



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“Propuesta de diseño de un sistema de videovigilancia con
fibra óptica para mejorar y ampliar los servicios de
seguridad ciudadana en la ciudad de Huancavelica”**

TESIS

**Para optar el título profesional
de INGENIERO ELECTRÓNICO**

Autores:

Bach. Martínez Carbajal, Willy Edwin Elmer Jacob.

Bach. Saavedra German, Elvis Adderly.

Asesor:

Dra. Ing. Chamán Cabrera, Lucía Isabel

ORCID: 0000-0003-2901-1427

Lambayeque, 2022

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“Propuesta de diseño de un sistema de videovigilancia con
fibra óptica para mejorar y ampliar los servicios de
seguridad ciudadana en la ciudad de Huancavelica”**

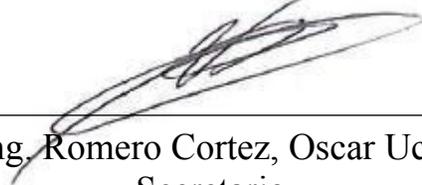
TESIS

**Para optar el título profesional de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Aprobado por el siguiente jurado:



Ing. Segura Altamirano, Segundo Francisco
Presidente



Mg. Ing. Romero Cortez, Oscar Uchelly
Secretario



Mg. Ing. Nombera Lossio, Martín Augusto
Vocal

Lambayeque, 2022

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“Propuesta de diseño de un sistema de videovigilancia con
fibra óptica para mejorar y ampliar los servicios de
seguridad ciudadana en la ciudad de Huancavelica”**

TESIS

**Para optar el título profesional de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Presentado por:

Bach. Martínez Carbajal, Willy Edwin Elmer Jacob

Bach. Saavedra German, Elvis Adderly

Asesor:

Mg. Ing. Lucia Isabel Chaman Cabrera

Lambayeque, 2022



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N° 041-2022-D/FACFyM

Siendo las 10:00 am del día 9 de diciembre del 2022, se reunieron vía plataforma virtual, <https://meet.google.com/oct-mybi-eka> los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

“Propuesta de Diseño de Un Sistema de Videovigilancia con Fibra Óptica para Mejorar y Ampliar los Servicios de Seguridad Ciudadana en la Ciudad de Huancavelica”.

Designados por Resolución N°1572-2019-D/FACFyM de fecha 02 de diciembre 2019.

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano Presidente

Mg. Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez Secretario

Mg. Ing. Martín Augusto Nombera Lossio Vocal

La tesis fue asesorada por la Dra. Lucia Isabel Chaman Cabrera, nombrado por Resolución N° 496-2022-VIRTUAL-D/FACFyM de fecha 6 de junio de 2022.

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N°939-2022-VIRTUAL-D/FACFyM de fecha 14 de noviembre de 2022.

La Tesis fue presentada y sustentada por los Bachilleres: Bach. Saavedra German Elvis Adderly y Bach. Martínez Carbajal Willy, y tuvo una duración de 30 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de 16 (Dieciséis) en la escala vigesimal, mención Bueno.

Por lo que quedan aptos para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Electrónico**, de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 11:00 am se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano
Presidente

Mg. Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez
Secretario

Mg. Ing. Martín Augusto Nombera Lossio
Vocal

Dra. Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera
Asesor

CONSTANCIA DE APROBACION DE ORIGINALIDAD DE TESIS

(Aprobado con Res N° 496-2022-VIRTUAL-D/FACFyM)

Yo, Lucía Isabel Chamán Cabrera, Asesor de tesis de: Bach. Martínez Carbajal Willy Edwin Elmer Jacob y Bach. Saavedra Germán Elvis Adderly, Titulada: **PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE VIDEOVIGILANCIA CON FIBRA ÓPTICA PARA MEJORAR Y AMPLIAR LOS SERVICIOS DE SEGURIDAD CIUDADANA EN LA CIUDAD DE HUANCAMELICA**, luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud del 14% verificable en el reporte de similitud del programa Turnitin.

El suscrito analizo dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender de la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 02 de agosto de 2022.



Dra. Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera

DNI: 40866057

Adj.

1. Recibo Digital Turnitin firmado.
2. Vista actual con Informe de Originalidad Turnitin firmados.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por permitirme llegar a este momento de mi carrera universitaria. A mis padres que me guiaron por el bueno camino, con humildad, respeto y sobre todo con buenos valores. A los docentes que formaron parte de toda mi educación universitaria. A mi novia por alentarme y darme ánimos a conseguir todas mis metas propuestas. A mis compañeros y amigos que estuvieron en las buenas y en las malas también alentándome a siempre seguir adelante.

Bach. Martínez Carbajal Willy

Agradezco a mis compañeros de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica por todos los buenos y malos momentos que pasamos juntos.

Agradezco a la plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica por compartirnos su conocimiento a lo largo de nuestra formación profesional.

Bach. Saavedra German Elvis

DEDICATORIA

A mis padres que dieron todo de ellos para que nunca me falte en la vida y en mi carrera universitaria, por ser mi ejemplo a seguir, por confiar en mí, por su apoyo incondicional en cada una de las decisiones que he tomado en la vida.

Bach. Martínez Carbajal Willy

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por darme fuerza y voluntad para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres y abuelos, por todos sus sacrificios y consejos que me brindaron a lo largo de mi formación profesional y a pesar de todas las vicisitudes de la vida siempre estuvieron para mi brindándome su amor y con ello fortaleciendo mi espíritu. Los amo.

A mi esposa e hijo, porque son el motor que me impulsan a seguir creciendo en al ámbito personal y profesional. Son mi razón de ser.

A mis tíos y primos, por todo el apoyo que siempre me han brindado.

Bach. Saavedra German Elvis

RESUMEN

En la presente investigación se planteó el diseño de un sistema de videovigilancia mediante una red de fibra óptica para mejorar y ampliar el sistema de seguridad ciudadana en la Ciudad de Huancavelica. Para lograr nuestro objetivo, se realizó un levantamiento de información sobre la realidad actual que atraviesa la seguridad de la ciudad Huancavelica, también un levantamiento de información sobre el sistema actual de videovigilancia con el que cuenta la municipalidad donde se encontraron muchas falencias, se hizo un recorrido por los puntos críticos indicados el mapa del delito, dándonos una imagen clara para el número y ubicación de las nuevas cámaras (32), se pudo observar también que contaban con cámaras que podían ser reutilizadas (9), también se hizo un recorrido por la ciudad para definir la ruta de fibra óptica. Para alimentar las cámaras, se utilizó tecnología PoE la cual permite que la alimentación eléctrica se suministre a un dispositivo de red, usando el mismo cable que se utiliza para la conexión de red. Para el almacenamiento de imágenes y videos se usó un servidor con un storage, el cual fue calculado con el número de cámaras, el tiempo de grabación y el consumo de banda ancha en cada cámara.

Palabras Clave: Videovigilancia, Fibra Óptica, GPON.

ABSTRACT

In this research, the design of a video surveillance system using a fiber optic network was proposed to improve and expand the citizen security system in the City of Huancavelica. To achieve our objective, an information survey was carried out on the current reality that the security of the city of Huancavelica is going through, as well as an information survey on the current video surveillance system that the municipality has, where many shortcomings were found, a tour of the critical points indicated on the crime map, giving us a clear image of the number and location of the new cameras (32), it was also possible to observe that they had cameras that could be reused (9), a tour was also made of the city to define the fiber optic route. To power the cameras, PoE technology was used which allows power to be supplied to a network device, using the same cable used for the network connection. For the storage of images and videos, a server with a storage was used, which was calculated with the number of cameras, the recording time and the consumption of broadband in each camera.

Keywords: *Video surveillance, Fiber Optic, GPON.*

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.1. Información General	8
1.1.1. Título.....	8
1.1.2. Personal Investigador.....	8
1.1.3. Línea de Investigación	8
1.1.4. Lugar de Ejecución	8
1.2. Planteamiento de la Investigación.....	8
1.2.1. Síntesis de la Situación Problemática	8
1.2.2. Antecedentes	14
1.2.3. Formulación del Problema de Investigación.....	19
1.3. Objetivos	19
1.4. Hipótesis del Problema.....	20
1.5. Diseño y Contrastación de Hipótesis	20
1.6. Definición y Operacionalización de Variables.....	21
1.7. Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales.....	22
2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	23
2.1. Sistema de video vigilancia CCTV	23
2.1.1. Componentes de un sistema CCTV	23
2.1.2. Arquitectura de un sistema CCTV	25

2.1.3.	Cámara IP.....	27
2.2.	Fibra Óptica.....	28
2.2.1.	Descripción de la fibra óptica	28
2.2.2.	Partes de la fibra óptica.....	29
2.2.3.	Tipos de fibra óptica	30
2.3.	Tecnologías FTTx	33
2.3.1.	FTTC (Fiber to the Curb).....	33
2.3.2.	FTTB (Fiber to the Building).....	33
2.3.3.	FTTH (Fiber to the Home).....	33
2.4.	Tecnologías Pasivas de Fibra Óptica	34
2.4.1.	Red APON (Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network).....	35
2.4.2.	Red BPON (Broadband Passive Optical Network)	35
2.4.3.	Red EPON (Ethernet Passive Optical Network).....	35
2.4.4.	Red GPON (Gigabit Passive Optical Network).....	36
2.5.	GPON.....	37
2.5.1.	Arquitectura	37
2.5.2.	Elementos de una red GPON	38
2.5.3.	Ventajas y Desventajas	40
3.	CAPÍTULO III DISEÑO DEL SISTEMA DE VIDEOVIGILANCIA	42
3.1.	Zona de intervención.....	42

3.2.	Ubicación de Centro de Operaciones de Seguridad Ciudadana	43
3.3.	Elección de las ubicaciones de las cámaras	44
3.4.	Características de las cámaras	47
3.5.	Tipo de Arquitectura GPON	49
3.6.	Despliegue de Fibra Óptica	50
3.6.1.	Fibra Óptica Troncal	50
3.6.2.	Fibra Óptica de Acceso	55
3.7.	Selección de Equipos y Componentes	57
3.7.1.	Cables de Fibra Óptica	57
3.7.2.	OLT	59
3.7.3.	ONT	60
3.7.4.	Accesorios de Fibra Óptica	61
3.8.	Diagramas de Fibra Óptica	64
3.8.1.	Diagrama Esquemático Óptico	65
3.8.2.	Diagramas de Instalación	66
3.9.	Presupuesto Óptico	67
3.9.1.	Ecuación de Atenuación	69
3.9.2.	Cálculo de Presupuestos Ópticos	70
3.10.	Metrados de Fibra Óptica	78
3.11.	Cálculos Adicionales	81

3.11.1.	Ruta de Postes	82
3.11.2.	Dimensionamiento de Grabación de Video	83
4.	CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
4.1.	Conclusiones	87
4.2.	Recomendaciones.....	88
5.	BIBLIOGRAFÍA	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Definición y Operacionalización de Variables	21
Tabla 2 Distancias de operación de los tipos de fibra óptica	32
Tabla 3 Tabla comparativa entre estándares PON	36
Tabla 4 Ciudad de Huancavelica: Lugar del despliegue de la red GPON	45
Tabla 5 Características técnicas de cámara Axis Q6055-E.....	48
Tabla 6 Listado de posibles calles y avenidas para la ruta de fibra troncal	52
Tabla 7 Ubicación de Nodos de Distribución Óptica de segundo nivel	53
Tabla 8 Relación de Cámaras por Nodo de Distribución.....	56
Tabla 9 Tipo y cantidad de hilos de los cables de fibra óptica	58
Tabla 10 Principales especificaciones técnicas de Cables de Fibra Óptica	58
Tabla 11 Principales especificaciones técnicas de equipo OLT	59
Tabla 12 Principales especificaciones técnicas de equipo ONT	60
Tabla 13 Presupuesto Óptico General de los 41 enlaces ópticos.....	70
Tabla 14 Presupuesto Óptico – Splitter 1 + Splitter 1 (1er nivel y 2do nivel).....	72
Tabla 15 Presupuesto Óptico – Splitter 1 + Splitter 2 (1er nivel y 2do nivel).....	73
Tabla 16 Presupuesto Óptico – Splitter 1 + Splitter 3 (1er nivel y 2do nivel).....	73
Tabla 17 Presupuesto Óptico – Splitter 1 + Splitter 4 (1er nivel y 2do nivel).....	74
Tabla 18 Presupuesto Óptico – Splitter 1 + Splitter 5 (1er nivel y 2do nivel).....	74
Tabla 19 Presupuesto Óptico – Splitter 2 + Splitter 1 (1er nivel y 2do nivel).....	75
Tabla 20 Presupuesto Óptico – Splitter 2 + Splitter 2 (1er nivel y 2do nivel).....	75
Tabla 21 Presupuesto Óptico – Splitter 2 + Splitter 3 (1er nivel y 2do nivel).....	76

Tabla 22 Presupuesto Óptico – Spliter 2 + Spliter 4 (1er nivel y 2do nivel)	76
Tabla 23 Presupuesto Óptico – Spliter 2 + Spliter 5 (1er nivel y 2do nivel)	77
Tabla 24 Metrados de Fibra Óptica Troncal – 24 hilos	78
Tabla 25 Metrados de Fibra Óptica de Acceso – 06 hilos	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipo de delito al cual fue expuesto el ciudadano de Huancavelica.....	10
Figura 2 Evaluación de la percepción de la labor de las entidades responsables de brindar seguridad en la Ciudad de Huancavelica	11
Figura 3 Diagrama de Árbol de Causas y Efectos	13
Figura 4 Secuencia para la contrastación de hipótesis.....	20
Figura 5 Arquitectura de un sistema tradicional de CCTV	25
Figura 6 Arquitectura de un Sistema CCTV basado en una Red LAN e Internet	26
Figura 7 Esquema de funcionamiento de cámara IP.....	28
Figura 8 Principales componentes del cable de fibra óptica.....	30
Figura 9 Propagación de la luz en fibras de tipo multimodo y monomodo.....	32
Figura 10 Topologías FTTx.....	34
Figura 11 Arquitectura básica de una red GPON	37
Figura 12 Ciudad de Huancavelica: Lugar del despliegue de la red GPON.....	42
Figura 13 Infraestructura del COSC	43
Figura 14 Mapa de Ubicación del Terreno	44
Figura 15 Plano de ubicación de las 41 cámaras de video vigilancia del proyecto y COSC	47
Figura 16 Cámara de video vigilancia AXIS Q6055-E	48
Figura 17 Cálculo del ancho de banda de las cámaras	49
Figura 18 Agrupación de las ubicaciones de cámaras	51
Figura 19 Ruta Troncal de Fibra Óptica y Nodos de Distribución.....	53
Figura 20 Diagrama de División Óptica Propuesto.....	54

Figura 21 Rutas de Fibra Óptica Troncal y de Acceso	55
Figura 22 Cables de Fibra Óptica empleados en el diseño	57
Figura 23 Diagrama de Conexiones de Red Pasiva Óptica	61
Figura 24 Diagrama Esquemático de Red de Fibra Óptica	65
Figura 25 Diagrama de Conexión e Instalación de Gabinete NEMA en poste	66
Figura 26 Diagrama de Instalación de Cámara y Gabinete NEMA en poste de concreto.....	67
Figura 27 Diagrama de fusiones y conectorizaciones de la fibra óptica	68
Figura 28 Ruta de los postes planteados para el tendido aéreo de la fibra óptica	82
Figura 29 Configuración de Escena de Grabación – Axis Site Designer	84
Figura 30 Configuración de Grabación Continua – Axis Site Designer	84
Figura 31 Configuración de Visualización en Directo – Axis Site Designer	85
Figura 32 Configuración de Tiempo de Almacenamiento - Axis Site Designer	85
Figura 33 Cálculo de Ancho de Banda y Almacenamiento – Axis Site Designer.....	86

CAPÍTULO I

ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Información General

1.1.1. Título

Propuesta de diseño de un sistema de videovigilancia con fibra óptica para mejorar y ampliar los servicios de seguridad ciudadana en la ciudad de Huancavelica.

1.1.2. Personal Investigador

1.1.2.1. Autores

Bach. Martínez Carvajal Willy Edwin Elmer Jacob.

Bach. Saavedra German Elvis Adderly.

1.1.2.2. Asesor

Dra. Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera.

1.1.3. Línea de Investigación

Telecomunicaciones.

1.1.4. Lugar de Ejecución

Huancavelica, Perú.

1.2. Planteamiento de la Investigación

1.2.1. Síntesis de la Situación Problemática

La inseguridad ciudadana es un fenómeno social presente y creciente en todo el mundo; específicamente, en el Perú la delincuencia representa el segundo principal problema que afecta al país, solo por detrás de la inocultable corrupción (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2017a). La delincuencia e inseguridad que existe en el Perú sobresale a escala mundial;

para plasmar esto en datos, se presentan los siguientes reportes que dejan claro este mal que aqueja el país.

- Numbeo (2018), la base de datos digital y mundial dedicada a comparar y compartir indicadores de calidad de vida ubica a Perú en el puesto 13 a nivel global de países con el mayor índice de criminalidad en su ranking del 2018.
- El índice de Ley y Orden (GLO, por sus siglas en inglés), de la transnacional norteamericana Gallup (2019) reporta que la percepción de la seguridad ciudadana en el Perú ocupa el puesto 121 de 142 países evaluados, solo estando por encima de países como Venezuela, Bolivia y Brasil en la región.
- Asimismo, el Índice Global de Paz del año 2019, clasifica a Perú en el puesto 84 a nivel mundial, y a su vez, refiere que el costo directo e indirecto ocasionado por la violencia en el país representa el 6% del Producto Bruto Interno, esto es, aproximadamente 12 mil millones de soles (Institute for Economics & Peace, 2019; e INEI, 2019).

La ciudad de Huancavelica es la capital de la provincia y departamento del mismo nombre. Se ubica en la región de la Sierra Central del Perú y cuenta con 41,005 habitantes (INEI, 2017b). Huancavelica es una de las regiones más pobres del país: sus índices de pobreza fluctúan entre 32.9% y 26.2%, mientras que sus índices de pobreza extrema se ubican entre 6.0% y 7.7% (INEI, 2018a).

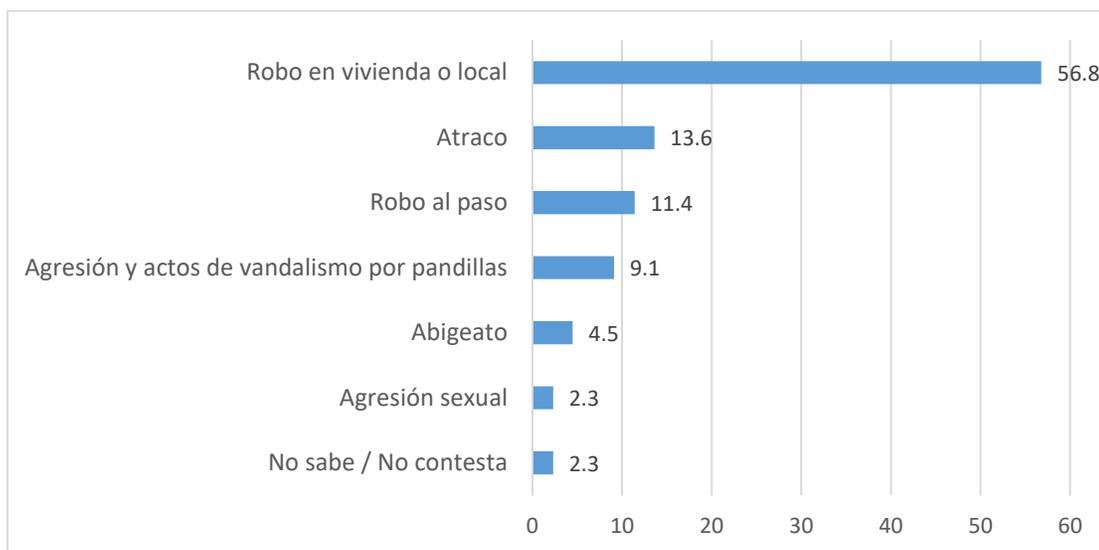
En lo que se refiere a inseguridad ciudadana, Huancavelica no es ajena a este gran problema y la percepción que se tiene sobre esta. En el año 2018, la cantidad de denuncias por comisión de delitos aumentó en un 5.8% con respecto al año anterior (INEI, 2018b). A su vez, la última Encuesta Nacional Urbana de Victimización realizada en Huancavelica revela que 63.5% de sus

ciudadanos se perciben inseguros y con alta posibilidad de ser víctima de un delito (Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], 2015).

Adicionalmente a esto, la misma encuesta detalla los tipos de delito de los cuales fueron víctimas los habitantes de la ciudad, los cuales se muestran en la Figura 1:

Figura 1

Tipo de delito al cual fue expuesto el ciudadano de Huancavelica



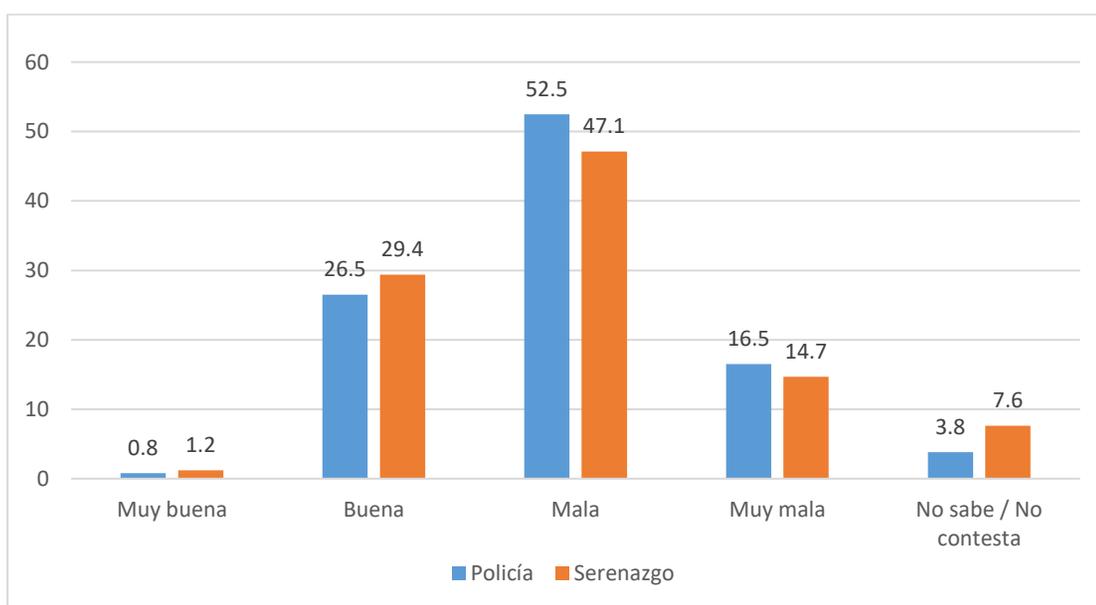
Nota. Elaboración propia con base en los resultados mostrados por la Encuesta Nacional Urbana de Victimización, publicada en el Estudio de Preinversión de Código Único 2292805 publicado en el Banco de Proyectos del MEF (MEF, 2015).

Otro dato a tomar en cuenta que forma parte de esta percepción de inseguridad a la que se encuentra expuesto el morador huancavelicano es la percepción que estos tienen sobre la evaluación de la labor de los entes encargados de impartir seguridad: Policía y Serenazgo, cuya información se detalla en la Figura 2. El 52.5% percibe la labor de la Policía como mala, mientras que el 16.5% la percibe como muy mala. Para el caso del Serenazgo, los sendos porcentajes de

evaluación son similares: 47.1% y 14.7%. Si bien es cierto que institucionalmente la Policía Nacional, la Municipalidad Provincial, el Gobierno Regional y otras instituciones realizan esfuerzos para enfrentar el problema de seguridad ciudadana, estos aún se efectúan de manera descoordinada y los resultados no son favorables, hay un alto índice de insatisfacción por parte de la población hacia sus autoridades como lo constatan las cifras mencionadas.

Figura 2

Evaluación de la percepción de la labor de las entidades responsables de brindar seguridad en la Ciudad de Huancavelica

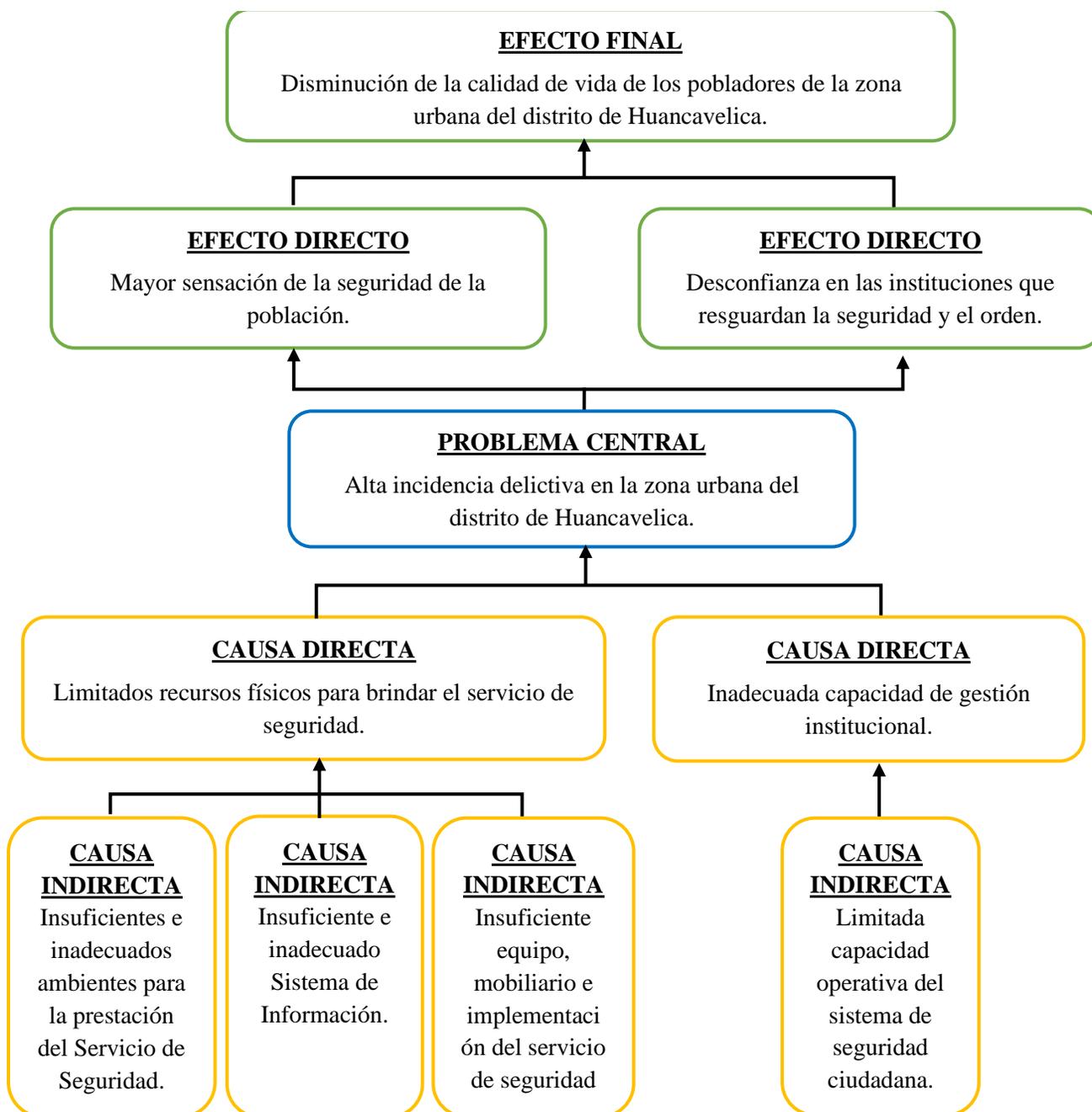


Nota. Elaboración propia con base en los resultados mostrados por la Encuesta Nacional Urbana de Victimización, publicada en el Estudio de Preinversión de Código Único 2292805 publicado en el Banco de Proyectos del MEF (MEF, 2015).

Con el fin de fortalecer el servicio de seguridad ciudadana, la Municipalidad Provincial de Huancavelica cuenta desde el año 2013 con un Centro de Operaciones de Seguridad Ciudadana

(COSC) ubicado en el propio local principal de la entidad edil. Desde este centro de vigilancia se ha venido monitoreando un total de 15 cámaras desplegadas en algunos de los puntos más álgidos de incidencia delictiva; sin embargo, estas cámaras no forman parte de un sistema integrable y escalable, por el contrario, su tecnología obsoleta hace que muchas se encuentren inoperativas; y, por tanto, forman parte de las carencias en las atenciones de los servicios de seguridad ciudadana.

El Estudio de Preinversión (MEF, 2015) que se ha venido refiriendo, fue elaborado con la finalidad de medir el impacto del problema de inseguridad ciudadana, y estuvo enmarcado en el Sistema Nacional de Inversión Pública; de este modo, se describe el Problema Central como “Alta incidencia delictiva en la zona urbana del distrito de Huancavelica”. En este documento, se detallan Causas Directas e Indirectas, así como los Efectos Directos e Indirectos de este Problema Central. La Figura 3 que se muestra a continuación, describe estos conceptos por medio de un Diagrama de Árbol de Causas y Efectos.

Figura 3*Diagrama de Árbol de Causas y Efectos*

Nota. Diagrama de árbol de elaboración propia basado en la información expresada en el Estudio de Preinversión de Código Único 2292805 publicado en el Banco de Proyectos del MEF (MEF, 2015).

Como se observa en la Figura 3, algunas de las causas asociadas al problema de la inseguridad ciudadana son la falta de mayor cantidad de recursos y equipos físicos (como mayor cantidad de cámaras de videovigilancia), así como el acompañamiento a estos de modernas tecnologías de información y comunicación.

Ante la expuesta coyuntura, en el año 2017, el Concejo Municipal de la Municipalidad Provincial de Huancavelica mediante Acuerdo de Concejo N° 005-2017-CM/MPH acuerda autorizar la suscripción de un convenio entre la Municipalidad y el Ministerio del Interior para el financiamiento de un proyecto de Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Seguridad Ciudadana.

En este contexto, con la exposición de la problemática y toda la evidencia manifestada, se propone en el presente trabajo de tesis el diseño y despliegue de un Sistema de Videovigilancia con mayor cantidad de cámaras para cubrir mayores áreas de incidencia delictiva, las cuales estarán interconectadas por medio de Fibra Óptica haciendo uso de tecnología de Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit (GPON, por sus siglas en inglés).

1.2.2. Antecedentes

En la actualidad, se cuenta con una cantidad tanto amplia como variada de antecedentes y bibliografía reciente, así como en elaboración. Esto debido a que se trata de temas muy estudiados y aplicados, puesto que son útiles para dar solución a problemas álgidos como la inseguridad y delincuencia, así como muchos de otro tipo, por medio de tecnologías basadas en sistemas electrónicos y de comunicaciones. Se detallarán algunos estudios y conclusiones obtenidos por diversos autores que abarcaron y trabajaron esta problemática; y posterior a ello, se mencionarán

algunos documentos de carácter normativo y legal, que son los que definen y regulan los temas relacionados con la seguridad ciudadana y cómo abarcar los problemas que le atañen.

1.2.2.1. Antecedentes internacionales

En Ecuador, Jurado (2016) mediante su trabajo de tesis “Diseño para la Implementación de un Sistema de Video Vigilancia a Nivel Cantonal para la Central de Atención Ciudadana del GAD del Cantón Mejía”, plantea la instalación de cámaras PTZ en los puntos críticos del Municipio Cantón por medio de enlaces de fibra óptica y radioenlaces en las zonas más rurales y de difícil acceso. Se planteó un sistema de interconexión de fibra óptica para 17 cámaras PTZ de la marca Axis. Este trabajo permitió dotar al Cantón (o municipio) Mejía de un sistema de monitoreo y videovigilancia basado en IP, escalable y del que el personal de seguridad ciudadana puede valerse para realizar un trabajo más sencillo y efectivo.

Así también en Bolivia, por medio de su trabajo de grado “Diseño de la Nueva Red de Datos Vía Fibra Óptica para las Cámaras de Video Vigilancia del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz”, Jerez (2016) propone una migración desde una red de 100 cámaras interconectadas por medio de enlaces inalámbricos hacia una red de Fibra Óptica en el municipio boliviano de La Paz. Con esta implementación se logró solucionar problemas presentes en tecnologías inalámbricas como la intermitencia producida por fallas en las líneas de vista, así como retardos en las imágenes por el limitado ancho de bando que ofrecen estas soluciones. Con la adición de otros 79 equipos de video vigilancia, se pudo dotar al municipio de una red de fibra óptica que interconecta 179 cámaras que pueden llegar a anchos de banda de hasta 1Gbps gracias a este nuevo medio de transmisión, y llegar a 30 imágenes por segundo en tiempo real con una fiabilidad y disponibilidad superior al 99.9% y con una escalabilidad que permitirá prever futuras conexiones.

1.2.2.2. Antecedentes nacionales

El trabajo de tesis “Diseño de una red FTTH basado en el estándar GPON para la conexión de videocámaras para el distrito de San Martín de Porres” presentado por Castro (2019) realizó el diseño de una red FTTH (*Fiber To The Home*) basado en el estándar GPON para la puesta en funcionamiento de una red de videovigilancia. Con esto, se logró que el distrito de San Martín de Porres en Lima pueda contar con un despliegue de 52 kilómetros de fibra óptica, estar lista para un crecimiento de hasta 800 clientes, y que pueda soportar grandes transmisiones de hasta 2.5 Gbps / 1.25 Gbps. Esto le permite a la infraestructura ser ideal para la aplicación de seguridad ciudadana urbana ya que estos anchos de banda permiten tener grandes fotogramas por segundo y con ello imágenes no solo más nítidas, sino fluidas. Castro, a su vez, demostró que mediante esta implementación se pueden reducir significativamente costos de mantenimiento y operación, así como gastos de energía eléctrica, puesto que, al ser de naturaleza pasiva, muchos equipos no requieren ser energizados eléctricamente.

No solo en la capital peruana se cuentan con este tipo de trabajos: Carrión y Castillo (2019) publican un trabajo de tesis llamado “Estudio y diseño de un sistema de videovigilancia utilizando una red GPON para contribuir con la seguridad de la población de la ciudad de Jaén”, en el cual se estudia la situación problemática de la ciudad de Jaén y se identifican 120 ubicaciones donde deberían estar ubicadas cámaras de videovigilancia PTZ Full HD por medio de una red de fibra óptica Monomodo, con lo cual se consigue satisfacer el ancho de banda de video de cada nodo de 120Mbps. Este estudio presenta unos agregados interesantes como es la añadidura de un equipo NVR que permitirá almacenar en la propia red LAN las grabaciones de 30 días de las imágenes, así como hilos libres o de reserva para respaldos o conexiones futuras, lo que permitirá el crecimiento del sistema de videovigilancia, o de otras tecnologías que puedan hacer uso del medio

de transmisión como es la fibra óptica. A su vez, concluyen que por medio de GPON se pueden tener unas buenas redes de acceso ya que utiliza fibra óptica de extremo a extremo, sin equipos activos adicionales entre la OLT y las diferentes ONTs.

Los sistemas de video vigilancia basados en fibra óptica no son exclusivos para grandes implementaciones como son a nivel distritales, sino que pueden ser bastante útiles en escalas más pequeñas. Un ejemplo de ello es el trabajo de tesis presentado por Llanos y Zapata (2019) denominado “Diseño de un sistema de video vigilancia bajo una red de fibra óptica para mejorar la seguridad en los ambientes de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque”. Este trabajo estudia e identifica las ubicaciones vulnerables en el campus en las cuales se instalarán 30 cámaras entre PTZ y Fijas de marca Dahua por medio de enlaces de fibra óptica en las ubicaciones que excedan la distancia que puede ser cubierta con enlaces tradicionales de cobre. Por medio de la implementación de una Central de Monitoreo ubicada en la Oficina de Regencia de la universidad, dotada de un grabador NVR, monitores, y controlador joystick se tiene un sistema de videovigilancia más completa. Este estudio demuestra también la facilidad de la fibra óptica de ser adaptada y de convivir con tecnologías menos modernas como son los enlaces e infraestructura de cobre UTP con los que cuenta actualmente la universidad.

En cuanto al lugar objetivo del presente trabajo, Huancavelica, es menester mencionar que también cuenta con trabajos y estudios sobre despliegue de fibra óptica en la región. Así, Cuellar (2019) mediante su trabajo de tesis “Diseño de una red de fibra óptica para mejorar la comunicación de datos en las instituciones públicas y población del distrito de Quichuas, Tayacaja, Huancavelica-2018” presenta un diseño mediante enlaces ópticos en una zona donde estos son inexistentes y en donde el medio satelital es el más empleado. Cuellar plantea un diseño simulado – no implementado – por medio de Matlab para lograr integrar el distrito de Quichuas a la Red

Dorsal Nacional de Fibra Óptica, y con ello demuestra la utilidad e influencia en la mejora de las comunicaciones en el distrito en aspectos de calidad de servicio, ancho de banda, cobertura y costo de servicio. Si bien, la aplicación específica de este trabajo no es seguridad ciudadana, contar con este despliegue es un hito preliminar para que estos enlaces puedan ser aprovechados y útiles para tal fin, y en donde los beneficiarios directos serían las instituciones públicas como instituciones educativas, centros de salud, comisarías, y en general los pobladores del distrito.

1.2.2.3. Marco Normativo

Además de los antecedentes de estudios y trabajos presentados, existe un marco normativo en el Perú, mediante el cual se busca un funcionamiento eficiente y eficaz que garantice “altos niveles de seguridad ciudadana mediante un trabajo articulado entre la sociedad civil y los diferentes niveles de gobierno” (Presidencia del Consejo de Ministros, 2009). A continuación, se listan las principales leyes y normativas presentes en este marco:

- Constitución Política del Perú – Art. 01°, 02°, 44°, 166°, 190°, 191°, 194° y 197°.
- Ley 27933 - Ley del Sistema Nacional de Seguridad Ciudadana.
- Decreto Supremo N°011-2014-IN Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de la Ley N°27933, Ley del Sistema Nacional de Seguridad Ciudadana.
- Ley N°28478-Ley del Sistema de Seguridad y Defensa Nacional.
- Decreto Supremo N°012-2003-IN-Reglamento del Sistema Nacional de Seguridad Ciudadana.
- Ley N° 30225 Ley de Contrataciones del Estado.
- Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado aprobado mediante Decreto Supremo N° 350-2015-EF.

1.2.3. Formulación del Problema de Investigación

¿Cómo un sistema de videovigilancia basado en una red de fibra óptica puede mejorar y ampliar los servicios de seguridad ciudadana en la ciudad de Huancavelica?

1.3. Objetivos

1.3.1.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de videovigilancia con fibra óptica para mejorar y ampliar los servicios de seguridad ciudadana en la ciudad de Huancavelica.

1.3.1.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de esta investigación son los siguientes:

- Visitar las instalaciones del Centro de Operaciones de Seguridad Ciudadana para levantar información actual sobre las condiciones del sistema de videovigilancia.
- Obtener el mapa de delito del distrito de Huancavelica para determinar la ubicación y cantidad de las nuevas cámaras de seguridad y la reutilización de las existentes.
- Determinar la mejor ruta para la fibra óptica a través de la ubicación de nuevos postes de concreto y la reutilización de los existentes.
- Diseñar los planos de ubicación de cámaras en puntos críticos, el diagrama óptico y unifilar.
- Realizar el metrado de fibra óptica.
- Realizar el presupuesto óptico.
- Realizar el cálculo de almacenamiento.

1.4. Hipótesis del Problema

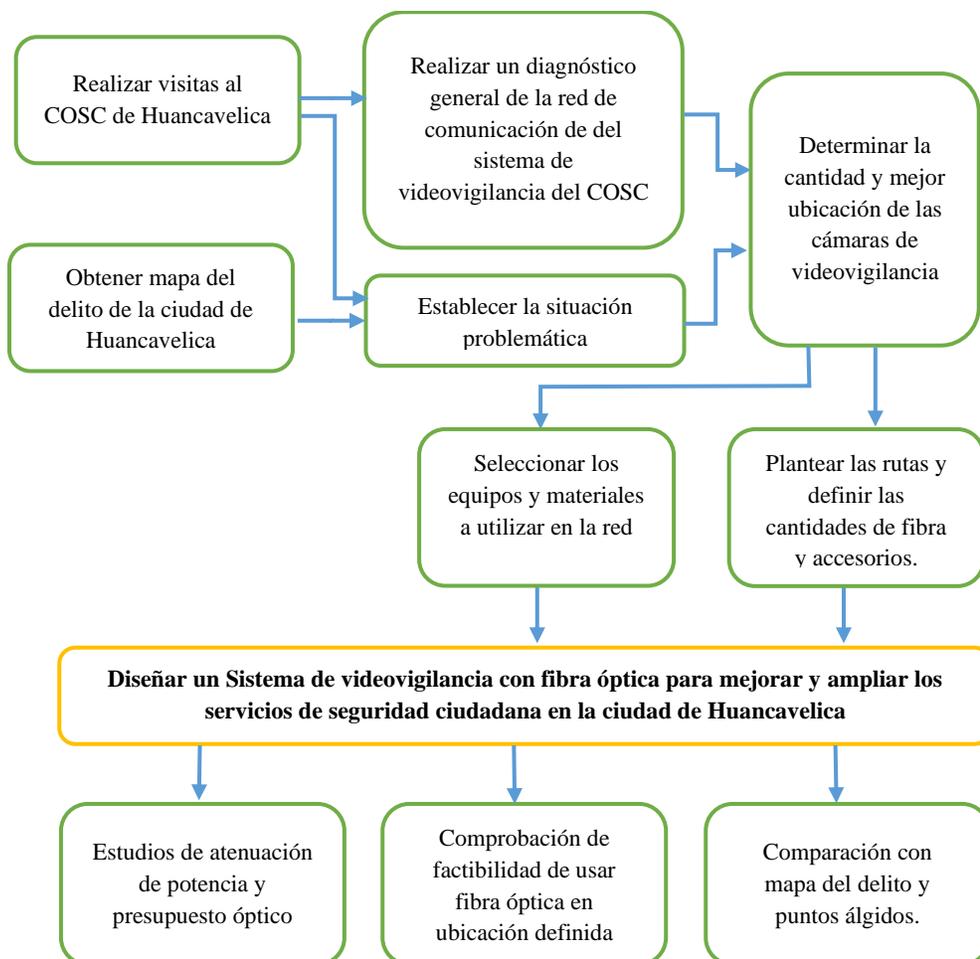
Con el diseño de un sistema de videovigilancia basado en una red de fibra óptica se pueden mejorar y ampliar los servicios de seguridad ciudadana en la ciudad de Huancavelica.

1.5. Diseño y Contrastación de Hipótesis

En la Figura 4, se muestra un diagrama secuencial de los pasos que se seguirán para el diseño y la contrastación de la hipótesis establecida.

Figura 4

Secuencia para la contrastación de hipótesis



Nota. Elaboración propia

1.6. Definición y Operacionalización de Variables

En este proyecto de tesis se distinguen las siguientes variables:

Tabla 1

Definición y Operacionalización de Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Independiente Propuesta de diseño de un sistema de videovigilancia con fibra óptica	Sistema de videovigilancia	Un conjunto de equipos e infraestructura tecnológica conectados que genera un conjunto de imágenes que pueden ser visualizadas, monitoreadas y/o almacenadas y a las que pueden tener acceso un determinado grupo de personas. En el caso del presente estudio, está orientado a la seguridad ciudadana de la ciudad de Huancavelica.	Reducción de incidentes Supervisión y control Disuasión Evidencia Efectividad
	Fibra óptica	Medio de comunicación que utiliza uno o más filamento de material dieléctrico capaz de transmitir impulsos luminosos y tiene aplicaciones de transmisión de datos, voz, video, etc. a grandes velocidades y largas distancias.	Ancho de banda Atenuación Pérdida total Potencia Sensibilidad
Dependiente Mejorar y ampliar los servicios de seguridad ciudadana en la Ciudad de Huancavelica	Mejora y ampliar	Se propone mejorar el servicio de seguridad ciudadana por medio de Sistema de Videovigilancia integrado por una red de cámaras ubicadas en puntos críticos de la ciudad, interconectadas por medio de Fibra Óptica haciendo uso de tecnología FTTH-GPON.	-
	Seguridad ciudadana	Es la finalidad tanto perceptiva como medible de paz y bienestar social alejados de problemas como criminalidad y delincuencia, para lo cual se establecen un conjunto interrelacionado de organismos del sector público, la sociedad civil y un marco normativo y político que permitan a las personas el desarrollo de sus actividades libres de riesgos y amenazas.	Victimización Percepción de inseguridad Homicidios
	Ciudad de Huancavelica	Ciudad ubicada en la parte central del Perú, capital de la provincia y departamento de Huancavelica..	-

Nota. Elaboración propia.

1.7. Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales

En esta investigación se utilizaron los siguientes recursos:

- Visitas al COSC para el levantamiento de información en coordinación con el responsable de la Unidad de Centro de Control de Operaciones, la Subgerencia de Juntas Vecinales y Seguridad Ciudadana de la ciudad de Huancavelica.
- Bibliografía sobre diseño de sistemas de videovigilancia.
- Bibliografía sobre diseño de redes ópticas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de video vigilancia CCTV

El Circuito Cerrado de Televisión (CCTV, por sus siglas en inglés) es una tecnología de video vigilancia aplicado a la visualización, supervisión y grabación de actividades que se registren en determinados ambientes de interés, ya sean interiores o exteriores. En los últimos años, estos se han convertido en una parte indispensable de la vida diaria; y son cada vez más frecuentes en los sistemas de seguridad de casas, tiendas y centros comerciales. (Erkhan et. al, 2015).

El CCTV, a su vez, agrupa una serie de equipos y elementos, cuya acción conjunta permite que se puedan obtener estas imágenes, y que estas a su vez puedan ser visualizadas o gestionadas de la manera en la que el usuario convenga.

2.1.1. Componentes de un sistema CCTV

Los componentes principales de un CCTV son los siguientes (García, 2010):

Cámara: Es el componente principal de todo el sistema. Las cámaras son los dispositivos generadores de las imágenes -que en su conjunto originan el video- de cualquier sistema de CCTV. Existen muchos tipos de cámaras, cada una empleada para distintas aplicaciones; y tienen diferentes características generales:

- Resolución (calidad de la imagen)
- Tipo de lente
- Sensibilidad a la luz
- Tipo de montaje

Monitores de CCTV: Las imágenes generadas por las cámaras son transmitidas a las posiciones de control y llegan a ser visualizadas en estos monitores. Estos equipos no son

televisores y en la mayoría de casos tampoco son monitores simples. Debido a que muchas aplicaciones de videovigilancia por medio de CCTV requieren un monitoreo y control permanente, estos equipos deben estar preparados para estar encendidos y operativos muy largos períodos de tiempo. Otro concepto importante empleado en los sistemas CCTV es el de *Videowall* que no es otra cosa que un arreglo de monitores configurados para que puedan comportarse como un gran monitor grande; estos son muy usados en contextos de seguridad ciudadana para proveer imágenes más grandes que las que puede ofrecer un solo monitor.

Grabador: Los equipos grabadores son otro componente de un sistema de CCTV clásico. Estos permitirán el almacenamiento de las imágenes registradas por las cámaras. Existen de varios tipos y características; en la tecnología IP, los empleados usualmente son los Grabadores de Video en Red (NVR, por sus siglas en inglés). Para dimensionar estos equipos se debe tener en consideración la calidad de las imágenes a grabar, la fluidez de las imágenes, el tiempo de duración de las grabaciones, el método de compresión de video utilizados y el tipo de redundancia en el almacenamiento.

Medio de Trasmisión: Por último, se mencionará el canal utilizado para que las imágenes puedan llegar a los lugares de interés: tanto para su visualización en tiempo real como su grabación. Para ello, se pueden utilizar muchos medios de transmisión, que son el elemento físico por el cual estas imágenes son transmitidas. Estos pueden ser desde cables coaxiales para cámaras analógicas, o cables Ethernet para cámaras IP. Cuando las distancias entre la cámara y el equipo de conexión destino son muy largas, el medio de transmisión en Fibra Óptica; otra opción es la de los enlaces inalámbricos como Radioenlaces o señal celular. En aplicaciones de seguridad ciudadana, debido a que el área de interés de cobertura en la vigilancia es a nivel distrital, o provincial, la fibra óptica es el medio de transmisión más utilizado, así como una combinación entre estos y los cables de

cobre. También, es posible considerar como un medio de transmisión a componentes más complejos como una Red LAN, que ya no solo contempla alguno de los medios que se han descrito sino también elementos conmutadores de tráfico, entre otros; y extendiendo este tipo de medios de transmisión, se podría considerar redes más amplias: tal es el caso de Internet.

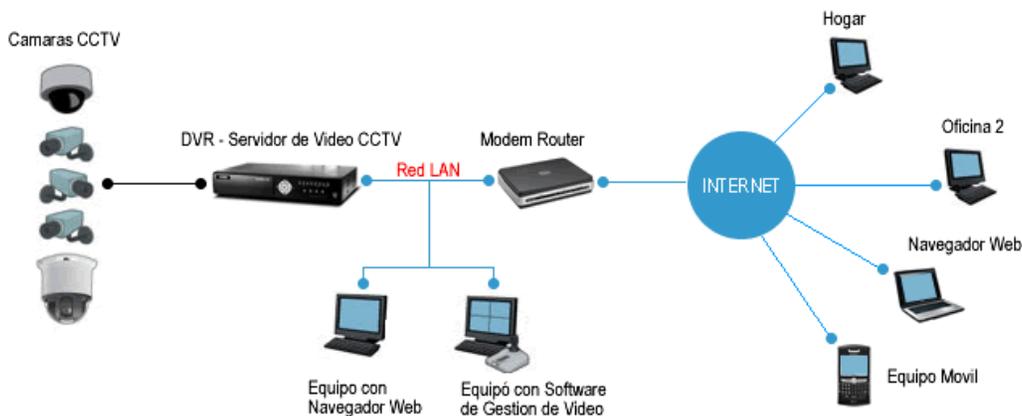
2.1.2. *Arquitectura de un sistema CCTV*

Las arquitecturas de un sistema CCTV pueden llegar a ser muy robustas, pero todas mantienen como principio los componentes generales descritos anteriormente.

Figura 5

Arquitectura de un sistema tradicional de CCTV

SOLUCION CCTV



Nota. Adaptado de *Video cámaras de vigilancia, conceptos y debate ético*, por Top Security Perú (s.f)

La Figura 5 muestra una arquitectura típica de una solución CCTV. En la parte izquierda, se observan las cámaras, las cuales están conectadas mediante un medio de transmisión a un equipo grabador (en este caso digital, se tiene un Servidor de Video DVR); y finalmente, mediante otro

medio de transmisión -en este caso, en el marco de una Red LAN- las imágenes pueden llegar hasta monitores o equipos de visualización conectados a esta misma Red LAN; y además, si se agrega una conexión a Internet, que también es un medio de transmisión -aunque más técnicamente podría ser descrito como un conjunto de medios de transmisión- es posible escalar ese sistema y poder llegar a visualizar las imágenes desde monitores o dispositivos de visualización que tengan una conexión a internet.

Otra arquitectura puede ser representada como en la Figura 6; en este caso tanto las cámaras como los monitores y también los grabadores forman parte de una Red Local LAN; mientras que esta última -a su vez- es también el medio de transmisión. Esta Red LAN puede estar compuesta de equipos conmutadores y un sistema de cableado estructurado por cable de cobre, fibra óptica o cualquier medio de transmisión descrito anteriormente.

Figura 6

Arquitectura de un Sistema CCTV basado en una Red LAN e Internet



Nota. Adaptado de Video cámaras de vigilancia, conceptos y debate ético, por

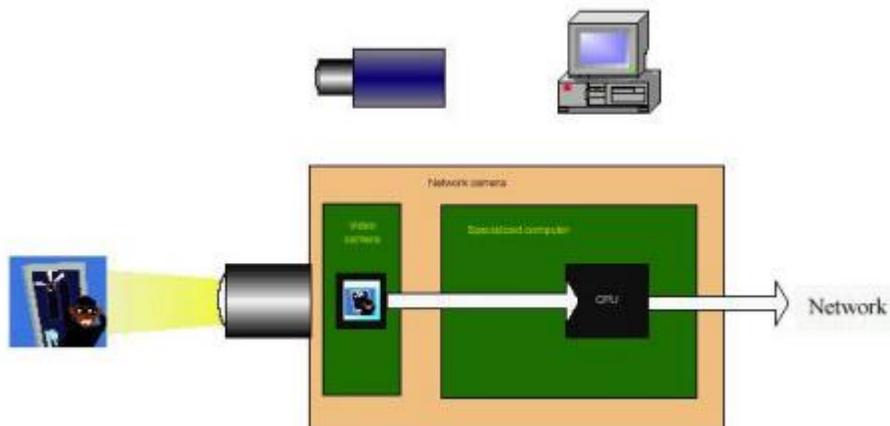
Top Security Perú (s.f.)

Con representaciones gráficas como las de la Figura 6, se evidencia con mayor nitidez que un Sistema CCTV no contempla rigidez alguna en cuanto a sus componentes, sino que estos pueden estar integrados de diversas maneras, siempre que cumplan con sus funciones específicas.

2.1.3. Cámara IP

Una cámara IP, o también llamada cámara en red, como lo describe el fabricante líder mundial en estos equipos Axis (2002) es una cámara y un computador combinados. Estas cámaras tienen su propia dirección IP y cualidades inherentes a un computador que le permite gestionar la comunicación en la red; esto les permite que todo lo que se necesite para la visualización de las imágenes a través de la red se pueda encontrar dentro del mismo equipo. Como lo hace cualquier equipo IP, estas cámaras se conectan directamente a la red y cuentan con funciones como las de Servidor Web, servidor FTP, cliente FTP. Dependiendo del caso, pueden contar con dispositivos de audio de entrada y salida integrados, entradas para alarmas y salidas de relé; y en casos más avanzados pueden venir embebidas con funcionalidades analíticas como son detección de movimiento, lectura de placas, reconocimiento de rostros, entre otros.

La Figura 7 describe de manera gráfica cómo es que se obtienen las imágenes en una cámara IP

Figura 7*Esquema de funcionamiento de cámara IP*

Nota. Adaptado de ¿Qué es una Cámara de Red? (2002) por Axis

La lente de la cámara enfoca la imagen que se desea obtener dentro del sensor de imagen, previamente de manera típica pasa por un filtro óptico que eliminar todo tipo de luz infrarroja que impida que se muestren los colores correctos. Una vez en el sensor de imagen, este convierte la información lumínica que le llega en señales eléctricas. Finalmente, esta señal eléctrica es enviada a un procesador de la propia cámara IP la cual la comprime y la deja lista para que pueda ser transferida a través de redes.

2.2. Fibra Óptica

2.2.1. Descripción de la fibra óptica

La fibra óptica es, según Optral (2019), un medio dieléctrico transparente comúnmente elaborado de un filamento plástico o de vidrio, cuya principal función es la de transportar señales de luz de un extremo a otro con muy pequeñas atenuaciones.

Es uno de los más utilizados medios de transmisión en redes de datos y telecomunicaciones, y sus principales características son sus grandes anchos de banda, altas velocidades, grandes capacidades de carga, menor degradación de la señal, inmunidad a campos electromagnético

2.2.2. *Partes de la fibra óptica*

En el mercado, existen diferentes tipos de fibra, cada una elaborada para aplicaciones distintas, y pueden llegar a tener muchos componentes para su uso en soluciones complejas. En su forma más básica, el cable de fibra óptica está compuesto de los siguientes elementos (Castro, 2021).

Núcleo: También llamado *core*, es la parte interna del cable de fibra óptica, por donde viajan directamente las señales ópticas de la luz. Este núcleo normalmente está hecho de sílice debido a sus buenas propiedades refractivas. La luz que es emitida desde la fuente viaja por el núcleo y esta rebota dentro del propio núcleo evitando que estas señales luminosas escapen. Gracias a sus propiedades refractivas, la luz es capaz de viajar por todo el núcleo con muy pocas considerables pérdidas de potencia, y se hace posible la transmisión de la información a través de pulsos de luz.

Revestimiento: También llamado *cladding*, es la parte del cable de fibra óptica que cubre directamente al núcleo, pero no es la parte externa del cable; su función es la de brindar una mejor reflexión en el transporte de la luz que viaja a través del núcleo. Actúa como una capa reflectante logrando que las señales luminosas que transitan por el núcleo sigan reflejándose en este y transitando por el núcleo. La propiedad refractiva del núcleo sumada a la propiedad reflexiva del revestimiento, logran una gran eficiencia en la transmisión de información por este medio.

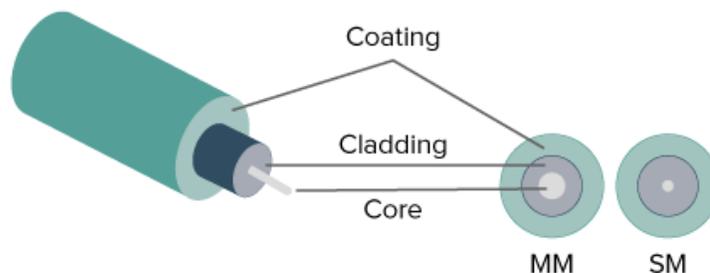
Recubrimiento: El recubrimiento o *coating* es la parte más externa del cable de fibra, su función es la de brindar protección física tanto al núcleo como al revestimiento ante daños

provocados por agentes externos tales como humedad, torcedura, aplastamiento, mordeduras de roedores, etcétera.

La Figura 8 muestra estos tres componentes principales de un cable de fibra óptica

Figura 8

Principales componentes del cable de fibra óptica



Nota. MM y SM hacen referencia a tipos de fibra óptica, que se explicarán más adelante.

Adaptado de *What is an Optical Fiber?* (2021) de Smartoptics

<https://www.smartoptics.com/article/what-is-an-optical-fiber>

2.2.3. Tipos de fibra óptica

Los cables de fibra óptica pueden clasificarse de muchas formas; sin embargo, una de las más comunes y aplicadas es debido a su forma de propagación; así, se clasifican en Fibra Monomodo (SM, por sus siglas en inglés) y Fibra Multimodo (MM, por sus siglas en inglés). Como se observa en la Figura 8, el núcleo en las fibras multimodo es de mayor diámetro. A continuación, se describen estos tipos de fibra óptica, y se explican estas diferencias.

Cable de fibra Monomodo:

Se le otorga ese nombre puesto que la propagación de la luz por esta fibra óptica se realiza por un único modo a la vez; por esto, tiene un diámetro de núcleo estrecho (de 8 a 10 micrómetros típicamente) y se propaga con longitudes de onda entre 1310 y 1550 nanómetros. El hecho de

permitir un único modo de propagación evita las distorsiones que pueden ocasionarse dentro del núcleo debido a la superposición de los impulsos de luz y a las muchas refracciones que se originan dentro, por ello las atenuaciones de señal en este tipo de fibra son menores mientras que sus velocidades de transmisión son mayores. Por esto, su principal aplicación es para transmisión de información a largas distancias.

Cable de Fibra Multimodo

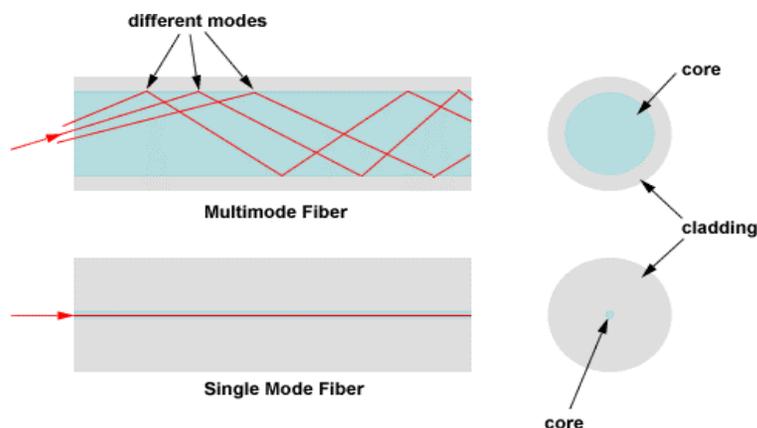
En contraste con la fibra monomodo, este tipo de fibra tiene un núcleo más grande, de entre 50 a 62.5 micrómetros; esto permite que fluyan múltiples modos de luz, y a esto debe su nombre. Debido a esta propiedad de este tipo de fibra de transmitir más de un modo de luz, la longitud de la fibra multimodo para aplicaciones de transmisión de datos en alta velocidad está limitada por las dispersiones que se podrían presentar dentro del núcleo. Es por esto que su aplicación es para distancias más cortas, existiendo diferentes subclasificaciones como OM3, OM4 y OM5 entre las más usadas para diferentes velocidades y longitudes.

La Figura 9 muestra estas diferencias en las propagaciones de la luz entre estos dos tipos de fibra. Estas diferencias no marcan necesariamente un contraste cualitativo entre ambos, ni sugieren que alguno sea mejor que el otro; es en la aplicación en que se desplieguen, donde el uso de uno de estos dos tipos será el óptimo.

Asimismo, en la Tabla 10, se detallan las diferentes longitudes para los cuales se aplican los tipos de fibra que fueron descritos y explicados. Se realiza una distribución de tal manera que se evidencia que para cada aplicación dependiendo de la velocidad de transmisión que se requiere y la distancia, se tiene un tipo de fibra óptica adecuado.

Figura 9

Propagación de la luz en fibras de tipo multimodo y monomodo



Nota. Adaptado de *Interconexión de Redes con Medios Físicos e Inalámbricos* (s.f.) de

ITCA https://virtual.itca.edu.sv/Mediadores/irmfi1/IRMFI_16.htm

Tabla 2

Distancias de operación de los tipos de fibra óptica

Tipos de fibra óptica		Distancia de fibra óptica					
		Fast Ethernet 1000BASE	1 Gb Ethernet 1000BASE- SX	10 Gb BASE SE-SR	25 Gb BASE SR-S	40 Gb BASE SR4	1000 Gb BASE SR10
Fibra monomodo	OS2	200m	5km	10km	-	-	-
	OM3	200m	550m	300m	70m	100m	100m
Fibra multimodo	OM4	200m	550m	400m	100m	150m	150m
	OM5	200m	550m	300m	100m	400m	400m

Nota. Elaboración propia basada en *¿Cuál es la diferencia entre fibra monomodo y multimodo?*

(2018) de Worton <https://community.fs.com/es/blog/single-mode-vs-multimode-fiber-whats-the-difference.html>

2.3. Tecnologías FTTx

Las redes FTTx son la realización de los esfuerzos realizados en el campo de las telecomunicaciones que por años se enfocaron en desplegar la fibra óptica hacia los usuarios finales. La letra x del acrónimo, que significa “fibra hacia el (la)”, o en inglés fiber to the, hace referencia precisamente a ese usuario final beneficiario del uso de la fibra óptica.

A continuación, se describen algunas de las tecnologías FTTx más conocidas y usadas (Keiser, 2006):

2.3.1. FTTC (*Fiber to the Curb*)

Fibra hacia la manzana. Se refiere a un despliegue de fibra óptica que llega hasta una cabina muy cercana a los usuarios finales, típicamente en el vecindario o manzana; desde ese nodo de distribución se dará el acceso con otro medio de transmisión a todos los usuarios finales en sus viviendas.

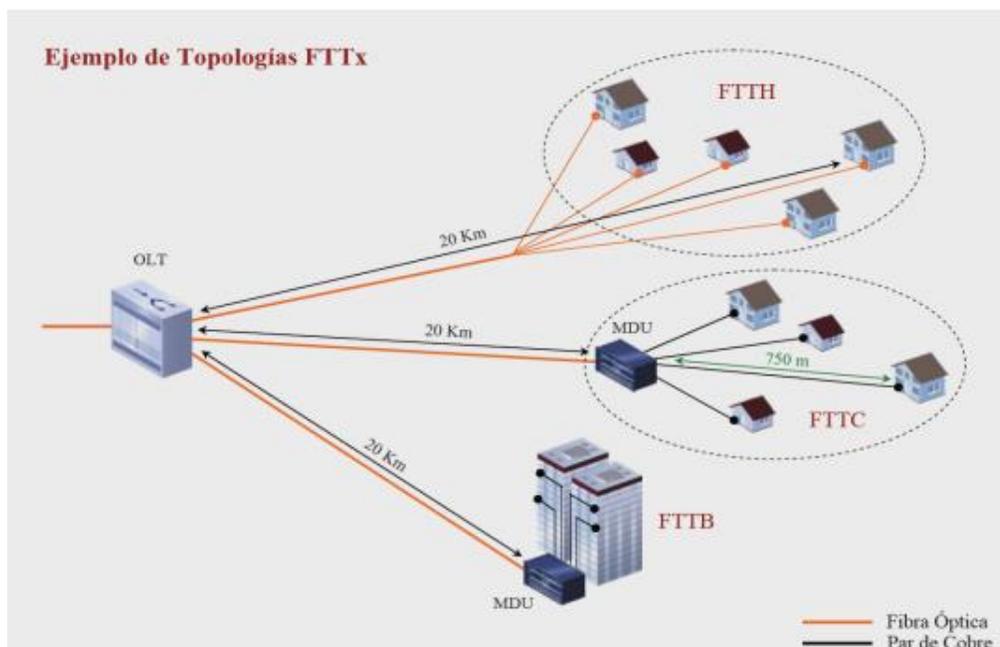
2.3.2. FTTB (*Fiber to the Building*)

Fibra hacia el edificio. Este tipo de red permite el tendido de fibra óptica hacia un edificio multi-viviendas. Posteriormente, la red interna del propio edificio distribuirá el acceso a las viviendas y usuarios finales usualmente con cobre u otro medio de transmisión.

2.3.3. FTTH (*Fiber to the Home*)

Fibra hacia el hogar. A diferencia de las anteriores, este tipo de redes no necesita el uso de nodos intermediarios o de distribución, sino que permite el despliegue de la fibra óptica directamente hasta el hogar del abonado. Es una de las redes FTTx más reciente y cada vez más usada en redes domésticas.

La Figura 10 muestra las diferentes topologías descritas anteriormente. En estos casos, se utiliza el cobre como medio de transmisión de acceso directamente hacia los abonados.

Figura 10*Topologías FTTx*

Nota. Ejemplo de Topologías FTTx. Adaptado de *Diseño básico de redes de acceso FTTH utilizando el estándar GPON* por Añazco (2013).

2.4. Tecnologías Pasivas de Fibra Óptica

Las redes pasivas de fibra óptica son arquitecturas populares, pues a diferencia de otras arquitecturas, estas no tienen equipos electrónicos, por lo que no necesitan de energía eléctrica para su despliegue y puesta en funcionamiento (salvo en los extremos). Esta característica, hace que sea sencillo de implementar, tener un mantenimiento más económico, y un costo más reducido (Castro, 2019). A este tipo de arquitecturas, que son derivadas de las FTTx, se les denomina PON (Passive Optical Networks). Las redes PON son muy utilizadas en contextos como redes domésticas, entornos de campus, y redes municipales aplicadas, a por ejemplo, video vigilancia, como es el caso del presente trabajo de tesis.

A continuación, se listan y describen los más conocidos tipos de redes PON.

2.4.1. Red APON (*Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network*)

Esta fue la primera red PON, la cual estuvo basada en el estándar UIT-T G.983 del comité FSAN, el primer estándar dedicado a redes PON. Esta arquitectura aprovecha la tecnología ATM (Modo de Transferencia Asíncrona) para repartir este ancho de banda en todos los dispositivos ONU finales. Su principal desventaja era el máximo ancho de banda de 155 Mbps en total, lo cual dificultaba la transmisión de videos u otro tipo de información de gran tamaño (Arias, 2015; Castro, 2019).

2.4.2. Red BPON (*Broadband Passive Optical Network*)

Ante la limitante de ancho de banda de las redes APON, se usó este mismo estándar en colaboración con el ITU-T, dando origen a la Recomendación ITU-T G.983.x, la cual definió este nuevo tipo de red BPON. Este nuevo estándar hace viables nuevos servicios como Ethernet, video y WDM; y permite la conexión simultánea de 64 dispositivos ONU, a distancias de hasta 20km. El BPON incrementa el ancho de banda hasta 622 Mbps, considerablemente mayor que el del APON; sin embargo, conforme las aplicaciones fueron haciéndose más demandantes, este valor se volvió insuficiente (Arias, 2015; Castro, 2019).

2.4.3. Red EPON (*Ethernet Passive Optical Network*)

Se trata de una arquitectura elaborada por la IEEE y su grupo de estudio denominado “Ethernet en la Última Milla”; y utiliza el estándar 8b/10b. Esta tecnología ya no utiliza las celdas ATM como las anteriores, sino que transmite directamente el tráfico nativo Ethernet; en otras palabras, esta arquitectura está optimizada para el tráfico IP. Sus principales ventajas son que cuenta con Calidad de Servicio (QoS) tanto para subida como para bajada; además hace más sencillo la llegada de la fibra óptica hacia los abonados finales, puesto que la mayoría de estos

utilizan interfaces Ethernet; asimismo, al basarse en el protocolo SMNP, la gestión y la administración de esta red se vuelve más sencilla de realizar. Este estándar permite tener hasta 32 usuarios por cada equipo central, y un alcance máximo de 20km; sin embargo, ofrece anchos de banda de hasta 1.25Gbps (Arias, 2015; Castro, 2019).

2.4.4. Red GPON (Gigabit Passive Optical Network)

Esta tecnología fue aprobada por la ITU-T y se basa en las siguientes recomendaciones: G.984.1, G.984.2, G.948.3 y G.984.4. Las principales ventajas de esta tecnología es que aumenta el tráfico y la cantidad de usuarios; de este modo, con GPON se pueden tener tráficos de hasta 2.5 Gbps descendente y 1.25 Gbps ascendente; y hasta 128 usuarios por puerto GPON (Arias, 2015; Castro, 2019).

Tabla 3

Tabla comparativa entre estándares PON

Características	BPON	EPON	GPON
Estándar	ITU-T G.983x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984x
Velocidades de transmisión	Bajada: 622 Mbps Subida: 622 Mbps	Bajada: 1244 Mbps Subida: 1244Mbps	Bajada: 2488 Mbps Subida: 1244Mbps
Modo de tráfico	ATM	Ethernet	Ethernet
Radio de división óptico	1:32	1:32	1:128
Eficiencia típica	Bajada: 83% Subida: 80%	Bajada: 73% Subida: 61%	Bajada: 93% Subida: 94%

Nota. Elaboración propia con base en *Redes: protocolos y estándares*, por Gonzales, A.

(2009) <http://www.mailxmail.com/curso-redes-estandares-3/pon>

2.5. GPON

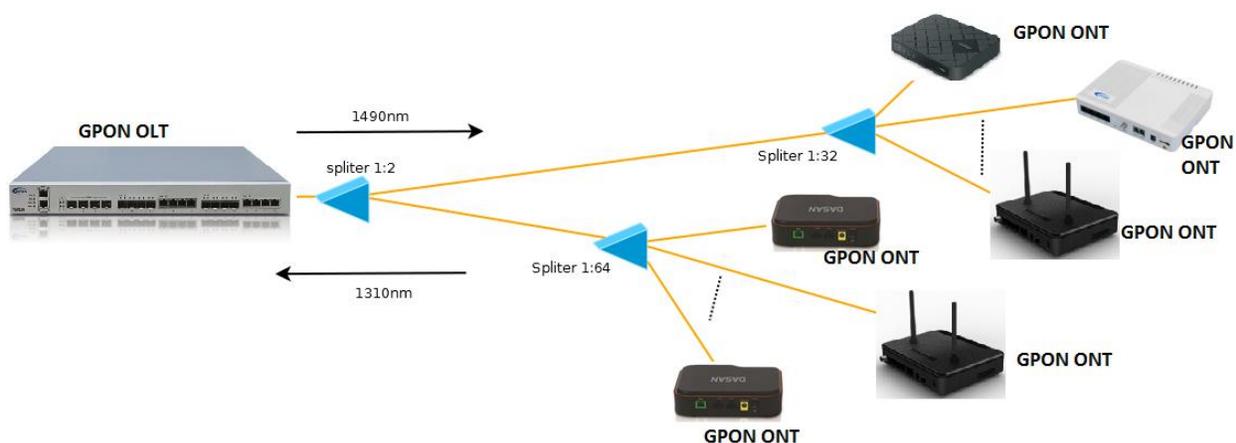
Como se explicó anteriormente, GPON es un tipo de red pasiva óptica que cuenta con muchas funcionalidades y usos en el campo de las telecomunicaciones, incluyendo el estado del arte actual de video vigilancia a niveles distritales. A continuación, se explicará con más detalle la arquitectura de esta red, sus principales elementos, sus ventajas y desventajas.

2.5.1. Arquitectura

La red GPON puede ser tan grande como su escalabilidad lo permite. Sin embargo, la Figura muestra una arquitectura sencilla. Esta red parte desde un elemento central llamado OLT, desde donde se inicia la transmisión de las señales luminosas, y desde donde empieza el despliegue de la fibra óptica. En el centro existen elementos divisores de potencia; y finalmente la señal de fibra óptica termina en un dispositivo terminal denominado ONT. Todos los elementos, y su funcionamiento dentro de esta red GPON se explicarán con mayor detalle en el siguiente numeral.

Figura 11

Arquitectura básica de una red GPON



Nota. Obtenido de *Repositorio Wikimedia* por Radq4

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/ba/GPON_topology.png

2.5.2. Elementos de una red GPON

Los principales elementos de una red GPON son los siguientes:

OLT: Es el equipo activo principal de esta red. Normalmente está ubicado e instalado en la Oficina Central, el Centro de Datos o Cuarto de Comunicaciones. Desde estos equipos empezará la comunicación óptica de la red GPON. Dependiendo del tipo y modelo, pueden contar con una gran cantidad de puertos PON; como se explicó anteriormente, cada puerto PON puede conectar hasta 128 equipos terminales.

Transceiver Óptico: Son los cristales que irán instalados en los puertos PON que se deseen utilizar en la OLT. Tienen varias clases, y cada una entrega una potencia luminosa diferente. Se deben dimensionar adecuadamente con el fin de abastecer la potencia óptica que demanden los equipos terminales que este conecte y las atenuaciones asociadas a las distancias de fibra, empalmes, conectorizaciones, etcétera.

Distribuidor Interno Óptico: Es un equipo pasivo que usualmente estará instalado cerca al OLT. Su función es la de brindar conexiones ordenadas de todos los hilos y cables de fibra óptica que se utilizarán del equipo OLT. Este componente es el mismo tipo de distribuidor que se usaría en otra red convencional de fibra óptica para la distribución y ordenamiento.

Fibra Óptica: Es el medio de transmisión usado en esta red. En una red GPON se pueden usar varios tipos de fibra óptica. Ya sean debido a su tipo de tendido: aéreo o subterráneo, dependiendo de la zona y la geografía de cada área en específico de la red; o ya sea debido a su tamaño: Como una red GPON se basa en multiplexaciones, y como se ha mencionado antes, desde un solo puerto PON se pueden conectar una gran cantidad de equipos terminales; en todas las partes de la red no va a ser necesario utilizar cables de fibra óptica de igual cantidad de hilos; mientras más cercano se encuentre a los puntos terminales, menor será la cantidad de hilos de fibra

que se necesitarán en los cables; sin embargo, mientras más cercano se encuentre al OLT se necesitarán cables de más cantidad de hilos de fibra para abastecer a todos los equipos terminales.

Splitter óptico: Es un equipo divisor óptico pasivo. Este elemento es precisamente el que permite que una red GPON sea escalable y útil para múltiples accesos; y lo que le da esta gran ventaja en comparación con redes punto a punto. Mediante un splitter, se puede dividir la señal de entrada en varias señales de salida y obtener señales con la misma longitud de onda, pero con menores potencias; con esto se logra con una sola señal de entrada (un solo hilo de fibra) obtener múltiples señales de salida. Como una red GPON permite 128 usuarios por puerto PON; este tipo de redes permite usar splitters de hasta 128 salidas. En la Figura 11, se observan 2 niveles de división, que es una práctica muy usada: cerca a la OLT un primer splitter 1:2, y luego más cercano a los equipos terminales otro de 1:64.

ONT: Es el equipo terminal de la red; se trata de un equipo activo que es el que recibirá la señal óptica que ha sido transmitida desde el OLT, pasando por los splitters; una vez llegada la señal óptica, este equipo tiene la función de filtrar la información óptica que le llega, descartar las tramas que no son destinadas hacia este, y finalmente convertir la información óptica en señal eléctrica. Este equipo conectará mediante sus puertos Ethernet a los equipos terminales que serán parte de esta red de fibra óptica, como computadoras, sensores IP; o como en el caso del presente trabajo de tesis, cámaras de video vigilancia.

Cajas de Empalme. Así como los siguientes elementos de la lista, este es un elemento secundario. Debido a que una red GPON divide muchas señales ópticas, con frecuencia serán necesarios realizar los empalmes de los cables, ya sea porque se necesita seguir rutas diferentes en el despliegue, añadir rutas nuevas, o hacer uso de un tipo diferente de cable de fibra óptica por

algún motivo. La caja de empalme se encarga de poder realizar las fusiones de los hilos de fibra óptica. Se debe tener en cuenta que cada empalme añade una atenuación a la potencia óptica.

Caja de Terminación: Es otro elemento secundario, en donde se realizará el último empalme o conectorización de la fibra óptica antes de que se conecte a la ONT.

Pigtails: Son hilos de fibra óptica que en un extremo tiene una conectorización de un puerto óptico. Estos pigtails se ubican usualmente en las cajas de terminación; con su lado conectorizado conectarán a las OLT y con su extremo no conectorizado se fusionará a la fibra que llega.

Patch Cords: Servirán para conectar la OLT hacia el distribuidor interno óptico; y también para conectar las cajas de terminación con las ONT.

2.5.3. *Ventajas y Desventajas*

Las grandes ventajas de una red GPON son las siguientes (Arias, 2019):

- **Económica:** El uso característico de elementos pasivos en este tipo de redes hace que los costos de despliegue, así como los de mantenimiento sean menores con respecto a las redes convencionales de punto a punto.
- **Largo Alcance:** Respecto a otras redes PON, la distancia que puede recorrer la fibra óptica entre la OLT y las diferentes ONTs es de hasta 20km, mientras que otras solo llegan hasta 3km.
- **Gran Ancho de Banda:** Sus anchos de banda de subida d 2.5 Gbps, y de bajada 1.25 Gbps lo hacen ideal para aplicaciones de altas velocidades como son videos y streaming.

No obstante, el GPON tiene ciertas limitaciones, y a continuación se listarán algunas de las principales (Arias, 2019):

- La inserción de elementos ópticos pasivos provoca que existan atenuaciones; los splitters son divisores ópticos, por lo que inducen pérdidas de potencia en la señal. Se tiene que ser muy precisos con el presupuesto óptico para asegurar la idoneidad de este tipo de redes en sus aplicaciones.
- Debido a que se utiliza un mismo canal físico para llegar a diferentes equipos terminales, se incrementa el riesgo de interceptaciones indeseadas; este riesgo es mayor en redes GPON en las cuales los usuarios finales son usuarios diferentes, como es el caso de viviendas. Este inconveniente debe ser solucionado con altos niveles de encriptación.
- Otro riesgo asociado al anterior es que una caída de un enlace físico cercano a la zona de concentración podría provocar la pérdida del servicio en múltiples usuarios finales; por esto, es imprescindible contar con hilos de fibra óptica de respaldo, que permitan o bien redundancia física, o bien la facilidad de restaurar estos enlaces de manera rápida.

Considerando todo lo expuesto en el presente capítulo, y conociendo las grandes ventajas que este tipo de tecnologías presenta, trabajos similares y el estado del arte de la tecnología aplicada a la seguridad ciudadana; así como también conociendo sus limitaciones y sabiendo los mecanismos de solución ante tales, se optó por utilizar redes GPON para el presente trabajo de tesis, con el fin de tener un sistema de video vigilancia con fibra óptica para mejorar y ampliar los servicios de seguridad ciudadana en la ciudad de Huancavelica.

CAPÍTULO III

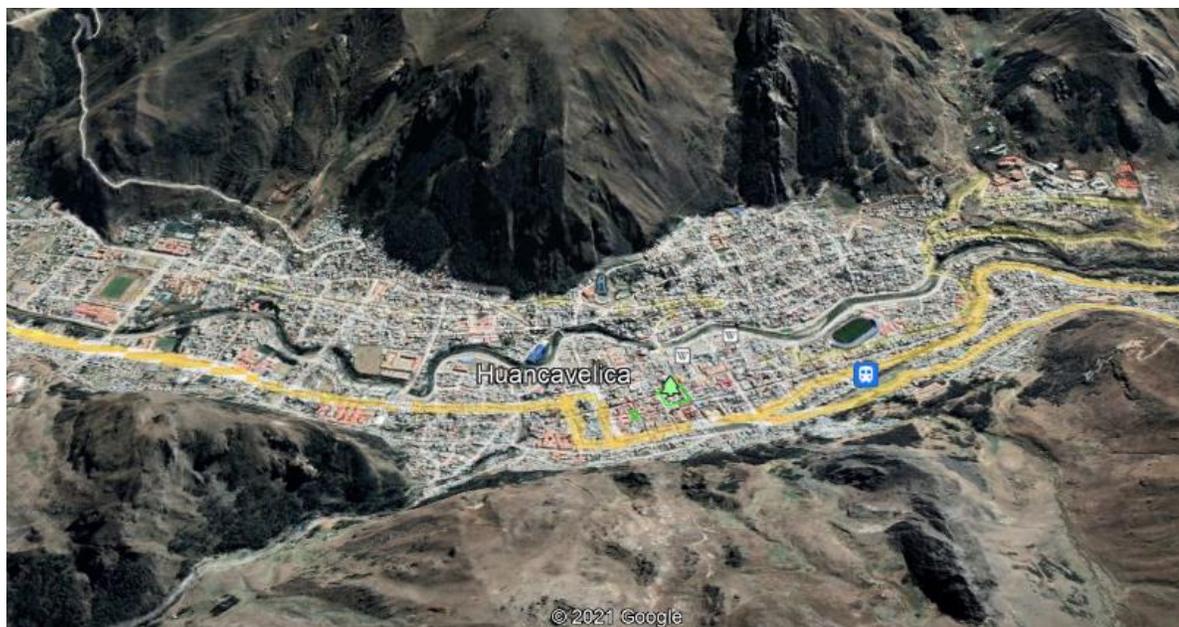
DISEÑO DEL SISTEMA DE VIDEOVIGILANCIA

3.1. Zona de intervención

El presente capítulo tiene la finalidad de explicar el diseño del sistema de video vigilancia por medio de fibra óptica que se instalará en el distrito de Huancavelica, provincia de Huancavelica con el fin de dar solución a los problemas identificados en el capítulo 1, así como haciendo uso de las tecnologías evaluadas y explicadas en el capítulo 2. El despliegue de la red GPON de fibra óptica comprende la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, la cual se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Ciudad de Huancavelica: Lugar del despliegue de la red GPON



Nota. Elaboración propia. Obtenido con Google Earth. El distrito de Huancavelica se encuentra en una zona sinuosa de la sierra peruana. Por las condiciones geográficas y el alcance del presente trabajo de tesis, la red GPON se diseñará en la ciudad de Huancavelica.

3.2. Ubicación de Centro de Operaciones de Seguridad Ciudadana

El Centro de Operaciones de Seguridad Ciudadana (COSC) no es importante solo por el patente hecho que es donde se realizarán todas las actividades de monitoreo de las imágenes de video de las cámaras, y todas las estrategias y operaciones relacionadas con la seguridad ciudadana y de serenazgo, sino también porque será el lugar desde donde iniciará el despliegue de toda la red GPON. En este local, estará ubicado el terminal OLT y sus terminales PON desde donde partirá toda la conexión óptica.

La municipalidad cuenta actualmente con una infraestructura en construcción, donde operará a futuro el nuevo COSC: la Figura 13 esboza la arquitectura externa planteada de esta nueva infraestructura; mientras que en las Figura 14 se presenta el mapa de ubicación del terreno dispuesto para esta nueva construcción, la cual estará sitiada en la intersección de la Avenida Escalonada con la Avenida 28 de abril.

Figura 13

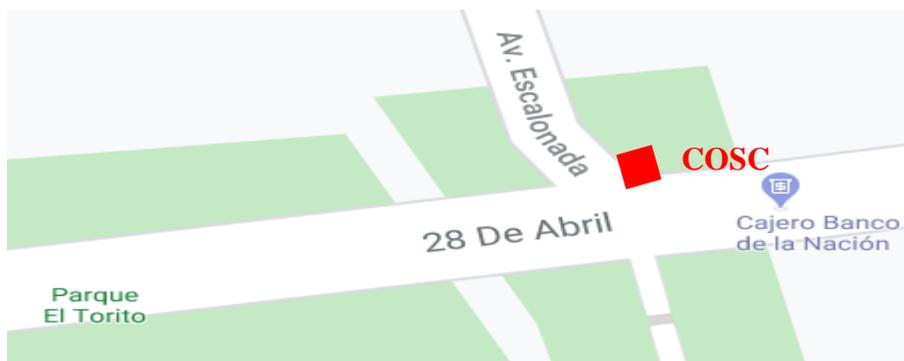
Infraestructura del COSC



Nota. Obtenido de Expediente Técnico de Obra - Componente “Adecuados y Suficientes Ambientes para las Unidades de Serenazgo – Centro de Control y Operaciones”

Figura 14

Mapa de Ubicación del Terreno



Nota. Elaboración propia. Obtenido con Google Maps.

3.3. Elección de las ubicaciones de las cámaras

Con la finalidad de elegir las mejores ubicaciones para la ubicación de las cámaras de video vigilancia que formarán parte de la red CCTV a instalar, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se visitó el actual Centro de Seguridad Ciudadana, para obtener las impresiones y conformidades del personal de Serenazgo.
- Se identificaron las zonas álgidas de ocurrencia de acciones delictivas, según Mapa del Delito (ver Anexo 01).
- Se inspeccionó la zona para evaluar las cámaras existentes, y se identificaron las operativas, de buena calidad y de reciente instalación, para poder integrarlas a la red propuesta.

Seguidos estos pasos, se obtuvo la siguiente información:

- Como parte de la actual red de CCTV, la municipalidad cuenta con 15 cámaras instaladas y montadas en poste, conectadas por Radio Enlaces.
- De estas 15 cámaras, solo 3 fueron recientemente instaladas y son factibles de integrarse a una red IP, a su vez que están ubicadas en zonas identificadas como peligrosas según mapa del delito.
- Existen 38 ubicaciones adicionales en las que -con las consideraciones explicadas- se instalarán las cámaras de video vigilancia.

De los motivos anteriores, se plantearon las 41 ubicaciones listadas en la Tabla 4, donde también se muestra el estado de la cámara y el poste pertenecientes a cada una de estas ubicaciones. Existen 13 postes existentes, mientras que se tendrán que colocar 37 postes nuevos; asimismo, existen 3 cámaras existentes que se integrarán a la red propuesta.

Tabla 4

Ciudad de Huancavelica: Lugar del despliegue de la red GPON

Nomenclatura	Referencia	Latitud	Longitud	Cámara	Poste 13 m
CAM 1	Av. Andrés Avelino Cáceres / Garcilazo de la Vega	-74,988796	-12,784919	Nueva	Nuevo
CAM 2	Av. Andrés Avelino Cáceres alt. Seminario Menor	-74,984646	-12,786035	Nueva	Existente
CAM 3	Malecón Fray Martín / Jr. Las Peñas	-74,984500	-12,783778	Nueva	Nuevo
CAM 4	Av. Andrés Avelino Cáceres / Jr. Cuzco	-74,983222	-12,786667	Nueva	Nuevo
CAM 5	Puente Cuzco	-74,980250	-12,786833	Nueva	Nuevo
CAM 6	Av. Andrés Avelino Cáceres / Jr. M Ulloa	-74,979264	-12,787529	Nueva	Existente
CAM 7	Jr. Huancavelica / Jr. Acobamba	-74,978833	-12,786639	Nueva	Nuevo
CAM 8	Av. Augusto B. Leguía / Jr. Colonial	-74,977928	-12,788801	Nueva	Nuevo
CAM 9	Jr. Jorge Chávez / Jr. Colonial	-74,977083	-12,787611	Nueva	Nuevo
CAM 10	Jr. Virrey Toledo / Jr. García de los Godos	-74,975833	-12,787874	Nueva	Existente
CAM 11	Jr. Torre Tagle / Jr. Antonio Raimondi	-74,973889	-12,788792	Nueva	Nuevo
CAM 12	Augusto B. Leguía / Jr. Manco Cápac	-74,972118	-12,788764	Nueva	Nuevo
CAM 13	Augusto B. Leguía / Av. Los Chancas	-74,970472	-12,788444	Nueva	Existente
CAM 14	Victoria Garma / Nicolás de Piérola	-74,975436	-12,786210	Nueva	Nuevo

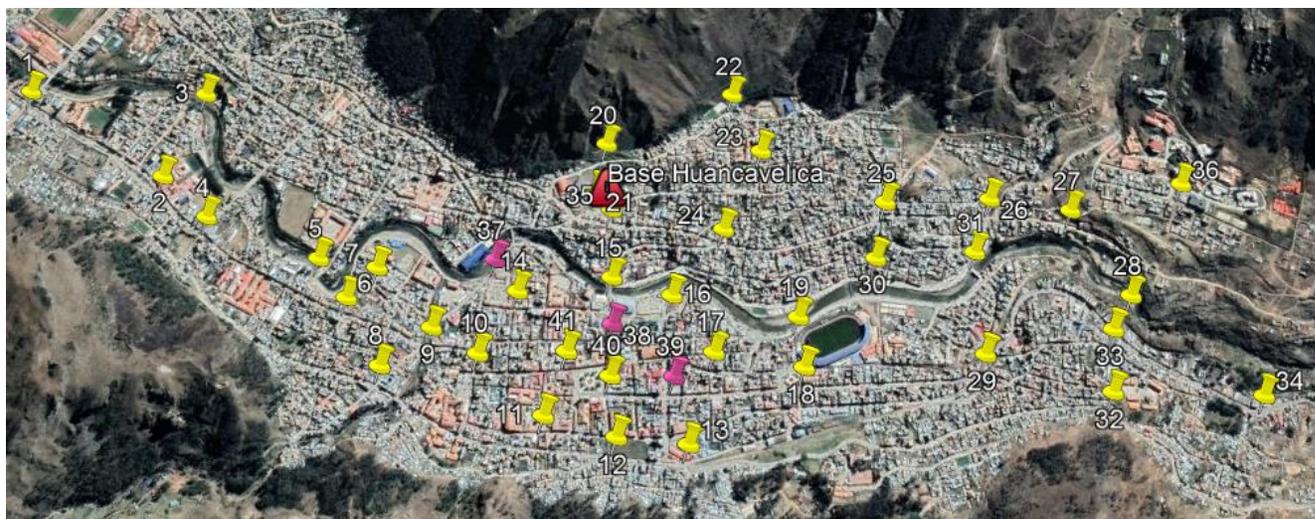
CAM 15	Malecón Santa Rosa / Manco Cápac	-74,973387	-12,785250	Nueva	Nuevo
CAM 16	Victoria Garma / Sebastián Barranca	-74,971880	-12,785245	Nueva	Nuevo
CAM 17	O 'Dónovan / José M. Chávez	-74,970526	-12,786246	Nueva	Nuevo
CAM 18	Plaza Mariscal Castilla	-74,968393	-12,785976	Nueva	Nuevo
CAM 19	Malecón Santa Rosa / Psje. Angamos	-74,968850	-12,784876	Nueva	Nuevo
CAM 20	Jr. Potocchi / Atrás Piscina	-74,974108	-12,781929	Nueva	Nuevo
CAM 21	Base de Serenazgo (Piscina Municipal)	-74,974390	-12,783445	Nueva	Existente
CAM 22	Jr. Potocchi / Psje. Calcuchimac	-74,971952	-12,779978	Nueva	Nuevo
CAM 23	Plaza de San Cristóbal	-74,970852	-12,781180	Nueva	Nuevo
CAM 24	Av. San Cristóbal / Jr. Túpac Amaru	-74,971168	-12,783339	Nueva	Nuevo
CAM 25	Av. 28 de abril / Calle Echenique	-74,967581	-12,781553	Nueva	Nuevo
CAM 26	Prolog. 28 de abril / Av. Universitaria	-74,965150	-12,780734	Nueva	Nuevo
CAM 27	Prolog. 28 de abril alt. UNH	-74,960722	-12,780889	Nueva	Nuevo
CAM 28	Av. Los Incas / Psje. S/N (alt puente colgante)	-74,961354	-12,782074	Nueva	Nuevo
CAM 29	Av. Augusto B. Leguía / Francisco Angulo	-74,964377	-12,784452	Nueva	Existente
CAM 30	Prolog. Virgen del Carmen / Calle Echenique	-74,967450	-12,782966	Nueva	Nuevo
CAM 31	Puente del Ejército	-74,965197	-12,782131	Nueva	Existente
CAM 32	Av. Los Chancas alt. Arco de Santa Inés de Pata	-74,961306	-12,784444	Nueva	Nuevo
CAM 33	Prolog. Manchego Muñoz / Psje. Olmo	-74,961595	-12,782995	Nueva	Nuevo
CAM 34	Av. Los Incas S/N Salida a Huancayo	-74,957890	-12,783500	Nueva	Nuevo
CAM 35	Av. 28 de abril / Escalinata	-74,973917	-12,783661	Nueva	Nuevo
CAM 36	Universidad Nacional de Huancavelica	-74,960722	-12,778991	Nueva	Existente
CAM 37	Jr. Agustín Gamarra / Jr. Manco Cápac	-74,976203	-12,785654	Existente	Existente
CAM 38	Av. Manchego Muñoz / Jr. Sebastián Barranca	-74,973030	-12,786320	Existente	Existente
CAM 39	Malecón Santa Rosa / Jr. Tambo de Mora	-74,971260	-12,787069	Existente	Existente
CAM 40	Av. Manchego Muñoz / Jr. Manco Cápac	-74,972690	-12,787477	Nueva	Existente
CAM 41	Jr. Virrey Toledo / Jr. Arequipa	-74,973855	-12,787226	Nueva	Existente

Nota. Elaboración propia

Estas 41 ubicaciones de las cámaras, así como la del COSC se pueden visualizar de una manera gráfica y conjunta en la Figura 15. Haber definido las posiciones geográficas es el primer paso para el diseño de la red de fibra óptica GPON.

Figura 15

Plano de ubicación de las 41 cámaras de video vigilancia del proyecto y COSC



Nota. Elaboración propia. Obtenido con Google Earth. En color amarillo, las 38 ubicaciones de cámaras nuevas, y en color rosa las 3 ubicaciones con cámaras existentes; el COSC en color rojo.

3.4. Características de las cámaras

De acuerdo con el estándar ITU-T G.984.1, se define el tipo de servicio que se brindará por medio de la propuesta red GPON como transmisión de video, para tal fin, el estándar recomienda las consideraciones principales a tener en cuenta como son el nivel de compresión del video, fotogramas por segundo, el ancho de banda, entre otros.

Para la selección de la cámara, que es el elemento central del sistema CCTV, se tomaron en consideración la calidad del fabricante y el producto, la resolución, su uso para exteriores, tecnologías de baja iluminación, y su capacidad de operación en condiciones geográficas y climáticas como la huancavelicana. Finalmente, se optó por elegir el fabricante líder en sistemas de video vigilancia Axis, y su modelo Q6055-E PTZ. La Figura 16 muestra la cámara elegida, y la Tabla 5 muestra algunas de sus características técnicas principales.

Figura 16*Cámara de video vigilancia AXIS Q6055-E*

Nota. Obtenido de *Hoja de Datos AXIS Q6055-E* por Axis Communications (2019)

https://www.axis.com/files/datasheet/ds_q6055_t10070811_es_1905.pdf

Tabla 5*Características técnicas de cámara Axis Q6055-E*

Característica	Valor
Sensor de imagen	CMOS de barrido progresivo 1/2.8"
Iluminación mínima	Color: 0.3 lux Blanco y negro: 0.03 lux
Movimiento	Horizontal: 360° Vertical: 220°
Zoom	32x óptico, 12x digital
Compresión	H.264
Resolución	HDTV 1920x1080
Velocidad de imagen	Hasta 30fps
Carcasa	IP67, NEMA 4X, IK10
Memoria	512 MB RAM, 256 MB Flash
Condiciones de funcionamiento	De -20° C a 50°C

Nota. Elaboración propia, obtenido de *Hoja de Datos AXIS Q6055-E*, por Axis

Communications (2019)

https://www.axis.com/files/datasheet/ds_q6055_t10070811_es_1905.pdf

Con los datos técnicos de las cámaras, y las condiciones de operación que estos dispositivos tendrán y el requerimiento de la municipalidad, se procederá a calcular los anchos de banda de cada uno de estos equipos para que sirvan como base para el correcto diseño y dimensionamiento de la red de fibra óptica GPON. La Figura 17 muestra el cálculo realizado desde la herramienta *Axis Site Designer*, de la que se obtiene que el ancho de banda requerido para cada cámara es de 10.73 Mbps, y de 440 Mbps para el total.

Figura 17

Cálculo del ancho de banda de las cámaras

Nombre ↕	Modelo ↕	Cantidad ↕	Escenario	Ancho de banda
 Nueva cámara	AXIS Q6055 60 Hz Cámara	41	Escenario exterior Intersección - Editada	440 Mbit/s
Total		41		440 Mbit/s

Nota. Cálculo realizado mediante software *Axis Site Designer*. <https://www.axis.com/tools/axis-site-designer>

3.5. Tipo de Arquitectura GPON

Como se mencionó en el capítulo 1, la red GPON tiene la característica de soportar 1.25/2.5 Gbps, el cual es considerablemente superior al ancho de banda total de la red de 41 cámaras propuestas. A su vez, se explicó que este tipo de red pasiva soporta un doble nivel de división óptica (por splitter) y que cada puerto PON de la OLT soporta hasta 128 dispositivos. Con todo lo expuesto, es evidente que con un solo puerto PON y cualquier esquema de división óptica permitirá conectar a las 41 cámaras sin inconvenientes; sin embargo, la distribución geográfica de las

ubicaciones y la garantía de un crecimiento escalable a futuro son factores que incidirán en un correcto diseño.

Por un lado, como lo muestra la Figura 15, el Centro de la Red GPON se encuentra en la parte norte de la ciudad, casi al centro; por lo que la mejor opción es disponer de dos líneas troncales de fibra como mínimo: una hacia la izquierda y otra hacia la derecha. Asimismo, la distribución de las cámaras permitirá que se puedan agrupar como máximo entre 4 cámaras en el segundo nivel de división óptico. Por todo esto, se elige que el segundo nivel de división óptico por splitter sea del tipo 1x8, para garantizar un crecimiento futuro del 100% para más cámaras o cualquier dispositivo IP como parlantes, sensores, etcétera.

Por otro lado, si bien se permiten hasta 128 dispositivos por puerto PON, la cual es una cantidad suficiente para la cantidad de cámaras propuestas en el presente trabajo; se optará por no usar un sistema de división óptica que permita 128 dispositivos sino solo 64. Esto debido a que el ancho de banda para una división que permita 128 dispositivos sería de máximo $1.25 \text{ Gbps} / 128 = 9.765 \text{ Mbps}$, el cual es menor que el máximo ancho de banda calculado que podría producir cada cámara (10.73 Mbps); si se hace una división para 64 dispositivos, el ancho de banda se duplicará nominalmente, alcanzando hasta 19.53 Mbps . De este modo, el primer nivel de división óptico también será del tipo 1x8.

3.6. Despliegue de Fibra Óptica

3.6.1. Fibra Óptica Troncal

El siguiente paso será el de definir los grupos de ubicaciones de cámaras cercanas que cumplan con los requerimientos definidos en el punto anterior, con el objetivo de definir la

ubicación del nodo de distribución de cada uno de estos grupos, que es desde donde se realizará el segundo nivel de división óptica por medio de splitter.

La Figura 18 muestra las diferentes agrupaciones de ubicaciones de cámaras que se realizaron después de la inspección visual en las zonas. Fueron un total de 10 grupos.

Figura 18

Agrupación de las ubicaciones de cámaras



Nota. Elaboración propia. Obtenido con Google Earth. Cada agrupación de cámaras es definida mediante un propio color

Luego de haber identificado las ubicaciones y los grupos de cámaras por su cercanía y los requisitos técnicos que fueron definidos, se recorrió la ciudad en búsqueda de identificar y determinar la mejor ruta troncal donde se desplegará el tendido de fibra óptica hasta los nodos de distribución respectivos: Estas calles y avenidas identificadas se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6*Listado de posibles calles y avenidas para la ruta de fibra troncal*

Número	Nombre
1	Avenida 38 de Abril
2	Avenida Celestino Manchego Muñoz
3	Victoria Garma
4	Jr. Manco Cápac
5	Jr. Virrey Toledo
6	Jr. Odonovan
7	Mariscal Andrés A. Cáceres

Nota. Elaboración propia

Luego de haber identificado estas posibles calles y avenidas por donde se desplegará la ruta troncal de fibra óptica, y con la finalidad de atender todos los requerimientos técnicos que fueron planteados anteriormente, se plantearon las siguientes rutas de Fibra Óptica:

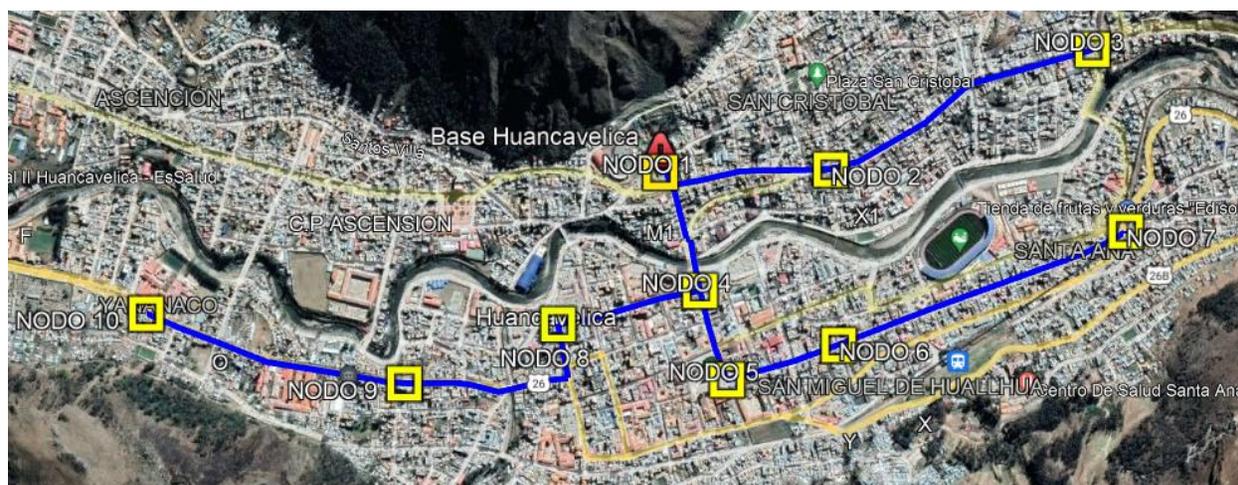
- Ruta de Fibra Óptica Troncal
- Ruta de Fibra Óptica de Acceso

Asimismo, existen los Nodos de Distribución que serán los que reciben los hilos de fibra óptica que llegan desde la ruta troncal, y luego de realizar las divisiones ópticas respectivas por medio de un spliter 1x8, entrega otro tipo de cable de fibra óptica que será la ruta de acceso de fibra óptica, que será la encargada de conectar directamente las cámaras de video vigilancia. Cada nodo de distribución conectará ópticamente cada grupo de cámaras definido previamente. La Tabla 7 lista estas ubicaciones, mientras que la Figura 19 expresa gráficamente estas ubicaciones, además de la ruta troncal de fibra óptica planteada.

Tabla 7*Ubicación de Nodos de Distribución Óptica de segundo nivel*

Nodo de distribución	Tipo de splitter	Ubicación
Nodo 1	1 x 8	8 de Agosto / Encíclica
Nodo 2	1 x 8	Av. 28 de Abril / Sinchi Roca
Nodo 3	1 x 8	Av. 28 de Abril / Av. Universitaria
Nodo 4	1 x 8	Jr. Manco Cápac / Victoria Garma
Nodo 5	1 x 8	Jr. Manco Cápac / Av. Celestino Manchego
Nodo 6	1 x 8	Av. Celestino Manchego / José M. Chávez
Nodo 7	1 x 8	Jr. Ordovan / Prol. Celestino Manchego
Nodo 8	1 x 8	Jr. García los Godos / Victoria Garma
Nodo 9	1 x 8	Av. Mariscal Andres. A. Cáceres / M. Ulloa
Nodo 10	1 x 8	Av. Mariscal Andrés A. Cáceres / Alt. Seminario

Nota. Elaboración propia

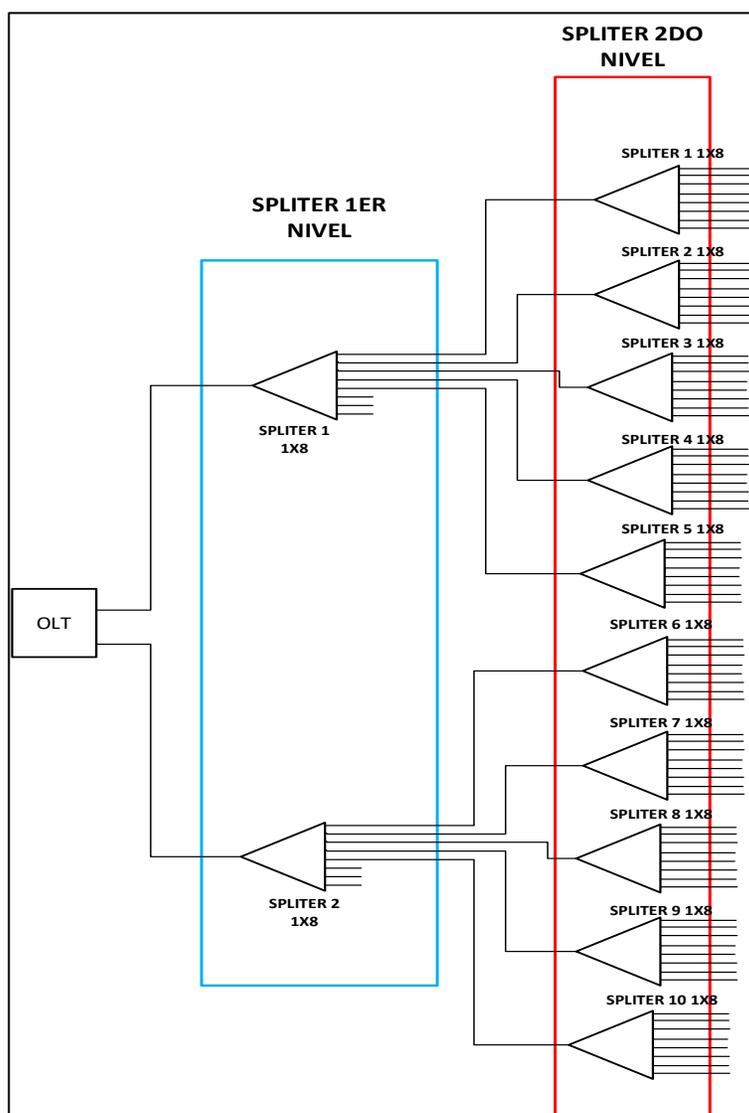
Figura 19*Ruta Troncal de Fibra Óptica y Nodos de Distribución*

Nota. Elaboración Propia. Obtenido con Google Earth. En color azul se traza la ruta toncal planteada de fibra óptica, mientras que los nodos de distribución se muestran en color amarillo.

Debido a que existen 10 nodos de distribución, y por ende existen 10 splitters de segundo nivel (1x8), se necesitan al menos 10 salidas de splitter de primer nivel: esto puede ser resultado con 1 splitter 1 x 16, o con 2 spliter 1 x 8. Como se explicó anteriormente, uno de 1 x 16 limitaría el ancho de banda cuando la cámara produzca tráfico a su máxima capacidad. Por tanto, se utilizarán 2 splitters 1x8, como muestra la Figura 20.

Figura 20

Diagrama de División Óptica Propuesto



Nota. Elaboración propia.

De la Figura 20 se observa que se necesitarán como mínimo 02 puertos PON de la OLT, 2 splitter 1x8 de primer nivel -los cuales se instalarán en el Centro de Datos, cerca al OLT- y 10 splitter 1x8 de segundo nivel, los mismos que estarán instalados en las Cajas de Empalme en los Nodos de Distribución definidos previamente. También, se observa que en el primer nivel de división se tienen 6 salidas libres, y en el segundo nivel, 39 libres (8x10-41), para futuros crecimientos.

3.6.2. Fibra Óptica de Acceso

Como siguiente paso en el diseño de la red de fibra óptica, se trazaron las rutas de fibra de acceso, estas son las que parten de los diferentes nodos de distribución y conectan a todas las cámaras del circuito de CCTV. La Figura 20 muestran en color rojo estas rutas de acceso junto a la gran ruta troncal.

Figura 21

Rutas de Fibra Óptica Troncal y de Acceso



Nota. Elaboración propia. Obtenido de Google Earth. La ruta de Fibra Óptica de Acceso se muestra en color rojo; mientras que la troncal, en azul.

De este modo, esta fibra óptica de acceso conectará a los spliter de segundo nivel con las cámaras del circuito CCTV, de la manera en como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Relación de Cámaras por Nodo de Distribución

Nodo de distribución	Spliter	Tipo de spliter	Cámaras
NODO 01	SPLITER 01	1 x 8	CÁMARA 20 CÁMARA 21 CÁMARA 22 CÁMARA 23 CÁMARA 24
NODO 02	SPLITER 02	1 x 8	CÁMARA 25 CÁMARA 30
NODO 03	SPLITER 03	1 x 8	CÁMARA 26 CÁMARA 31 CAMARA 27 CÁMARA 36
NODO 04	SPLITER 04	1 x 8	CÁMARA 15 CÁMARA 16 CÁMARA 38 CÁMARA 41
NODO 05	SPLITER 05	1 x 8	CÁMARA 12 CÁMARA 11 CÁMARA 13 CÁMARA 40 CÁMARA 35
NODO 06	SPLITER 06	1 x 8	CÁMARA 18 CÁMARA 19 CÁMARA 17 CÁMARA 39
NODO 07	SPLITER 07	1 x 8	CÁMARA 33 CÁMARA 34 CÁMARA 28 CÁMARA 29
NODO 08	SPLITER 08	1 x 8	CÁMARA 06 CÁMARA 07 CÁMARA 09 CÁMARA 08 CÁMARA 37
NODO 09	SPLITER 09	1 x 8	CÁMARA 14 CÁMARA 10 CÁMARA 01 CÁMARA 05
NODO 10	SPLITER 10	1 x 8	CÁMARA 02 CÁMARA 03 CÁMARA 04

Nota. Elaboración propia

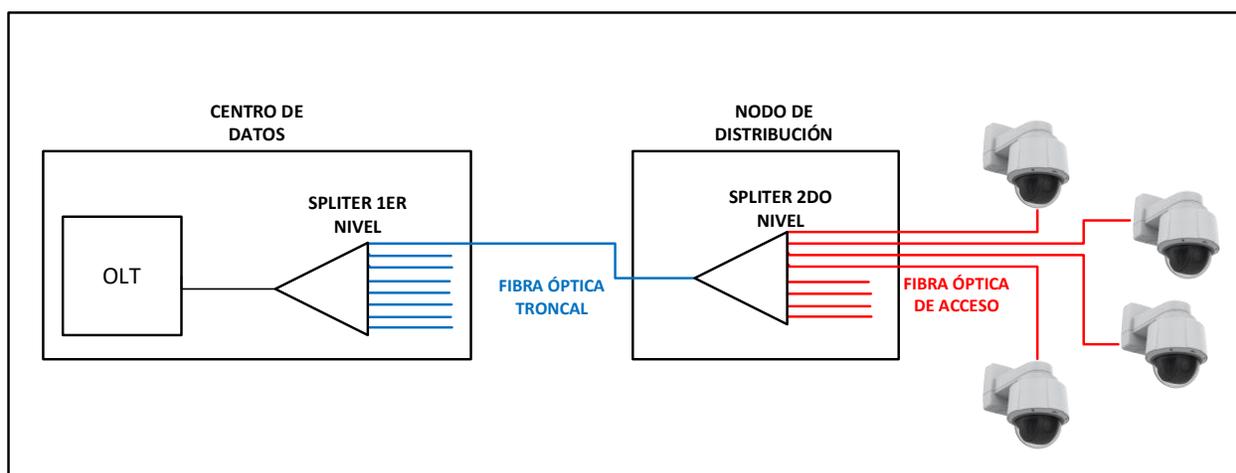
3.7. Selección de Equipos y Componentes

3.7.1. Cables de Fibra Óptica

Seguidamente, se procederá a definir los cables de fibra óptica que se emplearán en el presente diseño. Existen, principalmente dos tipos: el cable troncal, y el de acceso. En la Figura 22, se detalla el uso de cada uno de estos cables.

Figura 22

Cables de Fibra Óptica empleados en el diseño



Nota. Elaboración propia.

El tendido planteado será por vía aérea, por dicho motivo se deberá utilizar cables ADSS. Además, se seleccionarán vanos de 200m, que será la distancia máxima que deberá existir en el planteamiento de los postes, el cual se expondrá más adelante, y se detallará en el Anexo 02. Para seleccionar la cantidad de cables, se tendrá en cuenta el requerimiento actual, pero también la posibilidad de crecimiento a futuro, para nuevas cámaras de video vigilancia, así como agregación de cualquier dispositivo IP que tenga en proyecto adquirir la Municipalidad. Por otro lado, se consideran también, hilos de reserva que puedan ser usados ante eventuales contingencias que

puedan presentarse en los hilos operativos. Con estas consideraciones, los cables de fibra óptica quedaron definidos como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9

Tipo y cantidad de hilos de los cables de fibra óptica

Ruta	Tipo	Cantidad de hilos
Troncal	ADSS Monomodo	24 hilos
Acceso	ADSS Monomodo	06 hilos

Nota. Elaboración propia

Los cables de Fibra Óptica seleccionados para este trabajo, que cumplen con las normativas de una instalación pasiva y los requerimientos necesarios son del fabricante FURUKAWA. La Tabla 10 indica los modelos seleccionados, así como sus principales especificaciones técnicas.

Tabla 10

Principales especificaciones técnicas de Cables de Fibra Óptica

Característica	Cable de Fibra Troncal	Cable de Fibra Acceso
Fabricante	Furukawa	Furukawa
Modelo	OFS-AT-3BE17S6-024-CMCA	OFS-AT-3BE17S6-006-CMCA
Número de hilos	24	6
Vano Máximo	210.9m	211.7m
Atenuación Óptica	1310nm: 0.35 dB/km 1490nm: 0.27 dB/km	
Recubrimiento Primario	Acrilato	
Estándares	ITU-T G.652, ITU-T G.655, IEEE P1222, ANSI/ICEA S-87-640, Telcordia GR-20 CORE, ANSI/TIA/EIA 598-D, IEC-60794-1	
Carga Máxima de Operación	1659 N	
Radio Mínimo de Curvatura	Con carga: 15 x Diámetro exterior del cable Sin carga: 10 x Diámetro exterior del cable	
Temperatura de instalación	-30°C hasta 60°C	

Nota. Elaboración propia. Obtenido de Especificación Técnica ET02971 v0 – 2018.

<https://www.ds3comunicaciones.com/furukawa/files/19745108.pdf>

3.7.2. OLT

El equipo OLT instalado en el Centro de Datos requerirá, como se mencionó anteriormente y como se expresó en la Figura 20, mínimo 2 puertos PON; por otro lado, las distancias máximas considerando la suma de fibra troncal y fibra de acceso son las que existen entre las Cámaras 1, 5 y 34, hacia la OLT; estas distancias son respectivamente: 2195m, 2740m, y 2184m. Estos requerimientos fueron tomados en cuenta para la selección del equipo OLT, el cual será también del fabricante FURUKAWA, y su modelo FK-C2-RADC. La Tabla 11 muestra las principales características técnicas de dicho equipo.

Tabla 11

Principales especificaciones técnicas de equipo OLT

Característica	OLT
Modelo	FK-C2-RADC
Velocidad simétrica	1.25 Gbps
Cantidad de abonados	128
Alcance	20 km
Interfaces	2 PON SFP 2 Uplink (RJ45 + SFP) 2 Gerencia (RJ45)
QoS	Dynamic Bandwith Allocation para la gerencia de la banda de los abonados por puerta de ONT Configuración de ancho de banda garantizado
Multicast	IGMP Proxy
Monitoreo	Tráfico de las interfaces PON y de ONT Test de link de fibra entre OLT y ONTs Diagnóstico de conectividad
Seguridad	Autenticación RADIUS y TACAS+ Acceso vía SSL y SSH
Interfaz	Interfaz gráfica intergada de tipo serveless

Nota. Elaboración propia. Obtenido de Especificación Técnica ET02770 v0 -2019

<https://www.furukawatam.com/es/versao-et-pdf/olt-epon-1ru-modelo-fk-c2-radc>

3.7.3. ONT

Para la selección del equipo ONT, se siguieron todos los requerimientos que ya fueron descritos para el presente diseño de la red pasiva óptica; asimismo, se debe contar con un equipo terminal de red que cuente con más de 1 interface de red, de modo que posteriormente se pueda conectar un equipo IP adicional a la cámara en cada una de las ubicaciones de estas, y que sea lo suficientemente pequeño y robusto para ser instalado en un gabinete exterior adosado al poste de la cámara. El equipo que cumple con estas condiciones y también asegura un correcto presupuesto óptico, como se explicará más adelante, y que además es compatible con el OLT seleccionado es el modelo FK-20L del mismo fabricante Furukawa. La Tabla 12 muestra las principales especificaciones técnicas de este terminal de red pasiva ONT.

Tabla 12

Principales especificaciones técnicas de equipo ONT

Característica	ONT
Modelo	FK-20L
Velocidad simétrica	1 Gbps
Interfaces	1 puerto PON SFP IEEE 802.3ah 1 x 100BASE-TX 1 x 1000BASE-T
Alcance	20 km
Potencia óptica	Transmisión: 0dbm – 4dbm Recepción: -26dbm a -3dbm
Longitud de onda	Transmisión: 1310 nm Recepción: 1490 nm
Consumo de energía	< 3.6 W
Monitoreo	Control del estado de la puerta Modo auto-negociación / forzado
Control de tráfico	Frames Broadcast transferidos Frames Multicast transferidos
Dimensiones	139 x 26.8 x 101.5 mm

Nota. Elaboración propia. Obtenido de Especificación Técnica 2559–v6-2014

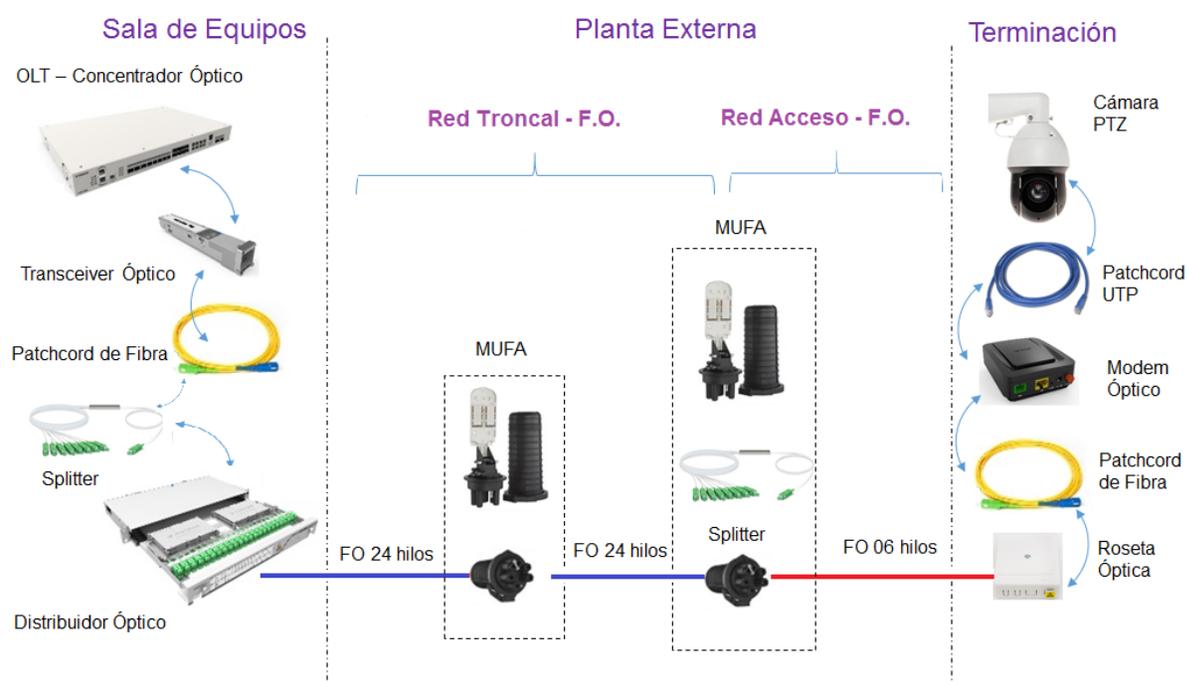
<https://www.furukawatam.com/es/versao-et-pdf/modem-optico-epon-fk-onu-e200b>

3.7.4. Accesorios de Fibra Óptica

Anteriormente se han descrito los principales componentes de la red de fibra óptica diseñada; sin embargo, para que esta red sea funcional y de acuerdo con las normativas y buenas prácticas, es necesaria la participación de más accesorios de fibra óptica. La Figura 23 muestra un diagrama de conexiones de los equipos y accesorios de la red pasiva diseñada en el presente trabajo; esta muestra cómo es la ruta y las conexiones desde la OLT donde inicia la comunicación óptica hasta las cámaras de video vigilancia.

Figura 23

Diagrama de Conexiones de Red Pasiva Óptica



Nota. Elaboración propia.

Seguidamente, se brindará una breve descripción de estos elementos accesorios que completan la solución pasiva de fibra óptica.

- Sala de Equipos
 - Transceiver Óptico: Es el elemento transceptor óptico, el cual se deberá instalar en cada uno de los dos puertos PON de la OLT; desde estos elementos pasivos en su puerto SFP se emitirán las señales luminosas desde/hacia el equipo OLT. Este transceptor asegurará la velocidad de 1.25 Gbps y el alcance de 20 km.
 - Patch Cord de Fibra: Es un cable de fibra óptica monomodo Duplex de 2 metros de largo, con una salida SC-APC y la otra SC-UPC, esta última se conectará al transceiver de la OLT, mientras que el otro extremo conectará el splitter de primer nivel, el cual se definió como uno 1x8.
 - Splitter Óptico de Primer Nivel: Es el primer elemento divisor de potencia, y a la vez multiplexor de la señal óptica. Tendrá una entrada y 8 salidas. Se necesitarán dos: uno por cada puerto PON del equipo OLT. Entre ambos podrán repartir -luego de la agregación de los splitter de segundo nivel- la señal óptica hacia las 41 cámaras de video vigilancia.
 - Distribuidor Óptico. Es un elemento pasivo que se instalará en el gabinete de la Sala de Equipos, y su función principal será la de ordenar y distribuir cada uno de los hilos de fibra óptica que se desplegará en el diseño elaborado, tanto los que llevarán la energía óptica activamente, como los que quedarán instalados para reserva. En este equipo ingresarán los cables troncales de fibra óptica, y cada uno de sus hilos tendrá un puerto respectivo asignado luego de haberse realizado en él el respectivo empalme óptico.

- Planta Externa
 - Mufa: Es una caja de empalme óptico de exterior, su principal función es la de realizar las fusiones entre cables del mismo tipo (para dividirlo en rutas diferentes) o de diferente tipo (para hacer la transición entre cable troncal y de acceso); y también se encargará de proteger los puntos de fusión de fibra óptica en la planta externa debido a su diseño de cierre mediante sello, el cual evita el ingreso de humedad y aire al interior de la cavidad contenedora de las fibras.
 - Spliter Óptico de Segundo Nivel: Este es un segundo divisor óptico, a diferencia del primero que estará instalado en la Sala de Equipos, este estará dentro de una Mufa, en los Nodos de Distribución; también son del tipo 1 x 8, y son el elemento de transición entre el cable troncal de 24 hilos, y el cable de acceso de 6 hilos.
 - Otros: Otros elementos secundarios son las crucetas que sirven el almacenamiento de reservas de cables de fibra óptica en toda la ruta, y elementos de ferretería de retención y sujeción para el tendido aéreo de la fibra en los postes de concreto.
- Terminación
 - Roseta Óptica: Es el punto terminal óptico o especie de caja mural que permite hacer la terminación y el acondicionamiento del cable óptico de acceso; este contendrá un pigtail o extensión óptica donde se fusionará el cable de acceso que llega, y desde esta roseta se conectarán los equipos ONT.
 - Patch Cord de Fibra: Similar al Patch Cord descrito en la Sala de Equipos, pero este tendrá dos terminales SC-APC, y conectará la roseta con el equipo ONT.

- Patch Cord UTP: Finalmente, será la última conexión de la red. El equipo ONT conectará a las cámaras con una interface Ethernet RJ45 por medio de estos elementos.

3.8. Diagramas de Fibra Óptica

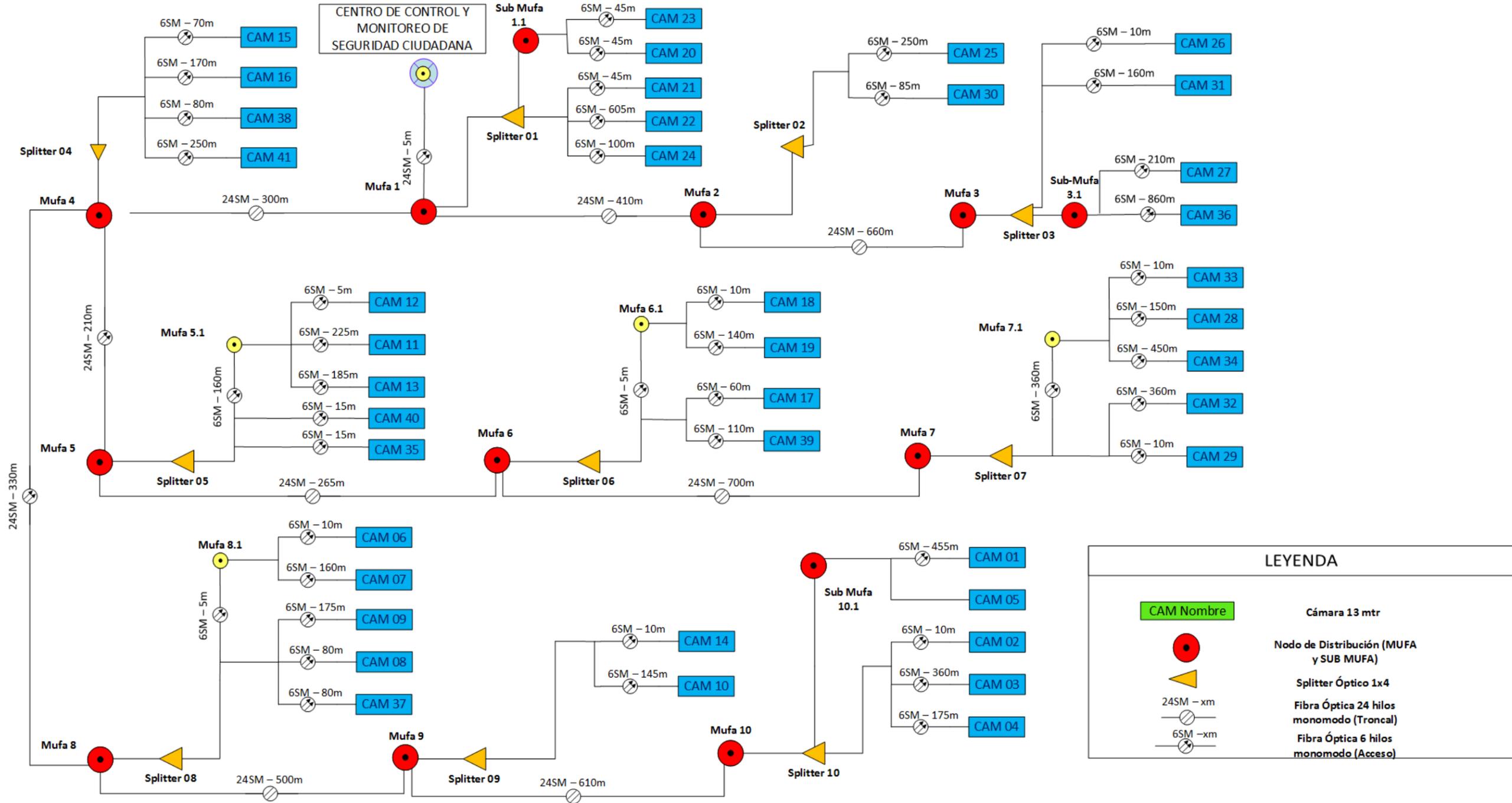
A continuación, se presentan los principales diagramas de detalle de la red óptica diseñada. En primer lugar, el Diagrama Esquemático Óptico mostrado en la Figura 24 detalla todas las conexiones esquemáticas de la red de fibra óptica, desde el Centro de Control y Monitoreo de Seguridad Ciudadana donde iniciará la comunicación óptica, hasta cada una de las cámaras de videovigilancia, pasando por todos y cada uno de los elementos intermedios como cajas de empalme o mufas, divisores ópticos o splitter, y cada tramo de cable de fibra óptica, tanto la troncal de 24 hilos como la de acceso de 06 hilos, y sus respectivos metrados.

Seguidamente, se muestran dos diagramas de instalación en las Figuras 25 y 26, en los cuales se muestran respectivamente detalles de la conexión e instalación físicas de la caja o gabinete NEMA utilizada para albergar los equipos utilizados en el poste en el que estará ubicada la cámara; y la instalación de este gabinete en el poste junto con la cámara. Estos diagramas detallan, a su vez, el uso de elementos accesorios a la red de fibra óptica planteada, como son un equipo UPS para brindar energía eléctrica estabilizada, así como otros accesorios y cableado eléctrico, que son elementos complementarios a la red que se diseña en el presente trabajo, pero que se muestra con un detalle mayor sobre todo en la Figura 25.

3.8.1. Diagrama Esquemático Óptico

Figura 24

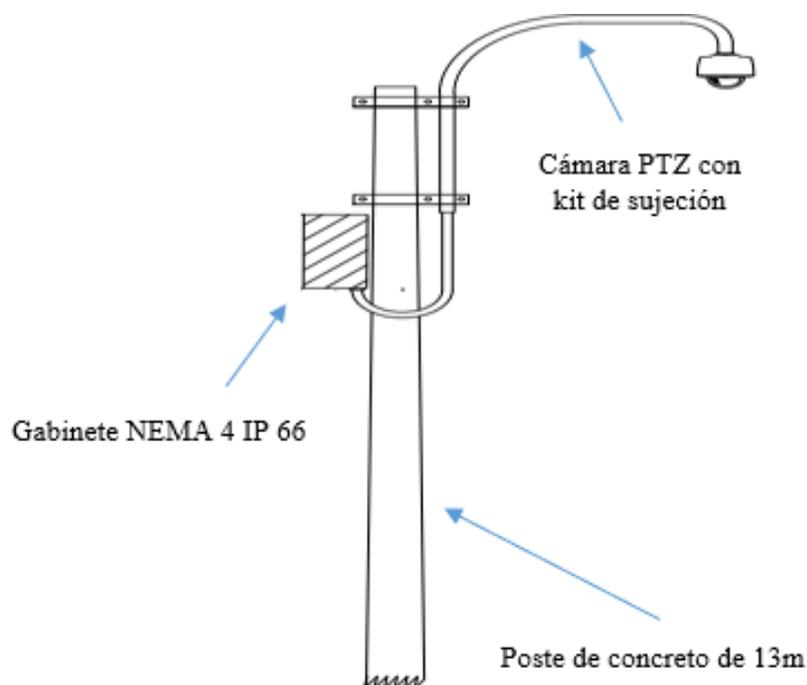
Diagrama Esquemático de Red de Fibra Óptica



Nota. Elaboración Propia

Figura 26

Diagrama de Instalación de Cámara y Gabinete NEMA en poste de concreto



Nota. Elaboración propia.

3.9. Presupuesto Óptico

En esta sección, se detallará un aspecto importante en todo diseño de una red PON. El llamado presupuesto óptico o presupuesto de potencia es un estudio que se realiza para calcular que la potencia de la señal que reciben los equipos terminales de red (ONT) se encuentra en el rango que estos equipos aceptan. Se recuerda que la señal luminosa que sale del equipo OLT con una determinada potencia, a lo largo de todo el trayecto de la fibra óptica, ha sido afectada por una degradación o atenuación de potencia, ya sea por las fusiones o las conectorizaciones que se realizan entre las fibras, así como la atenuación producida en el propio cable debido a las largas longitudes, pero sobre todo y de mayor atenuación, debido a las divisiones ópticas realizadas por intermedio de los splitter.

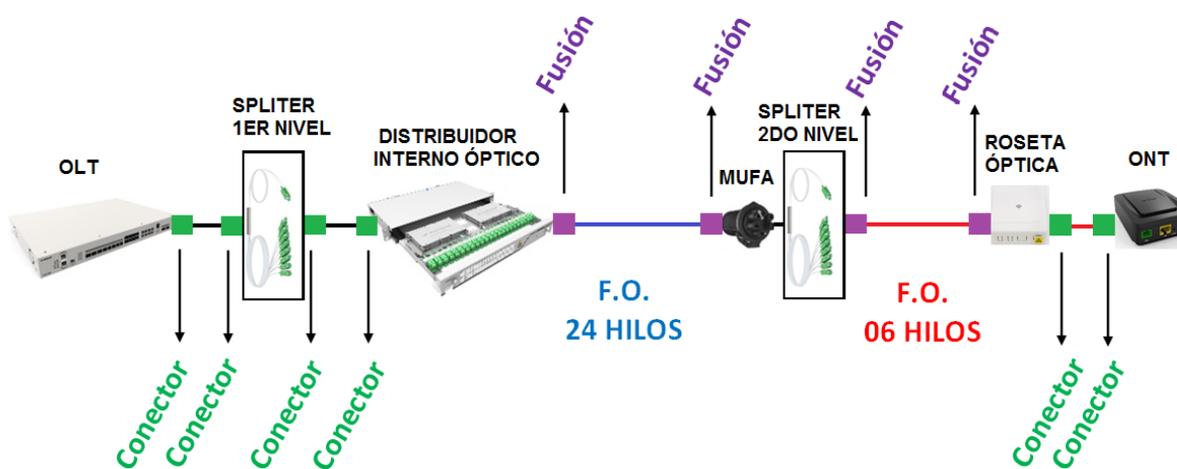
Si bien, tanto para la emisión como para la recepción de las señales ópticas, se tienen diferentes atenuaciones de potencia del cable de fibra óptica, esta atenuación es de mayor orden en la recepción, por cuanto si se demuestra que en la recepción se tiene suficiente potencia, se concluirá que será igual para la emisión de la señal. Todos estos factores que generan degradaciones en la señal óptica tienen sus propias magnitudes aproximadas, las mismas que se expresan a continuación:

- Distancia: - 0.4 dB por kilómetro
- Fusión: - 0.02 dB por fusión
- Conector: - 0.05 dB por conector
- Spliter de 1x8: -10.5 dB

Asimismo, la Figura 27 muestra la ruta que sigue la señal óptica en todo su recorrido, así como todos estos elementos de atenuación de potencia.

Figura 27

Diagrama de fusiones y conectorizaciones de la fibra óptica



Nota. Elaboración propia

3.9.1. Ecuación de Atenuación

Atenuación Total =

$$\begin{aligned} & \text{Atenuación Spliter Primario} + \text{Atenuación Spliter Secundario} \\ & + (\text{Atenuación Fibra Troncal}) \times (\text{Distancia Fibra Troncal}) \\ & + (\text{Atenuación Fibra Acceso}) \times (\text{Distancia Fibra Acceso}) \\ & + (\text{Atenuación en Empalme}) \times (\text{Cantidad de Empalmes}) \\ & + (\text{Atenuación en Conectores}) \times (\text{Cantidad de Conectores}) \end{aligned}$$

3.9.2. Cálculo de Presupuestos Ópticos

Tabla 13

Presupuesto Óptico General de los 41 enlaces ópticos

PUNTO	CENTRO DATOS				RECORRIDO								ONT				TOTAL		
	FUSION		CONECTORIZADO		SPLTER MODULAR 1X8		FUSIÓN		SPLITER 1X8		FIBRA TRONCAL 24h		FIBRA ACCESO 6h		CONECTORIZADO			FUSIÓN	
	CANT	VALOR	CANT	VALOR	CANT	VALOR	CANT	VALOR	CANT	VALOR	CANT	VALOR	CANT	VALOR	CANT	VALOR		CANT	VALOR
CAM 01	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.74	0.4	0.455	0.4	2	0.05	1	0.02	22.26
CAM 02	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.74	0.4	0.010	0.4	2	0.05	1	0.02	22.08
CAM 03	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.74	0.4	0.360	0.4	2	0.05	1	0.02	22.22
CAM 04	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.74	0.4	0.175	0.4	2	0.05	1	0.02	22.15
CAM 05	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.74	0.4	1.000	0.4	2	0.05	1	0.02	22.48
CAM 06	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.66	0.4	0.010	0.4	2	0.05	1	0.02	21.65
CAM 07	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.66	0.4	0.160	0.4	2	0.05	1	0.02	21.71
CAM 08	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.66	0.4	0.080	0.4	2	0.05	1	0.02	21.68
CAM 09	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.66	0.4	0.175	0.4	2	0.05	1	0.02	21.71
CAM 10	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.16	0.4	0.145	0.4	2	0.05	1	0.02	21.90
CAM 11	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.51	0.4	0.385	0.4	2	0.05	1	0.02	21.74
CAM 12	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.51	0.4	0.165	0.4	2	0.05	1	0.02	21.65
CAM 13	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.51	0.4	0.345	0.4	2	0.05	1	0.02	21.72
CAM 14	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.16	0.4	0.010	0.4	2	0.05	1	0.02	21.85
CAM 15	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.54	0.4	0.056	0.4	2	0.05	1	0.02	21.62
CAM 16	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.54	0.4	0.170	0.4	2	0.05	1	0.02	21.66
CAM 17	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.671	0.4	0.060	0.4	2	0.05	1	0.02	21.67
CAM 18	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.902	0.4	0.100	0.4	2	0.05	1	0.02	21.78

CAM 19	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.902	0.4	0.136	0.4	2	0.05	1	0.02	21.80
CAM 20	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.551	0.4	0.800	0.4	2	0.05	1	0.02	21.92
CAM 21	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.1	0.4	0.125	0.4	2	0.05	1	0.02	21.47
CAM 22	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.551	0.4	0.650	0.4	2	0.05	1	0.02	21.86
CAM 23	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.21	0.4	0.500	0.4	2	0.05	1	0.02	21.66
CAM 24	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.21	0.4	0.450	0.4	2	0.05	1	0.02	21.64
CAM 25	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.67	0.4	0.250	0.4	2	0.05	1	0.02	21.75
CAM 26	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.072	0.4	0.015	0.4	2	0.05	1	0.02	21.81
CAM 27	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.072	0.4	0.210	0.4	2	0.05	1	0.02	21.89
CAM 28	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.737	0.4	0.142	0.4	2	0.05	1	0.02	22.13
CAM 29	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.372	0.4	0.100	0.4	2	0.05	1	0.02	21.97
CAM 30	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.67	0.4	0.085	0.4	2	0.05	1	0.02	21.68
CAM 31	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.072	0.4	0.160	0.4	2	0.05	1	0.02	21.87
CAM 32	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.978	0.4	0.100	0.4	2	0.05	1	0.02	22.21
CAM 33	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.737	0.4	0.100	0.4	2	0.05	1	0.02	22.11
CAM 34	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.737	0.4	0.447	0.4	2	0.05	1	0.02	22.25
CAM 35	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.51	0.4	0.115	0.4	2	0.05	1	0.02	21.63
CAM 36	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	1.072	0.4	0.860	0.4	2	0.05	1	0.02	22.15
CAM 37	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.54	0.4	0.250	0.4	2	0.05	1	0.02	21.70
CAM 38	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.51	0.4	0.015	0.4	2	0.05	1	0.02	21.59
CAM 39	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.671	0.4	0.106	0.4	2	0.05	1	0.02	21.69
CAM 40	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.54	0.4	0.080	0.4	2	0.05	1	0.02	21.63
CAM 41	1	0.02	4	0.05	1	10.5	2	0.02	1	10.5	0.66	0.4	0.080	0.4	2	0.05	1	0.02	21.68

Nota. Elaboración propia. Los resultados se muestran en una escala de colores, donde los más verdes indican menores atenuaciones y los más rojos, las atenuaciones más grandes.

Con el fin de simplificar la información expresada en el Diagrama mostrado en la Tabla 13, se mostrarán a continuación los presupuestos ópticos de los 41 enlaces de fibra óptica planteados, pero agrupados por cada splitter de 1er nivel y de segundo nivel. Se sabe que, entre estos dos, se tiene una atenuación de $-10.5 + -10.5 = -21.0$ dB. Por lo que, en las Tablas del 14 al 23 que se muestran las atenuaciones de cada enlace óptico, se sigue la ecuación expresada anteriormente, por cada agrupación de splitter, tanto los de primer nivel como los de segundo nivel.

Tabla 14

Presupuesto Óptico – Splitter 1 + Splitter 1 (1er nivel y 2do nivel)

PUNTO	CENTRO DATOS		RECORRIDO		ONT		TOTAL (dB)	
	FUSIÓN	CONECTORIZADO	FUSIÓN	FIBRA TRONCAL 24h (km)	FIBRA ACCESO 6h (km)	CONECTORIZADO		FUSIÓN
CAM 20	1	4	2	0.551	0.800	2	1	21.92
CAM 21	1	4	2	0.1	0.125	2	1	21.47
CAM 22	1	4	2	0.551	0.650	2	1	21.86
CAM 23	1	4	2	0.21	0.500	2	1	21.66
CAM 24	1	4	2	0.21	0.450	2	1	21.64

Nota. Elaboración propia

Tabla 15*Presupuesto Óptico – Spliter 1 + Spliter 2 (1er nivel y 2do nivel)*

PUNTO	CENTRO DATOS		RECORRIDO			ONT		TOTAL (dB)
	FUSIÓN	CONECTORIZADO	FUSIÓN	FIBRA TRONCAL 24h (km)	FIBRA ACCESO 6h (km)	CONECTORIZADO	FUSIÓN	
CAM 25	1	4	2	0.67	0.250	2	1	21.75
CAM 30	1	4	2	0.67	0.085	2	1	21.68

Nota. Elaboración propia.**Tabla 16***Presupuesto Óptico – Spliter 1 + Spliter 3 (1er nivel y 2do nivel)*

PUNTO	CENTRO DATOS		RECORRIDO			ONT		TOTAL (dB)
	FUSIÓN	CONECTORIZADO	FUSIÓN	FIBRA TRONCAL 24h (km)	FIBRA ACCESO 6h (km)	CONECTORIZADO	FUSIÓN	
CAM 26	1	4	2	1.072	0.015	2	1	21.81
CAM 27	1	4	2	1.072	0.210	2	1	21.89
CAM 31	1	4	2	1.072	0.160	2	1	21.87
CAM 36	1	4	2	1.072	0.860	2	1	22.15

Nota. Elaboración propia.

Tabla 17*Presupuesto Óptico – Spliter 1 + Spliter 4 (1er nivel y 2do nivel)*

PUNTO	CENTRO DATOS			RECORRIDO		ONT		TOTAL (dB)
	FUSIÓN	CONECTORIZADO	FUSIÓN	FIBRA TRONCAL 24h (km)	FIBRA ACCESO 6h (km)	CONECTORIZADO	FUSIÓN	
CAM 15	1	4	2	0.54	0.056	2	1	21.62
CAM 16	1	4	2	0.54	0.170	2	1	21.66
CAM 38	1	4	2	0.51	0.015	2	1	21.59
CAM 41	1	4	2	0.66	0.080	2	1	21.68

Nota. Elaboración propia.**Tabla 18***Presupuesto Óptico – Spliter 1 + Spliter 5 (1er nivel y 2do nivel)*

PUNTO	CENTRO DATOS			RECORRIDO		ONT		TOTAL (dB)
	FUSIÓN	CONECTORIZADO	FUSIÓN	FIBRA TRONCAL 24h (km)	FIBRA ACCESO 6h (km)	CONECTORIZADO	FUSIÓN	
CAM 11	1	4	2	0.51	0.385	2	1	21.74
CAM 12	1	4	2	0.51	0.165	2	1	21.65
CAM 13	1	4	2	0.51	0.345	2	1	21.72
CAM 35	1	4	2	0.51	0.115	2	1	21.63
CAM 40	1	4	2	0.54	0.080	2	1	21.63

Nota. Elaboración propia.

Tabla 19*Presupuesto Óptico – Spliter 2 + Spliter 1 (1er nivel y 2do nivel)*

PUNTO	CENTRO DATOS		RECORRIDO		ONT		TOTAL (dB)	
	FUSIÓN	CONECTORIZADO	FUSIÓN	FIBRA TRONCAL 24h (km)	FIBRA ACCESO 6h (km)	CONECTORIZADO		FUSIÓN
CAM 17	1	4	2	0.671	0.060	2	1	21.67
CAM 18	1	4	2	0.902	0.100	2	1	21.78
CAM 19	1	4	2	0.902	0.136	2	1	21.80
CAM 39	1	4	2	0.671	0.106	2	1	21.69

Nota. Elaboración propia.**Tabla 20***Presupuesto Óptico – Spliter 2 + Spliter 2 (1er nivel y 2do nivel)*

PUNTO	CENTRO DATOS		RECORRIDO		ONT		TOTAL (dB)	
	FUSIÓN	CONECTORIZADO	FUSIÓN	FIBRA TRONCAL 24h (km)	FIBRA ACCESO 6h (km)	CONECTORIZADO		FUSIÓN
CAM 28	1	4	2	1.737	0.142	2	1	22.13
CAM 29	1	4	2	1.372	0.100	2	1	21.97
CAM 32	1	4	2	1.978	0.100	2	1	22.21
CAM 33	1	4	2	1.737	0.100	2	1	22.11
CAM 34	1	4	2	1.737	0.447	2	1	22.25

Nota. Elaboración propia.

Tabla 21*Presupuesto Óptico – Spliter 2 + Spliter 3 (1er nivel y 2do nivel)*

PUNTO	CENTRO DATOS		RECORRIDO		ONT		TOTAL (dB)	
	FUSIÓN	CONECTORIZADO	FUSIÓN	FIBRA TRONCAL 24h (km)	FIBRA ACCESO 6h (km)	CONECTORIZADO		FUSIÓN
CAM 06	1	4	2	0.66	0.010	2	1	21.65
CAM 07	1	4	2	0.66	0.160	2	1	21.71
CAM 08	1	4	2	0.66	0.080	2	1	21.68
CAM 09	1	4	2	0.66	0.175	2	1	21.71
CAM 37	1	4	2	0.54	0.250	2	1	21.70

Nota. Elaboración propia.**Tabla 22***Presupuesto Óptico – Spliter 2 + Spliter 4 (1er nivel y 2do nivel)*

PUNTO	CENTRO DATOS		RECORRIDO		ONT		TOTAL (dB)	
	FUSIÓN	CONECTORIZADO	FUSIÓN	FIBRA TRONCAL 24h (km)	FIBRA ACCESO 6h (km)	CONECTORIZADO		FUSIÓN
CAM 10	1	4	2	1.16	0.145	2	1	21.90
CAM 14	1	4	2	1.16	0.010	2	1	21.85

Nota. Elaboración propia

Tabla 23*Presupuesto Óptico – Spliter 2 + Spliter 5 (1er nivel y 2do nivel)*

PUNTO	CENTRO DATOS		RECORRIDO			ONT		TOTAL (dB)
	FUSIÓN	CONECTORIZADO	FUSIÓN	FIBRA TRONCAL 24h (km)	FIBRA ACCESO 6h (km)	CONECTORIZADO	FUSIÓN	
CAM 01	1	4	2	1.74	0.455	2	1	22.26
CAM 02	1	4	2	1.74	0.010	2	1	22.08
CAM 03	1	4	2	1.74	0.360	2	1	22.22
CAM 04	1	4	2	1.74	0.175	2	1	22.15
CAM 05	1	4	2	1.74	1.000	2	1	22.48

Nota. Elaboración propia.

El equipo ONT, como se mostró en la Tabla 12, tiene los siguientes parámetros de potencia:

- Potencia de Transmisión: 0db a 4db
- Potencia de Recepción: -26db a -3db

Por otro lado, se ha observado que la mayor atenuación se da en el enlace de la Cámara 05, cuyo valor es de -22.48db, el cual se encuentra en el rango de recepción del equipo ONT.

El cálculo es como sigue:

- Potencia Transmisión OLT – Atenuación = Potencia de Recepción de ONT

Que es lo mismo que:

- Potencia de Recepción de ONT + Atenuación = Potencia Transmisión OLT

Reemplazando los valores:

$$[-26, -3]db + 22.48db = [-3.52, 19.48]db$$

Lo cual indica que el valor de transmisión del equipo OLT debe estar en el rango de [-3.52, 19.48]db. El modelo de transceiver seleccionado tenía un rango de [4.5, 8]db; por ende, estos valores y el presupuesto óptico calculado y mostrado evidencian y garantizan que se podrá realizar la comunicación óptica en todos los enlaces.

3.10. Metrados de Fibra Óptica

La Tabla 24 muestra los metrados de la Fibra Óptica Troncal de 24 hilos, y la Tabla 25, el mismo detalle, pero para la Fibra de Acceso de 06 hilos, que se requerirá en el presente diseño. En el caso de la Fibra de 24 hilos, como se vio en la Figura 19, se tiene una gran troncal de fibra adicionada de 2 derivaciones; en el caso de la Fibra de 06 hilos, se muestran las medidas de los tramos de cada cable que parte desde su respectiva Mufa + Splitter. En ambas tablas, se muestran, además, tanto una columna de Guarda que se refiere a la suma de porciones de cables enrollados en crucetas para la reserva del cable, y también un adicional del 10% que garantizará la disponibilidad de la fibra en el tendido y despliegue de la misma.

Tabla 24

Metrados de Fibra Óptica Troncal – 24 hilos

24 hilos	F.O (m)	Guarda (m)	Adicional 10% (m)	Total (m)
Troncal	3173	800	315	4288
DERIVACIÓN 1	961	250	95	1306
DERIVACIÓN 2	1326	350	135	1811
TOTAL FIBRA ADSS 24 HILOS				7405 m

Nota. Elaboración propia

Tabla 25*Metrados de Fibra Óptica de Acceso – 06 hilos*

CÁMARA	Desde	SPLITER SEGUNDO NIVEL	FO 6H (m)	Guarda (m)	Adicional 10% (m)	Total (m)
CAM 20	SUB MUFA 1.1	SP-01	50	50	5	105
CAM 21	SUB MUFA 1.1	SP-01	50	50	5	105
CAM 22	SUB MUFA 1.1	SP-01	605	100	60	765
CAM 23	SUB MUFA 1.1	SP-01	50	50	5	105
CAM 24	SUB MUFA 1.1	SP-01	100	150	10	260
CAM 25	MUFA 02	SP-02	250	50	25	325
CAM 30	MUFA 02	SP-02	85	50	10	145
CAM 26	MUFA 03	SP-03	10	50	20	80
CAM 31	MUFA 03	SP-03	160	50	16	226
CAM 27	SUB MUFA 3.1	SP-03	210	150	50	410
CAM 36	SUB MUFA 3.1	SP-03	860	50	15	925
CAM 15	MUFA 04	SP-04	70	250	7	327
CAM 16	MUFA 04	SP-04	170	100	17	287
CAM 38	MUFA 04	SP-04	80	50	8	138
CAM 41	MUFA 04	SP-04	250	50	25	325
CAM 12	SUB MUFA 5.1	SP-05	5	50	1	56
CAM 11	SUB MUFA 5.1	SP-05	225	50	25	300
CAM 13	SUB MUFA 5.1	SP-05	185	50	20	255

CAM 40	SUB MUFA 5.1	SP-05	15	50	5	70
CAM 35	SUB MUFA 5.1	SP-05	15	50	5	70
CAM 18	SUB MUFA 6.1	SP-06	10	50	1	61
CAM 19	SUB MUFA 6.1	SP-06	140	50	14	204
CAM 17	SUB MUFA 6.1	SP-06	60	50	6	116
CAM 39	SUB MUFA 6.1	SP-06	110	50	11	171
CAM 33	SUB MUFA 7.1	SP-07	10	50	1	61
CAM 34	SUB MUFA 7.1	SP-07	450	250	45	745
CAM 28	SUB MUFA 7.1	SP-07	150	50	15	215
CAM 32	MUFA 07	SP-07	360	50	36	446
CAM 29	MUFA 07	SP-07	10	50	1	61
CAM 06	SUB MUFA 8.1	SP-08	10	150	1	161
CAM 07	SUB MUFA 8.1	SP-08	160	50	16	226
CAM 09	SUB MUFA 8	SP-08	175	50	20	245
CAM 08	SUB MUFA 8	SP-08	80	100	8	188
CAM 37	SUB MUFA 8	SP-08	80	50	8	138
CAM 14	MUFA 09	SP-09	10	50	1	61
CAM 10	MUFA 09	SP-09	145	150	14.5	309.5
CAM 01	SUB MUFA 10.1	SP-10	455	50	45.5	550.5
CAM 05	SUB MUFA 10.1	SP-10	800	50	80	930

CAM 02	MUFA 10	SP-10	10	150	1	161
CAM 03	MUFA 10	SP-10	360	50	36	446
CAM 04	MUFA 10	SP-10	175	150	20	345
TOTAL FIBRA ADSS 06 HILOS						11120 m

Nota. Elaboración propia.

3.11. Cálculos Adicionales

De manera complementaria, se muestran los resultados de dos cálculos adicionales.

En primer lugar, se muestra el planteamiento de la ruta de los postes en la Figura 28: Con el levantamiento de información realizado en las calles de la ciudad de Huancavelica, se pudo obtener la ubicación y cantidad de postes de concreto de 9 metros, los cuales se consideraron en el diseño para el paso del tendido de la fibra óptica, haciendo un número de 230; también se consideraron los postes de 13 metros para la instalación de las cámaras y los gabinetes NEMA que acogerán el equipamiento necesario para la llegada de energía eléctrica para la cámara y la conectividad. Estos postes deberán estar contruidos según la norma NTP 339.027 para respetar las distancias establecidas por el Código Eléctrico Peruano. Para su instalación, se deberá hacer un corte de vereda de 80x80cm y una excavación del 10% del total del tamaño del poste. La carga de trabajo mínimo de este poste será de 200 kg.

Finalmente, se detallará y explicarán los pasos seguidos y el resultado final para lograr tener un almacenamiento de 30 días de las grabaciones de los videos obtenidos mediante la red de cámaras del circuito CCTV diseñado.

3.11.2. Dimensionamiento de Grabación de Video

El objetivo de este proyecto es brindar la transmisión de video por protocolo IP usando como medio la red GPON diseñada, además, se deberá garantizar que se disponga del almacenamiento de los videos por un período de 30 días. Con fin de asegurar una óptima calidad de servicio del sistema de videovigilancia, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones: nivel de compresión, imágenes por segundo y la tasa de bit de los videos, tanto para la visualización en vivo como para el almacenamiento.

Como se explicó en el Capítulo 2, las cámaras que se desplegarán son las Q6055-E del fabricante Axis. Estas cámaras permitirán la captura de imágenes en resolución Full HD, es decir 1920x1080; además, la tasa de video será de 30fps en codificación H.264, que es uno de los estándares de video más utilizado en ámbitos de seguridad ciudadana, y se debe grabar 24 horas al día, 7 días a la semana, y por lo menos durante 30 días consecutivos.

Los parámetros de entrada son los siguientes:

- Cuadros por segundo: como mínimo 20fps, pero se optimiza a 30fps para mejorar la calidad.
- Resolución: 1080p (FHD).
- Codificación de video: Estándar H.264.
- Compresión: permite un ahorro en el ancho de banda, comprometiendo mínimamente la calidad. Audio: en el presente caso no se considera audio.

En primer lugar, se configurará la escena de grabación en el software con los parámetros indicados y las características de las zonas de grabación; estas acciones y resultado se muestran en la Figura 29.

Figura 29

Configuración de Escena de Grabación – Axis Site Designer

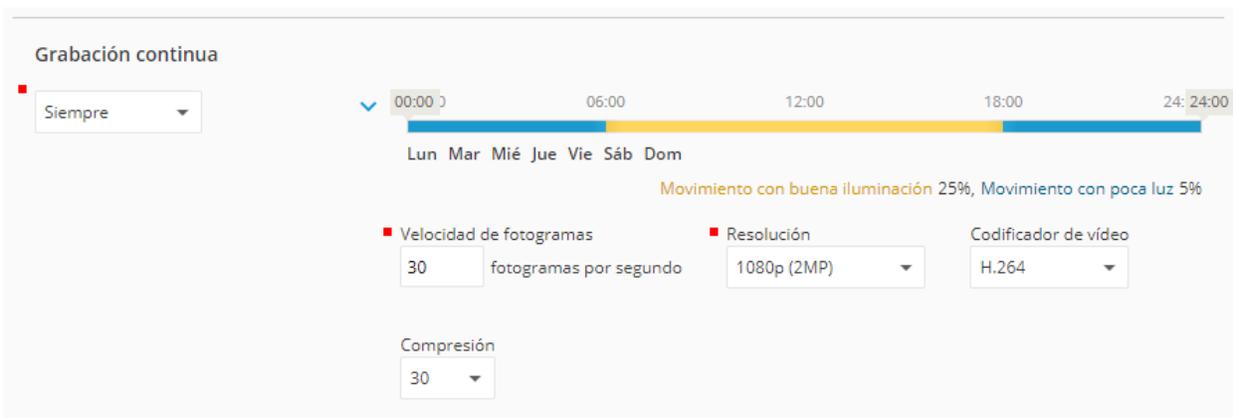


Nota. Elaboración propia. Obtenido mediante software *Axis Site Designer*.

Luego se procede a configurar los parámetros necesarios para la grabación continua, visualización en directo y el tiempo de almacenamiento, tal como se muestra en las Figuras 30, 31 y 32, respectivamente.

Figura 30

Configuración de Grabación Continua – Axis Site Designer



Nota. Elaboración propia. Obtenido mediante *Axis Site Designer*.

Figura 31

Configuración de Visualización en Directo – Axis Site Designer

Visualización en directo

Siempre

00:00 06:00 12:00 18:00 24: 24:00

Lun Mar Mié Jue Vie Sáb Dom

Movimiento con buena iluminación 25%, Movimiento con poca luz 5%

Velocidad de fotogramas: 30 fotogramas por segundo

Resolución: 1080p (2MP)

Codificador de vídeo: H.264

Compresión: 30

Nota. Elaboración propia. Obtenido mediante *Axis Site Designer*

Figura 32

Configuración de Tiempo de Almacenamiento - Axis Site Designer

Almacenamiento

Tiempo de almacenamiento: 30 días

Nota. Elaboración propia. Obtenido mediante *Axis Site Designer*

Finalmente, en la Figura 33, podemos observar que el Ancho de Banda calculado por el software es de 440 Mbit/s, mientras que el Almacenamiento recomendado para las condiciones del proyecto es de 71.3 TB.

Figura 33*Cálculo de Ancho de Banda y Almacenamiento – Axis Site Designer*

Nombre ↕	Modelo ↕	Cantidad ↕	Escenario	Ancho de banda	Almacenamiento
 PTZ	AXIS Q6055-E 60 Hz Cámara	41	Escenario exterior Intersección - Editada	440 Mbit/s	71.3 TB
Total		41		440 Mbit/s	71.3 TB

Nota. Elaboración propia. Obtenido mediante *Axis Site Designer*

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Luego de haber realizado el Diseño del Sistema de Videovigilancia con Fibra Óptica para mejorar y ampliar los servicios de seguridad ciudadana en la ciudad de Huancavelica, objetivo del presente trabajo de tesis, se ha podido llegar a las siguientes conclusiones:

- Se lograron identificar los puntos más álgidos de incidencia delictiva en la ciudad de Huancavelica, con la información encontrada en el Mapa del Delito del distrito, y con la información recabada de las autoridades del actual Centro de Operaciones de Seguridad Ciudadana de Huancavelica.
- Se demostró que la mejor solución para la interconexión del sistema de videovigilancia planteado es del tipo óptico mediante una red pasiva GPON, debido al alto nivel de ancho de banda tanto de subida como de bajada en entornos demandantes como los son videos en alta definición como es el caso de las cámaras planteadas en este trabajo, las cuales se visualizarán y se grabarán en resolución Full HD.
- El diseño de la red GPON es totalmente escalable, y permitirá no solo interconectar toda la red planteada de 41 cámaras de videovigilancia, sino que hasta un total de 128 equipos IP con los dos puertos PON que se plantearon en la OLT; a la vez que permite una cobertura de hasta 20km.
- Se logró asegurar los niveles de atenuación permitidos en cada uno de los enlaces ópticos permitidos para lograr niveles de potencia que aseguren la calidad en la comunicación óptica.

- Se diseñó, además de la red óptica y los equipos de video vigilancia, el nivel adecuado de equipos de almacenamiento como servidores o *storage*. Para garantizar el almacenamiento de 30 días ininterrumpidos, se necesitará poder contar con un espacio de 71.3 TB.
- La Municipalidad de Huancavelica dispondrá de una red propietaria de fibra óptica, la cual no solo podrá utilizar en la actual red de cámaras de video vigilancia propuesta, sino que la escalabilidad le permitirá crecer en una mayor cantidad de cámaras a futuro, u otros dispositivos de red, como pueden ser parlantes, módulos de auxilio rápido, sensores, semáforos inteligentes, y otras tendencias del tipo Smart City que vienen siendo disruptivas en algunas partes del mundo.

4.2. Recomendaciones

A la vez de brindar las conclusiones del presente trabajo, se plantearán las principales recomendaciones que se deberán tener en cuenta:

- Se recomienda que la Municipalidad de Huancavelica pueda contar con un plan de mantenimiento y operación tanto para la red pasiva de fibra óptica, como para los equipos activos.
- El personal técnico encargada de la operación y mantenimiento de la red pasiva deberá cumplir con un perfil específico que incluya sólidos conocimientos y experiencia en fibra óptica FTTH, y contar con el equipamiento que permita realizar labores propias de dichos mantenimientos como son empalmes ópticos mediante equipos fusionadores y las certificaciones que garanticen la idoneidad en las atenuaciones mediante equipos como los OTDR.

- Para futuras ampliaciones, se recomienda tener como base el diagrama esquemático óptico planteado, en el cual se identifican todos los puntos de distribución, las ubicaciones de los cables de fibra, y equipos divisores de potencia, de donde se pueden aprovechar los hilos libres tanto de los cables ópticos como de los splitters para poder facilitar el crecimiento de la red planteada.
- Para crecimientos de cámaras de videovigilancia, se deberá tomar en cuenta que el dimensionamiento del almacenamiento de los videos se ha realizado solo para la cantidad actual de 41 cámaras; y por ende, se podrán necesitar más discos para asegurar el almacenamiento de las potenciales cámaras añadidas como crecimiento de la red.
- Si se desea agregar equipos que demanden mayores anchos de banda, ya sean cámaras de mayor resolución, o cámaras de varios lentes, o con algún tipo de analíticas de video, se deberá considerar que, al utilizar múltiples divisiones ópticas, la red GPON limita el ancho de banda de cada dispositivo; por tanto, se deberá realizar la evaluación individual de cada dispositivo a agregar.
- En caso algún dispositivo requiera un ancho de banda superior al que el presente diseño garantiza, el cual está en el orden de los 19.5 Mbps por cada terminal, se deberá adicionar un splitter de una menor división como podrían ser de 1x4 o de 1x2 en lugar de los 1x8 que se han venido utilizando.
- Para la agregación de futuros equipos de red, no solo se deberán tener en cuenta los parámetros de diseño explicados y analizados en el presente trabajo, sino también la geografía de la zona, y la factibilidad de poder hacer un despliegue de fibra óptica; en caso se cuente con un difícil acceso, como algunas zonas del distrito de Huancavelica,

- se deberán optar por otros medios de comunicación, como por ejemplo conexiones inalámbricas mediante radio enlaces punto a punto o punto multipunto.
- Se recomienda que los equipos activos que estarán instalados en el Cuarto de Equipos cuenten con condiciones estándar para su adecuado funcionamiento, como su instalación en un rack o gabinete de comunicaciones, se cuente con energía estabilizada, un sistema de enfriamiento por aire acondicionado, un correcto cableado estructurado, y un personal calificado para su gestión.

BIBLIOGRAFÍA

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). *La corrupción desplaza a la delincuencia como principal problema que afecta al país* [Nota de prensa].

Numbeo (2018). Índice de Criminalidad por País 2018.

<https://es.numbeo.com/criminalidad/clasificaciones-por-pa%C3%ADs?title=2018>.

Gallup (2019). *Global Law and Order 2019*. <https://www.gallup.com/analytics/267869/gallup-global-law-order-report-2019.aspx>

Institute for Economics & Peace (2019). *Global Peace Index 2020. Measuring peace in a complex world*.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019). *Informe Técnico Producto Bruto Interno Trimestral*. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/pbitrinmestral.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). *Compendio Estadístico Huancavelica 2017*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1494/libro.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). *Informe Técnico Evolución de la Pobreza Monetaria 2007-2018*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1646/libro.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). *Perú: Anuario Estadístico de la Criminalidad y Seguridad Ciudadana 2012-2018*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1691

- Ministerio de Economía y Finanzas (2015). *Proyecto de Preinversión Pública Código Único 2292805*. <https://ofi5.mef.gob.pe/invierte/formato/verFichaSNIP/334131/0/0>
- Municipalidad Provincial de Huancavelica, Sub Gerencia Secretaría General y Gestión (2017), *Acuerdo de Concejo N°005-2017-CM/MPH*.
- Jurado Pruna, F. X. (2016). *Diseño para la implementación de un sistema de video vigilancia a nivel cantonal para la Central de Atención Ciudadana del GAD del Cantón Mejía* [Tesis Maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio de Tesis de Grado y Posgrado <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11287>
- Jerez Gutiérrez, W. E. (2016). *Diseño de la nueva red de datos vía fibra óptica para las cámaras de video vigilancia del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz* [Trabajo de Licenciatura]. Repositorio Institucional de la Universidad Mayor de San Andrés <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/12059>
- Castro Mandujano, R. C. (2019). *Diseño de una red FTTH basado en el estándar GPON para la conexión de videocámaras para el distrito de San Martín de Porres* [Tesis de Licenciatura]. Repositorio Académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/625704>
- Carrión J., Castillo, C. (2019). *Estudio y diseño de un sistema de videovigilancia utilizando una red GPON para contribuir con la seguridad de la población de la ciudad de Jaén* [Tesis de Licenciatura]. Repositorio Institucional UNPRG. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8679>
- Llanos, M., Zapata R. (2019). *Diseño de un sistema de video vigilancia bajo una red de fibra óptica para mejorar la seguridad en los ambientes de la Universidad Nacional Pedro*

- Ruiz Gallo – Lambayeque [Tesis de Licenciatura]. Repositorio Institucional UNPRG.
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/5491>
- Evins Cuella, T. (2019). *Diseño de una red de fibra óptica para mejorar la comunicación de datos en las instituciones públicas y población del distrito de Quichuas, Tayacaja, Huancavelica-2018* [Tesis de Licenciatura]. Repositorio Institucional UNH.
<https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3094>
- Presidencia de Consejo de Ministros (2009). *Compendio de Normas Legales de Seguridad Ciudadana*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1302322/>
- Erkhan, E., Özçalık, R, Yılmaz, Ş. (2015). Designing a smart security camera system. *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1705-1708
- García Mata, F. (2010). *Videovigilancia: CCTV usando videos IP*. Editorial Vértice
- Top Security Perú. *Video cámaras de vigilancia: concepto y debate ético*.
<https://topsecurityperu.com/video-camaras-de-vigilancia-conceptos-y-debate-etico>
- Axis Communications (2002). *¿Qué es una Cámara de Red?* [White paper]
https://static.casadomo.com/media/2016/12/axis_la_camara_de_red.pdf
- Optral (2019). *Fibra Óptica: Diferentes tipos y aplicaciones*. [E-boletín]
<https://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/Alcance%20fo.pdf>
- Smartoptics (2021). What is an optical fiber? <https://www.smartoptics.com/article/what-is-an-optical-fiber/>
- ITCA Escuela de Computación (s.f.) *Interconexión de Redes con Medios Físicos e Inalámbricos* (s.f.) de ITCA https://virtual.itca.edu.sv/Mediadores/irmfi1/IRMFI_16.htm

Worton (2018). *¿Cuál es la diferencia entre fibra monomodo y multimodo?*

<https://community.fs.com/es/blog/single-mode-vs-multimode-fiber-whats-the-difference.html>

Keiser, G(2006). *FTTX Concepts and Applications*. Editorial John Willey & Sons

Añazco Aguilar, C. (2013). Diseño básico de redes de acceso FTTH utilizando el estándar GPON [Tesis de Maestría]. Repositorio UCSG.

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/516/1/T-UCSG-POS-MTEL-10.pdf>

Arias de la Cruz, J. (2015). *Diseño de una red FTTH utilizando el estándar GPON en el distrito de Magdalena del Mar* [Tesis de Licenciatura]. Repositorio PUCP

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7506>

Gonzales, A. (2009) . *Redes: protocolos y estándares* [Curso] [http://www.mailxmail.com/curso-](http://www.mailxmail.com/curso-redes-estandares-3/pon)

[redes-estandares-3/pon](http://www.mailxmail.com/curso-redes-estandares-3/pon)

Radq4 (2013). Repositorio Wikimedia por Radq4 GPON Topology

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/ba/GPON_topology.png

Furukawa Latam (2018). Especificación Técnica ET02971-v0-2018

<https://www.ds3comunicaciones.com/furukawa/files/19745108.pdf>

Furukawa Latam (2019). Especificación Técnica ET02770-v0-2019

<https://www.furukawalatam.com/es/versao-et-pdf/olt-epon-1ru-modelo-fk-c2-radc>

Furukawa Latam (2014). Especificación Técnica 2559-v6-2014

<https://www.furukawalatam.com/es/versao-et-pdf/modem-optico-epon-fk-onu-e200b>



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: German&willy Martinez&saavedra
Título del ejercicio: BORRADOR DE TESIS
Título de la entrega: INFORME FINAL DE TESIS
Nombre del archivo: Proyecto_Tesis_Willy_Martinez_Elvis_Saavedra.docx
Tamaño del archivo: 16.18M
Total páginas: 103
Total de palabras: 19,349
Total de caracteres: 97,144
Fecha de entrega: 19-jul.-2022 10:50a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 1872646753



INFORME FINAL DE TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.bukken.be Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1%
7	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	ofi5.mef.gob.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	

Lucía Isabel Shamán Cabezas

<1 %

10

Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS

Trabajo del estudiante

<1 %

11

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

12

Submitted to Columbia University

Trabajo del estudiante

<1 %

13

edoc.pub

Fuente de Internet

<1 %

14

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

15

docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

16

repositorio.ucsg.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

17

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

18

Submitted to Pontificia Universidad Catolica
del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

19

patents.google.com

Fuente de Internet

<1 %

20

repositorio.uisrael.edu.ec

Fuente de Internet

Lucía Isabel Páramo Cabrera

<1 %

21

Submitted to INACAP

Trabajo del estudiante

<1 %

22

idoc.pub

Fuente de Internet

<1 %

23

bibdigital.epn.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

24

www.munilambayeque.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

25

www.voxdata.com.ar

Fuente de Internet

<1 %

26

docobook.com

Fuente de Internet

<1 %

27

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

28

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

29

www.repositorio.usac.edu.gt

Fuente de Internet

<1 %

30

Submitted to Escuela Politecnica Nacional

Trabajo del estudiante

<1 %

31

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

32	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
33	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
34	Submitted to UISEK Trabajo del estudiante	<1 %
35	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
36	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to unap Trabajo del estudiante	<1 %
39	www.coneccion.es Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to Higher Education Commission Pakistan Trabajo del estudiante	<1 %
41	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

43	Repository.Usta.Edu.Co Fuente de Internet	<1 %
44	lacamara.pe Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
47	wreyes.net Fuente de Internet	<1 %
48	eldiario.com Fuente de Internet	<1 %
49	www.munisatipo.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
50	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	<1 %
51	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	<1 %
52	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
53	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
54	www2.munipiura.gob.pe	

Fuente de Internet

<1 %

55

bibliotecasdelecuador.com

Fuente de Internet

<1 %

56

eresmama.com

Fuente de Internet

<1 %

57

es.unionpedia.org

Fuente de Internet

<1 %

58

es.wikipedia.org

Fuente de Internet

<1 %

59

help.axis.com

Fuente de Internet

<1 %

60

mn.raisefiber.com

Fuente de Internet

<1 %

61

oa.upm.es

Fuente de Internet

<1 %

62

www.clubensayos.com

Fuente de Internet

<1 %

63

www.panamaon.com

Fuente de Internet

<1 %

64

www.yumpu.com

Fuente de Internet

<1 %

65

Luis Benavides Castillo, Edgar Uguña Moya.
"Servicio de IPTV en Guayaquil", Investigatio,

<1 %

2016

Publicación

66 facundosantos.blogspot.com <1 %
Fuente de Internet

67 mayores.uji.es <1 %
Fuente de Internet

68 openaccess.uoc.edu <1 %
Fuente de Internet

69 www.economia.unimore.it <1 %
Fuente de Internet

70 www.kalysis.com <1 %
Fuente de Internet

71 www.metrodemedellin.org.co <1 %
Fuente de Internet

72 www.prnewswire.com <1 %
Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo