b, se puede observar el estado del enlace hacia el CPE2 y, en la Figura 31-3c, se puede observar el estado del enlace hacia el CPE3.

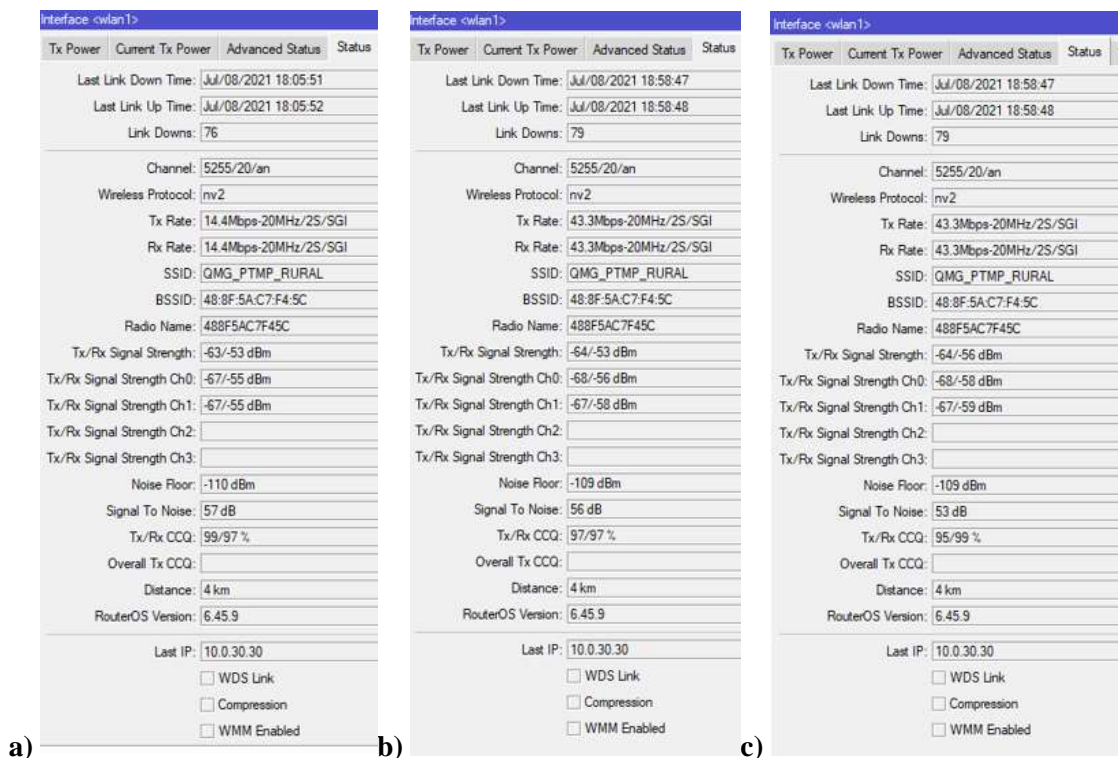


Figura 31-3: Estado del enlace Cerro San Francisco hacia el a) CPE1, b) CPE2 y c) CPE3.

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

3.5. Implementación de los enlaces inalámbricos punto a punto y punto multipunto en la zona rural

A continuación, se describen la implementación de los enlaces realizados en la parroquia rural Quimiag perteneciente al cantón Riobamba.

3.5.1. Enlace punto a punto

3.5.1.1. Enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag

Antes de realizar la instalación de las antenas en cada una de las torres para el enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag, se procedió a la configuración para enlazarlas.

Las antenas utilizadas son las Mikrotik LHG 5, como se puede observar en la Figura 32-3.



Figura 32-3: Antenas Mikrotik LHG 5 utilizadas en el enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Una vez instaladas las antenas se realizó un barrido de frecuencias para saber cuáles son las frecuencias menos utilizadas. Después de varias pruebas, la frecuencia elegida fue 5245 MHz, ya que muestra un nivel de la señal óptimo de -59 dBm, un piso de ruido de -111 dBm, una relación señal a ruido de 52 dB y un CCQ de 100%. En la Figura 34-3, se puede observar el estado del enlace cerro San Francisco – Nodo Quimiag.

En la Tabla 9-3, se observa las configuraciones realizadas a cada una de las antenas.

Tabla 9-3: Configuración inicial de las antenas.

Configuración	Antena Transmisora	Antena Receptora
Identificación	CSF_QMG_TX	CSF_QMG_RX
Nombre de la interfaz	Bridge 1	Bridge 1
Tipo de interfaz	Bridge	Station Bridge
Banda	5 GHz-A/N	5 GHz-A/N
Ancho de banda	20 MHz	20 MHz
Frecuencia	5500 MHz	5500 MHz
SSID	CSF_QMG	CSF_QMG
Wireless Protocol	Nv2	Nv2
Modo de Frecuencia	superchannel	superchannel
Ganancia de la antena	25 dBi	25 dBi
País	Ecuador	Ecuador
Bridge Mode	Enable	Enable
Potencia	default	default
WDS	dynamic	dynamic

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021



Figura 33-3: Instalación de las antenas Mikrotik LHG 5, a) en la torre ubicada en el Cerro San Francisco y b) Nodo Quimiag

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Interface <wlan1>	
Tx Power	Current Tx Power
Advanced Status	Status
Traffic	...
Last Link Up Time:	Mar/05/2021 16:53:15
Link Downs:	6
Channel:	5245/20/an
Wireless Protocol:	nv2
Tx Rate:	48Mbps
Rx Rate:	54Mbps
SSID:	CSF_QMG
BSSID:	48:8F:5A:A4:06:B1
Radio Name:	488F5AA406B1
Tx/Rx Signal Strength:	-61/-59 dBm
Tx/Rx Signal Strength Ch0:	-65/-62 dBm
Tx/Rx Signal Strength Ch1:	-64/-64 dBm
Tx/Rx Signal Strength Ch2:	
Tx/Rx Signal Strength Ch3:	
Noise Floor:	-111 dBm
Signal To Noise:	52 dB
Tx/Rx CCQ:	84/100 %
Overall Tx CCQ:	
Distance:	13 km
RouterOS Version:	6.45.9

Figura 34-3: Estado del enlace cerro San Francisco – Nodo Quimiag

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: WinBox

3.5.1.2. Enlace Nodo Quimiag – CPE

Para el enlace Nodo Quimiag – CPE se utilizó las antenas Mikrotik SXTSQ5. En la Tabla 10-3, se observa las configuraciones realizadas a cada una de las antenas antes de su instalación en cada uno de los lugares descritos en la sección 3.3.1.2.

Después de configurar y realizar las pruebas de laboratorio correspondientes se procedió a la instalación de las antenas. En la Figura 35-3a, se observa la instalación de la antena Mikrotik SXTSQ5 en el mástil ubicado en las instalaciones de Quimiag. y en la Figura 35-3b, se observa la instalación de la antena Mikrotik SXTSQ5 en el CPE ubicado en la parroquia Quimiag.

Una vez instaladas las antenas se realizó un barrido de frecuencias para saber cuáles son las frecuencias menos utilizadas. Después de varias pruebas, la frecuencia elegida fue 5975 MHz, ya que muestra un nivel de la señal óptimo de -52 dBm, un piso de ruido de -106 dBm, una relación señal a ruido de 54 dB y un CCQ de 100%. En la Figura 36-3, se puede observar el estado del enlace cerro nodo Quimiag – CPE.

Tabla 10-3: Configuración inicial de las antenas

Configuración	Antena Transmisora	Antena Receptora
Identificación	TX_PTP_QMG	RX_PTP_QMG
Nombre de la interfaz	Bridge 1	Bridge 1
Tipo de interfaz	Bridge	Station Bridge
Banda	5 GHz-A/N	5 GHz-A/N
Ancho de banda	20 MHz	20 MHz
Frecuencia	5180 MHz	5180 MHz
SSID	TX_PTP_QMG	TX_PTP_QMG
Wireless Protocol	Nv2	Nv2
Modo de Frecuencia	superchannel	superchannel
Ganancia de la antena	16 dBi	16 dBi
País	Ecuador	Ecuador
Bridge Mode	Enable	Enable
Potencia	default	default
WDS	dynamic	dynamic

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021



Figura 35-3: Instalación de las antenas Mikrotik SXTsq 5, a) en el mástil ubicado en el nodo Quimiag y b) en el CPE

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Interface <wlan1>	
Tx Power	Current Tx Power
Advanced Status	Status
Traffic	
Last Link Down Time:	Mar/23/2021 16:46:34
Last Link Up Time:	Mar/23/2021 16:46:40
Link Downs:	100
Channel:	5975/20/an
Wireless Protocol:	nv2
Tx Rate:	54Mbps
Rx Rate:	54Mbps
SSID:	TX_PTP_QMG
BSSID:	C4:AD:34:23:AE:B9
Radio Name:	C4AD3423AEB9
Tx/Rx Signal Strength:	-52/-52 dBm
Tx/Rx Signal Strength Ch0:	-54/-54 dBm
Tx/Rx Signal Strength Ch1:	-56/-55 dBm
Tx/Rx Signal Strength Ch2:	
Tx/Rx Signal Strength Ch3:	
Noise Floor:	-106 dBm
Signal To Noise:	54 dB
Tx/Rx CQ:	99/100 %
Overall Tx CQ:	
Distance:	1 km
RouterOS Version:	6.43.16

Figura 36-3: Estado del enlace nodo Quimiag – CPE

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: WinBox

3.5.2. *Enlace punto multipunto*

Antes de realizar la instalación de las antenas para el enlace punto multipunto que van desde el Nodo Quimiag hacia los CPE1, CPE2 y CPE3, se procedió a la configuración para enlazarlas. La antena transmisora utilizada es la Mikrotik SXT SA5 y las antenas receptoras son las SXTsq 5 ac. En la Tabla 11-3, se observa las configuraciones realizadas a cada una de las antenas.

Después de configurar y realizar las pruebas de laboratorio correspondientes, se procedió a la instalación. En la Figura 37-3, se observa la instalación de la antena transmisora Mikrotik SXT SA5 en el mástil ubicado en el Nodo Quimiag.

En la Figura 38-3 en el literal a), b) y c), se observa la instalación del CPE1, CPE2 y CPE3 respectivamente.

Una vez instaladas las antenas se realizó un barrido de frecuencias para saber cuáles son las frecuencias menos utilizadas. Después de varias pruebas, la frecuencia elegida fue 5370 MHz, ya que muestra un nivel de la señal óptimo en cada uno de los CPE. En la Figura 39-3a, se puede observar el estado del enlace hacia el CPE1, en la Figura 39-3b, se puede observar el estado del enlace hacia el CPE2 y, en la Figura 39-3c, se puede observar el estado del enlace hacia el CPE3.

Tabla 11-3: Configuración inicial de las antenas

Configuración	Antena Transmisora	Antenas Receptoras		
		CPE1	CPE2	CPE3
Tipo de antena	Mikrotik SXT SA5	Mikrotik SXTSQ5	Mikrotik SXTSQ5	Mikrotik SXTSQ5
Identificación	AP_QMG_PTMP	QMG_CPE1	QMG_CPE2	QMG_CPE3
Interfaz	Bridge 1	Bridge 1	Bridge 1	Bridge 1
Tipo de interfaz	Ap Bridge	Station Bridge	Station Bridge	Station Bridge
Banda	5 GHz-A/N	5 GHz-A/N	5 GHz-A/N	5 GHz-A/N
Ancho de banda	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz
Frecuencia	6010 MHz	6010 MHz	6010 MHz	6010 MHz
SSID	QMG_PTMP_RURAL	QMG_PTMP_RURAL	QMG_PTMP_RURAL	QMG_PTMP_RURAL
Wireless Protocol	Nv2	Nv2	Nv2	Nv2
Modo de Frecuencia	superchannel	superchannel	superchannel	superchannel
Ganancia	14 dBi	16 dBi	16 dBi	16 dBi
País	Ecuador	Ecuador	Ecuador	Ecuador
Bridge Mode	Enable	Enable	Enable	Enable
Potencia	default	default	default	default
WDS	dynamic	dynamic	dynamic	dynamic

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021



Figura 37-3: Instalación de la antena Mikrotik SXTSA5 en el mástil ubicado en el Nodo Quimiag

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021



Figura 38-3: Instalación de las antenas, a) CPE1 b) CPE2 y c) CPE3

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

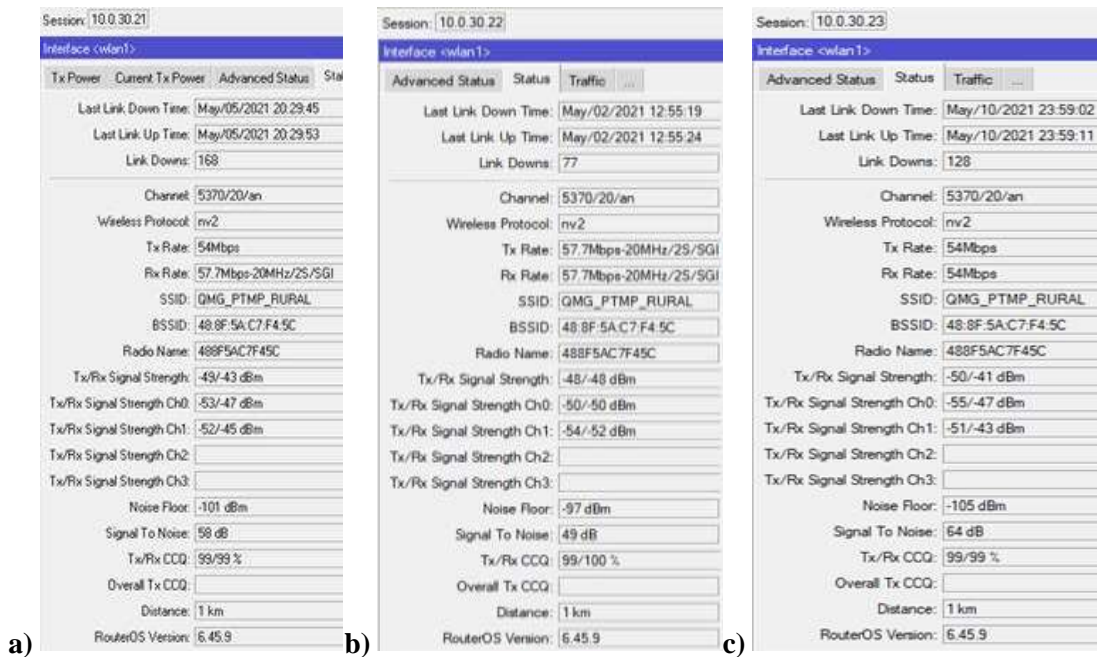


Figura 39-3: Estado del enlace nodo Quimiag hacia el a) CPE1, b) CPE2 y c) CPE3.

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

3.6. Metodología de medición

3.6.1. Variación de parámetros para video bajo demanda e IPTV

Para video bajo demanda se utilizó un servidor de video gratuito como se observa en la Figura 40-3, y para IPTV se contrató una cuenta y se utilizó la aplicación IPTV Smarters Player como se observa en la Figura 41-3. Las dos aplicaciones permitieron elegir la calidad de video (SD y HD).

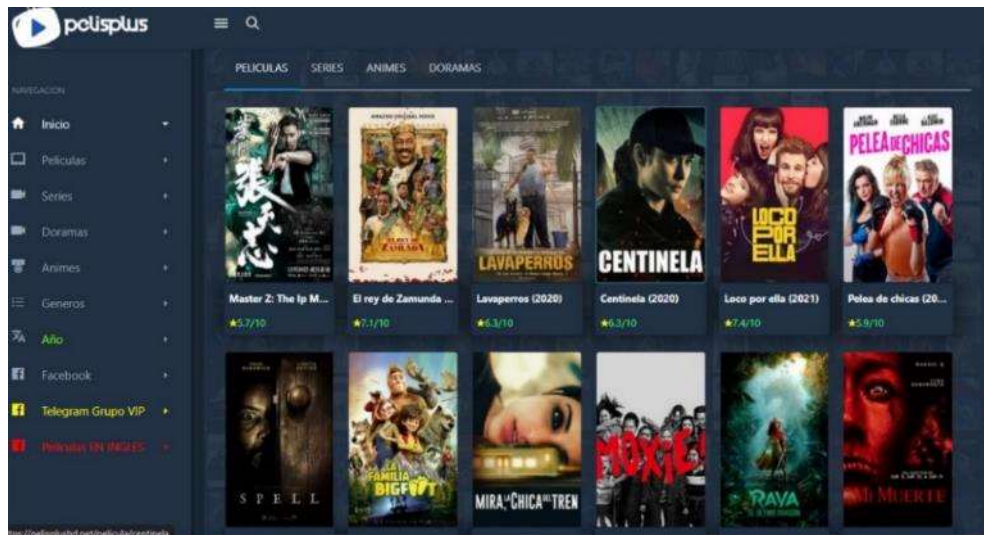


Figura 40-3: Página web de Pelisplus

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: Pelisplus



Figura 41-3: Aplicación IPTV Smarters Player

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: IPTV Smarters Player

En el caso de video bajo demanda e IPTV se varió la modulación con el programa WinBox, mientras se recibía video en calidad SD y HD. En la Tabla 12-3, se puede observar la velocidad

de transmisión, en cada una de las modulaciones dependiendo del ancho de banda para las antenas Mikrotik (CleP, 2018 pág. 16), basado en el estándar 802.11n.

Tabla 12-3: Tabla de modulación y data rate teórico basado en el estándar 802.11n.

Spatial streams	HT MSC	Modulación/ codificación	Data rate (Mbps)		Spatial streams	HT MSC	Data rate (Mbps)	
			20 MHz	10 MHz			20 MHz	10 MHz
1	0	BPSK 1/2	6,5	3,3	2	8	13	6,5
1	1	QPSK 1/2	13	6,5	2	9	26	13
1	2	QPSK 3/4	19,5	9,8	2	10	39	19,5
1	3	16QAM 1/2	26	13	2	11	52	26
1	4	16QAM 3/4	39	19,5	2	12	78	39
1	5	64QAM 2/3	52	26	2	13	104	52
1	6	64QAM 3/4	58,5	29,3	2	14	117	58,5
1	7	64QAM 5/6	65	32,5	2	15	130	65

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: (CleP, 2015)

3.6.2. Variación de parámetros para video vigilancia

Para video vigilancia se utilizó 4 cámaras instaladas en lugares estratégicos en la empresa SITCOM, como se observa en la Figura 42-3. Las cámaras son de marca Dahua Technology como se detalla en el capítulo anterior.

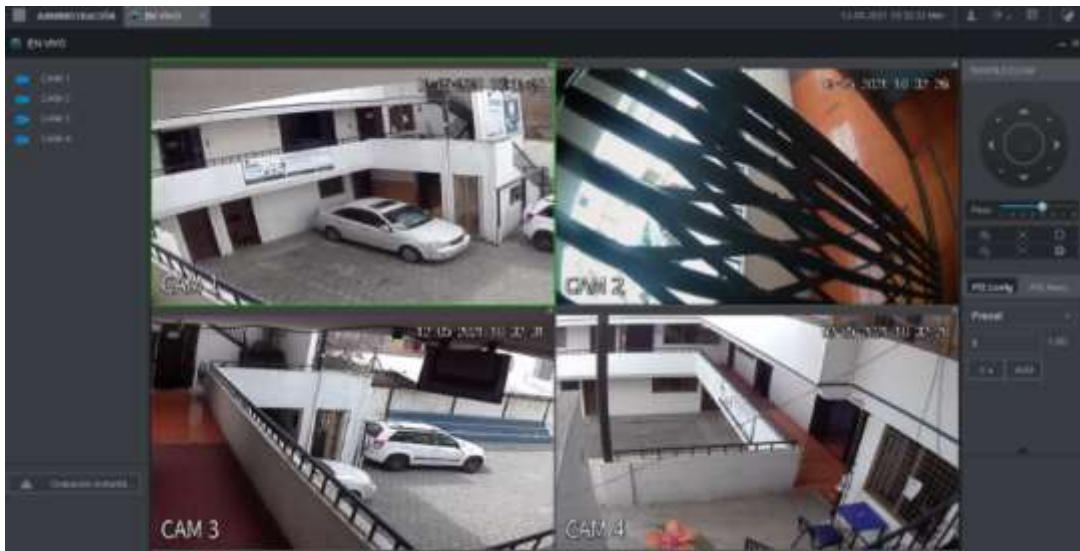


Figura 42-3: Visualización de las cuatro cámaras instaladas en la empresa SITCOM

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: Dahua

En el caso de video vigilancia para el procesamiento de la información se varió la calidad de video SD y HD, la codificación y compresión de video en H.265, H.264B, H.264 y H264H, y los parámetros descritos en la Tabla 11-3. En la Figura 43-3, se puede observar la página web de Dahua donde se modificó la compresión y la calidad de video.

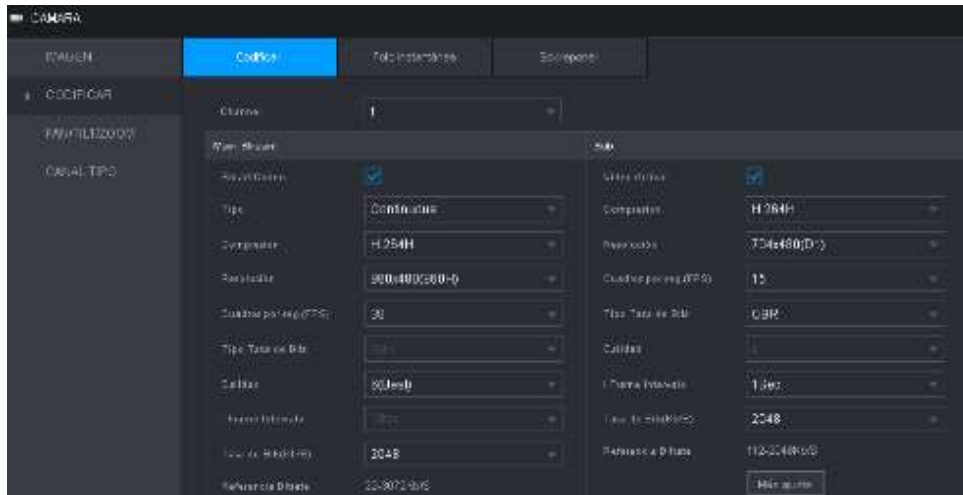


Figura 43-3: Página web de Dahua

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: Dahua

3.6.3. Método de obtención de los parámetros técnicos

Se utilizó el programa WinBox para determinar los parámetros de calidad del enlace como: potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), el porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ) y la capacidad real del canal (C). En la Figura 44-3, se puede observar el estado del enlace.



Figura 44-3: Visualización del estado del enlace en Winbox

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: Winbox

Para determinar la capacidad real del canal (C) se utilizó la herramienta Bandwidth Test de WinBox. En la herramienta se configuró la dirección IP de la antena transmisora, el protocolo de transporte y la dirección en la que se envían los datos, en este caso es recibidos. En la Figura 45-3, se observa la herramienta Bandwidth Test.

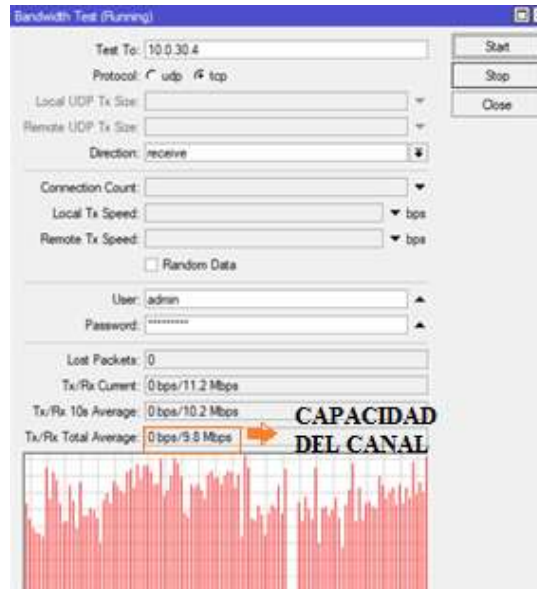


Figura 45-3: Visualización de la capacidad real del canal (C) en Bandwidth Test

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: Winbox

Para calcular el bit error rate (BER), se tomó en cuenta un desvanecimiento de tipo Rayleigh porque se asume que la onda directa no se considera una onda determinística y que forma parte de todos los eventos multitrayecto, por ese motivo no se considera una distribución de Rice. A continuación, se muestran las ecuaciones utilizadas para calcular el BER dependiendo de la modulación (Song, y otros, 2017 pág. 217).

Relación entre el E_b/N_o y el SNR:

$$\gamma_s = 0,8 \log_2(M) * \frac{BW(Mbps)}{vt(Mbps)} * SNR$$

Siendo BW el ancho de banda, vt la velocidad de transmisión y M el número de bits por símbolo dependiendo de la modulación (BPSK ($M = 2$), QPSK ($M = 4$), 16QAM ($M = 16$) O 64QAM ($M = 64$)). Para un desvanecimiento tipo Rayleigh, las ecuaciones son:

$$BER_{BPSK} = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\gamma_s}{1 + \gamma_s}} \right)$$

$$BER_{MQAM} = 2 \left(\frac{\sqrt{M} - 1}{\sqrt{M}} \right) \left(\frac{1}{\log_2 M} \right) \sum_{i=1}^{\sqrt{M}/2} (1 - \mu_i^{MQAM})$$

El término μ_i^{MQAM} se define mediante la ecuación:

$$\mu_i^{MQAM} = \sqrt{\frac{1,5(2i - 1)^2 \gamma_s}{M - 1 + 1,5(2i - 1)^2 \gamma_s}}$$

Para medir los parámetros como: retardo (delay), variación del retardo(jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) se utilizó el programa Wireshark. Para calcular el delay y jitter, se utilizó el filtro frame.time_delta_displayed (Orzach, 2013 pág. 374), el cual mide las variaciones de tiempo entre tramas captadas, una vez obtenido los valores para calcular el delay se utilizó la media y para el jitter la desviación estándar (Suarez, y otros, 2013 pág. 87) (ITU-T, 2019 pág. 24). En la Figura 46-3, se observa el parámetro de retardo en Wireshark.

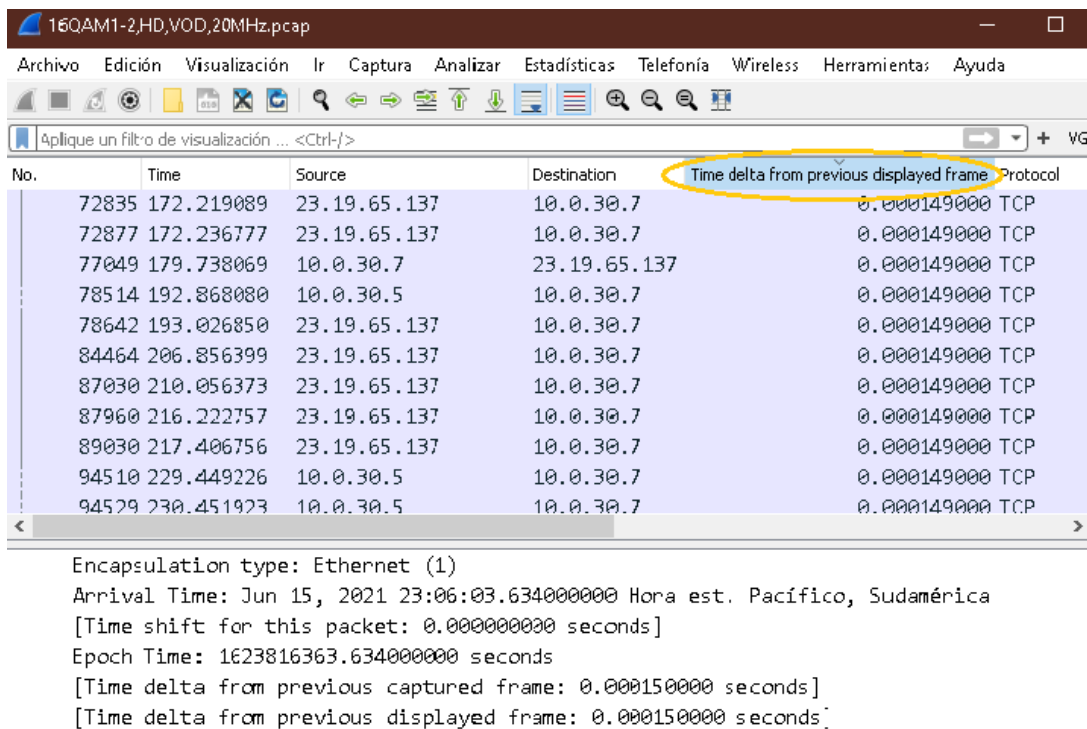


Figura 46-3: Parámetro de retardo (delay) en Wireshark

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: Wireshark

Los paquetes perdidos fueron obtenidos con el filtro tcp.analysis.lost_segment y para calcular el rendimiento (throughput) de los datos capturados, se utilizó la fórmula:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Bytes} * 8}{\text{Tiempo(s)}} \text{ (bps)}$$

Los bytes y el tiempo se obtuvieron de las propiedades del archivo de captura de Wireshark, como se observa en la Figura 47-3.

Estadísticas

Medida	Capturado	Mostrado
Paquetes	35517	17928 (50.5%)
Espacio de tiempo, s	299.960	299.949
Promedio pps	118.4	59.8
Promedio de tamaño de paquete, B	139	221
Bytes	4940496	3955945 (80.1%)
Promedio de bytes/s	16k	13k
Promedio de bits/s	131k	105k

Figura 47-3: Propiedades de archivo de captura

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Obtenido de: Wireshark

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestra los valores obtenidos en cada una de las mediciones realizadas en los enlaces punto a punto y punto multipunto urbano y rural, durante la transmisión en tiempo real de video bajo demanda, IPTV y video vigilancia en calidad SD y HD.

Los parámetros que se modificó en los tres tipos transmisión de video, es el ancho de banda de 10MHz y 20MHz, y las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$ en las antenas Mikrotik LHG 5, Mikrotik SXTSQ5 y Mikrotik SXT SA5. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión H.265, H.264B, H.264 y H264H. Cabe recalcar que en video bajo demanda e IPTV se realizó únicamente la etapa de modulación, debido a que ya posee etapa de compresión y codificación.

Durante la transmisión de video se realizó la captura del tráfico enviado por los tres tipos de transmisión de video con el programa Wireshark donde se obtuvo el delay, variación del retardo (jitter), número de paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (Throughput), y para determinar la calidad del enlace se utilizó el programa WinBox, donde se visualizó los valores de ganancia, potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER). Una vez obtenido los valores, se realizó el análisis y evaluación de parámetros técnicos ideales mínimos para garantizar la calidad de la transmisión de video bajo demanda, video vigilancia e IPTV en calidad SD y HD.

Todas las mediciones fueron tomadas en un lapso de 5 minutos, en condiciones de prestación de servicio.

4.1. Parámetros técnicos obtenidos en enlaces punto a punto urbano

4.1.1. Enlace SITCOM – Cerro San Francisco

4.1.1.1. Calidad del enlace con un ancho de banda de 10MHz

Para el enlace SITCOM – Cerro San Francisco se configuró un ancho de banda de 10 MHz a una frecuencia de 5795 MHz y una ganancia de 25 dBi. En la Tabla 1-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise

Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 1-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace SITCOM - Cerro San Francisco

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK$\frac{1}{2}$	21	-50	-115	65	94	1,5	1,482E-08
QPSK$\frac{1}{2}$	21	-50	-115	65	92	2,9	2,866E-08
QPSK$\frac{3}{4}$	21	-50	-114	64	95	4,3	5,350E-08
16QAM$\frac{1}{2}$	21	-51	-114	65	94	6,0	1,235E-07
16QAM$\frac{3}{4}$	21	-54	-115	65	95	9,1	1,873E-07
64QAM$\frac{2}{3}$	20	-50	-115	65	86	11,2	5,295E-07
64QAM$\frac{3}{4}$	19	-50	-115	65	84	11,3	5,342E-07
64QAM$\frac{5}{6}$	17	-50	-116	66	10	5,7	2,140E-07

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.1.2. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 2-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H264H.

4.1.1.3. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 3-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H,265, H,264B, H,264 y H264H.

Tabla 2-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	5,794	0,281	0	0,000	81248,29
	H.264B	5,834	0,185	1	0,005	81935,42
	H.264H	5,915	0,228	0	0,000	81563,52
	H.265	5,989	0,365	2	0,010	81734,03
QPSK ^{1/2}	H.264	5,100	0,163	0	0,000	86666,43
	H.264B	5,304	0,294	0	0,000	87162,89
	H.264H	5,238	0,155	0	0,000	85557,22
	H.265	5,071	0,133	0	0,000	84084,14
QPSK^{3/4}	H.264	5,135	0,667	0	0,000	89567,17
	H.264B	5,048	0,191	0	0,000	86012,34
	H.264H	5,349	0,177	0	0,000	86968,06
	H.265	5,203	0,198	0	0,000	85073,47
16QAM^{1/2}	H.264	5,010	0,157	0	0,000	86844,95
	H.264B	5,008	0,204	0	0,000	86791,56
	H.264H	5,114	0,593	0	0,000	85912,27
	H.265	5,096	0,133	0	0,000	85144,34
16QAM^{3/4}	H.264	5,312	1,039	0	0,000	85821,41
	H.264B	5,167	0,396	0	0,000	88192,57
	H.264H	5,028	0,383	0	0,000	89805,88
	H.265	5,239	0,210	0	0,000	84692,73
64QAM^{2/3}	H.264	5,349	0,177	0	0,000	86968,06
	H.264B	5,381	0,181	0	0,000	98278,32
	H.264H	5,543	0,405	0	0,000	89306,78
	H.265	5,439	0,233	0	0,000	86664,03
64QAM^{3/4}	H.264	5,554	0,271	0	0,000	90859,62
	H.264B	5,810	0,400	0	0,000	90859,62
	H.264H	5,828	0,243	0	0,000	90859,62
	H.265	5,566	0,264	0	0,000	117370,12
64QAM^{5/6}	H.264	6,580	0,686	0	0,000	91745,95
	H.264B	6,542	0,363	0	0,000	92004,47
	H.264H	6,404	0,457	0	0,000	85662,25
	H.265	6,750	0,391	0	0,000	90730,68

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 3-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	6,599	0,265	2633	6,247	1511564,601
	H.264B	6,565	0,273	2656	6,292	1475646,173
	H.264H	6,708	0,526	2651	6,412	1539699,736
	H.265	6,573	0,229	2675	6,347	1597727,743
QPSK ^{1/2}	H.264	3,259	0,170	3199	3,593	3289487,879
	H.264B	3,479	0,135	4538	5,425	3292640,399
	H.264H	3,496	0,166	4015	4,813	3201608,969
	H.265	4,520	0,646	477	0,896	1722119,002
QPSK^{3/4}	H.264	2,688	0,086	1221	1,130	3722002,898
	H.264B	4,509	0,415	612	1,005	1979584,926
	H.264H	2,627	0,097	1092	0,986	3732778,947
	H.265	4,550	0,456	664	1,113	1926232,061
16QAM^{1/2}	H.264	2,222	0,113	799	0,727	3640113,166
	H.264B	2,645	0,133	911	0,694	4361239,285
	H.264H	2,601	0,126	752	0,669	3757880,080
	H.265	4,682	0,469	620	1,053	1870554,393
16QAM^{3/4}	H.264	2,864	0,101	303	0,296	3296108,701
	H.264B	2,373	0,158	425	0,343	4063700,902
	H.264H	2,527	0,150	398	0,344	3799761,033
	H.265	5,074	0,151	281	0,534	1652107,678
64QAM^{2/3}	H.264	2,444	0,256	192	0,158	4005418,679
	H.264B	2,273	0,213	326	0,249	4288027,877
	H.264H	2,670	0,158	143	0,130	3612916,621
	H.265	4,528	0,333	160	0,265	1891862,833
64QAM^{3/4}	H.264	2,707	0,089	183	0,169	3523937,451
	H.264B	2,283	0,159	244	0,191	4186512,657
	H.264H	2,622	0,240	294	0,268	3604591,194
	H.265	5,000	0,975	143	0,254	1770665,761
64QAM^{5/6}	H.264	3,934	0,985	1638	2,189	2663494,785
	H.264B	4,285	2,398	1533	1,784	3088578,118
	H.264H	3,551	0,935	1612	1,914	3026821,907
	H.265	5,297	1,029	1140	2,158	1850896,547

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.1.4. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 4-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 4-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	8,454	1,712	115	0,664	707203,382
QPSK^{1/2}	7,457	2,402	128	0,799	636896,067
QPSK^{3/4}	6,937	0,822	132	0,648	813649,6714
16QAM^{1/2}	5,511	0,678	56	0,316	721965,488
16QAM^{3/4}	9,584	3,021	22	0,166	519134,162
64QAM^{2/3}	5,293	1,045	29	0,133	876340,4665
64QAM^{3/4}	4,828	1,206	20	0,113	784388,4071
64QAM^{5/6}	5,819	1,152	54	0,167	1302428,249

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.1.5. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 5-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 5-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,816	0,106	238	0,567	1623749,544
QPSK^{1/2}	5,899	1,497	311	0,842	1479429,341
QPSK^{3/4}	5,268	0,532	334	0,834	1606374,219
16QAM^{1/2}	4,954	1,126	192	0,489	1573911,101
16QAM^{3/4}	4,514	1,233	80	0,223	1433360,834
64QAM^{2/3}	4,186	0,832	63	0,163	1544863,823
64QAM^{3/4}	3,961	0,621	48	0,118	1636904,442
64QAM^{5/6}	3,962	1,680	192	0,263	2946820,268

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.1.6. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 6-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 6-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	7,954	2,611	76	0,754	384858433,906
QPSK ^{1/2}	9,855	1,626	63	0,697	371306475,695
QPSK ^{3/4}	4,543	0,599	61	0,315	868934520,847
16QAM ^{1/2}	4,606	0,314	81	0,415	792022485,930
16QAM ^{3/4}	4,015	0,679	60	0,251	1013119109,618
64QAM ^{2/3}	3,313	0,607	39	0,185	860561851,201
64QAM ^{3/4}	2,412	1,395	43	0,248	1135404436,749
64QAM ^{5/6}	2,467	2,318	26	0,134	781258263,010

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.1.7. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 7-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 7-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	6,917	0,245	217	0,564	1550351626,185
QPSK ^{1/2}	4,513	1,249	219	0,373	2364530398,365
QPSK ^{3/4}	3,909	0,316	314	0,434	2917373197,922
16QAM ^{1/2}	3,982	1,122	247	0,373	2668281503,852
16QAM ^{3/4}	2,923	0,764	146	0,190	3104876900,324
64QAM ^{2/3}	3,267	0,714	97	0,148	2642764692,764
64QAM ^{3/4}	2,916	0,556	94	0,121	3135371356,958
64QAM ^{5/6}	4,069	1,218	185	0,283	2639545561,562

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.1.8. Calidad del enlace con un ancho de banda de 20MHz

Para el enlace SITCOM – Cerro San Francisco se configuró un ancho de banda de 20 MHz a una frecuencia de 5795 MHz. En la Tabla 8-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 8-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace SITCOM - Cerro San Francisco

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK$\frac{1}{2}$	21	-55	-109	54	98	4,0	2,488E-07
QPSK$\frac{1}{2}$	21	-56	-111	55	96	7,9	3,903E-07
QPSK$\frac{3}{4}$	21	-56	-109	53	95	13,7	3,393E-07
16QAM$\frac{1}{2}$	21	-53	-111	58	93	18,5	9,544E-07
16QAM$\frac{3}{4}$	21	-52	-111	59	94	27,6	1,131E-06
64QAM$\frac{2}{3}$	20	-53	-112	59	81	25,5	2,399E-06
64QAM$\frac{3}{4}$	19	-53	-111	58	62	18,9	2,239E-06
64QAM$\frac{5}{6}$	17	-53	-111	58	37	10,13	1,200E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.1.9. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 9-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H,265, H,264B, H,264 y H264H.

4.1.1.10. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 10-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz, En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H,265, H,264B, H,264 y H264H.

Tabla 9-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	5,010	0,158	0	0,000	86360,217
	H.264B	5,346	0,764	7	0,034	87976,837
	H.264H	5,382	1,028	1	0,005	83545,789
	H.265	5,128	0,141	0	0,000	84970,543
QPSK ^{1/2}	H.264	4,993	0,512	2	0,009	86949,16
	H.264B	5,187	0,423	3	0,014	87888,002
	H.264H	4,977	0,174	0	0,000	85061,339
	H.265	5,117	0,675	1	0,005	86878,019
QPSK^{3/4}	H.264	4,997	0,361	0	0,000	86944,718
	H.264B	5,057	0,332	0	0,000	85221,936
	H.264H	5,104	0,205	0	0,000	83149,408
	H.265	5,095	0,204	0	0,000	84260,37
16QAM^{1/2}	H.264	4,986	0,197	0	0,000	85100,856
	H.264B	5,089	0,409	0	0,000	83839,56
	H.264H	4,907	0,191	0	0,000	81098,38
	H.265	5,028	0,334	0	0,000	83600,691
16QAM^{3/4}	H.264	5,067	0,181	0	0,000	88875,929
	H.264B	4,794	0,225	0	0,000	86564,543
	H.264H	5,171	0,545	2	0,010	97653,603
	H.265	4,880	0,215	0	0,000	83948,284
64QAM^{2/3}	H.264	6,034	1,656	0	0,000	87857,741
	H.264B	5,795	0,310	1	0,005	88165,15
	H.264H	5,756	0,281	0	0,000	89492,815
	H.265	5,403	0,231	0	0,000	84819,026
64QAM^{3/4}	H.264	6,261	0,481	0	0,000	85275,226
	H.264B	6,188	0,483	1	0,005	86539,066
	H.264H	6,584	0,518	0	0,000	82451,551
	H.265	6,325	0,606	2	0,011	81769,151
64QAM^{5/6}	H.264	7,573	0,506	0	0,000	84417,645
	H.264B	7,562	0,405	0	0,000	83650,711
	H.264H	8,795	2,413	0	0,000	77665,064
	H.265	7,329	0,576	0	0,000	78928,536

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 10-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	2,941	0,107	1240	1,258	3235300,603
	H.264B	2,786	0,097	1387	1,324	3625207,194
	H.264H	2,899	0,099	1456	1,447	3326305,875
	H.265	4,605	0,813	518	1,081	1451870,276
QPSK ^{1/2}	H.264	2,785	0,146	399	0,383	3271535,571
	H.264B	2,594	0,142	471	0,425	3659678,224
	H.264H	2,723	0,082	507	0,481	3317324,707
	H.265	4,749	1,078	288	0,596	1488340,106
QPSK^{3/4}	H.264	2,549	0,174	164	0,151	3370230,199
	H.264B	2,538	0,258	193	0,171	3686701,755
	H.264H	2,718	0,147	123	0,121	3147473,670
	H.265	4,633	0,389	110	0,237	1479793,331
16QAM^{1/2}	H.264	2,649	0,185	71	0,067	3300479,367
	H.264B	2,231	0,13	59	0,048	4016086,763
	H.264H	2,782	0,2	49	0,047	3260530,929
	H.265	3,4	0,326	58	0,075	2342184,611
16QAM^{3/4}	H.264	2,847	0,142	12	0,012	3138299,785
	H.264B	2,503	0,149	9	0,008	3568370,943
	H.264H	2,891	0,204	6	0,006	3135968,658
	H.265	4,48	1,203	24	0,050	1501624,595
64QAM^{2/3}	H.264	2,648	0,181	28	0,027	3332965,043
	H.264B	2,605	0,136	21	0,019	3687341,514
	H.264H	2,782	0,071	28	0,027	3289849,193
	H.265	3,135	0,482	23	0,043	1571504,322
64QAM^{3/4}	H.264	2,741	0,213	143	0,136	3494680,994
	H.264B	2,498	0,117	32	0,028	3917889,899
	H.264H	2,824	0,147	11	0,011	3285529,956
	H.265	3,856	0,822	35	0,070	1552099,225
64QAM^{5/6}	H.264	2,761	0,379	71	0,073	3370990,186
	H.264B	2,94	1,247	523	0,518	3711263,578
	H.264H	2,949	0,074	64	0,067	3291453,702
	H.265	4,287	0,626	341	0,698	1578569,231

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.1.11. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 11-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 11-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	7,249	1,500	74	0,586	504238,7160
QPSK^{1/2}	4,722	1,325	58	0,219	1078422,1380
QPSK^{3/4}	2,674	0,567	28	0,104	1097048,2910
16QAM^{1/2}	2,754	0,579	7	0,058	488092,4570
16QAM^{3/4}	1,681	0,392	9	0,033	1116368,9090
64QAM^{2/3}	3,764	0,984	7	0,035	811162,2630
64QAM^{3/4}	2,642	0,796	16	0,057	1136221,4890
64QAM^{5/6}	3,110	0,552	32	0,116	1117516,1630

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.1.12. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 12-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 12-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	3,728	0,252	460	0,632	2930388,664
QPSK^{1/2}	3,114	0,277	138	0,189	2934079,408
QPSK^{3/4}	2,816	0,234	96	0,132	2922856,402
16QAM^{1/2}	1,890	0,251	32	0,044	2955704,875
16QAM^{3/4}	1,801	0,263	22	0,030	2955849,265
64QAM^{2/3}	1,925	0,313	26	0,036	2929164,755
64QAM^{3/4}	2,409	0,265	45	0,062	2929591,561
64QAM^{5/6}	2,804	0,291	87	0,119	2944053,085

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.1.13. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 13-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 13-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	4,386	3,846	97	0,402	867755027,337
QPSK ^{1/2}	3,934	0,281	58	0,285	851137120,131
QPSK ^{3/4}	2,876	0,430	20	0,101	801130447,566
16QAM ^{1/2}	2,174	0,825	15	0,112	787609040,000
16QAM ^{3/4}	1,745	0,220	6	0,035	753707541,342
64QAM ^{2/3}	1,996	0,537	4	0,020	872788942,272
64QAM ^{3/4}	1,974	0,293	7	0,036	778113656,737
64QAM ^{5/6}	3,725	1,365	16	0,092	705202722,786

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.1.14. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 14-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 14-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	3,988	0,693	250	0,347	2905342707,510
QPSK ^{1/2}	3,112	1,040	153	0,217	2845714784,660
QPSK ^{3/4}	2,607	0,529	97	0,128	3040737920,430
16QAM ^{1/2}	2,035	0,737	34	0,045	3054259397,070
16QAM ^{3/4}	1,454	0,794	14	0,019	2900047526,176
64QAM ^{2/3}	2,914	1,489	14	0,019	2887265849,949
64QAM ^{3/4}	1,973	0,583	31	0,046	2734154596,031
64QAM ^{5/6}	2,070	0,463	69	0,095	2956013952,679

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2. Enlace Cerro San Francisco – CPE

4.1.2.1. Calidad del enlace en 10MHz

Para el enlace Cerro San Francisco – CPE se configuró un ancho de banda de 10 MHz a una frecuencia de 5075 MHz y una ganancia de 25 dBi. En la Tabla 15-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 15-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK $\frac{1}{2}$	25	-50	-113	63	98	1,5	2,349E-08
QPSK $\frac{1}{2}$	25	-51	-112	61	98	2,9	7,199E-08
QPSK $\frac{3}{4}$	25	-50	-112	62	99	4,5	8,873E-08
16QAM $\frac{1}{2}$	25	-51	-112	61	98	6,2	3,206E-07
16QAM $\frac{3}{4}$	25	-50	-113	63	97	9,7	3,165E-07
64QAM $\frac{2}{3}$	23	-50	-113	63	95	13,2	9,890E-07
64QAM $\frac{3}{4}$	22	-51	-113	62	95	14,8	1,396E-06
64QAM $\frac{5}{6}$	20	-50	-114	64	94	16,3	9,701E-07

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2.2. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 16-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.1.2.3. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 17-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

Tabla 16-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	9,077	3,088	6	0,037	86118,949
	H.264B	7,212	0,299	0	0,000	88227,901
	H.264H	8,993	2,563	21	0,129	87583,267
	H.265	9,069	3,041	13	0,081	78040,477
QPSK ^{1/2}	H.264	7,160	0,893	5	0,028	86296,526
	H.264B	6,963	0,731	12	0,066	89786,018
	H.264H	6,757	0,370	0	0,000	84582,727
	H.265	6,849	0,258	0	0,000	82366,757
QPSK^{3/4}	H.264	6,645	0,430	0	0,000	89493,894
	H.264B	6,638	0,271	0	0,000	96682,733
	H.264H	6,734	0,485	4	0,022	87752,408
	H.265	6,812	0,548	3	0,016	81197,441
16QAM^{1/2}	H.264	6,858	0,337	4	0,022	100001,935
	H.264B	6,746	0,371	5	0,027	106421,200
	H.264H	6,638	0,330	0	0,000	98016,973
	H.265	6,776	0,283	0	0,000	83885,599
16QAM^{3/4}	H.264	6,809	0,285	6	0,032	95370,843
	H.264B	6,645	0,209	0	0,000	103428,173
	H.264H	6,705	0,331	0	0,000	89325,496
	H.265	6,955	0,608	2	0,011	86971,262
64QAM^{2/3}	H.264	6,672	0,388	1	0,005	88161,785
	H.264B	6,539	0,308	0	0,000	88424,824
	H.264H	6,617	0,332	0	0,000	90881,069
	H.265	6,764	0,293	0	0,000	83121,788
64QAM^{3/4}	H.264	6,952	1,578	0	0,000	100817,499
	H.264B	6,776	0,243	0	0,000	91327,270
	H.264H	6,660	0,248	0	0,000	96646,021
	H.265	6,625	0,265	0	0,000	87290,806
64QAM^{5/6}	H.264	6,813	0,323	0	0,000	106541,751
	H.264B	6,682	0,288	0	0,000	121343,967
	H.264H	6,620	0,216	0	0,000	98569,168
	H.265	6,757	0,341	0	0,000	82755,988

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 17-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	7,038	0,376	3280	8,445	1564098,282
	H.264B	7,171	0,325	3283	8,652	1529624,818
	H.264H	7,590	0,534	3233	9,160	1422389,335
	H.265	6,292	0,140	2080	4,658	1755139,026
QPSK ^{1/2}	H.264	3,544	0,080	5419	6,592	3313987,936
	H.264B	3,684	0,179	5364	6,775	3194749,082
	H.264H	3,563	0,115	5237	6,424	3277689,315
	H.265	3,653	0,156	4403	5,627	3055048,234
QPSK^{3/4}	H.264	2,376	0,045	9233	7,613	4882624,329
	H.264B	2,380	0,057	9227	7,611	4889921,656
	H.264H	2,372	0,046	9310	7,662	4894773,703
	H.265	2,298	0,075	6576	5,316	4860627,061
16QAM^{1/2}	H.264	1,738	0,092	10219	6,260	6524209,342
	H.264B	1,718	0,044	10602	6,418	6650493,099
	H.264H	1,701	0,049	9816	5,904	6575820,760
	H.265	1,729	0,150	5830	3,586	6275559,040
16QAM^{3/4}	H.264	1,838	0,051	394	0,251	5463936,070
	H.264B	1,725	0,025	405	0,244	5878318,045
	H.264H	1,864	0,026	312	0,202	5388212,937
	H.265	2,348	0,106	414	0,338	4308204,276
64QAM^{2/3}	H.264	1,827	0,039	177	0,113	5491112,852
	H.264B	1,773	0,071	73	0,045	5787911,404
	H.264H	2,033	1,153	169	0,107	5508603,489
	H.265	2,873	3,749	269	0,209	4502964,619
64QAM^{3/4}	H.264	1,977	0,494	153	0,101	5148603,647
	H.264B	1,769	0,080	95	0,059	5707688,142
	H.264H	1,772	0,058	192	0,119	5665595,516
	H.265	2,483	0,218	190	0,164	3982542,903
64QAM^{5/6}	H.264	1,693	0,115	327	0,192	6000013,473
	H.264B	1,698	0,161	242	0,141	6090084,001
	H.264H	1,659	0,093	259	0,150	6136300,371
	H.265	2,127	0,115	142	0,106	4677583,608

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2.4. IPTV-Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 18-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 18-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	8,544	1,417	136	0,924	592670,595
QPSK^{1/2}	6,695	2,674	117	0,805	593309,844
QPSK^{3/4}	5,719	2,055	77	0,512	613994,420
16QAM^{1/2}	5,700	1,562	123	0,366	1342114,985
16QAM^{3/4}	4,491	0,657	55	0,167	1299647,594
64QAM^{2/3}	4,719	1,328	39	0,116	1354071,518
64QAM^{3/4}	3,271	0,701	38	0,114	1346155,345
64QAM^{5/6}	2,890	0,650	22	0,073	1234013,607

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2.5. IPTV – Calidad HD-Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 19-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 19-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	9,766	17,488	209	0,529	1594609,674
QPSK^{1/2}	3,929	0,598	293	0,514	2301738,060
QPSK^{3/4}	3,441	0,191	289	0,451	2616779,287
16QAM^{1/2}	3,033	0,372	283	0,338	3376510,038
16QAM^{3/4}	2,125	0,279	159	0,132	4848356,438
64QAM^{2/3}	1,955	0,246	175	0,136	5199059,256
64QAM^{3/4}	1,960	0,144	104	0,065	5370769,763
64QAM^{5/6}	1,889	0,131	84	0,064	5258959,222

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2.6. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 20-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 20-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	5,361	2,309	102	0,816	507183,451
QPSK ^{1/2}	6,278	2,597	85	0,665	514853,816
QPSK ^{3/4}	6,487	0,842	97	0,684	575967,778
16QAM ^{1/2}	5,631	2,307	151	0,736	848516,298
16QAM ^{3/4}	3,893	1,663	134	0,623	891464,495
64QAM ^{2/3}	3,551	1,252	106	0,434	1037371,061
64QAM ^{3/4}	3,741	0,943	121	0,407	1194694,687
64QAM ^{5/6}	3,644	0,926	99	0,359	1132610,062

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2.7. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 21-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 21-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	6,775	0,321	216	0,507	1716718,609
QPSK ^{1/2}	4,752	0,398	217	0,379	2306653,708
QPSK ^{3/4}	4,558	0,431	192	0,425	1819728,469
16QAM ^{1/2}	4,066	0,638	230	0,352	2629497,169
16QAM ^{3/4}	2,356	0,332	160	0,156	4133220,119
64QAM ^{2/3}	2,385	0,430	150	0,128	4716466,575
64QAM ^{3/4}	2,093	0,367	148	0,125	4760410,355
64QAM ^{5/6}	1,588	0,315	91	0,062	5939012,683

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2.8. Calidad del enlace en 20MHz

Para el enlace Cerro San Francisco – CPE, se configuró un ancho de banda de 20 MHz a una frecuencia de 5075 MHz con una ganancia de 25 dBi. En la Tabla 22-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 22-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK $\frac{1}{2}$	25	-56	-109	53	96	4,0	3,132E-07
QPSK $\frac{1}{2}$	25	-55	-109	54	96	8,7	5,412E-07
QPSK $\frac{3}{4}$	25	-54	-110	56	97	13,6	5,338E-07
16QAM $\frac{1}{2}$	25	-53	-111	57	99	18,5	1,202E-06
16QAM $\frac{3}{4}$	25	-53	-110	57	97	28,7	1,864E-06
64QAM $\frac{2}{3}$	23	-54	-111	57	93	38,3	5,712E-06
64QAM $\frac{3}{4}$	22	-53	-110	57	85	42,7	6,368E-06
64QAM $\frac{5}{6}$	20	-53	-110	57	93	47,4	7,069E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2.9. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 23-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.1.2.10. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 24-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz, En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

Tabla 23-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	6,722	0,531	2	0,011	87538,669
	H.264B	6,586	0,276	0	0,000	91621,308
	H.264H	6,753	0,507	0	0,000	85748,513
	H.265	7,026	0,435	2	0,011	81990,319
QPSK ^{1/2}	H.264	6,690	0,352	0	0,000	88013,240
	H.264B	6,661	0,316	0	0,000	88452,638
	H.264H	6,590	0,256	0	0,000	84681,691
	H.265	6,762	0,333	0	0,000	80952,201
QPSK^{3/4}	H.264	6,705	0,269	0	0,000	88275,196
	H.264B	6,632	0,343	0	0,000	83687,363
	H.264H	6,303	0,312	0	0,000	86712,049
	H.265	6,717	0,314	0	0,000	81330,193
16QAM^{1/2}	H.264	6,738	0,277	0	0,000	85644,367
	H.264B	6,632	0,329	1	0,005	91053,921
	H.264H	6,688	0,314	0	0,000	87752,806
	H.265	6,698	0,423	0	0,000	82505,713
16QAM^{3/4}	H.264	6,440	0,369	0	0,000	89320,548
	H.264B	7,316	3,344	0	0,000	97488,768
	H.264H	6,458	0,281	0	0,000	84396,208
	H.265	6,647	0,263	1	0,005	85478,592
64QAM^{2/3}	H.264	6,452	0,406	0	0,000	87397,118
	H.264B	6,692	0,312	0	0,000	82989,021
	H.264H	6,729	0,334	0	0,000	85903,450
	H.265	6,352	0,483	0	0,000	81546,292
64QAM^{3/4}	H.264	6,463	0,304	3	0,016	86554,463
	H.264B	6,460	0,311	0	0,000	88393,146
	H.264H	6,683	0,286	0	0,000	87183,611
	H.265	6,458	0,317	0	0,000	82316,974
64QAM^{5/6}	H.264	6,657	0,276	0	0,000	94483,909
	H.264B	6,483	0,220	0	0,000	93842,904
	H.264H	6,313	0,205	0	0,000	91046,135
	H.265	6,872	0,680	0	0,000	89521,593

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 24-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	2,775	0,137	4621	4,431	4133797,374
	H.264B	2,635	0,197	4225	3,832	4337708,931
	H.264H	2,618	0,079	4027	2,285	4424979,934
	H.265	2,635	0,151	2688	2,454	4243980,128
QPSK ^{1/2}	H.264	1,923	0,112	729	0,483	5400627,799
	H.264B	1,829	0,061	506	0,322	5618570,25
	H.264H	1,906	0,044	568	0,376	5356084,719
	H.265	2,683	0,144	558	0,533	3703807,663
QPSK^{3/4}	H.264	1,868	0,024	234	0,152	5461643,034
	H.264B	1,785	0,09	251	0,155	5684840,033
	H.264H	1,836	0,067	249	0,158	5577345,406
	H.265	2,937	0,281	193	0,203	3345796,591
16QAM^{1/2}	H.264	1,61	0,062	64	0,036	6288727,241
	H.264B	1,613	0,069	62	0,035	6204040,941
	H.264H	1,341	0,049	79	0,037	7673412,099
	H.265	2,112	0,141	106	0,079	4709656,819
16QAM^{3/4}	H.264	1,912	0,03	2	0,001	5115028,685
	H.264B	1,194	0,051	17	0,007	8908010,628
	H.264H	1,895	0,071	3	0,002	5199287,564
	H.265	1,404	0,089	132	0,064	7610325,672
64QAM^{2/3}	H.264	1,916	0,061	2	0,001	5150877,223
	H.264B	1,871	0,081	3	0,002	5360568,212
	H.264H	1,871	0,041	3	0,002	5284257,928
	H.265	2,304	0,088	8	0,007	4141953,581
64QAM^{3/4}	H.264	1,867	0,053	7	0,005	5284679,863
	H.264B	1,86	0,115	0	0,000	5277638,008
	H.264H	1,891	0,057	0	0,000	5247276,932
	H.265	2,379	0,081	8	0,007	4000791,298
64QAM^{5/6}	H.264	1,899	0,054	0	0,000	5181055,489
	H.264B	1,849	0,071	0	0,000	5442787,973
	H.264H	1,824	0,037	0	0,000	5480,583428
	H.265	2,31	0,169	0	0,000	4202319,729

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2.11. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 25-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 25-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	6,772	0,257	285	0,921	1095259,537
QPSK ^{1/2}	4,889	0,966	119	1,123	426179,739
QPSK ^{3/4}	4,051	1,664	20	0,105	792500,603
16QAM ^{1/2}	3,788	0,908	9	0,047	766867,918
16QAM ^{3/4}	4,083	1,195	9	0,028	1313625,785
64QAM ^{2/3}	4,554	0,890	2	0,006	1345059,943
64QAM ^{3/4}	4,265	0,993	0	0,000	1357448,976
64QAM ^{5/6}	3,937	0,846	0	0,000	1346209,294

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2.12. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 26-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 26-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	4,332	0,366	313	0,493	2561428,307
QPSK ^{1/2}	3,286	0,524	145	0,200	2918786,920
QPSK ^{3/4}	2,047	0,227	180	0,142	5096722,740
16QAM ^{1/2}	1,74	0,311	48	0,062	3151939,820
16QAM ^{3/4}	1,659	0,554	21	0,027	3145966,632
64QAM ^{2/3}	1,906	0,637	17	0,022	3131383,366
64QAM ^{3/4}	1,875	0,625	21	0,026	3267944,357
64QAM ^{5/6}	1,656	0,106	15	0,019	3149919,245

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2.13. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 27-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 27-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,812	1,728	139	0,589	992506,044
QPSK^{1/2}	7,217	4,790	158	0,682	951340,535
QPSK^{3/4}	3,900	0,827	82	0,349	956791,567
16QAM^{1/2}	6,288	0,895	135	0,510	1097085,213
16QAM^{3/4}	4,031	0,269	56	0,264	872126,991
64QAM^{2/3}	3,796	0,101	65	0,293	974783,558
64QAM^{3/4}	2,524	0,492	46	0,150	1287944,743
64QAM^{5/6}	2,396	0,218	45	0,137	1388148,122

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.1.2.14. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 28-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 28-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	5,142	1,261	174	0,424	1647539,809
QPSK^{1/2}	3,469	0,561	172	0,228	3084257,463
QPSK^{3/4}	2,373	0,563	199	0,174	4605586,894
16QAM^{1/2}	1,642	0,394	85	0,054	6336411,172
16QAM^{3/4}	1,651	0,300	110	0,073	6090163,634
64QAM^{2/3}	2,301	0,391	154	0,151	4110959,047
64QAM^{3/4}	1,078	0,507	8	0,003	10021958,733
64QAM^{5/6}	0,906	0,197	1	0,000	11326657,294

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2. Parámetros técnicos obtenidos en enlaces punto multipunto urbano

4.2.1. Enlace cerro San Francisco – CPE1

4.2.1.1. Calidad del enlace en 10MHz

Para el enlace cerro San Francisco – CPE1 se configuró un ancho de banda de 10 MHz a una frecuencia de 5255 MHz y una ganancia de 14 dBi. En la Tabla 29-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 29-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace cerro San Francisco-CPE1

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK $\frac{1}{2}$	30	-60	-112	62	99	0,8	1,577E-08
QPSK $\frac{1}{2}$	30	-51	-112	61	98	1,5	3,723E-08
QPSK $\frac{3}{4}$	30	-50	-113	63	97	2,2	3,446E-08
16QAM $\frac{1}{2}$	30	-50	-113	63	97	3,0	9,789E-08
QPSK $\frac{1}{2}$	30	-50	-113	63	96	4,8	1,566E-07
64QAM $\frac{2}{3}$	30	-50	-113	63	53	3,0	2,248E-07
64QAM $\frac{3}{4}$	28	-50	-113	63	79	4,4	3,297E-07
64QAM $\frac{5}{6}$	27	-50	-113	63	87	2,9	2,173E-07

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.1.2. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 30-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.2.1.3. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 31-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada

modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

Tabla 30-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	7,884	0,419	0	0,000	117815,737
	H.264B	8,446	0,918	14	0,087	108530,411
	H.264H	8,228	0,836	2	0,012	106447,602
	H.265	7,741	0,270	5	0,030	88397,720
QPSK ^{1/2}	H.264	7,475	0,266	0	0,000	116475,054
	H.264B	7,446	0,315	0	0,000	121772,526
	H.264H	7,436	0,673	1	0,006	106821,783
	H.265	7,527	0,509	1	0,006	87163,816
QPSK^{3/4}	H.264	7,345	0,374	0	0,000	108865,978
	H.264B	7,532	0,435	0	0,000	111363,731
	H.264H	7,409	0,651	0	0,000	111405,516
	H.265	7,366	0,912	0	0,000	89210,232
16QAM^{1/2}	H.264	7,397	0,362	0	0,000	108436,691
	H.264B	7,196	0,294	0	0,000	106660,842
	H.264H	7,121	0,343	0	0,000	88118,343
	H.265	7,125	0,265	1	0,006	84992,203
16QAM^{3/4}	H.264	7,074	0,749	0	0,000	103353,470
	H.264B	7,000	0,272	0	0,000	111003,185
	H.264H	7,121	0,387	0	0,000	113057,330
	H.265	7,069	0,467	0	0,000	97885,441
64QAM^{2/3}	H.264	7,775	0,821	0	0,000	107060,857
	H.264B	7,511	0,645	0	0,000	106291,476
	H.264H	7,492	0,649	0	0,000	102047,319
	H.265	7,597	0,404	0	0,000	88036,755
64QAM^{3/4}	H.264	9,539	3,779	1	0,007	98671,462
	H.264B	8,145	0,543	0	0,000	110367,330
	H.264H	8,241	1,075	0	0,000	94372,957
	H.265	8,064	0,580	0	0,000	84985,569
64QAM^{5/6}	H.264	9,318	0,922	0	0,000	117743,480
	H.264B	9,461	1,005	0	0,000	102912,707
	H.264H	10,283	1,836	0	0,000	100155,239
	H.265	9,689	2,039	0	0,000	79179,913

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 31-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	12,021	0,656	2731	11,453	958252,035
	H.264B	11,703	0,372	2991	12,348	972532,710
	H.264H	11,657	0,365	3037	12,555	971973,606
	H.265	11,680	0,306	3065	12,597	976329,503
QPSK ^{1/2}	H.264	6,411	0,139	4138	9,149	1819997,800
	H.264B	6,434	0,133	4186	9,313	1807758,101
	H.264H	6,399	0,156	4183	9,250	1818487,893
	H.265	7,583	3,327	2611	6,197	1605283,317
QPSK^{3/4}	H.264	4,632	0,144	4286	6,712	2551690,324
	H.264B	4,617	0,130	4291	6,780	2549777,064
	H.264H	4,553	0,175	4206	6,463	2606097,760
	H.265	4,322	0,168	1599	2,371	2581949,942
16QAM^{1/2}	H.264	3,426	0,262	3959	4,588	3400719,350
	H.264B	3,484	0,089	4172	4,924	3383891,975
	H.264H	3,412	0,164	3793	4,408	3365824,007
	H.265	4,921	0,299	4292	7,213	2394866,807
16QAM^{3/4}	H.264	2,109	0,175	4101	2,932	5634246,367
	H.264B	2,160	0,146	4294	3,173	5434944,056
	H.264H	1,957	0,106	1416	0,976	5626915,899
	H.265	2,209	0,207	2065	1,549	5211910,053
64QAM^{2/3}	H.264	3,622	0,352	1735	2,339	2960036,603
	H.264B	4,218	1,455	1717	2,684	2562944,363
	H.264H	3,514	0,218	1749	2,190	3142092,892
	H.265	3,726	0,836	1088	1,537	2772829,522
64QAM^{3/4}	H.264	2,804	0,305	1596	1,562	3992875,012
	H.264B	2,686	0,331	1849	1,829	4010021,512
	H.264H	2,950	0,403	1537	1,354	4425042,077
	H.265	2,766	0,508	986	1,012	3830661,698
64QAM^{5/6}	H.264	2,614	1,312	1643	1,351	4776617,275
	H.264B	2,371	0,241	1876	1,580	4705938,278
	H.264H	2,831	1,400	1537	1,354	4425042,077
	H.265	2,638	1,245	1250	1,048	4591458,856

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.1.4. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 32-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 32-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	12,004	0,715	357	1,518	947927,555
QPSK ^{1/2}	7,383	0,848	244	0,861	1132212,563
QPSK ^{3/4}	6,174	0,560	146	0,516	1127928,282
16QAM ^{1/2}	3,584	0,718	51	0,183	1124633,370
16QAM ^{3/4}	3,126	0,289	130	0,179	2926146,155
64QAM ^{2/3}	5,566	0,755	50	0,177	1124866,562
64QAM ^{3/4}	3,956	0,303	56	0,196	1140226,205
64QAM ^{5/6}	3,938	0,704	47	0,192	981209,061

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.1.5. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 33-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 33-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	11,047	0,797	333	1,414	950589,5875
QPSK ^{1/2}	6,461	0,870	300	0,746	1621396,693
QPSK ^{3/4}	4,799	1,209	249	0,468	2145478,339
16QAM ^{1/2}	3,450	0,335	249	0,311	2699796,811
16QAM ^{3/4}	3,020	0,485	97	0,158	2544940,015
64QAM ^{2/3}	3,717	0,735	164	0,226	2923782,918
64QAM ^{3/4}	3,224	0,686	127	0,198	2587251,131
64QAM ^{5/6}	5,546	0,718	87	0,306	1128022,267

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.1.6. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 34-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 34-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	10,622	1,689	196	0,896	882836,961
QPSK ^{1/2}	6,636	1,020	134	0,577	952731,964
QPSK ^{3/4}	5,341	1,063	86	0,370	956241,130
16QAM ^{1/2}	3,937	0,440	66	0,231	962931,862
16QAM ^{3/4}	2,689	0,418	18	0,092	796226,682
64QAM ^{2/3}	3,751	0,441	36	0,151	977070,066
64QAM ^{3/4}	2,741	0,430	21	0,110	770982,584
64QAM ^{5/6}	3,977	0,650	39	0,185	849125,541

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.1.7. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 35-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 35-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	12,713	1,329	197	0,933	850531,3493
QPSK ^{1/2}	7,806	1,271	178	0,501	1430345,735
QPSK ^{3/4}	5,578	0,739	183	0,373	1979364,188
16QAM ^{1/2}	4,607	0,745	133	0,225	2384030,264
16QAM ^{3/4}	3,426	0,620	138	0,190	2923052,554
64QAM ^{2/3}	4,470	0,766	129	0,227	2292567,667
64QAM ^{3/4}	3,736	0,654	114	0,201	2350258,637
64QAM ^{5/6}	4,111	1,067	181	0,298	2446583,179

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.1.8. Calidad del enlace en 20MHz

Para el enlace cerro San Francisco – CPE1 se configuró un ancho de banda de 20 MHz a una frecuencia de 5255 MHz con una ganancia de 14 dBi. En la Tabla 36-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 36-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace cerro San Francisco-CPE1

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK $\frac{1}{2}$	30	-54	-110	56	97	2,1	8,242E-08
QPSK $\frac{1}{2}$	30	-54	-109	55	95	4,4	2,174E-07
QPSK $\frac{3}{4}$	30	-56	-109	53	96	6,7	5,247E-07
16QAM $\frac{1}{2}$	30	-54	-109	55	91	8,9	9,162E-07
16QAM $\frac{3}{4}$	30	-54	-109	55	84	10,1	1,040E-06
64QAM $\frac{2}{3}$	30	-55	-107	52	37	3,0	1,415E-06
64QAM $\frac{3}{4}$	28	-54	-109	55	56	9,0	2,127E-06
64QAM $\frac{5}{6}$	27	-55	-108	53	43	5,5	2,060E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.1.9. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 37-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.2.1.10. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 38-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz, En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

Tabla 37-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	6,791	0,360	0	0,000	115037,037
	H.264B	6,975	0,272	0	0,000	121525,386
	H.264H	6,787	0,506	0	0,000	110034,511
	H.265	6,820	0,53	0	0,000	90419,429
QPSK ^{1/2}	H.264	6,791	0,374	0	0,000	112475,364
	H.264B	6,632	0,228	0	0,000	113133,619
	H.264H	6,744	0,353	0	0,000	109912,519
	H.265	6,733	0,322	0	0,000	90517,877
QPSK^{3/4}	H.264	6,520	0,239	0	0,000	116419,536
	H.264B	6,638	0,292	0	0,000	112221,117
	H.264H	6,949	0,256	0	0,000	98386,174
	H.265	6,683	0,248	0	0,000	93021,059
16QAM^{1/2}	H.264	6,681	0,331	0	0,000	121959,887
	H.264B	6,623	0,519	0	0,000	119003,566
	H.264H	6,616	0,371	0	0,000	111180,268
	H.265	6,546	0,316	0	0,000	87924,481
16QAM^{3/4}	H.264	6,827	0,229	0	0,000	103672,251
	H.264B	6,574	0,259	0	0,000	107957,001
	H.264H	6,560	0,109	0	0,000	137285,472
	H.265	6,676	0,428	0	0,000	91358,239
64QAM^{2/3}	H.264	8,001	0,441	0	0,000	98542,152
	H.264B	8,260	0,648	0	0,000	106045,259
	H.264H	8,369	0,592	0	0,000	88617,953
	H.265	7,966	0,439	0	0,000	79960,388
64QAM^{3/4}	H.264	8,700	0,750	0	0,000	101002,241
	H.264B	9,066	1,184	0	0,000	106973,433
	H.264H	8,849	1,772	0	0,000	100742,966
	H.265	8,426	0,844	0	0,000	78693,293
64QAM^{5/6}	H.264	8,448	0,545	0	0,000	101814,231
	H.264B	8,061	0,484	0	0,000	108534,947
	H.264H	8,266	0,678	0	0,000	104679,678
	H.265	7,817	0,309	0	0,000	80379,041

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 38-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	4,614	0,148	4329	6,860	2500833,883
	H.264B	4,574	0,149	4561	7,206	2539290,475
	H.264H	4,622	0,202	4277	6,749	2491528,225
	H.265	4,560	0,152	2917	4,616	2458691,980
QPSK ^{1/2}	H.264	2,178	0,150	2663	1,976	5175170,048
	H.264B	2,239	0,055	2905	2,210	5079532,529
	H.264H	2,448	0,245	2546	2,110	4621626,986
	H.265	2,755	0,085	911	0,878	3837585,932
QPSK^{3/4}	H.264	2,157	1,331	1351	0,839	6180560,991
	H.264B	1,844	0,146	1304	0,822	6155581,085
	H.264H	1,519	0,109	1376	0,716	7304705,496
	H.265	1,555	0,076	876	0,476	7145608,602
16QAM^{1/2}	H.264	1,136	0,099	801	0,311	9907087,498
	H.264B	1,173	0,230	779	0,306	9874074,130
	H.264H	1,266	0,137	1672	0,720	8968757,436
	H.265	1,160	0,120	584	0,238	9640413,241
16QAM^{3/4}	H.264	1,058	0,113	589	0,212	10842815,193
	H.264B	1,031	0,098	642	0,225	11184429,012
	H.264H	1,078	0,167	598	0,217	10780727,689
	H.265	1,670	1,435	337	0,143	9190113,664
64QAM^{2/3}	H.264	1,836	0,243	527	0,341	6113796,607
	H.264B	1,902	0,285	623	0,443	5590626,300
	H.264H	1,788	0,177	542	0,354	6043236,957
	H.265	3,223	10,349	380	0,221	8008981,775
64QAM^{3/4}	H.264	1,961	0,039	397	0,270	5515317,774
	H.264B	1,462	0,582	257	0,174	8210025,993
	H.264H	1,942	0,063	350	0,236	5527472,497
	H.265	1,193	0,122	363	0,181	9469330,881
64QAM^{5/6}	H.264	1,735	0,138	593	0,361	6249249,551
	H.264B	2,977	1,968	615	0,513	4639709,892
	H.264H	1,961	1,634	564	0,330	6570396,374
	H.265	4,220	2,358	680	0,803	3285100,749

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.1.11. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 39-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 39-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	6,489	0,692	174	0,615	1129183,352
QPSK ^{1/2}	7,735	1,624	51	0,180	1125204,618
QPSK ^{3/4}	2,763	0,470	29	0,104	1125681,677
16QAM ^{1/2}	2,295	0,482	17	0,061	1121240,020
16QAM ^{3/4}	2,695	0,455	4	0,014	1132814,304
64QAM ^{2/3}	2,311	0,820	13	0,047	1119313,974
64QAM ^{3/4}	2,411	1,198	11	0,039	1135407,435
64QAM ^{5/6}	3,257	1,046	9	0,033	1119093,091

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.1.12. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 40-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 40-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV.

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	5,736	1,131	301	0,598	2029208,677
QPSK ^{1/2}	3,277	0,389	170	0,261	2622384,003
QPSK ^{3/4}	2,559	0,573	58	0,090	2580319,661
16QAM ^{1/2}	2,569	0,616	33	0,046	2912330,372
16QAM ^{3/4}	1,457	0,293	25	0,039	2645754,955
64QAM ^{2/3}	2,945	2,246	61	0,090	2712028,567
64QAM ^{3/4}	2,093	0,399	29	0,047	2498620,801
64QAM ^{5/6}	2,325	0,503	25	0,040	2500747,576

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.1.13. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 41-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 41-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	5,899	0,784	96	0,432	919025,616
QPSK^{1/2}	2,571	0,351	22	0,091	975665,242
QPSK^{3/4}	1,909	0,342	18	0,096	753499,962
16QAM^{1/2}	1,804	0,295	15	0,083	810540,957
16QAM^{3/4}	1,538	0,273	12	0,048	1074363,444
64QAM^{2/3}	1,780	0,320	9	0,059	616913,628
64QAM^{3/4}	1,905	0,289	14	0,051	1177132,393
64QAM^{5/6}	1,708	0,520	13	0,055	998133,964

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.1.14. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 42-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 42-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,300	1,669	175	0,396	1782531,498
QPSK^{1/2}	5,028	5,097	153	0,245	2512189,064
QPSK^{3/4}	2,710	0,506	107	0,171	2543805,149
16QAM^{1/2}	2,515	2,894	65	0,083	3166679,327
16QAM^{3/4}	1,337	0,488	25	0,034	2971552,378
64QAM^{2/3}	2,229	0,788	46	0,082	2254763,166
64QAM^{3/4}	1,874	0,472	47	0,063	2994008,126
64QAM^{5/6}	1,663	0,461	46	0,067	2751625,148

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2. Enlace Cerro San Francisco – CPE2

4.2.2.1. Calidad del enlace en 10MHz

Para el enlace Cerro San Francisco – CPE2 se configuró un ancho de banda de 10 MHz a una frecuencia de 5255 y una ganancia de 14 dBi. En la Tabla 43-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 43-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE2

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK $\frac{1}{2}$	30	-47	-112	66	99	0,9	6,923E-09
QPSK $\frac{1}{2}$	30	-47	-112	65	99	1,5	1,482E-08
QPSK $\frac{3}{4}$	30	-47	-113	66	96	2,2	1,727E-08
16QAM $\frac{1}{2}$	30	-48	-112	65	99	3,0	6,176E-08
16QAM $\frac{3}{4}$	30	-47	-113	66	95	4,8	9,882E-08
64QAM $\frac{2}{3}$	30	-48	-112	65	48	2,3	1,087E-07
64QAM $\frac{3}{4}$	28	-48	-113	66	61	3,9	1,464E-07
64QAM $\frac{5}{6}$	27	-48	-113	65	89	3,3	1,239E-07

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2.2. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 44-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.2.2.3. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 45-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

Tabla 44-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	6,273	0,522	70	0,239	606357,730
	H.264B	6,476	0,584	173	0,598	606480,554
	H.264H	6,433	0,630	126	0,432	605271,285
	H.265	5,954	0,853	111	0,383	594653,974
QPSK ^{1/2}	H.264	5,591	0,276	17	0,056	605700,424
	H.264B	5,729	0,378	47	0,156	605566,605
	H.264H	5,649	0,269	38	0,126	604389,814
	H.265	5,483	0,330	51	0,170	598667,719
QPSK^{3/4}	H.264	5,349	0,190	1	0,003	608856,628
	H.264B	5,583	0,464	7	0,023	606045,339
	H.264H	5,488	0,303	5	0,016	606647,992
	H.265	5,265	0,453	19	0,063	594607,078
16QAM^{1/2}	H.264	5,310	0,244	0	0,000	610406,110
	H.264B	5,279	0,247	3	0,010	609438,445
	H.264H	5,445	1,092	0	0,000	605910,977
	H.265	5,194	0,189	0	0,000	599722,022
16QAM^{3/4}	H.264	5,136	0,288	0	0,000	606854,322
	H.264B	5,251	0,235	2	0,007	609999,214
	H.264H	5,252	0,364	5	0,016	605476,772
	H.265	5,104	0,279	0	0,000	599184,805
64QAM^{2/3}	H.264	5,791	0,330	3	0,010	608199,572
	H.264B	5,868	1,131	1	0,003	606577,683
	H.264H	5,776	0,325	4	0,014	606327,605
	H.265	5,582	0,504	5	0,017	599237,781
64QAM^{3/4}	H.264	6,119	0,780	37	0,132	596901,461
	H.264B	5,895	0,508	0	0,000	609024,512
	H.264H	5,882	0,648	3	0,010	604213,493
	H.265	5,664	0,286	5	0,017	602911,214
64QAM^{5/6}	H.264	6,273	0,710	4	0,014	608274,799
	H.264B	6,283	1,001	4	0,014	604815,114
	H.264H	6,236	0,597	1	0,004	605658,508
	H.265	6,242	0,646	6	0,021	602084,862

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 45-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	11,428	0,871	3110	12,679	987622,164
	H.264B	11,693	1,262	2988	12,412	969700,788
	H.264H	11,475	0,838	3011	12,332	983041,928
	H.265	11,570	0,904	2967	12,244	974649,188
QPSK ^{1/2}	H.264	6,347	0,238	4202	9,249	1829352,252
	H.264B	6,246	0,459	4270	9,379	1835022,473
	H.264H	6,340	0,264	4134	9,120	1826093,590
	H.265	6,157	1,153	2761	6,243	1671969,280
QPSK^{3/4}	H.264	6,457	2,981	4004	7,671	2100960,399
	H.264B	4,449	0,145	4344	6,645	2635213,614
	H.264H	4,492	0,143	4297	6,614	2600724,866
	H.265	4,098	0,113	1631	2,393	2585130,623
16QAM^{1/2}	H.264	3,319	0,107	4070	4,609	3463402,724
	H.264B	2,375	0,533	3364	2,633	5004735,009
	H.264H	3,331	0,088	3940	4,485	3452228,705
	H.265	3,253	0,087	407	0,557	2599819,663
16QAM^{3/4}	H.264	2,163	0,257	4242	3,100	5522476,473
	H.264B	2,151	0,109	4167	3,058	5462133,134
	H.264H	2,004	0,068	2773	1,895	5676219,546
	H.265	2,179	0,125	1898	1,501	4856753,938
64QAM^{2/3}	H.264	3,344	0,394	1939	2,635	2938111,928
	H.264B	3,343	0,381	1928	2,641	2928871,621
	H.264H	3,371	0,232	1868	2,595	2865315,261
	H.265	3,065	0,354	1160	1,527	2963852,876
64QAM^{3/4}	H.264	2,524	0,633	1721	1,553	4338234,542
	H.264B	2,770	0,643	1973	2,014	3887661,398
	H.264H	2,507	0,326	1779	1,693	4126639,466
	H.265	2,826	0,729	1052	1,195	3443994,128
64QAM^{5/6}	H.264	2,326	0,558	1689	1,398	4743876,554
	H.264B	3,172	3,926	1860	1,555	4733276,856
	H.264H	2,355	0,597	1558	1,302	4669166,815
	H.265	2,205	0,554	1168	0,971	4678370,020

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2.4. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 46-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 46-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	11,504	0,578	336	1,381	981314,168
QPSK ^{1/2}	7,213	0,705	244	0,860	1136910,117
QPSK ^{3/4}	5,768	0,659	143	0,504	1130441,259
16QAM ^{1/2}	6,386	4,873	95	0,336	1126902,878
16QAM ^{3/4}	3,850	0,963	35	0,121	1165204,777
64QAM ^{2/3}	5,307	0,856	60	0,212	1129986,743
64QAM ^{3/4}	4,085	1,514	57	0,224	1025051,893
64QAM ^{5/6}	3,928	0,710	49	0,175	1127208,446

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2.5. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 47-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10 MHz.

Tabla 47-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	10,224	1,710	307	1,298	953798,027
QPSK ^{1/2}	6,063	0,949	303	0,698	1750557,948
QPSK ^{3/4}	5,544	1,950	276	0,531	2098234,278
16QAM ^{1/2}	3,779	0,277	239	0,371	2597517,504
16QAM ^{3/4}	3,062	0,086	150	0,205	2945070,089
64QAM ^{2/3}	3,316	0,958	176	0,253	2806235,194
64QAM ^{3/4}	3,107	0,473	165	0,259	2654463,326
64QAM ^{5/6}	2,906	1,700	158	0,263	2421769,096

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2.6. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 48-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 48-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	6,796	1,699	129	0,492	1056281,872
QPSK ^{1/2}	6,662	0,876	146	0,509	1165809,738
QPSK ^{3/4}	4,257	0,543	74	0,323	1022633,679
16QAM ^{1/2}	3,595	0,395	57	0,198	1164821,120
16QAM ^{3/4}	2,874	0,544	12	0,067	792728,021
64QAM ^{2/3}	3,940	0,392	41	0,182	1030618,490
64QAM ^{3/4}	3,115	0,551	40	0,193	851285,760
64QAM ^{5/6}	3,530	0,394	57	0,272	976754,475

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2.7. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 49-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 49-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	11,742	1,036	182	0,808	908088,916
QPSK ^{1/2}	7,535	1,356	179	0,484	1491867,687
QPSK ^{3/4}	5,281	0,972	172	0,337	2055327,545
16QAM ^{1/2}	4,649	1,515	189	0,316	2411119,810
16QAM ^{3/4}	3,527	0,672	192	0,259	2991047,069
64QAM ^{2/3}	4,741	0,688	137	0,265	2087739,617
64QAM ^{3/4}	3,530	6,776	118	0,202	2360080,678
64QAM ^{5/6}	3,864	1,152	163	0,270	2434295,576

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2.8. Calidad del enlace en 20MHz

Para el enlace Cerro San Francisco – CPE2 se configuró un ancho de banda de 20 MHz a una frecuencia de 5255 MHz con una ganancia de 14 dBi. En la Tabla 50-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 50-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE2

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK $\frac{1}{2}$	30	-52	-108	56	98	2,1	8,242E-08
QPSK $\frac{1}{2}$	30	-53	-108	56	95	4,6	1,805E-07
QPSK $\frac{3}{4}$	30	-53	-107	55	96	7,0	3,459E-07
16QAM $\frac{1}{2}$	30	-53	-108	55	97	9,4	9,676E-07
16QAM $\frac{3}{4}$	30	-54	-107	55	92	11,5	1,184E-06
64QAM $\frac{2}{3}$	30	-54	-107	53	45	2,6	9,740E-07
64QAM $\frac{3}{4}$	28	-53	-107	53	59	7,6	2,847E-06
64QAM $\frac{5}{6}$	27	-53	-107	54	74	12	3,571E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2.9. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 51-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.2.2.10. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 52-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz, En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

Tabla 51-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	7,460	0,541	0	0,000	105487,214
	H.264B	7,526	1,832	0	0,000	111665,249
	H.264H	6,299	0,410	2	0,010	114070,628
	H.265	7,335	0,450	0	0,000	83554,047
QPSK ^{1/2}	H.264	6,209	0,363	0	0,000	115848,681
	H.264B	6,196	0,181	0	0,000	116696,626
	H.264H	6,225	0,317	0	0,000	113861,451
	H.265	6,169	0,286	0	0,000	93964,816
QPSK^{3/4}	H.264	6,094	0,214	0	0,000	119708,867
	H.264B	6,163	0,382	0	0,000	140832,602
	H.264H	6,080	0,314	0	0,000	115847,750
	H.265	6,189	0,175	0	0,000	96888,338
16QAM^{1/2}	H.264	6,154	0,260	0	0,000	125600,895
	H.264B	6,110	0,429	0	0,000	122468,522
	H.264H	6,162	0,299	0	0,000	114364,856
	H.265	6,150	0,332	0	0,000	91805,022
16QAM^{3/4}	H.264	6,211	0,307	0	0,000	107380,905
	H.264B	6,240	0,418	0	0,000	111514,396
	H.264H	6,336	0,328	0	0,000	101953,211
	H.265	6,291	0,225	0	0,000	95037,096
64QAM^{2/3}	H.264	8,012	0,883	0	0,000	100287,444
	H.264B	8,317	0,913	0	0,000	107903,664
	H.264H	8,420	0,645	0	0,000	90077,184
	H.265	7,592	0,330	0	0,000	82203,159
64QAM^{3/4}	H.264	8,132	0,828	0	0,000	103983,837
	H.264B	8,098	1,010	0	0,000	110095,643
	H.264H	8,951	1,865	0	0,000	101999,953
	H.265	8,323	1,095	0	0,000	80605,249
64QAM^{5/6}	H.264	6,182	0,456	0	0,000	118813,845
	H.264B	6,303	0,398	0	0,000	125173,706
	H.264H	5,402	0,287	0	0,000	110502,308
	H.265	6,368	0,313	0	0,000	94034,089

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 52-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	4,433	0,230	4563	6,950	2633714,672
	H.264B	4,455	0,153	4723	7,226	2634608,656
	H.264H	4,462	0,237	4524	6,951	2593115,931
	H.265	4,139	0,174	3858	5,605	2710332,996
QPSK ^{1/2}	H.264	2,129	0,114	2510	1,824	5282174,825
	H.264B	2,130	0,064	3770	2,730	5515276,820
	H.264H	2,551	0,281	2338	2,072	4342250,211
	H.265	1,838	0,096	2963	1,887	6203658,165
QPSK^{3/4}	H.264	1,487	0,253	1388	0,698	7641938,222
	H.264B	1,843	0,092	1218	0,807	5833706,373
	H.264H	1,441	0,049	1324	0,653	7698502,161
	H.265	1,287	0,134	461	0,228	7659365,065
16QAM^{1/2}	H.264	1,103	0,145	787	0,289	10486319,169
	H.264B	1,038	0,054	772	0,274	10950380,338
	H.264H	1,388	0,096	899	0,433	8001154,197
	H.265	1,005	0,061	640	0,236	10593945,039
16QAM^{3/4}	H.264	0,913	0,103	497	0,157	12313824,347
	H.264B	0,912	0,101	624	0,194	12596944,786
	H.264H	0,909	0,077	567	0,178	12460246,425
	H.265	0,951	0,117	370	0,130	11051156,271
64QAM^{2/3}	H.264	2,262	0,758	623	0,595	4175951,704
	H.264B	3,257	1,270	618	0,628	3943281,539
	H.264H	2,325	0,945	651	0,626	4146494,453
	H.265	1,480	0,315	304	0,206	5830562,716
64QAM^{3/4}	H.264	1,390	0,707	622	0,301	8124348,413
	H.264B	1,129	0,247	533	0,255	8236656,853
	H.264H	1,038	0,130	433	0,180	9478625,769
	H.265	1,199	0,154	410	0,216	7442489,544
64QAM^{5/6}	H.264	0,820	0,064	384	0,119	12734504,831
	H.264B	0,823	0,089	384	0,122	12419861,392
	H.264H	0,827	0,146	453	0,142	12614477,576
	H.265	4,433	0,230	252	0,090	11052101,529

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2.11. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 53-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 53-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,445	0,777	184	0,652	1126179,528
QPSK^{1/2}	4,277	0,992	37	0,134	1130857,951
QPSK^{3/4}	3,176	0,795	18	0,065	1134543,242
16QAM^{1/2}	2,044	0,658	19	0,068	1123589,221
16QAM^{3/4}	1,587	0,184	10	0,035	1169595,315
64QAM^{2/3}	2,540	0,472	22	0,078	1130935,605
64QAM^{3/4}	2,501	0,782	11	0,040	1124087,053
64QAM^{5/6}	2,827	0,868	10	0,035	1162051,365

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2.12. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 54-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 54-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	5,557	1,287	289	0,577	2019776,751
QPSK^{1/2}	3,024	0,330	147	0,224	2638891,390
QPSK^{3/4}	2,118	0,434	56	0,088	2610709,955
16QAM^{1/2}	2,210	0,508	47	0,070	2707080,947
16QAM^{3/4}	1,243	0,300	17	0,026	2659353,197
64QAM^{2/3}	2,333	0,382	49	0,072	2729178,037
64QAM^{3/4}	1,925	0,278	23	0,037	2503756,827
64QAM^{5/6}	2,122	0,446	29	0,048	2421046,011

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2.13. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 55-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 55-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,000	1,075	119	0,465	1031353,739
QPSK^{1/2}	2,886	0,334	39	0,147	1114912,814
QPSK^{3/4}	1,792	0,259	16	0,063	1071425,013
16QAM^{1/2}	2,317	0,045	26	0,106	1029667,717
16QAM^{3/4}	1,559	0,191	15	0,059	1086700,206
64QAM^{2/3}	3,130	0,430	29	0,112	1052741,523
64QAM^{3/4}	1,797	0,154	27	0,124	921738,945
64QAM^{5/6}	1,460	0,158	24	0,090	1153183,233

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.2.14. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 56-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 56-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	5,539	0,834	174	0,362	1940148,196
QPSK^{1/2}	4,699	4,635	160	0,269	2401633,078
QPSK^{3/4}	1,628	0,322	87	0,154	2291824,833
16QAM^{1/2}	1,983	0,462	41	0,068	2437364,672
16QAM^{3/4}	1,621	0,334	18	0,031	2484432,039
64QAM^{2/3}	2,404	0,907	42	0,077	2223538,186
64QAM^{3/4}	1,944	0,379	67	0,087	3090264,280
64QAM^{5/6}	1,832	0,728	46	0,066	2821961,361

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3. Enlace Cerro San Francisco – CPE3

4.2.3.1. Calidad del enlace en 10MHz

Para el enlace Cerro San Francisco – CPE3 se configuró un ancho de banda de 10 MHz a una frecuencia de 5255 y una ganancia de 14 dBi. En la Tabla 57-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 57-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE3.

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK $\frac{1}{2}$	30	-57	-112	55	100	0,9	8,894E-08
QPSK $\frac{1}{2}$	30	-56	-111	55	99	1,5	1,482E-07
QPSK $\frac{3}{4}$	30	-58	-112	54	97	2,2	2,737E-07
16QAM $\frac{1}{2}$	30	-56	-112	56	97	2,8	4,579E-07
16QAM $\frac{3}{4}$	30	-57	-113	56	95	3,4	5,560E-07
64QAM $\frac{2}{3}$	30	-57	-112	55	77	2,0	9,455E-07
64QAM $\frac{3}{4}$	28	-56	-113	57	85	3,2	9,545E-07
64QAM $\frac{5}{6}$	27	-56	-113	57	84	3,3	9,843E-07

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3.2. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 58-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.2.3.3. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 59-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

Tabla 58-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	8,215	0,444	0	0,000	104180,225
	H.264B	8,662	1,184	51	0,320	103040,452
	H.264H	8,497	1,074	18	0,111	106195,872
	H.265	8,214	1,004	4	0,024	88126,883
QPSK ^{1/2}	H.264	8,369	1,544	0	0,000	116497,120
	H.264B	7,805	0,519	12	0,069	121558,396
	H.264H	7,679	0,314	3	0,017	107227,650
	H.265	7,476	0,743	17	0,098	87147,268
QPSK^{3/4}	H.264	7,935	1,117	0	0,000	106141,223
	H.264B	7,477	0,269	1	0,006	100693,733
	H.264H	7,689	1,013	5	0,028	99062,901
	H.265	7,382	0,288	1	0,006	89123,604
16QAM^{1/2}	H.264	7,678	0,537	0	0,000	110552,120
	H.264B	7,412	0,847	2	0,011	106725,804
	H.264H	7,441	0,838	1	0,006	106337,880
	H.265	7,309	0,297	0	0,000	87529,114
16QAM^{3/4}	H.264	7,321	0,215	0	0,000	102731,902
	H.264B	7,582	0,723	0	0,000	109864,428
	H.264H	7,487	0,247	0	0,000	97063,127
	H.265	7,529	0,566	0	0,000	83905,383
64QAM^{2/3}	H.264	9,550	1,579	0	0,000	104464,531
	H.264B	8,963	0,713	0	0,000	108015,715
	H.264H	9,554	1,302	0	0,000	99325,096
	H.265	9,241	0,749	3	0,019	86054,958
64QAM^{3/4}	H.264	9,303	1,888	4	0,025	99788,327
	H.264B	8,626	0,360	0	0,000	110807,987
	H.264H	8,788	0,694	1	0,006	94984,306
	H.265	8,622	0,499	1	0,006	84930,226
64QAM^{5/6}	H.264	8,668	0,612	0	0,000	106142,834
	H.264B	8,406	0,562	0	0,000	103908,978
	H.264H	8,888	0,450	0	0,000	102697,926
	H.265	8,764	0,735	2	0,012	80750,144

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 59-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	12,497	1,043	2877	12,732	909166,486
	H.264B	12,332	0,962	2942	12,905	917961,258
	H.264H	12,702	0,652	2910	13,055	896440,184
	H.265	12,178	0,714	2986	12,910	931005,425
QPSK ^{1/2}	H.264	6,909	0,306	4115	9,892	1676192,416
	H.264B	7,080	0,394	4106	10,123	1634354,214
	H.264H	7,000	0,336	4048	9,781	1666398,746
	H.265	7,107	1,388	2637	6,853	1448251,559
QPSK^{3/4}	H.264	4,703	0,134	4398	7,099	2486782,645
	H.264B	4,921	0,299	4292	7,213	2394866,807
	H.264H	5,142	0,362	4364	7,749	2266156,117
	H.265	4,775	0,569	1673	2,868	2200087,155
16QAM^{1/2}	H.264	3,953	0,415	3954	5,361	2921632,078
	H.264B	2,729	0,687	3418	3,089	4349675,196
	H.264H	3,744	0,174	3895	5,049	3052764,183
	H.265	2,746	0,936	1443	0,925	5367996,563
16QAM^{3/4}	H.264	4,295	2,448	2909	4,169	2812153,249
	H.264B	3,590	0,583	3340	4,407	3055245,424
	H.264H	2,428	0,352	2852	2,379	4704848,800
	H.265	2,929	0,466	1900	2,100	3532492,783
64QAM^{2/3}	H.264	3,279	1,533	1693	2,006	3353416,572
	H.264B	3,222	0,657	1715	2,054	3330850,702
	H.264H	2,995	0,364	1747	1,967	3514955,013
	H.265	2,848	0,404	1017	1,192	3348255,611
64QAM^{3/4}	H.264	2,145	0,879	1633	1,184	5356227,491
	H.264B	2,110	0,865	1810	1,296	5494867,613
	H.264H	2,085	0,676	1833	1,312	5470868,489
	H.265	2,088	0,339	984	0,724	5301427,770
64QAM^{5/6}	H.264	2,387	0,492	1608	1,356	4638866,197
	H.264B	2,562	1,670	1735	1,480	4643610,974
	H.264H	2,219	0,424	1426	1,136	4880939,645
	H.265	2,740	1,090	966	0,861	4314155,911

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3.4. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 60-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 60-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	10,521	0,977	368	1,964	756351,609
QPSK^{1/2}	5,987	1,275	257	0,911	1077759,806
QPSK^{3/4}	5,580	1,220	142	0,501	1075144,495
16QAM^{1/2}	4,656	1,074	85	0,302	1099564,133
16QAM^{3/4}	4,636	1,102	67	0,236	1074873,713
64QAM^{2/3}	4,016	1,563	58	0,238	1024805,151
64QAM^{3/4}	3,237	0,428	43	0,161	1080282,933
64QAM^{5/6}	3,338	0,640	46	0,165	1129877,412

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3.5. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 61-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 61-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	11,348	0,191	297	1,403	907377,491
QPSK^{1/2}	6,261	0,961	306	0,855	1444063,353
QPSK^{3/4}	4,228	1,401	254	0,510	2007108,483
16QAM^{1/2}	4,857	1,902	270	0,459	2373952,614
16QAM^{3/4}	3,148	0,387	218	0,306	2865901,142
64QAM^{2/3}	3,668	0,419	166	0,242	2770335,023
64QAM^{3/4}	2,488	0,178	123	0,197	2562848,266
64QAM^{5/6}	2,611	0,874	134	0,210	2572937,689

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3.6. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 62-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 62-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD.

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	10,362	2,931	341	1,534	898012,762
QPSK ^{1/2}	5,925	0,890	147	0,688	870155,691
QPSK ^{3/4}	4,345	1,081	190	0,708	1077608,519
16QAM ^{1/2}	4,054	1,013	113	0,381	1129946,846
16QAM ^{3/4}	5,553	4,331	136	0,729	775936,991
64QAM ^{2/3}	4,907	1,431	99	0,381	1058280,198
64QAM ^{3/4}	2,920	0,634	69	0,308	1016052,345
64QAM ^{5/6}	3,671	1,391	66	0,330	938456,842

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3.7. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 63-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 63-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD.

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	10,178	1,249	231	1,274	731023,164
QPSK ^{1/2}	6,566	0,889	171	0,454	1521466,872
QPSK ^{3/4}	4,731	0,736	185	0,414	1803559,350
16QAM ^{1/2}	4,086	0,962	182	0,346	2123661,738
16QAM ^{3/4}	3,652	0,682	200	0,359	2248157,909
64QAM ^{2/3}	3,761	0,837	172	0,321	2161061,179
64QAM ^{3/4}	2,925	0,463	139	0,188	2981619,988
64QAM ^{5/6}	2,615	0,523	181	0,234	3116319,716

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3.8. Calidad del enlace en 20MHz

Para el enlace Cerro San Francisco – CPE3 se configuró un ancho de banda de 20 MHz a una frecuencia de 5255 MHz con una ganancia de 14 dBi. En la Tabla 64-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 64-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco-CPE3.

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK $\frac{1}{2}$	30	-61	-106	45	95	2,1	1,038E-06
QPSK $\frac{1}{2}$	30	-61	-107	46	96	4,4	1,727E-06
QPSK $\frac{3}{4}$	30	-62	-107	45	94	6,3	3,113E-06
16QAM $\frac{1}{2}$	30	-61	-106	45	96	7,9	8,132E-06
16QAM $\frac{3}{4}$	30	-61	-108	47	96	9,4	6,105E-06
64QAM $\frac{2}{3}$	30	-61	-106	45	74	10,9	2,576E-05
64QAM $\frac{3}{4}$	28	-61	-108	47	73	10,4	1,551E-05
64QAM $\frac{5}{6}$	27	-61	-107	46	76	11,8	2,215E-05

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3.9. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 65-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.2.3.10. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 66-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz, En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

Tabla 65-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	9,578	0,737	0	0,000	101810,230
	H.264B	9,673	3,077	1	0,006	109757,448
	H.264H	9,074	0,617	0	0,000	101855,697
	H.265	9,178	0,420	0	0,000	78739,727
QPSK ^{1/2}	H.264	8,146	0,539	0	0,000	100329,141
	H.264B	8,062	0,510	0	0,000	104492,881
	H.264H	8,700	0,928	0	0,000	94312,844
	H.265	8,528	0,627	0	0,000	87340,489
QPSK^{3/4}	H.264	8,249	0,414	0	0,000	102756,992
	H.264B	8,131	0,428	0	0,000	108958,833
	H.264H	8,092	0,309	0	0,000	105272,802
	H.265	8,124	0,212	0	0,000	80676,483
16QAM^{1/2}	H.264	7,806	0,468	4	0,024	99575,136
	H.264B	7,928	0,353	0	0,000	107571,857
	H.264H	7,809	0,381	0	0,000	90218,268
	H.265	7,995	0,384	0	0,000	81071,189
16QAM^{3/4}	H.264	6,910	0,339	0	0,000	112239,370
	H.264B	6,719	0,370	0	0,000	112807,745
	H.264H	6,856	0,448	1	0,005	109974,460
	H.265	7,019	1,707	2	0,011	90174,646
64QAM^{2/3}	H.264	6,893	0,420	0	0,000	114966,615
	H.264B	7,134	0,660	0	0,000	121304,125
	H.264H	6,969	0,293	1	0,006	110206,017
	H.265	6,984	0,314	0	0,000	90201,320
64QAM^{3/4}	H.264	6,724	0,217	0	0,000	115561,335
	H.264B	6,692	0,521	0	0,000	118148,798
	H.264H	6,994	0,383	0	0,000	109875,823
	H.265	6,918	0,340	0	0,000	87045,753
64QAM^{5/6}	H.264	6,947	0,368	0	0,000	120868,603
	H.264B	6,773	0,190	0	0,000	136734,702
	H.264H	6,789	0,285	0	0,000	111590,604
	H.265	6,812	0,359	0	0,000	92608,170

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 66-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	4,957	0,254	4425	4,517	2414051,449
	H.264B	5,134	0,616	4529	7,827	2326589,103
	H.264H	5,289	0,382	4316	7,947	2167367,368
	H.265	4,422	0,265	2887	4,661	2377123,630
QPSK ^{1/2}	H.264	2,390	0,207	2710	2,223	4689043,481
	H.264B	2,299	0,081	2851	2,269	4838485,693
	H.264H	2,503	0,291	2535	2,180	4499376,897
	H.265	2,413	0,174	1623	1,388	4525238,347
QPSK^{3/4}	H.264	1,466	0,266	1459	0,737	7657311,355
	H.264B	1,957	0,106	1416	0,976	5626915,899
	H.264H	1,706	0,129	1382	0,823	6402691,668
	H.265	1,424	0,174	421	0,212	7648593,080
16QAM^{1/2}	H.264	1,305	0,096	787	0,356	8521749,601
	H.264B	1,354	0,096	802	0,377	8240736,075
	H.264H	1,605	0,172	992	0,546	7017228,380
	H.265	1,372	0,159	567	0,279	7979479,478
16QAM^{3/4}	H.264	1,071	0,101	505	0,189	10411304,623
	H.264B	1,123	0,117	606	0,238	9976507,359
	H.264H	1,096	0,137	546	0,206	10351021,029
	H.265	1,107	0,131	392	0,154	9994975,149
64QAM^{2/3}	H.264	1,326	0,200	438	0,215	8015754,108
	H.264B	1,318	0,270	525	0,251	8268242,450
	H.264H	1,282	0,176	427	0,201	8349034,115
	H.265	1,212	1,383	308	0,113	10753515,283
64QAM^{3/4}	H.264	1,036	0,348	564	0,190	11601685,947
	H.264B	0,914	0,096	377	0,121	12219819,677
	H.264H	0,945	0,097	372	0,110	13234630,574
	H.265	1,148	0,164	333	0,135	9726827,951
64QAM^{5/6}	H.264	0,854	0,125	355	0,107	13104962,184
	H.264B	0,921	0,034	114	0,038	11715259,347
	H.264H	0,965	0,297	366	0,111	12953610,910
	H.265	0,935	0,149	381	0,126	11946502,870

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3.11. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 67-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 67-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	6,292	0,950	156	0,554	1124602,771
QPSK ^{1/2}	3,440	0,935	49	0,174	1144542,759
QPSK ^{3/4}	2,845	0,817	24	0,086	1127753,138
16QAM ^{1/2}	1,990	0,962	22	0,079	1137247,068
16QAM ^{3/4}	2,865	0,593	18	0,064	1126999,470
64QAM ^{2/3}	2,308	0,558	9	0,032	1119349,964
64QAM ^{3/4}	2,248	0,560	6	0,022	1126630,945
64QAM ^{5/6}	1,974	0,280	6	0,021	1148721,880

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3.12. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 68-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 68-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	4,773	0,817	312	0,659	1910792,283
QPSK ^{1/2}	2,818	0,517	140	0,218	2607392,524
QPSK ^{3/4}	2,343	0,794	43	0,067	2587074,515
16QAM ^{1/2}	2,101	0,784	41	0,068	2411441,469
16QAM ^{3/4}	1,737	0,752	31	0,048	2617529,582
64QAM ^{2/3}	1,935	0,229	52	0,078	2688877,085
64QAM ^{3/4}	1,959	0,397	45	0,072	2513531,179
64QAM ^{5/6}	1,737	0,179	30	0,044	2747818,020

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3.13. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 69-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 69-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	6,404	1,470	102	0,609	693919,980
QPSK ^{1/2}	5,285	1,818	96	0,474	863740,236
QPSK ^{3/4}	3,215	0,944	103	0,444	938776,306
16QAM ^{1/2}	5,339	1,238	69	0,251	1127735,759
16QAM ^{3/4}	3,193	1,426	57	0,279	865359,513
64QAM ^{2/3}	3,685	1,437	51	0,289	719738,626
64QAM ^{3/4}	3,540	1,687	81	0,434	779480,228
64QAM ^{5/6}	3,394	1,428	39	0,170	924260,132

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.2.3.14. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 70-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 70-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	7,467	2,021	168	0,397	1703831,349
QPSK ^{1/2}	2,686	0,549	148	0,182	3278727,616
QPSK ^{3/4}	2,103	0,492	167	0,135	5001337,965
16QAM ^{1/2}	1,201	0,389	81	0,036	9032665,847
16QAM ^{3/4}	1,051	0,147	51	0,027	7530350,987
64QAM ^{2/3}	1,123	0,268	94	0,042	9124298,104
64QAM ^{3/4}	0,980	0,209	67	0,027	10085428,939
64QAM ^{5/6}	0,910	0,170	44	0,017	10596667,941

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3. Parámetros técnicos obtenidos en enlaces punto a punto rural

4.3.1. Enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag

4.3.1.1. Calidad del enlace en 10MHz

Para el enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag se configuró un ancho de banda de 10 MHz a una frecuencia de 5245 MHz y una ganancia de 25 dBi. En la Tabla 71-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 71-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK $\frac{1}{2}$	21	-59	-112	53	96	1,4	2,193E-07
QPSK $\frac{1}{2}$	21	-58	-112	55	96	2,8	2,767E-07
QPSK $\frac{3}{4}$	21	-59	-112	53	96	4,2	6,578E-07
16QAM $\frac{1}{2}$	21	-59	-112	52	97	5,8	2,383E-06
16QAM $\frac{3}{4}$	21	-59	-113	53	96	9,1	2,969E-06
64QAM $\frac{2}{3}$	20	-57	-112	55	92	12,4	5,862E-06
64QAM $\frac{3}{4}$	19	-57	-113	55	89	11,1	5,247E-06
64QAM $\frac{5}{6}$	17	-58	-113	55	83	8,6	4,065E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.1.2. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 72-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H264H.

4.3.1.3. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 73-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada

modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H,265, H,264B, H,264 y H264H.

Tabla 72-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	7,209	0,287	0	0,000	88772,323
	H.264B	7,236	0,245	0	0,000	92919,123
	H.264H	7,230	0,524	0	0,000	104368,761
	H.265	7,111	0,314	0	0,000	84091,311
QPSK ^{1/2}	H.264	7,093	0,359	0	0,000	104776,513
	H.264B	7,325	0,486	0	0,000	100264,641
	H.264H	7,549	0,572	0	0,000	97039,304
	H.265	7,734	0,629	0	0,000	86258,082
QPSK^{3/4}	H.264	6,740	0,232	1	0,005	114790,481
	H.264B	6,702	0,627	0	0,000	94264,699
	H.264H	6,787	0,301	0	0,000	86951,100
	H.265	7,335	0,520	0	0,000	82665,815
16QAM^{1/2}	H.264	6,680	0,701	0	0,000	95931,207
	H.264B	6,791	0,704	0	0,000	94905,741
	H.264H	6,675	0,305	0	0,000	92247,676
	H.265	6,784	0,72	0	0,000	85344,681
16QAM^{3/4}	H.264	6,711	0,222	0	0,000	98215,362
	H.264B	6,675	0,323	0	0,000	90627,800
	H.264H	6,711	0,336	0	0,000	90622,114
	H.265	6,814	0,494	0	0,000	86062,862
64QAM^{2/3}	H.264	6,612	0,142	0	0,000	113957,808
	H.264B	6,81	0,45	0	0,000	100108,835
	H.264H	6,773	0,335	0	0,000	107194,194
	H.265	6,707	0,366	0	0,000	94159,224
64QAM^{3/4}	H.264	7,555	0,475	0	0,000	110.062.464
	H.264B	7,445	0,451	0	0,000	106.709.351
	H.264H	7,506	0,482	0	0,000	97.796.412
	H.265	7,506	0,482	0	0,000	90.039.328
64QAM^{5/6}	H.264	8,542	0,950	0	0,000	80.692.041
	H.264B	8,210	1,087	0	0,000	83.421.712
	H.264H	9,357	1,537	0	0,000	98.965.387
	H.265	8,061	0,787	0	0,000	77.813.316

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 73-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	6,711	0,278	2576	6,115	1693622,082
	H.264B	6,651	0,124	2565	6,074	1699154,792
	H.264H	6,666	0,181	2514	5,948	1701835,055
	H.265	7,187	1,584	1994	4,799	1636147,593
QPSK ^{1/2}	H.264	3,339	0,057	3186	3,636	3404295,782
	H.264B	3,399	0,058	3371	3,900	3393985,367
	H.264H	3,364	0,065	3164	3,635	3394665,725
	H.265	3,384	0,071	2133	2,486	3284312,361
QPSK^{3/4}	H.264	2,331	0,08	1628	1,295	4557297,778
	H.264B	2,277	0,076	2990	2,344	4820797,147
	H.264H	2,327	0,033	4364	3,491	4595323,254
	H.265	2,786	0,264	1673	2,868	3756334,595
16QAM^{1/2}	H.264	2,209	0,047	954	0,722	4607889,593
	H.264B	2,462	0,117	905	0,767	4113236,142
	H.264H	2,108	0,134	1051	0,759	4895512,465
	H.265	2,991	0,249	781	0,808	3306653,304
16QAM^{3/4}	H.264	2,012	0,153	565	0,389	5067416,624
	H.264B	2,69	0,171	918	0,532	5283811,978
	H.264H	2,061	0,142	562	0,398	4979964,201
	H.265	3,121	0,171	351	0,380	3074047,801
64QAM^{2/3}	H.264	1,891	0,112	547	0,358	5332130,904
	H.264B	1,853	0,086	537	0,343	5685873,858
	H.264H	2,129	0,066	282	0,208	4795710,481
	H.265	3,74	0,225	266	0,355	2473799,701
64QAM^{3/4}	H.264	2,028	0,098	523	0,364	516023,56
	H.264B	2,965	0,12	634	0,425	5524246,171
	H.264H	2,068	0,261	450	0,314	5215817,17
	H.265	3,757	0,347	219	0,286	2584154,924
64QAM^{5/6}	H.264	3,714	2,093	1420	1,495	3547593,761
	H.264B	5,707	2,067	2057	3,660	2234962,17
	H.264H	5,284	1,494	2081	3,652	2228368,551
	H.265	6,026	1,795	1886	3,559	2106759,189

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.1.4. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 74-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 74-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	10,059	1,447	116	0,636	756351,609
QPSK^{1/2}	10,032	1,337	75	0,456	648784,253
QPSK^{3/4}	7,919	1,209	128	0,609	645793,752
16QAM^{1/2}	5,436	1,182	74	0,420	708818,940
16QAM^{3/4}	7,688	1,502	40	0,208	761099,638
64QAM^{2/3}	3,918	0,644	23	0,145	638492,257
64QAM^{3/4}	7,629	1,483	39	0,214	666810,990
64QAM^{5/6}	4,521	1,970	27	0,201	540111,071

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.1.5. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 75-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 75-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,631	1,797	226	0,564	1617466,625
QPSK^{1/2}	4,150	0,379	297	1,403	2820367,855
QPSK^{3/4}	3,769	0,395	306	0,855	3033861,417
16QAM^{1/2}	3,300	0,390	254	0,510	3452416,219
16QAM^{3/4}	2,545	0,307	270	0,459	4114524,427
64QAM^{2/3}	2,384	0,097	134	0,210	4382527,725
64QAM^{3/4}	2,401	0,187	166	0,242	4248689,092
64QAM^{5/6}	2,258	0,464	218	0,306	4160909,374

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.1.6. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 76-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 76-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	7,117	0,466	151	0,572	1063078,021
QPSK ^{1/2}	5,266	0,303	111	0,600	745463,191
QPSK ^{3/4}	5,515	0,417	125	0,458	1099438,729
16QAM ^{1/2}	5,285	0,818	96	0,474	863740,236
16QAM ^{3/4}	4,009	0,564	73	0,333	993489,387
64QAM ^{2/3}	3,881	0,433	52	0,190	1156539,855
64QAM ^{3/4}	4,401	0,280	78	0,294	1109221,454
64QAM ^{5/6}	4,396	0,260	87	0,356	1031207,881

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.1.7. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 77-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 77-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	6,873	1,087	206	0,490	1695293,471
QPSK ^{1/2}	4,769	1,032	231	0,371	2509007,109
QPSK ^{3/4}	4,519	1,659	247	0,410	2430006,201
16QAM ^{1/2}	4,427	1,682	199	0,321	2499505,988
16QAM ^{3/4}	3,890	0,803	164	0,272	2429033,240
64QAM ^{2/3}	3,062	0,421	144	0,227	2553522,353
64QAM ^{3/4}	4,187	0,773	130	0,236	2221017,739
64QAM ^{5/6}	4,077	0,746	141	0,236	2411896,856

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.1.8. Calidad del enlace en 20MHz

Para el enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag se configuró un ancho de banda de 20 MHz a una frecuencia de 5245 MHz con una ganancia de 25 dBi. En la Tabla 78-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

Tabla 78-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag.

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK $\frac{1}{2}$	21	-62	-109	47	98	3,7	1,154E-06
QPSK $\frac{1}{2}$	21	-63	-110	47	97	8,4	2,619E-06
QPSK $\frac{3}{4}$	21	-62	-109	47	98	13,5	4,209E-06
16QAM $\frac{1}{2}$	21	-61	-110	49	96	18,3	7,499E-06
16QAM $\frac{3}{4}$	21	-65	-109	44	90	23,1	2,993E-05
64QAM $\frac{2}{3}$	20	-65	-110	45	37	15,9	3,758E-05
64QAM $\frac{3}{4}$	19	-65	-110	45	39	13,1	3,096E-05
64QAM $\frac{5}{6}$	17	-65	-109	44	32	10,6	3,154E-05

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.1.9. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.

En la Tabla 79-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H,265, H,264B, H,264 y H264H.

4.3.1.10. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz.

En la Tabla 80-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz, En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H,265, H,264B, H,264 y H264H.

Tabla 79-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	6,715	0,534	0	0,000	82281,585
	H.264B	6,862	0,379	1	0,005	83573,165
	H.264H	6,507	0,412	0	0,000	79635,633
	H.265	6,661	0,339	0	0,000	80586,708
QPSK ^{1/2}	H.264	6,553	0,300	0	0,000	81642,315
	H.264B	6,702	0,508	0	0,000	83726,622
	H.264H	6,217	0,617	0	0,000	82823,479
	H.265	6,681	0,530	0	0,000	82961,425
QPSK^{3/4}	H.264	6,561	0,304	0	0,000	81399,17
	H.264B	6,488	0,301	0	0,000	83911,703
	H.264H	6,518	0,323	0	0,000	78877,45
	H.265	6,647	0,423	0	0,000	81551,538
16QAM^{1/2}	H.264	6,777	0,327	0	0,000	82768,573
	H.264B	6,470	0,234	0	0,000	85664,897
	H.264H	6,934	1,094	0	0,000	80968,776
	H.265	6,456	0,574	0	0,000	80832,64
16QAM^{3/4}	H.264	6,717	0,076	0	0,000	91254,574
	H.264B	6,924	0,164	0	0,000	83943,945
	H.264H	6,713	0,104	0	0,000	79591,89
	H.265	6,842	0,101	0	0,000	80647,773
64QAM^{2/3}	H.264	7,918	0,790	0	0,000	80302,207
	H.264B	7,748	0,544	0	0,000	83467,43
	H.264H	8,043	0,626	0	0,000	79703,583
	H.265	7,883	0,702	0	0,000	80898,723
64QAM^{3/4}	H.264	7,971	1,023	0	0,000	88845,204
	H.264B	7,882	0,967	0	0,000	87853,824
	H.264H	7,927	0,822	0	0,000	78170,918
	H.265	7,337	0,504	0	0,000	85208,802
64QAM^{5/6}	H.264	7,741	0,440	0	0,000	89495,468
	H.264B	7,743	1,095	0	0,000	86866,642
	H.264H	7,620	0,515	0	0,000	89534,003
	H.265	7,773	0,539	0	0,000	79607,937

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 80-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	2,773	0,078	1907	1,797	3823778,662
	H.264B	2,613	0,034	3967	3,522	4416511,704
	H.264H	2,793	0,158	2551	2,425	3906203,802
	H.265	2,652	0,048	2812	2,545	4291775,077
QPSK ^{1/2}	H.264	1,804	0,053	660	0,409	5865540,298
	H.264B	1,664	0,046	1132	0,649	6353630,036
	H.264H	1,838	0,039	644	0,406	5732537,887
	H.265	2,269	0,078	702	0,560	4538999,687
QPSK^{3/4}	H.264	1,860	0,250	330	0,207	5709618,125
	H.264B	1,574	0,110	402	0,224	6414118,86
	H.264H	1,776	0,074	257	0,157	5821813,127
	H.265	2,293	0,213	219	0,189	4152801,374
16QAM^{1/2}	H.264	1,796	0,053	73	0,046	5593535,596
	H.264B	1,603	0,042	106	0,059	6264381,262
	H.264H	1,584	0,111	118	0,065	6505694,991
	H.265	2,338	0,052	48	0,041	4194439,167
16QAM^{3/4}	H.264	1,274	0,014	6	0,003	8409421,23
	H.264B	1,281	0,017	45	0,020	8367797,218
	H.264H	1,627	0,091	8	0,005	6362793,394
	H.265	1,402	0,060	23	0,011	7467259,986
64QAM^{2/3}	H.264	2,999	0,142	182	0,188	3245275,325
	H.264B	2,666	0,171	45	0,041	3769093,544
	H.264H	2,880	0,357	238	0,240	3378343,985
	H.265	5,480	0,135	14	0,031	1486452,248
64QAM^{3/4}	H.264	2,773	0,071	13	0,012	3515489,896
	H.264B	2,622	0,205	6	0,005	3823534,27
	H.264H	2,809	0,231	379	0,368	3444213,694
	H.265	5,041	0,185	29	0,059	1647500,779
64QAM^{5/6}	H.264	2,818	0,146	208	0,203	3465871,529
	H.264B	2,519	0,136	31	0,027	3878109,949
	H.264H	2,776	0,194	830	0,812	3600913,809
	H.265	5,542	0,349	142	0,299	1566594,389

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.1.11. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 81-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 81-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	8,524	1,935	123	0,674	734987,664
QPSK^{1/2}	3,688	0,433	47	0,228	827725,546
QPSK^{3/4}	4,271	1,056	24	0,128	758468,881
16QAM^{1/2}	2,733	0,838	10	0,062	651026,16
16QAM^{3/4}	2,405	0,796	4	0,023	701011,433
64QAM^{2/3}	2,426	1,059	8	0,048	675999,88
64QAM^{3/4}	3,949	1,411	12	0,063	765752,49
64QAM^{5/6}	4,501	1,110	76	0,435	723912,543

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.1.12. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 82-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 82-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	4,237	0,355	260	0,386	2716313,347
QPSK^{1/2}	3,175	0,186	204	0,279	2932080,178
QPSK^{3/4}	2,958	0,250	92	0,128	2898297,542
16QAM^{1/2}	2,283	0,425	36	0,050	2943379,218
16QAM^{3/4}	1,737	0,129	21	0,029	2929428,272
64QAM^{2/3}	2,175	0,464	39	0,054	2917936,281
64QAM^{3/4}	2,134	0,351	31	0,043	2927111,194
64QAM^{5/6}	3,170	0,962	205	0,283	2910177,030

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.1.13. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 83-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 83-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	6,703	1,197	104	0,566	741051,992
QPSK ^{1/2}	4,609	0,605	85	0,347	892061,162
QPSK ^{3/4}	2,962	0,548	55	0,217	882397,582
16QAM ^{1/2}	2,653	0,875	9	0,049	794079,412
16QAM ^{3/4}	1,439	0,178	4	0,019	896882,272
64QAM ^{2/3}	1,834	0,218	8	0,046	792109,835
64QAM ^{3/4}	2,404	0,354	25	0,111	901287,621
64QAM ^{5/6}	2,371	0,369	14	0,063	893758,011

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.1.14. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 84-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 84-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	5,287	0,394	198	0,393	2028590,424
QPSK ^{1/2}	3,445	0,398	153	0,206	2989442,536
QPSK ^{3/4}	3,077	0,220	97	0,150	2599157,060
16QAM ^{1/2}	2,411	0,279	27	0,048	2306041,299
16QAM ^{3/4}	1,774	0,104	24	0,041	2453024,251
64QAM ^{2/3}	1,969	0,256	29	0,052	2262342,305
64QAM ^{3/4}	2,102	0,102	61	0,086	2873774,053
64QAM ^{5/6}	2,522	0,298	30	0,047	2551313,558

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.2. Enlace Nodo Quimiag – CPE

En este apartado se debe tomar en cuenta que el CPE instalado se encuentra a una distancia de 0,31Km. Por lo tanto, la potencia de la antena transmisora Mikrotik SXTsq 5 se configuró en un valor de 8 dBm, ya que al utilizar los equipos con una potencia por defecto se obtuvo valores excesivamente altos de SNR (superiores a 80dB), lo que se considera como un enlace sobredimensionado, provocando la desconexión de los quipos y una mala recepción de datos.

4.3.2.1. Calidad del enlace en 10MHz

Para el enlace Nodo Quimiag – CPE se configuró un ancho de banda de 10 MHz a una frecuencia de 5975 MHz y una ganancia de 16 dBi. En la Tabla 85-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

4.3.2.2. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 86-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H264H.

4.3.2.3. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 87-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H264H.

4.3.2.4. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 88-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

4.3.2.5. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 89-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

4.3.2.6. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 90-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

4.3.2.7. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 91-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 85-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag-CPE

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK^{1/2}	8	-50	-116	66	98	1,5	1,185E-08
QPSK^{1/2}	8	-50	-115	66	97	2,9	2,276E-08
QPSK^{3/4}	8	-50	-114	65	98	4,6	4,546E-08
16QAM^{1/2}	8	-51	-117	68	97	6,3	6,501E-08
16QAM^{3/4}	8	-50	-117	67	97	10,1	1,312E-07
64QAM^{2/3}	8	-50	-117	67	92	12,4	3,267E-07
64QAM^{3/4}	8	-50	-117	68	82	12,1	2,867E-07
64QAM^{5/6}	8	-50	-116	66	58	8,7	3,267E-07

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 86-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	7,453	0,296	0	0,000	94277,86
	H.264B	7,701	0,691	0	0,000	96457,64
	H.264H	7,557	0,475	0	0,000	89607,94
	H.265	7,508	0,306	0	0,000	80312,13
QPSK ^{1/2}	H.264	7,407	0,311	0	0,000	110184,84
	H.264B	7,307	0,236	0	0,000	119577,33
	H.264H	7,267	0,301	0	0,000	98745,04
	H.265	7,216	0,388	0	0,000	84228,52
QPSK^{3/4}	H.264	7,445	0,271	0	0,000	115333,27
	H.264B	7,197	0,219	0	0,000	115103,15
	H.264H	7,268	0,306	0	0,000	105062,77
	H.265	7,133	0,371	0	0,000	85512,89
16QAM^{1/2}	H.264	7,098	0,370	0	0,000	101387,61
	H.264B	7,221	0,369	0	0,000	114671,97
	H.264H	7,128	0,428	0	0,000	93799,34
	H.265	7,156	0,339	0	0,000	85782,12
16QAM^{3/4}	H.264	7,589	0,647	0	0,000	105534,53
	H.264B	7,361	0,206	0	0,000	103151,90
	H.264H	7,434	0,346	0	0,000	95606,52
	H.265	7,062	0,556	0	0,000	82459,91
64QAM^{2/3}	H.264	7,210	0,297	0	0,000	101143,28
	H.264B	6,995	0,475	0	0,000	101380,51
	H.264H	6,986	0,263	0	0,000	94349,77
	H.265	7,361	0,288	0	0,000	82366,55
64QAM^{3/4}	H.264	7,399	0,264	0	0,000	106108,74
	H.264B	7,337	0,302	0	0,000	107736,57
	H.264H	7,521	0,709	0	0,000	113147,77
	H.265	7,400	0,329	0	0,000	86698,28
64QAM^{5/6}	H.264	7,770	0,375	0	0,000	119899,10
	H.264B	7,620	0,357	0	0,000	131879,87
	H.264H	8,031	1,017	0	0,000	116784,93
	H.265	7,642	0,406	0	0,000	88075,59

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 87-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	6,523	0,110	2371	5,460	1747266,042
	H.264B	6,267	0,354	1714	3,818	1750778,980
	H.264H	6,579	0,234	2404	5,555	1742608,692
	H.265	6,215	0,252	1579	3,496	1750857,778
QPSK ^{1/2}	H.264	3,323	0,092	3118	3,590	3432110,531
	H.264B	3,394	0,120	3383	3,954	3414305,562
	H.264H	3,402	0,079	3350	3,953	3387642,765
	H.265	3,259	0,073	1906	2,191	3386227,393
QPSK^{3/4}	H.264	2,422	0,076	2739	2,293	4689026,444
	H.264B	2,459	0,076	2755	2,336	4634718,561
	H.264H	2,387	0,060	2833	2,321	4789817,780
	H.265	2,421	0,078	1465	1,268	4441145,398
16QAM^{1/2}	H.264	1,813	0,053	1933	1,190	6281791,569
	H.264B	1,847	0,066	2124	1,340	6160173,516
	H.264H	1,808	0,050	2022	1,242	6314385,319
	H.265	1,839	0,068	1091	0,716	5860747,775
16QAM^{3/4}	H.264	1,301	0,042	913	0,408	8641754,501
	H.264B	1,250	0,040	1103	0,474	9017806,779
	H.264H	1,292	0,173	931	0,401	8952911,365
	H.265	1,511	0,057	443	0,243	6904390,567
64QAM^{2/3}	H.264	1,288	0,040	364	0,162	8567338,761
	H.264B	1,219	0,039	511	0,216	9119547,073
	H.264H	1,285	0,057	364	0,161	8624044,773
	H.265	1,503	0,049	239	0,138	6523476,934
64QAM^{3/4}	H.264	1,277	0,043	483	0,219	8520731,848
	H.264B	1,220	0,045	491	0,212	8945639,093
	H.264H	1,415	0,675	545	0,247	8524593,977
	H.265	1,470	0,024	272	0,151	6803413,861
64QAM^{5/6}	H.264	1,384	0,054	552	0,278	7716163,720
	H.264B	1,388	0,081	683	0,339	7857839,041
	H.264H	1,395	0,097	577	0,290	7721079,579
	H.265	1,423	0,077	515	0,274	7341357,925

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 88-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	8,117	0,490	219	0,778	1126240,932
QPSK^{1/2}	7,067	0,375	221	0,786	1123151,640
QPSK^{3/4}	5,160	1,985	134	0,482	1141512,845
16QAM^{1/2}	5,659	0,666	123	0,438	1124886,312
16QAM^{3/4}	5,029	0,703	45	0,159	1137053,234
64QAM^{2/3}	3,764	0,690	35	0,124	1131192,754
64QAM^{3/4}	3,773	0,773	42	0,150	1129528,800
64QAM^{5/6}	5,180	0,739	57	0,203	1129410,471

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 89-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,713	0,071	200	0,467	1744615,579
QPSK^{1/2}	4,643	0,516	287	0,462	2507353,576
QPSK^{3/4}	4,180	0,364	300	0,463	2613378,263
16QAM^{1/2}	3,624	0,230	298	0,414	2900998,364
16QAM^{3/4}	3,110	0,267	124	0,168	2975886,980
64QAM^{2/3}	3,003	0,271	104	0,141	2966701,901
64QAM^{3/4}	3,032	0,250	108	0,149	2929831,857
64QAM^{5/6}	3,347	0,233	146	0,202	2912796,843

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 90-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	7,340	0,294	135	0,587	965678,571
QPSK^{1/2}	3,919	1,059	90	0,365	993983,134
QPSK^{3/4}	7,282	3,622	132	0,496	1073791,884
16QAM^{1/2}	5,400	0,868	109	0,392	1140718,039
16QAM^{3/4}	4,290	1,470	49	0,220	896116,694
64QAM^{2/3}	3,543	0,711	50	0,269	748399,121
64QAM^{3/4}	3,420	0,258	47	0,189	1138538,240
64QAM^{5/6}	3,486	0,532	49	0,205	983257,110

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 91-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	4,437	0,141	203	0,486	1684526,360
QPSK^{1/2}	5,436	0,771	183	0,359	2053446,900
QPSK^{3/4}	5,400	0,797	182	0,368	1994669,720
16QAM^{1/2}	4,944	0,692	210	0,398	2128447,937
16QAM^{3/4}	3,999	1,161	138	0,215	2581068,985
64QAM^{2/3}	3,459	0,526	132	0,173	3072246,444
64QAM^{3/4}	2,325	0,302	122	0,168	2924997,392
64QAM^{5/6}	2,462	0,425	125	0,175	2810608,706

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.3.2.8. Calidad del enlace en 20MHz

Para el enlace Nodo Quimiag – CPE se configuró un ancho de banda de 20 MHz a una frecuencia de 5975 MHz con una ganancia de 16 dBi. En la Tabla 92-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$.

4.3.2.9. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 93-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H,265, H,264B, H,264 y H264H.

4.3.2.10. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 94-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz, En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H,265, H,264B, H,264 y H264H.

4.3.2.11. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 95-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

4.3.2.12. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 96-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

4.3.2.13. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 97-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz

4.3.2.14. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 98-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 92-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag-CPE

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK^{1/2}	8	-55	-111	58	99	4,1	1,015E-07
QPSK^{1/2}	8	-54	-111	57	96	8,7	2,712E-07
QPSK^{3/4}	8	-55	-111	56	95	14,1	5,534E-07
16QAM^{1/2}	8	-55	-111	57	96	18,8	1,221E-06
16QAM^{3/4}	8	-54	-112	59	95	28,7	1,176E-06
64QAM^{2/3}	8	-56	-110	56	96	38,3	7,191E-06
64QAM^{3/4}	8	-55	-110	56	94	43,0	8,073E-06
64QAM^{5/6}	8	-56	-110	57	84	42,8	6,383E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 93-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	7,286	0,273	0	0,000	90511,941
	H.264B	7,326	0,348	0	0,000	97762,143
	H.264H	7,214	0,339	0	0,000	86828,057
	H.265	7,171	0,302	0	0,000	82596,286
QPSK ^{1/2}	H.264	7,176	0,270	0	0,000	95791,359
	H.264B	7,164	0,543	0	0,000	90988,615
	H.264H	7,203	0,198	0	0,000	92370,333
	H.265	7,170	0,236	0	0,000	84992,875
QPSK^{3/4}	H.264	7,333	0,300	0	0,000	89306,445
	H.264B	7,364	0,414	0	0,000	97294,798
	H.264H	7,029	0,234	0	0,000	94982,096
	H.265	7,271	0,289	0	0,000	90772,276
16QAM^{1/2}	H.264	7,115	0,307	0	0,000	97823,194
	H.264B	7,193	0,297	0	0,000	102856,081
	H.264H	7,419	0,850	0	0,000	84993,714
	H.265	7,133	0,269	0	0,000	94098,282
16QAM^{3/4}	H.264	7,203	0,267	0	0,000	97734,063
	H.264B	7,089	0,213	0	0,000	115404,858
	H.264H	7,157	0,272	0	0,000	105034,617
	H.265	7,063	0,327	0	0,000	99981,249
64QAM^{2/3}	H.264	7,156	0,239	0	0,000	107287,798
	H.264B	7,172	0,246	0	0,000	99669,490
	H.264H	7,243	0,279	0	0,000	88103,121
	H.265	7,256	0,397	0	0,000	102619,087
64QAM^{3/4}	H.264	7,040	0,248	0	0,000	98443,221
	H.264B	7,022	0,443	0	0,000	97755,833
	H.264H	7,087	0,271	0	0,000	105566,980
	H.265	7,047	0,391	0	0,000	95014,416
64QAM^{5/6}	H.264	7,335	0,544	0	0,000	101503,482
	H.264B	7,082	0,464	0	0,000	94718,129
	H.264H	7,292	0,260	0	0,000	102816,489
	H.265	7,167	0,345	2	0,010	91983,644

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 94-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	2,655	0,070	2919	2,656	4290848,716
	H.264B	2,706	0,082	3454	3,218	4265075,044
	H.264H	2,680	0,070	2587	2,393	4212189,461
	H.265	2,835	0,100	1212	1,256	3568785,925
QPSK ^{1/2}	H.264	1,867	0,082	550	0,361	5525317,834
	H.264B	1,826	0,080	610	0,391	5646596,857
	H.264H	2,017	0,075	524	0,373	5057443,447
	H.265	2,486	0,077	335	0,333	3494653,213
QPSK^{3/4}	H.264	1,928	0,134	201	0,137	5207277,630
	H.264B	1,774	0,061	264	0,166	5688052,062
	H.264H	1,944	0,092	169	0,117	5113576,396
	H.265	2,208	0,318	150	0,124	4124214,387
16QAM^{1/2}	H.264	2,025	0,069	28	0,020	4837861,406
	H.264B	1,882	0,190	31	0,021	5130097,819
	H.264H	2,012	0,190	25	0,018	4934238,193
	H.265	2,792	0,139	17	0,020	2702598,497
16QAM^{3/4}	H.264	1,976	0,098	5	0,004	4854835,926
	H.264B	1,963	0,079	9	0,006	4990488,837
	H.264H	2,016	0,099	1	0,001	4810920,523
	H.265	2,497	0,168	7	0,008	3083271,766
64QAM^{2/3}	H.264	1,732	0,207	4	0,003	5556983,193
	H.264B	1,859	0,592	2	0,001	5639252,595
	H.264H	1,831	0,122	4	0,003	5268175,775
	H.265	1,965	0,042	0	0,000	4951751,726
64QAM^{3/4}	H.264	1,937	0,131	0	0,000	5020755,084
	H.264B	1,709	0,092	2	0,001	5703043,547
	H.264H	1,947	0,066	0	0,000	4952397,588
	H.265	2,399	0,203	0	0,000	3264166,664
64QAM^{5/6}	H.264	2,002	0,128	1	0,001	4772810,916
	H.264B	1,882	0,070	0	0,000	5158046,542
	H.264H	2,016	0,058	0	0,000	4818428,328
	H.265	2,340	0,068	7	0,007	3310061,702

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 95-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	8,397	1,610	113	0,716	630504,354
QPSK^{1/2}	4,289	1,331	45	0,263	699242,539
QPSK^{3/4}	4,234	1,263	18	0,109	665575,248
16QAM^{1/2}	1,982	0,780	13	0,082	657073,574
16QAM^{3/4}	1,716	0,648	8	0,049	674782,227
64QAM^{2/3}	1,743	0,798	6	0,036	684945,770
64QAM^{3/4}	1,152	0,619	4	0,029	564667,861
64QAM^{5/6}	1,684	0,737	7	0,052	567418,821

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 96-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,857	11,776	279	0,552	2038112,403
QPSK^{1/2}	3,116	1,575	182	0,187	3937166,751
QPSK^{3/4}	2,438	0,528	215	0,186	4661674,174
16QAM^{1/2}	1,781	0,775	71	0,055	5240943,207
16QAM^{3/4}	1,851	4,057	40	0,042	3871192,638
64QAM^{2/3}	1,900	2,493	27	0,034	3204949,225
64QAM^{3/4}	1,362	0,351	23	0,030	3236445,926
64QAM^{5/6}	1,429	0,241	31	0,036	3521744,808

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 97-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,155	1,888	109	0,401	1130015,3995
QPSK^{1/2}	4,084	0,516	76	0,327	954682,1790
QPSK^{3/4}	3,319	0,587	36	0,128	1135749,3019
16QAM^{1/2}	2,337	0,157	30	0,136	899242,2463
16QAM^{3/4}	1,843	0,203	7	0,028	1003940,3375
64QAM^{2/3}	1,579	0,206	12	0,051	1033188,4614
64QAM^{3/4}	1,335	0,353	8	0,030	1090237,6563
64QAM^{5/6}	1,880	0,359	12	0,054	1043047,1851

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 98-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,108	0,966	173	0,410	1700517,595
QPSK^{1/2}	3,874	0,734	151	0,229	2669068,784
QPSK^{3/4}	3,390	0,660	122	0,189	2601316,323
16QAM^{1/2}	3,390	0,660	41	0,059	2828173,990
16QAM^{3/4}	1,607	0,369	26	0,039	2711291,044
64QAM^{2/3}	1,566	0,272	22	0,031	2904776,343
64QAM^{3/4}	1,555	0,799	8	0,011	2907337,599
64QAM^{5/6}	1,636	0,103	28	0,040	2873629,116

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4. Parámetros técnicos obtenidos en enlaces punto multipunto rural

4.4.1. Enlace Nodo Quimiag – CPE1

En este apartado se debe tomar en cuenta que los CPEs instalados no sobrepasaron el 1Km de distancia. Por lo tanto, la potencia de la antena transmisora Mikrotik SXT SA5 se configuró en un valor de 9 dBm, ya que al utilizar los equipos con una potencia por defecto se obtuvo valores excesivamente altos de SNR (superiores a 80dB), lo que se considera como un enlace sobredimensionado, provocando la desconexión de los quipos y una mala recepción de datos.

4.4.1.1. Calidad del enlace en 10MHz

Para el enlace Nodo Quimiag – CPE1 se configuró un ancho de banda de 10 MHz a una frecuencia de 5370 MHz y una ganancia de 14dBi. En la Tabla 99-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK ^{1/2}, QPSK ^{1/2}, QPSK ^{3/4}, 16QAM ^{1/2}, 16QAM ^{3/4}, 64QAM ^{2/3}, 64QAM ^{3/4} y 64QAM ^{5/6}.

4.4.1.2. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 100-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se

varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.4.1.3. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 101-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.4.1.4. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 102-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

4.4.1.5. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 103-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

4.4.1.6. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 104-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 99-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag - CPE1

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK ^{1/2}	9	-59	-116	57	97	0,85	5,300E-08
QPSK ^{1/2}	9	-57	-116	59	99	1,57	6,177E-08
QPSK ^{3/4}	9	-59	-116	57	99	2,39	1,490E-07
16QAM ^{1/2}	9	-57	-116	59	98	3,00	2,459E-07
16QAM ^{3/4}	9	-59	-116	57	95	4,60	5,975E-07
64QAM ^{2/3}	9	-58	-116	58	95	6,30	1,493E-06
64QAM ^{3/4}	9	-58	-116	58	87	6,50	1,540E-06
64QAM ^{5/6}	9	-57	-116	59	83	6,10	1,148E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 100-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	9,338	0,822	35	0,230	85786,839
	H.264B	9,717	2,374	23	0,151	88342,972
	H.264H	8,999	0,599	12	0,077	81931,851
	H.265	9,560	1,028	23	0,152	79761,976
QPSK ^{1/2}	H.264	8,374	0,525	8	0,049	87947,373
	H.264B	8,154	0,551	3	0,018	86439,351
	H.264H	8,240	0,437	5	0,030	91371,691
	H.265	8,158	0,403	1	0,006	79142,608
QPSK^{3/4}	H.264	8,146	0,327	0	0,000	98170,338
	H.264B	8,124	0,391	0	0,000	85080,258
	H.264H	8,409	0,361	3	0,018	108077,956
	H.265	8,166	0,479	1	0,006	80909,324
16QAM^{1/2}	H.264	7,917	0,317	3	0,018	85012,538
	H.264B	8,027	0,291	2	0,012	88568,035
	H.264H	7,952	0,888	0	0,000	82008,949
	H.265	8,026	0,367	6	0,036	80508,193
16QAM^{3/4}	H.264	7,944	0,452	0	0,000	78025,775
	H.264B	8,292	2,768	0	0,000	85589,446
	H.264H	7,898	0,301	0	0,000	81528,145
	H.265	7,858	0,333	0	0,000	78543,088
64QAM^{2/3}	H.264	8,216	0,382	0	0,000	81270,347
	H.264B	8,051	0,289	0	0,000	83391,566
	H.264H	7,994	0,370	1	0,006	80169,742
	H.265	8,055	0,269	0	0,000	80199,825
64QAM^{3/4}	H.264	7,990	0,148	0	0,000	98466,022
	H.264B	7,596	0,198	0	0,000	89050,644
	H.264H	7,860	0,188	0	0,000	86153,003
	H.265	7,781	0,162	0	0,000	84877,173
64QAM^{5/6}	H.264	9,035	0,785	22	0,142	85984,854
	H.264B	7,981	0,919	3	0,018	84337,198
	H.264H	8,058	0,423	1	0,006	84004,255
	H.265	8,289	0,379	0	0,000	80702,305

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 101-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	11,977	0,648	2853	12,273	935938,025
	H.264B	13,722	2,652	2628	12,705	832540,311
	H.264H	12,121	0,957	2775	12,173	916805,003
	H.265	10,500	0,724	2247	8,809	982393,931
QPSK ^{1/2}	H.264	7,036	0,56	3478	8,625	1623724,768
	H.264B	7,033	0,399	3385	8,395	1626047,971
	H.264H	6,974	0,412	3437	8,581	1610466,355
	H.265	6,834	0,387	3452	8,305	1669651,879
QPSK^{3/4}	H.264	4,65	0,301	3420	5,496	2487342,685
	H.264B	4,894	0,306	3574	6,117	2352297,476
	H.264H	4,630	0,277	3302	5,312	2484779,497
	H.265	4,882	0,258	2232	3,951	2189621,881
16QAM^{1/2}	H.264	3,737	0,369	3047	3,921	3080109,999
	H.264B	3,691	0,365	3138	3,998	3114413,685
	H.264H	3,621	0,311	2685	3,328	3155577,235
	H.265	3,834	0,26	1435	1,900	2945373,280
16QAM^{3/4}	H.264	2,551	0,148	1692	1,466	4510814,253
	H.264B	2,574	0,100	1357	1,199	4372442,822
	H.264H	2,510	0,189	1291	1,100	4498629,520
	H.265	3,496	0,411	431	0,517	3027861,350
64QAM^{2/3}	H.264	2,293	0,144	764	0,593	4903751,570
	H.264B	2,146	0,062	814	0,601	5157260,577
	H.264H	2,272	0,173	936	0,735	4866710,789
	H.265	2,719	0,157	352	0,334	3843239,641
64QAM^{3/4}	H.264	2,210	0,096	472	0,355	4957648,260
	H.264B	2,133	0,041	648	0,475	5151363,423
	H.264H	2,271	0,026	481	0,376	4759858,227
	H.265	2,724	0,105	346	0,328	3890354,617
64QAM^{5/6}	H.264	2,303	0,103	533	0,425	4684831,463
	H.264B	2,153	0,113	647	0,476	5087566,785
	H.264H	2,322	0,086	498	0,398	4666933,803
	H.265	2,866	0,286	359	0,355	3780315,409

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 102-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	11,700	1,809	380	2,119	723616,883
QPSK^{1/2}	6,332	1,471	195	0,828	981573,957
QPSK^{3/4}	5,447	1,283	123	0,485	1013943,482
16QAM^{1/2}	4,966	1,726	41	0,315	521431,071
16QAM^{3/4}	3,700	1,298	29	0,169	690957,671
64QAM^{2/3}	3,738	0,931	20	0,148	570409,472
64QAM^{3/4}	3,597	0,708	12	0,030	1078450,136
64QAM^{5/6}	4,059	1,042	13	0,107	492941,970

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 103-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	9,887	1,194	304	1,267	966751,103
QPSK^{1/2}	6,031	0,417	261	0,713	1475527,655
QPSK^{3/4}	4,406	0,975	231	0,562	1673839,095
16QAM^{1/2}	4,041	0,899	190	0,314	2445538,072
16QAM^{3/4}	3,121	0,646	180	0,257	2829522,156
64QAM^{2/3}	3,716	0,872	145	0,160	3661013,414
64QAM^{3/4}	2,363	0,380	124	0,146	3420663,467
64QAM^{5/6}	2,256	0,846	141	0,149	3928647,661

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.1.7. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 105-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 104-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	9,374	1,691	157	0,944	669771,772
QPSK ^{1/2}	6,688	1,808	104	0,777	541440,506
QPSK ^{3/4}	5,997	1,399	59	0,462	538824,540
16QAM ^{1/2}	5,721	1,896	30	0,284	438582,219
16QAM ^{3/4}	6,051	1,442	86	0,454	768107,276
64QAM ^{2/3}	5,341	1,337	62	0,358	698441,594
64QAM ^{3/4}	3,655	1,143	39	0,175	897567,663
64QAM ^{5/6}	4,600	1,927	88	0,458	805881,812

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 105-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	11,245	1,238	224	0,996	907604,283
QPSK ^{1/2}	6,889	1,619	191	0,695	1108861,311
QPSK ^{3/4}	5,664	1,541	185	0,467	1596969,426
16QAM ^{1/2}	5,149	1,073	188	0,446	1700520,183
16QAM ^{3/4}	3,530	1,778	135	0,174	3134095,062
64QAM ^{2/3}	3,032	0,810	154	0,200	3109875,466
64QAM ^{3/4}	2,341	0,742	142	0,131	4370986,229
64QAM ^{5/6}	2,696	0,913	146	0,158	3734716,463

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.1.8. Calidad del enlace en 20MHz

Para el enlace Nodo Quimiag - CPE1 se configuró un ancho de banda de 20 MHz a una frecuencia de 5370 MHz con una ganancia de 14 dBi. En la Tabla 106-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK ^{1/2}, QPSK ^{1/2}, QPSK ^{3/4}, 16QAM ^{1/2}, 16QAM ^{3/4}, 64QAM ^{2/3}, 64QAM ^{3/4} y 64QAM ^{5/6}.

4.4.1.9. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 107-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada

modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.4.1.10. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 108-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz, En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

Tabla 106-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag - CPE1

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK^{1/2}	9	-61	-113	52	97	2,3	2,268E-07
QPSK^{1/2}	9	-62	-112	50	96	4,9	7,656E-07
QPSK^{3/4}	9	-62	-114	52	97	7,3	7,197E-07
16QAM^{1/2}	9	-62	-113	51	94	9,1	2,353E-06
16QAM^{3/4}	9	-63	-112	49	92	13,7	5,614E-06
64QAM^{2/3}	9	-61	-113	52	77	17,2	8,111E-06
64QAM^{3/4}	9	-61	-113	52	92	17,9	8,442E-06
64QAM^{5/6}	9	-61	-113	532	79	18,2	6,818E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.1.11. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 109-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

4.4.1.12. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 110-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 107-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	8,037	0,392	0	0,000	85920,776
	H.264B	8,265	1,352	5	0,029	91194,949
	H.264H	7,947	0,306	0	0,000	85629,977
	H.265	7,913	0,681	1	0,006	81273,577
QPSK ^{1/2}	H.264	7,985	0,637	0	0,000	91320,076
	H.264B	7,842	0,367	4	0,023	87129,171
	H.264H	7,893	0,370	0	0,000	94985,816
	H.265	8,108	0,578	0	0,000	80737,535
QPSK^{3/4}	H.264	7,936	0,547	0	0,000	89874,825
	H.264B	7,600	0,274	0	0,000	92891,284
	H.264H	7,595	0,247	0	0,000	87504,447
	H.265	7,687	0,292	0	0,000	79311,983
16QAM^{1/2}	H.264	7,865	0,435	0	0,000	87463,59
	H.264B	7,841	0,339	0	0,000	95415,755
	H.264H	7,748	0,408	0	0,000	88004,697
	H.265	7,814	0,423	0	0,000	81204,531
16QAM^{3/4}	H.264	7,987	0,450	0	0,000	90207,697
	H.264B	7,848	0,302	0	0,000	88419,047
	H.264H	7,875	0,362	0	0,000	86064,631
	H.265	7,864	0,406	0	0,000	82345,662
64QAM^{2/3}	H.264	7,944	0,334	0	0,000	82888,612
	H.264B	7,688	0,889	0	0,000	85890,827
	H.264H	7,836	0,477	4	0,023	86026,371
	H.265	7,849	0,234	0	0,000	79949,544
64QAM^{3/4}	H.264	8,086	2,391	0	0,000	89421,79
	H.264B	7,822	0,750	0	0,000	85981,713
	H.264H	7,635	0,405	0	0,000	84465,121
	H.265	7,972	0,534	0	0,000	78466,645
64QAM^{5/6}	H.264	7,808	0,129	0	0,000	91066,592
	H.264B	7,732	0,180	0	0,000	106038,631
	H.264H	7,872	0,090	0	0,000	92919,801
	H.265	7,932	0,146	0	0,000	82080,52

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 108-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	4,766	0,278	60131	3754	2419620,479
	H.264B	4,959	0,433	57966	3775	2334793,799
	H.264H	4,843	0,434	59662	3819	2396247,772
	H.265	4,857	0,547	94876	2613	2290615,14
QPSK ^{1/2}	H.264	2,362	0,21	123871	1760	4744177,78
	H.264B	2,276	0,094	127330	2202	4982023,362
	H.264H	2,323	0,168	124784	1590	4733772,628
	H.265	3,305	0,194	84369	546	3002932,857
QPSK^{3/4}	H.264	2,169	0,081	132635	482	4815317,112
	H.264B	2,045	0,057	139986	457	5152890,606
	H.264H	2,125	0,073	136449	526	4985942,319
	H.265	3,066	0,111	90176	240	3139484,849
16QAM^{1/2}	H.264	2,119	0,044	136145	265	4917889,447
	H.264B	1,944	0,113	149370	353	5465211,481
	H.264H	2,150	0,059	134098	257	4787828,71
	H.265	3,311	0,429	87114	128	2995360,915
16QAM^{3/4}	H.264	2,26	0,282	131068	73	4542584,425
	H.264B	2,064	0,121	140288	94	5078008,287
	H.264H	2,435	0,055	118468	41	4060109,763
	H.265	3,454	0,431	83093	47	2827083,838
64QAM^{2/3}	H.264	2,029	0,081	142341	120	5067235,998
	H.264B	1,918	0,085	150169	95	5173924,34
	H.264H	2,085	0,054	137277	162	4921171,418
	H.265	3,025	0,223	91823	55	3191201,889
64QAM^{3/4}	H.264	2,136	0,302	138265	99	4184544,493
	H.264B	1,939	0,107	148483	92	5022433,51
	H.264H	2,121	0,065	136037	170	4863100,489
	H.265	3,151	0,215	87996	68	3035701,567
64QAM^{5/6}	H.264	1,983	0,307	134634	98	4776105,274
	H.264B	1,953	0,038	146476	162	5272490,205
	H.264H	2,085	0,028	138436	171	4927112,767
	H.265	3,001	0,207	92881	48	3223547,866

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 109-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	7,079	1,097	156	0,557	1118989,539
QPSK^{1/2}	4,572	1,514	41	0,143	1146062,581
QPSK^{3/4}	5,079	0,758	18	0,064	1157766,540
16QAM^{1/2}	2,064	0,363	17	0,062	1116000,982
16QAM^{3/4}	2,203	0,582	8	0,029	1142526,991
64QAM^{2/3}	2,194	0,939	6	0,021	1129049,894
64QAM^{3/4}	2,730	0,597	12	0,043	1124598,000
64QAM^{5/6}	1,637	0,76	8	0,028	1162770,044

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 110-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	5,692	1,369	278	0,682	1645608,359
QPSK^{1/2}	3,673	0,433	181	0,249	2931768,225
QPSK^{3/4}	2,955	0,268	99	0,140	2849795,439
16QAM^{1/2}	2,260	0,392	44	0,060	2925619,293
16QAM^{3/4}	2,279	0,359	39	0,054	2903107,259
64QAM^{2/3}	2,003	0,508	22	0,030	2914572,145
64QAM^{3/4}	1,719	0,209	60	0,046	5250604,513
64QAM^{5/6}	1,303	0,173	48	0,037	5281170,588

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.1.13. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 111-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

4.4.1.14. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 112-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 111-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	5,109	1,908	151	0,748	988349,746
QPSK^{1/2}	3,485	1,980	50	0,230	981767,358
QPSK^{3/4}	3,862	1,938	99	0,465	903191,196
16QAM^{1/2}	2,257	2,018	65	0,311	824536,504
16QAM^{3/4}	4,118	3,727	74	0,383	794224,857
64QAM^{2/3}	2,607	1,775	29	0,154	741518,830
64QAM^{3/4}	2,932	2,077	50	0,291	657735,037
64QAM^{5/6}	2,742	1,580	8	0,034	978025,372

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 112-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,185	1,028	154	0,355	1746560,361
QPSK^{1/2}	3,345	0,725	162	0,257	2544376,821
QPSK^{3/4}	2,028	0,604	100	0,081	4952911,903
16QAM^{1/2}	1,375	0,395	89	0,050	7083395,029
16QAM^{3/4}	1,247	0,695	49	0,024	8143303,105
64QAM^{2/3}	1,472	0,345	34	0,026	5260582,228
64QAM^{3/4}	1,936	1,220	32	0,026	4919367,650
64QAM^{5/6}	1,164	0,229	39	0,021	7310796,053

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.2. Enlace Nodo Quimiag – CPE2

4.4.2.1. Calidad del enlace en 10MHz

Para el enlace Nodo Quimiag – CPE2 se configuró un ancho de banda de 10 MHz a una frecuencia de 5370 MHz y una ganancia de 14 dBi. En la Tabla 113-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK ^{1/2}, QPSK ^{1/2}, QPSK ^{3/4}, 16QAM ^{1/2}, 16QAM ^{3/4}, 64QAM ^{2/3}, 64QAM ^{3/4} y 64QAM ^{5/6}.

Tabla 113-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag – CPE2

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK^{1/2}	9	-48	-115	67	98	0,85	6,672E-09
QPSK^{1/2}	9	-47	-115	68	97	1,6	1,581E-08
QPSK^{3/4}	9	-48	-115	67	96	2,2	1,727E-08
16QAM^{1/2}	9	-47	-115	68	96	3,0	6,176E-08
16QAM^{3/4}	9	-48	-116	68	97	4,6	7,523E-08
64QAM^{2/3}	9	-47	-115	68	91	5,8	2,742E-07
64QAM^{3/4}	9	-46	-116	70	87	6,3	2,366E-07
64QAM^{5/6}	9	-48	-116	68	86	7,0	3,309E-07

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.2.2. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 114-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.4.2.3. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 115-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.4.2.4. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 116-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

4.4.2.5. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 117-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 114-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	9,271	0,781	18	0,119	85676,086
	H.264B	9,191	1,048	7	0,045	88621,115
	H.264H	8,793	0,548	2	0,013	82013,738
	H.265	9,341	0,966	3	0,020	79720,783
QPSK ^{1/2}	H.264	8,208	0,583	2	0,012	87840,098
	H.264B	8,215	0,359	2	0,012	86487,965
	H.264H	8,359	0,526	2	0,012	91449,661
	H.265	8,211	0,348	1	0,006	79243,905
QPSK^{3/4}	H.264	8,114	0,234	0	0,000	98186,866
	H.264B	8,752	0,791	111	0,693	86976,856
	H.264H	8,191	0,503	1	0,006	108125,105
	H.265	8,160	0,455	0	0,000	80831,873
16QAM^{1/2}	H.264	8,019	0,394	0	0,000	80898,940
	H.264B	7,998	0,431	0	0,000	88587,044
	H.264H	8,290	2,466	0	0,000	81964,950
	H.265	8,032	0,442	0	0,000	80550,831
16QAM^{3/4}	H.264	8,017	0,945	0	0,000	84636,248
	H.264B	7,951	0,314	0	0,000	85536,257
	H.264H	7,849	0,337	0	0,000	81393,828
	H.265	7,778	0,342	0	0,000	78423,121
64QAM^{2/3}	H.264	8,004	0,481	0	0,000	86070,948
	H.264B	7,927	0,613	18	0,105	84588,586
	H.264H	7,947	0,516	0	0,000	80789,356
	H.265	7,934	0,263	0	0,000	80034,724
64QAM^{3/4}	H.264	8,011	0,563	0	0,000	85050,842
	H.264B	8,034	0,287	0	0,000	83264,991
	H.264H	8,103	0,342	0	0,000	81529,801
	H.265	7,850	0,337	0	0,000	78189,209
64QAM^{5/6}	H.264	7,894	0,669	0	0,000	98393,059
	H.264B	7,927	0,613	0	0,000	88907,828
	H.264H	7,883	0,338	0	0,000	84347,653
	H.265	7,869	0,456	0	0,000	85191,339

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 115-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	11,328	0,401	2951	11,905	994584,728
	H.264B	11,373	0,262	2889	11,818	981420,726
	H.264H	11,341	0,382	2900	11,744	990832,344
	H.265	10,467	0,327	2327	8,820	1019541,682
QPSK ^{1/2}	H.264	6,260	0,222	3459	7,633	1821872,770
	H.264B	6,256	0,211	3569	7,913	1816409,018
	H.264H	6,264	0,187	3409	7,448	1833812,624
	H.265	6,237	0,364	3532	7,742	1826237,498
QPSK^{3/4}	H.264	4,469	0,135	3425	5,241	2613192,057
	H.264B	4,505	0,126	3519	5,447	2594785,545
	H.264H	4,461	0,152	3306	5,032	2608100,941
	H.265	4,351	0,170	2144	3,225	2593868,299
16QAM^{1/2}	H.264	3,566	0,175	2958	3,578	3263026,354
	H.264B	3,508	0,134	3057	3,626	3324061,034
	H.264H	3,405	0,114	2676	3,108	3346302,274
	H.265	3,334	0,171	1802	2,069	3393659,575
16QAM^{3/4}	H.264	2,350	0,334	2098	1,641	4965084,821
	H.264B	2,305	0,067	1790	1,407	4901661,675
	H.264H	2,415	0,263	1654	1,333	4702173,079
	H.265	3,433	0,366	405	0,477	3008770,808
64QAM^{2/3}	H.264	2,218	0,066	868	0,655	4922439,207
	H.264B	2,187	0,403	828	0,597	5195997,800
	H.264H	2,192	0,068	938	0,700	4998249,943
	H.265	3,202	0,706	525	0,564	3210531,809
64QAM^{3/4}	H.264	2,250	0,083	463	0,355	4697845,904
	H.264B	2,087	0,160	663	0,477	5139919,008
	H.264H	2,697	0,096	345	0,333	3788032,493
	H.265	2,700	0,144	436	0,413	3832063,097
64QAM^{5/6}	H.264	2,179	0,107	526	0,390	4937597,837
	H.264B	2,068	0,082	539	0,380	5258384,906
	H.264H	2,284	0,146	497	0,385	4672918,888
	H.265	2,200	0,062	396	0,298	4785477,444

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 116-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	11,700	1,009	313	1,318	958586,948
QPSK^{1/2}	6,831	0,220	181	0,734	988196,888
QPSK^{3/4}	5,587	0,295	113	0,445	1031891,995
16QAM^{1/2}	4,740	1,045	87	0,342	1017326,665
16QAM^{3/4}	5,446	0,792	28	0,162	702049,862
64QAM^{2/3}	5,123	1,856	16	0,111	576907,957
64QAM^{3/4}	5,025	1,738	12	0,097	498355,336
64QAM^{5/6}	4,363	0,637	7	0,062	455391,571

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 117-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	10,766	2,562	284	1,208	948007,883
QPSK^{1/2}	6,700	1,956	241	0,632	1585955,634
QPSK^{3/4}	5,026	1,465	231	0,489	1905830,711
16QAM^{1/2}	4,041	0,899	214	0,346	2506078,229
16QAM^{3/4}	3,121	0,646	168	0,217	3138635,067
64QAM^{2/3}	2,292	1,257	145	0,169	3456025,451
64QAM^{3/4}	2,507	0,739	145	0,155	3784683,919
64QAM^{5/6}	2,256	0,846	134	0,143	3787778,651

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.2.6. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 118-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz,

4.4.2.7. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 119-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz,

Tabla 118-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	9,026	1,562	123	0,596	813627,246
QPSK ^{1/2}	7,221	1,405	83	0,397	882787,479
QPSK ^{3/4}	4,927	0,964	96	0,443	857659,631
16QAM ^{1/2}	4,414	0,406	63	0,237	1117978,777
16QAM ^{3/4}	2,776	0,397	32	0,124	1037182,030
64QAM ^{2/3}	2,730	0,445	22	0,106	822635,805
64QAM ^{3/4}	2,133	0,242	5	0,021	1003306,569
64QAM ^{5/6}	2,582	0,760	9	0,051	719490,417

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 119-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	12,330	1,295	184	0,810	904591,551
QPSK ^{1/2}	8,152	1,475	188	0,564	1334973,864
QPSK ^{3/4}	6,538	1,017	157	0,376	1672008,866
16QAM ^{1/2}	5,283	0,907	167	0,315	2132602,956
16QAM ^{3/4}	3,975	1,925	118	0,217	2189080,574
64QAM ^{2/3}	3,468	0,706	166	0,221	3025026,546
64QAM ^{3/4}	3,149	0,676	101	0,155	2655465,669
64QAM ^{5/6}	3,040	0,630	106	0,149	2857782,835

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.2.8. Calidad del enlace en 20MHz

Para el enlace Nodo Quimiag – CPE2 se configuró un ancho de banda de 20 MHz a una frecuencia de 5370 MHz con una ganancia de 14 dBi. En la Tabla 120-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK ^{1/2}, QPSK ^{1/2}, QPSK ^{3/4}, 16QAM ^{1/2}, 16QAM ^{3/4}, 64QAM ^{2/3}, 64QAM ^{3/4} y 64QAM ^{5/6}.

4.4.2.9. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 121-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo

(jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.4.2.10. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 122-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz, En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.4.2.11. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 123-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

4.4.2.12. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 124-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 120-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag – CPE2

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK^{1/2}	9	-51	-113	62	99	2,3	9,027E-08
QPSK^{1/2}	9	-51	-113	62	96	5,0	1,962E-07
QPSK^{3/4}	9	-50	-114	64	99	7,3	3,607E-07
16QAM^{1/2}	9	-52	-113	61	90	9,3	9,573E-07
16QAM^{3/4}	9	-51	-113	62	97	13,7	1,410E-06
64QAM^{2/3}	9	-52	-111	59	88	17,9	6,705E-06
64QAM^{3/4}	9	-52	-111	59	93	18,0	6,743E-06
64QAM^{5/6}	9	-51	-112	61	97	19,4	5,773E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 121-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	6,118	0,364	4	0,014	595889,589
	H.264B	6,920	1,513	13	0,046	599182,196
	H.264H	6,765	2,878	15	0,054	597033,680
	H.265	6,684	0,260	13	0,047	587942,014
QPSK ^{1/2}	H.264	6,576	0,698	2	0,007	598877,700
	H.264B	6,190	0,197	1	0,004	571837,126
	H.264H	6,261	0,173	3	0,011	589257,126
	H.265	6,417	0,234	2	0,007	593825,977
QPSK^{3/4}	H.264	6,484	0,294	0	0,000	344767,071
	H.264B	6,472	0,308	0	0,000	352063,322
	H.264H	6,491	0,498	0	0,000	343914,150
	H.265	6,638	1,036	0	0,000	314196,465
16QAM^{1/2}	H.264	6,483	0,460	0	0,000	332896,453
	H.264B	6,452	0,335	0	0,000	353322,090
	H.264H	6,593	0,587	0	0,000	333897,527
	H.265	6,638	0,747	0	0,000	306592,116
16QAM^{3/4}	H.264	6,482	0,594	3	0,013	334656,934
	H.264B	6,531	0,250	0	0,000	339887,007
	H.264H	6,522	0,315	0	0,000	330800,031
	H.265	6,671	0,872	1	0,004	323362,632
64QAM^{2/3}	H.264	7,506	0,548	0	0,000	85947,304
	H.264B	6,490	0,391	0	0,000	343129,750
	H.264H	7,781	0,353	0	0,000	92945,666
	H.265	6,587	0,479	0	0,000	311252,605
64QAM^{3/4}	H.264	7,654	0,348	0	0,000	89057,356
	H.264B	7,785	0,392	0	0,000	106278,062
	H.264H	7,475	0,385	0	0,000	84553,295
	H.265	8,214	2,260	0	0,000	78970,327
64QAM^{5/6}	H.264	6,451	0,406	0	0,000	580178,281
	H.264B	6,267	0,261	0	0,000	598224,917
	H.264H	6,204	0,857	0	0,000	603643,078
	H.265	6,273	0,192	0	0,000	576208,307

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 122-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	4,571	0,175	3711	5,843	2544843,257
	H.264B	4,600	0,199	3799	6,053	2526289,048
	H.264H	4,551	0,172	3786	5,932	2552294,365
	H.265	4,614	0,280	2681	4,263	2432057,517
QPSK ^{1/2}	H.264	1,986	0,123	4689	3,202	5812243,987
	H.264B	2,061	0,087	3820	2,701	5625162,717
	H.264H	2,272	0,090	1396	1,087	4808661,850
	H.265	3,370	0,182	554	0,660	2977612,440
QPSK^{3/4}	H.264	2,173	0,062	433	0,322	4812024,054
	H.264B	2,061	0,069	403	0,284	5165288,948
	H.264H	2,127	0,059	471	0,344	4978287,172
	H.265	3,101	0,302	280	0,311	3145507,279
16QAM^{1/2}	H.264	2,154	0,135	264	0,194	4913664,276
	H.264B	1,929	0,063	350	0,233	5469133,940
	H.264H	2,134	0,144	240	0,179	4783081,938
	H.265	3,265	0,452	95	0,109	2978818,370
16QAM^{3/4}	H.264	2,285	0,332	97	0,074	4538706,034
	H.264B	2,460	0,081	98	0,070	5063062,936
	H.264H	2,460	0,081	50	0,042	4059189,230
	H.265	3,420	0,284	60	0,072	2830215,913
64QAM^{2/3}	H.264	1,652	0,076	113	0,065	6326305,659
	H.264B	1,569	0,036	142	0,078	6722541,240
	H.264H	1,644	0,105	118	0,067	6485169,804
	H.265	1,846	0,098	55	0,036	5521901,422
64QAM^{3/4}	H.264	1,663	0,113	99	0,056	6388799,776
	H.264B	1,556	0,042	102	0,055	6799560,622
	H.264H	1,660	0,072	117	0,067	6406206,722
	H.265	1,893	0,148	102	0,067	5542976,999
64QAM^{5/6}	H.264	1,596	0,043	149	0,083	6589749,722
	H.264B	1,568	0,133	65	0,035	6788538,272
	H.264H	1,659	0,106	181	0,102	6474690,468
	H.265	1,810	0,153	67	0,044	5593894,344

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 123-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	7,079	1,097	146	0,522	1117889,863
QPSK^{1/2}	4,572	1,514	43	0,157	1098509,349
QPSK^{3/4}	4,915	1,178	19	0,067	1125612,052
16QAM^{1/2}	2,064	0,363	14	0,050	1141110,893
16QAM^{3/4}	2,203	0,582	7	0,025	1134921,159
64QAM^{2/3}	2,669	0,361	7	0,025	1135442,242
64QAM^{3/4}	3,072	1,092	7	0,025	1123032,056
64QAM^{5/6}	1,637	0,760	7	0,024	1165558,574

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 124-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	5,692	1,369	278	0,615	1822262,688
QPSK^{1/2}	3,673	0,433	196	0,271	2920856,598
QPSK^{3/4}	2,955	0,268	108	0,154	2811725,432
16QAM^{1/2}	2,260	0,392	29	0,040	2946308,703
16QAM^{3/4}	2,279	0,359	35	0,048	2911819,857
64QAM^{2/3}	2,003	0,508	27	0,037	2920352,552
64QAM^{3/4}	1,719	0,209	63	0,049	5215134,022
64QAM^{5/6}	1,428	0,307	45	0,033	5439915,789

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.2.13. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 125-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

4.4.2.14. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 126-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 125-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	4,601	3,857	103	0,478	853807,652
QPSK ^{1/2}	3,072	0,268	21	0,100	880197,344
QPSK ^{3/4}	2,235	0,523	11	0,046	1090978,052
16QAM ^{1/2}	1,446	0,781	35	0,133	1098833,129
16QAM ^{3/4}	2,139	0,441	1	0,004	957038,942
64QAM ^{2/3}	1,963	0,393	6	0,028	955714,068
64QAM ^{3/4}	1,697	0,133	0	0,000	787621,454
64QAM ^{5/6}	1,372	0,097	1	0,004	970868,671

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 126-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	6,713	1,226	176	0,433	1638061,635
QPSK ^{1/2}	4,618	1,054	152	0,271	2264887,786
QPSK ^{3/4}	3,072	0,268	49	0,081	2468231,366
16QAM ^{1/2}	2,525	0,653	45	0,074	2470964,116
16QAM ^{3/4}	1,836	0,789	15	0,028	2352124,744
64QAM ^{2/3}	1,774	0,412	23	0,036	2561003,550
64QAM ^{3/4}	1,808	0,436	27	0,043	2548582,663
64QAM ^{5/6}	1,680	0,486	18	0,026	2798157,180

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.3. Enlace Nodo Quimiag – CPE3

4.4.3.1. Calidad del enlace en 10MHz

Para el enlace Nodo Quimiag – CPE3 se configuró un ancho de banda de 10 MHz a una frecuencia de 5370 MHz y una ganancia de 14dBi. En la Tabla 127-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK ^{1/2}, QPSK ^{1/2}, QPSK ^{3/4}, 16QAM ^{1/2}, 16QAM ^{3/4}, 64QAM ^{2/3}, 64QAM ^{3/4} y 64QAM ^{5/6}.

Tabla 127-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag – CPE3

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK^{1/2}	9	-56	-115	59	99	0,849	3,40E-08
QPSK^{1/2}	9	-56	-115	60	97	1,563	4,884E-08
QPSK^{3/4}	9	-55	-115	60	99	2,2	6,875E-08
16QAM^{1/2}	9	-56	-115	59	99	3,0	2,459E-07
16QAM^{3/4}	9	-55	-115	60	98	4,6	2,995E-07
64QAM^{2/3}	9	-56	-115	60	94	5,7	8,521E-07
64QAM^{3/4}	9	-56	-115	59	89	6,7	1,261E-06
64QAM^{5/6}	9	-55	-115	60	81	6,8	1,017E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.3.2. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 128-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.4.3.3. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 129-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.4.3.4. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 130-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

4.4.3.5. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 131-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 128-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	8,779	0,960	19	0,114	87810,856
	H.264B	8,730	1,398	10	0,059	90981,353
	H.264H	8,249	0,586	3	0,017	84277,312
	H.265	8,919	1,479	4	0,024	82248,535
QPSK ^{1/2}	H.264	7,764	0,630	2	0,011	90349,857
	H.264B	7,525	0,433	2	0,011	89149,651
	H.264H	7,805	0,682	4	0,022	94074,346
	H.265	7,498	0,512	0	0,000	81743,984
QPSK^{3/4}	H.264	7,598	0,470	0	0,000	87558,329
	H.264B	7,443	0,450	0	0,000	85182,147
	H.264H	7,555	0,563	0	0,000	87062,983
	H.265	7,423	0,450	0	0,000	83541,554
16QAM^{1/2}	H.264	7,464	0,415	0	0,000	88057,782
	H.264B	7,454	0,360	0	0,000	91119,763
	H.264H	7,309	0,256	0	0,000	84618,387
	H.265	7,607	0,540	0	0,000	83139,970
16QAM^{3/4}	H.264	8,143	0,839	15	0,086	88926,148
	H.264B	7,464	0,453	0	0,000	86732,464
	H.264H	7,504	0,948	0	0,000	84189,387
	H.265	7,260	0,270	0	0,000	81207,160
64QAM^{2/3}	H.264	7,504	0,558	0	0,000	88202,621
	H.264B	7,365	0,882	3	0,016	87219,751
	H.264H	7,452	0,325	0	0,000	82973,573
	H.265	7,490	0,342	0	0,000	82348,602
64QAM^{3/4}	H.264	7,348	0,403	0	0,000	87460,028
	H.264B	7,401	0,256	0	0,000	85898,604
	H.264H	7,620	0,404	0	0,000	83898,483
	H.265	7,330	0,369	0	0,000	80688,614
64QAM^{5/6}	H.264	7,252	0,319	0	0,000	87491,386
	H.264B	7,343	0,293	0	0,000	91197,448
	H.264H	7,308	0,242	0	0,000	88248,651
	H.265	7,684	1,412	0	0,000	83510,941

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 129-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	11,258	0,939	2925	11,888	989909,944
	H.264B	11,133	0,536	2896	11,778	990216,078
	H.264H	11,307	0,992	2964	12,164	980921,034
	H.265	9,987	0,370	2389	9,065	1012452,467
QPSK ^{1/2}	H.264	6,159	0,400	3520	7,874	1796363,149
	H.264B	6,149	0,291	3602	7,991	1814998,462
	H.264H	6,058	0,214	3517	7,687	1835453,043
	H.265	6,037	0,363	3630	7,961	1830149,572
QPSK^{3/4}	H.264	4,334	0,173	3473	5,304	2602875,864
	H.264B	4,342	0,176	3668	5,641	2613484,818
	H.264H	4,229	0,114	3424	5,127	2652438,656
	H.265	4,046	0,271	2299	3,367	2642539,001
16QAM^{1/2}	H.264	3,328	0,245	3015	3,509	3386488,969
	H.264B	3,348	0,124	3164	3,723	3354322,693
	H.264H	3,307	0,113	2804	3,257	3346465,353
	H.265	2,988	0,090	1757	1,932	3500402,220
16QAM^{3/4}	H.264	2,268	0,077	2112	1,659	4938309,304
	H.264B	2,272	0,142	1723	1,369	4842600,576
	H.264H	2,248	0,122	1617	1,267	4844447,329
	H.265	2,885	0,271	459	0,531	3046300,473
64QAM^{2/3}	H.264	2,312	0,477	1073	0,888	4586556,824
	H.264B	2,021	0,083	833	0,604	5200053,814
	H.264H	2,104	0,070	1004	0,764	4952545,775
	H.265	2,197	0,099	360	0,335	3844192,990
64QAM^{3/4}	H.264	2,100	0,174	509	0,378	4942201,863
	H.264B	2,036	0,072	591	0,425	5153901,731
	H.264H	2,075	0,099	521	0,398	4769475,184
	H.265	2,325	0,132	401	0,372	3890924,058
64QAM^{5/6}	H.264	2,090	0,067	520	0,402	4697209,080
	H.264B	1,948	0,081	643	0,461	5231987,497
	H.264H	2,124	0,110	568	0,444	4678739,604
	H.265	2,284	0,118	339	0,322	3791695,405

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 130-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	11,774	0,516	334	1,424	946925,113
QPSK^{1/2}	6,543	0,554	175	0,751	983082,377
QPSK^{3/4}	5,582	0,639	116	0,490	944289,807
16QAM^{1/2}	5,201	0,731	90	0,372	997560,437
16QAM^{3/4}	5,990	1,793	32	0,182	711294,206
64QAM^{2/3}	4,556	1,599	25	0,190	525385,916
64QAM^{3/4}	3,989	1,590	22	0,153	575376,049
64QAM^{5/6}	4,771	1,834	18	0,153	481718,353

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 131-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	11,653	6,991	304	1,367	897736,695
QPSK^{1/2}	6,193	1,429	250	0,633	1592163,203
QPSK^{3/4}	4,713	0,939	238	0,451	2130540,861
16QAM^{1/2}	3,956	0,579	229	0,384	2407803,517
16QAM^{3/4}	3,071	0,601	177	0,227	3169385,776
64QAM^{2/3}	2,918	1,446	127	0,147	3475208,924
64QAM^{3/4}	1,918	0,778	125	0,127	4038256,070
64QAM^{5/6}	2,050	0,812	147	0,158	3858638,658

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.3.6. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 132-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 10MHz.

4.4.3.7. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 10MHz

En la Tabla 133-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 10MHz.

Tabla 132-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	8,69	1,94	152	0,731	838976,892
QPSK^{1/2}	6,90	0,33	137	0,620	910792,471
QPSK^{3/4}	5,19	0,32	98	0,370	1065099,095
16QAM^{1/2}	5,19	0,32	79	0,281	1177398,568
16QAM^{3/4}	4,24	0,33	54	0,188	1226951,644
64QAM^{2/3}	2,34	0,37	36	0,155	1048689,471
64QAM^{3/4}	2,07	0,22	10	0,042	1038043,075
64QAM^{5/6}	2,30	0,43	18	0,068	1114666,461

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 133-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	11,639	1,392	189	0,803	948372,889
QPSK^{1/2}	8,436	1,278	197	0,617	1287493,968
QPSK^{3/4}	6,840	1,344	175	0,446	1581428,823
16QAM^{1/2}	5,237	1,366	189	0,359	2121665,001
16QAM^{3/4}	3,752	0,771	168	0,285	2373621,787
64QAM^{2/3}	3,165	0,869	114	0,152	3020860,947
64QAM^{3/4}	2,914	0,711	103	0,147	2829864,712
64QAM^{5/6}	3,261	0,668	125	0,189	2664923,067

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.3.8. Calidad del enlace en 20MHz

Para el enlace Nodo Quimiag – CPE3 se configuró un ancho de banda de 20 MHz a una frecuencia de 5370 MHz con una ganancia de 14 dBi. En la Tabla 134-4, se muestran los valores de potencia transmitida (Pt), indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), piso de ruido (Noise Floor), relación señal a ruido (SNR), porcentaje de la calidad de conexión del cliente (CCQ), capacidad de canal (C) y la tasa de error de bit (BER), en cada una de las modulaciones BPSK ^{1/2}, QPSK ^{1/2}, QPSK ^{3/4}, 16QAM ^{1/2}, 16QAM ^{3/4}, 64QAM ^{2/3}, 64QAM ^{3/4} y 64QAM ^{5/6}.

Tabla 134-4: Valores obtenidos sobre la calidad del enlace Nodo Quimiag – CPE3

Modulación	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
BPSK^{1/2}	9	-44	-105	62	99	2,2	2,169E-08
QPSK^{1/2}	9	-43	-106	63	96	4,0	3,132E-08
QPSK^{3/4}	9	-43	-105	62	98	5,8	5,718E-08
16QAM^{1/2}	9	-43	-105	62	99	7,6	1,561E-07
16QAM^{3/4}	9	-43	-105	62	98	10,2	2,095E-07
64QAM^{2/3}	9	-43	-105	62	96	13	6,131E-07
64QAM^{3/4}	9	-44	-106	62	94	14,1	6,650E-07
64QAM^{5/6}	9	-43	-105	62	87	15,1	7,121E-07

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.3.9. Video vigilancia – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 135-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz. En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.4.3.10. Video vigilancia – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 136-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz, En el caso de video vigilancia se varió los parámetros de codificación y compresión de H.265, H.264B, H.264 y H.264H.

4.4.3.11. IPTV – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 137-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

4.4.3.12. IPTV – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 138-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 135-4: Valores obtenidos en la calidad SD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	7,516	0,541	0	0,000	88473,838
	H.264B	7,425	0,454	0	0,000	93576,247
	H.264H	7,412	0,401	0	0,000	88220,501
	H.265	7,350	0,405	0	0,000	83952,377
QPSK ^{1/2}	H.264	7,627	1,799	0	0,000	93863,302
	H.264B	7,487	0,491	0	0,000	89421,877
	H.264H	7,367	0,257	0	0,000	97215,648
	H.265	7,848	1,854	0	0,000	83143,873
QPSK^{3/4}	H.264	7,102	0,392	0	0,000	92419,269
	H.264B	7,487	2,020	0	0,000	95726,059
	H.264H	7,104	0,279	0	0,000	90241,853
	H.265	7,191	0,381	0	0,000	81781,046
16QAM^{1/2}	H.264	7,306	0,250	0	0,000	89765,462
	H.264B	7,105	0,387	0	0,000	97981,301
	H.264H	7,143	0,308	0	0,000	90301,250
	H.265	7,254	0,387	0	0,000	83680,846
16QAM^{3/4}	H.264	7,313	0,355	0	0,000	92661,627
	H.264B	7,237	0,356	0	0,000	90885,935
	H.264H	7,224	0,241	0	0,000	88709,242
	H.265	7,571	1,867	0	0,000	84598,967
64QAM^{2/3}	H.264	7,121	0,358	0	0,000	90093,418
	H.264B	7,079	0,341	0	0,000	88695,887
	H.264H	7,260	0,551	0	0,000	88688,801
	H.265	7,332	0,490	0	0,000	82575,793
64QAM^{3/4}	H.264	7,139	0,293	0	0,000	85733,464
	H.264B	7,224	0,395	0	0,000	107988,364
	H.264H	7,047	0,213	0	0,000	87060,588
	H.265	7,208	0,306	0	0,000	81353,561
64QAM^{5/6}	H.264	7,012	0,244	0	0,000	93869,538
	H.264B	7,064	0,177	0	0,000	92405,561
	H.264H	7,134	0,209	0	0,000	95671,354
	H.265	7,256	0,572	0	0,000	84607,668

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 136-4: Valores obtenidos en la calidad HD de video vigilancia

Modulación	Codificación/ Compresión	Delay (ms)	Jitter (ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	H.264	4,504	0,139	3863	6,146	2527297,413
	H.264B	4,492	0,116	3851	6,120	2537762,003
	H.264H	4,484	0,409	3783	5,969	2533987,046
	H.265	6,860	2,447	2957	6,681	1702525,930
QPSK ^{1/2}	H.264	2,417	0,172	1960	1,648	4591107,499
	H.264B	2,476	0,135	2404	2,077	4544979,710
	H.264H	2,316	0,165	1728	1,389	4751613,476
	H.265	2,932	0,110	560	0,654	2983872,871
QPSK^{3/4}	H.264	2,103	0,070	500	0,376	4837335,721
	H.264B	1,991	0,048	405	0,286	5161139,071
	H.264H	2,102	0,135	614	0,457	4941818,771
	H.265	2,600	0,098	235	0,256	3143010,534
16QAM^{1/2}	H.264	2,031	0,056	276	0,203	4919545,586
	H.264B	1,867	0,069	413	0,278	5476169,355
	H.264H	2,082	0,072	260	0,194	4790540,456
	H.265	2,698	0,389	106	0,120	3001223,172
16QAM^{3/4}	H.264	2,163	0,240	137	0,105	4550291,550
	H.264B	1,949	0,087	109	0,077	5086701,683
	H.264H	2,361	0,060	46	0,039	4060727,585
	H.265	2,658	0,336	49	0,058	2833533,988
64QAM^{2/3}	H.264	2,020	0,211	104	0,077	4777849,889
	H.264B	1,889	0,089	143	0,097	5272135,223
	H.264H	2,032	0,147	148	0,107	4927346,071
	H.265	2,530	0,234	57	0,060	3200046,539
64QAM^{3/4}	H.264	1,991	0,064	118	0,085	4892124,748
	H.264B	1,870	0,139	81	0,054	5324841,632
	H.264H	2,032	0,125	199	0,146	4861374,030
	H.265	2,578	0,160	81	0,090	3039828,861
64QAM^{5/6}	H.264	1,976	0,153	125	0,088	5071157,136
	H.264B	1,837	0,107	59	0,039	5378776,497
	H.264H	1,993	0,085	144	0,104	4928370,661
	H.265	2,499	0,112	53	0,056	3233857,454

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 137-4: Valores obtenidos en la calidad SD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,054	0,953	172	0,610	1125089,336
QPSK^{1/2}	4,414	1,059	44	0,154	1136000,800
QPSK^{3/4}	2,255	0,637	20	0,072	1138027,810
16QAM^{1/2}	2,693	1,572	13	0,047	1110096,280
16QAM^{3/4}	1,856	0,574	13	0,047	1130480,949
64QAM^{2/3}	2,517	0,959	12	0,042	1162056,673
64QAM^{3/4}	2,340	0,366	8	0,029	1148800,033
64QAM^{5/6}	4,083	1,123	10	0,035	1128074,890

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 138-4: Valores obtenidos en la calidad HD de IPTV

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK^{1/2}	6,049	0,583	278	0,663	1690540,273
QPSK^{1/2}	3,253	0,311	158	0,210	3035434,231
QPSK^{3/4}	2,843	0,469	83	0,120	2773847,114
16QAM^{1/2}	2,377	1,466	33	0,046	2912746,183
16QAM^{3/4}	2,428	2,486	31	0,043	2918562,154
64QAM^{2/3}	2,248	0,313	37	0,051	2908307,365
64QAM^{3/4}	1,542	0,133	49	0,038	5234356,973
64QAM^{5/6}	1,583	0,163	85	0,066	5221132,325

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.4.3.13. VOD – Calidad SD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 139-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad SD con un ancho de banda de 20MHz.

4.4.3.14. VOD – Calidad HD – Ancho de banda de 20MHz

En la Tabla 140-4, se muestra los resultados obtenidos de retardo (delay), variación del retardo (jitter), paquetes perdidos, porcentaje de paquetes perdidos y el rendimiento (throughput) en cada modulación con calidad HD con un ancho de banda de 20MHz.

Tabla 139-4: Valores obtenidos en la calidad SD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	5,795	0,813	91	0,423	865100,831
QPSK ^{1/2}	3,333	0,401	26	0,123	892671,999
QPSK ^{3/4}	1,877	0,155	8	0,030	1114170,548
16QAM ^{1/2}	1,596	0,212	8	0,041	846222,764
16QAM ^{3/4}	1,779	0,324	6	0,027	907093,024
64QAM ^{2/3}	1,776	0,050	5	0,021	1018505,607
64QAM ^{3/4}	1,871	0,374	5	0,021	1012506,182
64QAM ^{5/6}	1,608	0,160	6	0,022	1096017,911

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 140-4: Valores obtenidos en la calidad HD de VOD

Modulación	Delay (ms)	Jitter(ms)	Paquetes perdidos	Paquetes perdidos (%)	Throughput (bps)
BPSK ^{1/2}	6,703	1,221	184	0,464	1598209,822
QPSK ^{1/2}	3,878	0,765	171	0,249	2764941,602
QPSK ^{3/4}	2,667	1,059	99	0,125	3182666,382
16QAM ^{1/2}	2,466	0,887	51	0,082	2491090,947
16QAM ^{3/4}	2,493	2,343	28	0,052	2199890,818
64QAM ^{2/3}	1,578	0,526	23	0,037	2523713,357
64QAM ^{3/4}	1,862	0,632	32	0,046	2831916,330
64QAM ^{5/6}	1,308	0,351	19	0,030	2590880,814

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.5. Análisis de resultados obtenidos

Una vez obtenidos los valores de calidad del enlace y la calidad de servicio de los 3 tipos de video, en cada una de las modulaciones BPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$ con un ancho de banda de 10 MHz y 20 MHz, se procedió a realizar una recomendación de los parámetros técnicos ideales mínimos para garantizar la calidad de la transmisión de video bajo demanda, video vigilancia e IPTV en calidad SD y HD en cada uno de los vanos que compone el sistema de comunicaciones.

Para obtener los parámetros mínimos necesarios para garantizar la calidad de la transmisión de video se utilizó estadística descriptiva, ya que no se puede aplicar estadística inferencial porque los datos no cumplen normalidad debido a que mediciones realizadas en cada uno de los enlaces

no tienen las mismas condiciones a causa del efecto multitrayecto que sufre el enlace dependiendo del medio.

En sistemas de comunicaciones inalámbricos que trabajan a frecuencias de 5 GHz se espera un desvanecimiento multitrayecto como consecuencia de la interferencia entre componentes de las señales que se propagan por caminos diferentes debido a reflexiones, ya sean del suelo, capas atmosféricas u obstáculos existentes en el trayecto (dispersores). Cuando existe línea de vista entre el transmisor y receptor se espera una distribución de Rice, cuando no existe línea de vista y las componentes que llegan al receptor son a causa de las ondas reflejadas se considera una distribución de Rayleigh (Hernando, 2008, p. 202).

Los valores óptimos para la calidad del enlace son: el RSSI mayor a -65 dBm, el SNR mayor a 30 dB, el CCQ mayor al 80%, y el BER menor a 10^{-6} , el cual se considera bueno en comunicaciones inalámbricas. Para la calidad de servicio según la recomendación UIT-T Y.1541 los valores óptimos para la transmisión de video son: el delay y jitter debe ser menor a 100 ms y a 50 ms (ITU, 2019, p. 9).

4.5.1. Análisis de resultados de los enlaces punto a punto urbano

4.5.1.1. Enlace SITCOM – Cerro San Francisco

Una vez analizados los valores obtenidos en la Tabla 1-4 y en la Tabla 8-4 del enlace SITCOM – Cerro San Francisco, en el cual se configuró una frecuencia central de 5795 MHz y una ganancia de 25 dBi a una distancia de 3,52 Km. En la Tabla 141-4, se muestra las modulaciones elegidas para un ancho de banda de 10 y 20 MHz para una calidad de enlace óptimo.

Basado en las Tabla 2-4, Tabla 4-4, Tabla 6-4, Tabla 9-4, Tabla 11-4 y en la Tabla 13-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad SD, basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 142-4.

Para video vigilancia a un ancho de banda de 10MHz se eligió la codificación H.265 y en 20 MHz se eligió la codificación H.264B, que muestra valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Tabla 141-4: Resultados elegidos para la calidad del enlace

Modulación	BW (MHz)	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
64QAM ^{3/4}	10	19	-50	-115	65	84	11,3	5,342E-07
16QAM ^{3/4}	20	21	-52	-111	59	94	27,6	1,131E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 142-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio SD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$
Delay (ms)	5,566	4,794	4,828	1,681	2,412	1,745
Jitter (ms)	0,264	0,225	1,206	0,392	1,395	0,220
Paquetes perdidos	0 0,000	0 0,000	20 0,113	9 0,033	0,248 0,359	6 0,035
Throughput (Kbps)	117,370	86,564	784,388	1116,368	1135404,436	753707,541

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Basado en las Tabla 3-4, Tabla 5-4, Tabla 7-4, Tabla 10-4, Tabla 12-4 y en la Tabla 14-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad HD basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 143-4.

Tabla 143-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio HD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$
Delay (ms)	2,283	2,231	3,961	1,801	2,916	1,454
Jitter (ms)	0,159	0,130	0,621	0,263	0,556	0,794
Paquetes perdidos	244 0,191	59 0,048	48 0,118	22 0,030	94 0,121	14 0,019
Throughput (Kbps)	4186,512	4016,086	1636,904	2955,849	3135371,356	2900047,526

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 y 20 MHz se eligió la codificación H.264B, ya que muestra valores óptimos en comparación con las otras codificaciones

Recomendación de la configuración óptima: La configuración que se recomienda para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en calidad SD y HD, es la modulación 16QAM $\frac{3}{4}$, con un ancho de banda de 20MHz, a una frecuencia central de 5795MHz y una potencia de 21dBm, porque presenta una buena calidad de enlace como se observa en la Tabla 141-4 y una óptima calidad de servicio en comparación a los resultados obtenidos con un

ancho de banda de 10 MHz, como se observa en la Tabla142-4 y Tabla143-4. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264B, para la calidad de SD y HD.

4.5.1.2. Enlace Cerro San Francisco – CPE

Una vez analizados los valores obtenidos en la Tabla 15-4 y en la Tabla 22-4 del enlace Cerro San Francisco – CPE, en el cual se configuró una frecuencia central de 5075 MHz y una ganancia de 25 dBi a una distancia de 5,27 Km. En la Tabla 144-4, se muestra las modulaciones elegidas para un ancho de banda de 10 y 20 MHz para una calidad de enlace óptimo.

Tabla 144-4: Resultados elegidos para la calidad del enlace

Modulación	BW (MHz)	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
64QAM ^{5/6}	10	20	-50	-114	64	94	16,3	9,701E-07
64QAM ^{5/6}	20	20	-53	-110	57	93	47,4	7,069E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Basado en las Tabla 16-4, Tabla 18-4, Tabla 20-4, Tabla 23-4, Tabla 25-4 y en la Tabla 27-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad SD, basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 145-4.

Tabla 145-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio SD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM ^{5/6}	64QAM ^{5/6}	64QAM ^{5/6}	64QAM ^{5/6}	64QAM ^{5/6}	64QAM ^{5/6}
Delay (ms)	6,620	6,313	2,890	3,937	3,644	2,396
Jitter (ms)	0,216	0,205	0,650	0,846	0,926	0,218
Paquetes perdidos	0 0,000	0 0,000	22 0,073	0 0,000	99 0,359	45 0,137
Throughput (Kbps)	98,569	91,046	1234,014	1346,209	1k132,610	1388,148

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 y 20 MHz se eligió la codificación H.264H, ya que muestra valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Basado en las Tabla 17-4, Tabla 19-4, Tabla 21-4, Tabla 24-4, Tabla 26-4, y en la Tabla 28-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad HD basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 146-4.

Tabla 146-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio HD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM 5/6	64QAM 5/6	64QAM 5/6	64QAM 5/6	64QAM 5/6	64QAM 5/6
Delay (ms)	1,659	1,824	1,889	1,656	1,588	0,906
Jitter (ms)	0,093	0,037	0,131	0,106	0,315	0,197
Paquetes perdidos	259 0,150	0 0,000	84 0,064	15 0,019	91 0,062	1 0,000
Throughput (Kbps)	6136,300	5480,583	5258,959	3149,919	5939,013	11326,657

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 y 20 MHz se eligió la codificación H.264H, ya que muestra valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Recomendación de la configuración óptima: La configuración que se recomienda para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en calidad SD y HD es la modulación 64QAM 5/6, con un ancho de banda de 20MHz, a una frecuencia central de 5075 MHz y una potencia de 20dBm, porque presenta una buena calidad de enlace como se observa en la Tabla 144-4 y en la mayoría de los casos cumple una óptima calidad de servicio en comparación a los resultados obtenidos con un ancho de banda de 10MHz, como se observa en la Tabla 145-4 y Tabla 146-4. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264H, para la calidad de SD y HD.

4.5.2. Análisis de resultados de los enlaces punto multipunto urbano

4.5.2.1. Enlace Cerro San Francisco – CPE1

Una vez analizados los valores obtenidos en la Tabla 29-4 y en la Tabla 36-4 del enlace Cerro San Francisco – CPE1, en el cual se configuró una frecuencia central de 5255 MHz y una ganancia de 14 dBi a una distancia de 2,29 Km. En la Tabla 147-4, se muestra las modulaciones elegidas para un ancho de banda de 10 y 20 MHz para una calidad de enlace óptimo.

Tabla 147-4: Resultados elegidos para la calidad del enlace.

Modulación	BW (MHz)	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
16QAM $3/4$	10	30	-50	-113	63	96	4,8	1,566E-07
16QAM $3/4$	20	30	-54	-109	55	84	10,1	1,040E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Basado en las Tabla 30-4, Tabla 32-4, Tabla 34-4, Tabla 37-4, Tabla 39-4 y en la Tabla 41-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad SD, basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 148-4.

Para video vigilancia en 10 MHz se eligió la codificación H.264B y para 20 MHz la codificación H.264H, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Tabla 148-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio SD.

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	16QAM $3/4$	16QAM $3/4$	16QAM $3/4$	16QAM $3/4$	16QAM $3/4$	16QAM $3/4$
Delay (ms)	7,000	6,560	3,126	2,695	2,689	1,538
Jitter (ms)	0,272	0,109	0,289	0,455	0,418	0,273
Paquetes perdidos	0 0,000	0 0,000	130 0,179	4 0,014	18 0,092	12 0,048
Throughput (Kbps)	111,003	137,285	2926,146	1132,814	796,227	1074,363

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Basado en las Tabla 31-4, Tabla 33-4, Tabla 35-4, Tabla 38-4, Tabla 40-4, y en la Tabla 42-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad HD basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 149-4.

Para video vigilancia en 10 MHz se eligió la codificación H.264H y para 20 MHz la codificación H.264B, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en calidad SD y HD, en el CPE1, se eligió la modulación 16QAM $3/4$, con un ancho de banda de 20MHz, porque presenta una buena calidad de enlace como se observa en la Tabla 147-4 y una óptima calidad de servicio

en comparación a los resultados obtenidos con un ancho de banda de 10MHz como se observa en la Tabla 148-4 y Tabla 149-4. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264H para la calidad SD y H.264B para la calidad HD.

Tabla 149-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio HD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	16QAM $3/4$	16QAM $3/4$	16QAM $3/4$	16QAM $3/4$	16QAM $3/4$	16QAM $3/4$
Delay (ms)	1,957	1,031	3,020	1,457	3,426	1,457
Jitter (ms)	0,106	0,098	0,485	0,293	0,620	0,293
Paquetes perdidos	1416	642	97	25	138	25
	0,976	0,225	0,158	0,039	0,190	0,039
Throughput (Kbps)	5626,916	11184,429	2544,940	2645,755	2923,053	2645,755

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

4.5.2.2. Enlace Cerro San Francisco – CPE2

Una vez analizados los valores obtenidos en la Tabla 43-4 y en la Tabla 50-4 del enlace Cerro San Francisco – CPE2, en el cual se configuró una frecuencia central de 5255 MHz y una ganancia de 14 dBi a una distancia de 2,14 Km. En la Tabla 150-4, se muestra las modulaciones elegidas para un ancho de banda de 10 y 20 MHz para una calidad de enlace óptimo.

Basado en las Tabla 44-4, Tabla 46-4, Tabla 48-4, Tabla 51-4, Tabla 534 y en la Tabla 55-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad SD, basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 151-4.

Tabla 150-4: Resultados elegidos para la calidad del enlace

Modulación	BW (MHz)	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
16QAM $3/4$	10	30	-47	-113	66	95	4,8	9,882E-08
16QAM $3/4$	20	30	-54	-107	55	92	11,5	1,184E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 151-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio SD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	16QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{5}{6}$	16QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$
Delay (ms)	5,136	5,402	3,850	1,587	2,874	1,559
Jitter (ms)	0,288	0,287	0,963	0,184	0,544	0,191
Paquetes perdidos	0 0,000	0 0,000	35 0,121	10 0,035	12 0,067	15 0,059
Throughput (Kbps)	606,854	110,502	1165,204	1169,595	792,728	1086,700

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 MHz se eligió la codificación H.264 y para 20 MHz la codificación H.264H, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Basado en las Tabla 45-4, Tabla 47-4, Tabla 49-4, Tabla 52-4, Tabla 54-4, y en la Tabla 56-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad HD basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 152-4.

Tabla 152-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio HD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	16QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{5}{6}$	16QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$
Delay (ms)	2,004	0,820	3,062	1,243	3,527	1,621
Jitter (ms)	0,068	0,064	0,086	0,300	0,672	0,334
Paquetes perdidos	2773 1,895	384 0,119	150 0,205	17 0,026	192 0,259	18 0,031
Throughput (Kbps)	5676,219	12734,504	2945,070	2659,353	2991,047	2484,432

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 MHz se eligió la codificación H.264H y para 20 MHz la codificación H.264, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

No existe una diferencia notable en la calidad de servicio durante la transmisión de video vigilancia en la calidad SD y HD en las modulaciones 16QAM $\frac{3}{4}$ y 64QAM $\frac{5}{6}$ en un ancho de banda de 20MHz, como se observa en las tablas Tabla 37-4 y Tabla 38-4, por lo cual se eligió la modulación 16QAM $\frac{3}{4}$ para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en

calidad SD y HD, porque presenta una buena calidad de enlace como se observa en la Tabla 150-4 y una óptima calidad de servicio en comparación a los resultados obtenidos con un ancho de banda de 10MHz, como se observa en la Tabla151-4 y Tabla152-4. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264H para la calidad SD y H.264 para la calidad HD.

4.5.2.3. Enlace Cerro San Francisco – CPE3

Una vez analizados los valores obtenidos en la Tabla 57-4 y en la Tabla 64-4 del enlace Cerro San Francisco – CPE3, en el cual se configuró una frecuencia central de 5255 MHz y una ganancia de 14 dBi a una distancia de 3,57 Km. En la Tabla 153-4, se muestra las modulaciones elegidas para un ancho de banda de 10 y 20 MHz para una calidad de enlace óptimo.

Tabla 153-4: Resultados elegidos para la calidad del enlace

Modulación	BW (MHz)	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
64QAM $3/4$	10	28	-56	-113	57	86	3,2	9,545E-07
64QAM $5/6$	20	27	-61	-107	46	76	11,8	2,215E-05

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Basado en las Tabla 58-4, Tabla 60-4, Tabla 62-4, Tabla 65-4, Tabla 67-4 y en la Tabla 69-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad SD, basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 154-4.

Tabla 154-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio SD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	16QAM $3/4$	64QAM $5/6$	64QAM $3/4$	64QAM $5/6$	64QAM $3/4$	64QAM $5/6$
Delay (ms)	7,321	6,773	3,237	1,974	2,920	3,394
Jitter (ms)	0,215	0,190	0,428	0,280	0,634	1,428
Paquetes perdidos	0 0,000	0 0,000	43 0,161	6 0,021	69 0,308	39 0,170
Throughput (Kbps)	102,732	136,735	1080,283	1148,722	1016,052	924,260

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 MHz se eligió la codificación H.264 y para 20 MHz la codificación

H.264B, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Basado en las Tabla 59-4, Tabla 61-4, Tabla 63-4, Tabla 66-4, Tabla 68-4, y en la Tabla 70-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad HD basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 155-4.

Tabla 155-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio HD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{5}{6}$	64QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{5}{6}$	64QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{5}{6}$
Delay (ms)	2,088	0,921	2,488	1,737	2,925	0,910
Jitter (ms)	0,339	0,034	0,178	0,179	0,463	0,170
Paquetes perdidos	984 0,724	114 0,038	123 0,197	30 0,044	139 0,188	44 0,017
Throughput (Kbps)	5301,428	11715,259	2562,848	2747,818	2981,620	10596,668

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 MHz y 20 MHz la codificación elegida es H.264B, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en calidad SD y HD, en el CPE3, se eligió la modulación 64QAM $\frac{5}{6}$ con un ancho de banda de 20MHz, porque presenta una buena calidad de enlace como se observa en la Tabla 153-4 y una óptima calidad de servicio en comparación a los resultados obtenidos con un ancho de banda de 10MHz, como se observa en la Tabla 154-4 y Tabla 155-4. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264B para la calidad SD y HD.

Recomendación de la configuración óptima: La configuración que se recomienda para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en calidad SD y HD es la modulación 16QAM $\frac{3}{4}$, con un ancho de banda de 20MHz, a una frecuencia central de 5255MHz y una potencia de 30dBm, ya que presenta una buena calidad de enlace y una óptima calidad de servicio en el CPE-1, CPE-2 y un comportamiento similar en el CPE-3. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264H para la calidad SD y H.264B para la calidad HD.

4.5.3. Análisis de resultados de los enlaces punto a punto rural

4.5.3.1. Enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag

Una vez analizados los valores obtenidos en la Tabla 71-4 y en la Tabla 78-4 del enlace Cerro San Francisco – Nodo Quimiag, en el cual se configuró una frecuencia central de 5245 MHz y una ganancia de 25dBi a una distancia de 11,58Km. En la Tabla 156-4, se muestra las modulaciones elegidas para un ancho de banda de 10 y 20 MHz para una calidad de enlace óptimo .

Tabla 156-4: Resultados elegidos para la calidad del enlace

Modulación	BW (MHz)	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
64QAM $2/3$	10	20	-57	-112	55	92	12,4	5,862E-06
16QAM $3/4$	20	21	-65	-109	44	90	23,1	2,993E-05

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Basado en las Tabla 72-4, Tabla 74-4, Tabla 76-4, Tabla 79-4, Tabla 81-4 y en la Tabla 83-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad SD, basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 157-4.

Tabla 157-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio SD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM $2/3$	16QAM $3/4$	64QAM $2/3$	16QAM $3/4$	64QAM $2/3$	16QAM $3/4$
Delay (ms)	6,612	6,717	3,918	2,405	3,881	1,439
Jitter (ms)	0,142	0,076	0,644	0,796	0,433	0,178
Paquetes perdidos	0	0	23	4	52	4
Throughput (Kbps)	113,958	91,255	638,492	701,011	1156,540	896,882

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 MHz y 20 MHz se eligió la codificación H.264, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Basado en las Tabla 73-4, Tabla 75-4, Tabla 77-4, Tabla 80-4, Tabla 82-4, y en la Tabla 84-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad HD basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 158-4.

Tabla 158-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio HD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM $\frac{2}{3}$	16QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{2}{3}$	16QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{2}{3}$	16QAM $\frac{3}{4}$
Delay (ms)	1,853	1,274	2,384	1,737	3,062	1,774
Jitter (ms)	0,086	0,014	0,097	0,129	0,421	0,104
Paquetes perdidos	537 0,343	6 0,003	134 0,210	21 0,029	144 0,227	24 0,041
Throughput (Kbps)	5685,874	8409,421	4382,528	2929,428	2553,522	2453,024

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 MHz se eligió la codificación H.264B y para 20 MHz la codificación H.264, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Recomendación de la configuración óptima: La configuración que se recomienda para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en calidad SD y HD es la modulación 16QAM $\frac{3}{4}$, con un ancho de banda de 20MHz, a una frecuencia central de 5245MHz y una potencia de 21dBm, porque presenta una buena calidad de enlace como se observa en la Tabla 156-4 y una óptima calidad de servicio en comparación a los resultados obtenidos con un ancho de banda de 10MHz, como se observa en la Tabla 157-4 y Tabla 158-4. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264, para la calidad de SD y HD.

4.5.3.2. Enlace Nodo Quimiag – CPE

Una vez analizados los valores obtenidos en la Tabla 85-4 y en la Tabla 92-4 del enlace Nodo Quimiag – CPE, en el cual se configuró una frecuencia central de 5975 MHz y una ganancia de 16 dBi a una distancia de 0,31Km. En la Tabla 159-4, se muestra las modulaciones elegidas para un ancho de banda de 10 y 20 MHz para una calidad de enlace óptimo.

Basado en las Tabla 86-4, Tabla 88-4, Tabla 90-4, Tabla 93-4, Tabla 95-4 y en la Tabla 97-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad SD, basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 160-4.

Tabla 159-4: Resultados elegidos para la calidad del enlace

Modulación	BW (MHz)	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
64QAM^{2/3}	10	8	-50	-117	67	92	12,4	3,267E-07
64QAM^{3/4}	20	8	-55	-110	56	94	43,0	8,073E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Tabla 160-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio SD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM ^{2/3}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{2/3}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{3/4}
Delay (ms)	6,986	7,022	3,764	1,152	3,420	1,335
Jitter (ms)	0,263	0,443	0,690	0,619	0,258	0,353
Paquetes perdidos	0	0	35	4	47	8
	0,000	0,000	0,124	0,029	0,189	0,030
Throughput (Kbps)	94,349	97,755	1131,192	564,667	1138,538	1090,237

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 MHz se eligió la codificación H.264H y para 20 MHz la codificación H.264B, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Basado en las Tabla 87-4, Tabla 89-4, Tabla 91-4, Tabla 94-4, Tabla 96-4, y en la Tabla 98-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad HD basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 161-4.

Tabla 161-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio HD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM ^{2/3}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{2/3}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{3/4}
Delay (ms)	3,003	1,709	2,384	1,362	2,325	1,555
Jitter (ms)	0,271	0,092	0,097	0,351	0,302	0,799
Paquetes perdidos	104	2	134	23	122	8
	0,141	0,001	0,210	0,030	0,168	0,011
Throughput (Kbps)	2966,701	5703,043	4382,528	3236,445	2924,997	2907,337

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 MHz se eligió la codificación H.264H y para 20 MHz la codificación H.264B, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Recomendación de la configuración óptima: La configuración que se recomienda para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en calidad SD y HD es la modulación 64QAM 3/4, con un ancho de banda de 20MHz, a una frecuencia central de 5975MHz y una potencia de 8 dBm, porque presenta una buena calidad de enlace como se observa en la Tabla 159-4 y una óptima calidad de servicio en comparación a los resultados obtenidos con un ancho de banda de 10 MHz, como se observa en la Tabla 160-4 y Tabla 161-4. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H.264B, para la calidad de SD y HD.

4.5.4. *Análisis de resultados de los enlaces punto multipunto rural*

4.5.4.1. *Enlace Nodo Quimiag – CPE1*

Una vez analizados los valores obtenidos en la Tabla 99-4 y en la Tabla 106-4 del enlace Nodo Quimiag – CPE1, en el cual se configuró una frecuencia central de 5370MHz y una ganancia de 14 dBi a una distancia de 0,26 Km. En la Tabla 162-4, se muestra las modulaciones elegidas para un ancho de banda de 10 y 20 MHz para una calidad de enlace óptimo.

Tabla 162-4: Resultados elegidos para la calidad del enlace

Modulación	BW (MHz)	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
64QAM ³ / ₄	10	9	-58	-116	58	87	6,50	1,540E-06
64QAM ⁵ / ₆	20	9	-61	-113	52	79	18,2	6,818E-06

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Basado en las Tabla 100-4, Tabla 102-4, Tabla 104-4, Tabla 107-4, Tabla 109-4 y Tabla 111-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad SD, basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 163-4.

Para video vigilancia en 10 MHz se eligió la codificación H.264 y para 20 MHz la codificación H.264B, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Tabla 163-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio SD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{5}{6}$	64QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{5}{6}$	64QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{5}{6}$
Delay (ms)	7,990	7,732	3,597	1,637	3,655	2,742
Jitter (ms)	0,148	0,180	0,708	0,76	1,143	1,580
Paquetes perdidos	0 0,000	0 0,000	12 0,030	8 0,028	39 0,175	8 0,034
Throughput (Kbps)	98,466	106,039	1078,450	1162,770	897,568	978,025

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Basado en las Tabla 101-4, Tabla 103-4, Tabla 105-4, Tabla 108-4, Tabla 110-4, y Tabla 112-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad HD basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 164-4.

Para video vigilancia en 10 y 20 MHz se eligió la codificación H.264B, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Tabla 164-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio HD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{5}{6}$	64QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{5}{6}$	64QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{5}{6}$
Delay (ms)	2,133	1,953	2,363	1,303	2,341	1,164
Jitter (ms)	0,041	0,038	0,380	0,173	0,742	0,229
Paquetes perdidos	648 0,475	162 0,111	124 0,146	48 0,037	142 0,131	39 0,021
Throughput (Kbps)	5151,363	5272,490	3420,664	5281,171	4370,986	7310,796

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en calidad SD y HD en el CPE1, se eligió la modulación 64QAM $\frac{5}{6}$, con un ancho de banda de 20MHz, porque presenta una buena calidad de enlace como se observa en la Tabla 162-4 y en la mayoría de los casos cumple una óptima calidad de servicio en comparación a los resultados obtenidos con un ancho

de banda de 10MHz, como se observa en la Tabla163-4 y Tabla164-4. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H.264B, para la calidad de SD y HD.

4.5.4.2. Enlace Nodo Quimiag – CPE2

Una vez analizados los valores obtenidos en la Tabla 85-4 y en la Tabla 92-4 del enlace Nodo Quimiag – CPE2, en el cual se configuró una frecuencia central de 5370MHz y una ganancia de 14 dBi a una distancia de 0,09 Km. En la Tabla 165-4, se muestra las modulaciones elegidas para un ancho de banda de 10 y 20 MHz para una calidad de enlace óptimo.

Tabla 165-4: Resultados elegidos para la calidad del enlace

Modulación	BW (MHz)	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
64QAM $5/6$	10	9	-56	-115	59	81	6,8	1,280E-06
64QAM $5/6$	20	9	-43	-105	62	87	15,1	7,121E-07

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Basado en las Tabla 114-4, Tabla 116-4, Tabla 118-4, Tabla 121-4, Tabla 123-4 y Tabla 125-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad SD, basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 166-4.

Para video vigilancia en 10 MHz se eligió la codificación H.265 y para 20 MHz la codificación H.264H, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Tabla 166-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio SD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM $5/6$	64QAM $5/6$	64QAM $5/6$	64QAM $5/6$	64QAM $3/4$	64QAM $5/6$
Delay (ms)	7,869	6,204	4,363	1,637	2,133	1,372
Jitter (ms)	0,456	0,857	0,637	0,760	0,242	0,097
Paquetes perdidos	0	0	7	7	5	1
	0,000	0,000	0,062	0,024	0,021	0,004
Throughput (Kbps)	85,191	603,643	455,391	1165,558	1003,306	970,868

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Basado en las Tabla 115-4, Tabla 117-4, Tabla 119-4, Tabla 122-4, Tabla 124-4, y Tabla 126-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad HD basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 167-4.

Tabla 167-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio HD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM $\frac{5}{6}$	64QAM $\frac{5}{6}$	64QAM $\frac{5}{6}$	64QAM $\frac{5}{6}$	64QAM $\frac{5}{6}$	64QAM $\frac{5}{6}$
Delay (ms)	2,068	1,568	2,256	1,428	3,040	1,680
Jitter (ms)	0,082	0,133	0,846	0,307	0,630	0,486
Paquetes perdidos	539 0,380	65 0,035	134 0,143	45 0,033	106 0,149	18 0,026
Throughput (Kbps)	5258,384	6788,538	3787,778	5439,915	2857,782	2798,157

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 y 20 MHz se eligió la codificación H.264B, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en calidad SD y HD en el CPE2, se eligió la modulación 64QAM $\frac{5}{6}$, con un ancho de banda de 20MHz, porque presenta una buena calidad de enlace como se observa en la Tabla 165-4 y una óptima calidad de servicio en comparación a los resultados obtenidos con un ancho de banda de 10MHz, como se observa en la Tabla 166-4 y Tabla 167-4. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264H para la calidad SD y H.254B para la calidad HD.

4.5.4.3. Enlace Nodo Quimiag – CPE3

Una vez analizados los valores obtenidos en la Tabla 127-4 y en la Tabla 134-4 del enlace Nodo Quimiag – CPE3, en el cual se configuró una frecuencia central de 5370MHz y una ganancia de 14 dBi a una distancia de 0,32 Km. En la Tabla 168-4, se muestra las modulaciones elegidas para un ancho de banda de 10 y 20 MHz para una calidad de enlace óptimo.

Tabla 168-4: Resultados elegidos para la calidad del enlace

Modulación	BW (MHz)	Pt (dBm)	RSSI (dBm)	Noise Floor (dBm)	SNR (dB)	CCQ (%)	C (Mbps)	BER
64QAM $\frac{5}{6}$	10	9	-55	-115	60	81	6,8	1,017E-06

64QAM^{5/6}	20	9	-43	-105	62	87	15,1	7,121E-07
----------------------------	----	---	-----	------	----	----	------	-----------

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Basado en las Tabla 128-4, Tabla 130-4, Tabla 132-4, Tabla 135-4, Tabla 137-4 y Tabla 139-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad SD, basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 169-4.

Tabla 169-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio SD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM ^{5/6}	64QAM ^{5/6}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{5/6}
Delay (ms)	7,308	7,064	3,989	2,340	2,07	1,608
Jitter (ms)	0,242	0,177	1,590	0,366	0,22	0,160
Paquetes perdidos	0	0	22	8	10	6
	0,000	0,000	0,153	0,029	0,042	0,022
Throughput (Kbps)	88,248	92,405	575,376	1148,800	1038,043	1096,017

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 MHz se eligió la codificación H.264H y para 20 MHz la codificación H.264B, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

Basado en las Tabla 115-4, Tabla 117-4, Tabla 119-4, Tabla 122-4, Tabla 124-4, y Tabla 126-4, se eligió la modulación óptima para video vigilancia, IPTV y video bajo demanda en calidad HD basándose en los parámetros de calidad de servicio, como se muestra en la Tabla 169-4.

Tabla 170-4: Resultados elegidos para la calidad de servicio HD

Parámetros técnicos	VIDEO VIGILANCIA		IPTV		VOD	
	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz	10 MHz	20 MHz
Modulación	64QAM ^{5/6}	64QAM ^{5/6}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{3/4}	64QAM ^{5/6}
Delay (ms)	1,948	1,837	1,918	1,542	2,914	1,308
Jitter (ms)	0,081	0,107	0,778	0,133	0,711	0,351
Paquetes perdidos	643	59	125	49	103	19
	0,461	0,039	0,127	0,038	0,147	0,030
Throughput (Kbps)	5231,987	5378,776	4038,256	5234,356	2829,864	2590,880

Realizado por: Chávez, S.; Vargas, D. 2021

Para video vigilancia en 10 MHz y 20 MHz se eligió la codificación H.264B, ya que muestran valores óptimos en comparación con las otras codificaciones.

No existe una diferencia notable en la calidad de servicio durante la transmisión de IPTV en la calidad SD y HD en las modulaciones 64QAM 3/4 y 64QAM 5/6 en un ancho de banda de 20MHz, como se observa en las tablas Tabla 135-4 y Tabla 136-4, por esa razón se eligió la modulación 64QAM 5/6 para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en calidad SD y HD, porque presenta una buena calidad de enlace como se observa en la Tabla 165-4 y una óptima calidad de servicio en comparación a los resultados obtenidos con un ancho de banda de 10MHz, como se observa en la Tabla166-4 y Tabla167-4. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H.264B, para la calidad de SD y HD.

Recomendación de la configuración óptima: La configuración que se recomienda para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV en calidad SD y HD es la modulación 64QAM 5/6, con un ancho de banda de 20MHz, a una frecuencia central de 5370MHz y una potencia de 9 dBm, ya que presenta una buena calidad de enlace y una óptima calidad de servicio en sus tres clientes. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H.264B, para la calidad de SD y HD.

CONCLUSIONES

Cada uno de los trabajos revisados, contribuyó al análisis de los parámetros técnicos que intervienen en la calidad del enlace y la calidad de servicio para la transmisión de video vigilancia, video bajo demanda e IPTV.

El diseño de los enlaces en el software Radio Mobile, contribuyó a tener una visión anticipada del comportamiento de cada uno de los vanos que conforman la red inalámbrica, para su posterior implementación y análisis de los parámetros técnicos de la calidad del enlace.

En la implementación de todos los enlaces se configuró la potencia por defecto, excepto en los enlaces punto a punto y punto multipunto en la zona rural, puesto que la potencia por defecto provoca un enlace sobredimensionado para enlaces menores a un kilómetro, provocando la desconexión de los quipos y una mala recepción de datos.

Para realizar el análisis de los datos obtenidos durante la captura de tráfico de video, se utilizó estadística descriptiva ya que los datos no cumplen normalidad debido a que las mediciones realizadas en cada uno de los enlaces no tienen las mismas condiciones a causa del efecto multitrayecto que sufre el enlace cumpliendo una característica del canal tipo Rayleigh o tipo Rice dependiendo del medio y el entorno.

Una vez obtenidos los valores de calidad del enlace y calidad de servicio en cada una de las modulaciones con un ancho de banda de 10 MHz y 20 MHz, se compararon y se establecieron los parámetros técnicos ideales mínimos para garantizar la calidad de la transmisión de video bajo demanda, video vigilancia e IPTV en formato SD y HD en cada uno de los vanos que compone el sistema de comunicación inalámbrico. Como se muestra a continuación:

- Para el enlace punto a punto SITCOM - Cerro San Francisco se recomienda: la modulación 16QAM3/4, la ganancia 25 dBi, la frecuencia central 5795 MHz y una potencia de 21 dBm. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264B, para la calidad de SD y HD.
- Para el enlace punto a punto Cerro San Francisco – CPE, se recomienda: la modulación 64QAM5/6, la ganancia 25 dBi, la frecuencia central 5075 MHz y una potencia de 20 dBm. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264H, para la calidad de SD y HD.
- Para el enlace punto multipunto Cerro San Francisco – CPE1, CPE2 y CPE3, se recomienda: la modulación 16QAM3/4, la ganancia 14 dBi, la frecuencia central 5255

MHz y una potencia de 30 dBm. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264H para la calidad SD y H.264B, para la calidad HD.

- Para el enlace punto a punto Cerro San Francisco – Nodo Quimiag, se recomienda: la modulación 16QAM3/4, la ganancia 25 dBi, la frecuencia central 5245 MHz y una potencia de 21 dBm. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H.264, para la calidad de SD y HD.
- Para el enlace punto a punto Nodo Quimiag – CPE, se recomienda: la modulación 64QAM3/4, la ganancia 16 dBi, la frecuencia central 5975 MHz y una potencia de 8 dBm. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H.264B, para la calidad de SD y HD.
- Para el enlace punto multipunto Nodo Quimiag – CPE1, CPE2 y CPE3, se recomienda: la modulación 64QAM5/6, la ganancia 14 dBi, la frecuencia central 5370 MHz y una potencia de 9 dBm. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H. 264B. Para video vigilancia se recomienda la codificación y compresión de H.264B, para la calidad de SD y HD.

Cabe recalcar que en video bajo demanda e IPTV se realizó únicamente la etapa de modulación, debido a que ya posee etapa de compresión y codificación.

RECOMENDACIONES

Previo a la instalación de los enlaces se recomienda realizar una prueba de laboratorio que verifique la conexión de las antenas, con una potencia de transmisión baja para evitar averías en el radio transmisor, así como la configuración del protocolo NV2 con la misma clave de seguridad en todas las antenas que conforman la red de comunicación inalámbrica, para prevenir la conexión y desconexión del enlace.

Es necesario realizar un ATS (análisis de trabajo seguro) previo a la instalación de los equipos de transmisión y recepción, así como el uso de EPPS (equipos de protección personal) necesarios para trabajos en altura con previa capacitación en los mismos para asegurar la integridad y bienestar de la persona a cargo de la instalación como el perfecto estado de los equipos.

Se recomienda ampliar el tiempo de monitoreo y captura de tráfico de datos para una mejor obtención de resultados de la calidad del enlace y calidad de servicio que causa las diferentes modulaciones y compresiones aplicadas en la transmisión de video con un ancho de banda de 10 y 20 MHz.

Para próximas investigaciones se propone realizar la recolección de datos bajo las mismas condiciones fijando horarios de medición, condiciones climáticas y equipos, con el objetivo de lograr demostrar un comportamiento normal necesario para realizar un estudio más profundo bajo estadística inferencial.

BIBLIOGRAFÍA

AGRAWAL, D; & ZENG, Q. "Channel Coding". Laboratorio de detección ubicua y computación en la nube [en línea], 2002, (Taiwán), pp. 5-8. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: https://plato.csie.ncku.edu.tw/2012Fall_WIRELESS/Chapt-04.pdf.

AGUERA, Jaume; & PERÉZ, Antonio. "Teoría de antenas". La Salle online ingenierias [en línea], 2008, (España), pp.57-65. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook_teoría_antenas.pdf.

AXIS COMMUNICATIONS. "H.264 video compression standard". AXIS COMMUNICATIONS [en línea], 2008, (Estados Unidos), pp. 3-5. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: https://mat.hjg.com.ar/tic/img/wp_h264_31669_en_0803_lo.pdf.

BALANIS, Constantine. *Antenna Theory Analysis and Design*. New Jersey- Estados Unidos: JOHN WILEY & SONS, INC., 2005, ISSN 0-471-66782-X, pp. 27.

BOSCH. "High Definition, Megapixel and Standard Definition". BOSCH [en línea], 2018, (Estados Unidos), pp 2-4. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: https://resources-boschsecurity-cdn.azureedge.net/public/documents/WhitePaper_enUS_2474785419.pdf.

CABRERA REYES, Julio. Estudio para la implementación de una infraestructura troncal de telecomunicaciones que permita al municipio de Aguatico brindar servicios de internet a la parroquia Tiputini. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Católica Del Ecuador, Facultad De Ingeniería, Redes de Comunicaciones, Quito-Ecuador. 2015. pp. 2-4. [Consulta: 10 noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7873>

CAMPBELL, Colin. *Surface Acoustic Wave Devices and their Signal Processing Applications*. London: ACADEMIC PRESS INC, 1989. ISSN: 978-0-12-157345-4, pp. 410.

CASTRO GIL , M; & COLNEMAR SANTOS, A. "Tecnología multimedia video digital". Innova [en línea], 2020, (España), pp. 5. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: https://ocw.innova.uned.es/mm2/tm/contenidos/pdf/tema4/tmm_tema4_video_digital.pdf.

CEVALLOS, Carlos. Estudio de factibilidad de un sistema de radioenlaces para interconectar varias filiales de la empresa NEGOBIAN S.A. [En línea] (Trabajo de titulación), (Ingeniería) Universidad de Guayaquil, Facultad De Ciencias Matemáticas y Físicas, Escuela De Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones, Guayaquil-Ecuador. 2016. pp. 35-36. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/16856/1/UG-FCMF-B-CINT-PTG-N.155.pdf>

CLEP, Marío. " Niveles Mínimos de Señal Requeridos en Equipos Inalámbricos. Mikrotik User Meeting (MUM) [en línea], 2015, (Buenos Aires- Argentina), pp. 14. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en:

https://mum.mikrotik.com/presentations/AR15/presentation_2879_1447416217.pdf

CLEP, Marío. "Niveles mínimos de señal requeridos en equipos inalámbricos". Mikrotik User Meeting, [en línea], 2018, (Buenos Aires- Argentina), pp.16. [Consulta: 14 mayo 2021]. Disponible en:

https://mum.mikrotik.com/presentations/AR15/presentation_2879_1447416217.pdf

COMUNIDAD HUAWEI ENTERPRISE. *Descripción de RSSI y SNR para equipos WLAN de Huawei* [blog]. 2019. [Consulta: 18 marzo 2021]. Disponible en: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/descripci%C3%B3n-de-rssi-y-snr-para-equipos-wlan-de-huawei/thread/510787-100239>

COUCH, W. *Sistemas de comunicación digitales y analógicos.* México : Pearson Educación, 2008, pp 19-22.

CRESCO CADENAS, Carlos. *Radiocomunicación .* Madrid : Pearson education S.A., 2008. ISSN 978-84-8322-408-3, pp.15.

DAHUA. "DH-XVR1B16H". Dahua Technology[en línea], 2020, pp. 1-2. [Consulta: 27 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.dahuasecurity.com/asset/upload/uploads/soft/20181227/XVR1B16H_Datasheet_20181227.pdf.

ESCOBEDO RIOS, David. "Buenas prácticas para la implementación de enlaces inalámbricos con MikroTik". Mikrotik User Meeting (MUM) [en línea], 2019, (Perú), pp. 40-45. [Consulta: 13 marzo 2021]. Disponible en: https://mum.mikrotik.com/presentations/PE19/presentation_6574_1550108720.pdf.

FERRO, R; & CÉSAR, H. "Los sistemas IPTV ¿Una amenaza inminente para los actuales medios de teledifusión?". SciELO [en línea], 2011, (Bogotá-Colombia), pp.114-115. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v15n28/v15n28a10.pdf>

FESTO DIDACTIC. *Quadrature Amplitude Modulation.* Canada : Festo Didactic, 2016. ISSN 978-2-89640-190-1, pp. 10-13.

FREIRE VILLAMARÍN, Mónica Alexandra. Estudio comparativo de las tecnologías IEEE 802.11a y 802.11b de modo a mejorar el rendimiento de la red de datos. Caso práctico proveedor de internet FASTERCOM [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior

Politécnica De Chimborazo, Magíster En Interconectividad De Redes, Ecuador. 2019. pp. 21-22. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9693/1/20T01144.pdf>

FURUKAWA ELECTRIC. "Conector RJ45 macho CAT.6". Furukawa Electric [en línea], 2020, pp.1. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.furukawatam.com/es/versao-et-pdf/conector-rj45-macho-cat6-para-cable-solido>.

GODOI, Rodrigo. P2P-VoD on Internet: Fault Tolerance and Control Architecture [En línea] (tesis). (Doctorado) Universitat Autònoma de Barcelona, Escuela de arquitectura de computadores, Sistemas operativos, Barcelona. 2009. pp. 21-31. [Consulta: 24 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5773/rg1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GOOGLE. *Google Earth* [blog], 2020. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.google.com/intl/es_ALL/earth/.

HERNANDO RABANOS, José María. *Transmisión por radio*. Madrid : Editorial Universitaria Ramon Areces, 2008, pp. 19-201.

ITU. "H.264: codificación de vídeo avanzada para servicios audiovisuales genéricos". ITU [en línea], 2021, pp.5. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.264-202108-I/es>

ITU. "H.265: codificación de video de alta eficiencia". ITU, [en línea], 2021, pp.3. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.265-202108-I/es>

ITU. "Y.1541 : Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet". ITU, [en línea], 2019, pp.8-9. [Consulta: 23 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1541-201112-I/es>

ITU. "Y.1540 : Servicio de comunicación de datos con protocolo Internet - Parámetros de calidad de funcionamiento relativos a la disponibilidad y la transferencia de paquetes del protocolo Internet". ITU, [en línea], 2019, pp.24. [Consulta: 23 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1540-201912-I/es>

LOPÉZ CORDOVA, Luis Alfredo. Diseño de Red Power Over Ethernet con Categoría 6A para Aplicación en Data Center [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Ricardo Palma, Facultad De Ingeniería, Ingeniería Electrónica, Lima. 2008. pp 16. [Consulta: 23 agosto 2021] . Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/80>

LÓPEZ SARMIENTO, Danilo; et al. "IPTV: tecnologías y protocolos de red de próxima generación". TECCIENCIA [en línea], 2013, (Ecuador), pp. 18-21. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://tecciencia.ecci.edu.co/index.php/TECCIENCIA/article/view/28>

LSI. "H.264/MPEG-4 AVC Video Compression Tutoria". UCLA Ciencias en computación [en línea], 2003, (Estados Unidos), pp. 2. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: http://web.cs.ucla.edu/classes/fall03/cs218/paper/H.264_MPEG4_Tutorial.pdf. I22001

MAHENDRAN, R; & MAHALAKSHM, S. "Analysis of Video Compression Technique". International Journal of Advanced Research in Computer Science & Technology [en línea], 2017, (India), pp.52-53. [Consulta: 18 noviembre 2020]. ISSN 2347 – 8446. Disponible en: <https://www.ijarcest.com/doc/vol5issue1/mahalakshmi.pdf>.

MARTÍ MARTÍ, Silvia; & PART ESCRIVÁ, Xelo. Diseño de un sistema de televigilancia sobre IP para el edificio CRAI de la Escuela Politécnica Superior de Gandia [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politecnica De Valencia, Ingeniería en Sistemas de Telecomunicaciones, Sonido e Imagen, Gandia. 2013. pp. 9-10. [Consulta: 24 noviembre 2020.]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/34082/memoria.pdf>

MAXIM INTEGRATED. "HFTA-010.0: Physical Layer Performance: Testing the Bit Error Ratio (BER)". Maxim integrated [en línea], 2004, pp 1. [Consulta: 18 noviembre 2020] <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/3419.pdf>

MERINO MALDONADO, Javier Alejandro. Análisis técnico y económico para la implementación del servicio de IPTV sobre la Red WiMAX de la Escuela Politécnica del Ejército (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Escuela Politécnica del Ejército, Ingeniería en Electronica y Telecomunicaciones. Sangolquí, Ecuador. 2011. pp 1-2. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2790>.

MIKROTIK. *LHG 5* [blog]. Letonia, 2020. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <https://mikrotik.com/product/RBLHG-5nD>

MIKROTIK. *SXTsq Lite5* [blog]. Letonia, 2020. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <https://mikrotik.com/product/CCR1036-12G-4S-149>

MIKROTIK. *SXT SA5* [blog]. Letonia, 2020. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <https://mikrotik.com/product/RBSXTG-5HPnD-SAr2>.

MURILLO FUENTES, Juan José. *Fundamentos de Radiación y Radiocomunicación* [en línea]. 2º Edición. Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 2013, p 50. [Consulta: 15 noviembre 2020]. Disponible en: <https://personal.us.es/murillo/docente/Libros/FundRadiacionyRadiocom.pdf>.

NEXT SOLUTIONS. “Cable UTP Cat.6 con revestimiento tipo CMR”. NEXT SOLUTIONS INFRASTRUCTURE [en línea], 2020, (United States of America), pp 1-3. [Consulta:05 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.nexxtsolutions.com/media/NGC-3UURGT00-Datasheet-SPA.pdf>.

ORZACH, Yoram. *Network Analysis Using Wireshark Cookbook* [en línea]. Birmingham – Mumbai: Packt publish, 2013, p 374. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=4jlvAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT25&dq=Network+Analysis+Using+Wireshark+Cookbook&ots=3DgI61s3tX&sig=A8hb5Vn0BV3N_FE6S-#v=onepage&q=Network%20Analysis%20Using%20Wireshark%20Cookbook&f=false.

OSTERMANN, J; et al. “Video coding with H.264/AVC: Tools, Performance, and Complexity”. IEEE Circuits and Systems Magazine [en línea], 2004, (United State of America) 4(1), pp. 11-21. [Consulta: 18 noviembre 2020.] Disponible en : https://engineering.purdue.edu/~zhu0/ece634_s19/lecture/h264.pdf. 1540-7977.

PADRÓN, Alejandro; et al. “CALCULO DE ELEVACION PARA UN ENLACE VIA MICROONDAS MEDIANTE EL ANALISIS DE ZONAS DE FRESNEL” SOMI XXII [en línea], 2007, (México), pp. 2-4. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Alejandro_Padron-Godinez/publication/322255994_CALCULO_DE_ELEVACION_PARA_UN_ENLACE_VIA_MICROONDAS_MEDIANTE_EL_ANALISIS_DE_ZONAS_DE_FRESNEL/links/5a4eac39458515e71b085d34/CALCULO-DE-ELEVACION-PARA-UN-ENLACE-VIA-MICROOND.

PFISTER, Henry. “A Short Introduction to Channel Coding”. Henry D. Pfister [en línea], 2014. (United State of America), p 1. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: http://pfister.ee.duke.edu/courses/ece590_gmi/coding_intro.pdf

PUNCHIHEWA, Amal; & MALSHA, Ann. “Tutorial on IPTV and its latest developments”. Fifth International Conference on Information and Automation for Sustainability [en línea], 2010, (Sri Lanka), pp. 45-50, [Consult: 25 noviembre 2020]. ISSN 2151-1810. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5715633?arnumber=5715633>. 978-1-4244-8552-9.

RADIO MOBILE. *Radio Mobile-software de simulación de propagación de RF.* [blog], 2020. [Consulta 02 diciembre 2020]. Disponible en http://radiomobile.pe|mew.nl/?How_to:Change_Earth_curvature.

RUEDA PEPINOSA, Diego Fernando; & RAMOS RODRIGUEZ, Zoila Inés. "Revisión de la Implementación del Servicio de IPTV sobre Redes Inalámbricas y Móviles con Calidad de Servicio (QoS)". Revista UIS Ingenierías [en línea], 2013, (Colombia) 12(1), pp.40-45. [Consulta:

05 diciembre 2020]. ISSN 1657-4583. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/pdf/5537/553756871003.pdf>

RICHARDSON, Iain. *H.264 and MPEG-4 VIDEO COMPRESSION* [en línea]. Aberdeen-Reino Unido: Wiley Editorial, 2003, pp 3-4. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en:
<https://doc.lagout.org/netw-ork/H.264%20and%20MPEG4%20Video%20Compression.pdf>.

RYAN, William & LIN, Shu. *Channel Codes Classical and Modern* [en línea]. New York-Estados Unidos de América: Cambridge University Press, 2009, pp 3-4. [Consulta: 11 noviembre 2020]. Disponible en:
https://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_35/ourdev_604508GHLFR2.pdf

SALAZAR ESPAÑA, Hansel Joaquin & MOSQUERA BOLAÑOS, Julio Andres. Analisis del esquema de modulacion adaptativa del nivel fisico de WIMAX [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela de Telecomunicaciones, Popayan, Colombia. 2011. pp.22-30 [Consulta: 06 diciembre 2020]. Disponible en:
<http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/handle/123456789/1971>

SARABIA BUÑAY, Braulio Wladimir. Diseño e implementación de un sistema de seguridad mediante video vigilancia inalámbrico usando cámaras IP para la FIE [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Riobamba, Ecuador. 2018. pp 1-2. [consulta: 15 noviembre 2020]. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9153>

SAVER. "CCTV Technology Handbook". Homeland Security [en línea], 2013 (United State of America). pp 9-38. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en:
https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/CCTV-Tech-HBK_0713-508.pdf

SCENE SERVERS. "Understanding the Difference Between SD and HD". SCENE SAVERS. [en línea]. 2017. pp 1-4. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en:
https://www.scenesavers.com/grfx/SD_HD_UHD.pdf.

SERRANO CASTRO, Gary Edgar. Diseño de un sistema inalámbrico punto-multipunto con segmentación de tráfico por VLAN, para brindar servicio de internet a la parroquia barbones del cantón El Guabo en la provincia de el Oro por medio de la empresa ISP Cesconet [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2018. pp. 9-32. [Consulta: 25 agosto 2021]. Disponible en:
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10849>

SEYBOLD, John. *Introduction to RF Propagation* [en línea]. New Jersey- Estados Unidos de América: John Wiley & Sons, Inc., 2005.pp 38-44. [Consulta: 23 febrero 2021]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/0471743690>.

SONG, Yoo-Seung; & CHOI, Hyun-Kyun. "Analysis of V2V Broadcast Performance Limit for WAVE Communication Systems Using Two-Ray Path Loss Model". *ETRI Journal* [en línea], 2017, (Estados Unidos de América) 39(2), pp. 213-219. [Consulta: 25 agosto 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.4218/etrij.17.2816.0009>.

SUAREZ, Alexander; et al. "Herramienta para el monitoreo de parámetros de calidad de servicio en redes de próxima generación". *Revista S&T* [en línea], 2013, (Colombia) 11(26), pp. 87-90 [Consulta: 23 de febrero 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.18046/syt.v11i26.1630>.

TEXTOS CIENTIFICOS. *FSK - Desplazamiento de Frecuencia* [blog]. 2005. [Consulta: 02 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/FSK>.

TOMASI, Wayne. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* [en línea]. 4º ed. México: Pearson Education, 2003, pp 2-784. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://fernandocarciniega.com/books/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicion.pdf>

UBIQUITI. *PoE Adapter* [blog]. Nueva York: 2020. [Consulta: 27 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ui.com/accessories/poe-adapters/>.

UGWEJE, Okechukwu. "Radio Frequency and Wireless Communications". *The Internet Encyclopedia* [en línea], 2004, (Estados Unidos de América), pp. 4-10. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228041875_Radio_Frequency_and_Wireless_Communications.

UHRINA, Miroslav. "Impact of H.264/AVC and H.265/HEVC compression standards on the video quality for 4K resolution". *Advances in Electrical and Electronic Engineering* [en línea], 2014, (Slovakia) 12(4), pp. 368-374. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/273187466_Impact_of_H264AVC_and_H265HEVC_compression_standards_on_the_video_quality_for_4K_resolution.

VELA REMACHE, Pablo Andres. Estudio y diseño de un radio enlace para transmisión de datos e internet en frecuencia libre para la cooperativa indígena "ALFA Y OMEGA" utilizando equipos Airmax de ubiquiti [En línea] (Trabajo de titulación). (Tecnología) Escuela Politecnica Nacional, Escuela de formacion de Tecnologos, Quito, Ecuador. 2015. p 19. [Consulta: 01 diciembre 2020]. Disponible en : <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10776>

VESGA FERREIRA, Juan Carlos; & GRANADOS ACUÑA, Gerardo. "Análisis sobre el comportamiento del Throughput en redes LAN bajo tecnología Power Line Communications". ITECKNE Innovación e Investigación en Ingeniería [en línea], 2012, (Colombia) 9(2), pp.22-30. [Consulta: 25 noviembre 2020]. ISSN 1692-1798. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/287399652_Analisis_sobre_el_comportamiento_del_Throughput_en_redes_LAN_bajo_tecnologia_Power_Line_Communications.

WEIHONG, Zhu. *Basic Theory of Channel Coding*. [blog]. 2015. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://course.sdu.edu.cn/Download2/20150625110102421.pdf>

WEIR, Malcolm; et al. "H.264 vs H.265". European Test & Telemetry Conference [en línea], 2017, (Colombia). pp. 1-5. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ampex.com/wp-content/uploads/2020/07/H.264-vs-H.265.pdf>.

WIEGAND, Thomas; et al. "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard". IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY [en línea], 2003, (Estados Unidos de América) 13 (7), pp. 560-570. [Consulta: 18 noviembre 2020]. ISSN 1051-8215. Disponible en: http://ip.hhi.de/imagecom_G1/assets/pdfs/csvt_overview_0305.pdf.

YÁNEZ ARIAS, Paulina Cumandá. Estudio de los canales con desvanecimiento sobre redes fijas y móviles en sistemas de radio comunicación [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador. 2009, pp 16-18. [Consulta: 13 febrero 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1455/1/CD-2729.pdf>

ZENNARO, Marco; & FONDA, Carlo. *Radio Laboratory Handbook of the ICTP "School On Digital Radio Communications for Research and Training in Developing Countries"*. [en línea]. Estados Unidos de América, 2004, pp 4-5. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://wireless.ictp.it/handbook/Handbook.pdf>

ANEXOS

Anexo A: Encuesta de aceptación para provisión del servicio de internet

Encuesta de aceptación para provisión del servicio de internet

Nombre del sector al que pertenece: _____

¿Tiene actualmente servicio de internet?

Si No

En caso de que su respuesta sea afirmativa:

a) Su servicio de internet es:

Fijo Móvil (Plan de datos)

b) ¿Con qué compañía tiene contrato de internet?

CNT Movistar Claro Tuenti Netlife Otra _____

c) ¿Cómo califica su servicio de internet?

Muy bueno Bueno Malo Muy malo

d) ¿Estaría dispuesto a cambiarse a un mejor servicio de internet?

Si No

e) ¿Cuánto paga por el servicio de internet?

0-\$10 \$11- \$20 \$21-\$30 más de \$30

En caso de que su respuesta sea negativa:

f) ¿Estaría usted dispuesto a contratar el servicio de internet?

Si No

g) ¿Hasta cuanto estaría dispuesto usted a pagar por un servicio de internet?

0-\$10 \$11- \$20 \$21-\$30 más de \$30

h) ¿Indique la edad promedio de las personas que habitan en su hogar?

Menor a 18 19-28 28-35 mayores a 36

i) ¿Algún miembro de su hogar actualmente se encuentra estudiando o realizando teletrabajo?

Si No N° de personas _____

Anexo B: Hoja técnica del DVR dahua DH-XVR1B16H

Cooper Series | DH-XVR1B16H



DH-XVR1B16H

16 Channel Penta-brid 4M-N/1080P Cooper 1U Digital Video Recorder



- H.265+/H.265 dual-stream video compression
- Supports HDCVI/AHD/TVI/CVBS/IP video inputs
- Max 24 channels IP camera inputs, each channel up to 6MP; Max 96Mbps incoming bandwidth
- Long transmission distance over coax cable
- Supports 1 SATA HDD, up to 6TB
- Smart Search and Intelligent Video System

System Overview

Dahua, as a technology leader, is always the first ever developed the shining new technology in the security industry, and today we present Cooper Series XVR. Designed as a full compatibility product, XVR is able to provide end user the simplicity of analog system, namely lower system cost, simple installation and use of existing cable. And with the adoption of Smart H.265+/H.265, the series improves encoding efficiency, saving on bandwidth/storage costs. It is ideal for a wide range of civil applications such as retail store, home protection and so on.

Featuring high performance with attractive costs, the Cooper Series offers a great solution for users facing budget constraints who both require quality and performance.

Functions

Smart H.265+

Smart Codec, H.265+ can reduce up to 90% bit rate and storage requirements compared with H.264 without having to invest in new cameras.

HDCVI/AHD/TVI/CVBS/IP Auto-detect

The XVR can auto recognize the signal of front-camera without any setting. It makes operation more friendly and convenient.

High Definition Camera Input

The XVR supports up to 5MP HDCVI camera and 6MP IP camera input.

Coaxial Audio/Upgrade/Alarm

The integrated design can reduce wiring troubles which makes it much more cost-effective and convenient for installation.



Long Distance Transmission

The HDCVI system supports long distance transmission over coaxial cable and UTP, max. 700m for 4K/4MP, 800m for 1080P and 1200m for 720P.

Intelligent Video System (IVS)

With built-in intelligent video analytics, the XVR has the ability to detect and analyze moving objects for improved video surveillance. The XVR provides optional standard intelligence at the edge allowing detection of multiple object behaviors such as abandoned or missing objects. IVS also supports Tripwire analytics, allowing the camera to detect when a pre-determined line has been crossed.

Face Detection

It is a typical technology being used in a variety of applications for searching or identification of individuals.

Smart Search

This function helps you get more motion detect videos during a short time through drawing a region when playback. It is very useful when an emergency occurs.



Technical Specification

System

Main Processor	Embedded Processor
Operating System	Embedded LINUX

Video and Audio

Analog Camera Input	16 Channel, BNC
HDCVI Camera	5MP, 4MP, 1080P@25/30fps, 720P@50/60fps, 720P@25/30fps
AHD Camera	5MP, 4MP, 1080P@25/30, 720P@25/30fps
TVI Camera	5MP, 4MP, 1080P@25/30, 720P@25/30fps
CVBS Camera	PAL/NTSC
IP Camera Input	16-8CH, each channel up to 6MP
Audio In/Out	1/1, RCA
Two-way Talk	Reuse audio in/out, RCA

Recording

Video Compression	H.265+/H.265/H.264/H.264
Resolution	5M-N, 4M-N, 1080P, 1080N, 720P, 960H, D1, CIF
Record Rate	Main Stream: the 1st & 2nd channels 5M-N(1~10fps); other channels 4M-N(1080P)1~15fps; 1080N/720P/960H/D1/CIF (1~25/30fps) Sub stream: QV/QCIF (1~15fps)
Video Bit Rate	32Kbps ~ 6144Kbps Per Channel
Record Mode	Manual, Schedule (General, Continuous), MD (Video detection: Motion Detection, Video Loss, Tampering), Alarm, Stop
Record Interval	1 ~ 60 min (default: 60 min), Pre-record: 1 ~ 30 sec, Post-record: 10 ~ 300 sec
Audio Compression	AAC (only for the 1st channel), G.711A, G.711U, PCM
Audio Sample Rate	8KHz, 16 bit Per Channel
Audio Bit Rate	64Kbps Per Channel

Display

Interface	1 HDMI, 1 VGA
Resolution	HDMI: 3840×2160, 2560×1440, 1920×1080, 1280×1024, 1280×720 VGA: 1920×1080, 1280×1024, 1280×720
Multi-screens Display	When IP extension mode not enabled: 1A/8W/16 When IP extension mode enabled: 1/6B/R/16/25
OSD	Camera title, Time, Video loss, Camera lock, Motion detection, Recording

Network

Interface	1 RJ-45 Port (1000M)
Network Function	HTTP, HTTPS, TCP/IP, IPv4/IPv6, UUPnP, RTSP, UDP, SMTP, NTP, DHCP, DNS, IP Filter, DDNS, FTP, Alarm Server, P2P, IP Search (supports Dahua IP camera, DVR, NVR, etc.)
Max. User Access	128 users
Smart Phone	iPhone, iPad, Android
Interoperability	ONVIF 16.12, CGI Conformant

Video Detection and Alarm

Trigger Events	Recording, PTZ, Tour, Video Push, Email, FTP, Snapshot, Buzzer and Screen Taps
Video Detection	Motion Detection, MD Zones: 396 (22 × 18), Video Loss, Tampering and Diagnosis
Alarm Input	N/A
Relay Output	N/A

Playback and Backup

Playback	1/4/8/16
Search Mode	Time /Date, Alarm, MD and Exact Search (accurate to second)
Playback Function	Play, Pause, Stop, Rewind, Fast play, Slow Play, Next File, Previous File, Next Camera, Previous Camera, Full Screen, Repeat, Shuffle, Backup Selection, Digital Zoom
Backup Mode	USB Device/Network

Storage

Internal HDD	1 SATA Port, up to 6TB capacity
eSATA	N/A

Auxiliary Interface

USB	1 USB 2.0, 1 USB 3.0
RS232	N/A
RS485	N/A

Electrical

Power Supply	DC12V/2A
Power Consumption (Without HDD)	< 30W

Construction

Dimensions	Compact (U), 260×236×48mm(10.2"×9.3"×1.9")
Net Weight (without HDD)	0.86kg (1.90lb)
Gross Weight	1kg (2.2lb)
Installation	Desktop installation

Environmental

Operating Conditions	-10°C ~ +45°C (-14°F ~ +113°F), 10%~90% RH
Storage Conditions	-20°C ~ +70°C (-4°F ~ +158°F), 0%~90% RH

Third-party Support

Third-party Support	Dahua, Arecont Vision, AXIS, Bosch, Brickcom, Canon, CP Plus, Dynacolor, Honeywell, Panasonic, Pelco, Samsung, Sanyo, Sany Video tec, Xivotek, and more
---------------------	---

Certifications

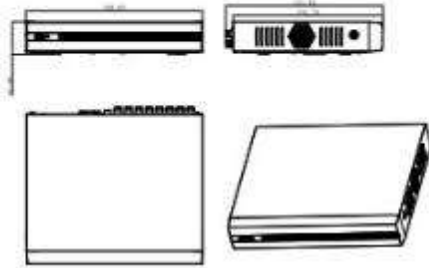
Certifications	FCC: Part 15 Subpart B CE: CE-LVD: EN 60950-1/IEC 60950-1 CE-EMC: EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 55032, EN 50130, EN 55024 UL: UL 60950-1
----------------	--

Cooper Series | DH-XVR1B16H

Ordering Information

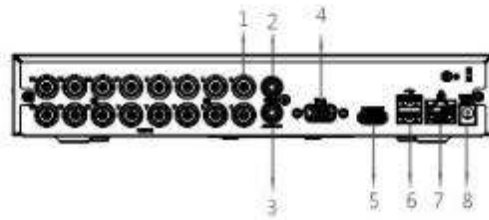
Type	Part Number	Description
16 Channel XVR	DH-XVR1B16H	16 Channel Pentabrid 4M-N/1080P Compact I/O Digital Video Recorder

Dimensions(mm)



Rear Panel

DH-XVR1B16H



- | | | | |
|---|--------------------------|---|-------------------|
| 1 | VIDEO IN | 5 | HDMI Interface |
| 2 | AUDIO IN, RCA Connector | 6 | USB Interface |
| 3 | AUDIO OUT, RCA Connector | 7 | Network Interface |
| 4 | VGA Interface | 8 | DC12V Power Input |

LHG 5

The Light Head Grid (LHG) is a compact and light 5 GHz 802.11 a/n wireless device with an integrated dual polarization 24.5 dBi grid antenna at a revolutionary price. It is perfect for point to point links or for use as a CPE at longer distances and supports Nv2 TDMA protocol.

The grid design ensures protection against wind, and the fact that the antenna element is built into the wireless unit means no loss on cables.



The device comes disassembled for compact shipping, but is very easy to assemble and includes a simple to use grounding attachment point. The package also contains a small adapter for tilting the antenna five degrees from the original position.



Specifications

Product code	RBLHG-5nD (International) RBLHG-5nD-US (USA)	
CPU nominal frequency	600 MHz	
Size of RAM	64 MB	
Storage	16 MB Flash	
10/100 Ethernet ports	1	
Wireless	Built-in 5 GHz 802.11a/n, dual-chain	
Wireless regulations	Specific frequency range can be limited by country regulations.	
Wireless chip model	AR9344	
Operating frequency	International	5150 - 5875 MHz
	USA	5170 - 5250 MHz 5725 - 5835 MHz
Antenna gain	24.5 +/- 0.5 dBi	
Antenna beam width	7°	
Cross polar	15 dB	
Port to port isolation	20 dB	
Front to back ratio	25 dB	
Return loss	10 dB	
VSWR	1.925:1	
PoE in	Yes	
Supported input voltage	11 V - 30 V (passive PoE)	
Wind loading	186N @ 205 km/h	
Operating temperature	-40 to 70° C	
Operating humidity	5 to 95% noncondensing	
Shock and vibration	ETSI300-019-14	
ETSI specification	EN 302 326 DN2	
Dimensions	Ø 391 x 222 mm; package 450 x 450 x 145 mm	
Weight	Unit: 560 g; package: 1.98 kg	
Max Power consumption	6 W	

Included



24V 0.38A Power adapter



PoE injector



2x metal rings



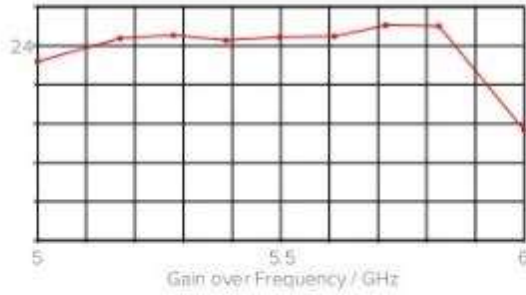
K-LHG kit

Wireless specifications

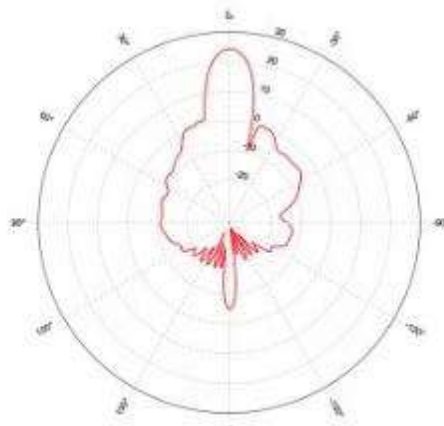
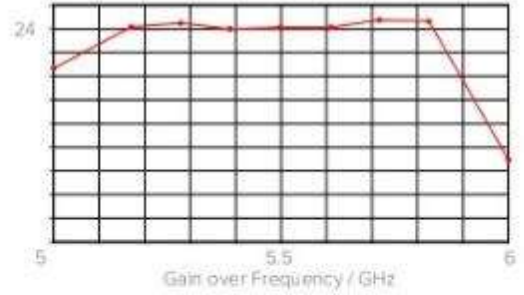
RATE	Tx (dBm)	Rx (dBm)
6Mbit/s	25	-96
54Mbit/s	20	-80
MCS0	25	-96
MCS7	19	-75

Antenna specifications

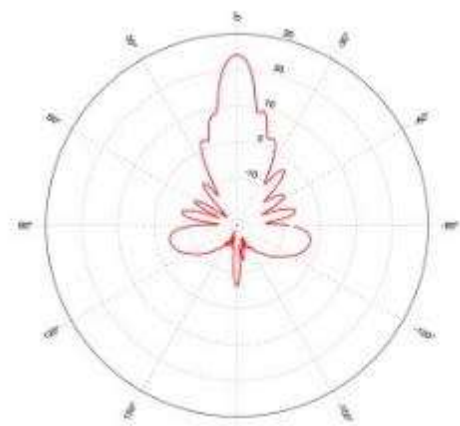
Horizontal polarization



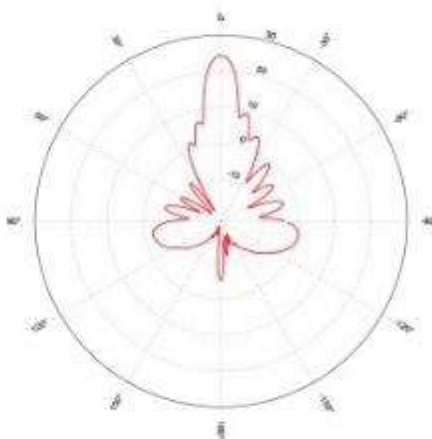
Vertical polarization



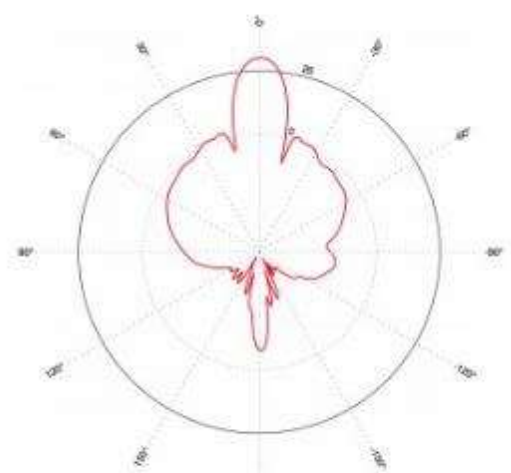
Horizontal 0 deg



Vertical 0 deg



Horizontal 90 deg



Vertical 90 deg

Anexo D: Hoja técnica de la antena SXTsq 5.



SXTsq Lite5

The SXTsq Lite5 is a compact and lightweight outdoor wireless device with an integrated antenna. Perfect for point-to-point links of up to 12 kilometers or as a CPE unit. It is compact, weatherproof and easy to mount. The SXTsq Lite5 retains a 16 dBi antenna like the SXT Lite5, our previous model, yet the antenna design has been improved and the physical size has been dramatically reduced - the SXTsq is two times thinner.



The enclosure includes slots for directly attaching a hose clamp mount in three different mounting places, with ability to be mounted on horizontal railings. The device includes one 10/100 Mbit ethernet port. There is also an easily accessible grounding connection to protect it against lightning.

Comparison to previous SXTs



24 V 0.38 A power adapter



Metal ring



PoE injector

Anexo E: Hoja técnica de la antena SXT SA5.








24V 0.36A Adapter Mounting Ring Pole mounting bracket Gigabit PoE injector

SXT SA

SXTG-5HPnD-SAR2 is a low cost, high speed 5GHz outdoor wireless sector access point. It has a 90 degree antenna to provide a wider coverage than our previous SXT units.

Complete with a ready to mount enclosure and built-in 14dBi antenna, the package contains everything you need to set it up in a matter of minutes. The inside of the case is covered in special shielding to improve operation in high interference areas and antenna front to back ratio.

Model	RBSXTG-5HPnD-SAR2
CPU	AR9344-BC2A 600MHz
Memory	64MB DDR2
Ethernet	1x 10/100/1000 Gigabit
Wireless cards	Onboard dual chain 5GHz 802.11a/n AR9344-BC2A wireless module; 10kV ESD protection on each RF port
Frequency range	4920-5920MHz, Operating range limited by Country Regulations
Extras	Reset switch, beeper, USB 2.0 port, voltage and temperature monitors
LEDs	Power LED, Ethernet LED, 5 wireless signal LED
Power options	Power over Ethernet: 8-30V DC Packaged with 24V DC 0.36A power adapter and passive PoE injector
Dimensions	140x140x58mm. Weight without packaging, adapters and cables: 265g
Max consumption	11W at 24V
Operating Temp	-30C .. +60C
OS	Level4 AP license
Package contains	SXT wireless device with integrated antenna, pole mounting bracket, mounting ring, Gigabit PoE injector, power adapter, quick setup guide
Certifications	FCC, CE, RoHS

TX/RX at MCS0	30dBm / -95dBm
TX/RX at MCS7	28dBm / -73dBm
TX/RX at 6Mbit	30dBm / -95dBm
TX/RX at 54Mbit	27dBm / -80dBm
Antenna	Dual pol. 90 deg, -35dB port to port isolation, 14dBi gain


SXT SA

Anexo F: Certificados de participación en el Proyecto fondo 1 a 1



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Facultad de Informática y Electrónica
Escuela de Ingeniería en Electrónica Telecomunicaciones y Redes

CERTIFICADO

Yo, **Paúl David Moreno Avilés** tutor del trabajo de titulación "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ENLACES INALÁMBRICOS PARA ANALIZAR LOS PARÁMETROS TÉCNICOS QUE GARANTICEN LA TRANSMISIÓN DE VIDEO, MEDIANTE ENLACES PUNTO A PUNTO Y PUNTO MULTIPUNTO".

CERTIFICO QUE:

Los estudiantes **Shirley Viviana Chávez Amaguaya** con número de cedula 060395278-9 y **Darwin Edgar Vargas Amaguaya** con número de cedula 060421569-9, egresados de la carrera de Ingeniería en Electrónica en Telecomunicaciones y Redes, participaron en la implementación del proyecto "FONDO 1 a 1 ESPOCH-RIOFIBER" que se realizó en convenio con las empresas RIOBIFER, CEDIA y la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad para los fines que se consideren necesarios.

**PAUL DAVID
MORENO
AVILES**

Firmato digitalmente da PAUL
DAVID MORENO AVILES
ND: cn=PAUL DAVID MORENO
AVILES,
serialNumber=190721102300,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION
DE INFORMACION, o=SECURITY
DATA S.A. 2, c=EC
Data: 2021.10.25 16:28:52 -05'00'

Ing. Paúl David Moreno Avilés. PhD

Riobamba, 11 de noviembre de 2021

Yo, **William Leopoldo Calvopiña Hinojosa** con C.I. 050197374-7, gerente de la empresa SKYLIFE.

CERTIFICO:

Que la Srta. **Shirley Viviana Chávez Amaguaya** con C.I. 060395278-9 y el Sr. **Darwin Edgar Vargas Amaguaya** con C.I. 060421569-9, egresados de la carrera de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, de la Facultad de Informática y Electrónica de la ESPOCH, realizaron su trabajo de titulación denominado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ENLACES INALÁMBRICOS PARA ANALIZAR LOS PARÁMETROS TÉCNICOS QUE GARANTICEN LA TRANSMISIÓN DE VIDEO, MEDIANTE ENLACES PUNTO A PUNTO Y PUNTO MULTIPUNTO" en las instalaciones y con equipos proporcionados por la empresa SITCOM/SKYLIFE para un óptimo desarrollo del mismo, cumpliendo con los objetivos planteados. Además, los estudiantes participaron en la implementación del proyecto "FONDO 1 A 1 ESPOCH-RIOFIBER", que se realizó en convenio entre las instituciones ESPOCH, CEDIA y SKYLIFE.

Atentamente,



WILLIAM CALVOPIÑA Ing. Abg. MSc.
GERENTE SKYLIFE INTERNET

