

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



**TESIS**

“CIUDAD INTELIGENTE CON TECNOLOGÍA 5G-PON EN LA ZONA URBANA  
DE CAJAMARCA”

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS

**AUTOR:**

BACH. GYNO PAOLO ROMERO PRADO

**ASESOR:**

DR. ING. CARLOS JESUS KOO LABRIN

CAJAMARCA-PERÚ  
DICIEMBRE 2023

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### FACULTAD DE INGENIERÍA

- Investigador:** Gyno Paolo Romero Prado  
**DNI:** 70933909  
**Escuela Profesional:** Ingeniería de Sistemas
- Asesor:** Carlos Jesús Koo Labrín  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
"CIUDAD INTELIGENTE CON TECNOLOGÍA 50G-PON EN LA ZONA URBANA DE CAJAMARCA"
- Fecha de evaluación:** 01 de octubre del 2024
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 7%
- Código Documento:** oid:3117:387672471
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 09 de octubre del 2024



FIRMA DEL ASESOR

**Nombres y Apellidos:** Carlos Jesús Koo Labrín

**DNI:** 07626109

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI  
DIRECTORA

## **Agradecimiento**

*Agradezco profundamente a mis amigos por su apoyo constante y por ser un pilar fundamental durante el desarrollo de esta investigación. Su presencia, consejos y ánimo me ayudaron a superar los desafíos de este proceso. En especial, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Ing. Carlos Jesús Koo Labrin, quien me guió con sabiduría y dedicación en cada etapa de la tesis, brindándome su apoyo incondicional. Gracias a su orientación, pude alcanzar este logro con éxito.*

## **Dedicatoria**

*Dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud a mis padres, Anibal Romero y Hilda Prado, y a mi hermana pequeña, Milagros Guadalupe, quienes con su amor y apoyo incondicional han sido la base sobre la cual he construido este logro. Su confianza y aliento en cada paso de mi camino me han dado la fuerza necesaria para seguir adelante. De manera especial, dedico este trabajo a mi abuelita Virginia Terrones, el ser más cercano a un ángel en la tierra. Su cariño incondicional y su apoyo desde su profunda fe han iluminado mi vida como un faro, guiándome siempre por el camino correcto. A ellos, quienes me han demostrado que el amor y la familia son lo más importante, les dedico este logro con todo mi corazón.*



## CONTENIDO

---

RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Antecedentes teóricos.....	4
2.2 Bases teóricas .....	12
2.2.1 Redes Ópticas Pasivas (PON) y 50G-PON.....	12
2.2.2 Evolución de las PON: Describir la evolución de las tecnologías PON, desde GPON, EPON hasta las más recientes como XG-PON y 50G-PON..	14
2.2.3 Ciudades Inteligentes (Smart Cities).....	16
2.2.4 Infraestructura de Telecomunicaciones en Ciudades Inteligentes....	18
2.2.5 Red LoRaWAN en Ciudades Inteligentes .....	20
2.2.6 Aplicaciones de las Ciudades Inteligentes .....	20
2.2.7 Interrelación entre las Ciudades Inteligentes y Redes 50G-PON.....	21
2.2.8 Estudios de Caso y Ejemplos Prácticos de Implementación de Redes Avanzadas en Ciudades Inteligentes .....	22
2.2.9 Metodologías de Implementación .....	24
2.2.10 Consideraciones Socioeconómicas .....	26
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	29
3 CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
a. Procedimiento.....	32
3.1 Diagnosticar la infraestructura de banda ancha en la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, como punto de partida para el desarrollo de nuevas tecnologías. ....	36
3.2 Infraestructura de red en la ciudad de Cajamarca .....	42
3.2.1 Diagnóstico de la infraestructura actual de la red.....	46
3.2.2 Comparativo entre las redes GPON con 50GPON.....	48

3.3	Identificar los servicios que posibiliten a Cajamarca ser una “ciudad inteligente” para dimensionar el ancho de banda necesario. ....	49
3.3.1	Transporte Inteligente .....	50
3.3.1.1	Semaforización inteligente .....	55
3.3.1.2	Reglas y Ubicación de Dispositivos para el Servicio de Semaforización Inteligente.....	55
(a)	Reglas para el servicio de semaforización inteligente.....	55
(b)	Diagrama de flujo para el servicio de semaforización inteligente ..	56
(c)	Ubicación de dispositivos para el servicio de semaforización inteligente .....	58
3.3.1.3	Transporte público conectado .....	60
3.3.1.4	Reglas y Ubicación de Dispositivos para el Servicio de Transporte Público Conectado .....	60
(a)	Reglas para el servicio de transporte público conectado .....	61
(b)	Diagrama de flujo para el servicio de transporte público conectado	61
(c)	Ubicación de dispositivos para el servicio de transporte público conectado .....	63
3.3.2	Gestión eficiente de energía .....	63
3.3.2.1	Iluminación Inteligente.....	63
3.3.2.2	Reglas y Ubicación de Dispositivos para el Servicio de Iluminación Inteligente.....	66
(a)	Reglas para el servicio de iluminación inteligente.....	66
(b)	Diagrama de flujo para el servicio de iluminación inteligente .....	66
(c)	Ubicación de dispositivos para el servicio de iluminación inteligente	68
3.3.3	Gestión inteligente de residuos urbanos .....	68

3.3.3.1	Reglas y Ubicación de Dispositivos para la Gestión Inteligente de Residuos Urbanos .....	71
(a)	Reglas para la gestión inteligente de residuos urbanos .....	71
(b)	Diagrama de flujo para la gestión inteligente de residuos urbanos	71
(c)	Ubicación de dispositivos para la gestión inteligente de residuos urbanos .....	73
3.3.4	Gestión de Calidad Ambiental y Salud Pública .....	73
3.3.4.1	Reglas y Ubicación de Dispositivos para la Gestión de Calidad Ambiental y Salud Pública .....	77
(a)	Reglas para la gestión de calidad ambiental y salud pública .....	77
(b)	Diagrama de flujo para la gestión de calidad ambiental y salud pública .....	77
(c)	Ubicación de dispositivos para la gestión de calidad ambiental y salud pública .....	79
3.3.5	Seguridad ciudadana .....	81
3.3.5.1	Reglas y Ubicación de Dispositivos para el Servicio de Seguridad Ciudadana .....	86
(a)	Reglas para el servicio de seguridad ciudadana .....	86
(b)	Diagrama de flujo para el servicio de seguridad ciudadana .....	86
(c)	Ubicación de dispositivos para el servicio de seguridad ciudadana	88
3.3.6	Dimensionamiento del ancho de banda .....	90
3.4	Establecer la cobertura de la infraestructura de red para delimitar su alcance dentro de la zona urbana de la ciudad de Cajamarca .....	93
3.4.1	Cobertura de la red .....	93
3.4.1	Topología de red .....	95
3.4.2	Diseño distributivo de la red .....	96

3.4.3	Caso 1: Aprovechamiento de hilos libres en infraestructura existente	97
3.4.3.1	Diseño distributivo de la red .....	100
3.4.4	Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente	102
	Diseño distributivo de la red 01 .....	104
(a)	Controlador 01 .....	109
(b)	Controlador 02.....	111
(c)	Controlador 03.....	113
(d)	Controlador 04.....	115
3.4.4.2	Diseño distributivo de la red 02 .....	120
3.4.5	Caso 3: Nuevo tendido de fibra óptica .....	127
3.4.5.1	Capilaridad interna de la red .....	128
(a)	Distribución de la cobertura .....	128
(b)	Zona Norte RTN (Red Troncal Norte) .....	130
(c)	Zona Sur RTS (Red Troncal Sur) .....	132
3.4.5.2	Cálculo óptico de la red 50 G-PON .....	134
3.4.5.3	Cálculo óptico para la RTN (Red Troncal Norte) .....	134
3.4.5.4	Hilo 1 de la RTN (Red Troncal Norte).....	135
3.4.5.5	Hilo 2 de la RTN (Red Troncal Norte).....	138
3.4.5.6	Hilo 3 de la RTN (Red Troncal Norte).....	142
3.4.5.7	Hilo 4 de la RTN (Red Troncal Norte).....	145
3.4.5.8	Hilo 5 de la RTN (Red Troncal Norte).....	149
3.4.5.9	Resumen de RTN.....	153
3.4.5.10	Cálculo óptico para la RTS (Red Troncal Sur) .....	155
3.4.5.11	Hilo 1 de la RTS (Red Troncal Sur) .....	155
3.4.5.12	Hilo 2 de la RTS (Red Troncal Sur) .....	158
3.4.5.13	Hilo 3 de la RTS (Red Troncal Sur) .....	161

3.4.5.14	Hilo 4 de la RTS (Red Troncal Sur) .....	164
3.4.5.15	Resumen de propagación óptica en RTS .....	167
3.4.5.16	Resumen integral de redes troncales desplegadas (RTN y RTS) 169	
3.4.5.17	Diseño Distributivo de la Red.....	171
3.5	Equipamiento y recursos necesarios para el despliegue de la tecnología 50G-PON.....	175
3.5.1	Terminal óptica de línea (OLT) .....	175
3.5.2	Transceptor óptico 50G-PON.....	178
3.5.3	ONU .....	180
3.5.4	Controlador que se integre a redes 50GPON .....	183
3.5.5	Gateway LoRaWAN.....	185
3.5.6	Controlador de Semáforo.....	188
3.5.7	Cámara de Vigilancia.....	190
3.5.8	Sensor de Calidad de Aire para Redes LoRaWAN .....	192
3.5.9	Sensor de Calidad de Agua para Redes LoRaWAN .....	194
3.5.10	Sensores para contenedores Inteligentes para Redes LoRaWAN 196	
3.5.11	Luminarias Inteligentes para Redes LoRaWAN .....	198
3.5.12	Sensor de Conteo de Personas para Redes LoRaWAN.....	200
3.5.13	Sensor GPS para Redes LoRaWAN.....	202
3.5.14	Fibra óptica para ONUS .....	205
3.5.15	Splitter's ópticos .....	206
3.5.16	Panel de Fibra Óptica de 36 Puertos .....	207
3.5.17	Servidor PowerEdge R930 .....	208
3.5.18	Servidor NAS RS1619 xs .....	211
3.5.19	Smart-UPS SRTL5KRM2UT.....	213

3.5.20	Switch core Cisco Catalyst 9400 Series .....	215
3.5.21	Gabinete GW-2868 24U .....	217
3.6	Topología de red con equipos .....	219
3.7	Diagrama lógico .....	220
3.8	Diseño del data center nivel V ICREA (HSHA-WCQA) bajo normativas peruanas ISO/IEC 22237 .....	222
3.8.1	Infraestructura física .....	222
3.8.2	Sistema de aire acondicionado .....	225
3.8.3	Instalaciones eléctricas .....	227
3.8.4	Puesta a tierra .....	228
3.8.5	Comunicaciones .....	229
3.8.6	Seguridad .....	230
3.8.7	Diagrama de distribución de equipos en gabinete.....	232
3.8.8	Cronograma.....	234
3.9	Centro de monitoreo .....	235
3.10	Software de Gestión de Ciudades Inteligentes.....	237
3.10.1	NVIDIA metropolis: Plataforma de la Ciudad Inteligente .....	240
3.11	Presupuesto.....	243
3.12	Cronograma del proyecto.....	245
b.	Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados .....	246
3.13	Tratamiento.....	246
3.14	Variables e Indicadores .....	247
3.15	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	247
3.16	Análisis de datos .....	249
3.16.1	Análisis de datos para variable independiente “RED 50 GPON” ..	249
3.16.1	Análisis de datos para Dependiente Ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca.....	249

4	CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	252
4.1	Discusión de Resultados Según Antecedentes .....	259
5	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	261
5.1	Conclusiones .....	261
5.2	Recomendaciones .....	263
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	264
7	Anexos .....	271
7.1	Anexo 1: Servicios en una Smart City .....	271
7.2	Anexo 2: Dimensionamiento e infraestructura para una ciudad inteligente 272	
7.3	Anexo 3: Plano general de despliegue y fibra óptica en la ciudad de Cajamarca .....	273
7.4	Anexo 4: Plano de anillo óptico desplegado en la ciudad de Cajamarca. 274	
7.5	Anexo 5: Diagrama de red del nuevo centro de monitoreo en la ciudad de Cajamarca .....	275
7.6	Anexo 6: Sistema de cctv en el nuevo centro de monitoreo de la ciudad de Cajamarca .....	276
7.7	Anexo 7: Sistema de perifoneo en la ciudad de Cajamarca .....	277
7.8	Anexo 8: Sistema de telefonía IP del nuevo centro de monitoreo en la ciudad de Cajamarca.....	278
7.9	Anexo 9: Diagrama de distribución de equipos en gabinete para la sala de datos en la ciudad de Cajamarca.....	279
7.10	Anexo 10: Plano técnico de micro canalización.....	280
7.11	Anexo 11: Plano técnico de instalación de cámaras de seguridad .....	281
7.12	Anexo 12: Despliegue de red de fibra óptica en centro histórico .....	282
7.13	Anexo 13: Arquitectura de 50G-PON con posibles escenarios.....	283
7.14	Anexo 14: Estándares y sistemas TU-T PON.....	284

7.15	Anexo 15: Arquitectura de 50G-PON .....	284
7.16	Anexo 16: Longitud de onda de 50G-PON .....	284
7.17	Anexo 17: Transformación digital .....	285
7.18	Anexo 18: Gestión de residuos sólidos en Cajamarca .....	286
7.19	Anexo 19: Mapa de infraestructuras de disposición final en la región Cajamarca .....	286
7.20	Anexo 20: Mapa del delito en la ciudad de Cajamarca .....	287
7.21	Anexo 21: OLT SmartAX MA5800-X17 .....	288
7.22	Anexo 22: Transceptor óptico Accelink RTX300-3xx .....	290
7.23	Anexo 23: ONU ZXEN G300-N9 de ZTE .....	291
7.24	Anexo 24: Fibra óptica G.657.A2 .....	292
7.25	Anexo 25: Servidor dell poweredge R930 .....	294
7.26	Anexo 26: Servidor NAS Synology RS1619xs .....	296
7.27	Anexo 27: Switch Cisco Catalyst 9400 .....	298
7.28	Anexo 28: Smart-UPS SRTL5KRM2UT .....	300
7.29	Anexo 29: Operacionalización de categorías. ....	302
7.30	Anexo 30: Matriz De Consistencia. ....	303
7.31	Anexo 31: “Encuesta sobre Prioridades y Ubicaciones para Servicios de Ciudad Inteligente en Cajamarca” .....	304
7.32	ANEXO 32: VALIDACIÓN DE EXPERTOS .....	308
7.32.1	Ing. Edgar Laurente Gomez .....	308
7.32.2	Ing. Carlos Alfonso Pérez Cerna. ....	311
7.32.3	Ing. Ramos Sangay Huamán .....	314



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Servicios y operadores en la ciudad de Cajamarca. ....	40
Tabla 2 Redes GPON vs Redes 50GPON. ....	48
Tabla 3 Dimensionamiento del ancho de banda. ....	90
Tabla 4 Análisis de conmutación de switch por controlador .....	118
Tabla 5 Distancias de despliegue de F.O en hilo 2 de la RTN (Red Troncal Norte). .....	137
Tabla 6 Cálculo óptico en hilo 1 Cálculo óptico en hilo 1 de la RTN (Red Troncal Norte). .....	138
Tabla 7 Distancias de despliegue de F.O en hilo 2 de la RTN (Red Troncal Norte). .....	142
Tabla 8 Cálculo óptico en hilo 2 de la RTN (Red Troncal Norte). ....	142
Tabla 9 Distancias de despliegue de F.O en hilo 3 de la RTN (Red Troncal Norte). .....	145
Tabla 10 Cálculo óptico en hilo 3 de la RTN (Red Troncal Norte). .....	145
Tabla 11 Distancias de despliegue de F.O en hilo 4 de la RTN (Red Troncal Norte). .....	148
Tabla 12 Cálculo óptico en hilo 4 de la RTN (Red Troncal Norte). .....	148
Tabla 13 Distancias de despliegue de F.O en hilo 5 de la RTN (Red Troncal Norte). .....	152
Tabla 14 Cálculo óptico en hilo 4 de la RTN (Red Troncal Norte). .....	152
Tabla 15 Resumen de F.O Y ONUs albergadas en la RTN (Red Troncal Norte). .....	154
Tabla 16 Distancias de despliegue de F.O en hilo 1 de la RTS (Red Troncal Sur). .....	157
Tabla 17 Cálculo óptico en hilo 1 de la RTS (Red Troncal Sur). .....	158
Tabla 18 Distancias de despliegue de F.O en hilo 2 de la RTS (Red Troncal Sur). .....	161
Tabla 19 Cálculo óptico en hilo 2 de la RTS (Red Troncal Sur). .....	161
Tabla 20 Distancias de despliegue de F.O en hilo 3 de la RTS (Red Troncal Sur). .....	164
Tabla 21 Cálculo óptico en hilo 3 de la RTS (Red Troncal Sur). .....	164

Tabla 22 Distancias de despliegue de F.O en hilo 4 de la RTS (Red Troncal Sur). .....	166
Tabla 23 Cálculo óptico en hilo 4 de la RTS (Red Troncal Sur). .....	167
Tabla 24 Resumen de F.O Y ONUs albergadas en la RTS (Red Troncal Sur). ..	169
Tabla 25 Comparativa de dispositivos OLT .....	176
Tabla 26 Comparativa de transceptores ópticos 50G-PON .....	179
Tabla 27 Comparativa de dispositivos ONU .....	181
Tabla 28 Comparativa de controladores para integración a redes 50G-PON .....	184
Tabla 29 HPE Edgeline EL8000 .....	185
Tabla 30 comparativa de gateways LoRaWAN .....	186
Tabla 31 Comparativa de controladores de semáforo .....	189
Tabla 32 Comparativa de cámaras de vigilancia .....	191
Tabla 33 comparativa de sensores de calidad de aire compatibles con redes LoRaWAN .....	193
Tabla 34 Comparación de sensores de calidad de agua .....	195
Tabla 35 comparativa de sensores para contenedores inteligentes .....	197
Tabla 36 Comparación de sensores de iluminación inteligente para entornos urbanos .....	199
Tabla 37 comparativa de sensores de conteo de personas.....	201
Tabla 38 comparativa de los sensores GPS compatibles con LoRaWAN .....	203
Tabla 39 Comparativa de fibra óptica para ONU .....	205
Tabla 40 Comparación de servidores .....	209
Tabla 41 Comparación de servidores NAS.....	212
Tabla 42 Comparación de UPS .....	214
Tabla 43 Comparación de servidores NAS.....	216
Tabla 44 Comparativa de Software de Gestión de Ciudades Inteligentes .....	239
Tabla 45 Presupuesto para el desarrollo de una ciudad inteligente con tecnología 50g-pon en la zona urbana de Cajamarca.....	243
Tabla 46 Variables con dimensiones .....	247

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Comparación de tecnologías PON .....	16
Fig. 2 Ciudad De Cajamarca. ....	32
Fig. 3 Cobertura Móvil en la ciudad de Cajamarca. ....	39
Fig. 4 Despliegue de Fibra óptica del 2011. ....	43
Fig. 5 Despliegue de fibra óptica en Cajamarca. ....	45
Fig. 6 Tráfico Vehicular en la Zona Urbana de Cajamarca. ....	52
Fig. 7 Transporte Inteligente.....	53
Fig. 8 Transporte inteligente en la ciudad de Cajamarca.....	54
Fig. 9 Diagrama de flujo para el servicio de semaforización inteligente .....	57
Fig. 10 Ubicación de dispositivos para el servicio de semaforización inteligente	59
Fig. 11 Esquema de conectividad.....	60
Fig. 12 Diagrama de flujo para el servicio de transporte público conectado .....	62
Fig. 13 Iluminación inteligente. ....	64
Fig. 14 Gestión eficiente de energía en la ciudad de Cajamarca.....	65
Fig. 15 Diagrama de flujo para el servicio de iluminación inteligente .....	67
Fig. 16 Gestión inteligente de residuos urbanos.....	70
Fig. 17 Diagrama de flujo para la gestión inteligente de residuos urbanos .....	72
Fig. 18 Monitoreo de ruido ambiental en mercadillos en ciudad de Cajamarca. ..	74
Fig. 19 Niveles de radiación ultravioleta en la ciudad de Cajamarca. ....	75
Fig. 20 Gestión de calidad ambiental y salud pública. ....	76
Fig. 21 Diagrama de flujo para la gestión de calidad ambiental y salud pública..	78
Fig. 22 Ubicación de dispositivos para la gestión de calidad ambiental y salud pública.....	80
Fig. 23 Mapa del delito de la ciudad de Cajamarca 2023. ....	82
Fig. 24 Seguridad ciudadana en Cajamarca.....	85
Fig. 25 Diagrama de flujo para el servicio de seguridad ciudadana .....	87
Fig. 26 Ubicación de dispositivos para el servicio de seguridad ciudadana .....	89
Fig. 27 Cobertura de la red 50G-PON .....	94
Fig. 28 Topología De Red Tipo Árbol. ....	95
Fig. 29 Diseño Distributivo De La Red.....	97
Fig. 30 Despliegues del 2011 y 2019 .....	99

Fig. 31 Caso 1: Aprovechamiento de hilos libres en infraestructura existente (ONUs).....	101
Fig. 32 Despliegues del 2011 y 2019 .....	103
Fig. 33 Diseño distributivo de la red 01.....	104
Fig. 34 Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 01 (ONUs).....	106
Fig. 35 Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 01.....	108
Fig. 36 Controlador 01.....	109
Fig. 37 Controlador 02.....	111
Fig. 38 Controlador 03.....	113
Fig. 39 Controlador 04.....	115
Fig. 40 Diseño distributivo de la red 02.....	120
Fig. 41 Despliegues del 2011 y 2019 .....	122
Fig. 42 Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 02 (ONUs).....	124
Fig. 43 Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 02.....	126
Fig. 44 Distribución de la cobertura de la red. ....	129
Fig. 45 Capilaridad interna de la zona norte. ....	131
Fig. 46 Capilaridad interna de la zona sur. ....	133
Fig. 47 Hilo 1 de la red troncal norte.....	136
Fig. 48 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 1 en la RTN (Red Troncal Norte).....	137
Fig. 49 Hilo 2 de la red troncal norte.....	140
Fig. 50 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 2 en la RTN (Red Troncal Norte).....	141
Fig. 51 Hilo 3 de la red troncal norte.....	143
Fig. 52 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 3 en la RTN (Red Troncal Norte).....	144
Fig. 53 Despliegue de Hilo 4 de la red troncal norte. ....	146
Fig. 54 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 4 en la RTN (Red Troncal Norte).....	147

Fig. 55 Hilo 5 de la red troncal norte.....	150
Fig. 56 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 4 en la RTN (Red Troncal Norte).....	151
Fig. 57 RTN (Red Troncal Norte).....	153
Fig. 58 Hilo 1 de la red troncal Sur. ....	156
Fig. 59 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 1 en la RTS (Red Troncal Sur).....	157
Fig. 60 Hilo 2 de la red troncal Sur. ....	159
Fig. 61 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 2 en la RTS (Red Troncal Sur).....	160
Fig. 62 Hilo 3 de la red troncal Sur. ....	162
Fig. 63 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 3 en la RTS (Red Troncal Sur).....	163
Fig. 64 Hilo 4 de la red troncal Sur ....	165
Fig. 65 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 4 en la RTS (Red Troncal Sur).....	166
Fig. 66 RTS (Red Troncal Sur).....	168
Fig. 67 Red Troncal Norte y la Red Troncal Sur .....	170
Fig. 68 Diseño distributivo de la red .....	172
Fig. 69 Caso 3: Nuevo Tendido de Fibra Óptica .....	173
Fig. 70 OLT SmartAX MA5800 Huawei. ....	177
Fig. 71 Transceptor óptico Accelink RTX300-3xx. ....	180
Fig. 72 ONU ZTE ZXEN G300-N9.....	182
Fig. 73 SG50 Gateway LoRaWAN .....	187
Fig. 74 Econolite 2070LX .....	190
Fig. 75 Axis Q6215-LE .....	192
Fig. 76 Dragino LAQ4 LAQ4.....	194
Fig. 77 AquaMod.....	196
Fig. 78 Sensoneo Smart.....	198
Fig. 79 TEKTELIC Smart Lighting VELOCITi LMS .....	200
Fig. 80 Milesight VS351 .....	202
Fig. 81 LGT-92.....	204
Fig. 82 Fibra óptica monomodo G.657.A2.....	206

Fig. 83 Divisor óptico modular. ....	207
Fig. 84 Panel de Fibra Óptica de 36 Puertos. ....	207
Fig. 85 Servidor PowerEdge R930. ....	210
Fig. 86 Servidor NAS RS1619 xs. ....	213
Fig. 87 Smart-UPS SRTL5KRM2UT. ....	215
Fig. 88 Gabinete GW-2868 24U. ....	218
Fig. 89 Topología de red. ....	219
Fig. 90 Diagrama lógico. ....	220
Fig. 91 Infraestructura física del data center. ....	223
Fig. 92 Ubicación soportes y paneles del data center. ....	224
Fig. 93 Distribución de luminaria del data center. ....	225
Fig. 94 Distribución aire acondicionado del data center. ....	226
Fig. 95 Distribución de gabinetes en data center. ....	230
Fig. 96 Sistema de detección y extinción de incendios del data center. ....	231
Fig. 97 Diagrama de distribución de equipos en gabinete en data center. ....	233
Fig. 98 Cronograma de ejecución del data center. ....	234
Fig. 99 Centro de monitoreo. ....	235
Fig. 100 NVIDIA Metropolis. ....	240
Fig. 101 Cronograma de ejecución de 50G-PON para desarrollar una ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca. ....	245

## RESUMEN

---

Este estudio aborda el problema de la capacidad limitada y alta latencia de la infraestructura de telecomunicaciones en la zona urbana de Cajamarca, lo que impide la adopción de tecnologías avanzadas como IoT y 5G. El objetivo es diseñar una red 50G-PON que permita transformar Cajamarca en una ciudad inteligente, aprovechando la infraestructura de fibra óptica existente y superando sus limitaciones actuales. El procedimiento incluyó un análisis detallado de la infraestructura desplegada en 2011 y 2019, la identificación de servicios clave para una ciudad inteligente, y la planificación de la cobertura de la red. Se recolectaron datos entre junio de 2023 y marzo de 2024, utilizando métodos cualitativos y cuantitativos, como entrevistas con técnicos y funcionarios locales, además de un análisis exhaustivo de la capacidad de red. Los resultados indican que es viable actualizar la infraestructura existente a 50G-PON, con solo 3.67 km adicionales de fibra y 78 ONUs estratégicamente ubicadas, mejorando así la capacidad y escalabilidad de la red sin necesidad de un despliegue masivo nuevo. Las conclusiones destacan que la reutilización de los hilos libres y la optimización del despliegue actual ofrecen una solución rentable y escalable para convertir a Cajamarca en una ciudad conectada, preparada para futuros desarrollos tecnológicos. Esta investigación establece un marco para la modernización y expansión de la infraestructura de telecomunicaciones, recomendando la adopción de 50G-PON para soportar los servicios de una ciudad inteligente, mejorando la eficiencia operativa, escalabilidad y sostenibilidad de la infraestructura, y preparando a Cajamarca para los desafíos tecnológicos futuros.

**Palabras clave:** 50G-PON, Ciudad Inteligente, Infraestructura de Telecomunicaciones, IoT y 5G, Ancho de Banda y Conectividad, Diseño de Red.

## **Abstract**

This study addresses the problem of limited capacity and high latency of the telecommunications infrastructure in the urban area of Cajamarca, which hinders the adoption of advanced technologies such as IoT and 5G. The objective is to design a 50G-PON network that will transform Cajamarca into a smart city, leveraging the existing fiber optic infrastructure and overcoming its current limitations. The procedure included a detailed analysis of the infrastructure deployed in 2011 and 2019, the identification of key services for a smart city, and the planning of network coverage. Data was collected between June 2023 and March 2024, using qualitative and quantitative methods, such as interviews with local technicians and officials, as well as a thorough analysis of network capacity. The results indicate that it is feasible to upgrade the existing infrastructure to 50G-PON with only an additional 3.67 km of fiber and 78 strategically located ONUs, thereby enhancing the network's capacity and scalability without the need for a massive new deployment. The conclusions highlight that reusing available fibers and optimizing the current deployment offer a scalable and cost-effective solution to turn Cajamarca into a connected city, ready for future technological developments. This research establishes a framework for the modernization and expansion of telecommunications infrastructure, recommending the adoption of 50G-PON to support smart city services, enhancing operational efficiency, scalability, and sustainability of the infrastructure, and preparing Cajamarca for future technological challenges.

**Keywords:** 50G-PON, Smart City, Telecommunications Infrastructure, IoT and 5G, Bandwidth and Connectivity, Network Design.



# 1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

---

En la era de la transformación digital, la ciudad de Cajamarca enfrenta el desafío crucial de evolucionar hacia una ciudad inteligente [1], [2], lo que requiere una infraestructura de telecomunicaciones robusta capaz de manejar grandes volúmenes de datos y proporcionar servicios digitales avanzados eficientemente. La tecnología de la red de fibra óptica existente en Cajamarca lucha con limitaciones significativas, como capacidad insuficiente y alta latencia, lo que obstaculiza la integración efectiva de tecnologías cruciales como el Internet de las Cosas (IoT) [3], [4]. Estas limitaciones también impiden el despliegue efectivo de tecnologías emergentes como el 5G, que exigen un ancho de banda mucho mayor y una conectividad de alta velocidad para funcionar óptimamente [5], [6]. Ante esta situación, la tecnología 50G-PON aparece como una solución prometedora, ofreciendo la velocidad y capacidad necesarias para soportar un alto rendimiento simétrico y servicios de baja latencia, indispensables para operaciones en tiempo real dentro de una ciudad inteligente [7], [8].

Perú ha estado progresando en mejorar su infraestructura de telecomunicaciones y expandiendo el acceso a servicios de banda ancha mediante fibra óptica [9], [10]. Aunque la adopción de tecnologías de última generación como la 50G-PON puede estar aún en etapas preliminares de estudio o consideración por parte de operadores y proveedores de servicios en Perú, se ha realizado una revisión exhaustiva en diversos repositorios nacionales [11]. Hasta ahora, los resultados muestran que principalmente se han implementado redes GPON, especialmente para el despliegue de cámaras de seguridad en el ámbito de la seguridad ciudadana. Este estudio representa un enfoque pionero en Perú, al abordar por primera vez el diseño y las posibles implementaciones de la tecnología 50G-PON en zonas urbanas, marcando un hito importante en la exploración de infraestructuras de telecomunicaciones avanzadas.

Los resultados tendrán un impacto tanto teórico, al revelar cómo las características avanzadas de la tecnología 50G-PON pueden optimizar el procesamiento en tiempo real, como práctico, al mejorar la infraestructura para futuros desarrollos urbanos [12]. La pregunta principal de investigación que surge es: ¿Cómo será el

diseño de una red 50G-PON para una ciudad inteligente? La hipótesis general planteada es que el diseño de una red 50G-PON facilitará la implementación de una ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca, mejorando significativamente la gestión de recursos y la calidad de vida de sus habitantes.

El alcance de esta investigación se centrará exclusivamente en el diseño de una red 50G-PON dentro de la zona urbana de Cajamarca. Se emplearán técnicas avanzadas de geolocalización y análisis espacial para definir con precisión las áreas de cobertura, complementadas con una revisión exhaustiva de la literatura existente. Esto asegurará una base sólida de conocimientos y una comprensión profunda del contexto actual, lo que permitirá adaptar el diseño a las necesidades específicas y la infraestructura existente de la ciudad. Este enfoque permite considerar la integración con infraestructuras existentes [13] y adaptaciones específicas a las necesidades de la ciudad [11]. Sin embargo, la investigación enfrenta limitaciones debido a la falta de implementaciones prácticas previas de esta tecnología en Perú, lo que podría influir en la extrapolación de datos y resultados esperados por otra parte la simulación de la red 50G-PON para Ciudades Inteligentes enfrenta desafíos debido a la falta de soporte específico en plataformas como OPNET y ns-3, que aún no cuentan con módulos adecuados para esta tecnología además, la gran cantidad de sensores y los altos requerimientos computacionales hacen que la simulación realista sea inviable para muchas instituciones [109]. En lugar de ello, las recomendaciones de la ITU-T G.9804 proporcionan una base teórica sólida para garantizar que el diseño de la red cumpla con los requisitos [27].

Los objetivos del estudio incluyen diagnosticar la infraestructura de banda ancha actual para identificar necesidades y capacidades, identificar los servicios esenciales para una ciudad inteligente, establecer la cobertura de la red adecuada, seleccionar el equipamiento necesario e identificar los recursos para el despliegue de la tecnología. Este estudio proporcionará un diseño detallado y factible que no solo responda a las demandas actuales, sino que también acomode futuras expansiones y tecnologías emergentes.

La estructura de la tesis se organiza de la siguiente manera: El primer capítulo establece el contexto y el problema, planteando la pregunta principal de investigación. El segundo capítulo, el Marco Teórico, proporciona los antecedentes

teóricos y las bases necesarias para entender la tecnología de fibra óptica, redes de banda ancha, y la importancia de la tecnología 5G-PON. El tercer capítulo, Materiales y Métodos, detalla la metodología utilizada para diagnosticar la infraestructura actual y diseñar la red 5G-PON. El cuarto capítulo, Análisis y Discusión de Resultados, examina los datos recogidos y analiza los resultados del estudio. Finalmente, el quinto capítulo, Conclusiones y Recomendaciones, sintetiza los hallazgos y ofrece recomendaciones basadas en los resultados.

## 2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

Investigaciones sobre tecnología 50G-PON solo existen en el contexto internacional, no encontrándose en América Latina, menos a nivel nacional ni regional. Por lo tanto, vamos a mostrar como antecedentes solo investigaciones realizadas a nivel internacional.

En la investigación "PON's momentum continues: an overview of market dynamics including importance of sustainability", cuyos objetivos fueron analizar el crecimiento continuo de las redes basadas en PON tanto para redes públicas como privadas, se destacó la eficiencia de la fibra y los ahorros energéticos. La metodología aplicada incluyó el análisis de proyecciones de ingresos de equipos PON y componentes ópticos a nivel mundial, junto con estudios de casos específicos de adopción en diferentes regiones. Los resultados obtenidos muestran que los ingresos de los equipos PON se prevé que superen los \$21 mil millones en 2028, con un CAGR<sup>1</sup> del 11.7% desde 2022, y que el componente óptico total superará los \$4.9 mil millones en 2028, reflejando un aumento considerable en la demanda y adopción de PON. Además, se identificaron tendencias clave como la adopción de 10G PON y la planificación inicial de despliegues de 50G PON para 2024. Se concluye que las tecnologías PON son esenciales para la sostenibilidad a largo plazo de las telecomunicaciones, dado su bajo consumo de energía por gigabit comparado con otras tecnologías, y que las soluciones PON son cruciales para apoyar las crecientes necesidades de banda ancha sin aumentar el consumo de energía de manera proporcional. Esta investigación es relevante para nuestro estudio porque proporciona un marco comprensivo sobre cómo las infraestructuras PON pueden contribuir significativamente a la sostenibilidad y eficiencia en telecomunicaciones, aspectos clave para el diseño y planificación de futuras redes de telecomunicaciones en entornos urbanos y rurales [14].

---

<sup>1</sup> CAGR (Compound Annual Growth Rate) o Tasa de Crecimiento Anual Compuesto. Es una medida útil para calcular el crecimiento anual promedio de una inversión, ingresos, cantidad de usuarios, o cualquier otro indicador económico o financiero a lo largo de un período de tiempo superior a un año.

La investigación "Migration Paths to 25G EPON, 50G, 100G EPON and Wavelength Plans", cuyo objetivo general es explorar las rutas de migración prácticas y coexistencia para las redes PON hacia capacidades superiores como 25G, 50G y 100G, utilizó la metodología de análisis técnico y evaluaciones de viabilidad sobre la implementación de tecnologías avanzadas como PAM4 y sistemas DWDM. Tuvo como resultados:

**Jerarquía de Tasas PON:** Se identificó que las mejoras en las tasas de transmisión en redes PON deben realizarse en incrementos significativos (4 a 10 veces) para ser viables y eficientes en términos de costos y rendimiento. Por ejemplo, la migración de 10G PON a 25G PON se considera insuficiente debido al pequeño incremento de 2.5 veces, mientras que la migración a 50G PON, con un incremento de 5 veces, es más práctica y eficiente.

**Planificación de Longitudes de Onda:** La investigación detalló planes específicos para la asignación de longitudes de onda, asegurando la coexistencia de diferentes tecnologías PON en la misma infraestructura. Se propuso que la coexistencia de 25G PON se realice con GPON y que la de 50G PON se realice con 10G PON (10G EPON, XGS-PON).

**Desafíos Técnicos:** Se abordaron los desafíos técnicos asociados con la migración a mayores tasas de PON, como la limitación de recursos espectrales, las exigencias de coexistencia, y la necesidad de amplificadores ópticos de semiconductor (SOA) para compensar la pérdida de los filtros WDM. También se destacó la compatibilidad de PAM4 con las pérdidas de filtro WDM y la necesidad de reconsiderar los requisitos de coexistencia para facilitar la migración.

**Prácticas de Migración y Coexistencia:** Se analizaron diferentes escenarios de migración, incluyendo la migración de GPON a 10G PON o 25G PON, y de 10G PON a 50G PON, enfatizando que los incrementos menores no son prácticos a largo plazo. Además, se sugirió que la infraestructura de la red de acceso debería migrar en pasos significativos para asegurar una vida útil razonable de la tasa de PON antes de la siguiente actualización.

**Requisitos de Coexistencia:** Se hizo hincapié en la importancia de los requisitos de coexistencia, proponiendo que 25G PON solo necesita coexistir con GPON, y 50G PON con 10G PON. Estos requisitos se vincularon estrechamente con las rutas prácticas de migración, sugiriendo una visión integrada de coexistencia y migración. Entre sus principales conclusiones, se tienen que: los incrementos en la tasa de 4 a 10 veces son viables y prácticos para la actualización de las redes PON, la migración de 10G PON a 50G PON es más

práctica que a 25G PON debido al mayor incremento en la tasa de transmisión, la coexistencia eficaz de diferentes tecnologías PON es crucial para una transición suave y efectiva y las rutas de migración propuestas cumplen con los requisitos de coexistencia y se pueden escalar hasta 100G. Estos resultados y conclusiones son altamente relevantes para nuestra investigación, ya que proporcionan un marco detallado y probado para planificar la implementación de una infraestructura de red avanzada, asegurando tanto la escalabilidad como la eficiencia en la transmisión de datos a gran escala [15].

La Investigación "50G-PON: The First ITU-T Higher-Speed PON System", cuyo objetivo principal es desarrollar y estandarizar un sistema de red óptica pasiva (PON) con una tasa de línea de 50 Gb/s, se implementa una serie de recomendaciones de estándares desarrollados por la ITU-T. Este sistema 50G-PON representa un salto significativo en la tasa de línea comparado con los sistemas de 10 Gb/s actualmente desplegados en aplicaciones de acceso por fibra. La metodología empleada incluyó la capitalización de avances fundamentales en los componentes del transceptor óptico, trabajando en conjunto con una corrección y codificación de errores mejoradas. Se introdujeron innovaciones clave en los procedimientos de activación, la operación basada en contención y las características criptográficas expandidas. Los resultados de la investigación muestran que el sistema 50G-PON está listo para cumplir con los nuevos y exigentes requisitos de los servicios emergentes. Este sistema puede operar sobre redes de distribución óptica (ODN) desplegadas, coexistiendo con los sistemas PON ya en servicio, gracias a un plan de longitudes de onda que facilita la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) de diferentes generaciones de PON en la misma ODN. Además, el sistema ofrece una mejora significativa en la capacidad de la red, baja latencia, alta eficiencia y seguridad mejorada. Las conclusiones indican que el sistema 50G-PON soporta el crecimiento acelerado en el tráfico de datos de los usuarios, junto con el aumento de la demanda de capacidad de transporte inalámbrico 5G. También permite nuevas aplicaciones como Internet táctil, redes eléctricas inteligentes, manufactura industrial y vehículos autónomos. La pandemia de COVID-19 ha aumentado el enfoque en las redes de acceso debido a un cambio importante en los casos de uso prioritarios, lo que

acelera la necesidad de redes de acceso óptico de alta velocidad más fiables. El sistema 50G-PON será clave para satisfacer estas demandas futuras de la red. Esta investigación es relevante para nuestro estudio porque proporciona un marco integral sobre las tecnologías y especificaciones del ITU-T PON, destacando la importancia de la coexistencia con los sistemas PON instalados y la migración de estos, lo cual es crucial para el diseño y planificación de futuras redes de telecomunicaciones [7].

La investigación "Estudio tecno-económico del despliegue del estándar 50G-PON sobre infraestructura óptica heredada", cuyo objetivo principal fue analizar, tanto desde el punto de vista técnico como económico, la viabilidad del despliegue del estándar 50G-PON utilizando la infraestructura óptica actual. La metodología empleada incluyó un enfoque conceptual y teórico debido a la reciente creación del estándar objeto de estudio, analizando un entorno genérico para estimar la evolución de costes y la viabilidad de la coexistencia de 50G-PON con estándares legados como GPON y XG-PON. Los resultados obtenidos muestran que es técnicamente viable la puesta en marcha del estándar 50G-PON, reaprovechando la mayoría de la infraestructura óptica existente. Se ha demostrado que los métodos para garantizar la coexistencia de esta nueva tecnología con los estándares legados permiten a los proveedores reutilizar gran parte de su infraestructura, lo que facilita la continuidad de los servicios para sus clientes. Desde el punto de vista económico, la reutilización de la infraestructura existente permite contener los costes de despliegue y explotación de los servicios, lo cual se traduce en beneficios para el cliente final, al ofrecer mejores anchos de banda y un catálogo de servicios ampliado a un coste contenido. En las conclusiones, se destaca que el estudio ha validado la viabilidad técnica y económica de la puesta en servicio del estándar 50G-PON sobre una infraestructura heredada, facilitando una migración amortiguada de los estándares legados. La tecnología 50G-PON se presenta como una evolución necesaria para enfrentar las futuras demandas de las redes FTTx sin requerir una revolución significativa en la forma en que estas redes se explotan actualmente. Esta investigación es relevante para nuestra investigación porque proporciona un análisis detallado de la viabilidad técnica y económica de implementar un nuevo estándar de red sobre una infraestructura óptica existente,

lo cual es crucial para la planificación y desarrollo de proyectos de telecomunicaciones eficientes y sostenibles en contextos similares [16].

En la investigación "Demonstration of symmetrical 50-Gb/s TDM-PON in O-band supporting over 33-dB link budget with OLT-side amplification", cuyo objetivo principal es demostrar un sistema de red óptica pasiva (PON) de 50 Gb/s simétrico en la banda O, se emplea amplificación en el lado del terminal de línea óptica (OLT) para soportar un presupuesto de enlace de más de 33 dB. La metodología incluye la investigación experimental de un sistema TDM-PON basado en óptica de 25G, utilizando un amplificador óptico de semiconductor (SOA) en el lado del OLT para mejorar el presupuesto de potencia del enlace. Los resultados muestran que se logró un presupuesto de enlace de hasta 34.97 dB en la dirección descendente con un filtro de ecualización de avance de 7 taps (FFE) y un presupuesto de enlace de 33.76 dB en la dirección ascendente con un filtro de 3 taps FFE. El presupuesto de enlace de 34.97 dB es mejor que el de 28 dB de las redes GPON<sup>2</sup>. Un mayor presupuesto de enlace indica una mayor tolerancia a la pérdida de señal a lo largo del enlace, lo que significa que el sistema puede soportar mayores distancias y/o una mayor cantidad de divisores ópticos sin perder la calidad de la señal. En este caso, un presupuesto de enlace de 34.97 dB proporciona una mayor flexibilidad y robustez en el diseño e implementación de la red óptica pasiva (PON) en comparación con un presupuesto de 28 dB. La investigación concluye que el esquema experimental propuesto contribuirá significativamente al desarrollo de la próxima generación de sistemas PON de 50 Gb/s, gracias a la implementación de SOA y tecnología de ecualización digital. Esta investigación es relevante para nuestra investigación porque proporciona un análisis experimental detallado de la viabilidad técnica de implementar un sistema PON de 50 Gb/s utilizando amplificación SOA en el lado del OLT, lo cual es crucial para la planificación y desarrollo de redes ópticas avanzadas que puedan soportar mayores demandas de capacidad y eficiencia en telecomunicaciones [17].

---

<sup>2</sup> Este valor se encuentra dentro del rango de lo que se conoce como la Clase B+ de GPON, que es ampliamente utilizada en despliegues comerciales. Las clases de presupuestos de enlace típicas para GPON: Clase A: 20 dB de presupuesto de enlace. Clase B: 25 dB de presupuesto de enlace. Clase B+: 28 dB de presupuesto de enlace. Clase C: 30 dB de presupuesto de enlace.



En la investigación "IEEE 50 Gb/s EPON (50G-EPON)", cuyo objetivo principal fue desarrollar y estandarizar la siguiente generación de redes ópticas pasivas Ethernet (EPON) de 50 Gb/s, se empleó como metodología la evaluación técnica y económica de la factibilidad del despliegue de esta tecnología. Esto incluyó un análisis detallado de la coexistencia con tecnologías PON heredadas como GPON, XG-PON1 y XGS-PON, así como la consideración de aspectos de costo y viabilidad técnica. Los resultados mostraron que el 50G-EPON puede soportar tasas de datos simétricas de 50 Gb/s tanto en la dirección ascendente como en la descendente, así como tasas asimétricas de 50 Gb/s en la dirección descendente y 25 Gb/s o 10 Gb/s en la dirección ascendente. Además, se demostró que el 50G-EPON puede coexistir con tecnologías PON anteriores en la misma red de distribución óptica, utilizando asignaciones de longitudes de onda específicas para evitar interferencias. Por ejemplo, la coexistencia con 10G-EPON, XG-PON1 y XGS-PON se logra mediante la asignación de longitudes de onda de 1575-1580 nm para la transmisión descendente y 1260-1280 nm para la transmisión ascendente. Las conclusiones indicaron que el 50G-EPON está preparado para satisfacer las crecientes demandas de capacidad y velocidad en las redes de acceso de banda ancha. La investigación destacó que, además de cumplir con los requisitos de velocidad, el 50G-EPON también aborda la necesidad de coexistencia con tecnologías anteriores, lo que permite a los operadores de red actualizar sus infraestructuras sin necesidad de un reemplazo completo. Esta capacidad de coexistencia se logró mediante la utilización de un par de longitudes de onda para la transmisión simétrica de 25 Gb/s y un par adicional para alcanzar los 50 Gb/s. Es relevante para nuestra investigación porque proporciona un análisis detallado de cómo implementar redes PON avanzadas que pueden coexistir con infraestructuras existentes, lo cual es crucial para la planificación y desarrollo de redes ópticas que necesitan actualizarse sin reemplazar completamente las instalaciones actuales. Esta capacidad de actualización y coexistencia asegura una transición más económica y eficiente hacia redes de mayor capacidad y velocidad [18].

En la investigación "Recent Progress on Standardization of Next Generation 25, 50 and 100G EPON", cuyo objetivo principal fue proporcionar una visión general de los desarrollos recientes en la estandarización de las próximas generaciones de EPON (Ethernet Passive Optical Network) a 25, 50 y 100 Gb/s, se empleó como metodología la revisión de los avances realizados por el grupo de trabajo IEEE P802.3ca en la especificación de la capa física para estas velocidades, así como en las funciones de la capa MAC, incluyendo la unión de canales para alcanzar tasas de línea de 100 Gbps. Con respecto a 50G EPON, los resultados mostraron que se lograron avances significativos en la definición de la arquitectura y la viabilidad técnica de un sistema que utiliza transmisión de 25G por canal y la unión de dos canales para alcanzar una tasa de línea de 50 Gbps. Se discutieron los desafíos técnicos, como la mezcla de cuatro ondas (FWM) y la coexistencia con generaciones anteriores de PON, y se presentaron soluciones para superarlos. En particular, la modulación NRZ y la reutilización de componentes ópticos de 10G fueron identificadas como estrategias clave para mantener los costos bajos mientras se aumenta la tasa de bits. La investigación también destacó la importancia de la coexistencia con tecnologías anteriores, permitiendo que los operadores de red actualicen sus infraestructuras sin necesidad de reemplazos completos. En detalle, se desarrolló un esquema de modulación y detección basado en NRZ y técnicas de detección duobinaria (EDB) para permitir la transmisión de 50G utilizando componentes ópticos de 10G en el lado ONU. Esto es crucial porque el lado ONU es el elemento más sensible al costo en la red. Además, la investigación analizó la sensibilidad del receptor y las penalizaciones por dispersión cromática asociadas con la transición de 10G a 25G NRZ, identificando las compensaciones necesarias para mantener un presupuesto de potencia adecuado de aproximadamente 29 dB, similar al de los sistemas de 10G EPON. Las conclusiones indicaron que la implementación de 50G EPON es técnicamente viable y económicamente beneficiosa, permitiendo a los proveedores de servicios ofrecer mayores anchos de banda y mejorar la oferta de servicios a un costo contenido. La propuesta de una arquitectura de receptor unificada permitiría a los proveedores seleccionar la implementación de receptor más óptima en función del costo de los componentes ópticos a lo largo del tiempo, facilitando una evolución gradual y rentable de las redes EPON. Es relevante para nuestra investigación

porque proporciona un análisis técnico y económico detallado sobre cómo implementar redes PON avanzadas de 50 Gb/s que pueden coexistir con infraestructuras existentes, lo cual es crucial para la planificación y desarrollo de redes ópticas que necesitan actualizarse sin reemplazar completamente las instalaciones actuales. Además, las estrategias propuestas para mantener los costos bajos mientras se aumenta la tasa de bits son aplicables en contextos donde la eficiencia económica es una prioridad [19].

En la investigación "Progress of ITU-T higher speed passive optical network (50G-PON) standardization", cuyo objetivo principal fue revisar los factores clave en el proceso de discusión y selección antes del lanzamiento del proyecto de estándares de redes ópticas pasivas de alta velocidad (PON) en la ITU-T SG15/Q2, se empleó como metodología la evaluación de los requisitos del sistema, el progreso de los documentos de estándares relacionados, y el análisis de las tecnologías necesarias para las capas físicas y de protocolo del 50G-PON. Con resultados que mostraron avances significativos en la definición de la arquitectura del 50G-PON, destacando la importancia de proporcionar tasas de línea de al menos 4 veces las de las PON actuales para satisfacer la creciente demanda de ancho de banda debido a servicios como la realidad virtual (VR) y la realidad aumentada (AR). La investigación también abordó los desafíos técnicos relacionados con la transmisión óptica a velocidades superiores a 10 Gbps, incluyendo la selección de la modulación NRZ para soportar altos presupuestos de enlace óptico (OPL) de hasta 33 dB. Las conclusiones indicaron que el 50G-PON es técnicamente viable y capaz de coexistir con generaciones anteriores de PON, lo cual facilita la actualización gradual de las redes existentes sin necesidad de reemplazos completos. Además, se destacó la adopción de técnicas avanzadas de corrección de errores (FEC) como LDPC para mejorar la fiabilidad y eficiencia de la transmisión a altas tasas de bits. Es relevante para nuestra investigación porque proporciona un análisis detallado de los avances en la estandarización del 50G-PON, así como las tecnologías y estrategias necesarias para implementar redes PON avanzadas que puedan coexistir con infraestructuras existentes. Esta información es crucial para la planificación y desarrollo de redes ópticas que necesitan actualizarse para

satisfacer las crecientes demandas de capacidad y velocidad en las telecomunicaciones [20].

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

Para una investigación que tiene como variables la Red 50G-PON (variable independiente) y la Ciudad Inteligente en la zona urbana de Cajamarca (variable dependiente), definimos los siguientes conceptos y/o definiciones:

### **2.2.1 Redes Ópticas Pasivas (PON) y 50G-PON**

#### **Fundamentos de PON**

Principios Básicos de las Redes Ópticas Pasivas (PON)

Las redes ópticas pasivas (PON) son un tipo de red de telecomunicaciones que utiliza fibra óptica para proporcionar servicios de banda ancha a los usuarios finales. A diferencia de las redes activas, las PON no requieren dispositivos electrónicos activos para funcionar en la transmisión de datos, lo que las hace más eficientes y económicas [21] [22].

#### **Arquitectura de PON**

La arquitectura de una red PON se compone de tres elementos principales:

##### **1. Optical Line Terminal (OLT):**

**Descripción:** El OLT es el punto de inicio de la red PON y se encuentra en la central de la compañía de telecomunicaciones. Su función principal es convertir las señales eléctricas en señales ópticas que puedan ser transmitidas a través de la fibra óptica hacia los usuarios finales.

**Funciones:** El OLT gestiona el tráfico de datos hacia y desde los usuarios, asigna el ancho de banda, y asegura que las transmisiones se realicen sin interferencias.

##### **2. Distribuidor de Fibra Óptica (Splitter):**

**Descripción:** El splitter es un dispositivo pasivo que divide una señal óptica de entrada en múltiples señales de salida. Este componente es clave en la PON, ya que permite que una única fibra óptica pueda servir a varios usuarios finales.

**Tipos:** Existen splitters 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, hasta 1:64, donde el número indica la cantidad de señales en las que se divide la señal original.

### **3. Optical Network Unit (ONU) / Optical Network Terminal (ONT):**

**Descripción:** El ONU o ONU es el dispositivo ubicado en las instalaciones del usuario final. Recibe la señal óptica desde el splitter y la convierte de nuevo en una señal eléctrica que puede ser utilizada por dispositivos finales como computadoras, teléfonos y televisores.

**Funciones:** El ONU/ONU se encarga de gestionar la comunicación bidireccional entre el usuario final y el OLT, así como de garantizar la calidad del servicio (QoS).

#### **Funcionamiento de PON**

El funcionamiento de una PON se basa en la transmisión y recepción de señales ópticas a través de la fibra óptica, utilizando una topología punto a multipunto:

##### **1. Transmisión Descendente (Downstream):**

**Proceso:** El OLT envía señales de datos hacia los usuarios finales a través de la fibra óptica. La señal descendente es generalmente una transmisión de difusión (broadcast), donde cada ONU/ONU recibe la misma señal, pero solo procesa la información destinada a él.

**Tecnología:** Las PON utilizan multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para enviar múltiples señales a diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra.

##### **2. Transmisión Ascendente (Upstream):**

**Proceso:** Los ONT/ONU envían señales de datos de vuelta al OLT. A diferencia de la transmisión descendente, la transmisión ascendente utiliza técnicas de multiplexación por división de tiempo (TDM) para evitar colisiones, ya que todos los usuarios comparten el mismo canal ascendente.

**Control:** El OLT asigna intervalos de tiempo específicos para que cada ONU/ONU transmita sus datos, asegurando una comunicación ordenada y eficiente.

#### **Ventajas de PON**

**1. Costo-Eficiencia:** Al eliminar la necesidad de equipos activos entre la central y los usuarios finales, las PON reducen significativamente los costos de instalación y mantenimiento.

**2. Escalabilidad:** La capacidad de los splitters para dividir señales permite una fácil expansión de la red para servir a más usuarios sin requerir grandes cambios en la infraestructura.

**3. Fiabilidad:** Con menos componentes activos, hay menos puntos de falla potenciales, lo que aumenta la fiabilidad de la red.

### **Desafíos de PON**

**1. Distancia Limitada:** Aunque las PON pueden cubrir distancias considerables, la calidad de la señal puede degradarse en longitudes muy largas, limitando su alcance sin el uso de amplificadores.

**2. Capacidad de Ancho de Banda:** Aunque las PON ofrecen altas velocidades, el ancho de banda disponible debe ser compartido entre todos los usuarios conectados a un splitter, lo que puede afectar el rendimiento en situaciones de alta demanda [23] [24].

### **2.2.2 Evolución de las PON: Describir la evolución de las tecnologías PON, desde GPON, EPON hasta las más recientes como XG-PON y 50G-PON.**

Las Redes Ópticas Pasivas (PON) han evolucionado significativamente desde sus inicios, ofreciendo soluciones cada vez más rápidas y eficientes para la transmisión de datos a través de fibra óptica. La evolución de estas tecnologías ha permitido satisfacer la creciente demanda de ancho de banda y mejorar la calidad de los servicios de telecomunicaciones [22], [25] .

#### **1. EPON (Ethernet PON)**

**Descripción:** EPON, estandarizada por el IEEE como 802.3ah, fue una de las primeras tecnologías PON ampliamente adoptadas.

**Características:** Utiliza el estándar Ethernet para la transmisión de datos y ofrece velocidades de hasta 1 Gbps simétricos [25].

**Ventajas:** Simplicidad y costo-efectividad al utilizar tecnologías Ethernet existentes.

**Aplicaciones:** EPON es popular en redes de acceso residencial y empresarial, especialmente en Asia.

#### **2. GPON (Gigabit PON)**

**Descripción:** GPON, estandarizada por el ITU-T como G.984, es una evolución de las tecnologías PON iniciales que ofrece mayores velocidades y eficiencia.

**Características:** Soporta velocidades de hasta 2.5 Gbps en downstream y 1.25 Gbps en upstream.

**Ventajas:** Mayor eficiencia de ancho de banda mediante el uso de GEM (GPON Encapsulation Method) y mejor soporte para múltiples servicios (voz, video, datos).

**Aplicaciones:** GPON es ampliamente utilizada en redes de acceso de alta velocidad para hogares y empresas en todo el mundo [24].

### **3. XG-PON (10 Gigabit PON)**

**Descripción:** XG-PON, también conocido como 10G-PON, es una evolución de GPON que ofrece velocidades significativamente mayores.

**Características:** Soporta velocidades de hasta 10 Gbps en downstream y 2.5 Gbps en upstream (XG-PON1) o 10 Gbps en ambas direcciones (XGS-PON).

**Ventajas:** Proporciona mayor capacidad y escalabilidad, adecuada para aplicaciones de alta demanda de datos como transmisión de video en 4K y servicios en la nube.

**Aplicaciones:** Utilizada en redes de acceso para soportar servicios de alta demanda de datos y en despliegues de fibra hasta el hogar (FTTH) [24].

### **4. NG-PON2 (Next-Generation PON 2)**

**Descripción:** NG-PON2, estandarizada por el ITU-T como G.989, es la siguiente generación de tecnologías PON que ofrece incluso mayores capacidades y flexibilidad.

**Características:** Soporta velocidades de hasta 40 Gbps agregados mediante la multiplexación de varias longitudes de onda (WDM-PON).

**Ventajas:** Ofrece alta capacidad y resiliencia, con la capacidad de ajustar dinámicamente el ancho de banda y soportar múltiples servicios simultáneamente.

**Aplicaciones:** Adecuada para grandes despliegues urbanos y aplicaciones industriales que requieren alta capacidad y fiabilidad [26].

### **5. 50G-PON**

**Descripción:** 50G-PON es la última evolución en tecnologías PON, estandarizada por el ITU-T como G.9807.1.

**Características:** Ofrece velocidades de hasta 50 Gbps, proporcionando un salto significativo en la capacidad de transmisión.

**Ventajas:** Ideal para soportar las demandas futuras de servicios avanzados como IoT, 5G, y aplicaciones industriales críticas.

**Aplicaciones:** Preparada para futuros despliegues de ciudades inteligentes, redes de telecomunicaciones de alta densidad y servicios de banda ancha ultra-rápida [27].

## Comparación de Tecnologías PON

Tecnología	Velocidad Downstream	Velocidad Upstream	Estandarización	Aplicaciones Clave
EPON	1 Gbps	1 Gbps	IEEE 802.3ah	Redes residenciales y empresariales
GPON	2.5 Gbps	1.25 Gbps	ITU-T G.984	Redes de alta velocidad para hogares y empresas
XG-PON	10 Gbps	2.5/10 Gbps	ITU-T G.987	Transmisión de video 4K, servicios en la nube
NG-PON2	40 Gbps (agregados)	40 Gbps (agregados)	ITU-T G.989	Despliegues urbanos, aplicaciones industriales
50G-PON	50 Gbps	50 Gbps	ITU-T G.9807.1	Ciudades inteligentes, redes de alta densidad

*Fig. 1 Comparación de tecnologías PON*

La evolución de las tecnologías PON demuestra un avance continuo hacia mayores capacidades de transmisión y eficiencia, adecuándose a las crecientes demandas de ancho de banda y mejorando significativamente los servicios de telecomunicaciones en todo el mundo (véase Fig. 1).

### 2.2.3 Ciudades Inteligentes (Smart Cities)

Una ciudad inteligente es un área urbana que utiliza tecnologías digitales y de comunicación avanzada para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, optimizar el uso de los recursos y aumentar la eficiencia operativa. Estas tecnologías se integran en la infraestructura y servicios de la ciudad para gestionar de manera más efectiva los activos y recursos, desde el suministro de energía hasta la gestión de residuos y el tráfico [28], [29], [30], [31].

#### Componentes de una Ciudad Inteligente

##### 1. Infraestructura de Comunicación:

**Descripción:** Redes de telecomunicaciones avanzadas, como las redes 5G y PON (Red Óptica Pasiva), que permiten la transmisión rápida y fiable de datos.

**Función:** Facilitar la conectividad y el intercambio de datos entre dispositivos y sistemas en toda la ciudad.



## **2. Sensores y Dispositivos IoT:**

**Descripción:** Sensores y dispositivos conectados que recopilan y transmiten datos en tiempo real sobre diversas condiciones y actividades urbanas.

**Función:** Proveer datos precisos y actualizados para la toma de decisiones informadas.

## **3. Plataformas de Gestión de Datos:**

**Descripción:** Sistemas de software que agregan, procesan y analizan los datos recogidos por los sensores y dispositivos IoT.

**Función:** Transformar los datos en información útil para la gestión eficiente de la ciudad.

## **4. Energía Inteligente:**

**Descripción:** Redes eléctricas inteligentes (smart grids) y fuentes de energía renovable.

**Función:** Mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental.

## **5. Movilidad Inteligente:**

**Descripción:** Sistemas de transporte público conectados, gestión de tráfico en tiempo real y opciones de movilidad compartida.

**Función:** Optimizar el flujo de tráfico, reducir la congestión y mejorar la accesibilidad.

## **6. Servicios Públicos Digitales:**

**Descripción:** Digitalización de servicios gubernamentales y públicos, como la salud, educación y seguridad.

**Función:** Facilitar el acceso a los servicios y mejorar la interacción entre ciudadanos y administración pública.

## **Objetivos de una Ciudad Inteligente**

### **1. Mejorar la Calidad de Vida:**

**Descripción:** Aumentar el bienestar de los ciudadanos proporcionando servicios más eficientes, seguros y accesibles.

**Ejemplos:** Servicios de salud digitales, educación en línea, y seguridad pública mejorada.

### **2. Optimizar el Uso de los Recursos:**

**Descripción:** Utilizar recursos como el agua y la energía de manera más eficiente mediante la monitorización y gestión en tiempo real.

**Ejemplos:** Sistemas de riego inteligentes, redes eléctricas inteligentes.

### **3. Sostenibilidad Ambiental:**

**Descripción:** Reducir el impacto ambiental de las actividades urbanas mediante el uso de tecnologías limpias y prácticas sostenibles.

**Ejemplos:** Energía renovable, gestión eficiente de residuos.

### **4. Fomentar la Innovación y el Desarrollo Económico:**

**Descripción:** Crear un entorno que promueva la innovación, atraiga inversiones y genere oportunidades económicas.

**Ejemplos:** Centros de innovación, incubadoras de startups.

### **5. Gobernanza Participativa:**

**Descripción:** Facilitar la participación ciudadana en la toma de decisiones a través de plataformas digitales y herramientas de participación.

**Ejemplos:** Consultas públicas en línea, aplicaciones de participación ciudadana.

## **2.2.4 Infraestructura de Telecomunicaciones en Ciudades Inteligentes**

### **Importancia de la Infraestructura de Telecomunicaciones**

Una infraestructura de telecomunicaciones avanzada es fundamental para el desarrollo y funcionamiento de una ciudad inteligente. Esta infraestructura permite la conectividad y la transmisión de datos de manera eficiente y rápida, lo cual es esencial para la implementación y operación de diversos servicios inteligentes. La tecnología 50G-PON (Passive Optical Network) representa una evolución significativa en las redes ópticas pasivas, ofreciendo velocidades de transmisión mucho más altas que sus predecesoras, lo que es crucial para satisfacer las crecientes demandas de datos en una ciudad inteligente [22], [27], [28], [30].

### **Rol de 50G-PON en Ciudades Inteligentes**

#### **1. Alta Capacidad y Velocidad de Transmisión:**

**Descripción:** La tecnología 50G-PON proporciona una capacidad de transmisión de hasta 50 Gbps, lo que permite manejar grandes volúmenes de datos de manera eficiente.

**Impacto:** Esta alta capacidad es esencial para soportar aplicaciones intensivas en datos, como la transmisión de video en 4K/8K, servicios en la nube y la Internet de las Cosas (IoT).

## **2. Baja Latencia:**

**Descripción:** Las redes 5G-PON ofrecen tiempos de respuesta extremadamente rápidos, minimizando la latencia en la transmisión de datos.

**Impacto:** La baja latencia es crucial para aplicaciones en tiempo real, como la gestión del tráfico, la seguridad pública y los servicios de salud digital.

## **3. Conectividad Masiva:**

**Descripción:** La capacidad de conectar un gran número de dispositivos simultáneamente es una característica clave de las redes 5G-PON.

**Impacto:** Esto permite la implementación de redes IoT a gran escala, necesarias para monitorizar y gestionar infraestructuras urbanas como el suministro de agua, electricidad y transporte.

## **4. Escalabilidad y Flexibilidad:**

**Descripción:** Las redes 5G-PON son altamente escalables, permitiendo añadir nuevos usuarios y servicios sin necesidad de reconfiguraciones costosas.

**Impacto:** Esta flexibilidad es fundamental para el crecimiento y la evolución continua de la infraestructura urbana, adaptándose a las necesidades cambiantes de la ciudad.

## **Aplicaciones de 5G-PON en Servicios Inteligentes**

### **1. Gestión del Tráfico y Transporte:**

**Descripción:** Sistemas inteligentes de gestión del tráfico que utilizan datos en tiempo real para optimizar el flujo de vehículos y reducir la congestión.

**Beneficios:** Mejora la eficiencia del transporte público, reduce los tiempos de viaje y disminuye la contaminación.

### **2. Seguridad Pública:**

**Descripción:** Cámaras de vigilancia de alta definición y sistemas de respuesta de emergencia conectados a través de una red 5G-PON.

**Beneficios:** Aumenta la seguridad ciudadana mediante la detección y respuesta rápida a incidentes, así como la monitorización proactiva de áreas críticas.

### **3. Salud Digital:**

**Descripción:** Servicios de telemedicina y monitoreo remoto de pacientes que requieren conexiones de alta velocidad y baja latencia.

**Beneficios:** Mejora el acceso a servicios médicos, permite el monitoreo continuo de condiciones crónicas y reduce la necesidad de visitas hospitalarias.

#### **4. Educación y Servicios Públicos:**

**Descripción:** Plataformas de educación en línea y servicios gubernamentales digitales que dependen de una conectividad fiable y rápida.

**Beneficios:** Facilita el acceso a la educación y servicios públicos, promoviendo una mayor inclusión digital y eficiencia administrativa.

#### **5. Gestión de Recursos y Sostenibilidad:**

**Descripción:** Sistemas de gestión de recursos como agua y energía que utilizan datos en tiempo real para optimizar su uso.

**Beneficios:** Aumenta la eficiencia en el uso de recursos, reduce costos operativos y promueve prácticas sostenibles.

#### **Conclusión**

La implementación de una infraestructura de telecomunicaciones avanzada, como la tecnología 5G-PON, es esencial para el desarrollo y éxito de una ciudad inteligente. Al proporcionar alta capacidad, baja latencia, conectividad masiva y escalabilidad, 5G-PON permite la implementación efectiva de una amplia gama de servicios inteligentes que mejoran la calidad de vida de los ciudadanos, optimizan el uso de recursos y promueven la sostenibilidad urbana.

#### **2.2.5 Red LoRaWAN en Ciudades Inteligentes**

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) es un protocolo de comunicación inalámbrica diseñado para redes de baja potencia y largo alcance, ideal para conectar una gran cantidad de dispositivos IoT (Internet of Things) en entornos urbanos y rurales. LoRaWAN opera en bandas de frecuencia libre, lo que facilita su implementación sin costos asociados a licencias de espectro. Esta tecnología se destaca por su capacidad para transmitir datos a grandes distancias con un bajo consumo de energía, lo cual es esencial para dispositivos como sensores ambientales, contadores de agua y gas, y sistemas de monitoreo de tráfico [32].

#### **2.2.6 Aplicaciones de las Ciudades Inteligentes**

**Aplicaciones de las Ciudades Inteligentes** [28], [30], [31], [32], [33]

**Gestión de Tráfico y Transporte:** Las ciudades inteligentes utilizan tecnologías avanzadas para optimizar el flujo de tráfico y mejorar el transporte público. Los sistemas de gestión de tráfico en tiempo real, basados en datos de sensores y cámaras, ajustan los semáforos automáticamente para mejorar el flujo vehicular,

reduciendo la congestión y las emisiones. El transporte público inteligente proporciona información actualizada a los pasajeros, mejorando la eficiencia y puntualidad. Además, las carreteras inteligentes, equipadas con sensores, detectan condiciones adversas y mejoran la seguridad vial.

**Seguridad Pública:** La tecnología inteligente mejora la seguridad urbana mediante vigilancia avanzada y sistemas de respuesta rápida. Las cámaras de vigilancia inteligentes, con análisis de video en tiempo real, detectan actividades sospechosas y alertan a las autoridades. Los centros de control y monitoreo integran datos para coordinar respuestas de emergencia de manera efectiva. Los drones y robots de vigilancia amplían la cobertura y aumentan la seguridad en eventos y zonas de alto riesgo.

**Salud Digital:** La integración de tecnologías digitales en la salud mejora el acceso, la calidad y la eficiencia de los servicios médicos. La telemedicina permite consultas a distancia y monitoreo remoto, beneficiando especialmente a áreas rurales y reduciendo visitas hospitalarias. Los dispositivos de monitoreo remoto proporcionan datos en tiempo real sobre los pacientes, facilitando una atención personalizada. Las historias clínicas electrónicas (EHR) mejoran la continuidad del cuidado y reducen errores médicos.

**Educación:** Las tecnologías inteligentes transforman la educación con herramientas digitales que mejoran el aprendizaje y la administración educativa. Las aulas inteligentes, equipadas con pizarras interactivas y tablets, crean métodos de enseñanza más dinámicos e interactivos. Las plataformas de aprendizaje en línea ofrecen cursos accesibles desde cualquier lugar, proporcionando flexibilidad y oportunidades de aprendizaje continuo. La analítica educativa utiliza big data para personalizar el aprendizaje y mejorar el rendimiento de los estudiantes.

### **2.2.7 Interrelación entre las Ciudades Inteligentes y Redes 50G-PON**

La implementación de la red 50G-PON (Passive Optical Network) transforma significativamente las ciudades inteligentes, mejorando la capacidad y calidad de los servicios urbanos. Con una capacidad de transmisión de hasta 50 Gbps, esta tecnología permite manejar grandes volúmenes de datos, crucial para aplicaciones

que requieren transferencias rápidas y masivas, como el video 4K/8K, servicios en la nube y el IoT.

Una de las principales ventajas de la 50G-PON es su baja latencia, esencial para aplicaciones en tiempo real como la gestión del tráfico, la seguridad pública y los servicios de salud digital. La alta fiabilidad garantiza una comunicación constante, mejorando la capacidad de respuesta a emergencias y optimizando la operatividad diaria.

La 50G-PON puede soportar una gran cantidad de dispositivos IoT conectados simultáneamente, facilitando la implementación de redes IoT a gran escala y permitiendo una gestión más efectiva de servicios como el suministro de agua, electricidad y sistemas de transporte. Su escalabilidad permite añadir nuevos usuarios y servicios sin grandes reconfiguraciones, adaptándose a las necesidades cambiantes de la ciudad.

Además, la eficiencia de la 50G-PON permite una gestión más efectiva de los recursos urbanos, mejorando la sostenibilidad ambiental y reduciendo costos operativos. La digitalización de servicios públicos como la salud y la educación se beneficia de su alta capacidad y baja latencia, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos.

En conclusión, la 50G-PON ofrece una infraestructura robusta y escalable que facilita la integración de tecnologías avanzadas, contribuyendo al desarrollo sostenible y mejorando la calidad de vida en las ciudades inteligentes [22], [27], [30], [33], [34].

## **2.2.8 Estudios de Caso y Ejemplos Prácticos de Implementación de Redes Avanzadas en Ciudades Inteligentes**

Presentamos algunos estudios de caso en otras partes del mundo [28], [33], [35], [36].

### **1. Barcelona, España**

**Contexto:** Barcelona es considerada una de las ciudades más inteligentes de Europa, con múltiples iniciativas tecnológicas para mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos.

**Implementación:** La ciudad ha desarrollado una infraestructura de red avanzada basada en tecnologías PON, incluyendo implementaciones de 10G-PON y preparaciones para 50G-PON.

**Aplicaciones:**

**Gestión del Tráfico:** Sensores en las carreteras y sistemas de gestión de tráfico en tiempo real para reducir la congestión y mejorar la movilidad urbana.

**Iluminación Inteligente:** Farolas con sensores que ajustan la iluminación según la presencia de personas y vehículos, reduciendo el consumo energético.

**Servicios Públicos Digitales:** Plataformas en línea para acceder a servicios municipales, pagos de impuestos, y consultas ciudadanas.

**Resultados:**

- Reducción significativa de la congestión de tráfico.
- Ahorro energético considerable gracias a la iluminación inteligente.
- Mejora en la satisfacción ciudadana y la eficiencia administrativa.

**2. Singapur**

**Contexto:** Singapur es un líder mundial en la implementación de soluciones de ciudad inteligente, con un fuerte enfoque en la conectividad y la eficiencia urbana.

**Implementación:** La ciudad-estado ha adoptado una infraestructura de telecomunicaciones avanzada, incluyendo redes PON de alta capacidad, y está en proceso de actualizar a 50G-PON.

**Aplicaciones:**

- Viviendas Inteligentes: Integración de sensores en edificios residenciales para monitorear el consumo de energía y agua, y gestionar la climatización de manera eficiente.
- Salud Digital: Sistemas de telemedicina y monitoreo remoto para mejorar la atención médica y reducir la carga sobre los hospitales.
- Gestión Ambiental: Sensores para monitorizar la calidad del aire y el agua, y gestionar los recursos naturales de manera sostenible.

**Resultados:**

- Reducción en el consumo de energía y agua en edificios residenciales.
- Mejora en la atención médica y reducción de visitas hospitalarias innecesarias.
- Mejor gestión ambiental y reducción de la contaminación.

### **3. Seúl, Corea del Sur**

**Contexto:** Seúl es conocida por su infraestructura tecnológica avanzada y su enfoque en la creación de una ciudad inteligente integral.

**Implementación:** La ciudad ha implementado redes ópticas avanzadas, incluyendo GPON y 10G-PON, con planes de transición a 50G-PON.

#### **Aplicaciones:**

- **Transporte Público Inteligente:** Sistemas de información en tiempo real para autobuses y metro, mejorando la eficiencia y la experiencia del usuario.
- **Seguridad Pública:** Cámaras de vigilancia inteligentes y centros de control que monitorean la ciudad para mejorar la seguridad.
- **Servicios Gubernamentales Digitales:** Portales en línea para servicios gubernamentales, facilitando la interacción entre ciudadanos y administración pública.

#### **Resultados:**

- Aumento en la eficiencia del transporte público y reducción de tiempos de espera.
- Mejora en la seguridad pública con una respuesta más rápida a incidentes.
- Mayor eficiencia administrativa y satisfacción ciudadana.

## **2.2.9 Metodologías de Implementación**

### **Diseño e Implementación de Redes 50G-PON**

El diseño e implementación de una red 50G-PON en una zona urbana requiere una serie de pasos técnicos y logísticos detallados para asegurar su éxito. A continuación, se describen los pasos clave necesarios para llevar a cabo este proceso [22], [25], [27], [37]:

#### **1. Evaluación y Planificación Inicial**

##### **Análisis de Demanda y Necesidades:**

- Descripción: Realizar un estudio de demanda para entender las necesidades de ancho de banda y servicios de los usuarios en la zona urbana.
- Métodos: Encuestas a usuarios, análisis de datos de consumo actuales, y proyecciones futuras de crecimiento.

##### **Estudio de Factibilidad:**



- Descripción: Evaluar la viabilidad técnica, económica y regulatoria de implementar la red 50G-PON.

- Métodos: Análisis de costos-beneficios, revisión de normativas locales, y estudio de la infraestructura existente.

## **2. Diseño de la Red**

### **Topología de la Red:**

- Descripción: Definir la estructura de la red, incluyendo la ubicación de los nodos y el diseño de la distribución de la fibra.

- Métodos: Utilización de software de diseño de redes y herramientas GIS para mapear la infraestructura.

### **Selección de Equipos:**

- Descripción: Elegir los componentes necesarios, como el Optical Line Terminal (OLT), splitters ópticos, y Optical Network Units (ONUs).

- Métodos: Evaluación de proveedores y especificaciones técnicas de los equipos.

## **3. Implementación de la Infraestructura**

### **Instalación de la Fibra Óptica:**

- Descripción: Desplegar la fibra óptica en la zona urbana, asegurando un tendido adecuado y seguro.

- Métodos: Técnicas de tendido subterráneo o aéreo, dependiendo de la infraestructura existente y las regulaciones locales.

### **Configuración de los Equipos:**

- Descripción: Configurar y instalar el OLT en la central de la red y los ONUs en los puntos de acceso de los usuarios finales.

- Métodos: Configuración de hardware y software de acuerdo con los estándares técnicos, pruebas de conectividad y rendimiento.

## **4. Integración y Pruebas**

### **Pruebas de Conectividad:**

- Descripción: Verificar la conectividad entre los diferentes componentes de la red y asegurar que la transmisión de datos es óptima.

- Métodos: Pruebas de enlace y mediciones de pérdida de señal utilizando equipos de prueba ópticos.

### **Pruebas de Rendimiento:**

- Descripción: Evaluar el rendimiento de la red en condiciones de carga real, incluyendo pruebas de velocidad, latencia y fiabilidad.
- Métodos: Uso de herramientas de monitoreo y pruebas de estrés para simular el tráfico de usuarios.

## **5. Implementación y Mantenimiento**

### **Despliegue Final:**

- Descripción: Completar la instalación y configuración de la red, asegurando que todos los usuarios están conectados y que los servicios están operativos.
- Métodos: Coordinación con los proveedores de servicios y los usuarios para asegurar una transición suave.

### **Monitoreo y Mantenimiento:**

- Descripción: Establecer un sistema de monitoreo continuo para detectar y resolver problemas de manera proactiva.
- Métodos: Implementación de sistemas de gestión de red (NMS) y protocolos de mantenimiento regular.

## **6. Consideraciones Finales**

### **Formación y Capacitación:**

- Descripción: Capacitar al personal técnico y a los usuarios finales sobre el uso y mantenimiento de la nueva red.
- Métodos: Programas de formación, manuales de usuario y soporte técnico.

### **7. Evaluación Post-Implementación:**

- Descripción: Realizar una evaluación final para asegurar que la red cumple con los objetivos establecidos y para identificar áreas de mejora.
- Métodos: Encuestas de satisfacción, análisis de rendimiento y revisión de la infraestructura.

## **2.2.10 Consideraciones Socioeconómicas**

### **Costo-Beneficio de la Implementación de una Red 50G-PON**

La implementación de una red 50G-PON (Passive Optical Network) en una zona urbana implica una inversión significativa, pero también ofrece una serie de beneficios económicos que pueden justificar los costos iniciales. A continuación, se presenta un análisis comparativo de los costos y beneficios económicos de

implementar una red 50G-PON en comparación con otras tecnologías de red [22], [27], [37], [38].

## **Costos de Implementación**

### **1. Costos de Infraestructura**

**50G-PON:** La instalación de fibra óptica, incluyendo el tendido de cables y la instalación de equipos como OLTs (Optical Line Terminals) y ONUs (Optical Network Units), representa un costo considerable. Sin embargo, la fibra óptica ofrece una larga vida útil y baja necesidad de mantenimiento.

**Tecnologías Alternativas:** Las tecnologías de cobre, como DSL y coaxial, tienen costos de instalación más bajos inicialmente, pero sus capacidades y vida útil son limitadas. Las redes inalámbricas (5G) también requieren inversiones significativas en infraestructura, especialmente en estaciones base y espectro.

### **2. Costos de Equipos**

**50G-PON:** Los equipos necesarios para una red 50G-PON, incluyendo splitters ópticos y terminales de red, son más caros que los equipos para redes de cobre o inalámbricas. Sin embargo, los costos de los equipos han estado disminuyendo con el tiempo debido a las economías de escala.

**Tecnologías Alternativas:** Los equipos para redes de cobre y inalámbricas son generalmente más baratos, pero pueden requerir actualizaciones más frecuentes para mantenerse al día con las demandas de ancho de banda.

### **3. Costos de Mantenimiento y Operación**

**50G-PON:** Las redes de fibra óptica tienen menores costos de mantenimiento debido a su durabilidad y menor susceptibilidad a interferencias electromagnéticas. Las operaciones también son más eficientes debido a la menor necesidad de reparaciones y reemplazos.

**Tecnologías Alternativas:** Las redes de cobre y las inalámbricas tienen mayores costos de mantenimiento debido a su vulnerabilidad a las interferencias y al desgaste más rápido de los materiales.

## **Beneficios Económicos**

### **1. Capacidad y Velocidad**

**50G-PON:** Ofrece una capacidad de hasta 50 Gbps, lo que permite soportar un mayor número de usuarios y aplicaciones de alta demanda, como el video 4K/8K,

IoT y servicios en la nube. Esta capacidad asegura que la red puede escalar y evolucionar con las necesidades futuras.

**Tecnologías Alternativas:** Las tecnologías de cobre y las inalámbricas tienen limitaciones de ancho de banda, lo que puede restringir la capacidad de soportar aplicaciones avanzadas y un gran número de usuarios simultáneos.

## **2. Retorno de la Inversión (ROI)**

**50G-PON:** Aunque la inversión inicial es alta, el ROI puede ser significativo debido a la longevidad de la infraestructura de fibra y los menores costos operativos. La capacidad de ofrecer servicios avanzados también puede generar ingresos adicionales.

**Tecnologías Alternativas:** Las inversiones más bajas pueden traducirse en un ROI más rápido inicialmente, pero las limitaciones de capacidad y la necesidad de actualizaciones frecuentes pueden reducir el ROI a largo plazo.

## **3. Impacto Económico Local**

**50G-PON:** La implementación de una red 50G-PON puede atraer inversiones y empresas tecnológicas a la región, impulsando el desarrollo económico local. Además, mejora la calidad de vida de los residentes al ofrecer acceso a servicios avanzados y fiables.

**Tecnologías Alternativas:** Pueden no ofrecer el mismo nivel de incentivo para el desarrollo económico y pueden limitar las oportunidades de crecimiento a largo plazo.

## **4. Sostenibilidad**

**50G-PON:** La fibra óptica es más sostenible que el cobre, ya que requiere menos energía para la transmisión de datos y tiene una menor huella ambiental. Además, su durabilidad reduce la necesidad de reemplazos y el impacto ambiental asociado.

**Tecnologías Alternativas:** Las redes de cobre y las inalámbricas tienen una mayor huella ambiental debido a su mayor consumo de energía y necesidad de materiales no renovables.

## **Conclusión**

La implementación de una red 50G-PON en una zona urbana implica costos iniciales elevados, pero los beneficios económicos y operativos a largo plazo pueden justificar esta inversión. La alta capacidad, baja latencia, fiabilidad y sostenibilidad de las redes 50G-PON las hacen una opción atractiva frente a las

tecnologías alternativas. Además, la capacidad de soportar servicios avanzados y la infraestructura duradera aseguran un retorno de inversión significativo y un impacto positivo en el desarrollo económico local.

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

A

- **Ancho de Banda:** Capacidad de una red para transmitir datos, medida en bits por segundo (bps) [23].

B

- **Banda Ancha:** Tecnología de transmisión de alta velocidad que proporciona acceso rápido a Internet y otros servicios de datos [39].

C

- **Capacidad de Red:** La cantidad máxima de datos que una red puede manejar en un período determinado [40].

- **Ciudad Inteligente:** Área urbana que utiliza diversos tipos de sensores electrónicos y tecnologías para recopilar datos, gestionar activos y recursos de manera eficiente, y mejorar la calidad de vida de sus habitantes [29].

D

- **Datos Cuantitativos:** Información numérica utilizada para medir y analizar fenómenos [41].

- **Datos Cualitativos:** Información no numérica que proporciona descripciones detalladas de situaciones, experiencias o fenómenos [41], [42].

E

- **Evaluación de Impacto:** Proceso de medir los efectos y resultados de una implementación o intervención específica [43].

F

- **Fibra Óptica:** Tecnología que utiliza filamentos de vidrio o plástico para transmitir datos en forma de pulsos de luz [21].

G

- **GPON (Gigabit Passive Optical Network):** Tecnología de red óptica pasiva que permite transmitir datos a alta velocidad utilizando fibra óptica [24], [44].

I

- **IoT (Internet de las Cosas):** Red de dispositivos físicos, vehículos, electrodomésticos y otros elementos equipados con sensores y software que permiten la recolección y el intercambio de datos [45].

L

- **Latencia:** Tiempo que tarda un paquete de datos en viajar desde el origen hasta el destino en una red [46].

N

- **Nodo:** Punto de intersección o conexión dentro de una red, como un dispositivo o un punto de acceso [40].

P

- **PON (Red Óptica Pasiva):** Tecnología de telecomunicaciones que utiliza fibra óptica y componentes pasivos para proporcionar servicios de banda ancha [24].

R

- **Red 50G-PON:** Evolución de las redes ópticas pasivas que permite velocidades de transmisión de hasta 50 Gbps [47].

- **Revisión de Literatura:** Proceso de analizar y sintetizar la información existente sobre un tema específico [48].

S

- **Servicios Esenciales:** Funciones básicas que una ciudad inteligente debe proporcionar, como gestión del tráfico, seguridad pública, salud digital y educación [28].

T

- **Telecomunicaciones:** Transmisión de información a largas distancias mediante medios electrónicos [23].

V

- **Viabilidad:** Capacidad de ser implementado de manera exitosa dentro de los parámetros establecidos, como tiempo, costo y recursos [43].

Z

- **Zona Urbana:** Área de una ciudad que está densamente poblada y bien desarrollada en términos de infraestructura y servicios [49].

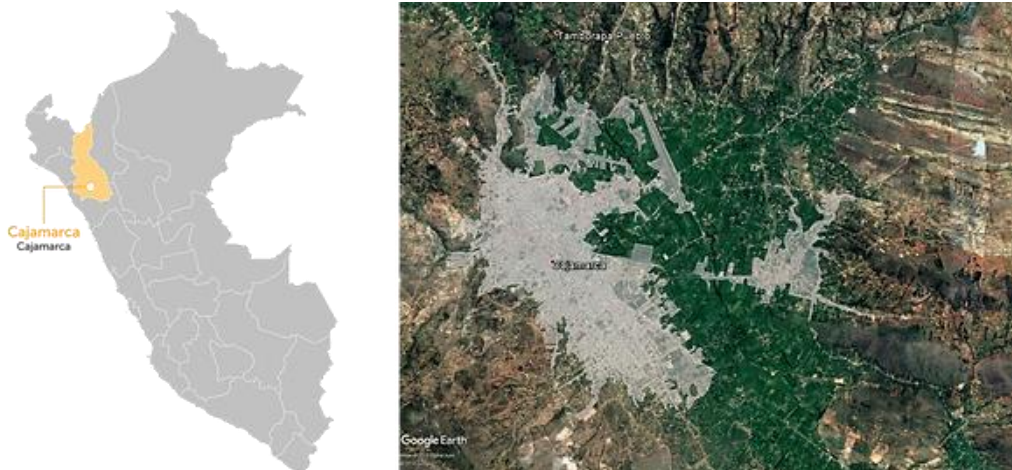
### 3 CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

---

#### **Ubicación Geográfica y Tiempo de la Investigación**

La investigación se realizó en la ciudad de Cajamarca, Perú, ubicada a 2720 metros sobre el nivel del mar en la vertiente oriental de los Andes del norte. Cajamarca es la capital del Departamento de Cajamarca y es conocida por su rica historia, marcada por eventos significativos como el encuentro entre el Inca Atahualpa y los conquistadores españoles [50]. Al Este, presenta un amplio valle, por donde fluyen los ríos Mashcón y Chonta, que al unirse en la altura del caserío Huayrapongo forman el río Cajamarca (véase Fig. 2).

Económicamente, Cajamarca es una de las ciudades más importantes de la sierra norte del Perú, impulsada por la minería aurífera, con minas prominentes como Yanacocha, una de las minas de oro más grandes del mundo [51]. Además, la economía local se beneficia de la ganadería tradicional y la agricultura de secano, con productos como el maíz y las papas [52]. En los últimos años, ha habido un creciente enfoque en el turismo, aprovechando su patrimonio cultural y natural [53]. El periodo durante el cual se llevó a cabo la investigación fue entre junio del 2023 y marzo del 2024. Este periodo permitió un análisis exhaustivo y detallado de la implementación de tecnologías emergentes como la red 5G-PON, con el objetivo de transformar a Cajamarca en una ciudad inteligente. Durante estos meses, se llevaron a cabo diversas actividades de campo, recolección de datos y análisis técnico para evaluar la viabilidad y el impacto de la tecnología en la infraestructura de telecomunicaciones de la ciudad. Además, la investigación se circunscribió al perímetro delimitado por la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, asegurando que los estudios y análisis se realizaron en el contexto específico y representativo de esta área urbana.



*Fig. 2 Ciudad De Cajamarca.*

*Fuente: <https://www.miciudad.pe/ciudad/cajamarca/>.*

### **a. Procedimiento**

Esta investigación siguió la metodología de desarrollar objetivo por objetivo, es una práctica común y bien aceptada en muchos campos de investigación [41], [43]. Este enfoque asegura que cada objetivo sea abordado de manera clara y estructurada [54].

Para ello, se describen paso a paso y con detalle los procesos realizados, métodos y técnicas en orden cronológico, permitiendo que otros investigadores puedan repetir el proceso de manera precisa. El alcance de la investigación se centró en el diseño de la red 5G-PON en la zona urbana ciudad de la Cajamarca con el objetivo de transformarla una ciudad inteligente.

### **Objetivo 1: Diagnosticar la infraestructura de banda ancha actual para identificar necesidades y capacidades**

#### **1. Recolección de Datos Iniciales:**

-Se realizó una inspección detallada de la infraestructura de banda ancha existente en la zona urbana de Cajamarca, recopilando datos sobre la capacidad actual de las redes, su distribución geográfica y rendimiento.

-Método: Inspecciones de campo y entrevistas con técnicos locales.

-Fuente: Referencias estándar de metodologías de inspección de telecomunicaciones.



## 2. Evaluación de Equipos y Tecnologías Existentes:

-Se identificaron y evaluaron los equipos y tecnologías de red actuales, incluyendo GPON y otras tecnologías de acceso.

### **Objetivo 2: Identificar los servicios esenciales para una ciudad inteligente**

## 3. Revisión de Servicios Urbanos:

Se realizó un análisis de los servicios urbanos existentes y necesarios para una ciudad inteligente, como: seguridad ciudadana, gestión del tráfico, servicios de emergencia, transporte inteligente, gestión eficiente de energía, gestión de residuos, calidad ambiental y salud pública.

-Método: Entrevistas con funcionarios municipales, revisión de documentos oficiales y se llevó a cabo una encuesta a los ciudadanos para identificar los sectores con necesidad de servicios y/o la falta de estos.

-Fuente: Estudios de caso, literatura sobre ciudades inteligentes y evidencia directa de las percepciones y necesidades de los residentes.

## 4. Definición de Reglas y Zonas Prioritarias para Servicios:

- Se diseñaron reglas y se delimitaron zonas específicas para priorizar la implementación de los servicios de la ciudad inteligente, asegurando que los servicios se implementen según las necesidades identificadas. Para la definición de estas reglas, se utilizaron diagramas de flujo que detallan los procesos de decisión y la priorización de áreas según criterios preestablecidos. Además, se realizaron encuestas a los ciudadanos para identificar las zonas prioritarias y determinar qué servicios son necesarios o necesitan mejoras en la ciudad. Los resultados de las encuestas permitieron ajustar las reglas y zonas, alineando la implementación con las demandas reales de la población.

-Método: Se utilizaron diagramas de flujo para definir los procesos de decisión y priorización de áreas según criterios preestablecidos. Además, se llevaron a cabo encuestas a los ciudadanos para identificar las zonas prioritarias y determinar qué servicios faltaban o necesitaban mejoras en la ciudad.

-Método: Manuales de planificación estratégica, guías de creación de diagramas de flujo y resultados de encuestas ciudadanas.

## 5. Ubicación de Sensores:

Se realizó la ubicación estratégica de sensores según las zonas indicadas, permitiendo un monitoreo y control precisos que maximicen la eficiencia de cada servicio.

-Método: Modelado geoespacial y análisis de densidad poblacional.

-Fuente: Manuales técnicos Sensorización.

#### 6. Análisis de Requerimientos de Conectividad:

-Se determinó la conectividad necesaria para cada servicio, estableciendo prioridades y capacidades requeridas.

### **Objetivo 3: Establecer la cobertura de la red adecuada**

#### 7. Planificación de la Cobertura de Red:

-Se delimitaron las áreas geográficas de la infraestructura de red necesarias para cubrir la zona urbana de Cajamarca.

-Método: Modelado geoespacial y análisis de densidad poblacional.

-Fuente: Manuales técnicos de diseño de redes ópticas.

#### 8. Desarrollo de la Topología de Red:

-Se diseñó la topología de red, especificando la ubicación de los nodos y la distribución de la fibra óptica.

### **Objetivo 4: Seleccionar el equipamiento necesario**

#### 9. Especificaciones Técnicas:

-Se definieron las especificaciones técnicas para la red 50G-PON, incluyendo la selección de equipos y componentes ópticos necesarios.

-Método: Revisión de catálogos de proveedores y normas técnicas.

-Fuente: Normas internacionales ITU-T y IEEE.

### **Objetivo 5: Identificar los recursos para el despliegue de la tecnología**

#### 10. Planificación de Recursos Humanos y Materiales:

-Se determinaron los recursos humanos y materiales necesarios para la implementación del proyecto.

- Método: Análisis de capacidades locales y necesidades logísticas.

- Fuente: Estudios de factibilidad y planes de recursos.

#### Diseño de la Red 50G-PON

#### 11. Diseño de la Red:

-Se desarrollaron los planos y diagramas detallados de la red 50G-PON, especificando todos los elementos necesarios para su implementación.

-Método: Software de diseño de redes y manuales técnicos de diseño de redes ópticas.

-Fuente: Guías de diseño de redes ópticas.

#### 12. Documentación del Diseño:

-Se elaboró una documentación detallada del diseño, incluyendo todos los planos, especificaciones técnicas.

-Fuente: Directrices de documentación técnica en proyectos de ingeniería.

### **3.1 DIAGNOSTICAR LA INFRAESTRUCTURA DE BANDA ANCHA EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA, COMO PUNTO DE PARTIDA PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.**

La planificación, administración y gobernanza de las ciudades de manera sostenible es en uno de los desafíos más importantes que enfrentan prácticamente todos los países en este siglo. El objetivo es maximizar las oportunidades económicas y minimizar los impactos ambientales negativos. En este sentido, es crucial utilizar de manera más eficiente los recursos públicos y gestionar los activos naturales de manera consciente y responsable[55].

La planificación urbana sostenible implica considerar la integración de políticas ambientales, sociales y económicas para lograr un desarrollo equilibrado y armonioso de las ciudades. Esto implica la adopción de enfoques que promuevan la eficiencia energética, el transporte sostenible, la preservación de áreas verdes, la gestión adecuada de los recursos hídricos y la promoción de la equidad social. Además, se requiere una gobernanza efectiva que involucre a diferentes actores, como gobiernos locales, sociedad civil y sector privado, en la toma de decisiones y la implementación de políticas urbanas.

Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), por primera vez en la historia, más del 50% de la población mundial, es decir, aproximadamente 3.600 millones de personas, residía en áreas urbanas. Además, se proyecta que para el año 2050, el 70% de la población global, superando los 6.000 millones de personas, vivirá en ciudades. De este total, se estima que el 64,1% de las personas estarán en países en desarrollo, mientras que el 85,9% de los habitantes residirán en países desarrollados. Este estudio revela una tendencia significativa hacia la urbanización a nivel global y resalta la importancia de abordar los desafíos y oportunidades asociados con el crecimiento urbano sostenible en todo el mundo.

Después de América del Norte, donde el 82% de la población ya reside en áreas urbanas, la región de América Latina y el Caribe (ALC) se posiciona como la segunda en el mundo en términos de habitantes urbanos, alcanzando el 80% de su población total. Este proceso de urbanización se ha intensificado durante la

segunda mitad del siglo XX, ya que en 1950 solo el 42% de la población regional vivía en ciudades.

En el desarrollo de este objetivo pretendemos exponer el estado del arte de las tecnologías existentes en el Perú y las que alcanzan a la región y en especialmente a la localidad de Cajamarca, por ello debemos manifestar en primer lugar que, el estado peruano en un compromiso por reducir la brecha de telecomunicaciones ha desarrollado la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO), la cual es un proyecto emblemático, que implicó el tendido de 13,500 kilómetros de fibra en Para establecer la cobertura todo el territorio nacional para brindar Internet de alta velocidad y los servicios que la fibra óptica pueda soportar [56]. Al 2018, el tendido de la fibra óptica se encuentra desplegado al 100% en 180 capitales de provincia, una de ellas es Cajamarca, donde se encontraban los nodos de distribución y conexión del proyecto regional y uno de los ocho nodos Core de la RDNFO.

Por otro lado las instituciones públicas de Cajamarca tales como la Universidad, las sedes del poder judicial y ministerio público, sedes del Gobierno Regional, las diferentes municipalidades entre ellas la Municipalidad Provincial de Cajamarca y otras sedes de gobierno estarían conectadas a la REDNACE [57], tal como lo ha hecho recientemente la Universidad Nacional Mayor de San Marcos [58]. El estado brindando software, aplicaciones, gestión y capacitación, brindó una atención ciudadana de mayor calidad, al tiempo que se reducirán los costos de transacción entre los diferentes actores de la sociedad y los mercados de bienes y servicios. Esto a su vez contribuirá a aumentar la competitividad tanto de las empresas privadas como de las entidades públicas, y colaborará en la mejora de los indicadores económicos y sociales de la ciudad y del país [59].

Perú, a través de sus gobiernos municipales, llevaba a cabo proyectos que aprovechan las nuevas tecnologías de videovigilancia, como el proyecto municipal “Ampliación del servicio de suministro con video cámaras, utilizando la infraestructura del sistema integrado de seguridad del centro de control de emergencia y seguridad Ciudadana, Provincia de Cajamarca- Cajamarca.”

Implementar una red 50GPON podría ser el comienzo de una nueva etapa para la ciudad en términos de seguridad y gestión urbana [60]. Las ciudades inteligentes, cuando se aplican correctamente, se convierten en un modelo de gestión altamente beneficioso tanto para el municipio como para sus habitantes. En este contexto, la

Municipalidad Provincial de Cajamarca desempeñará el papel de maestro de orquesta, dirigiendo una sinfonía en la que, diversos actores, como agentes públicos, privados, científicos y la propia comunidad, utilizarán la tecnología como instrumento principal. Las autoridades municipales son las más indicadas para liderar y abordar los desafíos que enfrenta la ciudad. Mientras que el gobierno central se enfoca en aspectos macro, el alcalde y su equipo tienen una posición privilegiada para atender las necesidades inmediatas de la comunidad [61].

En el caso de los operadores privados de telecomunicaciones instalados en Cajamarca, solo tienen infraestructura instalada que les permite ofrecer redes móviles en la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, con cobertura de redes hasta 4G y redes FTTH. Se aprecia las BT's de los operadores de redes móviles por zonas en Cajamarca [62] (véase Fig. 3). Cuyos anchos de banda ofrecidos están entre los 3.9 Mbps y los 80.00 Mbps de descarga cuyos precios fluctúan entre S/. 29,90 soles y S/. 199,90 soles siendo estos limitados a una cierta cantidad de GB para su consumo estos están desde los 0.5 GB hasta los 40.00 GB [63].

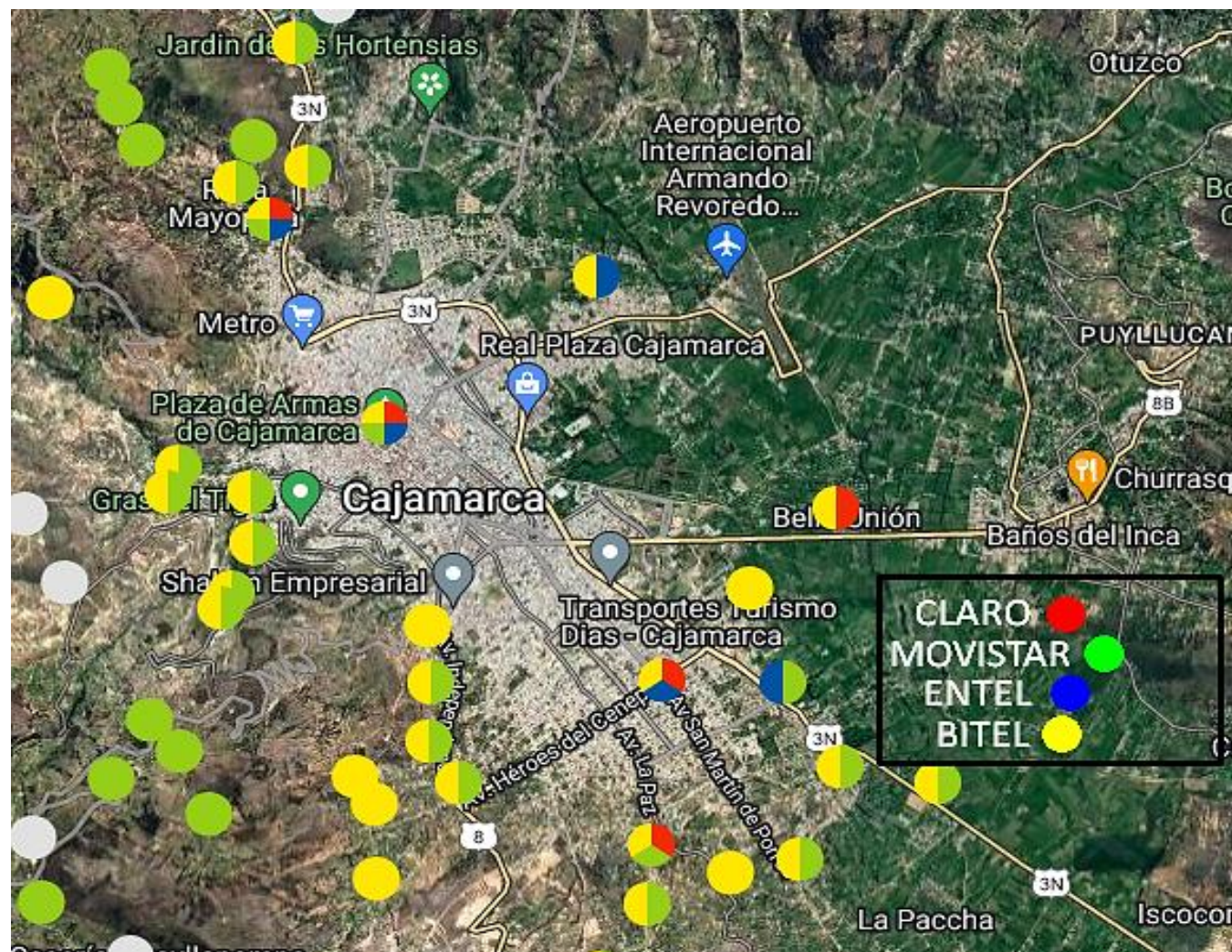


Fig. 3 Cobertura Móvil en la ciudad de Cajamarca.

Fuente: <https://serviciosweb.osiptel.gob.pe/CoberturaMovil/>.

Tras una investigación que involucró el contacto directo con cada uno de los operadores existentes en la ciudad de Cajamarca. Se recopiló información detallada sobre los servicios que ofrecen, incluyendo Internet, televisión, telefonía fija y telefonía móvil (véase Tabla 1).

	<b>CLARO</b>	<b>MOVISTAR</b>	<b>ENTEL</b>	<b>BITEL</b>
<b>Internet</b>	✓	✓	✓	✓
<b>Televisión</b>	✓	✓		
<b>Telefonía Fija</b>	✓	✓	✓	✓
<b>Telefonía Móvil</b>	✓	✓	✓	✓

*Tabla 1 Servicios y operadores en la ciudad de Cajamarca.*

Como vemos en la ciudad de Cajamarca, los operadores de telecomunicaciones aún no disponen de redes 5G, estamos familiarizados con las conexiones 3G y 4G, las cuales utilizamos en nuestros smartphones y otros dispositivos portátiles, como relojes y pulseras. Sin embargo, estas redes no son suficientes para satisfacer la necesidad de tener una ciudad inteligente, hospitales automatizados, industrias robotizadas, Internet de las cosas (IoT) y otros ámbitos similares [64].

Podemos decir, que las redes de los operadores Claro, Movistar, Entel Y Bitel presentes principalmente en la ciudad de Cajamarca han implementado redes móviles 3G y 4G para telefonía celular, redes FTTH de fibra óptica para proveer servicios de Internet y televisión por cable. Por otro lado, las municipalidades de Cajamarca, Bambamarca, Baños Del Inca, Chota, Jaén, San Ignacio y Cajabamba han implementado redes de fibra óptica con tecnología GPON y en el caso de los Baños Del Inca la complementa su red con conexiones inalámbricas mediante radioenlaces. Estas conexiones permiten el acceso a cámaras de videovigilancia ubicadas en zonas de difícil acceso debido a la geografía el costo de despliegue de fibra óptica sería muy elevado. Si bien los radioenlaces ayudan a ahorrar costos, es importante tener en cuenta que pueden modificar el ancho de banda inicial, teniendo un throughput de 147 Mbps.

En conclusión, tanto en la Ciudad de Cajamarca como en las otras ciudades investigadas, no se cuenta actualmente con la tecnología adecuada para implementar ciudades inteligentes. Por lo tanto, la concepción del proyecto de ingeniería deberá partir desde cero, ya que la fibra actualmente desplegada no es



compatible con la tecnología requerida para el proyecto. Es necesario realizar una planificación integral que permita desarrollar e integrar las infraestructuras y tecnologías necesarias para hacer posible la implementación exitosa de ciudades inteligentes en el futuro.

### **3.2 INFRAESTRUCTURA DE RED EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA**

En 2011, en la ciudad de Cajamarca, se llevó a cabo el primer despliegue de fibra óptica dedicado a la Seguridad Ciudadana, con el proyecto denominado "Implementación de la plataforma óptica para la videovigilancia en la ciudad de Cajamarca". Este proyecto tuvo como objetivo principal la instalación de cámaras de seguridad en puntos estratégicos de la ciudad, mientras que también permitió una interconexión entre diversas entidades públicas. En el plano se puede observar el despliegue del anillo óptico, el cual consta de 24 fibras, siendo la principal red troncal que se ramifica hacia la ubicación exacta de las cámaras de videovigilancia, marcando un hito en la modernización de la infraestructura tecnológica de Cajamarca. (véase Fig. 4)

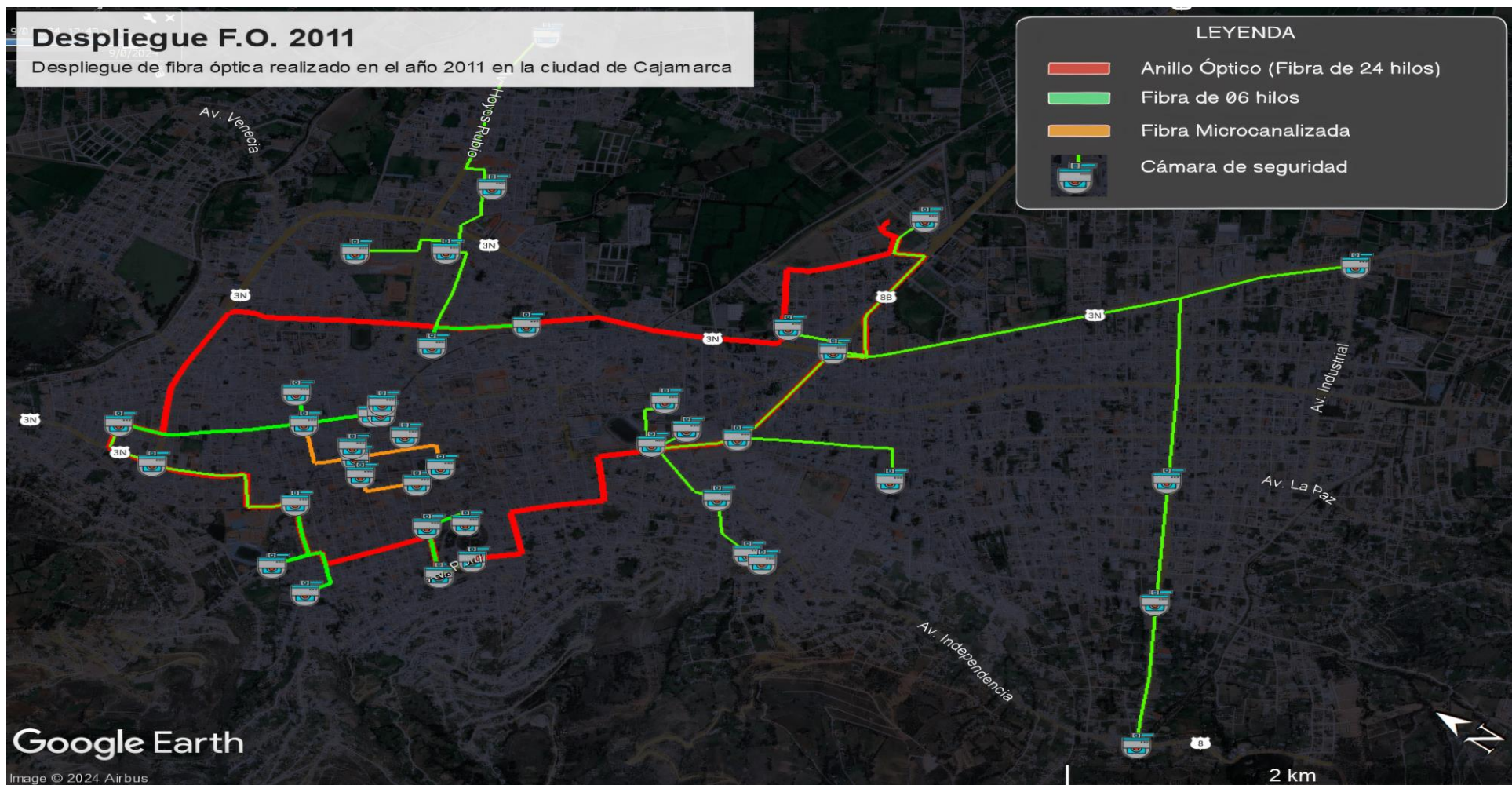


Fig. 4 Despliegue de Fibra óptica del 2011.

Fuente: Resumen ejecutivo del proyecto “Implementación de la plataforma óptica para la videovigilancia en la ciudad de Cajamarca”.

Estas iniciativas no se detuvieron, sino que continuaron con nuevas ampliaciones para fortalecer aún más la infraestructura de seguridad ciudadana en la ciudad.

En 2019, se llevó a cabo la segunda implementación de fibra óptica dedicada a la Seguridad Ciudadana en la ciudad de Cajamarca, bajo el proyecto denominado "Ampliación del servicio de suministro con video cámaras, utilizando la infraestructura del sistema integrado de seguridad del centro de control de emergencia y seguridad Ciudadana, Provincia de Cajamarca- Cajamarca". Fortaleciendo la red de videovigilancia y optimizando la infraestructura existente para mejorar la capacidad de respuesta y monitoreo de la seguridad en la ciudad. (véase Fig.5).

Al analizar detenidamente la representación gráfica, se nos presenta una visión clara y detallada del anillo óptico, siendo el centro histórico representado en un color verde. Asimismo, se revelan los diversos tipos de fibras ópticas que conforman este despliegue. La fibra micro canalizada, marcada en rojo, ha sido estratégicamente instalada en el centro histórico de la ciudad, cubriendo una distancia de 3.5 km. Por otro lado, la fibra aérea de 12 hilos, resaltada en un tono azul, se extiende a lo largo de 35 km en su totalidad. La fibra de 24 hilos, identificada por su color naranja, abarca un trayecto de 2 km, mientras que la fibra de 96 hilos, representada en un color celeste, cubre una distancia total de 14.5 km. La instalación de la fibra aérea ha requerido el uso de un total de 969 postes [65].



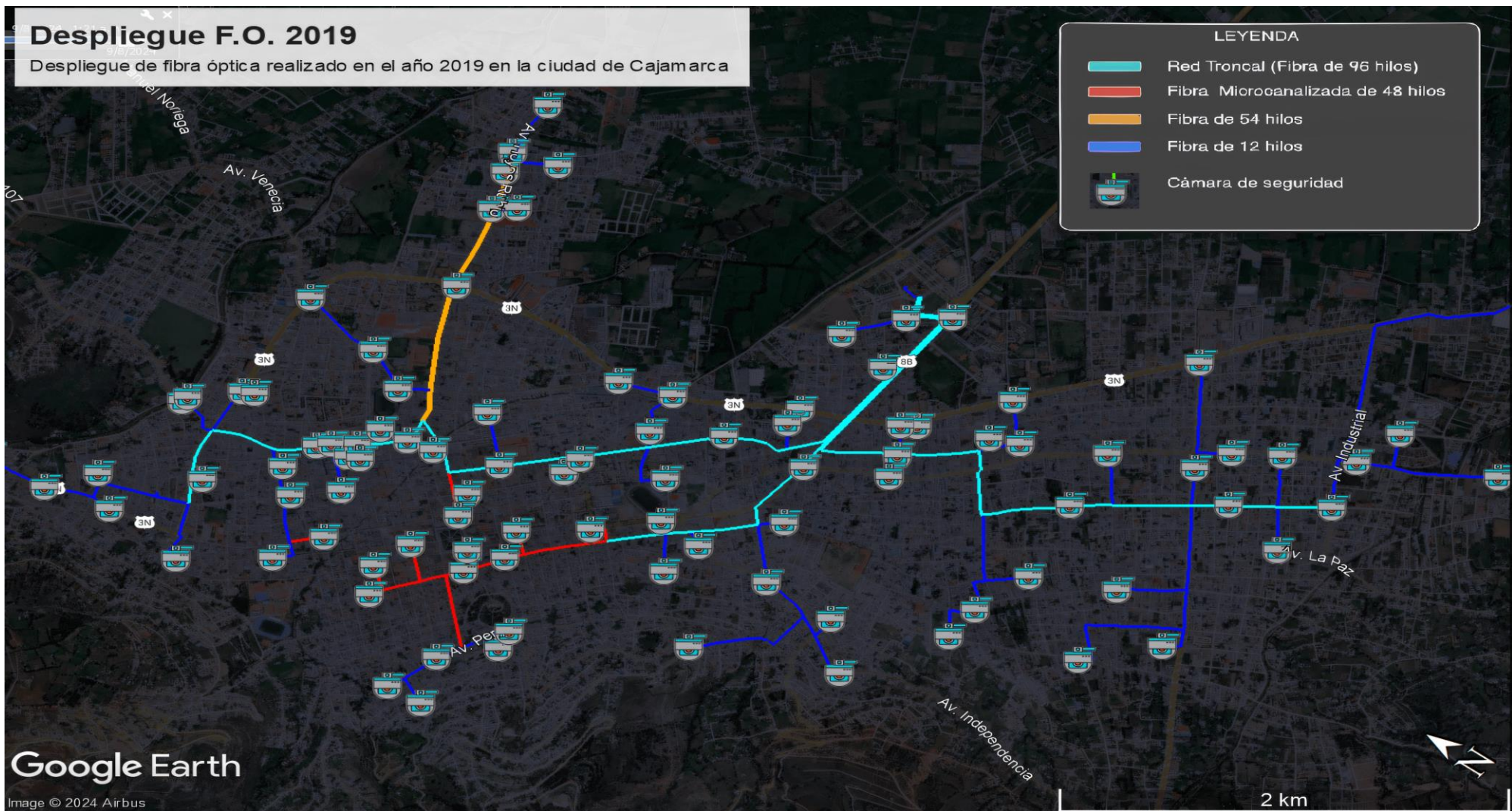


Fig. 5 Despliegue de fibra óptica en Cajamarca.

Fuente: Resumen ejecutivo del proyecto “Ampliación del servicio de suministro con video cámaras, utilizando la infraestructura del sistema integrado de seguridad del centro de control de emergencia y seguridad Ciudadana, Provincia de Cajamarca-Cajamarca”.

### **3.2.1 Diagnóstico de la infraestructura actual de la red**

La infraestructura de fibra óptica en la ciudad de Cajamarca se compone de dos proyectos principales de despliegue, realizados en 2011 y 2019 respectivamente.

El proyecto de 2011, "Implementación de la plataforma óptica para la videovigilancia de la ciudad digital de Cajamarca", se caracteriza por una estructura de una fibra troncal de 24 hilos, con ramificaciones de seis hilos. Un aspecto destacable es la consideración del centro histórico, donde se implementó fibra microcanalizada en lugar de fibra aérea para preservar la estética patrimonial como se detalla en el plano: "Plano de acometidas seguridad ciudadana".

Este despliegue inicial cubre 42 cámaras de seguridad distribuidas por la ciudad. La red está diseñada con redundancia, asignando dos hilos de fibra óptica a cada cámara: uno para acceso y otro como respaldo. La implementación incluye múltiples sangrados y el uso de splitters (que se pueden mejorar la organización de estos para dar más cobertura), lo que optimiza la conectividad y permite reservar capacidad para futuras expansiones.

Por otro lado, el proyecto más reciente, implementado en 2019, "Ampliación del servicio de suministros con videocámaras, utilizando la infraestructura del sistema integrado de seguridad con el centro de control de emergencia y seguridad ciudadana", presenta un despliegue significativamente mayor, pero con limitaciones tecnológicas críticas.

Esta nueva red se compone de tres troncales principales de 96 hilos cada una, que se ramifican por toda la ciudad utilizando fibras de 48, 24 y 12 hilos. El proyecto da cobertura a 101 cámaras como detalla el plano: "Plano general de red de fibra óptica Cajamarca". Sin embargo, a pesar de su modernidad, presenta deficiencias tecnológicas importantes.

La principal limitación radica en la ausencia de una OLT (Optical Line Terminal) para la multiplexación y demultiplexación de señales. En su lugar, se utilizan convertidores de señal que transforman el haz de luz de la fibra óptica en señal eléctrica. Estos equipos operan bajo el estándar Fast Ethernet, limitando la velocidad a 100 megabits por segundo. Esto representa un cuello de botella

significativo, especialmente al compararlo con las capacidades de una red GPON moderna, que puede operar en el rango de gigabits por segundo.

La arquitectura adoptada implica que cada cámara requiere un convertidor de señal individual, y cada convertidor utiliza dos hilos de fibra: uno para transmisión y otro para recepción. Esta configuración resulta en un uso ineficiente de los recursos de fibra óptica disponibles. En contraste, una implementación con OLT y ONU (Optical Network Terminal) típica de GPON permitiría utilizar un solo hilo para alimentar múltiples cámaras a través de una única ONU.

Como consecuencia de esta configuración, la red de 2019, a pesar de su amplia capacidad inicial (288 hilos en total), presenta una alta saturación. La fibra destinada al sector Sur tiene solo 18 hilos libres, la de la zona Norte apenas 2 hilos disponibles, y la del centro 56 hilos libres. Esta situación evidencia una gestión ineficaz de los recursos, donde una infraestructura de fibra óptica robusta se ve comprometida por el uso de equipamiento inadecuado.

En resumen, mientras que el proyecto de 2011 muestra un diseño eficiente y orientado al futuro, el despliegue de 2019, a pesar de su mayor escala, se ve limitado por decisiones tecnológicas que no aprovechan plenamente el potencial de la infraestructura instalada. Esta situación plantea la necesidad urgente de una actualización tecnológica que permita maximizar el rendimiento y la eficiencia de la red de fibra óptica en Cajamarca.

Sin embargo, para una visión más completa y comparativa, es esencial explorar las ventajas y diferencias que ofrece la red 50GPON en el panorama actual. A través de un análisis detallado y comparativo, podremos comprender mejor las oportunidades que se abren con la evolución hacia la red 50GPON y su potencial impacto en el desarrollo de redes de fibra óptica en Cajamarca.

### 3.2.2 Comparativo entre las redes GPON con 50GPON

	Downstream rate (Gb/s)	Upstream rate (Gb/s)	Downstream wavelength (nm)	Upstream wavelength (nm)	Latency
<b>G-PON</b>	2.488	1.244	1480–1500	1290–1330	1-10 ms
<b>50G-PON</b>	49.7664	49.7664*/ 24.8832/ 12.4416	1340–1344	1260–1280 o 1290– 1310	≈ 10 μs

*Tabla 2 Redes GPON vs Redes 50GPON.*

Teniendo las características y ventajas de dos tecnologías de red: GPON (Gigabit Passive Optical Network) y 50G-PON (50 Gigabit Passive Optical Network) (véase Tabla 2). A continuación, se describen las principales diferencias y conclusiones:

1. Ancho de banda: La tecnología GPON ofrece una capacidad de ancho de banda de hasta 2.5 Gbps (Gigabits por segundo) en la dirección descendente y 1.25 Gbps en la dirección ascendente. Por otro lado, la tecnología 50G-PON proporciona un ancho de banda de hasta 50 Gbps en ambas direcciones. Esto representa una mejora significativa en términos de velocidad de transmisión de datos.

2. Capacidad de usuarios: GPON puede admitir hasta 128 usuarios por puerto, mientras que 50G-PON puede manejar hasta 512 usuarios por puerto. Esta capacidad adicional permite una mayor escalabilidad y soporte para un mayor número de usuarios en la red [66].

3. Latencia: En términos de latencia, tanto GPON como 50G-PON ofrecen tiempos de respuesta bajos y adecuados para aplicaciones en tiempo real. Sin embargo, la tecnología 50G-PON puede proporcionar una latencia mucho menor debido a su mayor capacidad y velocidad.

4. Futuro escalable: La tecnología 50G-PON se considera una opción más avanzada y escalable en comparación con GPON. Al ofrecer un mayor ancho de banda y capacidad, está preparada para soportar futuros avances tecnológicos y la creciente demanda de servicios de alta velocidad.

Una red de fibra óptica robusta sería un pilar para transformar a Cajamarca en una "Ciudad Inteligente". Al contar con esta infraestructura sólida, se posibilita el desarrollo y la evolución de los servicios inteligentes que se podrán implementar logrando dimensionar el ancho de banda necesario para soportar la demanda y el



funcionamiento eficiente de cada uno de estos en beneficio de los ciudadanos y el desarrollo sostenible de la ciudad.

### **3.3 IDENTIFICAR LOS SERVICIOS QUE POSIBILITEN A CAJAMARCA SER UNA “CIUDAD INTELIGENTE” PARA DIMENSIONAR EL ANCHO DE BANDA NECESARIO.**

Los servicios de una ciudad inteligente se caracterizan por mejorar la toma de decisiones, la eficiencia de las operaciones, los servicios urbanos y su competitividad, a la vez que se garantiza la atención a las necesidades. Siendo los servicios fundamentales: gestionar el tráfico en tiempo real, seguridad ciudadana, cuidado de medio ambiente, gestión eficiente de recursos, mapas interactivos, transparencia en los presupuestos, el reconocimiento de matrículas y efectividad en la toma de decisiones basada en datos [67, p. 25].

Sin embargo, el concepto de ciudad Inteligente es mucho más amplia, en lugar de enfocarse únicamente en aspectos como la infraestructura física o el crecimiento económico, las ciudades inteligentes consideran las necesidades y el bienestar de las personas como aspectos fundamentales. Se trata de crear entornos urbanos más sostenibles, inclusivos y eficientes, donde se promueva la participación ciudadana y se utilicen soluciones tecnológicas para resolver problemas cotidianos [55]. Estas soluciones tecnológicas, que incluyen la inteligencia artificial, son una respuesta a los avances y demandas de la sociedad actual. En ese contexto, la Ley N.º 31814 “Ley que promueve el uso de la inteligencia artificial en favor del desarrollo económico y social del país” promovida por el estado peruano establece un marco legal para el desarrollo y uso ético de la inteligencia artificial en beneficio del desarrollo económico y social del país para mejorar el bienestar de las personas, contribuir a la actividad económica sostenible, fomentar la innovación y abordar desafíos globales clave. Asimismo, resalta la importancia de garantizar la seguridad, la privacidad y la transparencia en la aplicación de la inteligencia artificial, impulsando un enfoque basado en riesgos y promoviendo la participación de diversos actores en el debate y la regulación de su uso [68].

A continuación, Una Ciudad Inteligente aprovecha la interconexión de diversas áreas mediante el uso de redes de comunicación de banda ancha, computación en la nube, dispositivos inteligentes móviles, programas de análisis y sensores. Esta

convergencia de recursos digitales permite recopilar datos generados por diferentes agentes, ya sean personas o dispositivos, y procesarlos para generar información valiosa. A su vez, esta información se utiliza para respaldar la toma de decisiones y brindar una mejor calidad de vida y beneficios a los ciudadanos. En resumen, una Ciudad Inteligente se basa en la captura, procesamiento y aplicación del conocimiento derivado de estos recursos digitales para mejorar la vida de sus habitantes. Entre los servicios que una ciudad inteligente nos puede brindar, tenemos:

### **3.3.1 Transporte Inteligente**

En la actualidad, en la ciudad de Cajamarca circulan 822 vehículos de servicio público que operan en rutas designadas para facilitar la movilidad de la población. Sin embargo, esta situación también conlleva problemas de tráfico en la ciudad, en estas zonas se hizo un análisis del tráfico obteniendo un factor de corrección estacional de 1.06868 significa que hay un aumento estacional del 6.868% en la demanda de tráfico [69].

Pese a ello se han concesionado 13 rutas para el servicio de transporte público regular, adicionando las rutas existentes se está beneficiando a alrededor de 20 mil usuarios [70]. Cajamarca presenta una proporción de 50 personas por vehículo, mientras que en ciudades como Madrid esta proporción es de 2 personas por vehículo. Esto se refleja en los tiempos de recorrido, ya que en Cajamarca tomaría 30 minutos recorrer una ruta equitativa que pasa por el centro de la ciudad, mientras que en Madrid se logra en un promedio de 10 minutos. Este problema se atribuye al diseño vial. Actualmente, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) es responsable de las disposiciones de tránsito de acuerdo con la normativa constitucional, mientras que los gobiernos locales, tanto a nivel distrital como provincial, tienen facultades para implementar la señalización vial, aunque esta gestión no está bien coordinada [71].

El tráfico vehicular perjudica la actividad económica de la ciudad de Cajamarca, ya que sectores como la construcción, agricultura, transporte y las actividades extractivas se ven impactados debido a que sus vehículos de carga pesada demandan de mayor tiempo para transportar sus cargas y por la pérdida de horas hombre que se da por la falta de infraestructura y orden en las vías. Teniendo

pérdidas estimadas de más de cien millones de soles al año por congestión vehicular [72] .

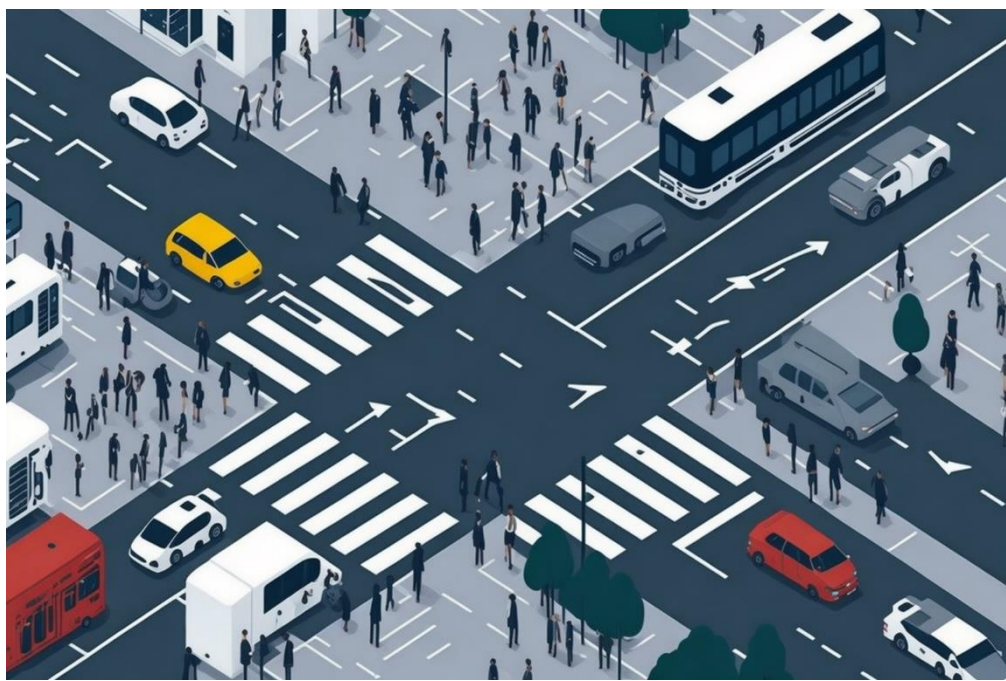
Se tiene el tráfico de la ciudad según datos de Google Maps. Las líneas verdes indican vías rápidas, las anaranjadas áreas de tráfico medio y las rojas zonas de alto tráfico (véase Fig. 6).



Fig. 6 Tráfico Vehicular en la Zona Urbana de Cajamarca.

Fuente: <https://www.google.com/maps/@-7.1682757,-78.5055441,15.25z/data=!5m1!1e1?hl=es-419&entry=ttu>.

Con el objetivo de mejorar la eficiencia, seguridad y comodidad en una ciudad se utilizará tecnologías de información y comunicación para recopilar, analizar y utilizar datos en tiempo real con el fin de optimizar la movilidad y mejorar la experiencia de los usuarios. Estas permiten una mejor planificación y coordinación del tráfico, la reducción de la congestión, la mejora de la seguridad vial y la optimización de los recursos de transporte[73, p. 17] (véase Fig. 7).



*Fig. 7 Transporte Inteligente.*

*Fuente: <https://es.digi.com/blog/post/introduction-to-smart-transportation-benefits>.*

La situación actual del transporte en Cajamarca destaca la necesidad de implementar un sistema de transporte inteligente que supervise y gestione de manera eficiente el tráfico urbano. A través del uso de diversos sensores, este sistema debe monitorear múltiples entornos y actividades, ofreciendo una respuesta integral a los problemas de movilidad. La implementación de tecnologías inteligentes en zonas estratégicas donde no busca solo reducir la congestión vehicular, sino también mejorar la accesibilidad y promover una movilidad más sostenible y acorde con las necesidades de la población, como se refleja en los resultados de la encuesta a ciudadanos realizada (véase Fig. 8).



# Transporte inteligente en la ciudad de Cajamarca

9/11/2024

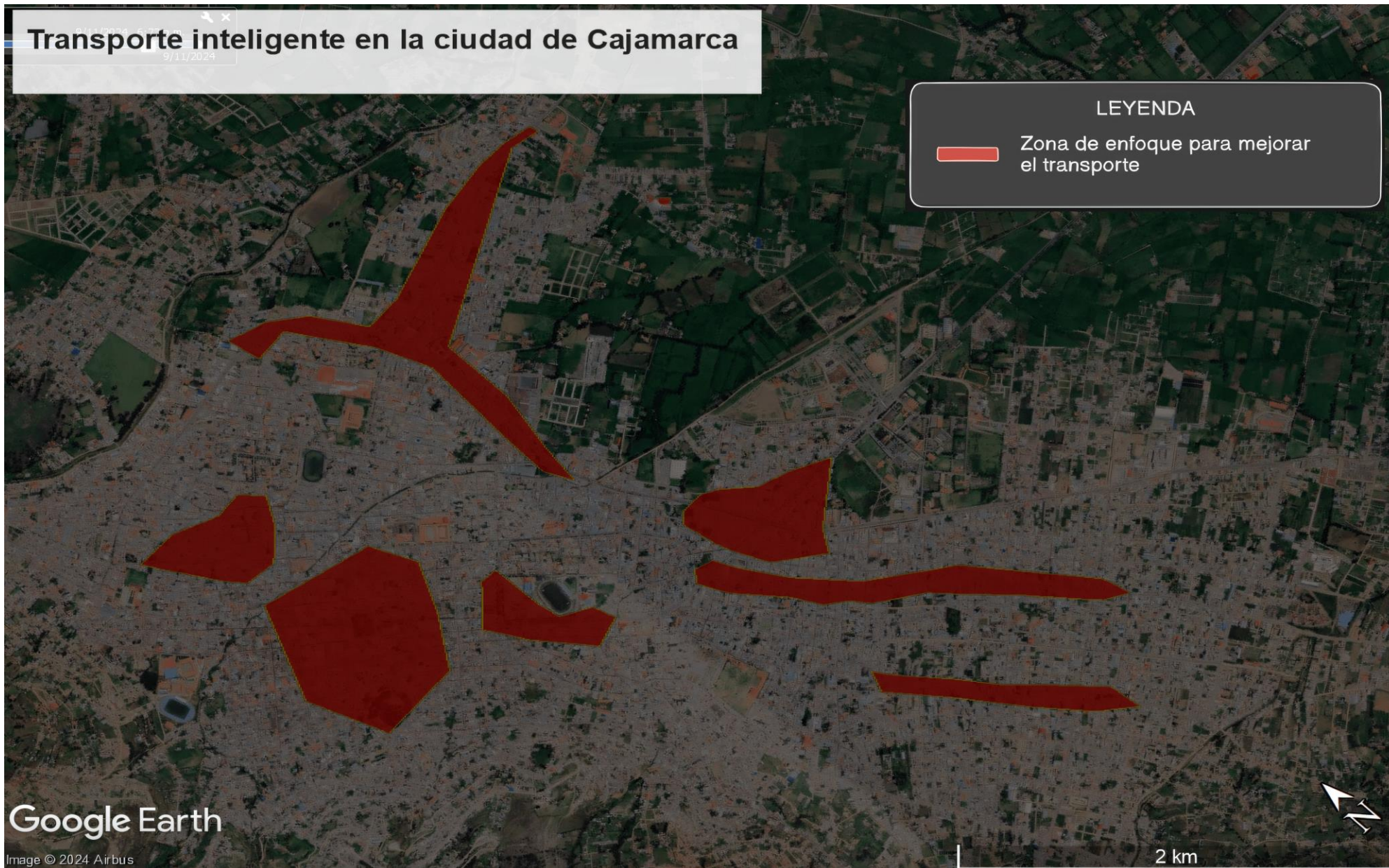


Fig. 8 Transporte inteligente en la ciudad de Cajamarca.

### **3.3.1.1 *Semaforización inteligente***

Consiste en la implementación de controladores de semáforos equipados con sistemas de comunicación y algoritmos inteligentes que permiten una gestión más eficiente de los flujos de tráfico y una adaptación en tiempo real a las condiciones del entorno. Estos recopilan datos en tiempo real sobre el flujo de vehículos, las condiciones del tráfico, la densidad de vehículos en las intersecciones y otros factores relevantes. Utilizando algoritmos inteligentes, los semáforos pueden ajustar automáticamente los tiempos de duración de las luces verdes, amarillas y rojas para optimizar la fluidez del tráfico y reducir los tiempos de espera en las intersecciones[74, p. 2].

### **3.3.1.2 *Reglas y Ubicación de Dispositivos para el Servicio de Semaforización Inteligente***

Tras la implementación de controladores de semáforos equipados con sistemas de comunicación avanzados y algoritmos inteligentes para optimizar el flujo de tráfico, es crucial establecer reglas operativas claras que guíen la gestión dinámica del tráfico en la ciudad. Estas reglas, junto con la correcta ubicación de los dispositivos, permitirán que el sistema de semaforización inteligente responda de manera efectiva a las condiciones cambiantes del tráfico, el clima, y la presencia de vehículos de emergencia. A continuación, se detallan las reglas fundamentales para la gestión del tráfico, las cuales se basan en la monitorización continua y la adaptación automatizada de los semáforos para garantizar una circulación vehicular eficiente y segura. Estas reglas no solo mejoran la fluidez del tráfico, sino que también permiten una intervención rápida en situaciones críticas, asegurando que la ciudad mantenga un flujo vehicular ordenado en todo momento.

#### ***(a) Reglas para el servicio de semaforización inteligente***

- Monitorear continuamente el flujo vehicular para detectar si el tráfico supera el 80% de la capacidad de la vía.
- Realizar ajustes dinámicos en los semáforos cuando el tráfico supere la capacidad establecida y verificar si la congestión es prolongada.
- Si la congestión es prolongada, activar rutas alternativas y emitir notificaciones a los conductores; si no, continuar con el monitoreo continuo.
- Detectar la presencia de vehículos de emergencia; si están presentes, verificar rutas alternativas y cambiar los semáforos para darles prioridad.

- Restablecer los semáforos a su estado estándar después de ajustar para vehículos de emergencia y regresar al monitoreo continuo.
- Medir constantemente las condiciones climáticas para evaluar si son desfavorables; si lo son, ajustar semáforos y promover rutas alternativas.
- Notificar a los conductores sobre los ajustes en semáforos y rutas debido a congestión, clima o presencia de vehículos de emergencia.

***(b) Diagrama de flujo para el servicio de semaforización inteligente***

El diagrama de flujo presentado a continuación ilustra el proceso de gestión del servicio de semaforización inteligente, detallando cada paso desde la recopilación de datos de tráfico en tiempo real hasta la toma de decisiones automatizadas para ajustar los tiempos de los semáforos (véase Fig. 9). Este esquema visual proporciona una comprensión clara del funcionamiento interno del sistema, mostrando cómo se aplican las reglas operativas para optimizar el flujo vehicular, priorizar vehículos de emergencia y ajustar la semaforización en respuesta a condiciones climáticas adversas.



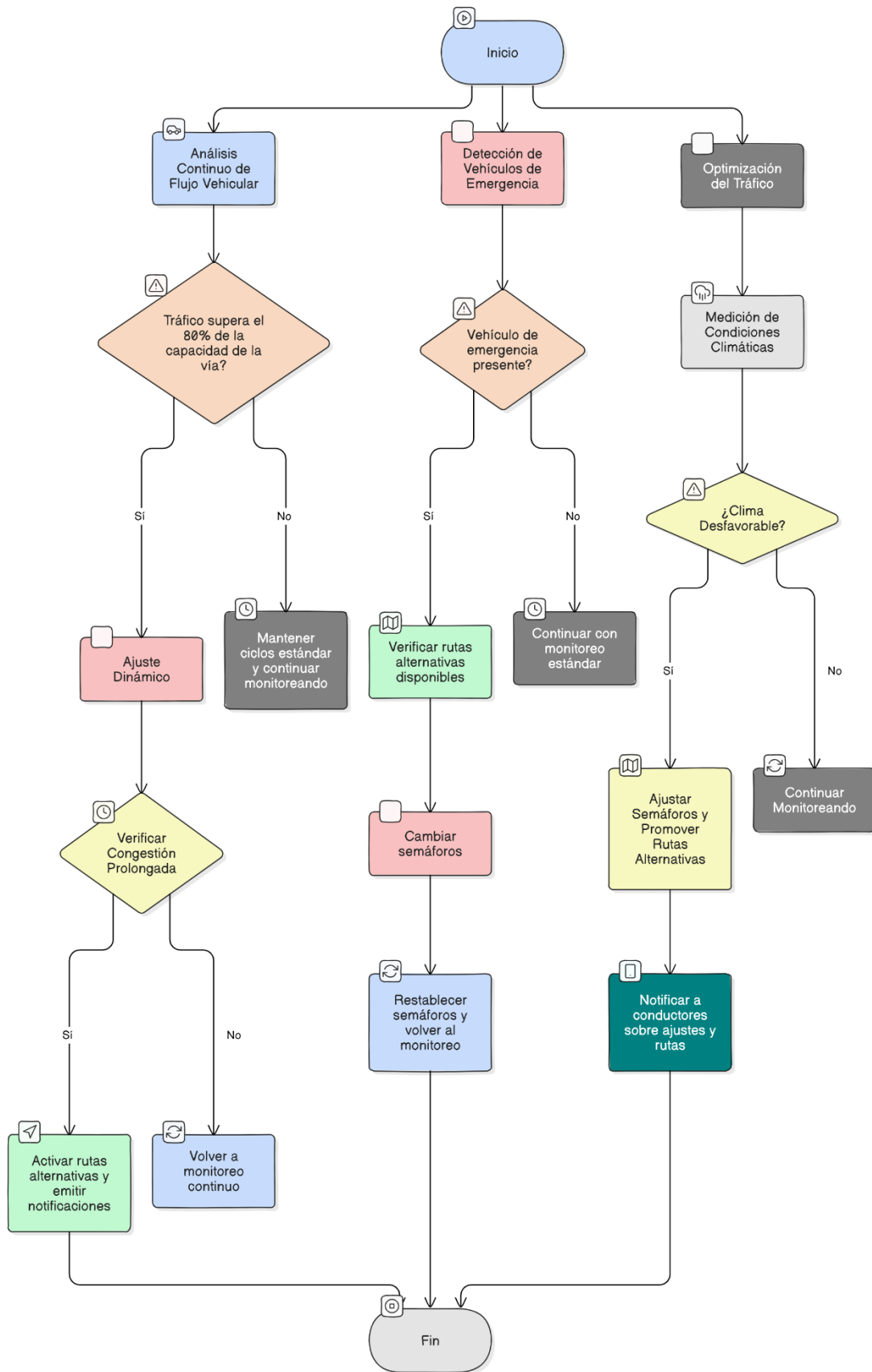


Fig. 9 Diagrama de flujo para el servicio de semaforización inteligente

***(c) Ubicación de dispositivos para el servicio de semaforización inteligente***

La ubicación de los 53 controladores de semáforo ha sido seleccionada con base en los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a los ciudadanos de Cajamarca. Este proceso de identificación permitió priorizar las zonas de mayor necesidad y optimizar la instalación de los dispositivos para mejorar la gestión del tráfico en puntos críticos de la ciudad. Esta distribución garantiza una cobertura efectiva y una respuesta rápida ante las condiciones cambiantes del tráfico urbano, asegurando un manejo eficiente de las intersecciones más congestionadas (véase Fig. 10).



Fig. 10 Ubicación de dispositivos para el servicio de semaforización inteligente

### 3.3.1.3 Transporte público conectado

Es la integración de tecnología y sistemas de información en el transporte público para mejorar la eficiencia, la calidad del servicio y la experiencia de los usuarios. Con la utilización de dispositivos de comunicación, sensores, sistemas de seguimiento y aplicaciones móviles para facilitar la gestión y operación de los servicios de transporte público, así como brindar información en tiempo real a los pasajeros. A través de sistemas de seguimiento y monitoreo en tiempo real, se puede obtener información precisa sobre la ubicación y el estado de los vehículos de transporte público. Esto permite una mejor planificación de rutas, ajustes en tiempo real para optimizar la frecuencia y capacidad de los servicios, y una mayor puntualidad en las llegadas y salidas de los vehículos[75, p. 47] (véase Fig. 11).

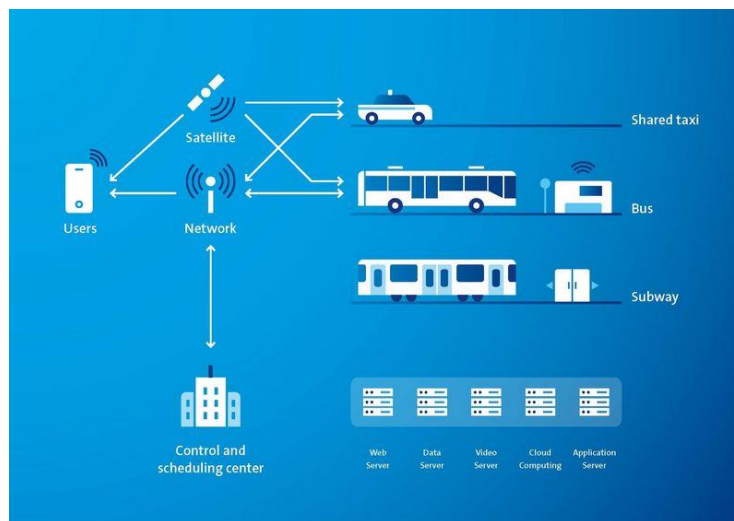


Fig. 11 Esquema de conectividad.

Fuente: <https://www.iris-sensing.com/es/noticias/articulo/sistemas-inteligentes-de-transporte-publico-el-futuro-del-transporte-colectivo/>

### 3.3.1.4 Reglas y Ubicación de Dispositivos para el Servicio de Transporte Público Conectado

Para la implementación del servicio de transporte público conectado, se integran tecnologías que incluyen sensores GPS y contadores de personas en los vehículos de transporte público. Esta combinación de dispositivos permite monitorear en tiempo real la ubicación y la capacidad de los vehículos, facilitando la toma de decisiones operativas que mejoran la eficiencia del servicio, la experiencia del usuario y la puntualidad de los vehículos. Es fundamental establecer reglas

operativas claras que guíen la gestión del transporte público, asegurando que las acciones sean coherentes con las necesidades de los ciudadanos y los patrones de tráfico urbano. A continuación, se detallan las reglas que regulan la operación del transporte público conectado, diseñadas para optimizar el uso de los recursos y proporcionar un servicio más efectivo y seguro.

**(a) Reglas para el servicio de transporte público conectado**

- Utilizar sensores y GPS para monitorear la capacidad y ubicación de los vehículos en tiempo real.
- Permitir a los ciudadanos reservar asientos mediante una app y recibir notificaciones de confirmación.
- Establecer un tiempo límite para que los usuarios lleguen al paradero y ocupen su reserva.
- Liberar las reservas si los usuarios no llegan a tiempo y notificar la cancelación.
- Evaluar continuamente la capacidad de los vehículos y emitir alertas si se alcanza la capacidad máxima, sugiriendo alternativas.

**(b) Diagrama de flujo para el servicio de transporte público conectado**

El diagrama de flujo presentado a continuación detalla el proceso de gestión del servicio de transporte público conectado, desde la monitorización de los vehículos hasta la gestión de las reservas de asientos y la emisión de alertas por capacidad máxima (véase Fig. 12). Este diagrama facilita la comprensión del funcionamiento del sistema, mostrando cómo los datos en tiempo real que mejoran la planificación y la operación del transporte público.

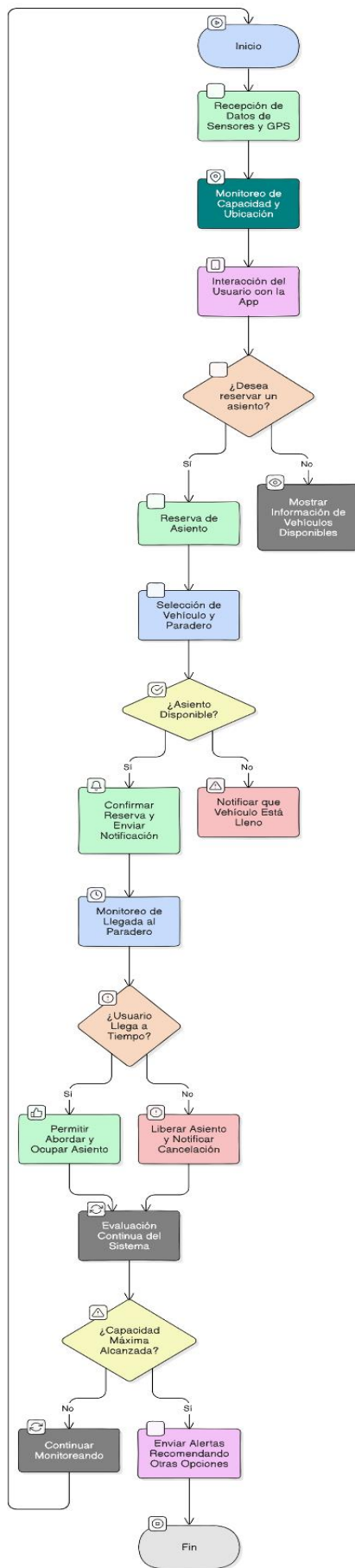


Fig. 12 Diagrama de flujo para el servicio de transporte público conectado

### **(c) Ubicación de dispositivos para el servicio de transporte público conectado**

Se instalarán un total de 822 sensores GPS y 822 contadores de personas en los vehículos de transporte público de Cajamarca, reflejando la cantidad total de unidades en circulación. Estos dispositivos se ubicarán directamente en los vehículos para monitorear en tiempo real la capacidad y la ubicación de cada unidad. La comunicación con la red se realizará de manera inalámbrica, lo que permite una conexión continua y eficiente, facilitando la gestión dinámica y la optimización de las rutas y frecuencias.

#### **3.3.2 Gestión eficiente de energía**

Actualmente la distribución y la comercialización eléctrica en la ciudad de Cajamarca está gestionada por la empresa Hidrandina la cual forma parte del grupo DISTRILUZ [76]. En la ciudad de Cajamarca, el consumo mensual de energía alcanza los 10,285.15 MWh, y una parte significativa de este consumo corresponde al alumbrado público, con un total de 462.815 MWh. Estos datos resaltan la importancia del alumbrado público como uno de los principales consumidores de energía en la ciudad [77].

Por lo que una gestión eficiente de energía tiene como objetivo principal reducir el consumo energético, minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero y promover el uso de fuentes de energía renovable. Al implementar una gestión eficiente de energía, se pueden lograr varios beneficios, como la reducción de costos energéticos, el aumento de la competitividad de las empresas, la mejora de la calidad ambiental, el fortalecimiento de la seguridad energética y la contribución a la lucha contra el cambio climático [78, p. 62].

##### **3.3.2.1 Iluminación Inteligente**

La implementación de la iluminación inteligente es crucial, ya que utiliza tecnologías avanzadas, como sensores y controladores, para ajustar automáticamente el nivel de iluminación según las condiciones ambientales y las necesidades de cada área. Esto promueve un uso más eficiente de la energía al evitar el desperdicio de luz y reducir el consumo innecesario en momentos de menor actividad. Para una buena gestión sobre los recursos energéticos se necesita que el sensor que recopile información no solo del tránsito de la zona a iluminar sino también de la intensidad de iluminación óptima para dicha área. Respecto a iluminarias debemos tener en cuenta el flujo luminoso (energía luminosa radiada al espacio por unidad de tiempo



) , Nivel de iluminación (flujo luminoso incidente por unidad de superficie) , La intensidad luminosa (relación entre el flujo luminoso y un ángulo sólido) y Luminancia (intensidad luminosa por unidad de superficie perpendicular a la dirección de la luz)[79, p. 137] (véase Fig. 13).



*Fig. 13 Iluminación inteligente.*

Fuente: <https://todo-lux.com/investigacion-y-desarrollo/zhagad4i-nuevo-estandar-luminarias-inteligentes>.

En Cajamarca, se requiere una gestión eficiente de energía a través de la implementación de iluminación inteligente, abarcando la mayor parte de la zona urbana de la ciudad. Los resultados de la encuesta realizada a la población refuerzan la necesidad de esta tecnología, que no solo busca reducir el consumo energético, sino también asegurar una iluminación ideal y óptima para distintos momentos del día y en función de la cantidad de usuarios presentes en cada área. Esto garantiza que ninguna zona quede sin iluminación adecuada, adaptándose a las necesidades específicas de cada espacio y promoviendo una gestión energética sostenible y eficiente. (véase Fig. 14).



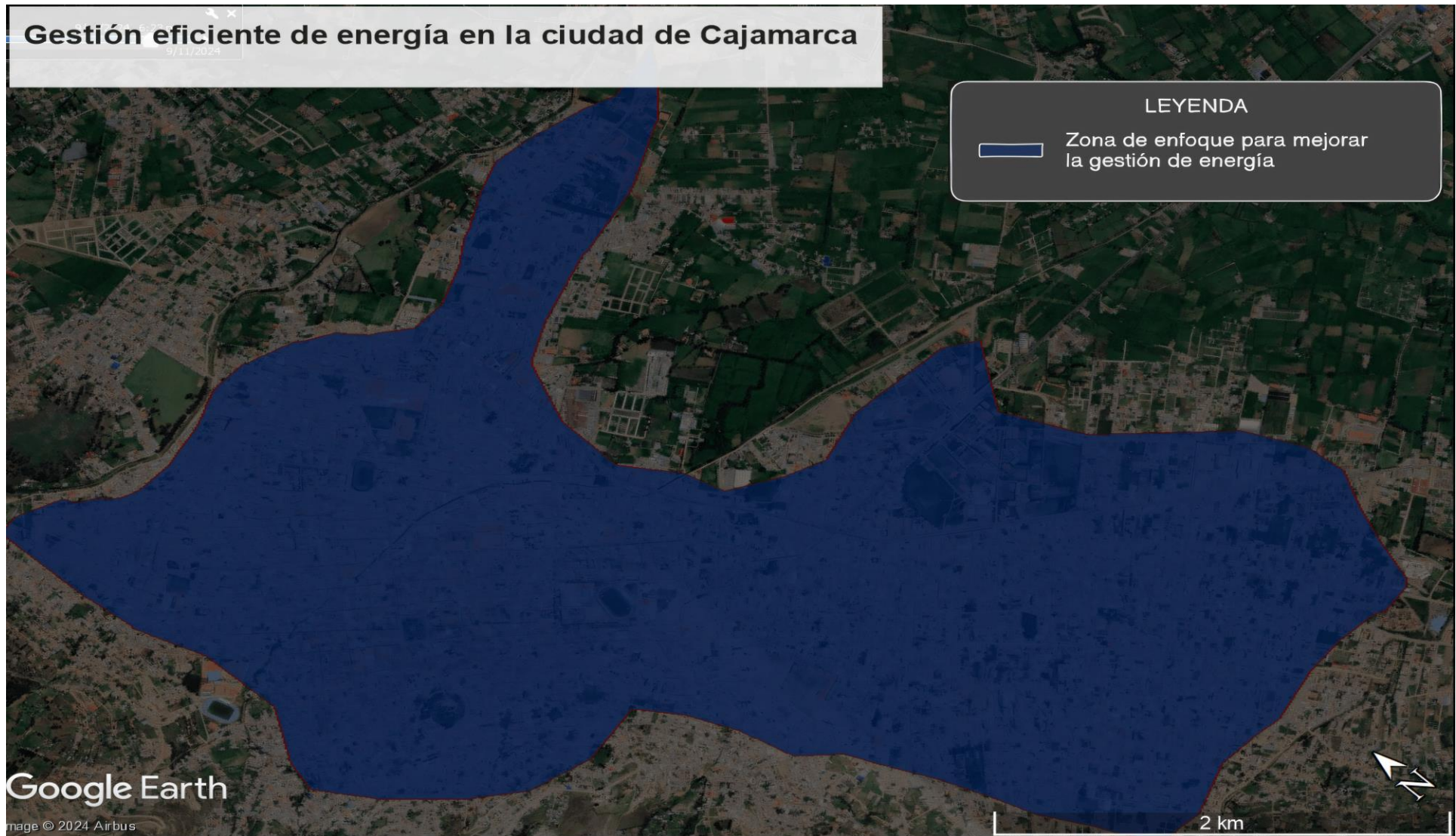


Fig. 14 Gestión eficiente de energía en la ciudad de Cajamarca

### **3.3.2.2 Reglas y Ubicación de Dispositivos para el Servicio de Iluminación Inteligente**

El servicio de iluminación inteligente utiliza sensores avanzados para gestionar y adaptar la iluminación pública en función de la presencia de peatones y vehículos, así como de las condiciones ambientales. La implementación de estos sensores permite una gestión eficiente del consumo energético y una respuesta adaptativa a las necesidades del entorno urbano. Establecer reglas operativas claras es esencial para optimizar el funcionamiento de este sistema, asegurando que la iluminación se ajuste automáticamente a las condiciones cambiantes y se mantenga operativa mediante un monitoreo continuo. A continuación, se detallan las reglas que guiarán el funcionamiento de la iluminación inteligente en la ciudad.

#### **(a) Reglas para el servicio de iluminación inteligente**

- Verificar la presencia de peatones o vehículos para ajustar la iluminación de manera adaptativa.
- Ajustar la iluminación al 100% cuando se detecta movimiento o reducirla a un nivel tenue en función del entorno.
- Monitorear constantemente la intensidad y el funcionamiento de las luminarias.
- Generar alertas de mantenimiento si se detecta una disminución significativa en la intensidad.
- Confirmar la realización del mantenimiento y restablecer el monitoreo de la iluminación.

#### **(b) Diagrama de flujo para el servicio de iluminación inteligente**

El diagrama de flujo presentado a continuación muestra el proceso de gestión del servicio de iluminación inteligente, destacando cómo los sensores detectan la presencia de movimiento y ajustan la intensidad de la luz en consecuencia (véase Fig. 15). Este diagrama proporciona una visión clara de cómo los dispositivos operan de manera coordinada para maximizar la eficiencia energética y garantizar una iluminación adecuada en toda la zona urbana.

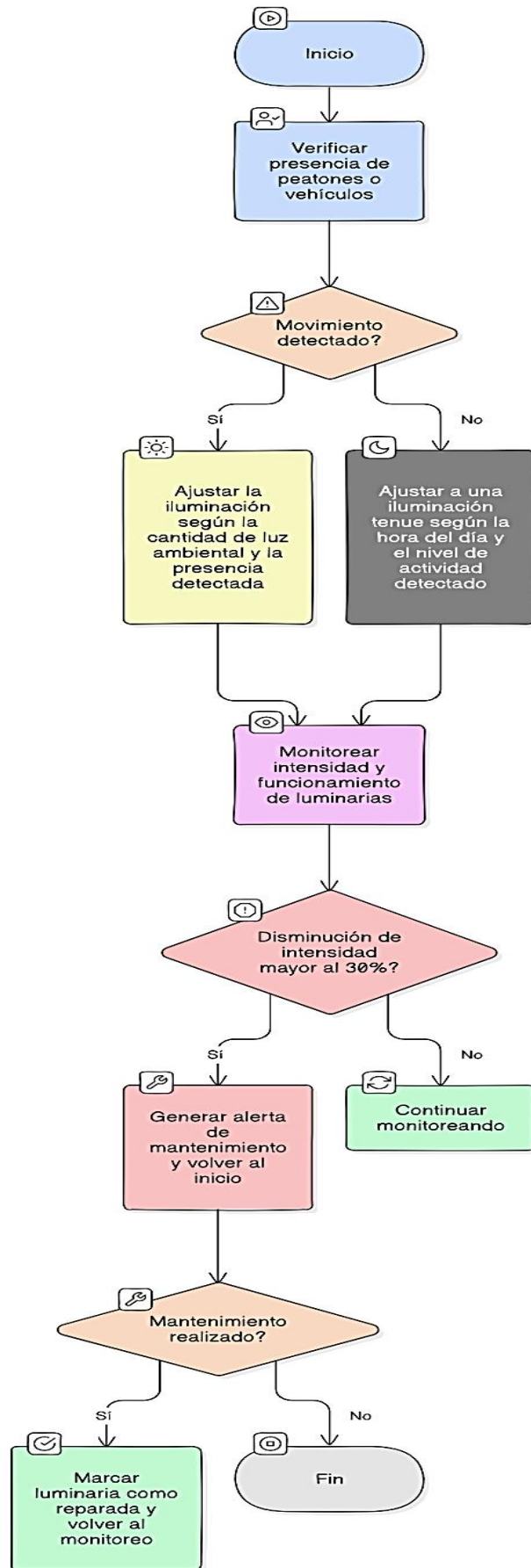


Fig. 15 Diagrama de flujo para el servicio de iluminación inteligente

### ***(c) Ubicación de dispositivos para el servicio de iluminación inteligente***

Los sensores para la iluminación inteligente se desplegarán en toda la zona urbana de la ciudad, permitiendo una cobertura completa y eficiente. Dado que los sensores se conectarán de manera inalámbrica, facilitando una instalación flexible y un monitoreo constante de la iluminación en tiempo real.

#### **3.3.3 Gestión inteligente de residuos urbanos**

Actualmente en la ciudad de Cajamarca, la gestión de residuos sólidos es una tarea crucial debido a la gran cantidad de basura generada diariamente. Con más de 200 toneladas de basura recolectadas cada día, se ha implementado un sistema de recojo las 24 horas para garantizar una gestión eficiente. La población actual de 205,699 habitantes es atendida tanto por los entes encargados de la gestión de residuos sólidos. Estos esfuerzos reflejan la importancia que se le brinda a mantener una ciudad limpia y ordenada, abordando activamente el desafío de la gestión de residuos en Cajamarca [80]. La municipalidad provincial ha desarrollado un servicio integral de gestión de residuos sólidos que consta de 10 subsistemas interrelacionados. Para la gestión de residuos sólidos en Cajamarca, se aplican varias leyes y regulaciones ambientales que garantizan una adecuada gestión y manejo de los desechos. La Ley N.º 27972 “Ley orgánica de municipalidades” establece las funciones de los gobiernos locales en la regulación y control de la disposición final de los desechos sólidos, así como de la emisión de elementos contaminantes [81]. La Ley N.º 28611 “Ley general del ambiente” asigna a los gobiernos locales la responsabilidad de gestionar los residuos sólidos de origen doméstico y comercial [82]. Donde estas políticas y regulaciones respaldan la implementación de un sistema integral de gestión de residuos sólidos en Cajamarca, fortaleciendo la protección del medio ambiente y el bienestar de la población. También se reconoce que las ciudades son responsables de una parte significativa de las emisiones de gases entre el 50% y el 80% de los gases de efecto invernadero y generan la mitad de los residuos sólidos del planeta [83]. En Cajamarca es algo preocupante ya que a esto se le suma el aumento constante de la población, específicamente en zonas urbanas. Presentando una gestión cada vez más difícil de llevar a cabo. Por lo que se propone crear un entorno más sostenible, concienciado, eficiente y eficaz utilizando sistemas de recogida como uno de los recursos principales en la gestión inteligente de residuos con el sistema de contenedores inteligentes. Contenedores inteligentes son “Contenedores

adaptados” siendo contenedores con sensores ultrasónicos los que se conectan a una red de banda ancha dando la información necesaria para iniciar la gestión inteligentes de residuos [84].Se consideró a toda la zona urbana de Cajamarca respaldando esta decisión por la encuesta realizada a la población(véase Fig. 16).



# Gestión inteligente de residuos urbanos en la ciudad de Cajamarca

9/11/2024

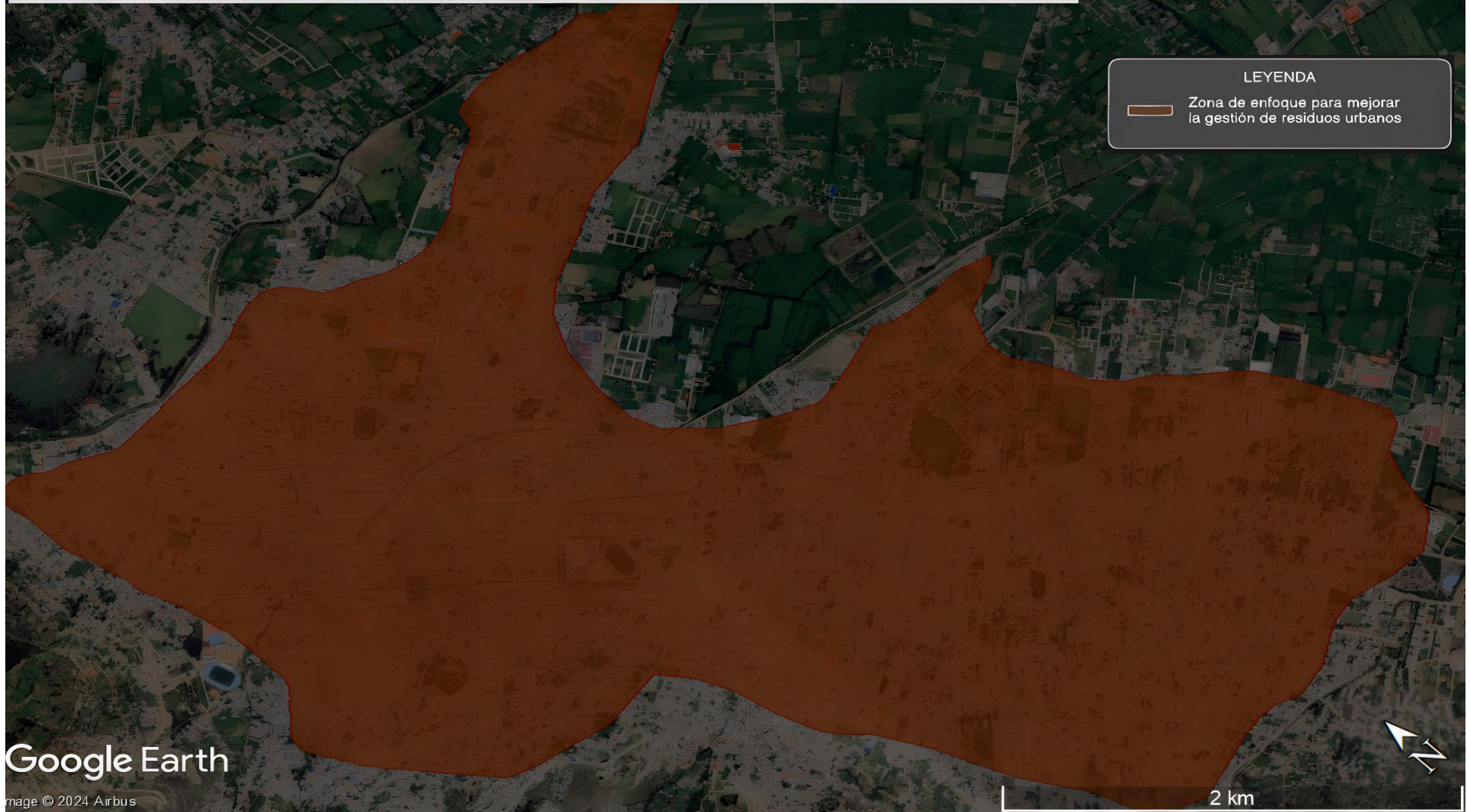


Fig. 16 Gestión inteligente de residuos urbanos.

### **3.3.3.1 Reglas y Ubicación de Dispositivos para la Gestión Inteligente de Residuos Urbanos**

La gestión inteligente de residuos urbanos se basa en la implementación de sensores que miden el nivel de llenado de los contenedores de basura en tiempo real. Estos sensores, que se conectan de manera inalámbrica, permitiendo una gestión más eficiente de la recolección de residuos, optimizando las rutas de los camiones y reduciendo los costos operativos. Establecer reglas operativas claras es esencial para garantizar que el sistema funcione de manera efectiva, respondiendo rápidamente a las necesidades de recolección y manteniendo la ciudad limpia. A continuación, se presentan las reglas que guiarán la operación de la gestión inteligente de residuos en la ciudad.

#### **(a) Reglas para la gestión inteligente de residuos urbanos**

- Verificar el nivel de llenado de los contenedores y emitir alertas cuando estos alcanzan un umbral predefinido.
- Optimizar las rutas de recolección cuando un alto porcentaje de contenedores está lleno.
- Alertar a la comunidad sobre la planificación de recolección mediante sistemas de notificación pública.
- Marcar los contenedores como vacíos después de la recolección y continuar con el monitoreo de los niveles de llenado.

#### **(b) Diagrama de flujo para la gestión inteligente de residuos urbanos**

El diagrama de flujo a continuación ilustra el funcionamiento del sistema de gestión inteligente de residuos, mostrando el proceso desde la detección del nivel de llenado de los contenedores hasta la optimización de las rutas de recolección (véase Fig. 17). Este esquema visual detalla cada paso del proceso, permitiendo una comprensión clara de cómo los sensores y las reglas operativas trabajan conjuntamente para mejorar la eficiencia del servicio de recolección de residuos.

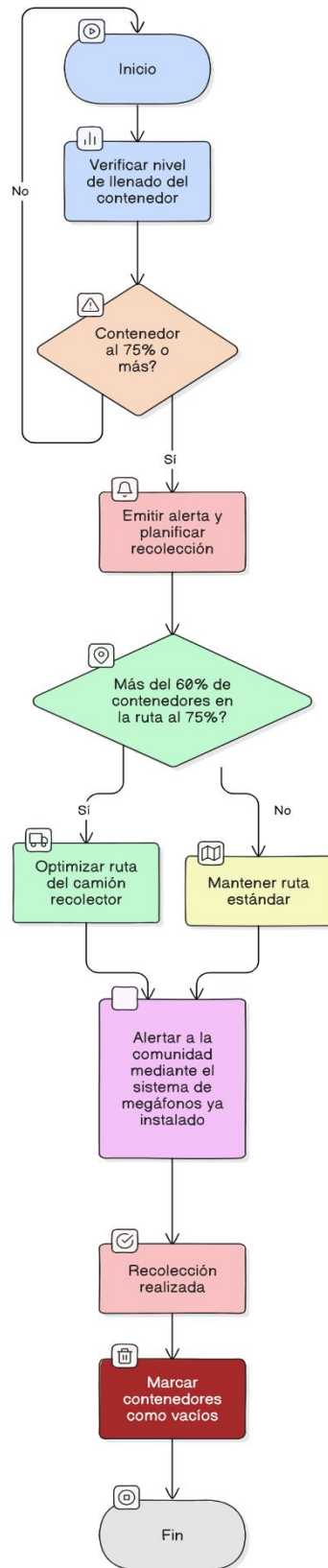


Fig. 17 Diagrama de flujo para la gestión inteligente de residuos urbanos



### ***(c) Ubicación de dispositivos para la gestión inteligente de residuos urbanos***

Los 872 sensores de iluminación inteligente se desplegarán estratégicamente en toda la zona urbana de Cajamarca, que abarca aproximadamente 12 km<sup>2</sup>. Este cálculo se valida mediante la densidad poblacional y la necesidad de asegurar una cobertura adecuada en áreas de alta actividad y tránsito. Los sensores se conectarán de manera inalámbrica, lo que permite una instalación flexible y un monitoreo constante en tiempo real, optimizando el uso de la iluminación pública y asegurando la eficiencia energética.

#### **3.3.4 Gestión de Calidad Ambiental y Salud Pública**

La ciudad de Cajamarca se presenta las siguientes condiciones ambientales: como que la temperatura promedio es de 16.7 grados Celsius, lo cual indica un clima moderado en la ciudad. Asimismo, se registran precipitaciones promedio de 70 milímetros y una humedad del 62% dando una visión clara de la situación ambiental en Cajamarca, destacando los desafíos y oportunidades en la conservación y gestión del medio ambiente en la zona [85].

La ciudad de Cajamarca cuenta con un total de 171 áreas verdes, que incluyen plazuelas, parques y jardineras, siendo espacios importantes para el bienestar de los usuarios. Sin embargo, es necesario enfocar esfuerzos en mejorar la calidad ambiental de estas áreas para garantizar un entorno saludable y agradable, promoviendo así un mayor disfrute y beneficios para la comunidad. Además, se realizó un estudio de la contaminación de ruido en los mercados de la ciudad, donde se determinó el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación (AL<sub>AeqT</sub>) en 19 (véase Fig. 18). Los resultados revelaron un exceso de 13 dB de diferencia del nivel de presión sonora, superando los estándares de calidad ambiental para ruido. Estos hallazgos indican la existencia de contaminación acústica, posiblemente relacionada con afectaciones a la salud de las personas. Ante esta situación, se requiere una acción inmediata para abordar estos problemas y garantizar un entorno favorable para la comunidad [86].

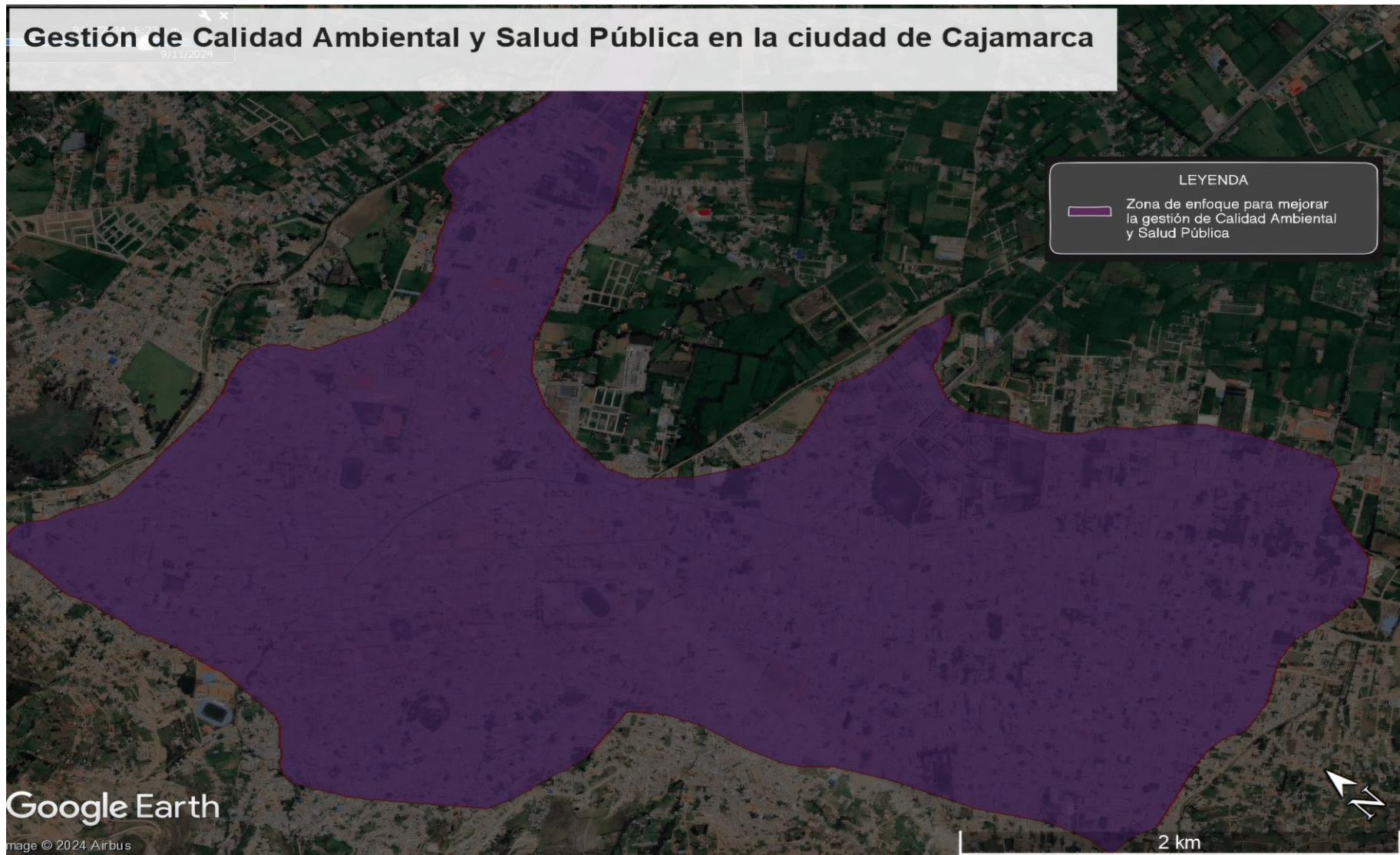


Fig. 18 Monitoreo de ruido ambiental en mercadillos en ciudad de Cajamarca.

Fuente: Monitoreo de ruido ambiental en mercadillos de la ciudad de Cajamarca- Municipalidad provincial de Cajamarca.







*Fig. 20 Gestión de calidad ambiental y salud pública.*

### **3.3.4.1 Reglas y Ubicación de Dispositivos para la Gestión de Calidad Ambiental y Salud Pública**

La gestión de calidad ambiental y salud pública se basa en la implementación de sensores que miden la calidad del agua y del aire en tiempo real. Estos sensores están distribuidos estratégicamente en la zona urbana de Cajamarca, instalados en las tuberías y en áreas clave para el monitoreo del aire, y cuentan con conectividad inalámbrica para enviar datos. Establecer reglas operativas claras es crucial para garantizar una respuesta rápida y efectiva ante condiciones ambientales desfavorables, permitiendo que la ciudad tome medidas proactivas para proteger la salud pública. A continuación, se detallan las reglas que guiarán la operación de este servicio.

#### **(a) Reglas para la gestión de calidad ambiental y salud pública**

- Recopilar y evaluar datos de sensores para la calidad del agua y del aire.
- Emitir alertas y activar sistemas de mitigación cuando los niveles de contaminantes exceden los umbrales normales.
- Ajustar semáforos y promover rutas alternativas si las condiciones ambientales son desfavorables.
- Monitorear continuamente y ajustar los algoritmos de detección para mejorar la precisión y la respuesta del sistema.

#### **(b) Diagrama de flujo para la gestión de calidad ambiental y salud pública**

El diagrama de flujo a continuación muestra el proceso de gestión de calidad ambiental y salud pública, desde la recopilación de datos de los sensores hasta la emisión de alertas y la activación de medidas de mitigación (véase Fig. 21). Este diagrama proporciona una visión detallada del funcionamiento del sistema, mostrando cómo los datos de los sensores son utilizados para tomar decisiones rápidas y efectivas en beneficio de la salud pública y la calidad ambiental de la ciudad.

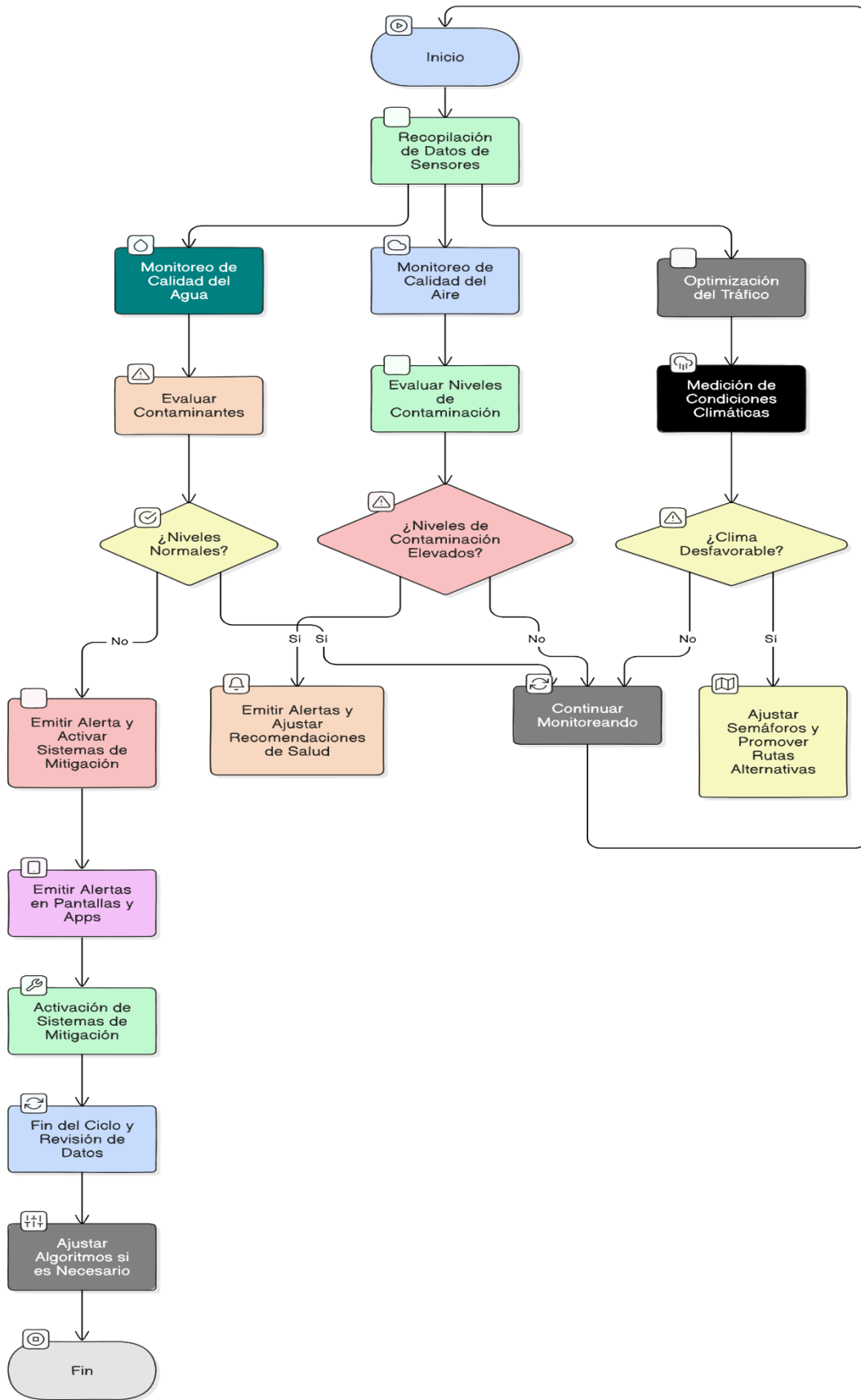


Fig. 21 Diagrama de flujo para la gestión de calidad ambiental y salud pública

***(c) Ubicación de dispositivos para la gestión de calidad ambiental y salud pública***

Se instalarán 96 sensores de calidad del aire distribuidos estratégicamente en la zona urbana y 73 sensores de calidad del agua colocados en las tuberías principales de Cajamarca. Estos números se ajustan a la densidad poblacional y la extensión del área urbana, asegurando un monitoreo preciso de las condiciones ambientales en toda la ciudad. La conectividad inalámbrica de los sensores permite una transmisión de datos en tiempo real, lo que facilita una respuesta rápida y efectiva para mantener altos estándares de calidad ambiental y salud pública (véase Fig. 22).



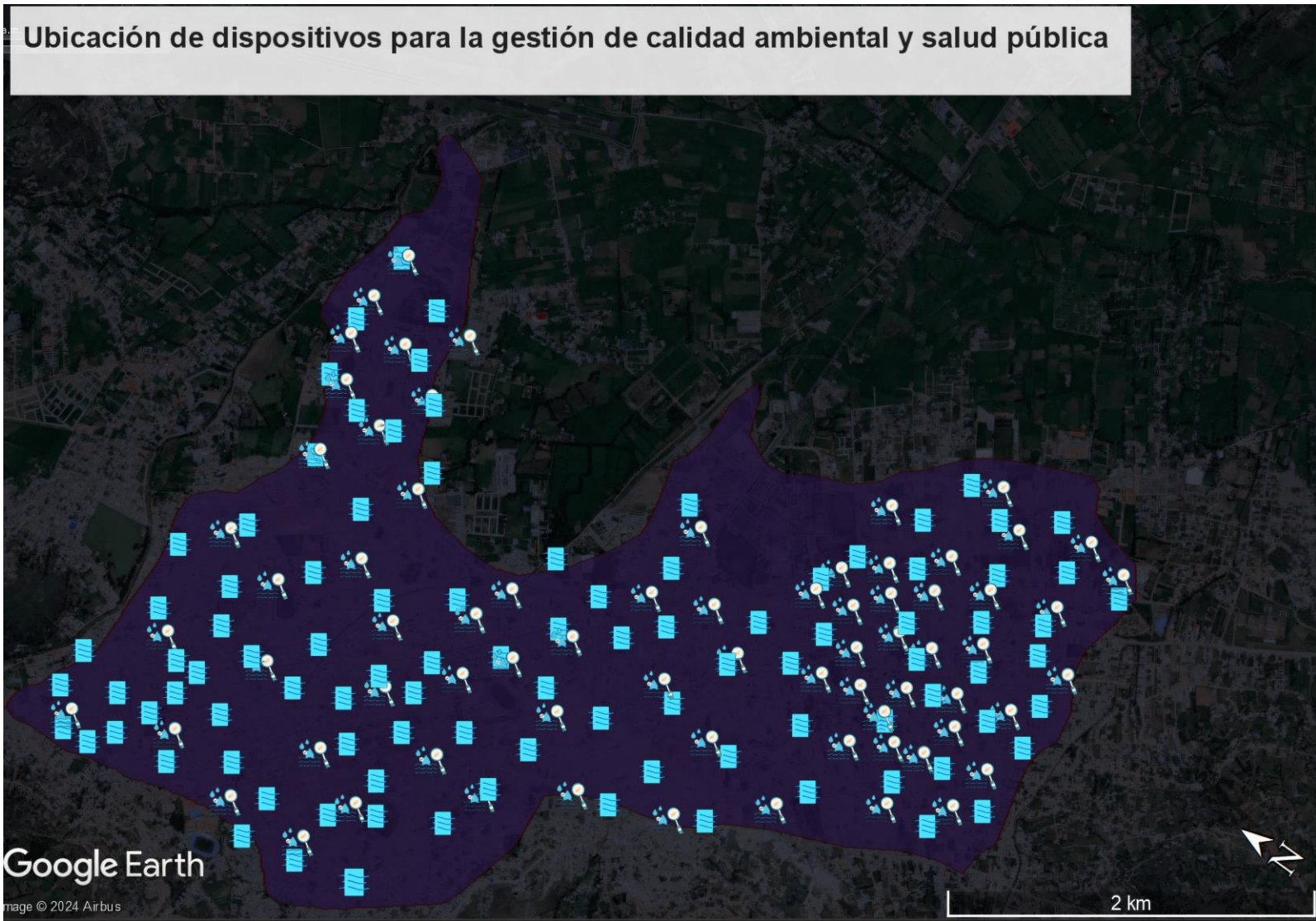


Fig. 22 Ubicación de dispositivos para la gestión de calidad ambiental y salud pública



### **3.3.5 Seguridad ciudadana**

La ciudad de Cajamarca, se encuentra entre las cinco ciudades con mayor índice de violencia familiar, es evidente que este ambiente tiene un impacto en los hijos, quienes pueden asumir comportamientos problemáticos y correr el riesgo de involucrarse en actividades delictivas o antisociales debido a la falta de valores en familias donde se practican conductas violentas. Además, se ha registrado que el 27,2% de la población de 15 años en adelante ha sido víctima de algún hecho delictivo, y se observa un incremento del 0,3% en los últimos dos años. Además, el 21,4% de la población económicamente inactiva en Cajamarca está conformada por estudiantes, amas de casa, jubilados, entre otros. Por último, se han registrado un total de 340 accidentes de tránsito en lo que va del año. Estos datos resaltan la compleja situación social y de seguridad que enfrenta la ciudad de Cajamarca [87]. La información mencionada anteriormente se puede visualizar a continuación la cual representa de manera gráfica y clara los datos relacionados con la violencia familiar, la victimización, la población víctima y los accidentes de tránsito en la ciudad de Cajamarca (véase Fig. 23).

TIPO DE DELITO / MODALIDAD					
<p><b>DELITO CONTRA EL PATRIMONIO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. HURTO SIMPLE</li> <li>2. HURTO AGRAVADO</li> <li>3. HURTO DE USO</li> <li>4. HURTO DE VEHICULO</li> <li>5. HURTO FRAUDADO</li> <li>6. HURTO SIMPLE</li> <li>7. HURTO AGRAVADO</li> <li>8. TENTATIVA DE ROBO</li> <li>9. SALTOS Y ROBO DE VEHICULO</li> <li>10. SAHO SIMPLE</li> <li>11. SAHO AGRAVADO</li> <li>12. ESTAPA</li> <li>13. RECEPTACION</li> <li>14. DELITO INFORMÁTICO</li> <li>15. EXTORSION</li> <li>16. ARROBATO</li> <li>17. APROPIACION ILICITA</li> <li>18. APROPIACION INESREGULAR</li> <li>19. USURACION</li> <li>20. OTROS</li> </ul>	<p><b>DELITO CONTRA LA LIBERTAD</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. ACTOS CONTRA EL PULCR</li> <li>2. VIOLACION SEXUAL</li> <li>3. TENTATIVA DE VIOLACION SEXUAL</li> <li>4. ACTOS CONTRA EL PULCR</li> <li>5. SECUESTRO</li> <li>6. EDUCACION</li> <li>7. TRATA DE PERSONAS</li> <li>8. SECUESTRO</li> <li>9. VIOLACION DE DOMICILIO</li> <li>10. VIOLACION DE LA INTIMIDAD</li> <li>11. FORTNOGRAFIA INFANTIL</li> <li>12. REBELIONES Y SUBLEVACIONES</li> <li>13. FAVORECIMIENTO A LA PROSTITUCION</li> <li>14. OTROS</li> </ul>	<p><b>DELITO CONTRA LA ADMINISTRACION PUBLICA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. INDEBENCIA O PASIVIDAD</li> <li>2. INDEBENCIA CONTRA LA AUTORIDAD PARA OBTENER O ALZAR</li> <li>3. ABUSO DE AUTORIDAD</li> <li>4. CONHECHO</li> <li>5. PRECULADO</li> <li>6. EDUCACION</li> <li>7. TRAFICO DE INFLUENCIAS</li> <li>8. USURPACION DE FUNCION PUBLICA</li> <li>9. OBTENCION DE SUBVENIONES O CARGOS QUE NO SUEREN</li> <li>10. OTROS</li> </ul>	<p><b>DELITO CONTRA LA FE PUBLICA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. FALSIDAD JURURICA</li> <li>2. FALSIDAD IDEOLOGICA</li> <li>3. FALSIFICACION DE DOCUMENTOS</li> <li>4. OTROS</li> </ul>		
<p><b>DELITO CONTRA LA VIDA EL CUERPO Y LA SALUD</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. LESIONES LEVES POR VIOLENCIA FAMILIAR</li> <li>2. LESIONES CULPOSAS</li> <li>3. LESIONES LEVES</li> <li>4. LESIONES GRAVES</li> <li>5. HOMICIDIO SIMPLE</li> <li>6. HOMICIDIO CALIFICADO</li> <li>7. TENTATIVA DE HOMICIDIO</li> <li>8. FENECIMIENTO</li> <li>9. AUTOSUICIDIO</li> <li>10. OTROS</li> </ul>	<p><b>DELITO CONTRA LA SEGURIDAD PUBLICA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. CONDUCION EN ESTADO DE EMBRIEDAD O INTOXICACION</li> <li>2. FALSIFICACION, SUSTRACCION O TENENCIA DE MATERIALES PELIGROSOS</li> <li>3. MICROCOMERCIALIZACION DE DROGAS</li> <li>4. TRAFICO ILICITO DE DROGAS</li> <li>5. POSESION NO PUNIBLE</li> <li>6. TRAFICO DE INSUMOS QUIMICOS</li> <li>7. OTROS</li> </ul>	<p><b>DELITO CONTRA LA FAMILIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. INDUCCION A FUGA DE MENOR</li> <li>2. SUSTRACCION DE MENOR</li> <li>3. OMISION DE PRESTACION DE SERVICIOS</li> <li>4. INSTRUCCION O PARTICIPACION DE MENOR EN PANDILLAS</li> <li>5. PERNICIOSO</li> <li>6. OTROS</li> </ul>	<p><b>DELITO CONTRA EL ORDEN FINANCIERO Y MONETARIO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. TRAFICO DE MONEDA FALSA</li> <li>2. FALSIFICACION</li> <li>3. OTROS</li> </ul>		



Fig. 23 Mapa del delito de la ciudad de Cajamarca 2023.

Fuente: Policía Nacional Del Perú.

Actualmente más de la mitad de los habitantes del planeta viven ya en Smart Cities, según la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) siendo la seguridad pública un desafío importante [88, p. 1]. Las soluciones que la Inteligencia Artificial en conjunto con sensores inteligentes ofrece es desde: fortalecer la seguridad aeroportuaria, lucha contra la delincuencia, predicción de desastres naturales, el rastreo de virus, hasta evitar accidentes de diversos tipos [89, p. 131].

La IA desempeña un papel crucial en zonas críticas de las ciudades, como aeropuertos, entornos industriales, estadios de fútbol y vías concurridas. En los aeropuertos, se utilizan sensores visuales y sistemas de videovigilancia asistidos por IA para monitorear la fluidez de las filas de pasajeros y la velocidad de movimiento a través de los controles de seguridad. También se emplean cámaras térmicas con capacidad de medir la temperatura corporal en cuestión de segundos [90]. La IA consigue reducir y combatir infracciones, anticipación de hechos delictivos en estaciones de autobuses, carreteras, en actos y celebraciones oficiales, edificios públicos, cruces con mucho tráfico [91].

El decreto legislativo N.º 1218 “Decreto legislativo que regula el uso de las cámaras de videovigilancia” es clave para el impulso de ciudades inteligentes, ya que fomenta el uso de tecnología avanzada con el objetivo de fortalecer la seguridad ciudadana, mejorar la prevención y control del delito, y fomentar la participación activa de los ciudadanos en la protección de su entorno. Esta legislación promueve la implementación de sistemas de videovigilancia y otras soluciones tecnológicas innovadoras, permitiendo una gestión más eficiente y efectiva de la seguridad en el entorno urbano. De esta manera, se busca crear un ambiente más seguro, promoviendo la colaboración entre la comunidad y las autoridades, y aprovechando los avances tecnológicos para potenciar la calidad de vida de los ciudadanos en una ciudad inteligente [92].

Las tecnologías relacionadas con el reconocimiento facial ya permiten crear bases de datos con los rostros de las personas, cruzar los datos de estos bancos de imágenes con las fotografías obtenidas de cámaras de seguridad instaladas en las calles o en edificios y encontrar así a niños desaparecidos, prófugos de la justicia, víctimas de trata de personas o individuos enfermos que se han perdido permitiendo activar un sistema de alertas, que indicaran a los organismos de

seguridad si una cámara capta imágenes del individuo buscado [93, p. 26]. La ciudad de Cajamarca es una de las ciudades más frecuentadas del Perú por sus atractivos turísticos e históricos presentando un gran índice de visitantes dentro y fuera del país por lo que es, de gran necesidad tener una adecuada gestión ciudadana y salvaguardo de esta [94]. En la ciudad de Cajamarca, se evidencio las zonas con mayor incidencia de hechos delictivos, identificadas también a través de la encuesta realizada a la población y el mapa del delito. Este enfoque busca lograr una gestión más efectiva de la seguridad ciudadana, respondiendo a las necesidades de los habitantes. (véase Fig. 24).





Fig. 24 Seguridad ciudadana en Cajamarca.

### **3.3.5.1 Reglas y Ubicación de Dispositivos para el Servicio de Seguridad Ciudadana**

El servicio de seguridad ciudadana se fundamenta en el uso de cámaras de alta gama distribuidas estratégicamente en las zonas identificadas como prioritarias según los resultados de las encuestas realizadas a los ciudadanos de Cajamarca. Estas cámaras deberán estar equipadas con tecnología avanzada de análisis de video en tiempo real, reconocimiento de placas y rostros, y algoritmos que permiten una respuesta efectiva a los incidentes detectados. Establecer reglas operativas claras es fundamental para maximizar la efectividad del sistema y asegurar una respuesta adecuada ante cualquier situación que ponga en riesgo la seguridad pública. A continuación, se detallan las reglas que guiarán la operación del sistema de seguridad ciudadana.

#### **(a) Reglas para el servicio de seguridad ciudadana**

- Definir claramente los tipos de incidentes que el sistema debe monitorear.
- Utilizar análisis de video en tiempo real para detectar comportamientos anómalos.
- Implementar un sistema de reconocimiento de placas y rostros con verificación secundaria en coincidencias cercanas al umbral.
- Clasificar los incidentes detectados según su severidad y ajustar la respuesta en consecuencia.
- Realizar una intervención inmediata para incidentes de alta severidad y emitir alertas preventivas para situaciones de menor riesgo.
- Continuar con el monitoreo y aprendizaje continuo del sistema para mejorar la precisión.
- Evaluar la efectividad de cada intervención y ajustar parámetros de detección de manera periódica.

#### **(b) Diagrama de flujo para el servicio de seguridad ciudadana**

El diagrama de flujo presentado a continuación muestra el proceso de gestión del sistema de seguridad ciudadana, desde la detección de incidentes hasta la respuesta e intervención según la severidad del evento (véase Fig. 25).

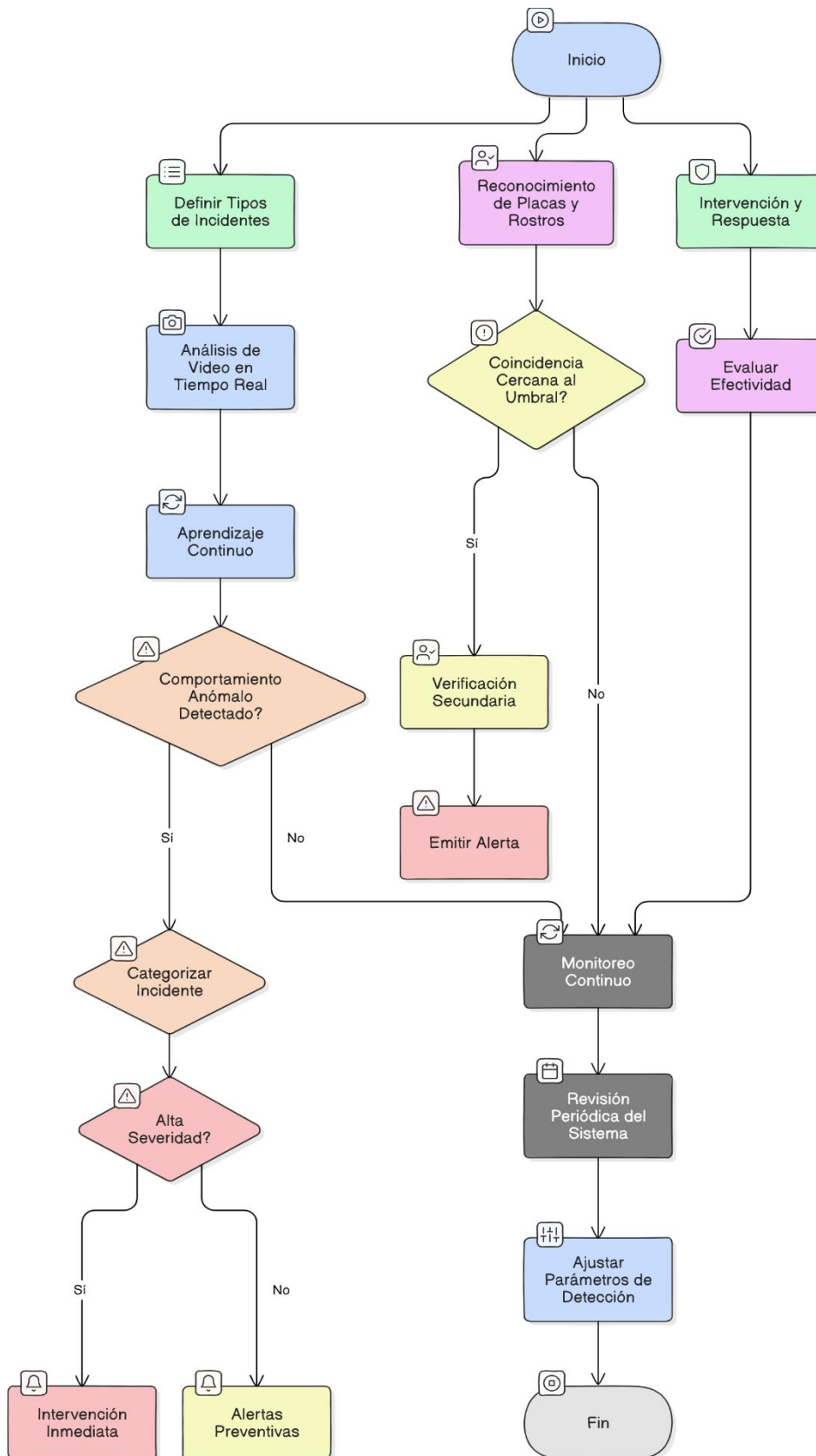


Fig. 25 Diagrama de flujo para el servicio de seguridad ciudadana

***(c) Ubicación de dispositivos para el servicio de seguridad  
ciudadana***

Las 82 cámaras de alta gama se instalarán en las zonas prioritarias identificadas a través de encuestas ciudadanas, cubriendo áreas con mayor incidencia de incidentes de seguridad. Esta distribución maximiza la supervisión y respuesta en tiempo real ante cualquier situación de riesgo (véase Fig. 26).





Fig. 26 Ubicación de dispositivos para el servicio de seguridad ciudadana

Con el desarrollo detallado de cada servicio y la ubicación de los dispositivos y sensores necesarios, se establece la base para realizar un dimensionamiento preciso del ancho de banda requerido.

### 3.3.6 Dimensionamiento del ancho de banda

En el proyecto, se tiene en cuenta 5 servicios de ciudad inteligente que requieren un total de 8 sensores para su correcto funcionamiento. Para estimar el consumo de ancho de banda (véase Tabla 3).

<b>Servicio</b>	<b>Sensor</b>	<b>Ancho de banda individual (Mbps)</b>	<b>Total estimado de sensores</b>	<b>Total De Consumo de Ancho de Banda (Mbps)</b>
Transporte Inteligente	Controladores de semáforos	2	53	106
	GPS	0.05	822	41.1
	Contador de personas	0.05	822	41.1
Gestión eficiente de energía	Luminarias inteligentes	0.05	872	43.6
Gestión Inteligente de Residuos Urbanos	Contenedores inteligentes	0.02	352	7.04
Gestión de Calidad Ambiental y Salud Pública	Sensores de calidad del aire	0.07	96	6.72
	Sensores de calidad de agua	0.08	73	5.84
Seguridad Ciudadana	Cámaras	18	82	1476
<b>TOTAL (Mbps)</b>				<b>1727.4</b>

*Tabla 3 Dimensionamiento del ancho de banda.*

Tras realizar el cálculo del ancho de banda, se determinó que se requería un total de 1727.4 Mbps o 1.73 Gbps. Esta cifra mostró que la capacidad de las redes actuales desplegadas en la ciudad de Cajamarca, como GPON y Fast Ethernet, no dará abasto a los requisitos proyectados para soportar la demanda de los servicios inteligentes que se desea implementar. Aunque estas redes aún están en funcionamiento, su capacidad no será suficiente, especialmente al sumar el tráfico de cámaras y sensores adicionales que se planea añadir. La red GPON tiene un límite de 2.5 Gbps de descarga y 1.25 Gbps de subida, lo que limita significativamente su capacidad para el desarrollo de una ciudad inteligente.

En contraste, la implementación de la tecnología 50 G-PON, que ofrece un ancho de banda de 50 Gbps, garantizaba no solo cubrir las necesidades presentes sino también futuras. Esto proporcionaba un margen significativo para el crecimiento y la integración de nuevas tecnologías, asegurando que no se agotara la capacidad total de la red.

Además, los controladores que actúan como puntos de procesamiento al borde de la red (Edge Computing) añadirán una capa de eficiencia al reducir la latencia y optimizar el uso del ancho de banda, disminuyendo la carga hacia el núcleo de la red. Es importante mencionar que este consumo de ancho de banda aún no se estima, ya que dependerá del diseño de la red y de la cantidad de controladores que se utilicen. Este aspecto se evaluará en fases posteriores para dimensionar de manera más precisa la infraestructura necesaria. Siendo los servicios de una ciudad inteligente los que mejoran la calidad de vida de los ciudadanos basándose en puntos fundamentales como:

- Mayor eficiencia en la gestión de recursos

buscando integrar tecnologías avanzadas para optimizar la gestión de los recursos, reducir los costos operativos y mejorar la eficiencia en la prestación de servicios [95]. Siendo la gestión inteligente de los recursos clave ya que puede reducir los costos operativos hasta en un 30%, lo que se traduce en un ahorro significativo para los municipios [96, p. 4].

- Mejora la seguridad

En vigilancia de alta tecnología, las cámaras de seguridad y la tecnología de reconocimiento facial ayudan a detectar y prevenir crímenes [97, p. 2].

- Mejora la sostenibilidad

La implementación de tecnologías inteligentes para reducir la emisión de gases de efecto invernadero puede reducir los costos de energía y mejorar la calidad del aire en las ciudades inteligentes [98].

➤ tecnología 50 G-PON

Es una solución óptima y más que suficiente para cubrir el consumo de ancho de banda calculado de 1.73 (GB/s). Con una capacidad de 50 (GB/s), esta tecnología proporciona un margen amplio y garantiza un rendimiento eficiente para las tecnologías y servicios actuales y futuros dentro de una misma infraestructura de red. Al no utilizar todo el ancho de banda disponible, se permite un crecimiento escalable y la implementación de futuras aplicaciones sin comprometer la calidad ni la capacidad del sistema. Siendo la tecnología 50 G-PON una opción adecuada para satisfacer las demandas de ancho de banda requeridas en este contexto.

Con el dimensionamiento de banda adecuado gracias a la tecnología 50 G-PON, estamos en una posición sólida para recopilar y procesar eficientemente los datos generados por los diversos sensores de la ciudad inteligente. Para el diseño de la red, se han desarrollado tres enfoques principales:

El primer caso propone utilizar los hilos libres identificados en el diagnóstico de las infraestructuras de red de los despliegues de 2011 y 2019, aprovechando estas fibras para la instalación de cámaras, sensores y controladores.

El segundo caso hace uso de la infraestructura existente de ambos despliegues, adaptando la tecnología 50 G-PON en los puntos donde ya hay cámaras. Además, se utilizarán los hilos libres de estas redes como fibras de backup, garantizando redundancia para los sensores, controladores y ONU.

El tercer caso sugiere un nuevo tendido de fibra óptica que cubrirá toda la ciudad de Cajamarca, integrando fibras de backup para asegurar una mayor resiliencia y confiabilidad en la red.

### **3.4 ESTABLECER LA COBERTURA DE LA INFRAESTRUCTURA DE RED PARA DELIMITAR SU ALCANCE DENTRO DE LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA.**

#### **3.4.1 Cobertura de la red**

Se abarco la zona urbana en Cajamarca (véase Fig. 27). Permitiendo a los residentes acceder a servicios digitales como: educación en línea, atención médica remota, teletrabajo, entretenimiento y comercio electrónico, lo que mejora su calidad de vida y les permite ahorrar tiempo y dinero en desplazamientos y en la realización de actividades cotidianas .Dando también ventajas a los municipios con la gestión de los servicios de un ciudad inteligente para la toma de decisiones adecuada antes riesgos y teniendo un mayor impacto en la calidad de vida para los ciudadanos [44, pp. 74-78]. Abarcando un total de 12 km cuadrados y un perímetro de 20.4 km.



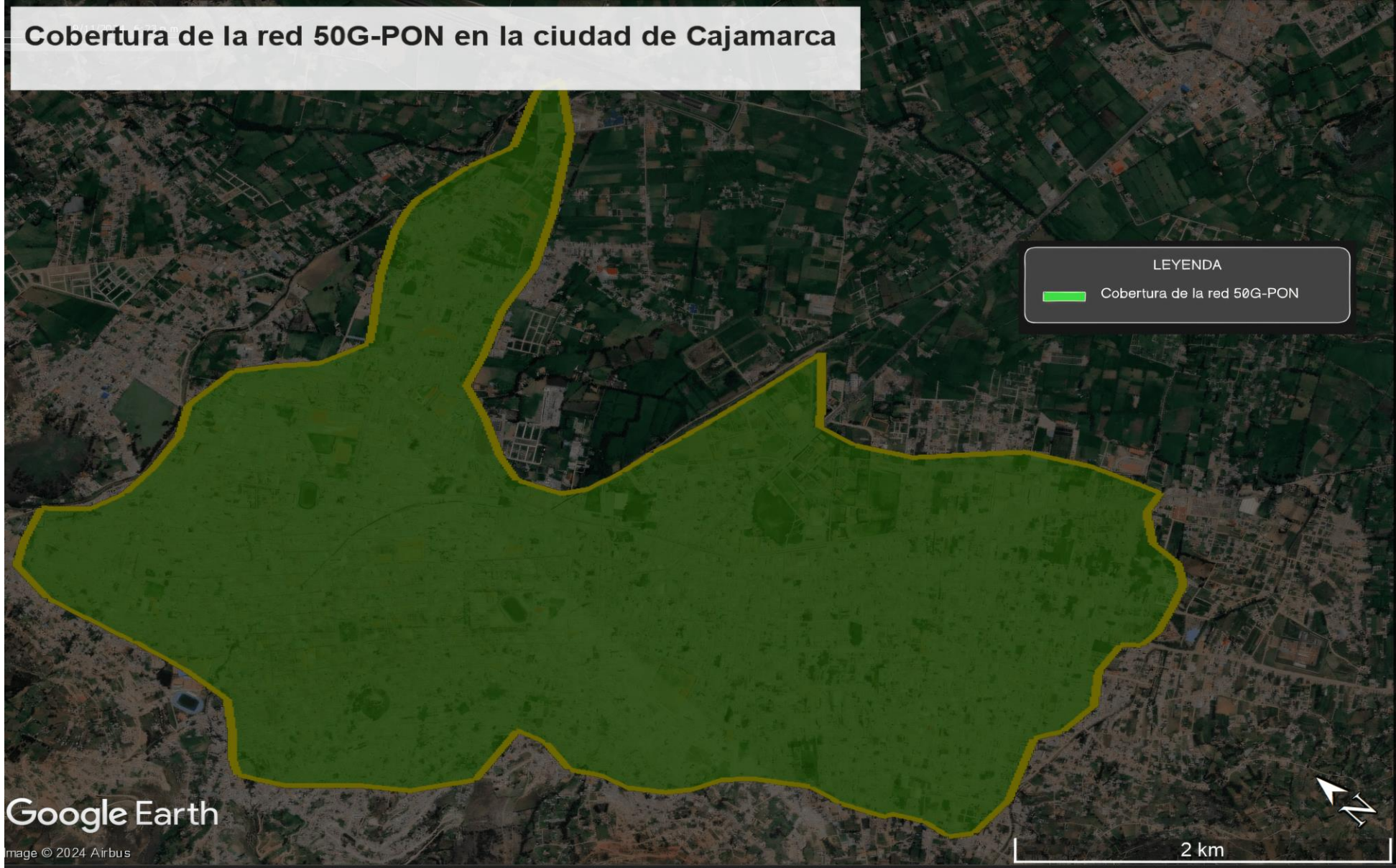
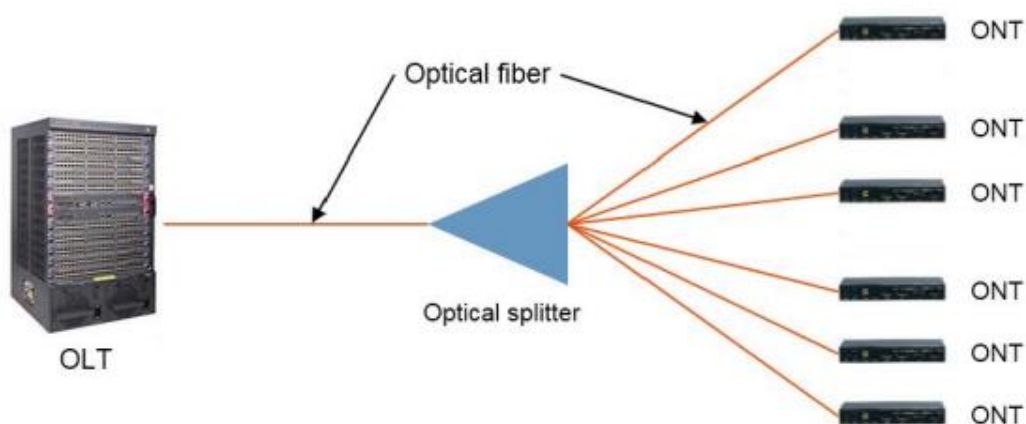


Fig. 27 Cobertura de la red 5G-PON

Para el desarrollo de los tres casos de diseño, nos guiaremos por normativas y entidades especializadas, definiendo primero la topología y el diseño distributivo que se adoptará a la red 50G-PON en la ciudad de Cajamarca.

### 3.4.1 Topología de red

Se propone en la ciudad de Cajamarca utilizar topología de red tipo árbol siendo la opción ideal para distribuir la tecnología 50G-PON. Caracterizándose por su estructura jerárquica, donde un nodo central se conecta con múltiples nodos secundarios, los cuales a su vez se ramifican hacia otros nodos más pequeños y finalmente a las ONUs /ONTs (véase Fig. 28). Esta configuración permite una distribución eficiente y escalable de la red, garantizando un alto nivel de rendimiento y confiabilidad. Al utilizar la tecnología 50G-PON, que ofrece una velocidad de transmisión de 50 gigabits por segundo, se puede garantizar una conectividad rápida y estable para los usuarios de Cajamarca. Esto resulta especialmente importante en un entorno donde la demanda de ancho de banda continúa en constante crecimiento debido a la creciente cantidad de dispositivos conectados y servicios digitales. La cual también facilita la gestión y el mantenimiento de la red. Al contar con un nodo central que actúa como punto de control, se simplifica la administración de los recursos y la detección de posibles fallas. Esto permite una rápida respuesta ante cualquier problema y minimiza el tiempo de inactividad de la red [100, pp. 50-58].



*Fig. 28 Topología De Red Tipo Árbol.*

*Fuente: <https://todofibraoptica.com/confiabilidad-de-red-optica-probabilidad-de-falla-y-vida-util-parte-i/>.*

### **3.4.2 Diseño distributivo de la red**

Para redes pasivas la normativa ITU-T G.984 ofrece numerosas ventajas en términos de eficiencia y flexibilidad. Utilizando divisiones ópticas para conectar múltiples usuarios a través de una única fibra óptica la infraestructura de red se comparte entre varios usuarios, lo que resulta en una reducción significativa de los costos de despliegue y mantenimiento. El diseño distribuido de una red basado en la normativa ITU-T G.984 para redes pasivas ofrece una solución eficiente y escalable para proporcionar servicios de banda ancha a un gran número de usuarios. La implementación de redes PON garantiza una alta velocidad de transmisión de datos, una mayor capacidad de conexión y una reducción de costos significativa. Al seguir las directrices establecidas en la normativa, se promueve la estandarización y la interoperabilidad, facilitando así la adopción y el crecimiento de estas redes en diferentes entornos [101, p. 69].

Se propone de ubicar el Data Center dentro de la Municipalidad Provincial de Cajamarca (véase Fig. 29) basado en varios factores clave como:

- Seguridad energética confiable, lo que garantiza un suministro constante de electricidad para el funcionamiento de la OLT y la red en general.
- Administración por la misma entidad, facilitando la gestión y supervisión de la infraestructura de red, permitiendo una mayor eficiencia en la resolución de problemas y la implementación de actualizaciones.



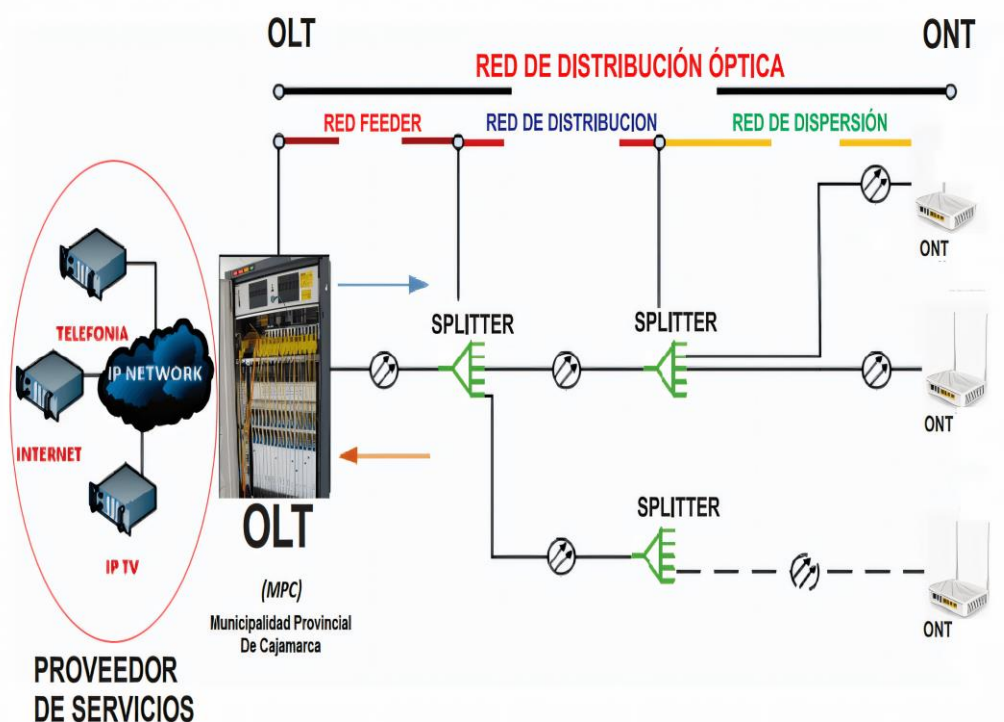


Fig. 29 Diseño Distributivo De La Red.

Con estos lineamientos definidos, se procederá al diseño de la red 50G-PON, considerando tres casos específicos que evaluarán diferentes enfoques para la implementación y distribución de la infraestructura en la ciudad de Cajamarca.

### 3.4.3 Caso 1: Aprovechamiento de hilos libres en infraestructura existente

Este caso propone utilizar únicamente los hilos libres identificados en el diagnóstico de las infraestructuras de red de los despliegues de 2011 y 2019, aprovechándolos para la instalación de cámaras, sensores y controladores.

Para el despliegue de fibra óptica, sensores y controladores en el Caso 1, es fundamental realizar un análisis detallado de la infraestructura de red existente de los despliegues de 2011 y 2019 (véase Fig. 30). El proyecto de 2011 cuenta con una fibra troncal de 24 hilos y ramificaciones de seis hilos, con un diseño eficiente que deja capacidad para futuras expansiones. Por otro lado, el despliegue de 2019 incluye tres troncales principales de 96 hilos cada una, pero debido a una configuración tecnológica inadecuada, presenta una alta saturación: solo 18 hilos

libres en la zona sur, 2 en la zona norte y 56 en el centro. Aprovechando esta disponibilidad limitada de hilos libres, el enfoque del Caso 1 consiste en utilizar exclusivamente estos recursos no ocupados como fibras de backup, maximizando su uso para la instalación de la red 50 G-PON. Esto permitirá desplegar cámaras, sensores y controladores sin necesidad de un tendido adicional, optimizando la infraestructura existente y abordando las deficiencias tecnológicas que afectan la eficiencia de la red actual.

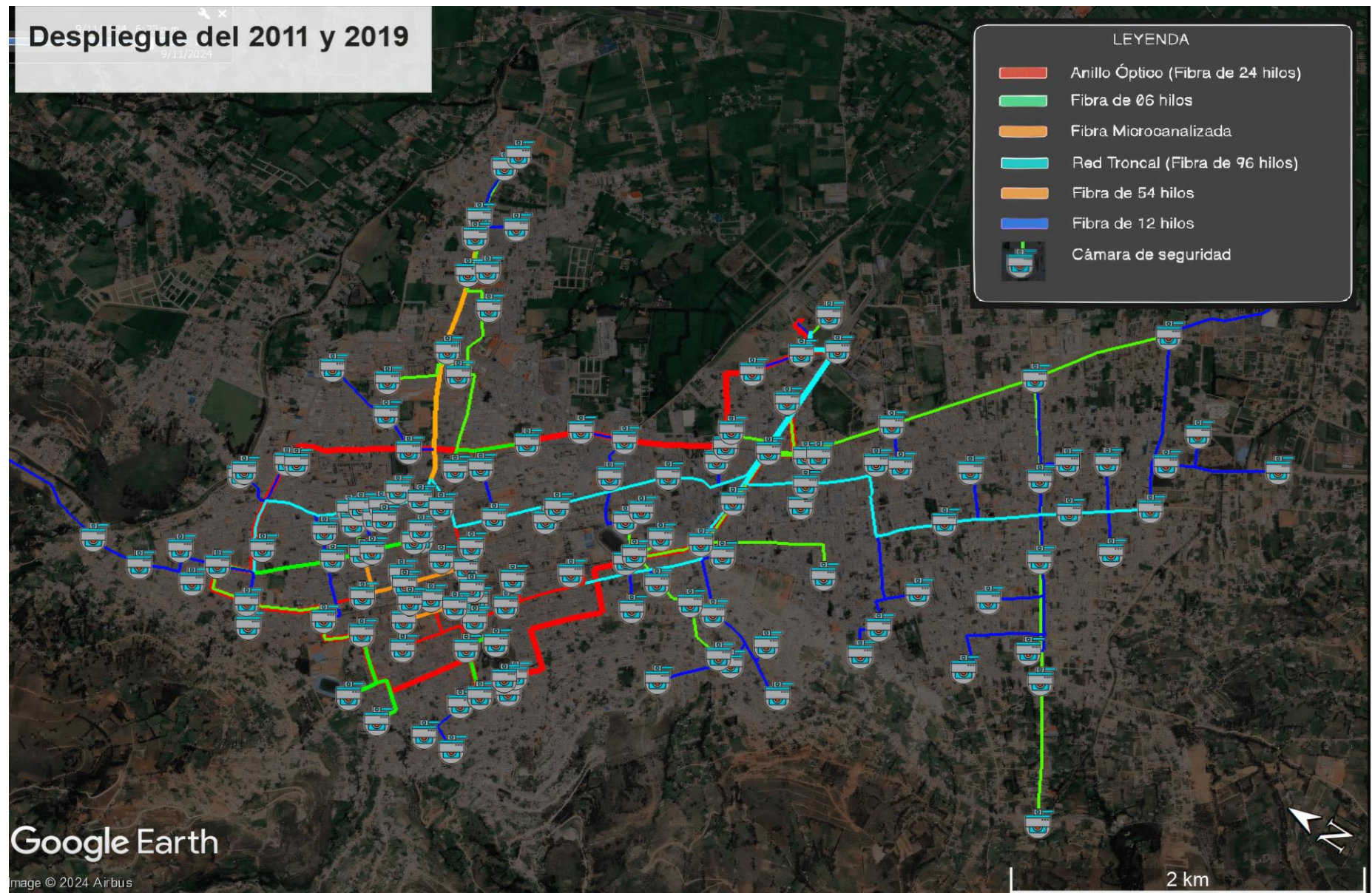


Fig. 30 Despliegues del 2011 y 2019

#### **3.4.3.1 *Diseño distributivo de la red***

Como se ha analizado y propuesto en el diseño, se parte exclusivamente de los hilos libres disponibles de los despliegues anteriores. Sin embargo, para completar la integración de los sensores y dispositivos en la red, es necesario adicionar nuevos despliegues de fibra óptica. En concreto, se requieren 8.75 km adicionales de fibra para alcanzar las ubicaciones de las ONUs (Optical Network Units) necesarias. Este despliegue permitirá la instalación de 67 ONU's, fundamentales para el correcto funcionamiento tanto de la red de fibra óptica como de la nueva red 50 G-PON, asegurando una conectividad eficiente y robusta para todos los dispositivos involucrados.

Dado que este caso contempla la integración de la red 50 G-PON utilizando únicamente los hilos libres de los despliegues existentes, sumados a los nuevos tramos de fibra y la incorporación de 67 ONUs, se evidencia una limitación crítica en la capacidad de la red (véase Fig. 31). El diseño resultante muestra una red completamente saturada, sin hilos libres disponibles para respaldo, lo que compromete la estabilidad y la capacidad de expansión futura. Esta situación es particularmente preocupante en el contexto de una red para una Ciudad Inteligente, donde la demanda de conectividad y estabilidad es creciente. Además, considerando que Cajamarca presenta una densidad de población de 87.7 habitantes por km<sup>2</sup>, este diseño no solo limita la evolución tecnológica de la red, sino que también pone en riesgo su eficiencia y confiabilidad. Por estas razones, este caso se considera ineficiente y será descartado.



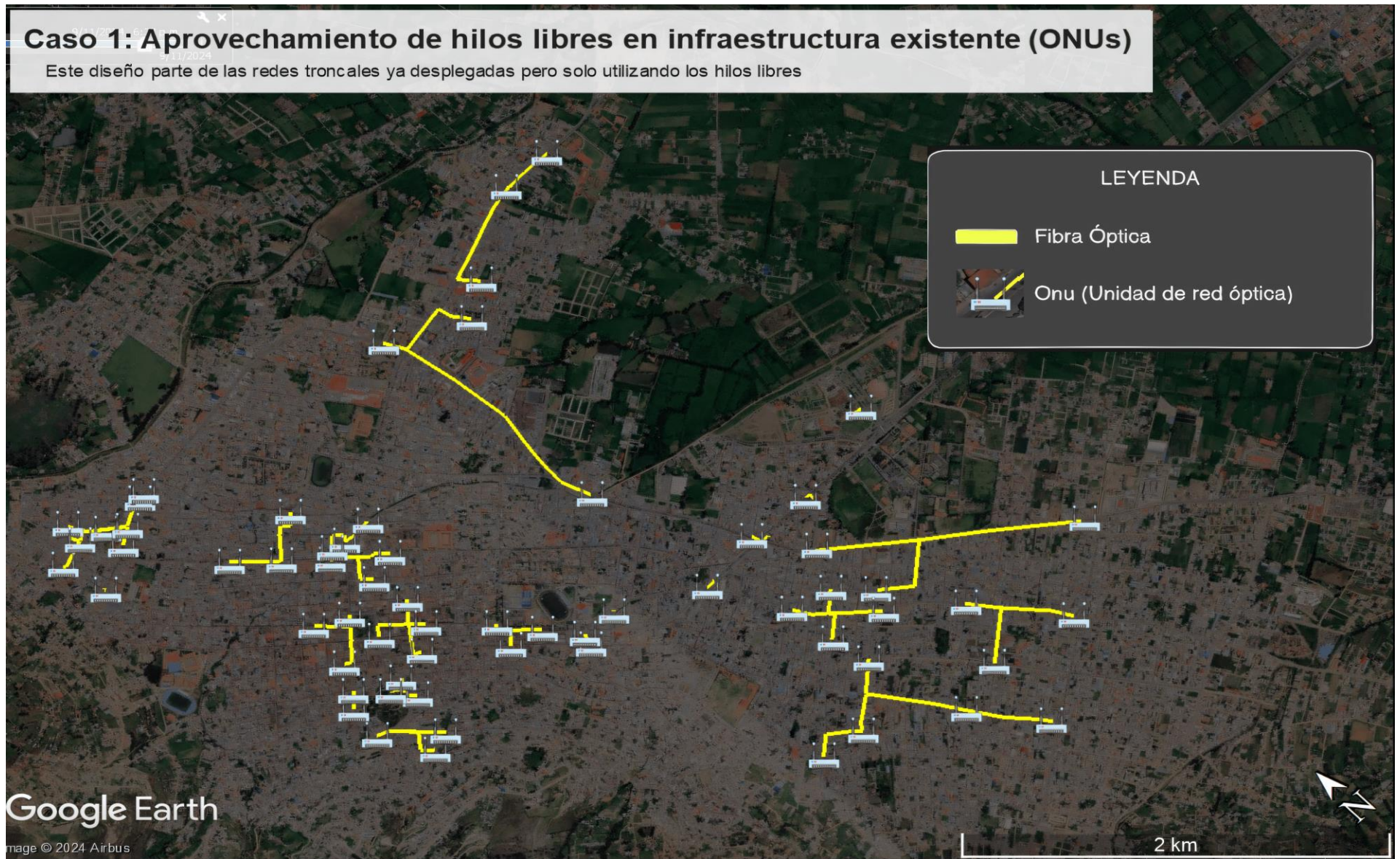


Fig. 31 Caso 1: Aprovechamiento de hilos libres en infraestructura existente (ONUs)

#### **3.4.4 Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente**

En este caso, se propone un aprovechamiento completo de la infraestructura existente de las redes de fibra óptica desplegadas en 2011 y 2019 (véase Fig. 32). Este enfoque busca maximizar el uso de los puntos de conexión actuales, especialmente en las ubicaciones de las cámaras ya instaladas. En lugar de dejar estas cámaras sin respaldo, se implementarán splitters en cada punto para mantener su conectividad y, si es necesario, se realizarán despliegues adicionales de fibra para integrar las ONUs (Optical Network Units). A diferencia del caso anterior, los hilos libres no se utilizarán como líneas principales, sino que se reservarán exclusivamente para proporcionar redundancia a la red, lo que contribuirá a su robustez y asegurará su correcto funcionamiento y evolución a largo plazo. Esta estrategia no solo refuerza la estabilidad de la red, sino que también facilita un mantenimiento eficiente y garantiza la capacidad de la infraestructura para adaptarse a futuras demandas de la ciudad inteligente de Cajamarca.



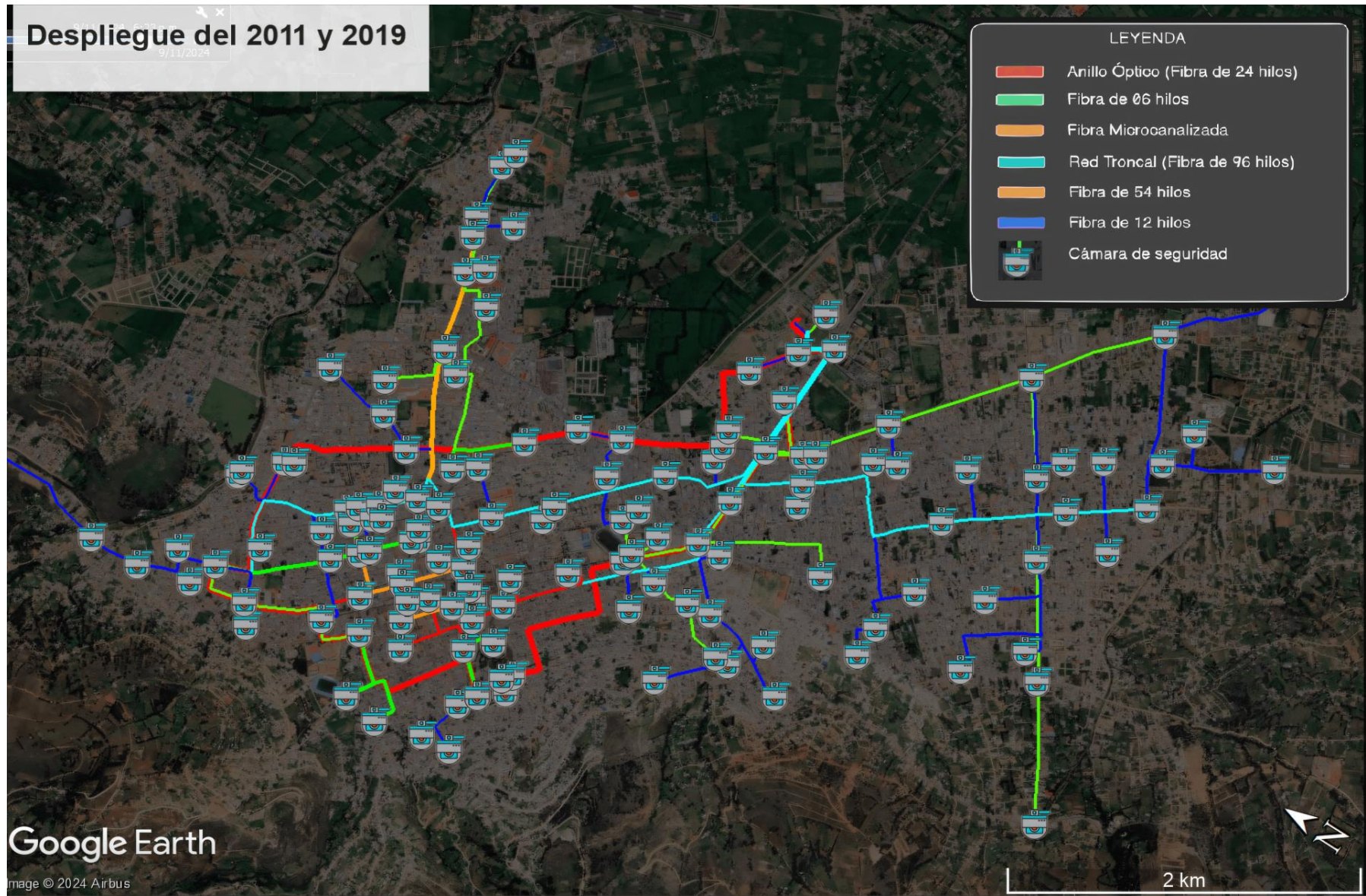


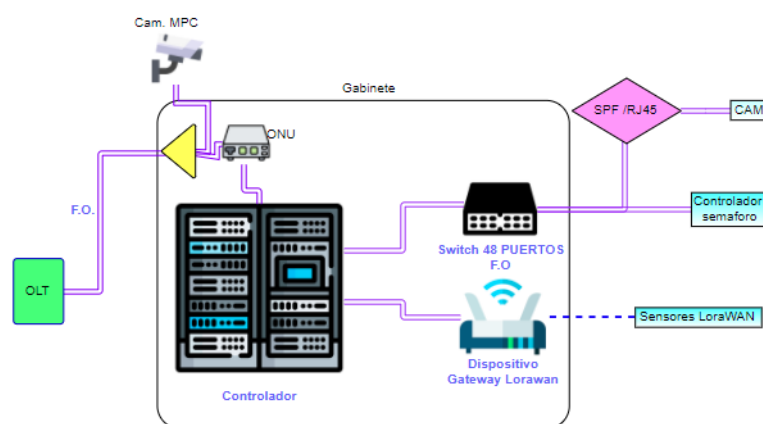
Fig. 32 Despliegues del 2011 y 2019

### **Diseño distributivo de la red 01**

Se plantea el Diseño distributivo de la red 01, a partir de la identificación y despliegue de las redes de fibra óptica de 2011 y 2019 en la ciudad de Cajamarca, se utilizarán los hilos libres como fibras de backup para asegurar la redundancia de la red. Se presenta el diseño de la infraestructura de conexión, donde la fibra óptica inicia su recorrido desde la OLT (Optical Line Terminal) y alimenta la cámara de la Municipalidad Provincial de Cajamarca (MPC) a través de un splitter, representado por el triángulo amarillo (véase Fig. 33). Este splitter no solo mantiene la conexión de la cámara, sino que también proporciona alimentación a una ONU (Optical Network Unit), la cual opera bajo el estándar 50 G-PON.

La ONU, ubicada dentro del gabinete, gestiona el acceso a diversos controladores de sensores y dispositivos. En el gabinete se encuentran también el controlador, un switch de 48 puertos de fibra óptica, y el dispositivo Gateway LoRaWAN, que habilita la conexión con sensores inalámbricos operando en la red LoRaWAN. Adicionalmente, la integración de conexiones mediante transceptores SPF/RJ45, que permiten la vinculación directa de los controladores de semáforos y cámaras adicionales al controlador central (véase Fig. 33).

Este diseño es altamente viable cuando se requiere conectar una gran cantidad de dispositivos, como cámaras, controladores de semáforos y otros sensores, al controlador principal, que dispone de un puerto Ethernet de 10 Gbps. Esto asegura una conectividad robusta y de alta velocidad para todos los elementos del sistema, permitiendo una gestión eficiente y escalable de la infraestructura de la red en la ciudad de Cajamarca.



*Fig. 33 Diseño distributivo de la red 01*



Para el Caso 2, se aprovechará completamente la infraestructura existente, y los hilos libres identificados se utilizarán para fortalecer el respaldo y la redundancia de la red. Como se explicó en el diseño distributivo, la infraestructura requiere únicamente cuatro controladores, por lo que serán necesarias solo cuatro ONUs y 0.7 km de despliegue de fibra para conectar estos controladores a la red 50G-PON y asegurar un acceso eficiente y optimizado a la red (véase Fig. 34).

## Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 01 (ONUs)

El Diseño 02 maximiza el uso de las redes de fibra óptica existentes mediante un despliegue ampliado de ONUs, eliminando la necesidad de switches. Esta configuración optimiza la conectividad al conectar directamente los dispositivos, como: cámaras y controladores de semáforos, a la red, fortaleciendo la eficiencia de la red.

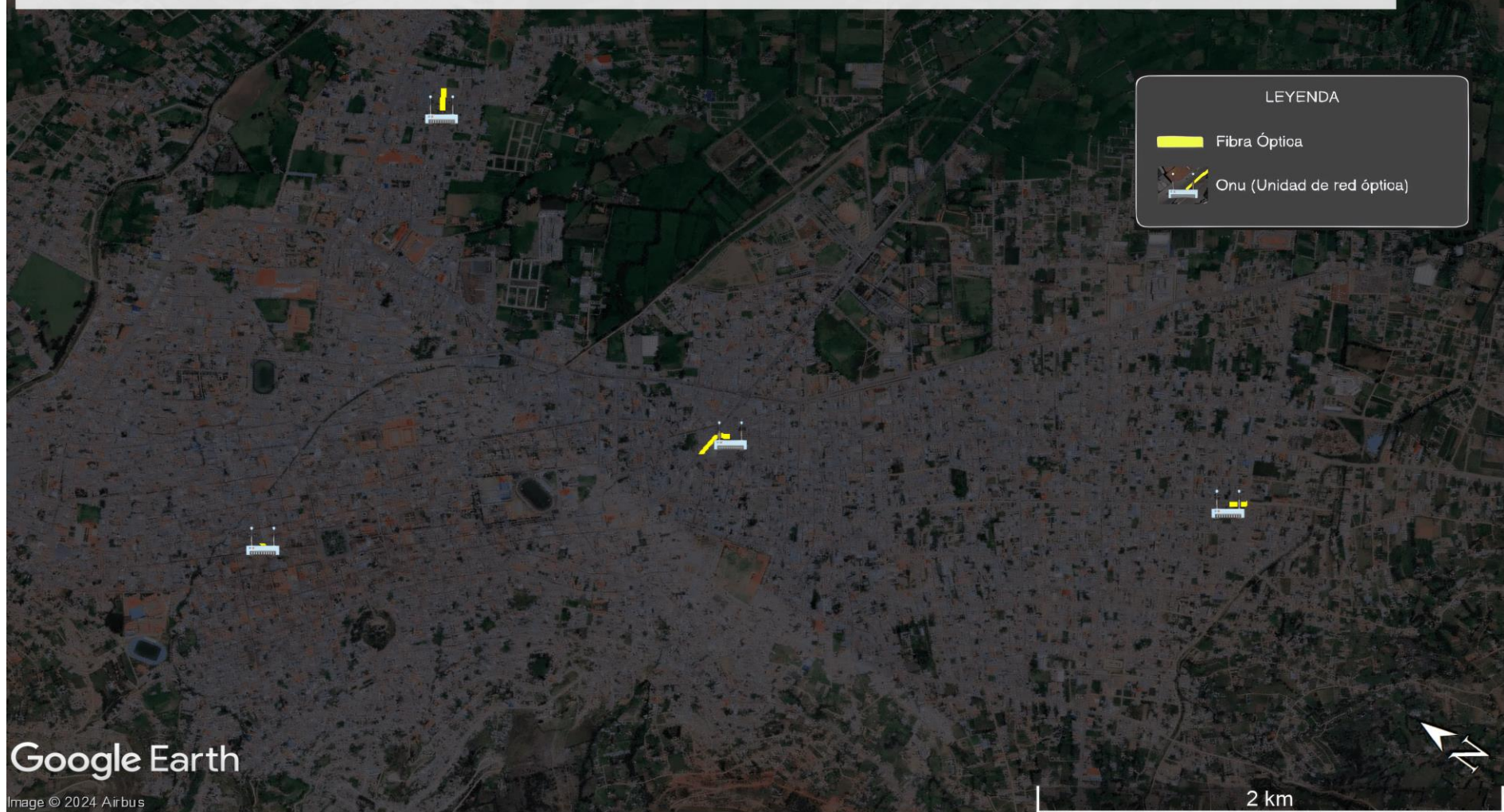


Fig. 34 Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 01 (ONUs)

En este diseño, se ha desplegado sensores de calidad de agua que serán instalados en las tuberías de la ciudad y conectados de forma inalámbrica mediante la red LoRaWAN. Los sensores de calidad de aire seguirán un esquema similar, utilizando la red LoRaWAN para una conexión eficiente.

En cambio, los controladores de semáforo y las cámaras desplegadas necesitarán una conexión de fibra óptica, representada en la imagen con una guía de color morado, estableciendo un alcance de hasta 1.5 km para cada controlador (véase Fig. 35). Esta distancia es ideal, ya que el rango máximo de una red LoRaWAN puede alcanzar hasta 15 km en condiciones óptimas de línea de vista y sin interferencias significativas, aunque es común que, en áreas urbanas con obstáculos, como edificios, el alcance efectivo sea menor, alrededor de 5 a 10 km [102].

Por lo tanto, establecer un alcance de 1.5 km garantiza una conexión confiable y robusta dentro de un entorno urbano. Este diseño incluye cuatro controladores distribuidos estratégicamente para cubrir toda la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, proporcionando una cobertura integral y asegurando la evolución y mantenimiento adecuado de la red, gracias a la redundancia de los hilos libres y la integración de la infraestructura existente.



## Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 01

El Diseño 01 optimiza el uso de las redes de fibra óptica ya desplegadas, incorporando switches para gestionar la conectividad y utilizando los hilos libres como respaldo, fortaleciendo así la redundancia y capacidad de la red.

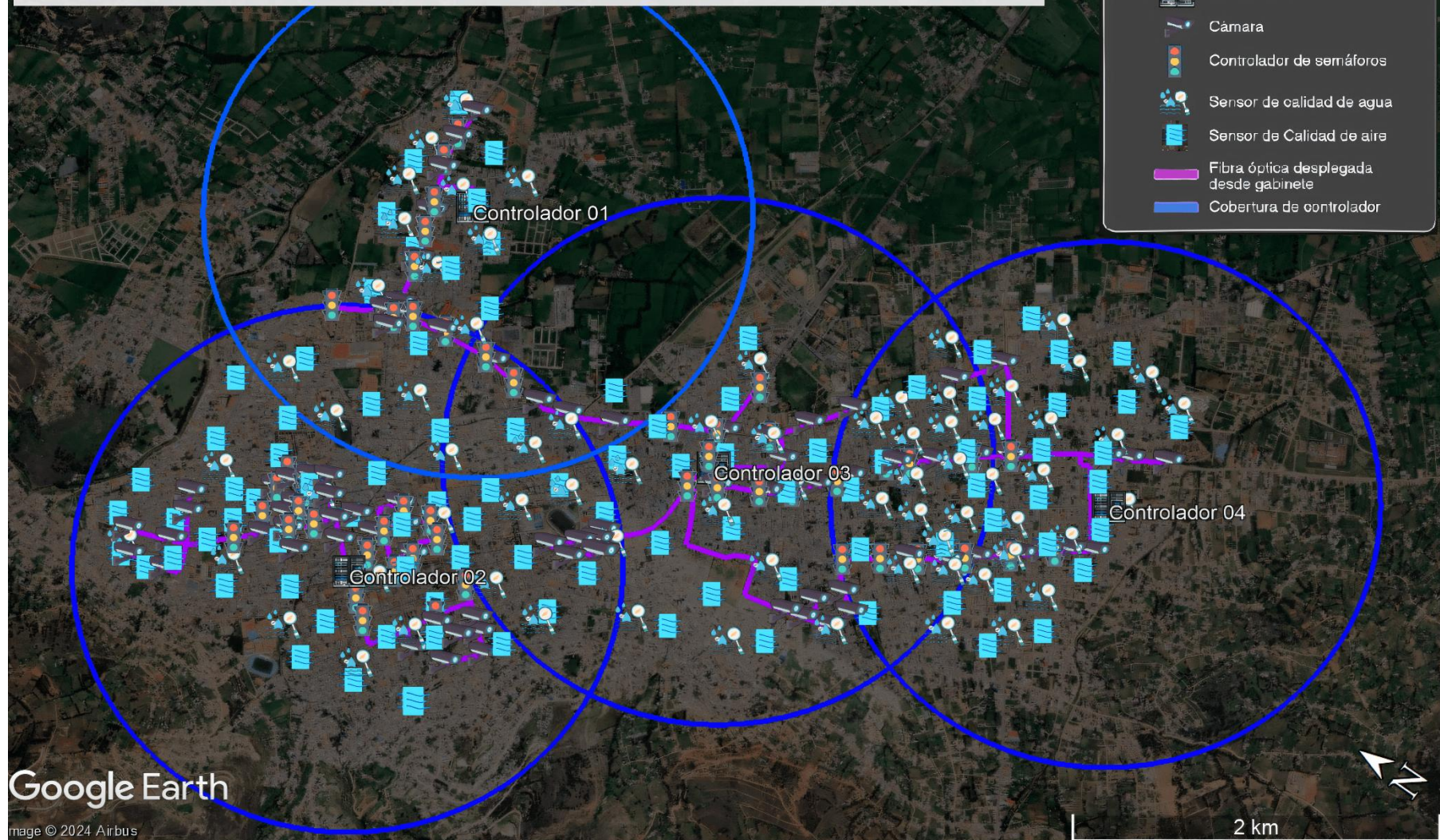


Fig. 35 Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 01

Con el diseño de la infraestructura de red ya definido, se procederá a calcular la capacidad de conmutación para los switches propuestos en cada uno de los cuatro controladores. Este análisis permitirá evaluar de manera detallada la capacidad de los equipos para manejar el tráfico de datos esperado, proporcionando un resultado concreto sobre la viabilidad y eficiencia de este diseño en la red de la ciudad de Cajamarca.

**(a) Controlador 01**

El controlador 01, gestiona una amplia variedad de sensores y dispositivos clave para los servicios de la ciudad inteligente. Este controlador integra 10 sensores de calidad de agua y 11 sensores de calidad de aire, los cuales monitorean las condiciones ambientales de la ciudad. Además, controla 88 contenedores inteligentes, 218 luminarias inteligentes, y 205 sensores contadores de personas, que trabajan en conjunto con 205 dispositivos GPS para optimizar el tráfico inteligente, especialmente en el transporte público (véase Fig. 36).

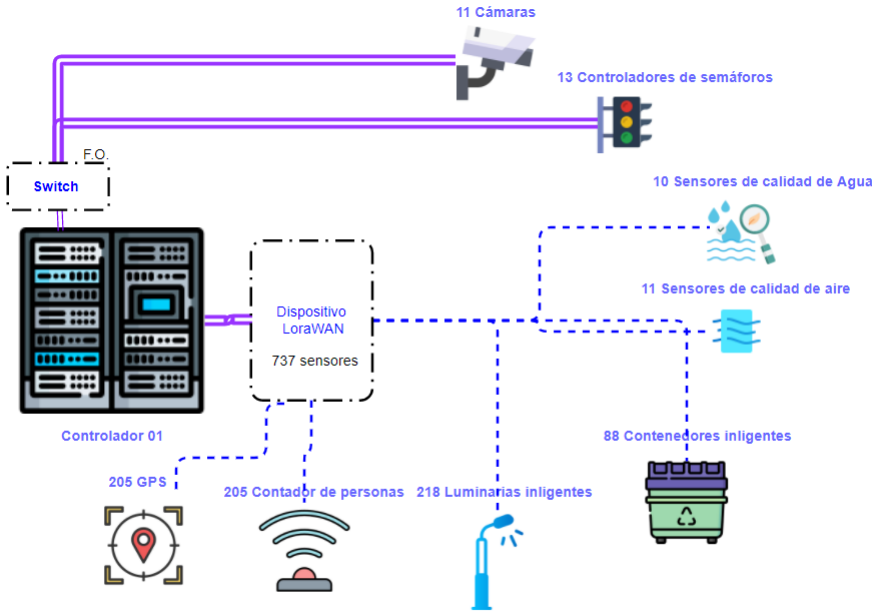


Fig. 36 Controlador 01

El controlador también está conectado a un switch de acceso que gestiona 11 cámaras y 13 controladores de semáforos, los cuales son fundamentales para la supervisión y regulación del tráfico en la ciudad. Para evaluar la viabilidad de este diseño dentro, se realizará un cálculo detallado de la conmutación del switch,

asegurando que pueda manejar la carga de datos y dispositivos conectados de manera eficiente y sin interrupciones.

### ***Cálculo de Conmutación del Switch para el Controlador 01***

Ancho de banda total necesario:

- Cantidad de cámaras: 11
- Cantidad de controladores de semáforos: 13
- Consumo de ancho de banda por cámara: 18 Mbps
- Consumo de ancho de banda por controlador de semáforo: 2 Mbps

Cálculo del tráfico total:

1. Tráfico total generado por las cámaras:

tráfico cámaras=11×18 Mbps=198 Mbps

2. Tráfico total generado por los controladores de semáforos:

tráfico controladores =13×2 Mbps=26 Mbps

3. Tráfico total a manejar:

tráfico total=198 Mbps+26 Mbps=224 Mbps

Determinar si un Switch de 48 Puertos es Adecuado

Consideramos un switch con puertos de 100 Mbps cada uno:

Número de puertos necesarios:

11 (cámaras) + 13 (controladores de semáforos) = 24 puertos.

Ancho de banda total requerido: 224 Mbps.

Cálculo de la capacidad de conmutación de un switch de 48 puertos (100 Mbps por puerto):

Capacidad de Conmutación=48×100 Mbps×2=9600 Mbps=9.6 Gbps

Evaluación:

Un switch con 48 puertos de 100 Mbps cada uno puede manejar un tráfico de hasta 9.6 Gbps en total.

Como el tráfico total actual es de 224 Mbps, el switch puede manejarlo sin ningún problema, incluso si todos los dispositivos están enviando y recibiendo datos al mismo tiempo.

Evaluación del Enlace Up-Link:

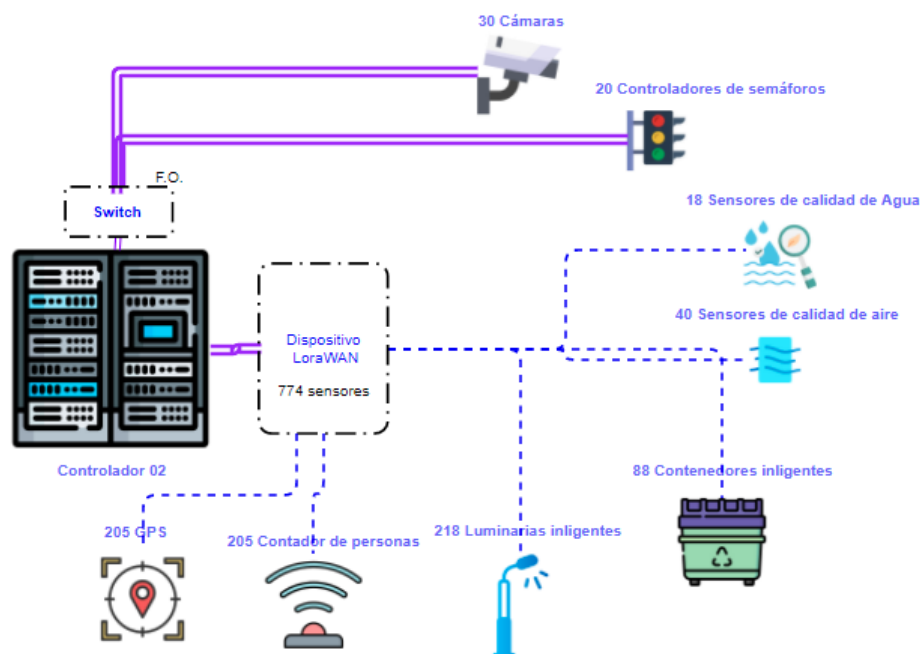
-Velocidad de Up-Link : Si el switch tiene un enlace up-link de 1 Gbps, esto es más que suficiente para manejar los 224 Mbps de tráfico total.(previendo para el crecimiento significativo en el futuro se puede considerar un enlace de 10 Gbps)



### **(b) Controlador 02**

El controlador 02 gestiona una amplia gama de dispositivos y sensores esenciales para el funcionamiento los servicios de la ciudad inteligente. Este controlador integra 18 sensores de calidad de agua y 40 sensores de calidad de aire, que monitorizan constantemente las condiciones ambientales para mantener un entorno saludable y seguro. Además, maneja 88 contenedores inteligentes y 218 luminarias inteligentes, optimizando la gestión de residuos y la iluminación urbana (véase Fig. 37).

El controlador también incorpora 205 contadores de personas y 205 dispositivos GPS, que funcionan en conjunto para mejorar la eficiencia del tráfico inteligente, con un enfoque especial en el transporte público. Este sistema de sensores y GPS facilita un análisis detallado del flujo de personas y vehículos, permitiendo ajustes en tiempo real.



*Fig. 37 Controlador 02*

El switch asociado al Controlador 02 proporciona acceso a 30 cámaras de seguridad y 20 controladores de semáforos, los cuales son fundamentales para la vigilancia y regulación del tráfico en las áreas urbanas. Para garantizar la viabilidad de este diseño dentro del proyecto, se llevará a cabo un cálculo detallado de la capacidad de conmutación del switch, asegurando que pueda manejar de manera eficiente la carga de datos generada por todos los dispositivos conectados.

## ***Cálculo de Conmutación del Switch para el Controlador 02***

Ancho de Banda Total Necesario:

- Cantidad de cámaras: 30
- Cantidad de controladores de semáforos: 20
- Consumo de ancho de banda por cámara: 18 Mbps
- Consumo de ancho de banda por controlador de semáforo: 2 Mbps

Cálculo del tráfico total:

1. Tráfico total generado por las cámaras:

tráfico cámaras =  $30 \times 18 \text{ Mbps} = 540 \text{ Mbps}$

2. Tráfico total generado por los controladores de semáforos:

tráfico controladores =  $20 \times 2 \text{ Mbps} = 40 \text{ Mbps}$

3. Tráfico total a manejar:

tráfico total =  $540 \text{ Mbps} + 40 \text{ Mbps} = 580 \text{ Mbps}$

Determinar si un Switch de 48 Puertos es Adecuado

Consideramos un switch con puertos de 100 Mbps cada uno:

Número de puertos necesarios:

$30 \text{ (cámaras)} + 20 \text{ (controladores de semáforos)} = 50 \text{ puertos.}$

Ancho de banda total requerido: 580 Mbps.

Cálculo de la capacidad de conmutación de un switch de 48 puertos (100 Mbps por puerto):

Capacidad de Conmutación =  $48 \times 100 \text{ Mbps} \times 2 = 9600 \text{ Mbps} = 9.6 \text{ Gbps}$

Evaluación:

Un switch con 48 puertos de 100 Mbps cada uno puede manejar un tráfico de hasta 9.6 Gbps en total.

Como el tráfico total actual es de 580 Mbps, el switch puede manejarlo sin ningún problema, incluso si todos los dispositivos están enviando y recibiendo datos al mismo tiempo.

Dado que son 50 dispositivos en total, un solo switch de 48 puertos no será suficiente. Se necesita agregar otro switch o utilizar un switch con más puertos.



### (c) Controlador 03

El controlador 03 gestiona una amplia variedad de dispositivos y sensores esenciales para el funcionamiento de los servicios de la ciudad inteligente. Este controlador integra 16 sensores de calidad de agua y 23 sensores de calidad de aire, los cuales monitorean las condiciones ambientales para mantener un entorno saludable. Además, controla 88 contenedores inteligentes y 218 luminarias inteligentes, optimizando la gestión de residuos y la eficiencia de la iluminación urbana (véase Fig. 38).

El controlador también incluye 206 contadores de personas y 206 dispositivos GPS, que operan en conjunto para mejorar la gestión del tráfico inteligente, especialmente enfocado en el transporte público. Estos sistemas permiten un análisis detallado del flujo de personas y vehículos, facilitando ajustes en tiempo real para mejorar la movilidad urbana.

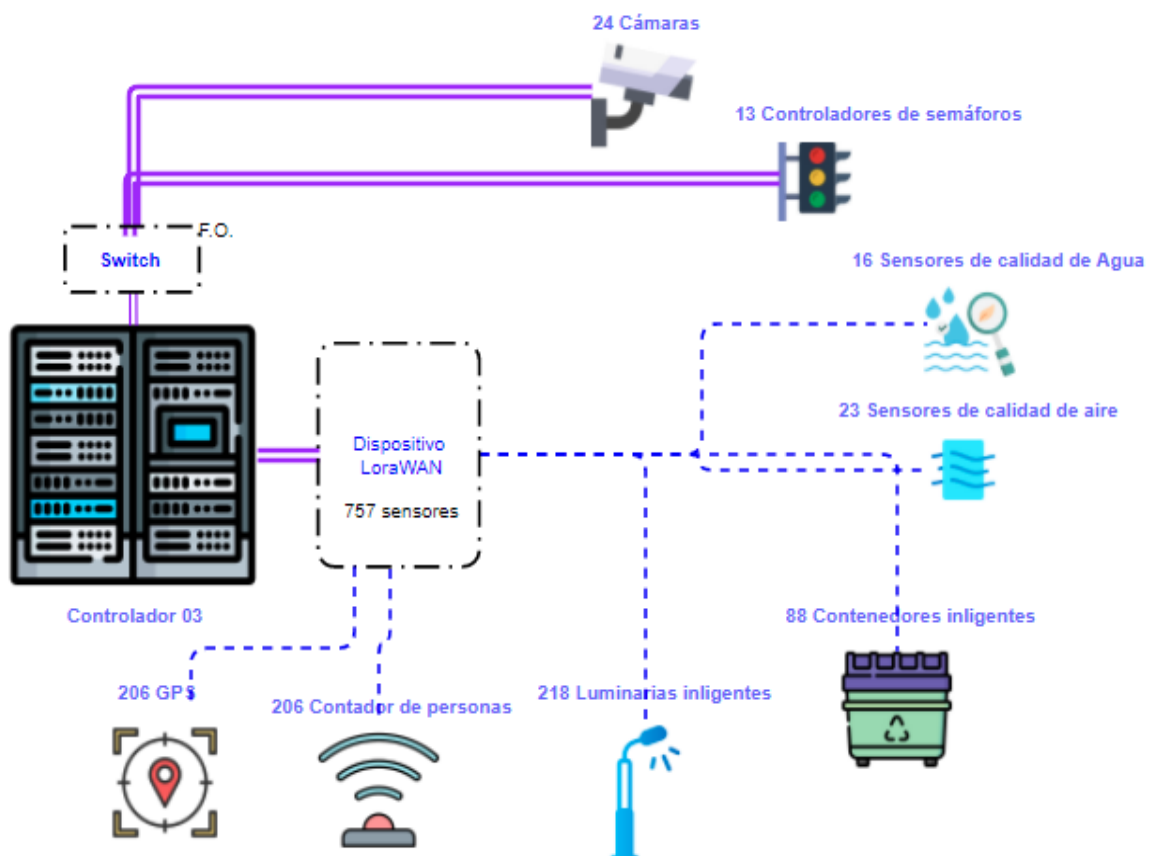


Fig. 38 Controlador 03

El switch conectado al Controlador 03 proporciona acceso a 24 cámaras de seguridad y 13 controladores de semáforos, elementos clave para la vigilancia y regulación del tráfico en la ciudad. Para asegurar la viabilidad y eficiencia de este diseño, se realizará un cálculo detallado de la capacidad de conmutación del switch, garantizando su aptitud para gestionar de manera óptima la carga de datos generada por todos los dispositivos conectados.

### ***Cálculo de Conmutación del Switch para el Controlador 03***

Ancho de Banda Total Necesario

- Cantidad de cámaras: 24
- Cantidad de controladores de semáforos: 13
- Consumo de ancho de banda por cámara: 18 Mbps
- Consumo de ancho de banda por controlador de semáforo: 2 Mbps

Cálculo del tráfico total:

1. Tráfico total generado por las cámaras:

tráfico cámaras =  $24 \times 18 \text{ Mbps} = 432 \text{ Mbps}$

2. Tráfico total generado por los controladores de semáforos:

tráfico controladores =  $13 \times 2 \text{ Mbps} = 26 \text{ Mbps}$

3. Tráfico total a manejar:

tráfico total =  $432 \text{ Mbps} + 26 \text{ Mbps} = 458 \text{ Mbps}$

Determinar si un Switch de 48 Puertos es Adecuado

Consideramos un switch con puertos de 100 Mbps cada uno:

Número de puertos necesarios:

$24 \text{ (cámaras)} + 13 \text{ (controladores de semáforos)} = 37 \text{ puertos.}$

Ancho de banda total requerido: 458 Mbps.

Cálculo de la capacidad de conmutación de un switch de 48 puertos (100 Mbps por puerto):

Capacidad de Conmutación =  $48 \times 100 \text{ Mbps} \times 2 = 9600 \text{ Mbps} = 9.6 \text{ Gbps}$

Evaluación:

Un switch con 48 puertos de 100 Mbps cada uno puede manejar un tráfico de hasta 9.6 Gbps en total.

Como el tráfico total actual es de 458 Mbps, el switch puede manejarlo sin ningún problema, incluso si todos los dispositivos están enviando y recibiendo datos al mismo tiempo.

Número de puertos disponibles: El switch de 48 puertos tiene capacidad suficiente para conectar los 37 dispositivos sin necesidad de agregar otro switch.

Evaluación del Enlace Up-Link

Velocidad de Up-Link: Si el switch tiene un enlace up-link de 1 Gbps, esto es más que suficiente para manejar los 458 Mbps de tráfico total.

Se tiene que considerar un enlace de 10 Gbps solo sería necesario si se espera un crecimiento significativo en el número de dispositivos o en la demanda de ancho de banda.

#### **(d) Controlador 04**

El Controlador 04 gestiona una serie de dispositivos y sensores cruciales para los servicios de la ciudad inteligente. Este controlador integra 29 sensores de calidad de agua y 22 sensores de calidad de aire, que son esenciales para el monitoreo constante de las condiciones ambientales en la ciudad. También controla 88 contenedores inteligentes y 218 luminarias inteligentes, mejorando la gestión de residuos y la iluminación urbana de manera eficiente (véase Fig. 39).

Además, el controlador está equipado con 206 contadores de personas y 206 dispositivos GPS, los cuales trabajan conjuntamente para optimizar la gestión del tráfico, especialmente en el transporte público. Estos sistemas permiten un análisis detallado y dinámico del flujo de personas y vehículos, facilitando la toma de decisiones en tiempo real.

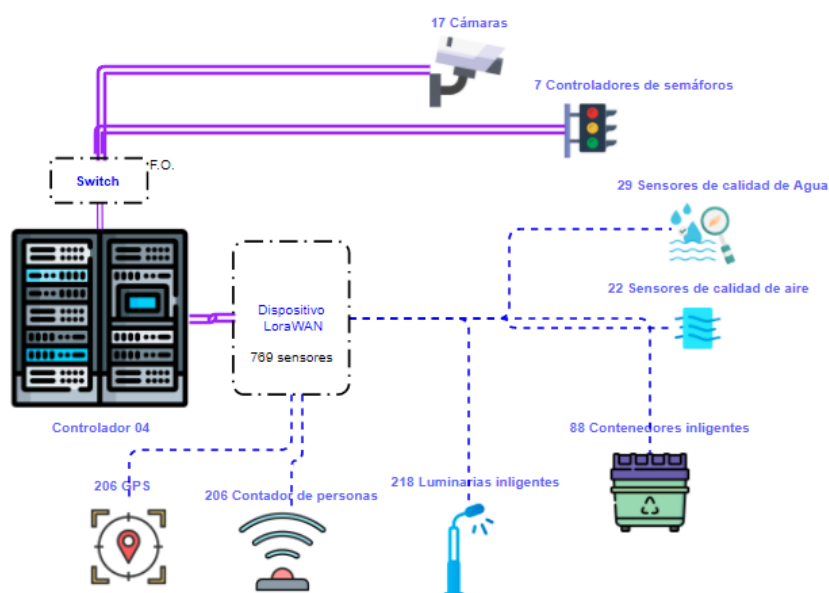


Fig. 39 Controlador 04

El switch asociado al Controlador 04 proporciona acceso a 17 cámaras de seguridad y 7 controladores de semáforos, elementos fundamentales para la supervisión y la regulación del tráfico urbano. Para confirmar la viabilidad y la capacidad de este diseño, se llevará a cabo un cálculo detallado de la conmutación del switch, asegurando que pueda manejar de manera eficiente la carga de datos generada por todos los dispositivos conectados y manteniendo un alto rendimiento de la red.

#### ***Cálculo de Conmutación del Switch para el Controlador 04***

Ancho de Banda Total Necesario:

- Cantidad de cámaras: 17
- Cantidad de controladores de semáforos: 7
- Consumo de ancho de banda por cámara: 18 Mbps
- Consumo de ancho de banda por controlador de semáforo: 2 Mbps

Cálculo del tráfico total:

1. Tráfico total generado por las cámaras:

tráfico cámaras =  $17 \times 18 \text{ Mbps} = 306 \text{ Mbps}$

2. Tráfico total generado por los controladores de semáforos:

tráfico controladores =  $7 \times 2 \text{ Mbps} = 14 \text{ Mbps}$

3. Tráfico total a manejar:

tráfico total =  $306 \text{ Mbps} + 14 \text{ Mbps} = 320 \text{ Mbps}$

Determinar si un Switch de 48 Puertos es Adecuado

Consideramos un switch con puertos de 100 Mbps cada uno:

Número de puertos necesarios:

$17 \text{ (cámaras)} + 7 \text{ (controladores de semáforos)} = 24 \text{ puertos.}$

Ancho de banda total requerido: 320 Mbps.

Cálculo de la capacidad de conmutación de un switch de 48 puertos (100 Mbps por puerto):

Capacidad de Conmutación =  $48 \times 100 \text{ Mbps} \times 2 = 9600 \text{ Mbps} = 9.6 \text{ Gbps}$

Evaluación:

• Un switch con 48 puertos de 100 Mbps cada uno puede manejar un tráfico de hasta 9.6 Gbps en total.

- Como el tráfico total actual es de 320 Mbps, el switch puede manejarlo sin ningún problema, incluso si todos los dispositivos están enviando y recibiendo datos al mismo tiempo.

- Número de puertos disponibles: El switch de 48 puertos tiene capacidad suficiente para conectar los 24 dispositivos sin necesidad de agregar otro switch.

#### Evaluación del Enlace Up-Link

- Velocidad de Up-Link: Si el switch tiene un enlace up-link de 1 Gbps, esto es más que suficiente para manejar los 320 Mbps de tráfico total.

Siendo un enlace de 10 Gbps sería opcional y solo necesario si se anticipa un crecimiento significativo en la demanda de ancho de banda.

A partir del análisis detallado de la capacidad de conmutación de los switches para cada controlador, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla adjunta. En el caso del Controlador 01, 02, 03 y 04, se evaluó el tráfico total de las cámaras y los controladores de semáforos, así como la cantidad de puertos requeridos y la capacidad de conmutación necesaria para un desempeño óptimo (véase Tabla 4).

### Switch por controlador

Controlador	Cantidad de Cámaras	Cantidad de Controladores de Semáforos	Tráfico Total Cámaras (Mbps)	Tráfico Total Controlador de Semáforos (Mbps)	Tráfico Total a Manejar (Mbps)	Puertos Requeridos	Capacidad de Conmutación (Gbps)	Enlace Up-Link (Gbps)	Cant. Switch (Und)	Cant. Switch Respaldo (Und)	Total Switch (Und)
<b>Controlador 01</b>	11	13	198	26	224	24	9.6	1 Gbps	1	1	2
<b>Controlador 02</b>	30	20	540	40	580	50	9.6	1 Gbps	2	1	3
<b>Controlador 03</b>	24	13	432	26	458	37	9.6	1 Gbps	1	1	2
<b>Controlador 04</b>	17	7	306	14	320	24	9.6	1 Gbps	1	1	2

*Tabla 4 Análisis de conmutación de switch por controlador*

Los resultados indican que todos los switches tienen una capacidad de conmutación de 9.6 Gbps, lo cual cumple con los requisitos actuales de la red. Sin embargo, para asegurar un rendimiento óptimo y proyectarnos a un crecimiento en el número de sensores y dispositivos conectados, se recomienda utilizar un enlace Up-link de 10 Gbps. Esta configuración permitirá mantener una relación de sobresuscripción baja de 4:1, lo cual es crucial para evitar cuellos de botella y garantizar una operación fluida de la red, especialmente en condiciones de alta demanda de tráfico.

Además, se ha considerado la implementación de switches de respaldo en cada controlador, asegurando redundancia y resiliencia ante posibles fallos, lo cual refuerza la estabilidad de la red. Esta estrategia no solo asegura el funcionamiento continuo de los servicios de la ciudad inteligente, sino que también permite escalar la infraestructura para futuros aumentos en la cantidad de sensores y dispositivos conectados, garantizando así la sostenibilidad y eficiencia del sistema a largo plazo.

Sin embargo, el diseño propuesto contempla un total de 9 switches de acceso, incluyendo unidades de respaldo, lo que representa un costo significativo. Cada switch tiene un precio estimado de 27,750.00 soles, resultando en una inversión total que puede superar los 250,000.00 soles solo en equipos de conmutación.

Este costo elevado puede no ser lo más óptimo para la cantidad actual de sensores desplegados, ya que la infraestructura propuesta excede las necesidades presentes y plantea un gasto considerable para mantener la redundancia y capacidad. A pesar del alto costo, este diseño no se descarta, ya que proporciona una estructura altamente robusta y flexible, ideal para escenarios donde la red necesite evolucionar significativamente. La implementación de switches con alta capacidad y redundancia asegura que, ante cualquier expansión futura, la red pueda adaptarse con facilidad, manteniendo un alto nivel de rendimiento y disponibilidad.

Este diseño es particularmente útil en fases evolutivas de la red, donde la demanda y la cantidad de dispositivos conectados justificarán la inversión en infraestructura de alta capacidad, asegurando que la red esté preparada para soportar una carga mucho mayor en el futuro.

Sin embargo, una alternativa viable para reducir costos y simplificar el diseño de la red es la implementación de ONUs (Optical Network Units) en lugar de switches de acceso para la conectividad de los sensores. Una de las principales ventajas de utilizar ONUs 50G-PON es que permiten una distribución más eficiente del tráfico de datos. Al ubicar las ONUs cerca de los puntos de conexión, como las cámaras de seguridad de los despliegues de fibra óptica ya existentes, se evita la necesidad de que todo el tráfico deba recorrer largas distancias hasta el gabinete donde se encuentra el switch.

Esto no solo reduce la latencia y mejora la eficiencia general de la red, sino que también disminuye la complejidad del cableado y la necesidad de espacio en los gabinetes. Además, las ONUs ofrecen una capacidad de escalabilidad que permite agregar más sensores sin necesidad de modificar significativamente la infraestructura existente. Al dispersar las ONUs estratégicamente en la red, se puede lograr una mayor cobertura y redundancia, asegurando que la red sea más adaptable a futuras expansiones sin incurrir en costos excesivos.



### 3.4.4.2 Diseño distributivo de la red 02

El Diseño de Infraestructura 02 del Caso 02 propone la ampliación del despliegue de ONUs (Optical Network Units) y prescinde del uso de un switch en el gabinete, facilitando una conexión más directa y eficiente al controlador. En este diseño, las ONUs se encargan de proporcionar acceso directo a las cámaras de seguridad y a los controladores de semáforos, eliminando la necesidad de un switch de acceso en el gabinete y optimizando la infraestructura de la red.

La red parte de la infraestructura existente de fibra óptica desplegada en los años anteriores. Se aprovechan los puntos de conexión donde ya se han instalado cámaras de seguridad, utilizando splitters que dividen la señal óptica y permiten la conexión de las ONUs a la red 50G-PON (véase Fig. 40). Esta configuración conecta directamente las cámaras y los controladores de semáforo a la red, mejorando la eficiencia y reduciendo la complejidad del cableado.

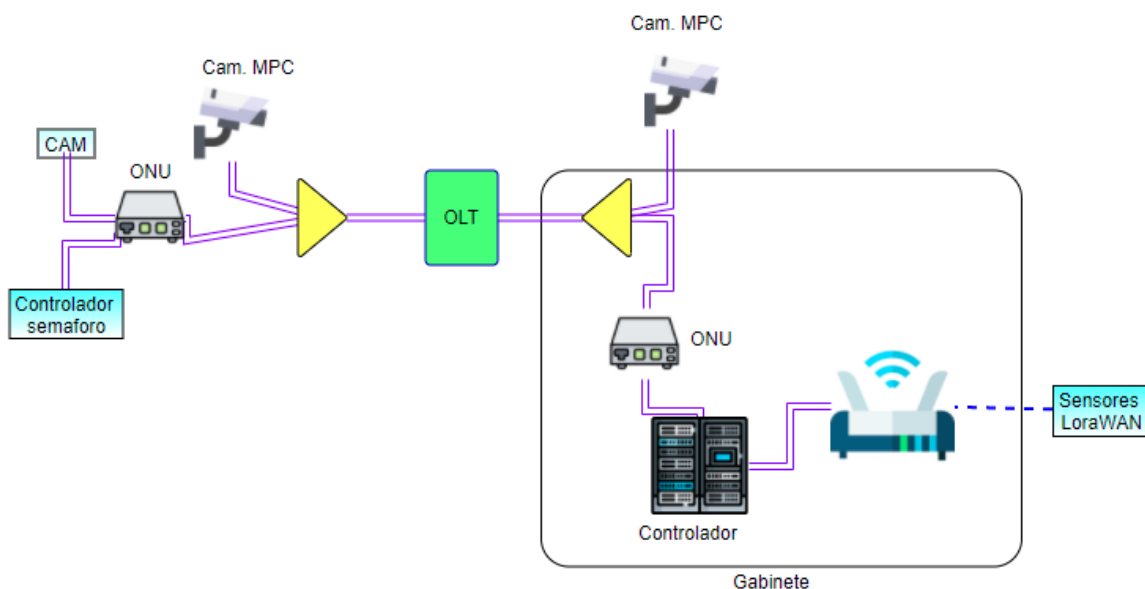


Fig. 40 Diseño distributivo de la red 02

Dentro del gabinete, las ONUs también se conectan al controlador y a otros dispositivos, como los gateways LoRaWAN, permitiendo una integración continua de los sensores inalámbricos. Este diseño no solo simplifica la infraestructura al reducir el número de dispositivos necesarios, sino que también aumenta la

flexibilidad y la escalabilidad de la red, asegurando que todos los elementos de la ciudad inteligente puedan operar con alta disponibilidad y rendimiento.

Siendo, la implementación de ONUs en lugar de switches permite un uso más eficiente de los recursos de fibra óptica existentes (véase Fig. 41), facilitando un despliegue más cercano a los puntos de conexión y mejorando la redundancia y la capacidad de expansión futura de la red.

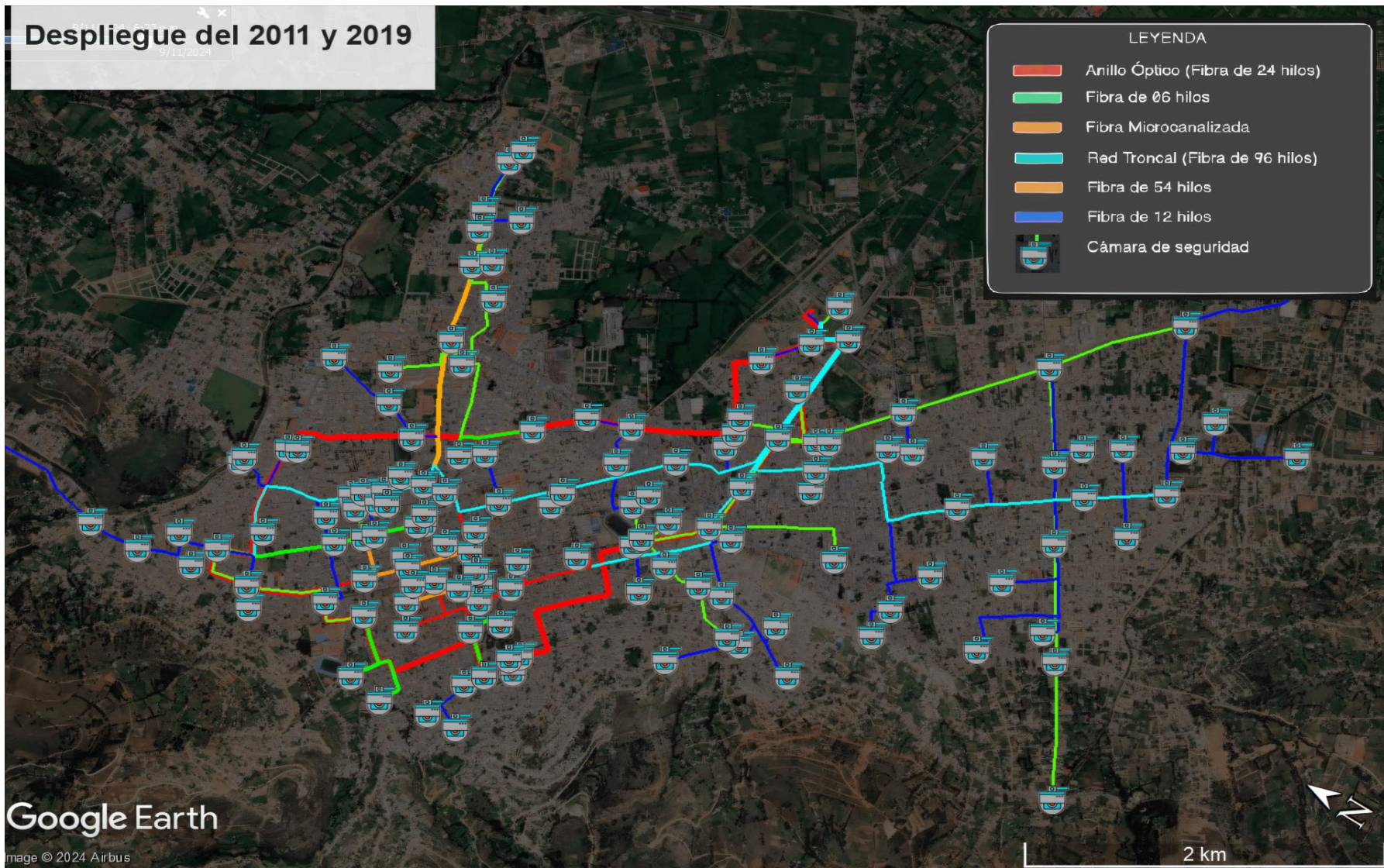


Fig. 41 Despliegues del 2011 y 2019

Por lo que para el despliegue óptimo de las ONUs se requiere un total de 3.67 km adicionales de fibra óptica, a los despliegues existentes, para conectar todos los puntos necesarios. En total, se han planificado 78 ONUs para proporcionar acceso eficiente a los equipos y dispositivos que conforman los servicios de una ciudad inteligente (véase Fig. 42). Estas ONUs permitirán integrar cámaras de seguridad, controladores de semáforos y los controladores directamente a la red, optimizando la conectividad y garantizando un alto rendimiento en la gestión de los servicios urbanos.



## Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 02 (ONUs)

El Diseño 02 maximiza el uso de las redes de fibra óptica existentes mediante un despliegue ampliado de ONUs, eliminando la necesidad de switches. Esta configuración optimiza la conectividad al conectar directamente los dispositivos ,como: cámaras y controladores de semáforos, a la red, fortaleciendo la eficiencia de la red.

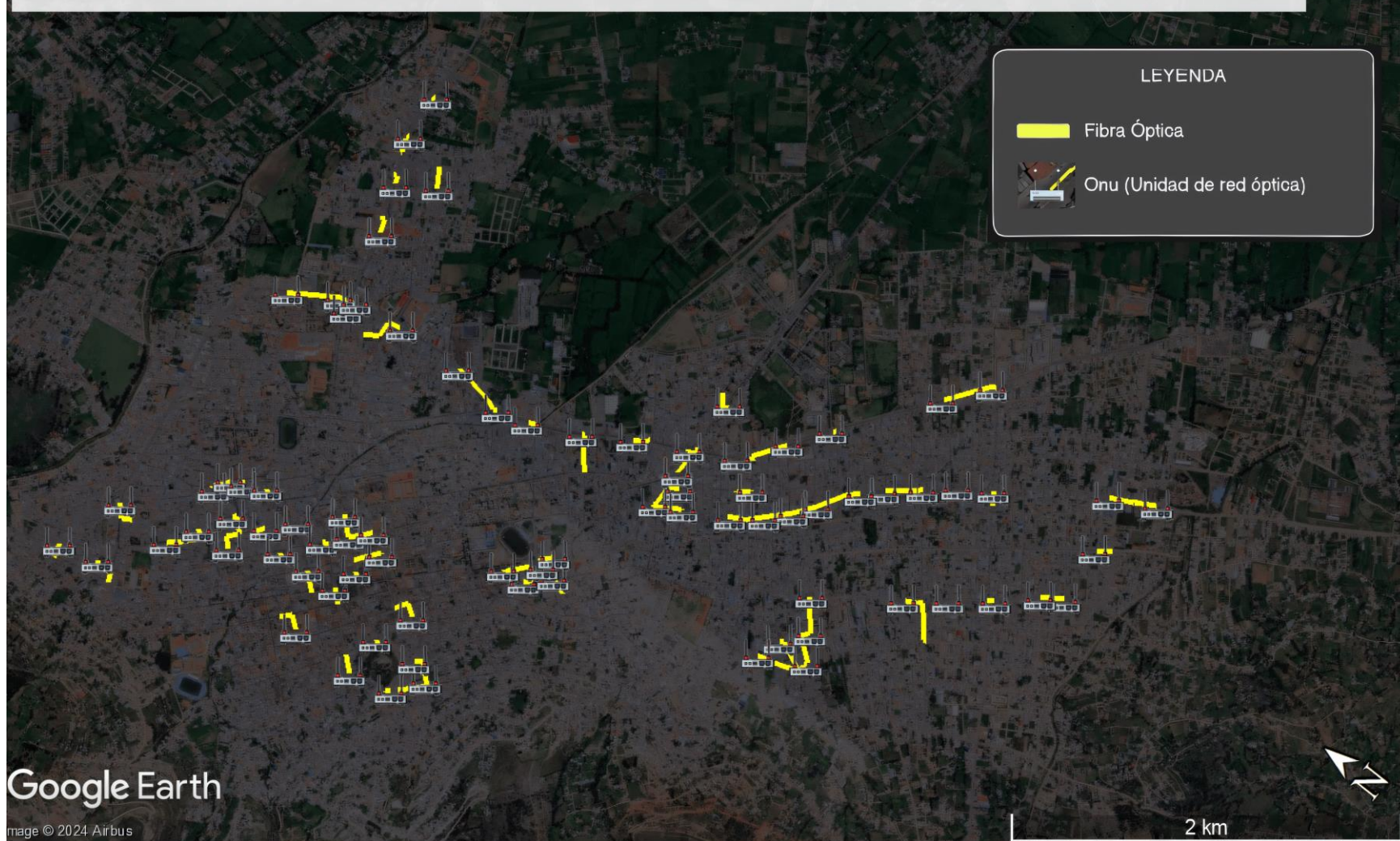


Fig. 42 Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 02 (ONUs)

Con el alcance definido para el despliegue de los nuevos ramales de fibra óptica y la instalación de ONUs, se procede a la ubicación de los sensores y controladores. Esta configuración permitirá una integración eficiente de los dispositivos, asegurando que cada sensor y controlador esté correctamente conectado a la red para optimizar los servicios de la ciudad inteligente.

La infraestructura de los cuatro controladores principales que sectorizan la zona urbana de Cajamarca permite una distribución eficiente de los sensores y dispositivos clave para la ciudad inteligente. En este diseño, se hace especial énfasis en la conectividad de las cámaras de seguridad y los controladores de semáforos a la red 50G-PON a través de las ONUs (Optical Network Units) (véase Fig. 43).

En total, se gestionan 82 cámaras de seguridad y 53 controladores de semáforos, los cuales están conectados directamente a las ONUs. Esta conexión es debido a las características de alto consumo de ancho de banda de las cámaras, que requieren una transmisión de video en tiempo real hacia el centro de control. Esta demanda de datos es significativamente mayor que la de otros sensores, lo que hace crucial su conexión directa a la ONU para asegurar una transmisión rápida y sin interrupciones, mejorando la capacidad de respuesta en los servicios de la ciudad inteligente.

Por otro lado, los controladores de semáforos requieren una latencia extremadamente baja para garantizar un control eficaz y oportuno desde el centro de control, especialmente durante eventos críticos que afectan el flujo vehicular. Al conectarlos directamente a la ONU, se logra reducir significativamente la latencia, asegurando una respuesta inmediata y precisa en la gestión del tráfico urbano.

Este diseño aprovecha las ventajas de la infraestructura 50G-PON, que proporciona una capacidad de ancho de banda y una baja latencia ideales para estos dispositivos críticos, asegurando que las cámaras y los controladores de semáforos operen con la máxima eficiencia.



## Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 02

El Diseño 02 maximiza el uso de las redes de fibra óptica existentes mediante un despliegue ampliado de ONUs, eliminando la necesidad de switches. Esta configuración optimiza la conectividad al conectar directamente los dispositivos, como: cámaras y controladores de semáforos, a la red, fortaleciendo la eficiencia de la red.

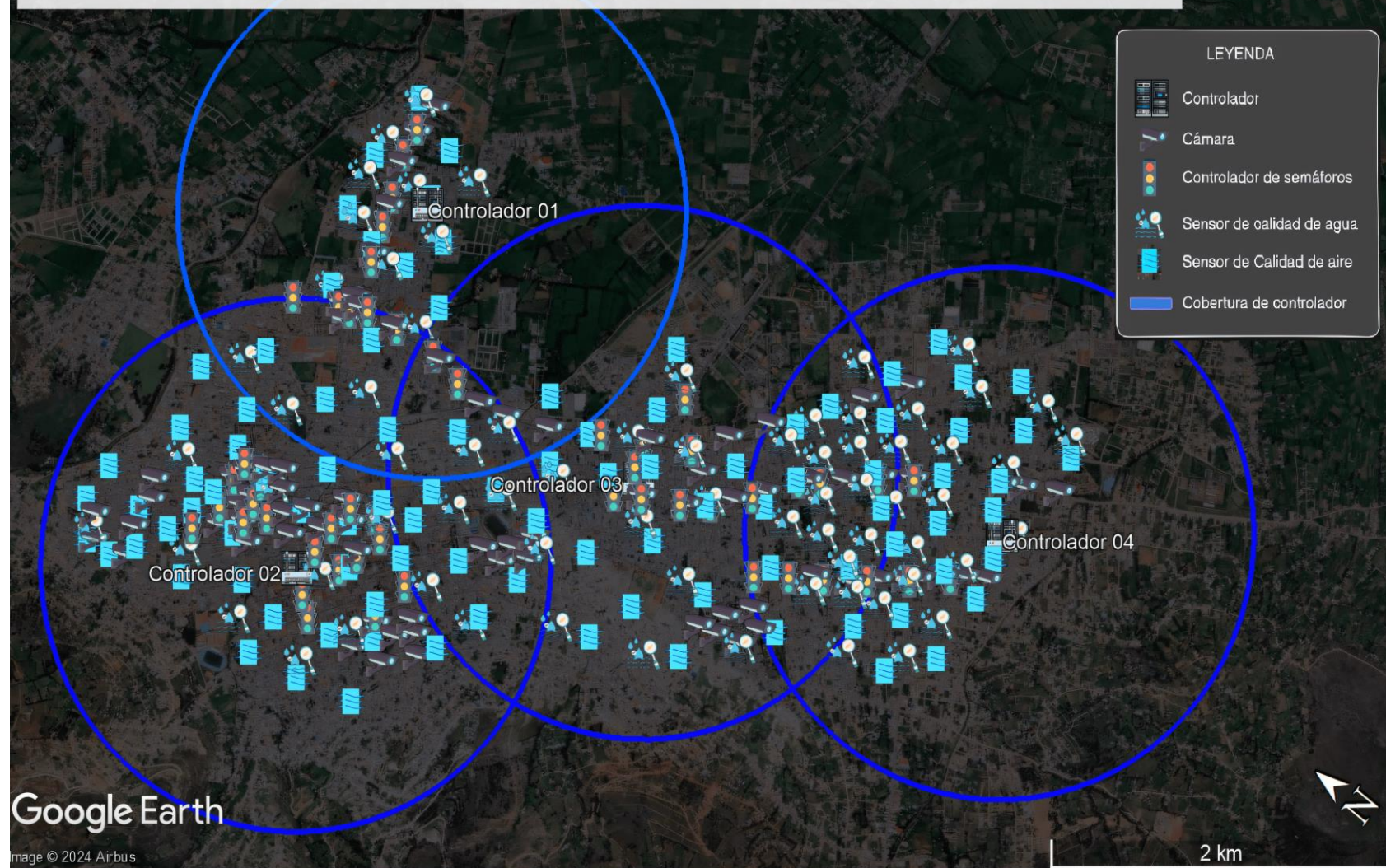


Fig. 43 Caso 2: Aprovechamiento completo de la infraestructura existente - Diseño 02



### **3.4.5 Caso 3: Nuevo tendido de fibra óptica**

El Caso 3 propone un enfoque integral mediante un nuevo tendido de fibra óptica en la ciudad de Cajamarca. A diferencia de los diseños anteriores que aprovechan las infraestructuras existentes, este caso plantea la construcción de una red completamente nueva, abarcando toda la zona urbana y asegurando una conectividad más robusta y escalable. Este despliegue permitirá establecer una red de fibra óptica de última generación, diseñada específicamente para soportar los servicios de la ciudad inteligente con mayor capacidad, flexibilidad y redundancia. En este caso, se realizará un cálculo óptico detallado para las fibras ópticas, ya que, a diferencia de los otros diseños, no existe un despliegue previo que valide la viabilidad del proyecto. El cálculo óptico será fundamental para evaluar la calidad de la señal y asegurar que la infraestructura planificada sea técnicamente viable y eficiente. Esta evaluación detallada permitirá ajustar y optimizar el diseño, garantizando que todos los dispositivos críticos, como cámaras de seguridad, controladores de semáforos y sensores urbanos, tengan acceso directo y optimizado a la red 50G-PON. Este enfoque no solo se adapta a las necesidades actuales, sino que también prepara a la ciudad para una expansión tecnológica futura, creando un cimiento sólido para el crecimiento continuo de los servicios digitales en Cajamarca.

Este enfoque no solo se adapta a las necesidades actuales, sino que también prepara a la ciudad para una expansión tecnológica futura, creando un cimiento sólido para el crecimiento continuo de los servicios digitales en Cajamarca. Además, se han considerado fibras de backup para asegurar la redundancia de la red, lo cual refuerza su resiliencia ante posibles fallos y garantiza una operación ininterrumpida. Esta planificación cuidadosa no solo fortalece la confiabilidad de la infraestructura, sino que también asegura que la red pueda adaptarse y escalar conforme aumenten las demandas tecnológicas de la ciudad.

### **3.4.5.1 Capilaridad interna de la red**

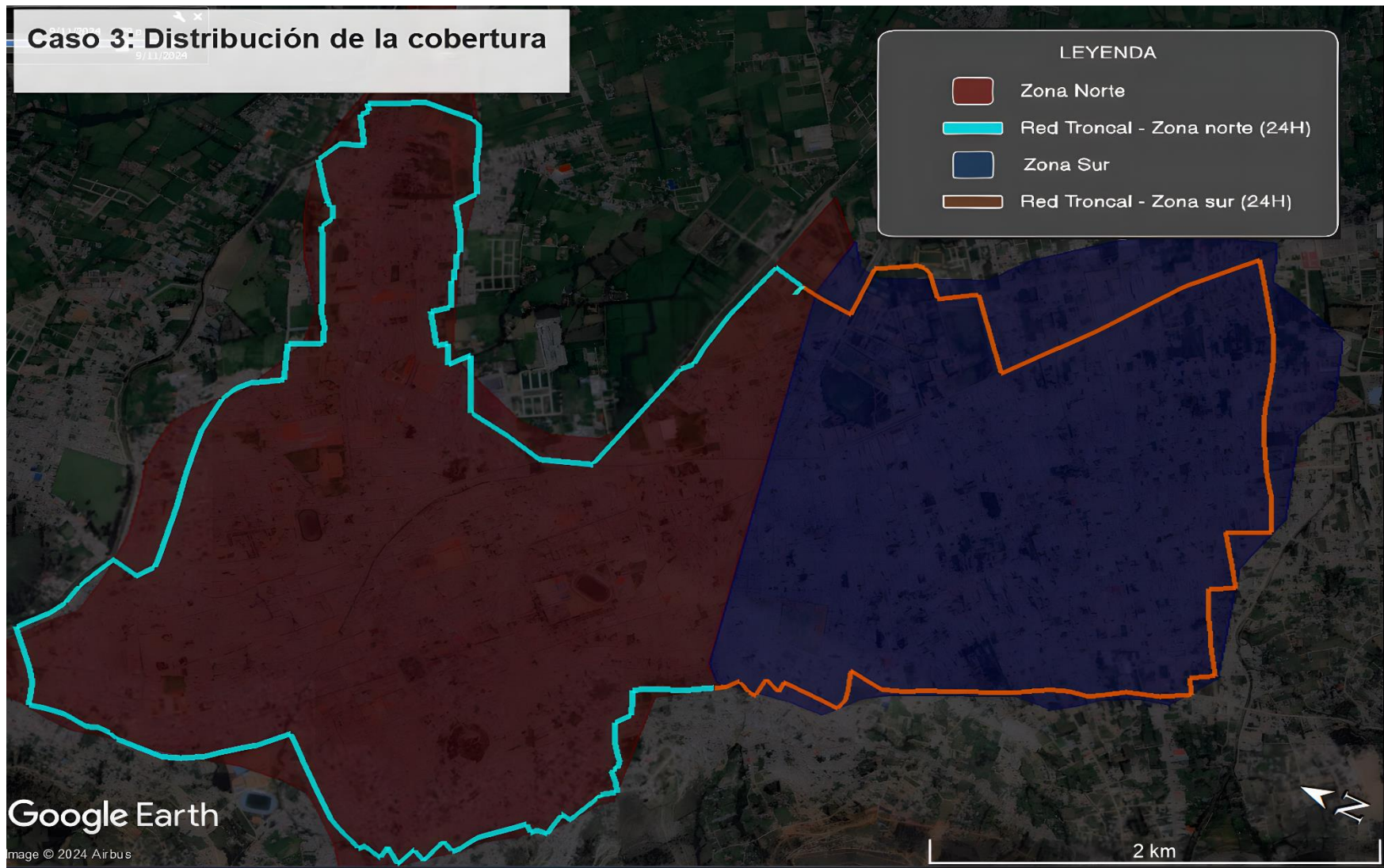
#### **(a) Distribución de la cobertura**

Se tiene la distribución de la cobertura de la red en dos zonas de la ciudad de Cajamarca.

La zona norte, representada en color rojo, tiene un perímetro de 15.4 km y un área de 7.1 km cuadrados. En esta área, se implementará una red troncal de 24 hilos con una longitud de 12.8 km, que se muestra en color celeste.

Por otro lado, la zona sur, presentada en color azul, tiene un perímetro de 9.1 km y un área de 5 km cuadrados. Para esta área, se utilizará una red troncal de 24 hilos con una longitud de 7.8 km, representada en color naranja.

Estas dos redes troncales se ramificarán posteriormente para satisfacer las necesidades de la ciudad de Cajamarca, incluyendo su evolución y mantenimiento; Puesto que se tendrán hilos de respaldo o backup para asegurar la continuidad del servicio (véase Fig. 44).



*Fig. 44 Distribución de la cobertura de la red.*

**(b) Zona Norte RTN (Red Troncal Norte)**

Se muestra la capilaridad interna de la RTN (Red Troncal Norte), donde se utilizarán 5 hilos de la red troncal, que se representarán en color amarillo y tendrán una longitud total de 34.58 km. Cada uno de estos hilos contará con su respectiva fibra de respaldo, que se muestra en color azul teniendo una longitud total de 8.23 km.

En el caso de la zona céntrica, se empleará fibra micro canalizada representada de color verde con una longitud total de 2.609 km. Esta elección se realiza con el objetivo de mejorar la estética del área, brindando una apariencia más ordenada y organizada (véase Fig. 45)



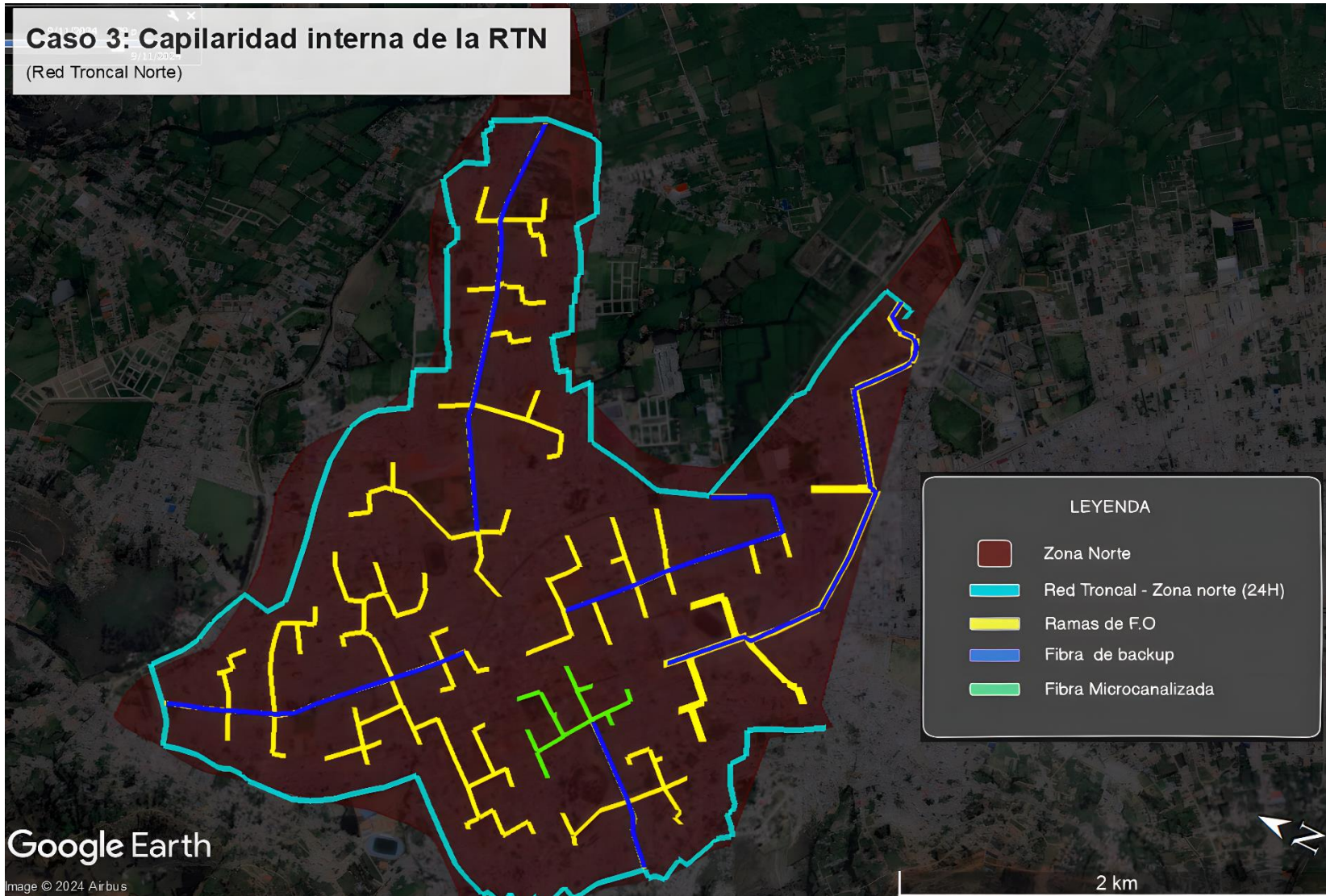


Fig. 45 Capilaridad interna de la zona norte.

**(c) Zona Sur RTS (Red Troncal Sur)**

Se muestra la capilaridad interna de la RTS (Red Troncal Sur), donde se utilizarán 4 hilos de la red troncal sur, representados en color amarillo, con una longitud total de 33.72 km. Cada uno de ellos contará con su correspondiente fibra de respaldo, representada en color azul, con una longitud total de todas las fibras de backup de 2.96 km (véase Fig. 46).



**Caso 3: Capilaridad interna de la RTS**  
(Red Troncal Sur)

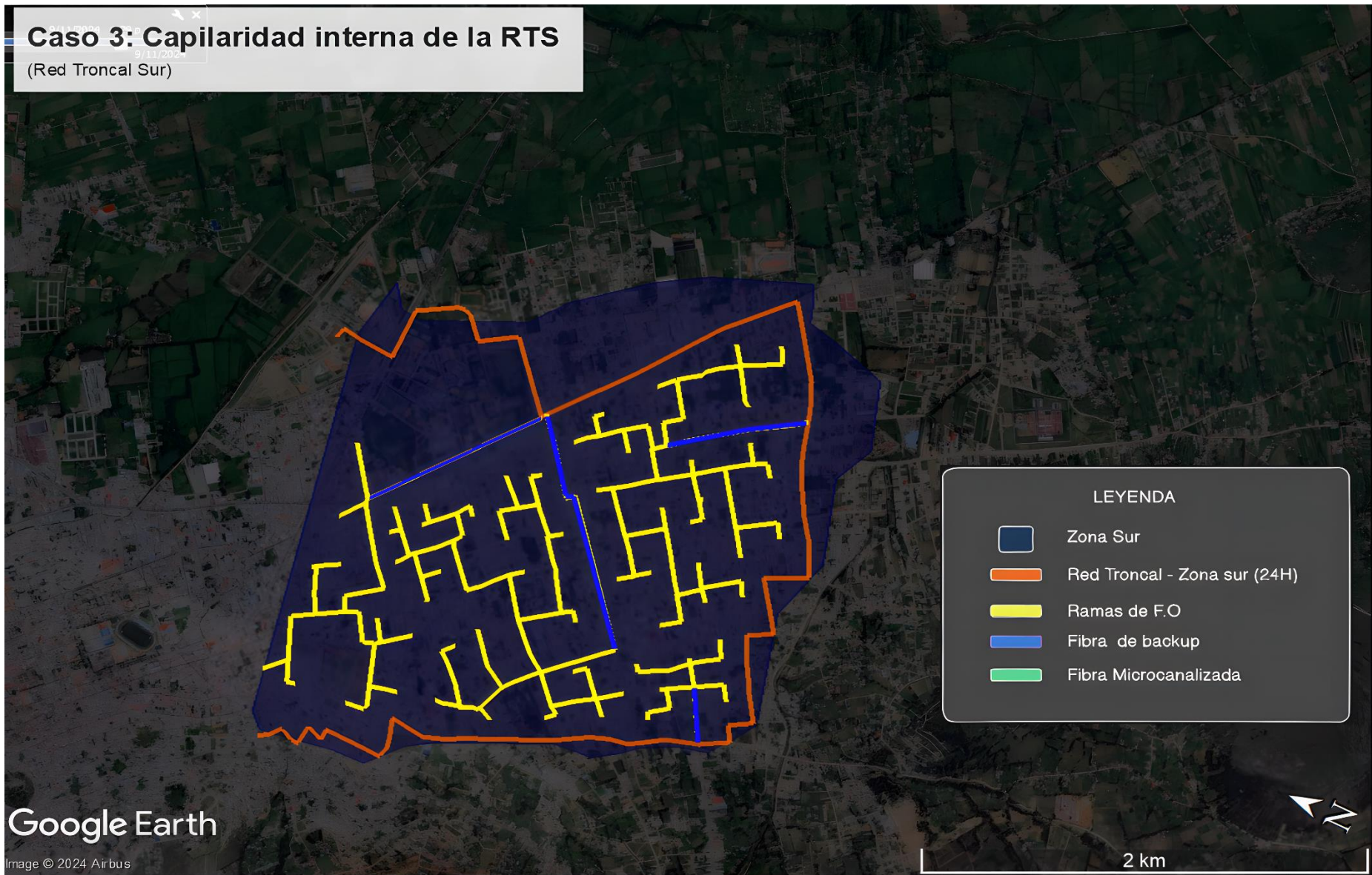


Fig. 46 Capilaridad interna de la zona sur.

Una vez definida la capilaridad interna y la distribución de la cobertura del nuevo tendido de fibra óptica en el Caso 3, se procede a realizar el cálculo óptico de cada fibra.

#### **3.4.5.2 Cálculo óptico de la red 50 G-PON**

El dimensionamiento óptico de una red de acceso y transporte basada en PON resulta indispensable para garantizar un servicio robusto y de calidad a los usuarios finales. En este apartado se lleva a cabo el cálculo detallado de los enlaces ópticos sobre la infraestructura del nuevo tendido de fibra óptica propuesto siendo el Caso 3.

Específicamente, se evalúan distintas tecnologías de splitter's ópticos, tanto simétricos (1x2, 1x4, 1x8 y 1x16) como asimétricos (10/90, 20/80, 30/70, 40/60), en conjunto con las ópticas de línea y transmisores XG-PON compatibles con 50G-PON. Asimismo, se tienen en cuenta los factores de atenuación y distancia máxima admisible para cada tipo de fibra empleado.

Mediante una serie de cálculos, se demuestra cómo la solución propuesta es capaz de entregar los valores por debajo de los umbrales de potencia necesarios (-27 dBm) en los receptores ONU ubicados en puntos estratégicos, garantizando así una conexión robusta y estable apta para los exigentes requerimientos de una ciudad inteligente.

Los resultados de este estudio quedan demostrados en diversas tablas, validando matemáticamente el diseño realizado. Cabe destacar que se ha trabajado sobre dos redes troncales de 24 hilos de fibra óptica cada una, siendo la RTN (Red Troncal Norte) y RTS (Red Troncal Sur) de la ciudad respectivamente. Con visión de futuro, no se ha hecho uso de la totalidad de los hilos disponibles, dejando capacidad para expansiones y nuevos despliegues en base al crecimiento de Cajamarca.

#### **3.4.5.3 Cálculo óptico para la RTN (Red Troncal Norte)**

Centrándonos ahora en la zona norte, y dada la disponibilidad de 24 hilos de fibra dedicados exclusivamente a este sector de la ciudad, se seleccionaron 5 hilos distribuidos estratégicamente para realizar los cálculos detallados del enlace óptico. En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados para cada uno de estos 5 hilos, partiendo desde el splitter principal, las derivaciones intermedias y los

extremos más alejados de la red PON. Se indican las distancias de cada tramo, los splitters intermedios utilizados y su relación óptica, junto con los valores finales de potencia.

#### **3.4.5.4 Hilo 1 de la RTN (Red Troncal Norte)**

Este hilo como, parte desde el centro de datos ubicado en la Municipalidad de Cajamarca. Atraviesa la Avenida Atahualpa y alcanza a cubrir las calles principales del barrio San Sebastián, abarcando un total de 11 ONUs (Optical Network Units) distribuidas a lo largo de su trazado (véase Fig. 47).



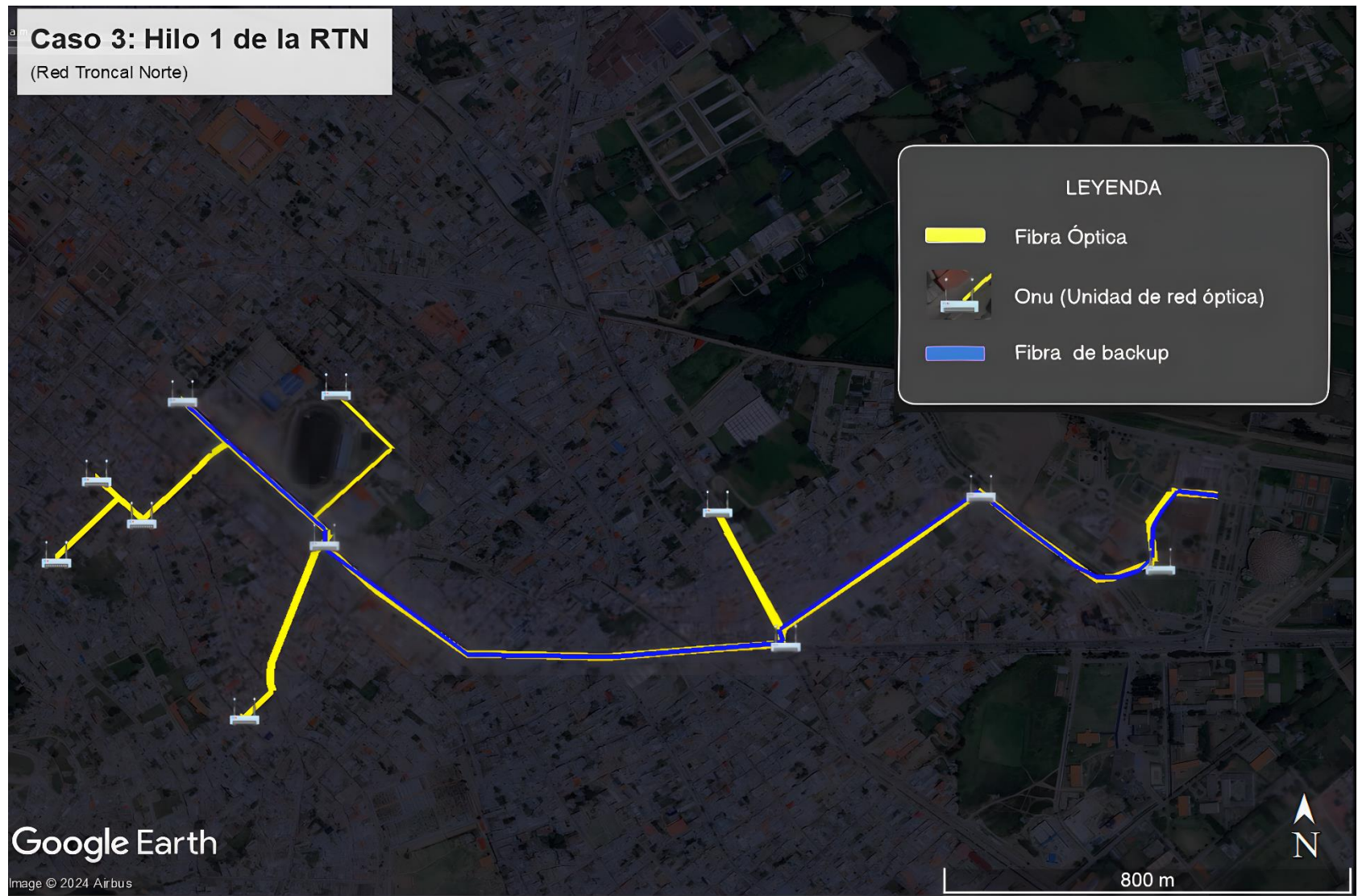


Fig. 47 Hilo 1 de la red troncal norte.

Se diagrama la distribución de la potencia óptica en el hilo 1 de la RTN (Red Troncal Norte), mediante el uso de splitters ópticos balanceados y no balanceados (véase Fig. 48).

Hilo n° 1

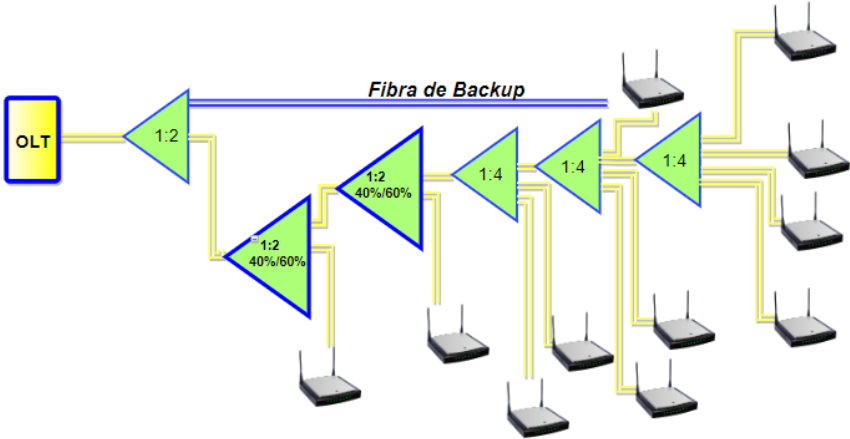


Fig. 48 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 1 en la RTN (Red Troncal Norte).

A continuación, detalla las distancias de fibra óptica desplegadas para conectar las 11 ONU distribuidas a lo largo de las ramas del hilo 1 en la RTN (Red Troncal Norte). Se totaliza un tendido de 5.27 km de cableado de fibra. Asimismo, existe una línea de respaldo (backup) adicional de 2.4 km, como resguardo ante contingencias o para expansión futura de la red (véase Tabla 5).

ONU	Distancia (mts)
1	246
2	610
3	1106
4	230
5	970
6	400
7	400
8	314
9	200
10	300
11	500
<b>Total</b>	<b>5276</b>

Desde OLT	0
<b>Km de fibra</b>	<b>5.276</b>
<b>Línea de backup</b>	
2.54	km

Tabla 5 Distancias de despliegue de F.O en hilo 2 de la RTN (Red Troncal Norte).

Se muestra los diferentes splitters ópticos seleccionados para las ramificaciones del hilo 1 en la RTN (Red Troncal Norte), junto con la longitud total de fibra hasta

las 11 ONU. Con estos datos definidos, se lleva a cabo el cálculo de enlace presupuestado tomando en cuenta los factores de atenuación.

Como resultado, se obtiene un valor final de potencia óptica en el receptor del nodo más alejado de -26.99 dBm, cumpliendo con el umbral de funcionalidad establecido de -27 dBm. De este modo queda validado analíticamente el diseño propuesto en este primer hilo desplegado (véase Tabla 6).

		Und. Medida	Cantidad	Atenuación	Total
<b>Potencia OLT</b>		dbm	8	0	8
<b>Distancia F.O.</b>		KM	5.3	0.4	2.1104
<b>Simétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2	1	3.7	3.7
	<b>Splitter</b>	1:4	3	7.1	21.3
	<b>Splitter</b>	1:8		10.5	0
	<b>Splitter</b>	1:16		13.5	0
<b>Asimétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2 - 10%/90%		8	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 20%/80%		7.11	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 30%/70%		6	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 40%/60%	2	3.94	7.88
Máximo de atenuación					-26.9904

*Tabla 6 Cálculo óptico en hilo 1 Cálculo óptico en hilo 1 de la RTN (Red Troncal Norte).*

### **3.4.5.5 Hilo 2 de la RTN (Red Troncal Norte)**

Luego de finalizado el análisis del primer hilo, se procede ahora con el cálculo y validación del segundo hilo de los 24 pertenecientes a la red troncal desplegada en la zona norte.

El trazado de este Hilo 2 se inicia en el Puente Amarillo, tomando parte de la Vía de Evitamiento Sur. Continúa su recorrido por la Avenida Mario Ortega y finaliza cubriendo una extensa sección del Jr. José Sabogal. En total, conecta 12 receptores ONU distribuidos a lo largo de este segundo hilo analizado (véase Fig. 49).

Al igual que para el hilo previo, se detallan los cálculos realizados para validar que la solución de infraestructura propuesta también cumple óptimamente con transportar la potencia óptica requerida a cada una de las 12 ONUs finales del presente escenario evaluado, en este caso, se toma en consideración la distancia



específica desde la OLT hasta el primer splitter ubicado en la red troncal, dado que, a diferencia del Hilo 1 analizado previamente, ahora existe una longitud considerable hasta el primer punto de ramificación. Considerando este segmento inicial de la RTN (Red Troncal Norte) se obtienen así cálculos más precisos.

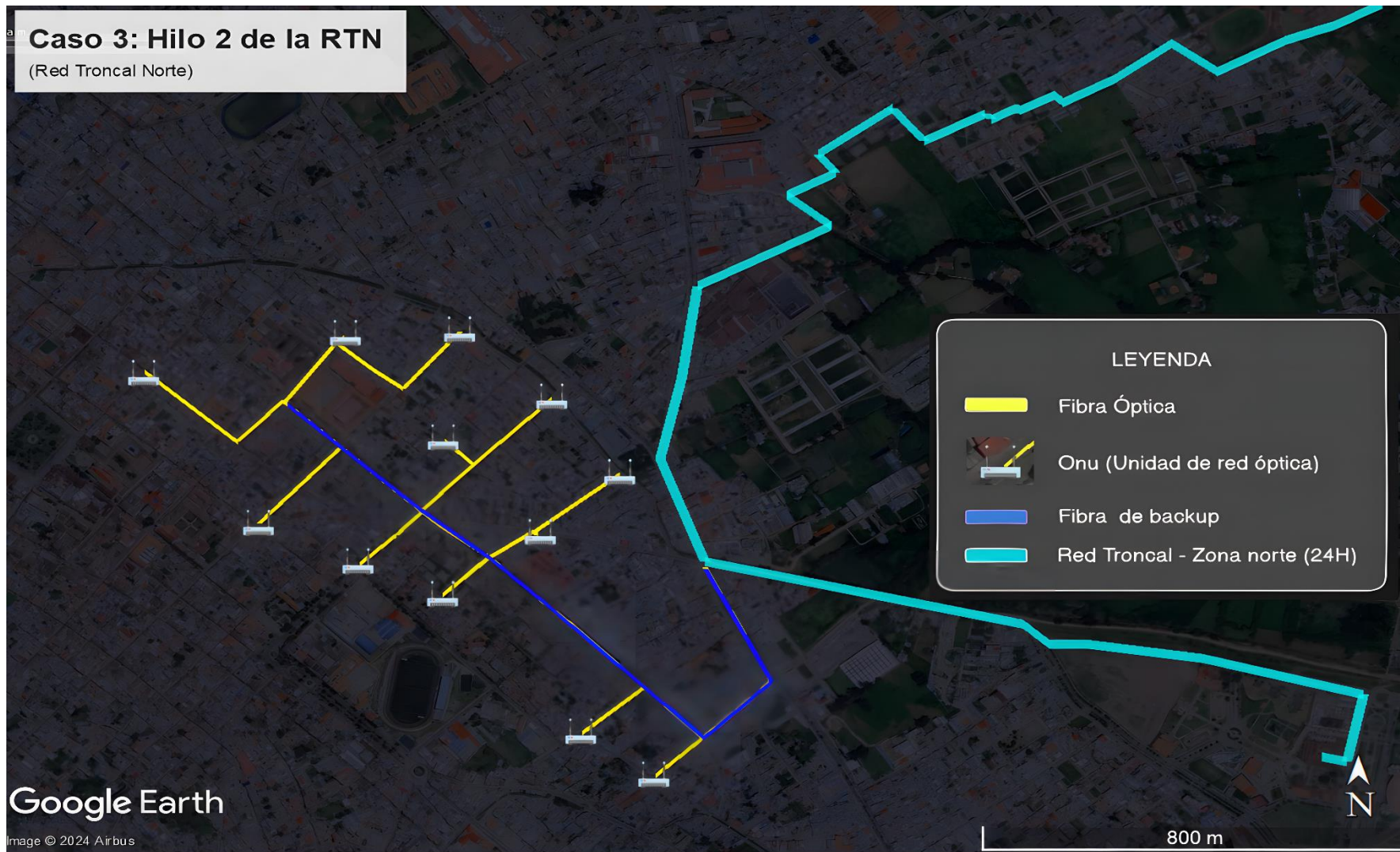


Fig. 49 Hilo 2 de la red troncal norte.

Se diagrama la distribución de la potencia óptica en el hilo 2 de la RTN (Red Troncal Norte), mediante el uso de splitters ópticos balanceados y no balanceados (véase Fig. 50).

Hilo n° 2

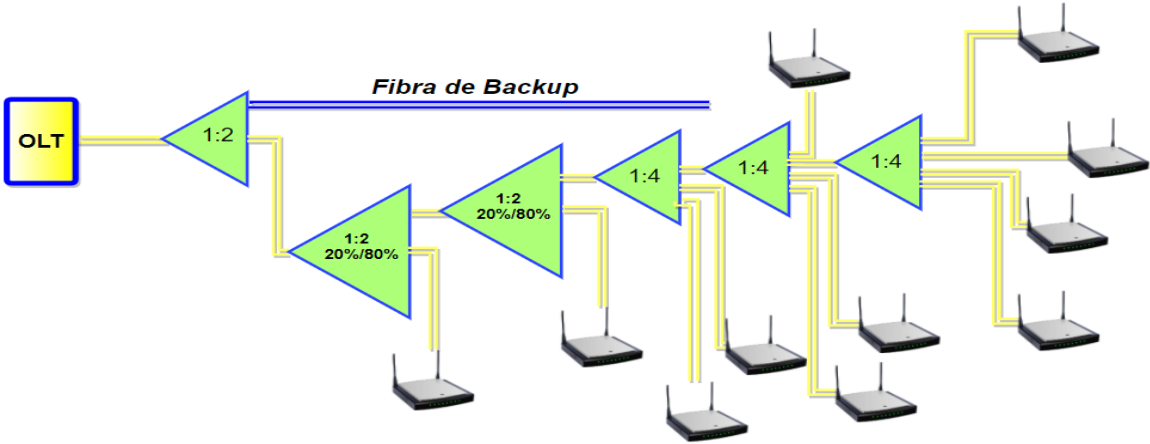


Fig. 50 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 2 en la RTN (Red Troncal Norte).

A continuación, se detalla las distancias desplegadas de cableado de fibra óptica para interconectar las 12 ONU distribuidas a lo largo de las ramificaciones del Hilo 2 en la RTN (Red Troncal Norte) de Cajamarca. Se totaliza una longitud de tendido de 5.04 km para este propósito. Asimismo, se considera una ruta de respaldo (backup) adicional de 1.54 km como contingencia ante fallas o para expansión futura (véase Tabla 7).

A diferencia del Hilo 1 analizado previamente, en este caso existe un segmento de 2 km desde la OLT ubicada en la RTN hasta el primer punto de distribución. Este tramo inicial se ha considerado dentro de los cálculos realizados para determinar con máxima precisión el presupuesto óptico final del presente esquema.

ONU	Distancia (mts)
1	283.79
2	147.75
3	424.85
4	102
5	169
6	146
7	195
8	199
9	400

Desde OLT(mtrs)	2000
-----------------	------

Km de fibra	5.04
-------------	------

Línea de backup	
1.52	km

10	510
11	166
12	300
Total	3043.39

*Tabla 7 Distancias de despliegue de F.O en hilo 2 de la RTN (Red Troncal Norte).*

Se muestra los diferentes splitters ópticos seleccionados para las ramificaciones del hilo 2 en la RTN (Red Troncal Norte), junto con la longitud total de fibra hasta las 12 ONU. Con estos datos definidos, se lleva a cabo el cálculo de enlace presupuestado tomando en cuenta los factores de atenuación.

Como resultado, se obtiene un valor final de potencia óptica en el receptor del nodo más alejado de -26.89 dBm, cumpliendo con el umbral de funcionalidad establecido de -27 dBm. De este modo queda validado analíticamente el diseño propuesto en este tercer hilo desplegado (véase Tabla 8).

		Und. Medida	Cantidad	Atenuación	Total
Potencia OLT		dbm	8	0	8
Distancia F.O.		KM	5.04	0.4	2.017356
Simétricos	Splitter	1:2	1	3.7	3.7
	Splitter	1:4	3	7.1	21.3
	Splitter	1:8		10.5	0
	Splitter	1:16		13.5	0
Asimétricos	Splitter	1:2 - 10%/90%		8	0
	Splitter	1:2 - 20%/80%		7.11	0
	Splitter	1:2 - 30%/70%		6	0
	Splitter	1:2 - 40%/60%	2	3.94	7.88
		Máximo de atenuación			-26.8974

*Tabla 8 Cálculo óptico en hilo 2 de la RTN (Red Troncal Norte).*

### **3.4.5.6 Hilo 3 de la RTN (Red Troncal Norte)**

Este tercer hilo parte se despliega por la Av. Hoyos Rubio y cubre parte del barrio Pueblo Nuevo. Presenta ramificaciones intermedias por calles aledañas también se considera para el cálculo óptico la distancia desde la OLT hasta el primer punto de distribución en este caso 2.04 km, alcanzando un total de 13 ONUs distribuidas en esta zona de la ciudad (véase Fig. 51).



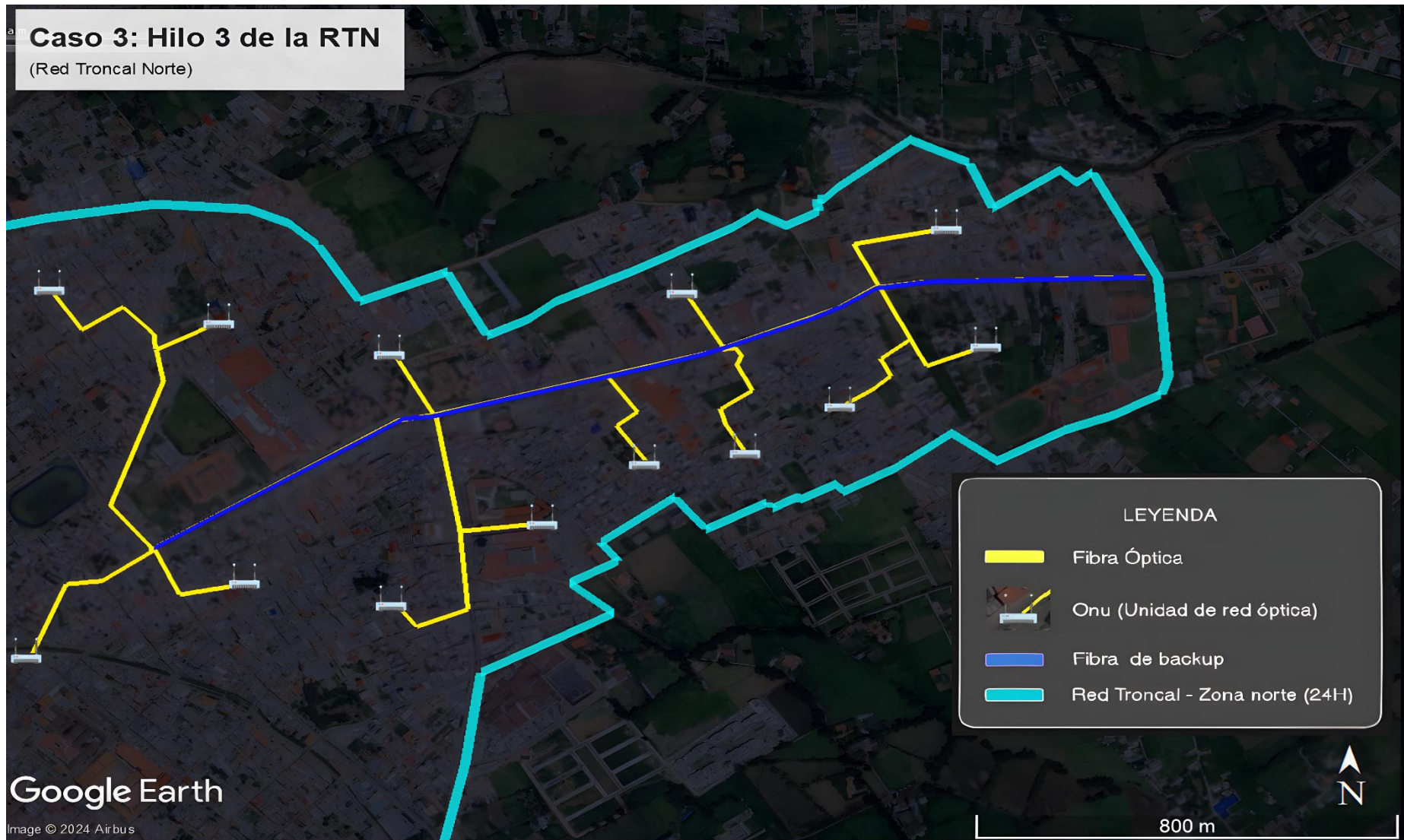


Fig. 51 Hilo 3 de la red troncal norte.

Se diagrama el diseño de la red de fibra óptica donde se indican los splitters más adecuados según requerimientos de potencia para cada rama conectada (véase Fig. 52).

Hilo n° 3

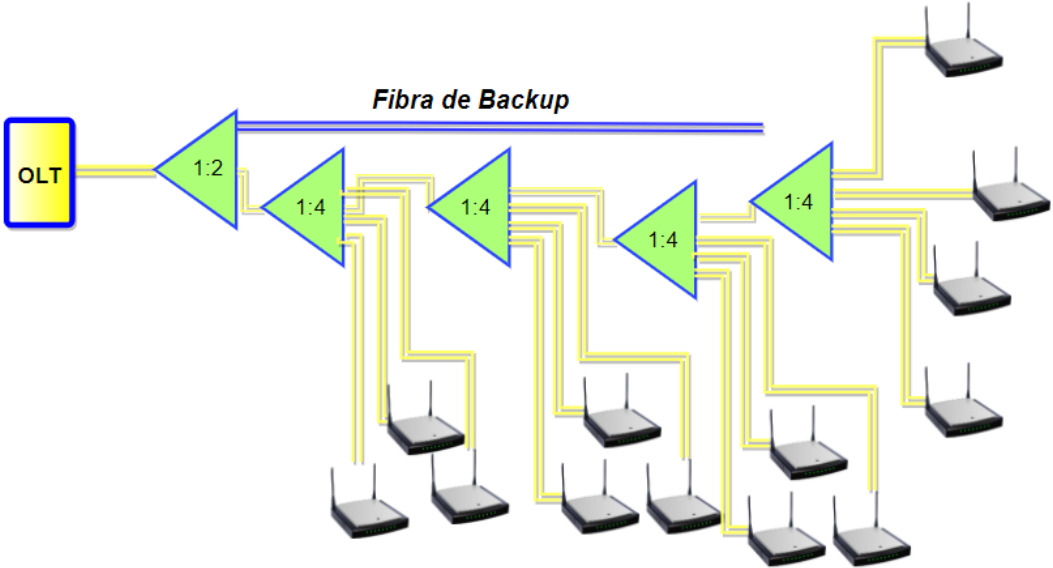


Fig. 52 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 3 en la RTN (Red Troncal Norte).

Se muestra las distancias de cable de fibra óptica desplegadas para interconectar las 13 ONU a lo largo de la ruta del Hilo 3, totalizando 7 km de tendido, más una línea backup de 2 km, donde también se consideró el recorrido óptico en la RTN (Red Troncal Norte) desde la OLT (2.08 km) (véase Tabla 10).

ONU	Distancia (mts)
1	727.58
2	292.79
3	222
4	432
5	210
6	478
7	482
8	394
9	287
10	680
11	200
12	259
13	309

Desde OLT (mtrs)	2087
Km de fibra	7.06
<b>Línea de backup</b>	
2	km



<b>Total</b>	4973.37
--------------	---------

*Tabla 9 Distancias de despliegue de F.O en hilo 3 de la RTN (Red Troncal Norte).*

Se muestra los splitters empleados y los cálculos de potencia, obteniendo un nivel final de recepción de -26.92 dBm cumpliendo el umbral requerido y validando así el enlace para las 13 ONUs del Hilo 3 (véase Tabla 11).

		<b>Und. Medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Atenuación</b>	<b>Total</b>
<b>Potencia OLT</b>		dbm	8	0	8
<b>Distancia F.O.</b>		KM	7.06	0.4	2.824148
<b>Simétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2	1	3.7	3.7
	<b>Splitter</b>	1:4	4	7.1	28.4
	<b>Splitter</b>	1:8		10.5	0
	<b>Splitter</b>	1:16		13.5	0
<b>Asimétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2 - 10%/90%		8	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 20%/80%		7.11	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 30%/70%		6	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 40%/60%		3.94	0
		Máximo de atenuación			-26.924

*Tabla 10 Cálculo óptico en hilo 3 de la RTN (Red Troncal Norte).*

#### **3.4.5.7 Hilo 4 de la RTN (Red Troncal Norte)**

Este tercer hilo parte se despliega por la mayor parte de la calle Chanchamayo y se ramifica de está cubriendo las calles paralelas y teniendo alcance a los barrios: Chontapaccha y la Merced finalmente se extiende por el barrio Cumbemayo, también se considera para el cálculo óptico la distancia desde la OLT hasta el primer punto de distribución en este caso 7.39 km albergando un total de 22 ONUs distribuidas en esta zona de la ciudad (véase Fig. 53).

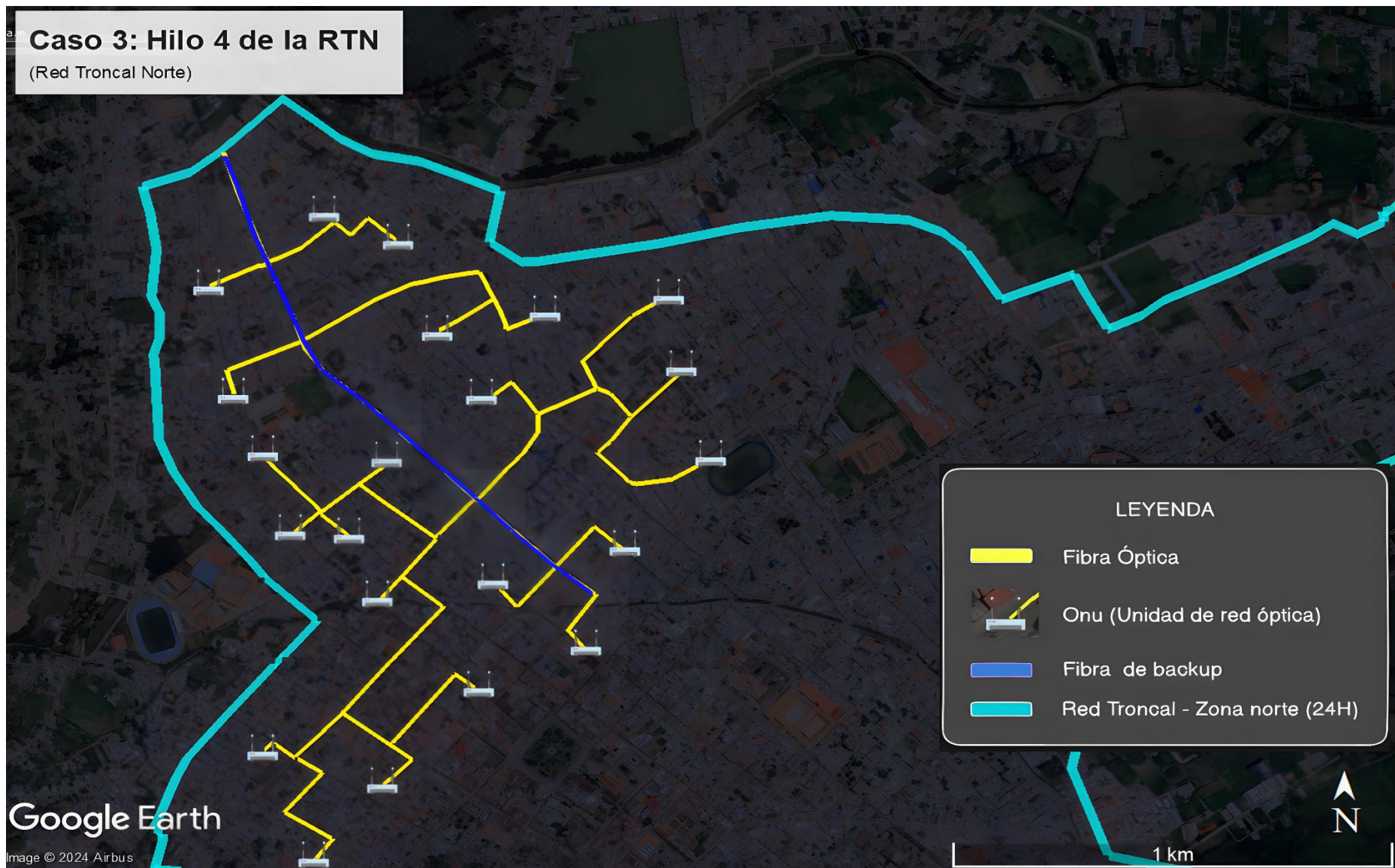
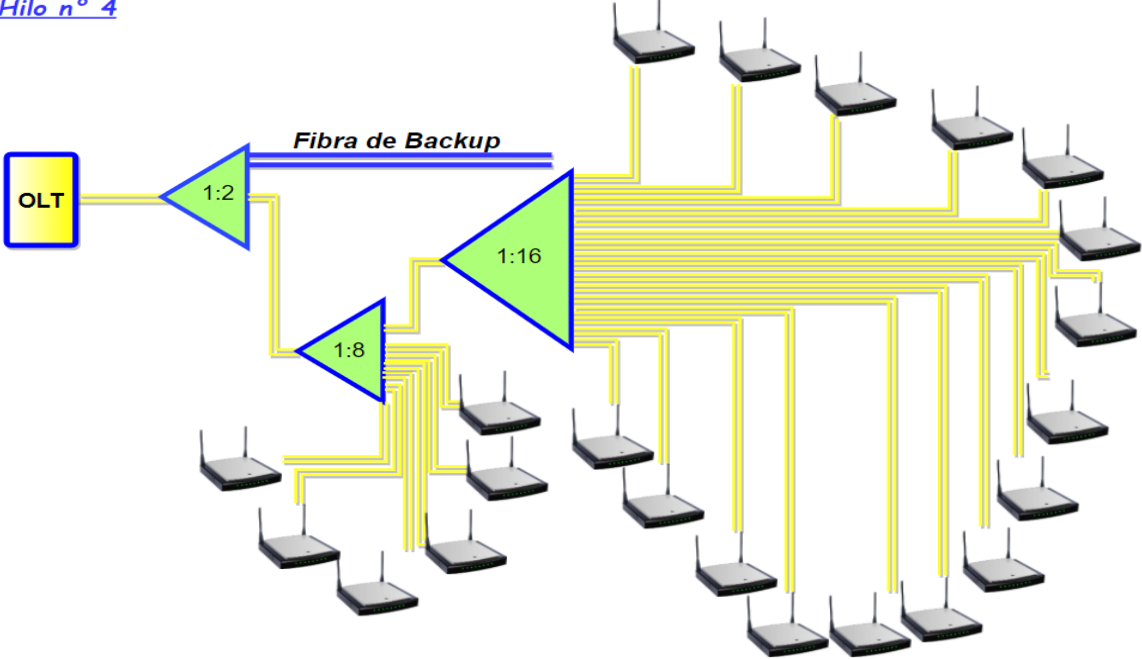


Fig. 53 Despliegue de Hilo 4 de la red troncal norte.

Se diagrama el diseño de la red de fibra óptica donde se indican los splitters más adecuados según requerimientos de potencia para cada rama conectada (véase Fig. 54).

*Hilo n° 4*



*Fig. 54 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 4 en la RTN (Red Troncal Norte).*

Se muestra las distancias de cable de fibra óptica desplegadas para interconectar las 22 ONU a lo largo de la ruta del Hilo 3, totalizando 15.55 km de tendido, más una línea backup de 1.42 km, donde también se consideró el recorrido óptico en la RTN (Red Troncal Norte) desde la OLT (7.39 km) (véase Tabla 11).

ONU	Distancia (mts)
1	425.74
2	207.9
3	180.2
4	435.7
5	657.94
6	157.99
7	967.45
8	204.46
9	76.98
10	179.22
11	200.9
12	713.96
13	778.9

Desde OLT(mtrs)	7392
-----------------	------

Km de fibra	15.55
-------------	-------

Línea de backup	
1.42	km

<b>14</b>	279.65
<b>15</b>	266.57
<b>16</b>	435.53
<b>17</b>	259.43
<b>18</b>	220.67
<b>19</b>	403.33
<b>20</b>	459
<b>21</b>	252
<b>22</b>	392.7
<b>Total</b>	8156.22

*Tabla 11 Distancias de despliegue de F.O en hilo 4 de la RTN (Red Troncal Norte).*

Se muestra los diferentes splitters ópticos seleccionados para las ramificaciones del hilo 4 en la RTN (Red Troncal Norte), junto con la longitud total de fibra hasta las 22 ONU. Con estos datos definidos, se lleva a cabo el cálculo de enlace presupuestado tomando en cuenta los factores de atenuación.

Como resultado, se obtiene un valor final de potencia óptica en el receptor del nodo más alejado de -25.91 dBm, cumpliendo con el umbral de funcionalidad establecido de -27 dBm. De este modo queda validado analíticamente el diseño propuesto en este cuarto hilo desplegado (véase Tabla 12).

		Und. Medida	Cantidad	Atenuación	Total
Potencia OLT		dbm	8	0	8
Distancia F.O.		KM	15.55	0.4	6.219288
Simétricos	Splitter	1:2	1	3.7	3.7
	Splitter	1:4		7.1	0
	Splitter	1:8	1	10.5	10.5
	Splitter	1:16	1	13.5	13.5
Asimétricos	Splitter	1:2 - 10%/90%		8	0
	Splitter	1:2 - 20%/80%		7.11	0
	Splitter	1:2 - 30%/70%		6	0
	Splitter	1:2 - 40%/60%		3.94	0
		Máximo de atenuación			-25.919288

*Tabla 12 Cálculo óptico en hilo 4 de la RTN (Red Troncal Norte).*

#### **3.4.5.8 Hilo 5 de la RTN (Red Troncal Norte)**

El tendido del Hilo 5 se despliega por la calle Belén y la avenida Perú teniendo alcance al centro de la ciudad de Cajamarca, alcanzando un total de 14 ONUs distribuidas, incluyendo parte del centro histórico de la ciudad. Dadas las condiciones del centro histórico, para este sector se considera el uso de fibra óptica microcanalizada, de modo que el cableado no afecte negativamente el patrimonio (véase Fig. 55).



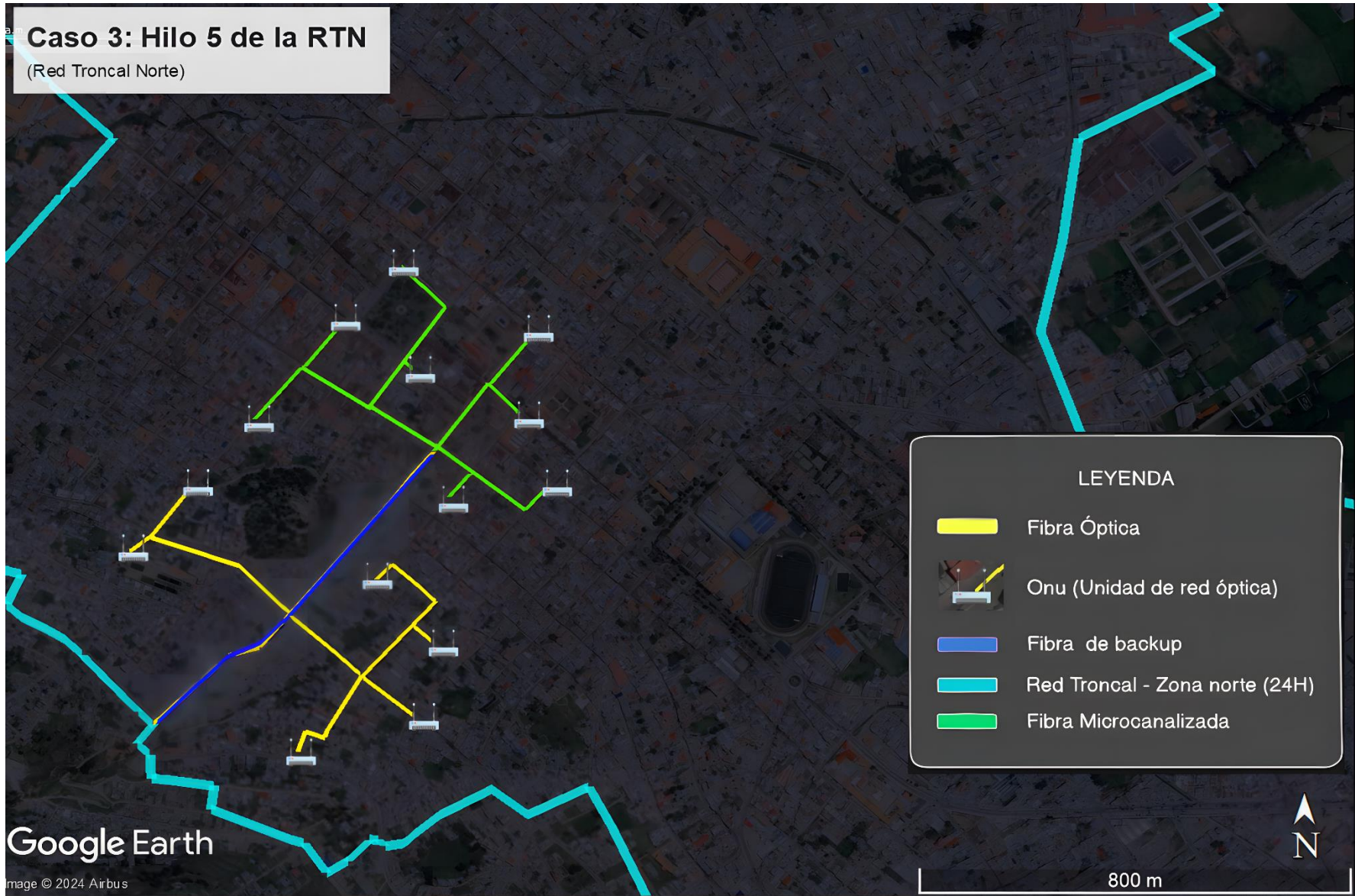
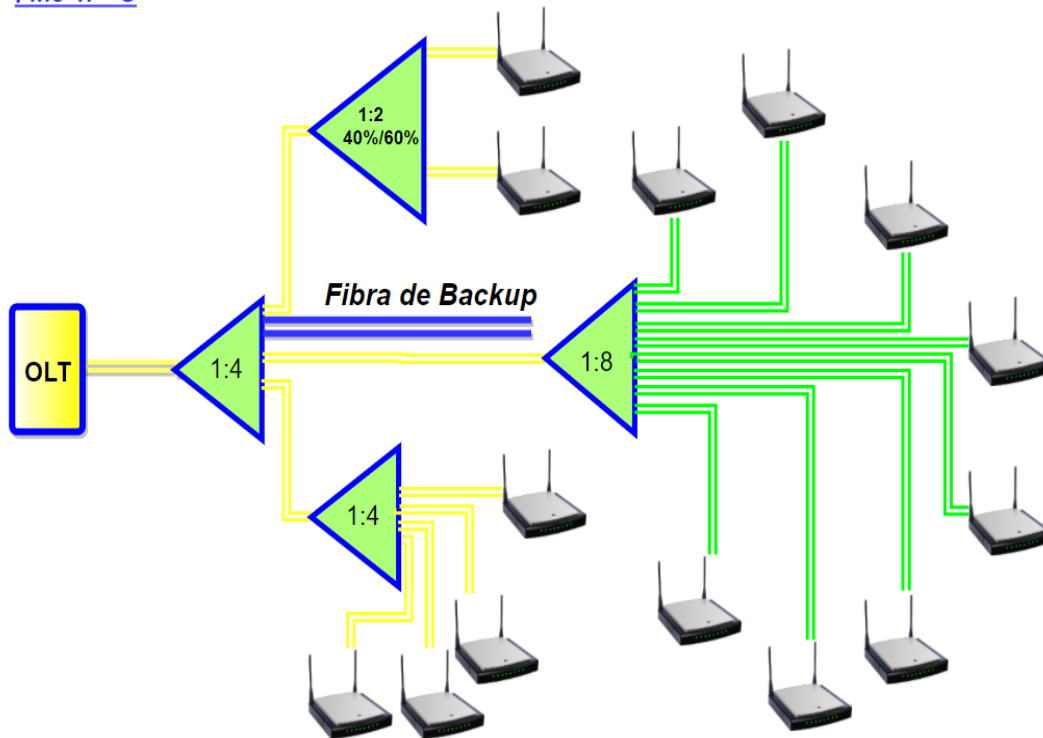


Fig. 55 Hilo 5 de la red troncal norte.



Se diagrama el diseño de la red de fibra óptica donde se indican los splitters más adecuados según requerimientos de potencia para cada rama conectada (véase Fig. 56).

Hilo n° 5



*Fig. 56 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 4 en la RTN (Red Troncal Norte).*

Se detallan las distancias totales desplegadas para las 14 ONUs de este hilo, donde los 10 km corresponden al recorrido inicial de la RTN desde la OLT hasta el primer punto de distribución. Luego se tiene el tendido de 1.6 km con cable de fibra monomodo, estándar para el resto de la ciudad. También se consideran 2.6 km de fibra micro canalizada enterrada, adecuada para el centro histórico. Finalmente, existe una fibra backup de 0.75 km como contingencia ante fallas o para crecimiento futuro de este sector de la red (véase Tabla 13).

Cabe mencionar que este Hilo 5 es el último enlace analizado de la RTN de los 24 hilos disponibles, quedando recursos suficientes para expansión futura.

ONU	Distancia (mts)
1	672.12
2	110.8
3	386.6
4	113.6
5	180.3
6	198.4
7	134.4
8	268
9	280.5
10	270.4
11	485.5
12	404
13	408.2
14	358
Total	4270.82

Desde OLT(mtrs)	10633
-----------------	-------

Km de fibra	14.90
-------------	-------

Fibra micro canalizada	2.609KM
------------------------	---------

Fibra monomodo G.655	1.66182Km
----------------------	-----------

Línea de backup	0.75 km
-----------------	---------

Tabla 13 Distancias de despliegue de F.O en hilo 5 de la RTN (Red Troncal Norte).

Se muestra los diferentes splitters ópticos seleccionados para las ramificaciones del hilo 5 en la RTN (Red Troncal Norte), con estos datos definidos, se lleva a cabo el cálculo de enlace presupuestado tomando en cuenta los factores de atenuación. Como resultado, se obtiene un valor final de potencia óptica en el receptor del nodo más alejado de -26.60 dBm, cumpliendo con el umbral de funcionalidad establecido de -27 dBm. De este modo queda validado analíticamente el diseño propuesto en este quinto hilo desplegado (véase Tabla 14).

		Und. Medida	Cantidad	Atenuación	Total
<b>Potencia OLT</b>		dbm	8	0	8
<b>Distancia F.O.</b>		KM	14.90	0.4	5.961528
<b>Simétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2		3.7	0
	<b>Splitter</b>	1:4	2	7.1	14.2
	<b>Splitter</b>	1:8	1	10.5	10.5
	<b>Splitter</b>	1:16		13.5	0
<b>Asimétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2 - 10%/90%		8	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 20%/80%		7.11	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 30%/70%		6	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 40%/60%	1	3.94	3.94
<b>Máximo de atenuación</b>					-26.601528

Tabla 14 Cálculo óptico en hilo 4 de la RTN (Red Troncal Norte).

### 3.4.5.9 Resumen de RTN

Se muestra el despliegue de fibra óptica y ONUs propuesto en la zona norte de la ciudad de Cajamarca (véase Fig. 57).

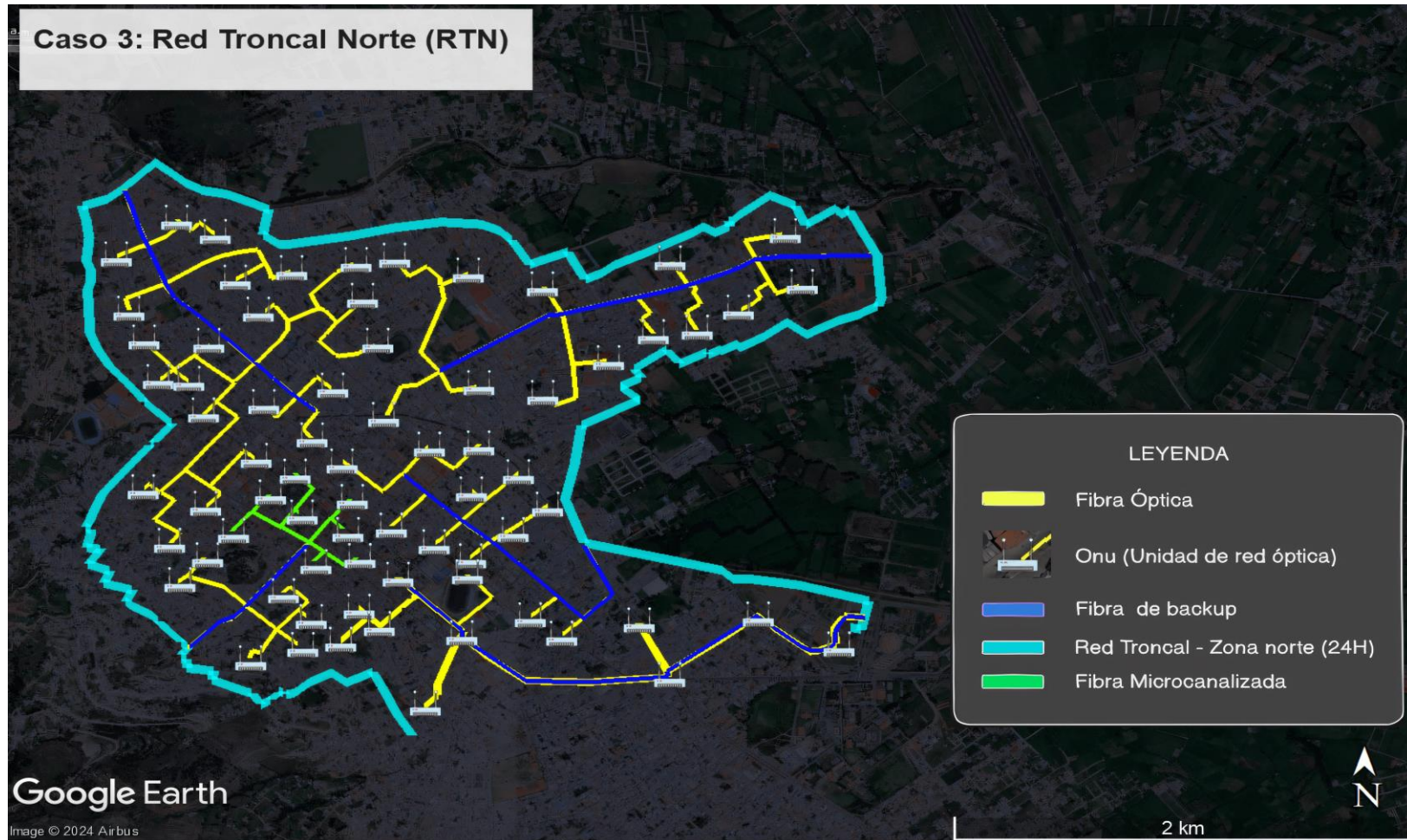


Fig. 57 RTN (Red Troncal Norte).

Se consolida la información del despliegue y cobertura propuesto de la red troncal de fibra óptica para la zona norte de Cajamarca. Indicando las longitudes totales tendidas de cable de fibra monomodo estándar, de fibra microcanalizada y fibra de respaldo consideradas en los 5 hilos estudiados. Asimismo, se muestra la cantidad de receptores ONU conectados por cada hilo trazado (véase Tabla 15).

De este modo queda demostrada la robustez, alcance y crecimiento escalable que presenta la solución integral modelada, entregando conectividad óptica de alta capacidad para más de 70 ONUs los que se encuentran distribuidos estratégicamente en el área urbana del norte de la ciudad.

	<b>Fibra (kM)</b>	<b>backup (kM)</b>	<b>Microcanalizada (kM)</b>	<b>ONUs</b>
<b>Hilo 1</b>	5.276	2.54		11
<b>Hilo 2</b>	5.04	1.52		12
<b>Hilo 3</b>	7.06	2		13
<b>Hilo 4</b>	15.55	1.42		22
<b>Hilo 5</b>	1.66182	0.75	2.609	14
<b>TOTAL</b>	<b>34.5898</b>	<b>8.23</b>	<b>2.609</b>	<b>72</b>

*Tabla 15 Resumen de F.O Y ONUs albergadas en la RTN (Red Troncal Norte).*

Con los resultados expuestos ha quedado validado el robusto dimensionamiento del enlace óptico sobre la infraestructura de Red Troncal Norte desplegada en la zona norte de la ciudad Cajamarca.

Resaltando que, de los 24 hilos de fibra disponibles, solo se requirió el trazado y estudio de 5 para soportar en esta etapa con más de 70 nodos ONU distribuidos estratégicamente.

Esta solución permite un crecimiento escalable y eficiente, quedando recursos suficientes en la RTN para expansiones futuras sobre la misma plataforma desplegada. Asimismo, se garantizan los umbrales de potencia, ancho de banda y calidad necesarios para la diversidad de aplicaciones propias de una ciudad inteligente.

Validado el sólido diseño óptico de la RTN, se desarrolló el análisis equivalente sobre la infraestructura de Red Troncal Sur, comprendiendo 24 hilos de fibra adicionales para la zona restante de la ciudad.

#### **3.4.5.10 Cálculo óptico para la RTS (Red Troncal Sur)**

Para el dimensionamiento por cálculo de los enlaces ópticos sobre la Red Troncal Sur, que está compuesta por 24 hilos de fibra disponibles. Al igual que para el caso de la RTN, se seleccionó hilos representativos para efectuar la traza de rutas y validar el presupuesto óptico.

También se demostró el cumplimiento de umbrales de señal para los receptores ONU, garantizando así una plataforma sólida y escalable para soportar crecimiento futuro de demanda en la zona sur de Cajamarca.

#### **3.4.5.11 Hilo 1 de la RTS (Red Troncal Sur)**

El primer hilo, parte desde la vía de evitamiento Sur. A medida que avanza por esta ruta, llega a las inmediaciones del jirón El Milagro expandiéndose hasta la avenida La Paz y, donde experimenta ramificaciones en toda la trayectoria, abarcando un total de 10 ONUs (Optical Network Units) distribuidas a lo largo de su trazado (véase Fig. 58). En este caso, se toma en consideración la distancia desde la OLT hasta el primer splitter ubicado en la red troncal teniendo así un cálculo más exacto.



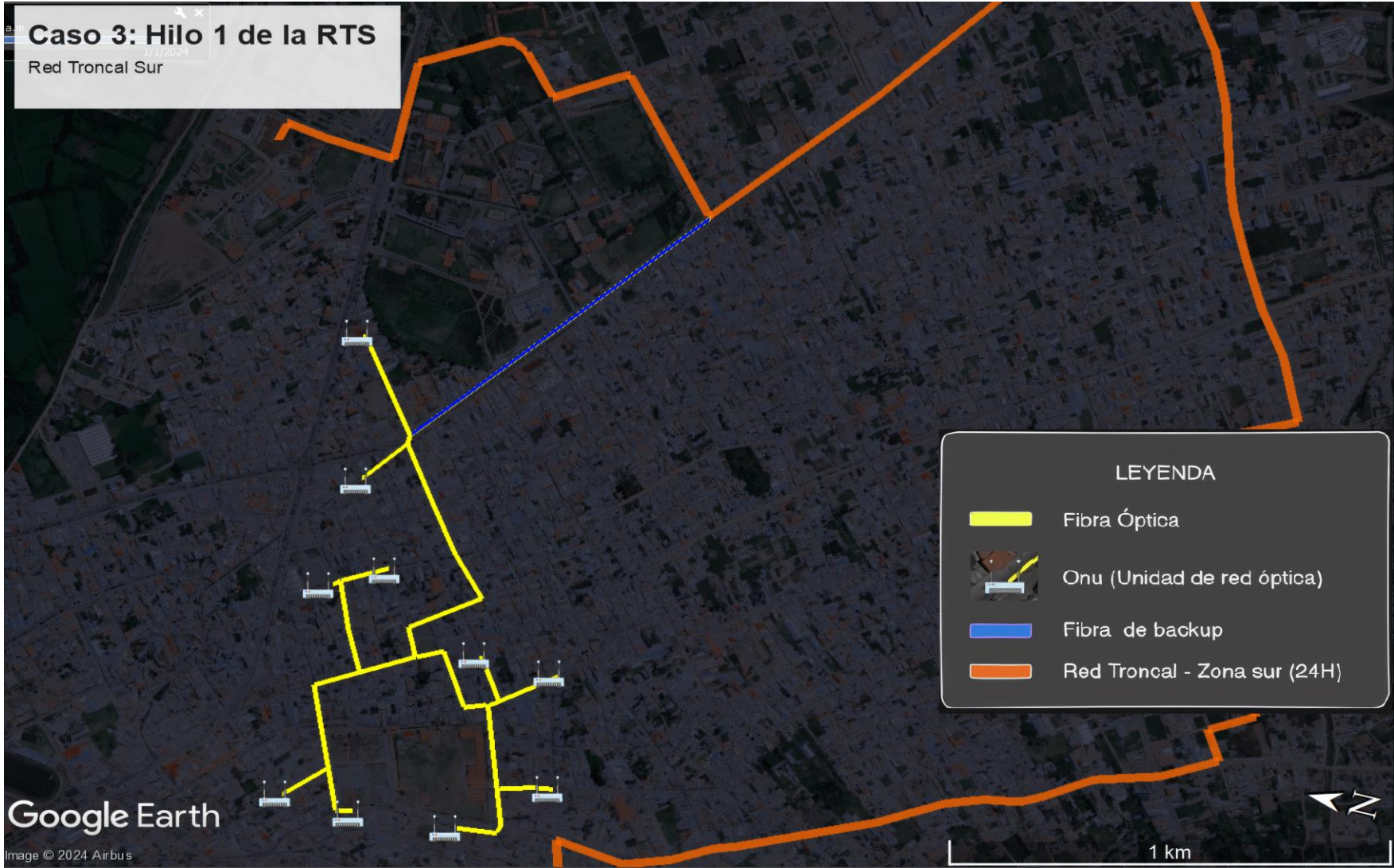
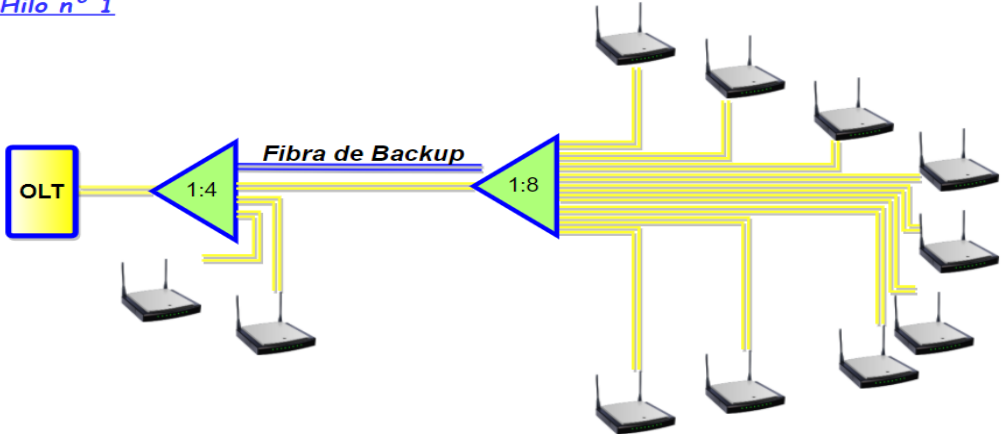


Fig. 58 Hilo 1 de la red troncal Sur.



Se diagrama la distribución de la potencia óptica en el hilo 1 de la RTS (Red Troncal Sur), mediante el uso de splitters ópticos balanceados y no balanceados (véase Fig. 59).

*Hilo n° 1*



*Fig. 59 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 1 en la RTS (Red Troncal Sur).*

Teniendo las distancias de cable de fibra óptica desplegadas para interconectar las 10 ONU a lo largo de la ruta del Hilo 1, totalizando 5.5 km de tendido, más una línea backup de 0.86 km, donde también se consideró el recorrido óptico en RTS (Red Troncal Sur) desde la OLT (1.44 km) (véase Tabla 16).

ONU	Distancia (mts)
1	1137.9
2	108.9
3	1029
4	145.4
5	328.8
6	190.6
7	460
8	75
9	427.7
10	172.2
<b>Total</b>	<b>4075.5</b>

Desde OLT	1444
Km de fibra	5.5195
<b>Línea de backup</b>	
0.86	km

*Tabla 16 Distancias de despliegue de F.O en hilo 1 de la RTS (Red Troncal Sur).*

Se muestra los splitters empleados y los cálculos de potencia, obteniendo un nivel final de recepción de -11.80 dBm cumpliendo el umbral requerido y validando así el enlace para las 10 ONUs del Hilo 1 (véase Tabla 17).

		Und. Medida	Cantidad	Atenuación	Total
<b>Potencia OLT</b>		dbm	8	0	8
<b>Distancia F.O.</b>		KM	5.5	0.4	2.2078
<b>Simétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2		3.7	0
	<b>Splitter</b>	1:4	1	7.1	7.1
	<b>Splitter</b>	1:8	1	10.5	10.5
	<b>Splitter</b>	1:16		13.5	0
<b>Asimétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2 - 10%/90%		8	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 20%/80%		7.11	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 30%/70%		6	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 40%/60%		3.94	0
<b>Máximo de atenuación</b>					-11.8078

*Tabla 17 Cálculo óptico en hilo 1 de la RTS (Red Troncal Sur).*

#### **3.4.5.12 Hilo 2 de la RTS (Red Troncal Sur)**

Para el hilo 2, parte desde la red troncal Sur, tomando la ruta a la altura del jirón Los Libertadores. A partir de este punto, avanza por el jirón Tahuantinsuyo, extendiéndose luego por la calle Túpac Amaru. A medida que sigue su curso por estas vías, el hilo de fibra óptica se ramifica, abarcando el barrio Huacaloma y alcanzando gran parte de la avenida San Martín, junto con sus calles paralelas. Además, se extiende hacia el barrio Miraflores, creando conexiones estratégicas en estas áreas. Abarcando un total de 22 ONUs (Optical Network Units) distribuidas a lo largo de su trazado (véase Fig. 60).

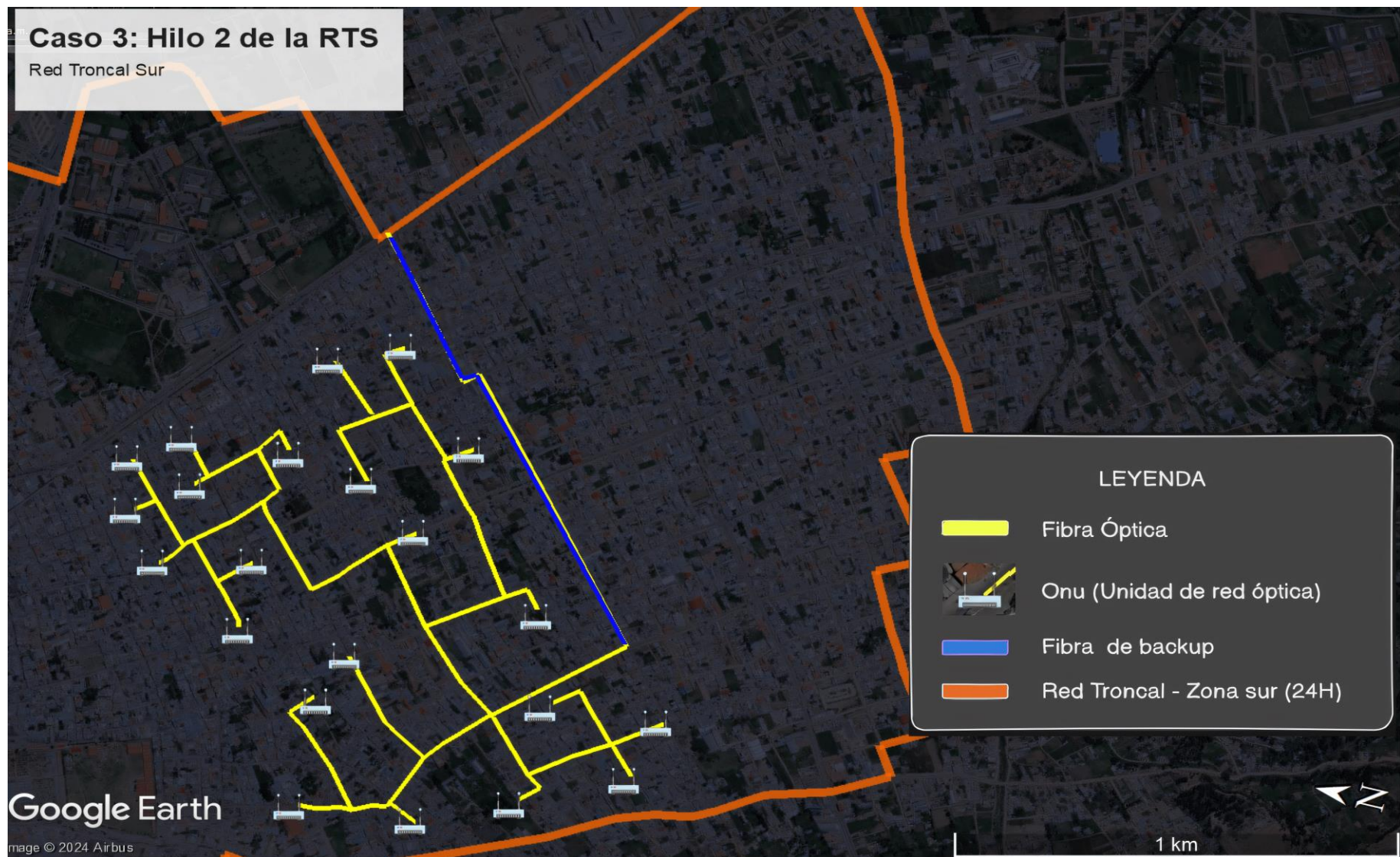


Fig. 60 Hilo 2 de la red troncal Sur.

Se diagrama la distribución de la potencia óptica en el hilo 2 de la RTS (Red Troncal Sur), mediante el uso de splitters ópticos balanceados (véase Fig. 61).

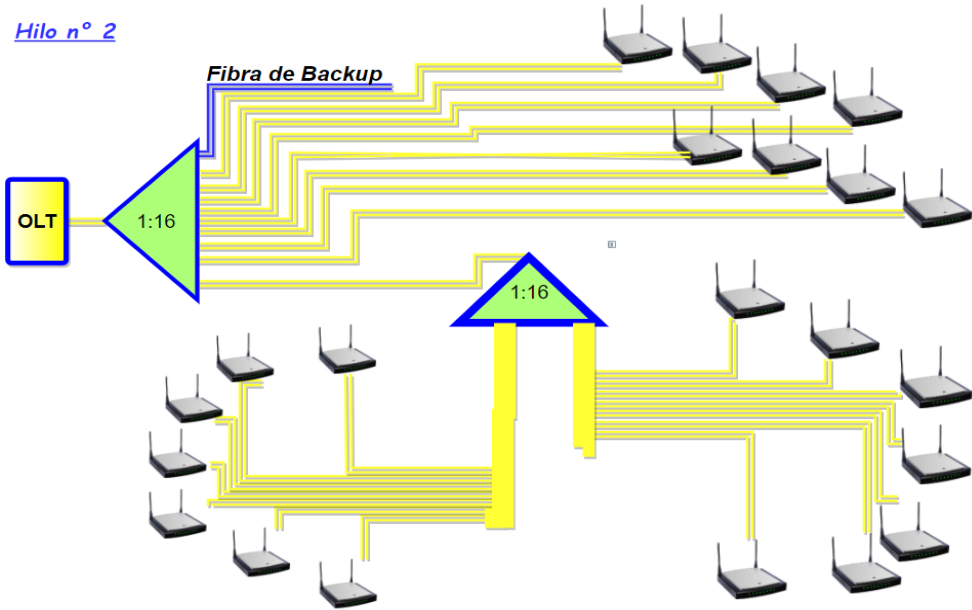


Fig. 61 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 2 en la RTS (Red Troncal Sur).

Se muestra las distancias de cable de fibra óptica desplegadas para interconectar las 22 ONU a lo largo de la ruta del Hilo 2, totalizando 8.76 km de tendido, más una línea backup de 1.2 km, donde también se consideró el recorrido óptico en RTS (Red Troncal Sur) desde la OLT (1.49 km) (véase Tabla 18).

ONU	Distancia (mts)
1	2126
2	109.5
3	105
4	82
5	399
6	184
7	326.9
8	272.45
9	1299.7
10	105
11	54
12	148
13	101
14	271

Desde OLT	1498
-----------	------

Km de fibra	8.76
-------------	------

línea de backup	
1.2	km

<b>15</b>	76
<b>16</b>	47
<b>17</b>	65.9
<b>18</b>	249.6
<b>19</b>	446
<b>20</b>	450
<b>21</b>	154
<b>22</b>	187
<b>Total</b>	7259.05

*Tabla 18 Distancias de despliegue de F.O en hilo 2 de la RTS (Red Troncal Sur).*

Se muestra los splitters empleados y los cálculos de potencia, obteniendo un nivel final de recepción de -22.50 dBm cumpliendo el umbral requerido y validando así el enlace para las 22 ONUs del Hilo 2 (véase Tabla 19).

		<b>Und. Medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Atenuación</b>	<b>Total</b>
<b>Potencia OLT</b>		dbm	8	0	8
<b>Distancia F.O.</b>		KM	8.76	0.4	3.50282
<b>Simétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2		3.7	0
	<b>Splitter</b>	1:4		7.1	0
	<b>Splitter</b>	1:8		10.5	0
	<b>Splitter</b>	1:16	2	13.5	27
<b>Asimétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2 - 10%/90%		8	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 20%/80%		7.11	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 30%/70%		6	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 40%/60%		3.94	0
<b>Máximo de atenuación</b>					-22.5028

*Tabla 19 Cálculo óptico en hilo 2 de la RTS (Red Troncal Sur).*

### **3.4.5.13 Hilo 3 de la RTS (Red Troncal Sur)**

Este hilo como, parte de la RTS, específicamente desde la intersección de la Avenida Industrial y la Avenida Mártires de Uchuracay. Siendo este punto de inicio, el hilo se desplaza por la Avenida Mártires de Uchuracay, con ramificaciones a lo largo de su recorrido. A medida que continúa su trayecto, se encuentra con una bifurcación en la altura de la Avenida Héroes de Cenepa. En este punto, el hilo se divide estratégicamente, abarcando el barrio Mollepampa Baja y extendiéndose hacia parte del barrio Mollepampa Alta, abarcando un total de 22 ONUs (Optical Network Units) distribuidas a lo largo de su trazado (véase Fig. 62).



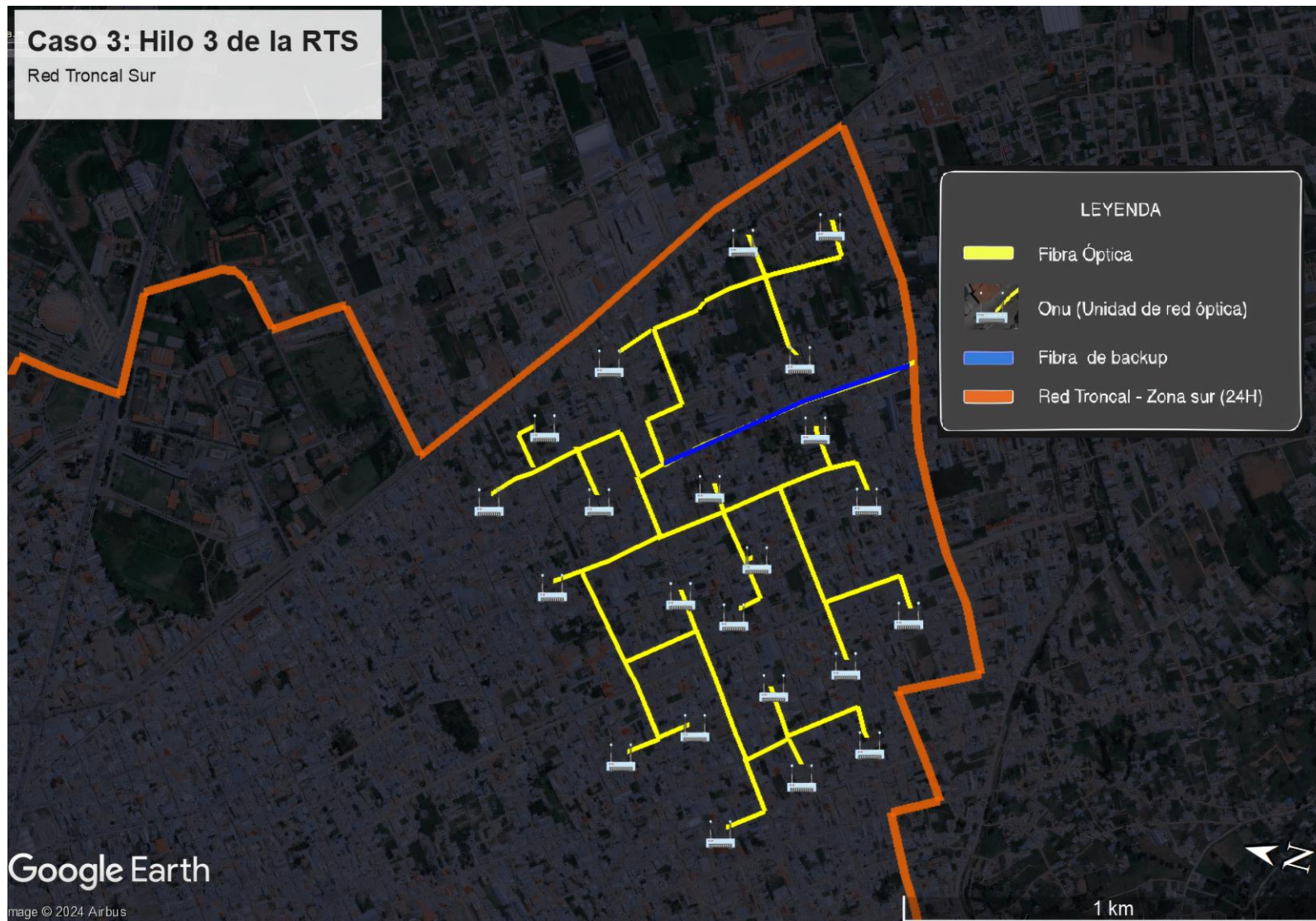


Fig. 62 Hilo 3 de la red troncal Sur.



Se diagrama la distribución de la potencia óptica en el hilo 3 de la RTS (Red Troncal Sur), mediante el uso de splitters ópticos balanceados (véase Fig. 63).

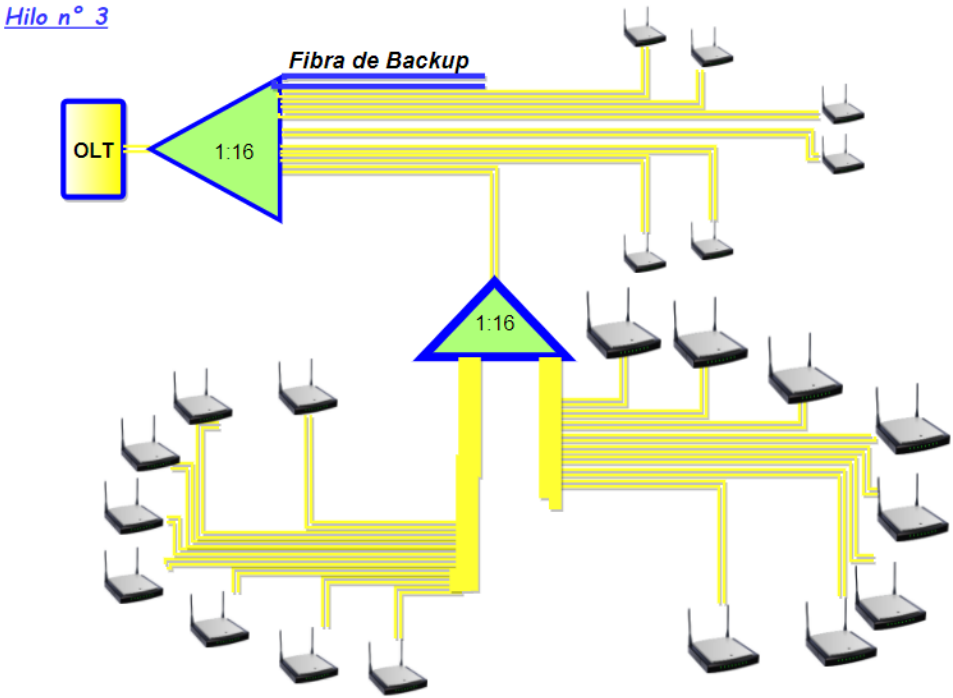


Fig. 63 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 3 en la RTS (Red Troncal Sur).

Se muestra las distancias de cable de fibra óptica desplegadas para interconectar las 22 ONU a lo largo de la ruta del Hilo 3, totalizando 14.59 km de tendido, más una línea backup de 0.63 km, donde también se consideró el recorrido óptico en RTS (Red Troncal Sur) desde la OLT (3.3 km) (véase Tabla 20).

ONU	Distancia (mts)
1	2456
2	102.65
3	210
4	65
5	250
6	620
7	311
8	168
9	1458
10	2126
11	109.5
12	105

Desde OLT	3305
Km de fibra	14.59
<b>línea de backup</b>	
0.63	km

13	82
14	399
15	184
16	326.9
17	800
18	184
19	326.9
20	272.45
21	308
22	420
<b>Total</b>	<b>11284.4</b>

Tabla 20 Distancias de despliegue de F.O en hilo 3 de la RTS (Red Troncal Sur).

Se muestra los splitters empleados y los cálculos de potencia, obteniendo un nivel final de recepción de -24.83 dBm cumpliendo el umbral requerido y validando así el enlace para las 22 ONUs del Hilo 3 (véase Tabla 21).

		Und. Medida	Cantidad	Atenuación	Total
<b>Potencia OLT</b>		dbm	8	0	8
<b>Distancia F.O.</b>		KM	14.59	0.4	5.83576
<b>Simétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2		3.7	0
	<b>Splitter</b>	1:4		7.1	0
	<b>Splitter</b>	1:8		10.5	0
	<b>Splitter</b>	1:16	2	13.5	27
<b>Asimétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2 - 10%/90%		8	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 20%/80%		7.11	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 30%/70%		6	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 40%/60%		3.94	0
<b>Máximo de atenuación</b>					<b>-24.83576</b>

Tabla 21 Cálculo óptico en hilo 3 de la RTS (Red Troncal Sur).

#### 3.4.5.14 Hilo 4 de la RTS (Red Troncal Sur)

El último hilo utilizado, inicia su recorrido desde la intersección del jirón Alfonso Ugarte y la Avenida Héroes de Cenepa, desde la red troncal Sur. Desplazándose de manera estratégica por las calles paralelas a la Avenida Héroes de Cenepa, finalmente teniendo cubierta la totalidad del Barrio Mollepampa Alta. Abarcando un total de 6 ONUs (Optical Network Units) distribuidas a lo largo de su trazado (véase Fig. 64).

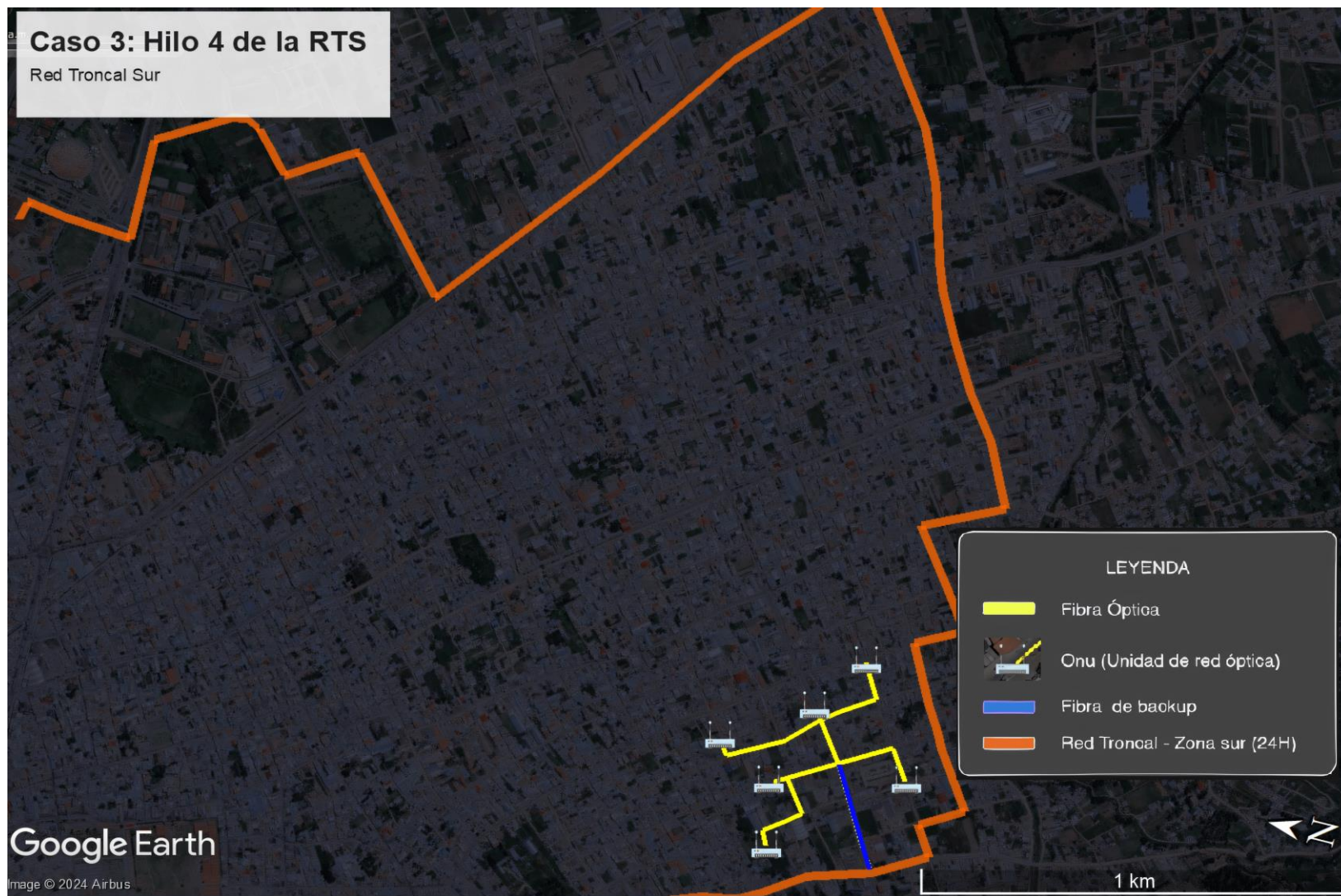
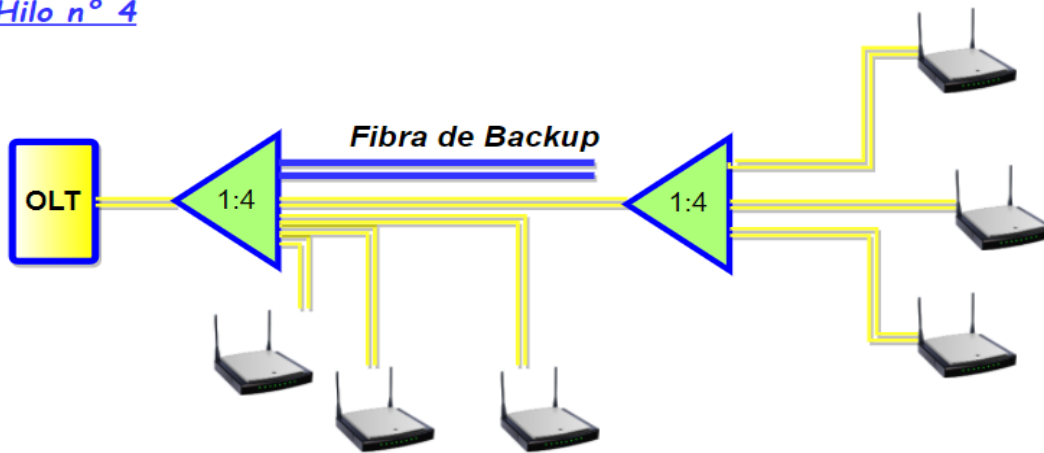


Fig. 64 Hilo 4 de la red troncal Sur

Se diagrama la distribución de la potencia óptica en el hilo 4 de la RTS (Red Troncal Sur), mediante el uso de splitters ópticos balanceados (véase Fig. 65).

*Hilo n° 4*



*Fig. 65 Diagrama de distribución de la red óptica en hilo 4 en la RTS (Red Troncal Sur)*

Se muestra las distancias de cable de fibra óptica desplegadas para interconectar las 13 ONU a lo largo de la ruta del Hilo 4, totalizando 6.81 km de tendido, más una línea backup de 0.27 km, donde también se consideró el recorrido óptico en RTS (Red Troncal Sur) desde la OLT (5.3 km) (véase Tabla 22).

ONU	Distancia (mts)
1	479
2	230
3	121
4	331
5	22
6	272
<b>Total</b>	1455

<b>Desde OLT</b>	5359
<b>Km de fibra</b>	6.81
<b>Línea de backup</b>	
0.27	km

*Tabla 22 Distancias de despliegue de F.O en hilo 4 de la RTS (Red Troncal Sur).*

Se muestra los splitters empleados y los cálculos de potencia, obteniendo un nivel final de recepción de -8.92 dBm cumpliendo el umbral requerido holgadamente y validando así el enlace para las 6 ONUs del Hilo 4 (véase Tabla 23).

		<b>Und. Medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Atenuación</b>	<b>Total</b>
<b>Potencia OLT</b>		dbm	8	0	8
<b>Distancia F.O.</b>		KM	6.81	0.4	2.7256
<b>Simétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2		3.7	0
	<b>Splitter</b>	1:4	2	7.1	14.2
	<b>Splitter</b>	1:8		10.5	0
	<b>Splitter</b>	1:16		13.5	0
<b>Asimétricos</b>	<b>Splitter</b>	1:2 - 10%/90%		8	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 20%/80%		7.11	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 30%/70%		6	0
	<b>Splitter</b>	1:2 - 40%/60%		3.94	0
<b>Máximo de atenuación</b>					-8.9256

*Tabla 23 Cálculo óptico en hilo 4 de la RTS (Red Troncal Sur).*

Con el análisis realizado a quedado validado el dimensionamiento por cálculo de los 4 hilos seleccionados, representativos de los 24 disponibles en la Red Troncal Sur. Se garantizan así los niveles de señal óptica en todos los nodos ONU modelados incluso en los más alejados, cumpliendo los umbrales para un funcionamiento robusto.

A continuación, se tiene la información relevante de infraestructura, distancias desplegadas y cobertura de nodos finales correspondiente a la solución integral diseñada para la zona sur de la ciudad.

#### **3.4.5.15 Resumen de propagación óptica en RTS**

Se muestra el despliegue integral de la Red Troncal Sur, indicando la distribución de los 4 hilos analizados, con sus respectivos puntos de ramificación mediante splitters ópticos para dar cobertura a la zona sur de Cajamarca (véase Fig. 66).



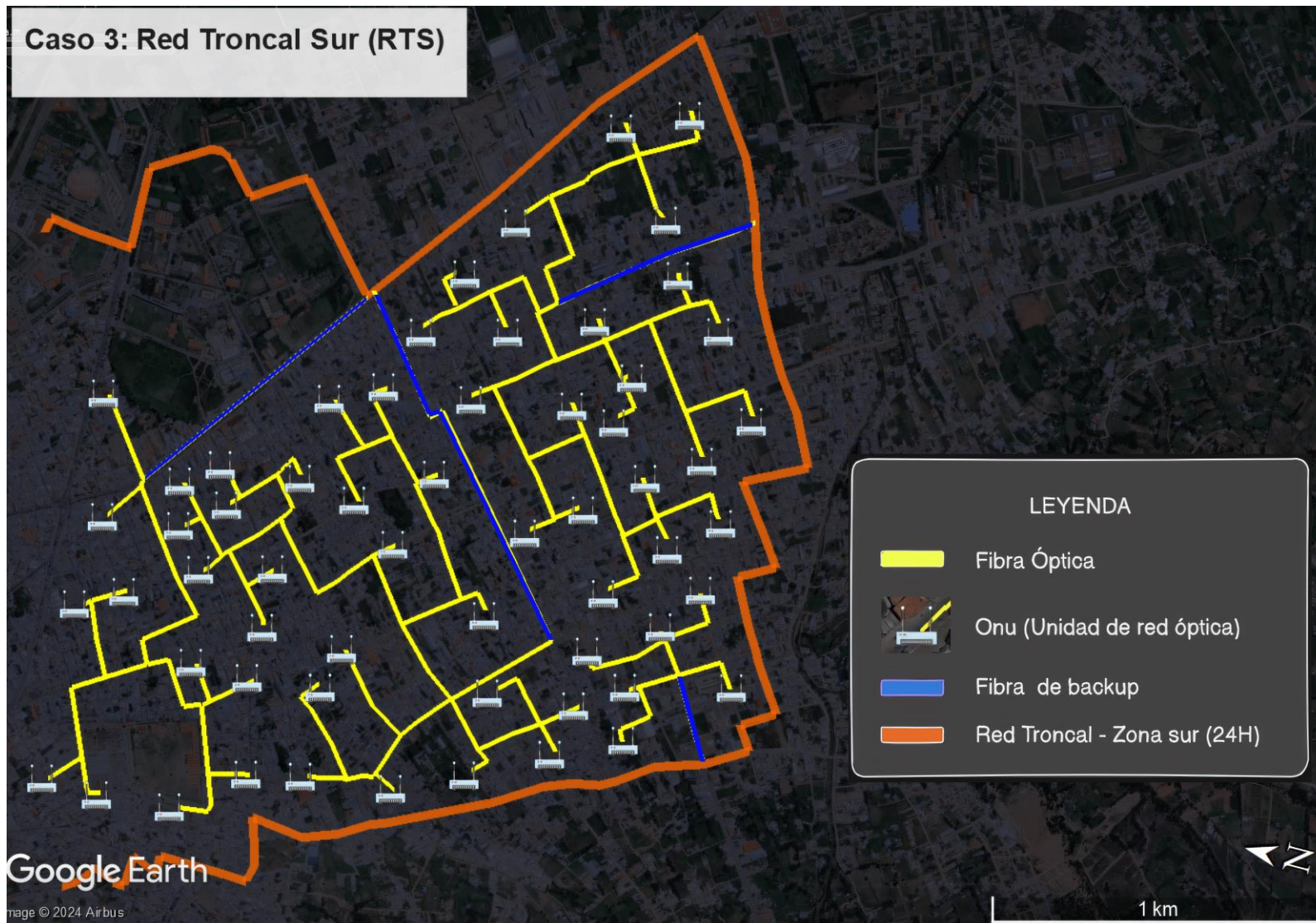


Fig. 66 RTS (Red Troncal Sur).



Teniendo los principales resultados del estudio realizado, detallando las longitudes totales de cableado de fibra óptica tendido, incluyendo el backup considerado. Asimismo, se muestran las cantidades de receptores ONU conectados por cada hilo trazado (véase Tabla 24).

	Fibra (kM)	backup (kM)	ONUs
<b>hilo 1</b>	5.5195	0.86	10
<b>hilo 2</b>	8.76	1.2	22
<b>hilo 3</b>	14.59	0.63	22
<b>hilo 4</b>	6.81	0.27	6
TOTAL	35.67995	2.96	60

*Tabla 24 Resumen de F.O Y ONUs albergadas en la RTS (Red Troncal Sur).*

Con estos resultados se demuestra la solidez de la solución óptica dimensionada para soportar la gran capacidad que demandará la zona sur de la ciudad inteligente, con posibilidades de fácil crecimiento incremental sobre la plataforma PON desplegada.

#### **3.4.5.16 Resumen integral de redes troncales desplegadas (RTN y RTS)**

Se tiene el despliegue total propuesto en la zona urbana de la ciudad de Cajamarca siendo demostrado que es robusta infraestructura de telecomunicaciones que habilitará los servicios de una ciudad inteligente basados en sensores, dispositivos y aplicaciones interconectados. Se muestra tanto la Red Troncal Norte como la Red Troncal Sur, indicando en un esquema general los hilos de fibra óptica analizados anteriormente. Como se observa, de los 24 hilos disponibles en cada red, sólo 5 de la RTN y 4 de la RTS han sido necesarios modelar para dar cobertura en esta etapa a más de 130 nodos ONU (Optical Network Units) (véase Fig. 67).

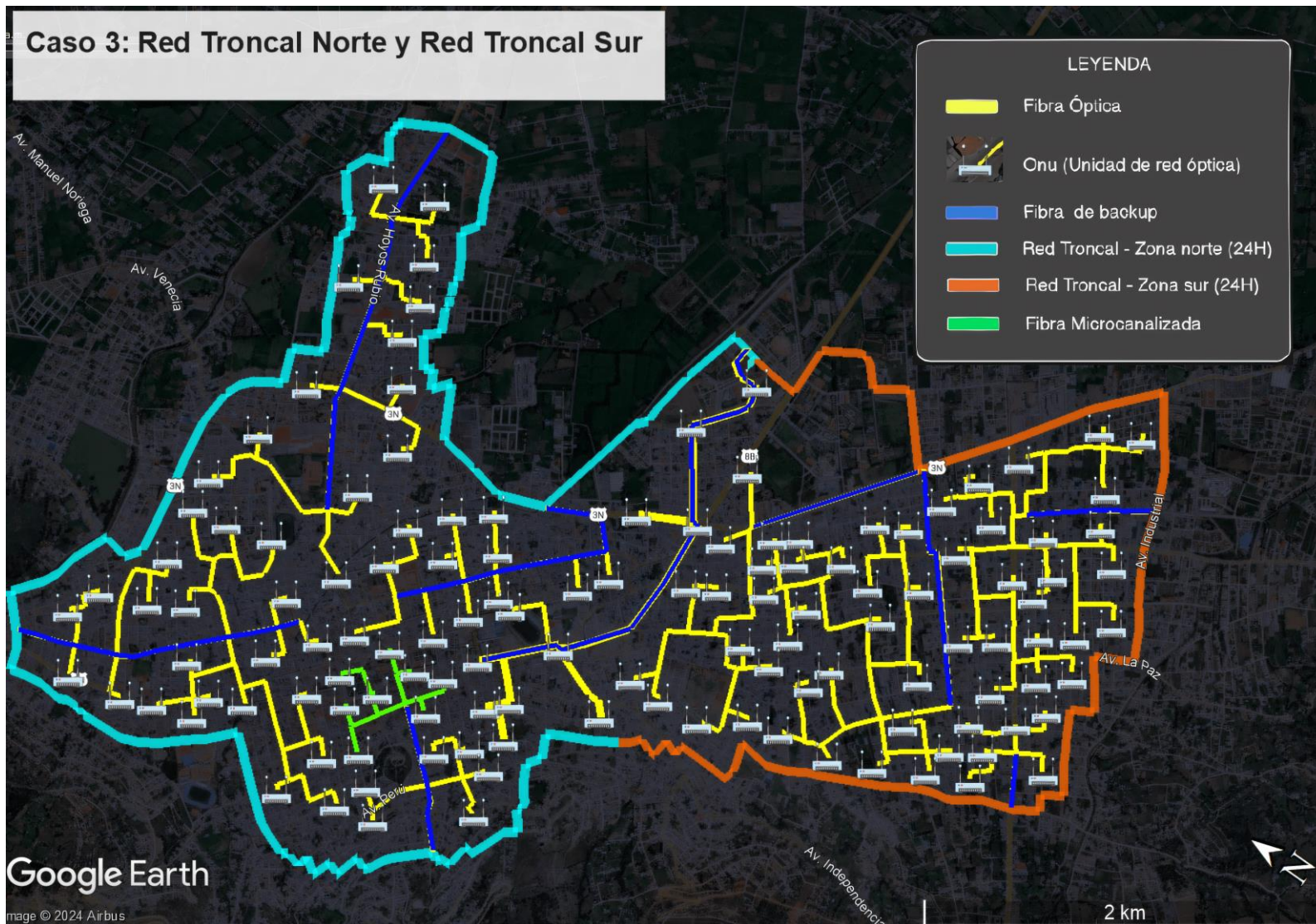


Fig. 67 Red Troncal Norte y la Red Troncal Sur

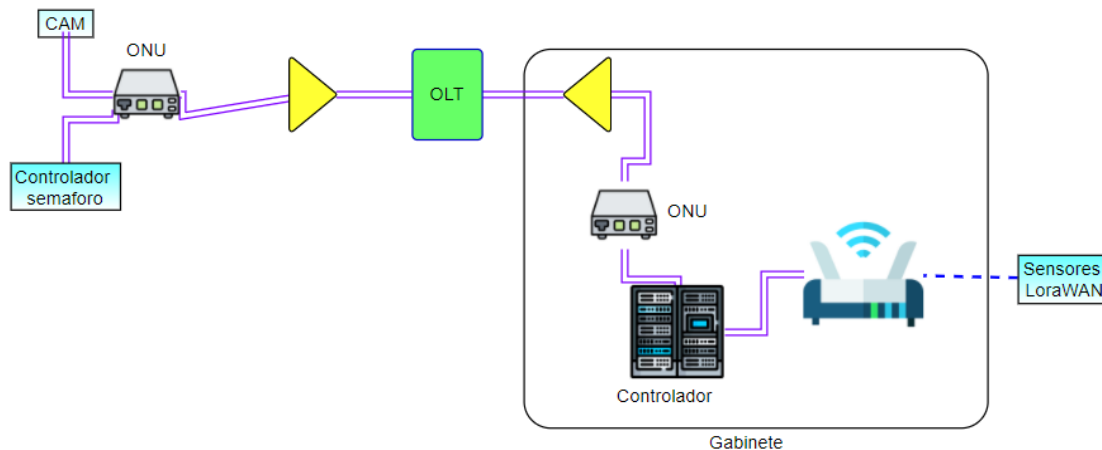
La solidez de este diseño garantiza un amplio crecimiento escalable sobre la plataforma integral desplegada, pudiendo extender fácilmente más ramales ópticos según se requiera para la evolución de Cajamarca como una moderna urbe inteligente.

#### **3.4.5.17 *Diseño Distributivo de la Red***

El Diseño de distributivo sigue un enfoque similar a la Red 02 del caso 2, utilizando la ampliación del despliegue de ONUs (Optical Network Units) para optimizar la conectividad y eficiencia de la red. Este caso contempla un nuevo tendido de fibra óptica que cubre toda la zona urbana, permitiendo una conexión directa y efectiva de los dispositivos sin depender de la infraestructura existente.

La estrategia se basa en la comprobada eficiencia de las ONUs en la Red 02, eliminando la necesidad de switches de acceso en los gabinetes. En lugar de depender de los hilos libres de los despliegues pasados, el nuevo diseño distribuye la señal directamente desde las ONUs a los dispositivos clave, como cámaras de seguridad y controladores de semáforos, utilizando splitters para optimizar la conectividad. Además, el diseño incluye fibras de backup dedicadas, lo que refuerza la redundancia de la red y asegura un funcionamiento continuo y confiable. Esta configuración no solo mejora la eficiencia de la red, sino que también proporciona una capa adicional de seguridad ante posibles fallos, garantizando una conectividad estable y robusta para los servicios críticos de la ciudad inteligente.

Esta configuración no solo mejora la eficiencia y la flexibilidad de la red, sino que también asegura un acceso más rápido y confiable a la red 50G-PON. Al distribuir la conectividad de manera más uniforme y cercana a los puntos de demanda, se logra una cobertura más robusta y adaptable, lo que permite a la red crecer y adaptarse a futuras expansiones tecnológicas (véase Fig. 68).



*Fig. 68 Diseño distributivo de la red*

Con el alcance definido del despliegue de los nuevos ramales de fibra óptica y la instalación de ONUs, se procede a la ubicación estratégica de los sensores y controladores para maximizar la eficiencia de la red. Este diseño asegura que cada dispositivo esté correctamente conectado, optimizando los servicios de la ciudad inteligente a través de una infraestructura completamente nueva y dedicada.

La red se articula en torno a los cuatro controladores principales, que sectorizan de manera eficiente la zona urbana de Cajamarca y facilitan una distribución óptima de los sensores y dispositivos clave (véase Fig. 69).

En este diseño, se ha priorizado la conectividad directa de las cámaras de seguridad y los controladores de semáforos a la red 50G-PON mediante ONUs. Este enfoque responde a las exigencias específicas de estos dispositivos, especialmente debido al alto consumo de ancho de banda de las cámaras, que requieren una transmisión de video en tiempo real hacia el centro de control. La conexión directa a la ONU asegura una transmisión rápida y sin interrupciones, lo cual es crucial para la capacidad de respuesta y eficiencia en los servicios de la ciudad inteligente.

El diseño del nuevo tendido de fibra óptica y la incorporación de fibras de backup aseguran una red robusta y preparada para futuras expansiones. Aprovechando las ventajas de la infraestructura 50G-PON, que ofrece un alto ancho de banda y baja latencia, se garantiza que las cámaras y los controladores de semáforos operen con la máxima eficiencia, fortaleciendo la conectividad y la respuesta de los sistemas críticos de la ciudad inteligente.



### Caso 3: Nuevo Tendido de Fibra Óptica

El Caso 03 introduce un tendido completamente nuevo de fibra óptica, optimizando la conectividad y escalabilidad de la red. Este despliegue integra ONUs para la conexión directa de dispositivos críticos y utiliza fibras de backup dedicadas para reforzar la redundancia y capacidad de la red.

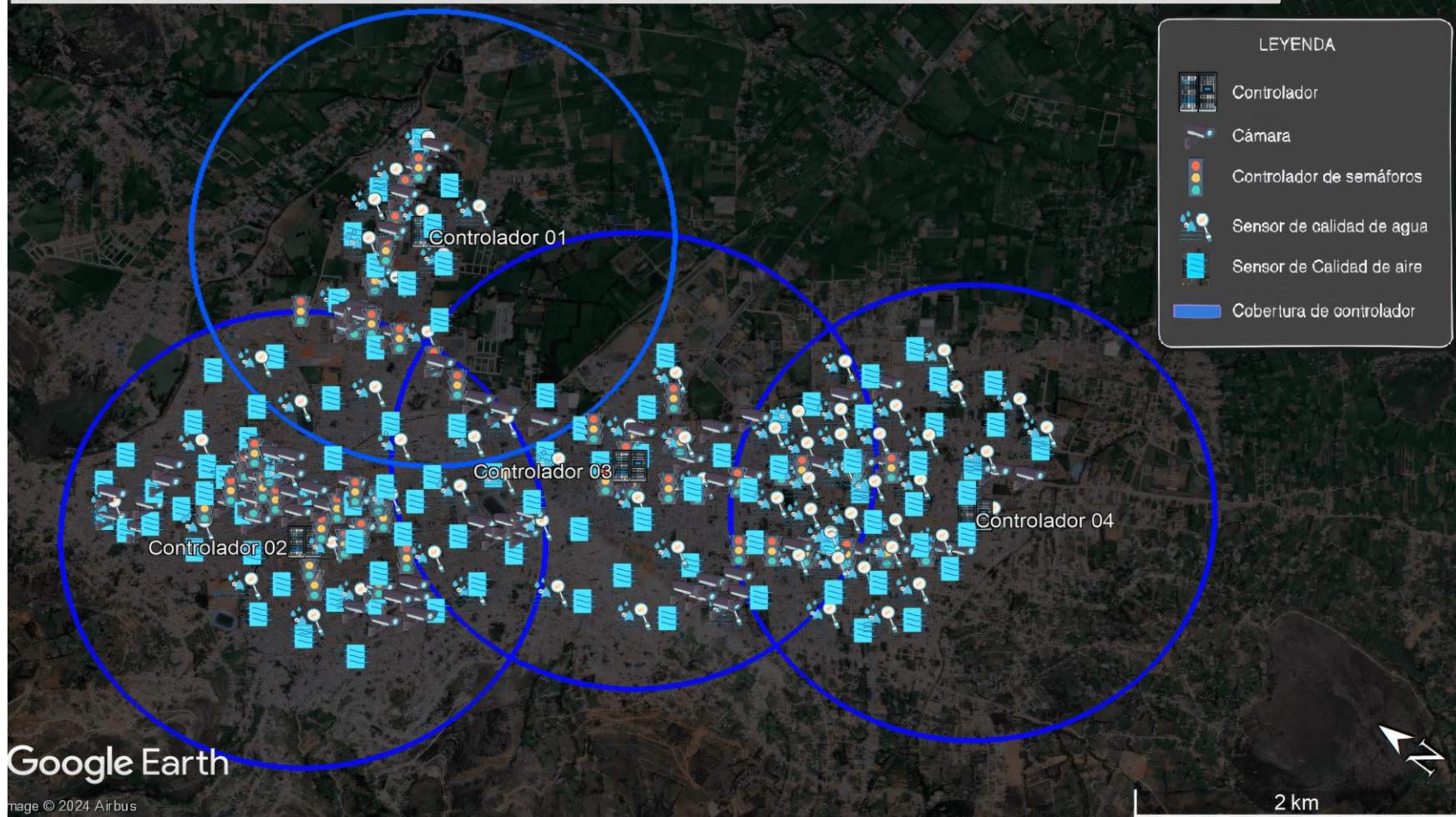


Fig. 69 Caso 3: Nuevo Tendido de Fibra Óptica

De los tres diseños evaluados, el Caso 2 - Diseño 02 se posiciona como la solución más equilibrada y efectiva para la implementación de la red 50G-PON en Cajamarca. Este diseño aprovecha eficientemente los recursos existentes, optimizando la capacidad y la redundancia de la red, y asegurando un alto rendimiento y disponibilidad para los servicios de la ciudad inteligente. Aunque el Caso 3 ofrece una infraestructura más avanzada y perfectamente adaptada para futuras expansiones, la complejidad de su despliegue lo hace menos viable. Por otro lado, el Caso 1 no cumple con las exigencias actuales ni futuras debido a sus limitaciones críticas en estabilidad, redundancia y capacidad de expansión, siendo descartado como opción viable.

La implementación del Diseño 02 del Caso 2 proporcionará a la zona urbana de Cajamarca una plataforma robusta y flexible, esencial para la evolución hacia una ciudad inteligente con un sistema de red óptica avanzada. Esta infraestructura asegurará una base sólida que respalde el desarrollo continuo de servicios tecnológicos y urbanos.

Tras la finalización del diseño y la validación de la infraestructura de telecomunicaciones propuesta para la ciudad, se desarrollará el siguiente objetivo, donde se definirán los equipos y recursos necesarios para la implementación de la red 50G-PON. Es fundamental garantizar que la selección de los equipos asegure un funcionamiento eficiente y una distribución óptima de los recursos, maximizando el rendimiento y la capacidad de la red para satisfacer las crecientes demandas de los usuarios en todas las áreas cubiertas.



### **3.5 EQUIPAMIENTO Y RECURSOS NECESARIOS PARA EL DESPLIEGUE DE LA TECNOLOGÍA 50G-PON.**

La implementación de la red de acceso y distribución 50G-PON diseñada previamente, requiere seleccionar los equipos y demás recursos técnicos que garantizarán el óptimo funcionamiento de la infraestructura.

Entre los componentes clave que permitirán materializar esta backbone de telecomunicaciones y potenciar al máximo sus capacidades, se detallarán los modelos más adecuados de OLT, ONU y controlador, así como el tipo de fibra recomendado con sus respectivos patch panels.

También se especificarán los switches, los gabinetes del data center que albergarán dichos equipos, las UPS para protección eléctrica, y los servidores de procesamiento y NAS, que posibilitarán la gestión centralizada y el procesamiento de todos los datos e información de la ciudad inteligente.

#### **3.5.1 Terminal óptica de línea (OLT)**

Se ha desarrollado una búsqueda y comparativa de dispositivos OLT, con el fin de evaluar las características, capacidades y funcionalidades que cada uno ofrece. La evaluación se basa en aspectos críticos como la escalabilidad, interoperabilidad, y funciones avanzadas, con una puntuación asignada para destacar la superioridad del equipo (véase Tabla 25).

OLT	Compatibilidad	Velocidad (Gbps)	Puertos	Funciones Avanzadas	Interoperabilidad	Escalabilidad	Total (de 5)
Huawei MA5800 X17	GPON, XG-PON, XGS-PON, 50G-PON	200 (configurable)	Ethernet 1G/10G, Wi-Fi 6, POTS	QoS, VLAN, IGMP, gestión avanzada	Alta	Alta	5/5
ZTE ZXA10 C300	GPON, XG-PON, XGS-PON, 50G-PON	200 (distribuida)	Ethernet 1G/10G, POTS	Gestión remota, QoS, seguridad	Media	Alta	4.5/5
Nokia 7360 ISAM FX	GPON, XG-PON, XGS-PON	10 por slot	Ethernet 1G/10G, POTS	QoS, seguridad, gestión remota	Alta	Media	4/5
Fiberhome AN6000	GPON, XGS-PON	100 (máximo)	Ethernet 1G/10G, Wi-Fi	Gestión avanzada, triple play	Media	Media	3.5/5

*Tabla 25 Comparativa de dispositivos OLT*

La OLT Huawei MA5800 X17 ha sido seleccionada como el equipamiento ideal para la red 50G-PON planteada, gracias a su arquitectura distribuida avanzada y su capacidad para soportar hasta 200 Gbps por slot, permitiendo la implementación de redes masivas sin comprometer el rendimiento. Este equipo se destaca por su integración con múltiples tecnologías PON, incluyendo XG-PON y 50G-PON, posicionándolo como una solución altamente escalable y preparada para el futuro, cumpliendo con los estándares más exigentes de telecomunicaciones.

El chasis de la MA5800 X17 cuenta con 17 slots, cada uno capaz de alojar tarjetas de red con un rendimiento de hasta 200 Gbps, lo que asegura una escalabilidad excepcional para absorber futuros crecimientos de la red. Esta capacidad permite implementaciones masivas sin bloqueos ni degradación del ancho de banda, respaldada por su potencia de salida de 8 dBm. Además, el equipo puede soportar hasta 16.000 usuarios simultáneos transmitiendo video en 4K sin interrupciones, gracias a su backplane de alta velocidad que garantiza un flujo de datos continuo y sin cortes (véase Fig. 70).



*Fig. 70 OLT SmartAX MA5800 Huawei.*

*Fuente: <https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/access/olt/smart-ng-olt-ma5800>.*

### **3.5.2 Transceptor óptico 50G-PON**

Se ha desarrollado una búsqueda y comparativa de transceptores ópticos 50G-PON, con el fin de evaluar las características, capacidades y funcionalidades que cada uno ofrece. La evaluación se basa en aspectos críticos como la velocidad de transmisión, compatibilidad con redes existentes, longitud de onda utilizada, y la funcionalidad avanzada, con una puntuación asignada para destacar la superioridad del equipo (véase Tabla 26).

Transceptor	Compatibilidad	Velocidad (Gbps)	Longitud de Onda	Funcionalidad Avanzada	Interoperabilidad	Aplicaciones	Total (de 5)
Accelink RTX300-3xx	50G-PON	50	O-band	NRZ coding, LDPC FEC, APD receiver	Alta	FTTH, backhaul Wi-Fi, industria	5/5
Huawei 50G-PON Optical Module	GPON, 10G-PON, 50G-PON	50	O-band	Integración multiprotocolo, alta precisión	Alta	Redes de campus, Wi-Fi 7	4.5/5
ZTE 50G-PON Transceiver	50G-PON	50	O-band	DAW y CO-DBA, mejora latencia baja	Media	Telemedicina, automatización	4/5
FS 50G-PON Module	50G-PON, 10G-PON	50	Múltiples	Modulación PAM-4, gestión avanzada	Alta	Redes empresariales, VR, AR	3.5/5

*Tabla 26 Comparativa de transceptores ópticos 50G-PON*

El transceptor óptico Accelink RTX300-3xx ha sido seleccionado como el equipamiento ideal para redes 50G-PON debido a su capacidad para ofrecer velocidades de 50 Gbps con alta fiabilidad. Este dispositivo destaca por utilizar tecnologías avanzadas como la codificación NRZ y corrección de errores LDPC, optimizando la recepción de señales en entornos de alta demanda. Su diseño permite una integración fluida con redes existentes y facilita la expansión hacia nuevas aplicaciones.

El Accelink RTX300-3xx es particularmente adecuado para despliegues de fibra que requieren alta capacidad y baja latencia, posicionándose como la mejor opción para infraestructura de telecomunicaciones que buscan un equilibrio entre rendimiento y escalabilidad futura (véase Fig. 71).



*Fig. 71 Transceptor óptico Accelink RTX300-3xx.*

*Fuente:*

[https://www.accelink.com/en/lighting\\_your\\_dreams/1747209148245803010.htm](https://www.accelink.com/en/lighting_your_dreams/1747209148245803010.htm)  
|

### **3.5.3 ONU**

Se ha desarrollado una búsqueda y comparativa de dispositivos ONU para redes 50G-PON, enfocada en aplicaciones para ciudades inteligentes. La evaluación se basa en aspectos críticos como la compatibilidad, velocidad de transmisión, funcionalidades avanzadas, y la interoperabilidad, con una puntuación asignada para destacar la superioridad del equipo (véase Tabla 27).



ONU	Compatibilidad	Velocidad (Gbps)	Puertos	Funciones Avanzadas	Interoperabilidad	Aplicaciones	Total (de 5)
ZTE ZXEN G300-N9	50G-PON, 10G-PON, GPON	50	Ethernet 50G, Wi-Fi 7	LDPC FEC, soporte Wi-Fi 7, alta sensibilidad	Alta	Ciudades inteligentes, empresas, campus	5/5
Huawei 50G-PON ONU	GPON, 10G-PON, 50G-PON	50	Ethernet 1G/10G	Coexistencia múltiple, manejo avanzado de redes	Alta	Redes de campus, control de tráfico	4.5/5
Nokia 50G-PON ONU	50G-PON	50	Ethernet 1G/10G	Optimización de latencia, alta capacidad de procesamiento	Media	Infraestructura de ciudad inteligente	4/5
FS 50G-PON ONU	50G-PON, XGS-PON	50	Múltiples	Codificación avanzada, gestión integral de datos	Alta	Gestión de redes urbanas	3.5/5

*Tabla 27 Comparativa de dispositivos ONU*

Siendo el ZTE ZXEN G300-N9 que destaca como el mejor dispositivo ONU para implementaciones en ciudades inteligentes debido a su capacidad para soportar velocidades simétricas de 50 Gbps (véase Fig. 72). Esto permite una conectividad robusta y de baja latencia, esencial para aplicaciones críticas como control de tráfico en tiempo real, monitoreo de infraestructura urbana, y gestión avanzada de servicios públicos. Equipado con algoritmos de corrección de errores LDPC y una alta sensibilidad de recepción, este ONU garantiza la estabilidad y eficiencia necesarias para las redes de alta demanda en entornos urbanos.



*Fig. 72 ONU ZTE ZXEN G300-N9.*

*Fuente: <https://www.zte.com.cn/global/about/news/ZTE-unveils-symmetric-8-port-50G-PON-Combo-and-50G-PON-Wi-Fi-7-ONU.html>*

#### **3.5.4 Controlador que se integre a redes 50GPON**

Se ha desarrollado una búsqueda y comparativa de controladores para su integración con redes 50G-PON, evaluando su capacidad de integración IoT, conectividad, robustez, y facilidad de gestión. La puntuación se ha ajustado para reflejar una valoración máxima de 5 puntos por dispositivo, destacando la superioridad del HPE Edgeline EL8000 (véase Tabla 28).

Controlador	Capacidad de Integración IoT	Conectividad 50GPON	Robustez y Fiabilidad	Facilidad de Gestión y Escalabilidad	Total (de 5)
HPE Edgeline EL8000	Muy Alta: Gestión avanzada de datos IoT	Muy Alta: SFP+ o QSFP+	Alta: Diseño robusto para el borde	Muy Alta: Análisis y expansión en tiempo real	5/5
Cisco Catalyst IR8300	Alta: Soporte para múltiples interfaces IoT	Alta: Módulo de fibra compatible	Muy Alta: Ideal para entornos industriales exigentes	Muy Alta: Modular y expansible	4.5/5
Siemens RUGGEDCOM RX1500	Muy Alta: Gestión de aplicaciones críticas	Muy Alta: Módulos de fibra	Muy Alta: Construido para entornos industriales hostiles	Alta: Escalable, pero gestión compleja	4/5
Nokia IoT Gateway	Alta: Conectividad flexible IoT	Alta: Conexión a fibra óptica	Alta: Fiabilidad en aplicaciones IoT	Alta: Gestión sencilla pero menos modular	3.5/5
Moxa UC-8200 Series	Alta: Soporta amplia gama de dispositivos IoT	Alta: Conectividad mediante SFP	Alta: Adecuado para transporte e industria	Alta: Gestión eficiente y escalabilidad aceptable	3.5/5
Advantech ECU-4553	Media: Gestión específica, no tan versátil	Media: Módulo SFP necesario	Media: Menos robusto en exteriores	Media: Adecuado para áreas específicas	3/5

*Tabla 28 Comparativa de controladores para integración a redes 50G-PON*

El HPE Edgeline EL8000 ha sido seleccionado como el controlador ideal para integrarse en redes 50G-PON debido a su capacidad avanzada para gestionar y analizar grandes volúmenes de datos IoT, además de su conectividad mediante SFP+ o QSFP+. Este dispositivo es ideal para ciudades inteligentes, gestionando de manera eficiente sistemas críticos como iluminación, semáforos, videovigilancia y gestión ambiental. Su robustez y escalabilidad aseguran que pueda adaptarse a la creciente demanda de dispositivos IoT, convirtiéndolo en la mejor opción para una implementación a gran escala (véase Fig. 29).



*Tabla 29 HPE Edgeline EL8000*

*Fuente: <https://www.hpe.com/h22228/video-gallery/us/en/ba14b71b-c9d6-43c1-ba10-fb08123a89d5/hpe-edgeline-el8000-animation--short-/video/?lang=en-US>*

### **3.5.5 Gateway LoRaWAN**

Se ha desarrollado una búsqueda y comparativa de gateways LoRaWAN, con énfasis en la gestión de sensores inalámbricos y aplicaciones de ciudades inteligentes. La evaluación se basa en la capacidad de conectividad, eficiencia energética, robustez, y adaptabilidad en entornos remotos, La puntuación se ha ajustado para reflejar una valoración máxima de 5 puntos por dispositivo (véase Tabla 30).

Gateway	Conectividad	Fuente de Energía	Robustez y Adaptabilidad	Capacidad de Gestión	Total (de 5)
SG50 Ultra Low Power	LoRaWAN, 4G	Solar, batería interna	Alta: IP67, resistente a temperaturas extremas	Soporta 2000 nodos, gestión remota	5/5
Milesight UG67	LoRaWAN, Wi-Fi, Ethernet	Batería recargable	Alta: Protección IP67, resistente	Conexión a 1000 dispositivos, gestión vía nube	4.5/5
Kerlink iFemtoCell-evolution	LoRaWAN, 4G LTE	Eléctrica, respaldo batería	Media: Adecuado para ambientes controlados	Gestión básica de nodos, compatible con múltiples servidores	4/5
RAK7249 Macro	LoRaWAN, GPS	Solar opcional, batería	Media: Protección IP65, menos robusto	Integración limitada en redes grandes	3.5/5

*Tabla 30 comparativa de gateways LoRaWAN*



El SG50 Ultra Low Power Solar LoRaWAN Gateway ha sido seleccionado como el mejor equipo para gestionar la conectividad de sensores inalámbricos en ciudades inteligentes. Este gateway destaca por su capacidad de operar de manera autónoma con energía solar y su batería integrada, permitiendo un despliegue sin cables en lugares remotos y desafiantes. Su diseño IP67 le permite soportar condiciones climáticas adversas, y su eficiencia energética prolonga la vida útil de la batería hasta 4 días sin luz solar, asegurando una conectividad ininterrumpida.

El SG50 está optimizado para aplicaciones como el monitoreo ambiental, la gestión de iluminación urbana, y la automatización industrial, conectando hasta 2000 dispositivos de IoT y proporcionando una solución escalable y sostenible para la gestión de redes en entornos urbanos (véase Fig. 73).



*Fig. 73 SG50 Gateway LoRaWAN*

*Fuente: <https://www.milesight.com/iot/product/lorawan-gateway/sg50>*

Ahora que se ha completado la búsqueda y selección de los equipos más adecuados para la OLT, transceptor óptico, ONU, controlador integrado con redes 50G-PON y el Gateway LoRaWAN, se procederá a la elección de los dispositivos encargados del funcionamiento de los servicios de la ciudad inteligente. Estos dispositivos, que incluyen diversos tipos de sensores, serán los responsables de capturar datos críticos o ejecutar acciones específicas, garantizando la eficiencia y efectividad en la gestión de los servicios urbanos. La

correcta elección y configuración de estos sensores es esencial para asegurar un rendimiento óptimo de la infraestructura de la ciudad inteligente, permitiendo una supervisión y respuesta en tiempo real a las necesidades y desafíos del entorno urbano.

### **3.5.6 Controlador de Semáforo**

Se ha realizado una evaluación comparativa de controladores de semáforo para, enfocándose en la conectividad, el ancho de banda y el uso recomendado en la gestión de tráfico en tiempo real en ciudades inteligentes. Se destaca el dispositivo Econolite 2070LX, seleccionando características clave y comparándolas con otras opciones del mercado (véase Tabla 31).

Dispositivo	Referencia	Conectividad	Uso Recomendado	Total (de 5)
Econolite 2070LX	2070LX	Fibra Óptica	Gestión de tráfico en tiempo real	5/5
Siemens M60	M60	Ethernet, Fibra	Control avanzado de intersecciones	4.5/5
Peek ATC 1000	ATC 1000	Ethernet, 4G LTE	Monitoreo remoto de semáforos	4/5
McCain ATC eX	eX	Ethernet	Semáforos inteligentes en áreas urbanas	3.5/5

*Tabla 31 Comparativa de controladores de semáforo*

El Econolite 2070LX ha sido seleccionado como el controlador de semáforo ideal para aplicaciones de ciudades inteligentes debido a su capacidad de conectarse mediante fibra óptica, lo que permite una gestión eficiente del tráfico en tiempo real con un ancho de banda estimado de 2 Mbps. Este dispositivo es altamente adecuado para controlar semáforos en intersecciones complejas y de alta demanda, asegurando una respuesta rápida y eficiente.

El Econolite 2070LX destaca por su capacidad para soportar múltiples dispositivos de control y gestionar datos críticos de tráfico, convirtiéndose en una herramienta clave para optimizar la movilidad urbana y reducir los tiempos de espera en semáforos (véase Fig. 74).



*Fig. 74 Econolite 2070LX*

*Fuente: <https://www.mccain-inc.com/products/controllers/2070-controllers/2070lx-controller>*

### **3.5.7 Cámara de Vigilancia**

Se ha realizado una búsqueda y comparativa de cámaras de vigilancia de gama alta adecuadas para el reconocimiento de placas, rostros y otras aplicaciones críticas con enfoque en ciudades inteligentes. La cámara seleccionada, Axis Q6215-LE, ha sido comparada con otros modelos destacados para determinar su superioridad en términos de calidad de imagen, conectividad y robustez (véase Tabla 32).

Cámara	Modelo	Resolución	Zoom	Iluminación IR	Uso Recomendado	Total (de 5)
Axis Q6215-LE	Q6215-LE	1080p	30x óptico	Hasta 400 m (1300 ft)	Vigilancia en exteriores, reconocimiento facial y de placas	5/5
Hikvision DS-2DE4425IW-DE	4425IW-DE	4 MP	25x óptico	Hasta 200 m	Control de tráfico y videovigilancia urbana	4.5/5
Dahua SD8A840WA-HNF	840WA-HNF	4K Ultra HD	40x óptico	Hasta 250 m	Vigilancia a gran escala en áreas industriales	4/5
Bosch MIC IP starlight 7100i	7100i	1080p	40x óptico	Hasta 300 m	Vigilancia perimetral y seguridad crítica	3.5/5

*Tabla 32 Comparativa de cámaras de vigilancia*

El Axis Q6215-LE ha sido seleccionado como la mejor opción para aplicaciones de vigilancia en ciudades inteligentes debido a su robusto diseño y capacidades avanzadas de reconocimiento. Con una resolución HDTV de 1080p, un zoom óptico de 30x y una iluminación infrarroja de largo alcance de hasta 400 metros, esta cámara está diseñada para capturar detalles precisos en condiciones de baja visibilidad y clima adverso. Además, su clasificación IP66, IP68 y IK10 garantiza su operatividad en condiciones extremas, incluyendo velocidades de viento de hasta 245 km/h (150 mph).

Esta cámara es ideal para la vigilancia de grandes áreas abiertas y se destaca en el reconocimiento detallado de objetos y personas, lo que la convierte en una herramienta esencial para mejorar la seguridad y la gestión del tráfico en zonas urbanas (véase Fig. 75).



*Fig. 75 Axis Q6215-LE*

*Fuente: <https://www.axis.com/es-es/products/axis-q6215-le/support>*

### **3.5.8 Sensor de Calidad de Aire para Redes LoRaWAN**

Se ha realizado una evaluación comparativa de sensores de calidad de aire compatibles con redes LoRaWAN, centrándose en su capacidad de monitoreo de compuestos volátiles, CO2 equivalente, temperatura y humedad, ideales para aplicaciones en ciudades inteligentes. El sensor elegido, Dragino LAQ4, ha sido evaluado junto a otros modelos para destacar su eficiencia en la gestión de la calidad del aire en diversas aplicaciones urbanas (véase Tabla 33).



Sensor	Modelo	Parámetros Medidos	Conectividad	Fuente de Energía	Aplicaciones	Total (de 5)
Dragino LAQ4	LAQ4	TVOC, eCO <sub>2</sub> , Temperatura, Humedad	LoRaWAN v1.0.3	Batería Li-SOCI <sub>2</sub> 4000mAh	Monitoreo ambiental, interiores	5/5
Decentlab DL-LP8P	DL-LP8P	CO <sub>2</sub> , Temperatura, Presión	LoRaWAN	Batería recargable	Laboratorios, entornos industriales	4.5/5
Elsys ELT-2	ELT-2	Temperatura, Humedad, Luminosidad	LoRaWAN	Batería interna recargable	Monitoreo ambiental en edificios	4/5
Bosch AMB5610	AMB5610	CO <sub>2</sub> , VOC, Presión, Temperatura	LoRa, Wi-Fi	Batería recargable	Control de calidad del aire urbano	3.5/5

*Tabla 33 comparativa de sensores de calidad de aire compatibles con redes LoRaWAN*

El Dragino LAQ4 ha sido seleccionado como el sensor de calidad de aire ideal para aplicaciones en redes LoRaWAN debido a su capacidad para medir múltiples parámetros ambientales, incluidos TVOC, eCO<sub>2</sub>, temperatura y humedad relativa. Este dispositivo se destaca por su bajo consumo de energía, con una batería que puede durar entre 7 y 10 meses, y su capacidad para enviar datos a través de la red LoRaWAN, lo que lo hace ideal para el monitoreo remoto en ciudades inteligentes y otros entornos críticos como hospitales y laboratorios. El Dragino LAQ4 también incluye características avanzadas como alarmas de temperatura y humedad, almacenamiento interno de datos con sello de tiempo, y la capacidad de calibración automática o manual para mejorar la precisión de las mediciones. Su diseño robusto permite una operación continua incluso en condiciones climáticas extremas, siendo una herramienta confiable para la gestión de la calidad del aire en entornos urbanos (véase Fig. 76).



*Fig. 76 Dragino LAQ4 LAQ4*

*Fuente: <https://www.thethingsnetwork.org/device-repository/devices/dragino/laq4/>*

### **3.5.9 Sensor de Calidad de Agua para Redes LoRaWAN**

Se ha llevado a cabo una evaluación comparativa para seleccionar un sensor de calidad de agua compatible con LoRaWAN, enfocado en la salud pública. Tras la evaluación, se ha seleccionado el sensor AquaMod LoRaWAN, que se destaca por su capacidad para medir parámetros críticos de calidad de agua, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones en salud pública y gestión de recursos hídricos (véase Tabla 34).

Sensor	Modelo	Parámetros Medidos	Conectividad	Fuente de Energía	Aplicaciones	Total (de 5)
AquaMod LoRaWAN	AquaMod	pH, ORP, Turbidez, Conductividad, DO	LoRaWAN	Batería Lithium 3.6V 26 Ah	Monitoreo de agua potable, acuicultura, aguas residuales	5/5
IQFLOW Solution Kit	IQFLOW	pH, Conductividad, DO, Turbidez	LoRaWAN	Batería y solar	Control de calidad de agua industrial y ambiental	4.5/5
In-Situ AquaTROLL 500	AquaTROLL 500	pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto	LoRaWAN, RS485	Batería interna	Acuicultura, aguas subterráneas, monitoreo ambiental	4/5
Libelium Smart Water	Smart Water	Turbidez, ORP, pH, Oxígeno Disuelto	LoRaWAN, NB-IoT	Batería recargable	Monitoreo de agua en ciudades inteligentes	3.5/5

*Tabla 34 Comparación de sensores de calidad de agua*

El AquaMod LoRaWAN ha sido seleccionado por su capacidad para medir en tiempo real parámetros clave como pH, ORP (potencial de oxidación-reducción), turbidez, conductividad y oxígeno disuelto, lo cual es esencial para asegurar la calidad del agua en aplicaciones de salud pública. Este dispositivo está diseñado para operar de forma autónoma durante varios años, gracias a su batería de larga duración y su diseño robusto con clasificación IP68, lo que lo hace apto para entornos desafiantes (véase Fig. 77).



*Fig. 77 AquaMod*

*Fuente: <https://waterqualitysensors.com/product/aquamod/>*

### **3.5.10 Sensores para contenedores Inteligentes para Redes LoRaWAN**

Se ha realizado una evaluación comparativa de sensores para contenedores inteligentes que se integran con la tecnología LoRaWAN, enfocados en la gestión eficiente de residuos en entornos urbanos. El dispositivo elegido, Sensoneo Smart Sensors, utiliza tecnología ultrasónica para medir el nivel de llenado de los contenedores en tiempo real, proporcionando datos esenciales para la toma de decisiones en la gestión de residuos (véase Tabla 36).

Dispositivo	Modelo	Tecnología de Medición	Conectividad	Resistencia	Aplicaciones	Total (de 5)
Sensoneo Smart Sensors	Single Sensor 3.0	Ultrasonido, detección de inclinación y fuego	LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT	IP69, IK10	Gestión de residuos urbanos, industriales	5/5
Enevo One	Eno B12	Ultrasonido	LoRaWAN, 4G LTE	IP67	Monitoreo de contenedores en exteriores	4.5/5
Econet SmartBin	Bin-E 2.0	Infrarrojo, inclinación	LoRa, GSM	IP68	Monitoreo de residuos comerciales y domésticos	4/5
SmartBin SN1	SN1	Ultrasonido	Sigfox, LoRa	IP66	Contenedores pequeños y medianos	3.5/5

*Tabla 35 comparativa de sensores para contenedores inteligentes*

El Sensoneo Smart Sensors ha sido seleccionado por su precisión y robustez en la medición de niveles de llenado mediante tecnología ultrasónica, ofreciendo una conectividad versátil con varias redes IoT, incluyendo LoRaWAN. Sus características avanzadas como la detección de inclinación y alarma contra incendios hacen que este sensor sea ideal para contenedores de todo tipo, desde pequeños basureros hasta grandes depósitos industriales. Además, su resistencia al agua y golpes (IP69, IK10) garantiza una operación confiable incluso en condiciones adversas (véase Fig. 78).



*Fig. 78 Sensoneo Smart*

*Fuente: <https://sensoneo.com/product/ultrasonic-bin-sensors/>*

### **3.5.11 Luminarias Inteligentes para Redes LoRaWAN**

Se ha realizado una búsqueda y comparación de sensores de iluminación inteligente para entornos urbanos, integrados con la red LoRaWAN. Estas tecnologías permiten una gestión eficiente y adaptativa de las luminarias urbanas, optimizando el consumo energético y mejorando la seguridad pública. El sistema seleccionado es el TEKTELIC LoRaWAN Smart Street Lighting, que destaca por su capacidad de integración y su eficiencia en la gestión de la iluminación en tiempo real (véase Tabla 36).



Dispositivo	Modelo	Tecnología de Medición	Conectividad	Características Destacadas	Aplicaciones	Total (de 5)
TEKTELIC LoRaWAN Smart Lighting	VELOCITi LMS	Sensores de luz, movimiento	LoRaWAN	Control remoto, ajuste de intensidad	Iluminación urbana, ahorro energético	5/5
CITiLIGHT Smart Lighting	VELOCITi LMS	Sensores ambientales	LoRaWAN	Control adaptativo, ahorro energético	Iluminación en calles y zonas peatonales	4.5/5
Semtech Smart Lighting	LoRaWAN- enabled	Iluminación adaptativa	LoRaWAN	Optimización en tiempo real, datos analíticos	Iluminación de seguridad y tráfico	4/5
Macnman Smart Lights	LoRa Street Lights	Sensores de luz y presencia	LoRaWAN	Ajuste automático según condiciones	Control de tráfico y reducción de costes	3.5/5

*Tabla 36 Comparación de sensores de iluminación inteligente para entornos urbanos*

El TEKTELIC LoRaWAN Smart Lighting ha sido seleccionado como la mejor opción para gestionar la iluminación urbana debido a su capacidad para optimizar el uso de la luz en función de las condiciones ambientales y del tráfico. Con una conectividad LoRaWAN, estos sistemas permiten ajustar los niveles de iluminación de manera remota y en tiempo real, mejorando la seguridad en áreas críticas.

Los sistemas de iluminación inteligente con LoRaWAN pueden ajustar su funcionamiento en función de datos como la luz ambiental, la presencia de peatones o vehículos, y las condiciones climáticas, ofreciendo un control adaptativo que maximiza la eficiencia energética y contribuye a los objetivos de sostenibilidad urbana (véase Fig. 79).



*Fig. 79 TEKTELIC Smart Lighting VELOCITi LMS*

Fuente: <https://www.digikey.com/en/products/detail/tektelic-communications-inc/T0005204/11203698>

### **3.5.12 Sensor de Conteo de Personas para Redes LoRaWAN**

Se ha llevado a cabo una búsqueda y comparativa de sensores de conteo de personas para obtener datos del transporte público, con especial enfoque en aquellos que ofrecen integración con redes LoRaWAN para una conectividad eficiente y de largo alcance. El dispositivo seleccionado es el Milesight VS351, diseñado para mejorar la gestión del flujo de pasajeros y optimizar el transporte urbano mediante datos precisos de conteo de personas (véase Tabla 37).

Sensor	Modelo	Tecnología de Medición	Conectividad	Características Destacadas	Aplicaciones	Total (de 5)
Milesight VS351	VS351	Termopila y radar, bi-direccional	LoRaWAN	Conteo preciso (95%), baja potencia, GPS, anónimo	Transporte público, entradas y salidas	5/5
Vera-City Traffic Counter	VCT-100	IR y tecnología de video	LoRaWAN	Detección avanzada, integración en tiempo real	Paradas de autobús, trenes	4.5/5
Sensmax Pro	PRO-IR	Infrarrojo y sensor de radar	LoRa, Wi-Fi	Conteo de precisión media, detección de dirección	Control de acceso, comercios	4/5
SmartEco PTC-2000	PTC-2000	Sensores IR duales	Sigfox, LoRaWAN	Detección de movimiento y direccionalidad básica	Espacios cerrados, control de acceso	3.5/5

*Tabla 37 comparativa de sensores de conteo de personas*

El Milesight VS351 ha sido seleccionado por su capacidad para realizar un conteo bidireccional preciso de personas en entornos complejos, como el transporte público. Equipado con tecnología de termopila y radar, el VS351 se destaca por su precisión del 95% y la capacidad de diferenciar entre personas y otras fuentes de calor, reduciendo así los falsos positivos. Además, su integración con LoRaWAN permite la comunicación remota y la gestión de datos en tiempo real, asegurando un monitoreo continuo y confiable sin necesidad de conexiones costosas (véase Fig. 80).



*Fig. 80 Milesight VS351*

*Fuente: <https://www.milesight.com/iot/product/lorawan-sensor/vs351>*

### **3.5.13 Sensor GPS para Redes LoRaWAN**

Se ha realizado una evaluación y comparativa de los sensores GPS compatibles con LoRaWAN para su uso en transporte público, con especial enfoque en la precisión, eficiencia energética y capacidad de integración en redes IoT. El dispositivo seleccionado es el Dragino LoRaWAN LGT-92, el cual destaca por su capacidad de seguimiento en tiempo real y su diseño orientado a aplicaciones de movilidad y seguridad (véase Tabla 38).

Sensor	Modelo	Tecnología	Conectividad	Características Destacadas	Aplicaciones	Total (de 5)
Dragino LGT-92	LGT-92	GPS con 9-axis IMU	LoRaWAN	Seguimiento en tiempo real, batería recargable, botón de emergencia	Transporte público, gestión de flotas	5/5
Tektelic Kona Tracker	Kona Tracker	GPS, acelerómetro	LoRaWAN	Alta precisión, conectividad robusta, batería de larga duración	Logística, seguimiento de activos	4.5/5
Kerlink Wirnet iFemtoCell	iFemtoCell	GPS, sensor de movimiento	LoRaWAN, LTE	Monitorización de posición y movimiento, opciones avanzadas de configuración	Transporte y seguridad	4/5
Digital Matter Yabby Edge	Yabby Edge	GPS y tecnología de seguimiento BLE	LoRaWAN, Sigfox	Diseño compacto, ideal para objetos pequeños, batería eficiente	Seguimiento de activos ligeros	3.5/5

*Tabla 38 comparativa de los sensores GPS compatibles con LoRaWAN*

El Dragino LGT-92 es una opción ideal para el seguimiento en tiempo real de vehículos de transporte público gracias a su módulo GPS de baja potencia y su conectividad LoRaWAN, lo cual permite alcanzar largas distancias con un bajo consumo energético. Este dispositivo incluye un acelerómetro de 9 ejes que mejora la detección de movimiento y posición, y cuenta con un botón de emergencia que puede enviar alertas inmediatas en caso de situaciones críticas. El LGT-92 puede transmitir datos de ubicación con una precisión de menos de 2.5 metros y ajustar su frecuencia de transmisión en función del movimiento detectado, lo que lo convierte en una herramienta eficiente para la gestión de flotas y la seguridad del transporte público. Además, su fácil configuración mediante comandos AT y su capacidad para integrarse en plataformas IoT lo hacen una solución versátil y de alto rendimiento para entornos urbanos y aplicaciones de seguridad (véase Fig. 81).



*Fig. 81 LGT-92*

*Fuente: <https://www.dragino.com/products/tracker/item/142-lgt-92.html>*

Tras describir los equipos activos claves de la red, es imprescindible abordar el medio físico sobre el cual se propagarán todos estos gigabits. La fibra óptica resulta fundamental, con distintos tipos y características según la función y ubicación en la topología total.

Siendo los cables de fibra óptica seleccionados para los distintos tramos de la red:



- Conexiones ONU: Cable de fibra óptica monomodo G.657.A2, ideal para tendido de última milla con baja atenuación y alta flexibilidad.
- Centro histórico: Fibra óptica monomodo Corning SMF-28e+ LL para micro canalización subterránea no intrusiva a edificaciones históricas, con capacidad de soportar curvaturas extremas.

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas detalladas de cada tipo de fibra óptica seleccionada para los diferentes tramos.

### 3.5.14 Fibra óptica para ONUS

Se ha realizado una evaluación y comparativa donde la fibra óptica monomodo G.657.A2 ha sido seleccionada para los enlaces de conexión entre las redes ya desplegadas y las unidades de red óptica (ONU) (véase Tabla 39).

Tipo de Fibra	Modelo	Atenuación (dB/km)	Radio de Curvatura	Aplicaciones	Total (de 5)
G.657.A2	Fibra G.657.A2	≤ 0.4 (1550 nm)	Radio de curvatura ≤ 7.5 mm	Redes FTTH, enlaces ONU, backup	5/5
G.652.D	Fibra G.652.D	≤ 0.35 (1310 nm)	Radio de curvatura ≥ 30 mm	Redes troncales, infraestructura básica	4.5/5
G.657.B3	Fibra G.657.B3	≤ 0.4 (1550 nm)	Radio de curvatura ≤ 5 mm	Instalaciones complejas, interiores	4/5
G.657.A1	Fibra G.657.A1	≤ 0.35 (1550 nm)	Radio de curvatura ≤ 10 mm	Enlaces de última milla	3.5/5

*Tabla 39 Comparativa de fibra óptica para ONU*

Este tipo de fibra se caracteriza por su alta flexibilidad y baja atenuación, lo que la hace ideal para implementaciones en entornos urbanos donde se requieren radios de curvatura pequeños sin comprometer la calidad de la señal.

(véase Fig. 82). También cumple norma ITU-T sobre dispersión cromática y polarización modo (PMD). Con ello se garantiza integridad de la señal óptica en el recorrido FTTH y enlaces de respaldo hasta las ONU.

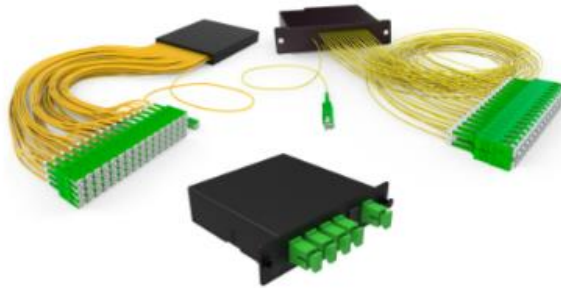


*Fig. 82 Fibra óptica monomodo G.657.A2.*

*Fuente: <https://wbnetworks.com.au/blog/g652d-vs-g657a2-singlemode-optical-fibres-differences-and-advantages>.*

### **3.5.15 Splitter's ópticos**

Los divisores o splitters ópticos modulares son componentes completamente pasivos (sin alimentación eléctrica) clave en las redes PON para dividir la señal de luz entrante en múltiples salidas de fibra. En su forma más común, constan de una fibra de entrada y N fibras de salida, distribuyendo uniformemente la potencia lumínica entre todas las salidas. Estos son conocidos como splitters balanceados (véase Fig. 84). También se emplearán splitters desbalanceados, los cuales tienen dos salidas con repartición asimétrica de la potencia óptica según necesidades. Se evalúan distintas tecnologías balanceadas (1x2, 1x4, 1x8, 1x16) y desbalanceadas (10/90, 20/80, 30/70, 40/60).

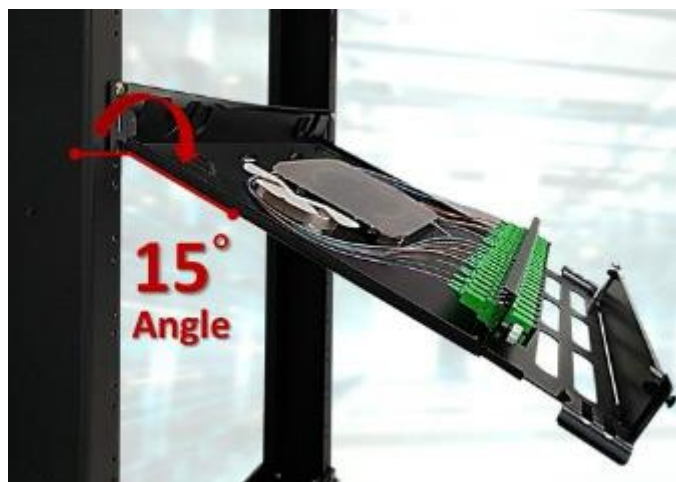


*Fig. 83 Divisor óptico modular.*

*Fuente: <https://www.furukawalatam.com/es/catalogo-de-productos-detalles/divisor-optico-modular>*

### **3.5.16 Panel de Fibra Óptica de 36 Puertos**

Se implementará un panel de fibra óptica modular de 36 puertos LC duplex para la terminación del cableado troncal de backbone y su interconexión con los equipos activos del data center. El panel admite tanto fibra óptica monomodo como multimodo, aceptando cordones LC/SC/MTP según requerimiento. Su densidad de 36 cores en apenas 1 unidad de rack optimiza el espacio, facilitando el cableado ordenado mediante anillos de guiado y etiquetado de puertos frontal/posterior (véase Fig. 85).



*Fig. 84 Panel de Fibra Óptica de 36 Puertos.*

*Fuente: <https://www.crxconec.com/es/product/LGX-fiber-optic-panel.html>*

Una vez presentadas las especificaciones técnicas de la infraestructura de red óptica, es momento de detallar los elementos activos que serán alojados en el data center.

### **3.5.17 Servidor PowerEdge R930**

El servidor Dell PowerEdge R930 ha sido seleccionado para su uso en el Data Center debido a su capacidad para manejar cargas de trabajo de alto rendimiento y su flexibilidad en la configuración de almacenamiento y memoria. Este servidor es una solución ideal para aplicaciones críticas y de misión como bases de datos en memoria, OLTP, y virtualización a gran escala. A continuación, se presenta una comparación con otros servidores de alta gama (véase Tabla 41).

Servidor	Modelo	Procesadores	Memoria RAM	Almacenamiento	Aplicaciones	Total (de 5)
Dell PowerEdge R930	R930	4 x Intel Xeon E7-8880 v3 (18 núcleos)	Hasta 6 TB DDR4	24 bahías para SSD/HDD NVMe	Virtualización, OLTP, bases de datos	5/5
HPE ProLiant DL580 Gen10	DL580 Gen10	4 x Intel Xeon Scalable (28 núcleos)	Hasta 6 TB DDR4	16 bahías, opciones SAS y NVMe	Aplicaciones de misión crítica	4.5/5
Cisco UCS C480 M5	C480 M5	4 x Intel Xeon Scalable (28 núcleos)	Hasta 12 TB DDR4	16 bahías NVMe/SAS	IA, ML, Big Data, virtualización	4/5
Lenovo ThinkSystem SR950	SR950	4 x Intel Xeon Scalable (28 núcleos)	Hasta 12 TB DDR4	24 bahías NVMe	Computación de alto rendimiento, ERP	3.5/5

*Tabla 40 Comparación de servidores*

El Dell PowerEdge R930 destaca por su capacidad de configuración con hasta cuatro procesadores Intel Xeon E7-8880 v3, lo que proporciona un total de 72 núcleos y un rendimiento excepcional para entornos de bases de datos y virtualización intensivos. Con soporte para hasta 6 TB de memoria RAM DDR4 y 24 bahías de almacenamiento compatibles con SSD y NVMe, el R930 es capaz de manejar múltiples cargas de trabajo simultáneamente, maximizando la eficiencia operativa del Data Center.

Además, el servidor incorpora la tecnología iDRAC para la gestión remota, lo cual facilita la implementación, actualización y monitoreo de los sistemas sin la necesidad de intervención física constante. Estas características lo hacen especialmente adecuado para ambientes de misión crítica donde la fiabilidad y la disponibilidad son esenciales (véase Fig. 86). Considerando los masivos volúmenes de información generados desde múltiples fuentes en una ciudad inteligente, se requiere un servidor de backend como este, apto para ingesta y análisis a gran escala.



*Fig. 85 Servidor PowerEdge R930.*

*Fuente: [https://i.dell.com/sites/csdocuments/Shared-Content\\_data-Sheets\\_Documents/es/la/PowerEdge\\_R930\\_spec\\_sheet\\_MLK\\_ES-XL.pdf](https://i.dell.com/sites/csdocuments/Shared-Content_data-Sheets_Documents/es/la/PowerEdge_R930_spec_sheet_MLK_ES-XL.pdf)*

Por tanto, con su balance de potencia de procesamiento, memoria expansiva y capacidad de almacenamiento interno enorme utilizando HDD SAS Nearline, el Dell PowerEdge R930 entrega el rendimiento y escalabilidad necesarios en el núcleo de la plataforma smart city.



### **3.5.18 Servidor NAS RS1619 xs**

El Synology RS1619xs+ ha sido seleccionado como el servidor NAS después de una comparativa entre otros equipos siendo ideal para el Data Center debido a su rendimiento superior y capacidad de expansión, lo cual lo hace apto para tareas intensivas como la virtualización, copia de seguridad empresarial, y gestión de almacenamiento en redes complejas. Este dispositivo es ideal para manejar grandes volúmenes de datos y soportar operaciones críticas dentro del Data Center (véase Tabla 42).

Servidor NAS	Modelo	Procesador	Memoria RAM	Capacidad de Almacenamiento	Aplicaciones	Total (de 5)
Synology RS1619xs+	RS1619xs+	Intel Xeon D-1527 (4 núcleos)	8GB DDR4 ECC (hasta 64GB)	4 bahías, expansión a 16 bahías con RX1217	Virtualización, backup, gestión de datos	5/5
QNAP TS-1677X	TS-1677X	AMD Ryzen 7	8GB DDR4	16 bahías SATA	Aplicaciones de AI, Big Data	4.5/5
Asustor Lockerstor 10	AS6510T	Intel Atom C3538 (4 núcleos)	8GB DDR4 (hasta 64GB)	10 bahías SATA/NVMe	Multimedia, backup, almacenamiento en red	4/5
Netgear ReadyNAS 526X	RN526X	Intel Xeon D-1508 (2 núcleos)	4GB DDR4	6 bahías SATA	Backup empresarial, nube privada	3.5/5

*Tabla 41 Comparación de servidores NAS*

El Synology RS1619xs+ destaca por su procesador Intel Xeon D-1527 de 4 núcleos y su memoria ECC DDR4, que puede expandirse hasta 64GB, proporcionando un rendimiento óptimo para tareas que demandan alta capacidad de procesamiento. El servidor incluye ranuras para SSD NVMe y SATA, mejorando significativamente la velocidad de lectura y escritura, lo cual es ideal para virtualización y aplicaciones empresariales de alto rendimiento. Este servidor NAS también incluye un puerto PCIe que permite la instalación de adaptadores de red de 10GbE, aumentando la velocidad de transferencia de datos y proporcionando una integración robusta en redes de alta velocidad (véase Fig. 87). Su sistema operativo DSM (DiskStation Manager) ofrece un amplio soporte para aplicaciones de backup, gestión de almacenamiento, y virtualización, lo que lo convierte en una solución completa y adaptable para cualquier Data Center.



*Fig. 86 Servidor NAS RS1619 xs.*

*Fuente: <https://www.synology.com/es-mx/products/RS1619xs+specs>.*

### **3.5.19 Smart-UPS SRTL5KRM2UT**

El APC Smart-UPS SRTL5KRM2UT ha sido seleccionado para su uso en el Data Center después de hacer una comparativa con otros equipos UPS debido a su alta eficiencia energética y capacidad de protección de energía, especialmente diseñada para entornos críticos y de alto rendimiento. Este UPS utiliza tecnología de conversión doble en línea y baterías de ion de litio, lo que le permite una mayor densidad de potencia y un tiempo de funcionamiento extendido en comparación con modelos tradicionales de baterías de plomo-ácido (véase Tabla 43).

UPS	Modelo	Capacidad	Batería	Configuración	Aplicaciones	Total (de 5)
APC Smart-UPS SRTL5KRM2UT	SRTL5KRM2UT	5000VA / 5000W	Lithium-ion, 8- 10 años vida útil	Rack/Tower, 2U	Data centers, infraestructura crítica	5/5
Eaton 9PX	9PX 6000	6000VA / 5400W	VRLA, vida útil 3-5 años	Rack/Tower, 3U	Centros de datos, sistemas de red	4.5/5
Vertiv Liebert GXT5	GXT5- 5000MVRT5UXLN	5000VA / 5000W	Lithium-ion, batería de larga duración	Rack/Tower, 5U	Servidores, sistemas de emergencia	4/5
CyberPower OL6000RT	OL6000RT	6000VA / 5400W	VRLA, batería intercambiable	Rack/Tower, 4U	Redes y centros de datos de tamaño mediano	3.5/5

*Tabla 42 Comparación de UPS*

El APC Smart-UPS SRTL5KRM2UT destaca por su capacidad de proporcionar una potencia continua y limpia a los equipos críticos del Data Center, con una eficiencia de hasta 5000W y un diseño compacto que permite un fácil montaje en configuraciones de rack o torre. Su batería de ion de litio ofrece una vida útil tres veces mayor que las baterías tradicionales de VRLA, lo que reduce significativamente los costos de mantenimiento y el tiempo de inactividad.

Además, este UPS es compatible con la plataforma de gestión EcoStruxure IT de Schneider Electric, permitiendo el monitoreo y control remoto de la energía para optimizar el rendimiento y la seguridad operativa. Su diseño modular y capacidad de expandir la duración con hasta 10 baterías externas lo hacen ideal para aplicaciones que requieren alta disponibilidad y resiliencia (véase Fig. 88).



*Fig. 87 Smart-UPS SRTL5KRM2UT.*

*Fuente: <https://www.apc.com/pe/es/product/SRTL5KRM2UT/apc-smartups-online-5kva-i%C3%B3n-litio-montaje-en-rack-2u-208-240v-2x-l620r+-2x-l630r-tomas-nema-tarjeta-de-red-autonom%C3%ADa-extendida-con-kit-de-ra%C3%ADles/?parent-subcategory-id=88976>*

### **3.5.20 Switch core Cisco Catalyst 9400 Series**

El Cisco Catalyst 9400 Series ha sido seleccionado des pues de hacer una comparativa con otros switches para su uso en el Data Center debido a su capacidad de alta densidad y rendimiento excepcional, diseñado específicamente para aplicaciones críticas, entornos de alta disponibilidad y gestión avanzada de red. Este switch modular ofrece una amplia gama de opciones de puertos y capacidades, asegurando una conectividad robusta y segura para los dispositivos del Data Center (véase Tabla 44).

Switch	Modelo	Capacidad de Switching	Puertos	Características Destacadas	Aplicaciones	Total (de 5)
Cisco Catalyst 9400 Series	C9400	Hasta 9.6 Tbps	Hasta 384 puertos UPOE/PoE+	Segmentación segura, soporte para IoT, alta disponibilidad	Core/Aggregación, acceso en Data Centers	5/5
Cisco Catalyst 9500 Series	C9500	Hasta 6.4 Tbps	Soporte para 100G	Optimización para MPLS, servicios de enrutamiento avanzados	Núcleo de red, conectividad empresarial	4.5/5
Arista 7500R Series	7500R	Hasta 150 Tbps	Puertos 100/400G	Alta capacidad para Data Centers, baja latencia	Redes de alto rendimiento, computación intensiva	4/5
Juniper EX9200 Series	EX9200	Hasta 13.2 Tbps	Puertos 10G/40G/100G	Escalabilidad avanzada, integración SDN	Aplicaciones en redes campus y Data Centers	3.5/5

*Tabla 43 Comparación de servidores NAS*



El Cisco Catalyst 9400 Series ofrece una capacidad de hasta 9.6 Tbps, lo que lo hace ideal para manejar grandes volúmenes de tráfico en tiempo real y garantizar la continuidad operativa de los sistemas críticos en el Data Center. Su diseño modular y la capacidad para soportar hasta 384 puertos con alimentación PoE, PoE+, y UPOE+ proporcionan una flexibilidad sin igual, permitiendo conectar una amplia gama de dispositivos, incluidos equipos de IoT y sistemas de seguridad. Este switch es altamente seguro, incorporando tecnologías como la segmentación SD-Access y cifrado MACsec 256, lo que reduce la superficie de ataque y facilita la contención rápida de amenazas. Además, está diseñado para soportar la infraestructura del futuro con opciones de virtualización y servicios en la nube, gestionando redes complejas con eficiencia y un enfoque centrado en la automatización y la inteligencia operativa (véase Fig. 52).



*Fig. 52 Switch Cisco Catalyst 9400.*

*Fuente:*

*<https://www.cisco.com/site/us/en/products/networking/switches/catalyst-9400-series-switches/index.html>*

### **3.5.21 Gabinete GW-2868 24U**

El gabinete seleccionado es el modelo GW-2868 de 24 unidades rack con marco abatible. Destaca por su diseño que permite girar la estructura más de 90 grados hacia afuera, facilitando así el acceso al backplane de los equipos para tareas de revisión, cableado y upgrades.

La carcasa posee Dimensión externa de 44.4" de alto x 20.5" de ancho x 23" de fondo, con 465mm de distancia entre parales y capacidad de carga estática de 130 libras, certificado bajo norma UL2416 (véase Fig. 90). Incluye puerta frontal de vidrio de seguridad para visualizar el estado de equipos, con cerradura de llave única para limitar acceso. La estructura es completamente soldada y posee perforaciones para ventilación garantizando condiciones ambientales óptimas. El GW-2868 constituye así una inmejorable alternativa todo en uno para rackeo seguro de switches, routers, paneles de fibra, servidores y demás activos críticos del data center.



*Fig. 88 Gabinete GW-2868 24U.*

Fuente: <https://www.questinter.com/portafolio-gabinetes-de-pared/portafolio-gabinetes-abatibles/gw-2868>.

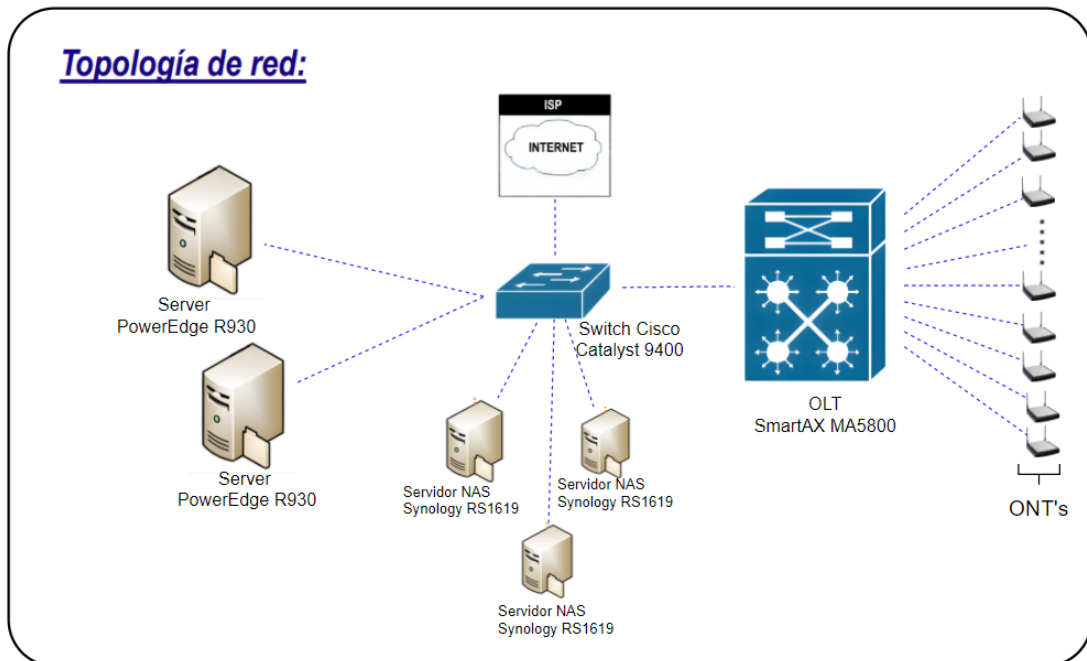
Ahora que se ha completado la selección de todo el equipamiento necesario, se procederá a desarrollar la topología de red con los equipos ya seleccionados. Este diseño asegurará una integración óptima de todos los componentes, garantizando una conectividad eficiente y un rendimiento adecuado de la red 50G-PON planteada para la ciudad de Cajamarca.

### 3.6 TOPOLOGÍA DE RED CON EQUIPOS

Se tiene la siguiente topología de red con los equipos especificados previamente dentro del equipamiento.

Mostrando las interconexiones entre los diferentes elementos (véase Fig. 91), incluyendo:

- Conexión al ISP o proveedor de Internet.
- Servidores de respaldo y procesamiento de datos recopilados.
- Conexión a la OLT para llegar a las redes ONU.
- Switch core.



*Fig. 89 Topología de red*

De esta manera, se aseguran capacidades de crecimiento, disponibilidad de red y operabilidad ante fallas redundantes para garantizar la continuidad en el funcionamiento dentro del data center y los servicios que soportará para la ciudad inteligente.

Tras diseñar la topología de red para la ciudad inteligente, se elaboró un diagrama lógico de interconexiones entre los sensores de captura de datos y el data center de esta manera tenemos una visión más completa de la captura y procesamiento de datos.

### 3.7 DIAGRAMA LÓGICO

Este diagrama lógico actúa como una hoja de ruta que mapea cómo se enlazarán ordenadamente los diversos sensores y dispositivos con la plataforma central, definiendo claramente la transmisión de sus datos a través de la red 50G-PON. Al visualizar la interacción entre las fuentes de información, se garantiza que los datos recopilados sean gestionados de manera eficiente y alimentan adecuadamente las aplicaciones desplegadas. El diagrama destaca las dos conexiones esenciales a las ONU: una dedicada a los controladores, mientras que la otra se encarga de integrar cámaras de seguridad y controladores de semáforos. Esta organización asegura que cada componente clave de la red opere en armonía, maximizando la eficiencia y la capacidad de respuesta del sistema (véase Fig. 92).

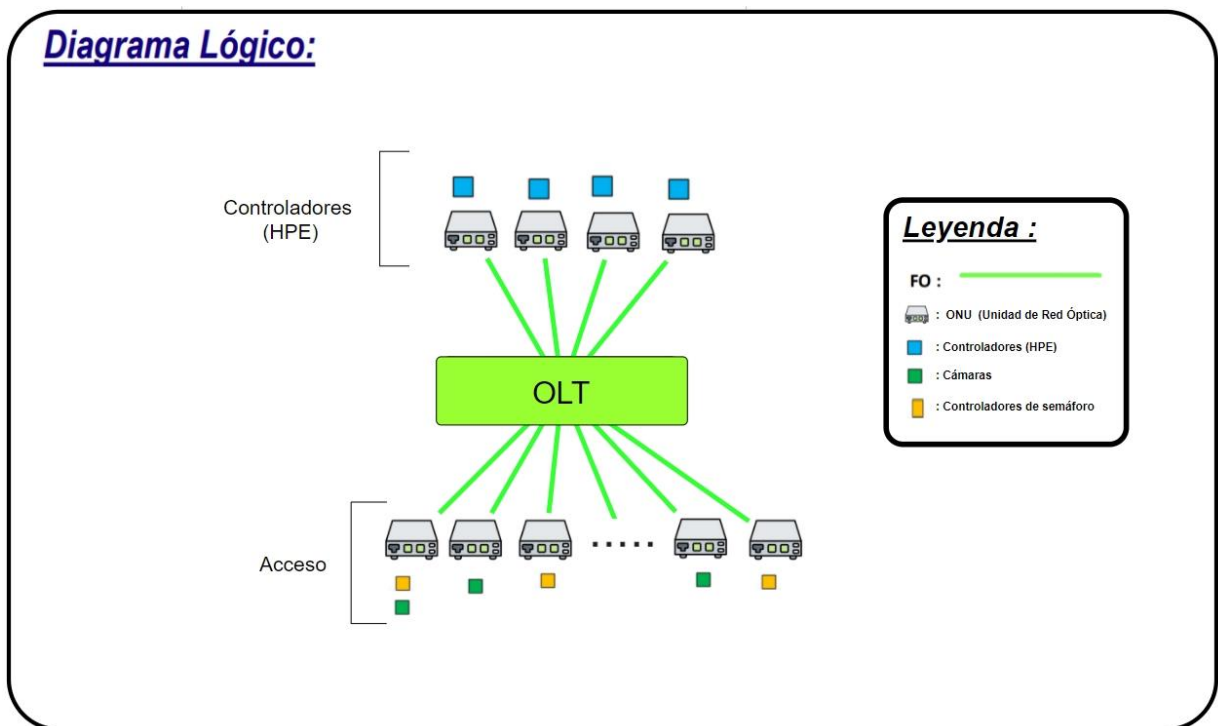


Fig. 90 Diagrama lógico

Asimismo, se muestra cómo cada ONU se interconecta a través de la red hasta llegar al data center. De esta manera, los datos capturados por los sensores de luminosidad, temperatura, calidad de aire y otros, son transmitidos por las ONUs asociadas, para finalmente ser procesados y analizados en el data center, dando soporte a las soluciones inteligentes de la ciudad. Considerando la criticidad de los servicios y datos que se gestionarán para habilitar las funcionalidades

inteligentes de la ciudad, es necesario un Data Center que asegure los más altos niveles de disponibilidad, seguridad y protección. Por ello, se procede al diseño de un data center de Nivel V ICREA (HSHA-WCQA), bajo las recomendaciones de la norma peruana ISO/IEC 22237, la cual establece condiciones estrictas de redundancia eléctrica y mecánica, tolerancia a fallos, monitoreo proactivo y protección física.

### **3.8 DISEÑO DEL DATA CENTER NIVEL V ICREA (HSHA-WCQA) BAJO NORMATIVAS PERUANAS ISO/IEC 22237**

El Data Center no solo debe estar adecuadamente integrado a las redes de fibra óptica analizadas previamente. Además, debe garantizar disponibilidad permanente, escalabilidad ante crecimientos de demanda y resiliencia para proteger la información crítica de la ciudad.

Se propone un data center con los estándares rigurosos de ICREA Nivel V HSHA-WCQA (High Security, High Available World Class ,Quality Assurance) donde destaca por su enfoque en la redundancia y la garantía de calidad los cuales serán adaptados bajo la normativa peruana ISO/IEC 22237 para asegurar una disponibilidad del 99.9%, cumpliendo con los requisitos establecidos para entornos críticos en Perú.

El data center contará con múltiples acometidas eléctricas, grupos electrógenos y sistemas de climatización redundantes, así como redundancia en todos los niveles de cableado estructurado. Los requisitos de construcción corresponden a concreto armado intenso con compartimentación de áreas críticas. De esta manera se garantiza la continuidad operativa de los servicios alojados ante cualquier contingencia.

#### **3.8.1 Infraestructura física**

Se propone el diseño de las instalaciones para un centro de datos, destinando un espacio físico de 4 metros de largo por 3 metros de ancho por 3.5 metros de altura. Esto da como resultado un área total de 12 metros cuadrados.

La construcción deberá cumplir con la norma F120, empleando concreto armado de alta resistencia. La ubicación será seleccionada tras un análisis exhaustivo de riesgos, y se garantizará la independencia del Centro de Procesamiento de Datos (CPD) mediante su alojamiento en un edificio separado.

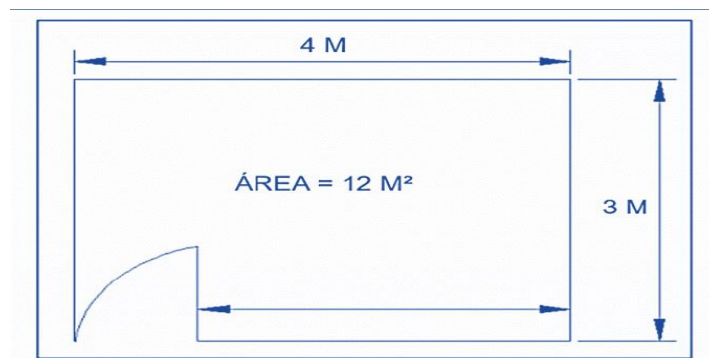
El área brindará capacidad suficiente para los servidores, equipos de red, unidades de almacenamiento, así como unidades de aire acondicionado y otros componentes esenciales. La altura de 3.5 metros es la estándar para la instalación correcta de los racks y gabinetes, siendo necesario revestir el piso y las paredes con materiales antiestáticos para proteger los equipos.



Adicionalmente, se instalarán sistemas de detección y extinción de incendios siguiendo la normativa aplicable.

De esta manera, el centro de datos contará con las condiciones ambientales, eléctricas y de seguridad requeridas, ajustándose a las buenas prácticas según las normas ICREA (International Computer Room Experts Association).

Su diseño aprovechará por completo el espacio asignado de 12 m<sup>2</sup>, ordenando y distribuyendo de forma óptima todos los componentes (véase Fig. 93).



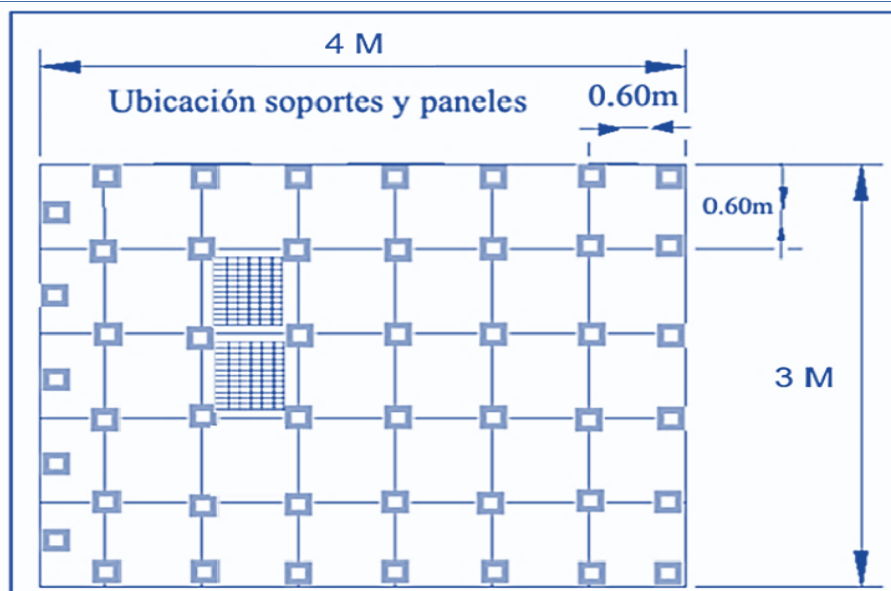
*Fig. 91 Infraestructura física del data center*

Para construir la plataforma elevada en el centro de datos, se requiere:

- instalar 35 tableros metálicos con sus elementos de sujeción y tensores. Esto cubrirá completamente el área.
- Se usarán pinturas intumescentes internas y externas, las cuales expanden una capa protectora durante incendios.
- Barras de soporte de acero y láminas de aluminio soportarán los tableros a 30 cm sobre el piso, midiendo 60x60cm, completamente metálicos con vinilo antiestático para fácil instalación/desmontaje.
- Dos de los 35 tableros serán laminas perforadas de chapa con lados superiores permeables, frente a cada Gabinete según normas ICREA, para distribuir óptimamente el aire desde el piso a equipos.
- Se requieren 140 soportes (pedestales y travesaños) según planos, para sujetar y nivelar los tableros que conforman la plataforma, cumpliendo especificaciones técnicas normalizadas.
- Cualquier corte realizado en los paneles durante la instalación deberá sellarse con material incombustible, con el fin de eliminar bordes expuestos.

- Los módulos de la plataforma elevada requerirán una resistencia mínima de 450kg, mientras que los travesaños podrán soportar cargas de al menos 75kg con una deformación inferior a 0.02cm.
- Dentro del recinto, se conectará a tierra cada segundo pedestal usando cable de 8AWG como grosor mínimo.

De esta forma, se asegura correctamente construir e implementar esta infraestructura crítica siguiendo los estándares (véase Fig. 94).



*Fig. 92 Ubicación soportes y paneles del data center*

Este ambiente requiere buena iluminación por lo que se requiere:

- luminarias fluorescentes tubulares LED de 1.24m x 0.31m, emitiendo luz blanca de 32W, 3000lm y 120V.
- Para un control inteligente mediante sensores de movimiento y luz, se agregarán dispositivos EMD en cada luminaria, permitiendo un ahorro energético de hasta 40%.
- En el interior habrá dos lámparas de emergencia alimentadas por baterías de 9V. Una estará en la entrada superior y la otra a mitad del cuarto; éstas se activarán ante caídas de energía por 90 minutos hasta la puesta en funcionamiento del generador.

Teniendo una óptima distribución de iluminación (véase Fig. 95).

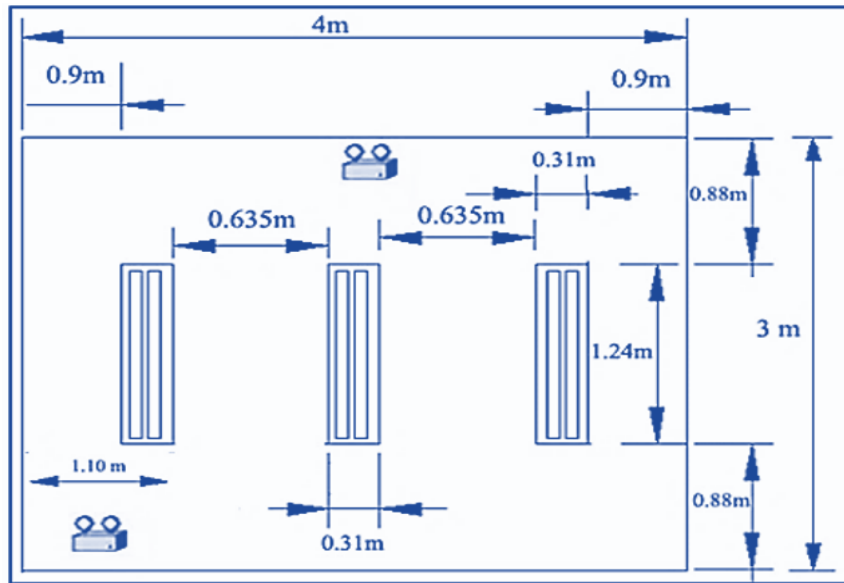


Fig. 93 Distribución de luminaria del data center

### 3.8.2 Sistema de aire acondicionado

Es necesario un sistema de aire acondicionado de precisión para garantizar la adecuada refrigeración de los equipos en el centro de datos.

La capacidad de refrigeración requerida (C) es la siguiente:

$$C = (K1 * V + (\text{Número de personas} + \text{número de equipos}) * K2) * F$$

Donde los parámetros se definen de la siguiente manera:

$K1 = 230 \text{ BTU/hm}^3$  (factor para Latinoamérica con una temperatura máxima de  $40^{\circ}\text{C}$ )

$V = \text{Volumen del recinto en m}^3$  ( $4\text{m} \times 3\text{m} \times 3.5\text{m} = 42 \text{ m}^3$ )

$K2 = 476 \text{ BTU/h}$  (ganancias y pérdidas térmicas por persona/equipo)

Número de personas = 2

Número de equipos = 12

Número de personas + número de equipos =  $2 + 12 = 14$

F = Factor de corrección por altitud

El factor de corrección por altitud (F) se emplea para ajustar la capacidad de refrigeración requerida según la altitud. Para una altitud de la ciudad de Cajamarca la cual es 2,750 m, se estima que el factor de corrección es aproximadamente 0.87.

Sustituyendo los valores en la fórmula, obtenemos:

$$C = (230 * 42 + (14 * 476)) * 0.87$$

$$C = (9660 + 6664) * 0.87$$

$$C = 16324 * 0.87$$

C = 14198 BTU

Sabiendo que 12,000 BTU equivalen a 1 tonelada de refrigeración, se requeriría un sistema de refrigeración con una capacidad aproximada de 1.18 toneladas para cubrir la carga térmica calculada de 14,198 BTU, considerando la altitud de 2,750 m con ello se tiene una visión más clara de la distribución de aire acondicionado (véase Fig. 96).

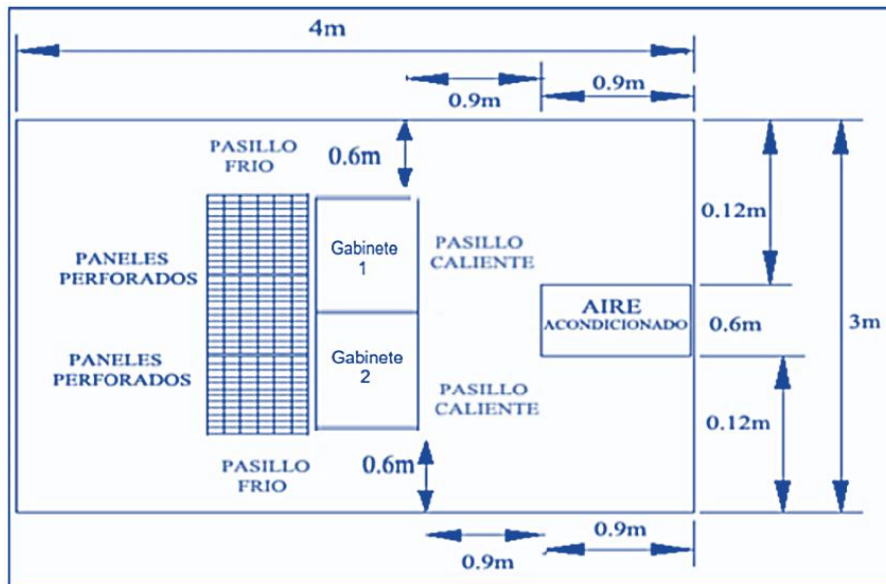


Fig. 94 Distribución aire acondicionado del data center

Además, como parte de las medidas de redundancia, se necesita múltiples unidades de refrigeración y sistemas de distribución de aire en el data center. Estas unidades trabajarán en conjunto para mantener una temperatura óptima en el recinto, asegurando así el funcionamiento eficiente y confiable de los equipos.

La redundancia en el sistema de aire acondicionado es esencial para cumplir con los estándares de un data center de Nivel V ICREA, Con doble acometida eléctrica, vía de alimentación dual, sistema de UPS 2N, grupos electrógenos PRIME con redundancia 2N+1, capacidad de enfriamiento 2N y unidades de climatización con redundancia N+2, este diseño asegura una disponibilidad del 99.9%.

Desarrollado bajo las normativas peruanas ISO/IEC 22237 la cual, garantiza un entorno crítico confiable y resiliente, proporcionando continuidad del servicio y un espacio seguro para el procesamiento de datos según las normativas locales, ya que brinda mayor protección contra posibles fallas o interrupciones. En caso

de que una unidad de refrigeración experimente algún problema, las unidades de respaldo entrarán en funcionamiento automáticamente, asegurando la continuidad del servicio y evitando cualquier impacto negativo en los equipos y la operación del centro de datos.

De esta manera, el sistema de aire acondicionado con suministro redundante garantizará una refrigeración confiable y eficiente en data center de Nivel V ICREA, cumpliendo con los estándares establecidos y proporcionando un entorno óptimo para el almacenamiento y procesamiento de datos críticos.

### **3.8.3 Instalaciones eléctricas**

Para cumplir con los requisitos de instalaciones eléctricas en un data center DE nivel V ICREA, se implementarán diversas medidas para garantizar la confiabilidad y la redundancia en el suministro de energía. A continuación, se detallan las características clave:

- Canalizaciones metálicas resistentes a la oxidación y el fuego: Se utilizarán canalizaciones metálicas duraderas y resistentes al fuego para mantener la continuidad eléctrica tanto en áreas interiores como exteriores del data center. Esto proporciona una protección adicional contra daños y asegura la integridad de las conexiones eléctricas.
- Tableros de distribución con barra de puesta a tierra aislada: Los tableros de distribución contarán con una barra de puesta a tierra aislada e independiente de la barra de neutro y aislada del gabinete. Esta separación garantiza una correcta puesta a tierra y ayuda a prevenir problemas relacionados con corrientes parásitas y ruido eléctrico.
- Sistema de puesta a tierra separado y protectores contra sobretensión: Se instalará un sistema de puesta a tierra separado que incluirá conductores protectores, neutros y conductores de equipos en un canal dedicado. Además, se colocarán protectores contra sobretensión desde la llegada de energía hasta el último tablero, brindando una protección adicional contra picos de voltaje y descargas eléctricas.
- Mínimo 2 acometidas independientes en media o alta tensión.
- PDUs con transformadores de aislamiento y redundancia 2N.
- Identificación clara de circuitos derivados y uso de conductores adecuados: Los circuitos derivados se identificarán claramente en los

extremos del tablero y en las tomas correspondientes. Además, se utilizarán conductores de calibre adecuado (no menores a AWG 12) para los circuitos de tecnología de la información (TI), garantizando que la carga no supere el 80% de la capacidad del conductor.

- Circuitos independientes y tomas dobles con breakers de 20A: Se asignará un circuito independiente para cada toma múltiple, y se instalarán tomas dobles de 120V/208V con breakers de 20A. Esta configuración asegura una distribución equitativa de la carga eléctrica y evita la sobrecarga de circuitos.
- Suministro eléctrico de alta calidad y tolerante a fallos.
- Compartimentación de componentes críticos.
- Monitoreo remoto de parámetros eléctricos.
- Alimentación a través de UPS: Todos los equipos serán alimentados a través de sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), lo que proporciona una fuente de energía de respaldo y protección contra interrupciones en caso de fallos en el suministro eléctrico principal. Esto asegura la continuidad del servicio y la protección de los equipos sensibles frente a cortes de energía.

En conjunto, estas medidas en las instalaciones eléctricas del data center ICREA de Nivel V garantizan la confiabilidad, la protección y la redundancia necesarias para mantener la continuidad de las operaciones y minimizar cualquier impacto negativo en los servicios y la infraestructura tecnológica.

#### **3.8.4 Puesta a tierra**

El data center, acorde a la normativa ICREA 2021 con el fin de asegurar una puesta a tierra robusta, certificada y monitoreada deberá cumplir todas las especificaciones técnicas.

- Sistema de puesta a tierra conformado por anillo perimetral, varillas coplanares y mallas conectadas impedancias inferiores a 10 ohmios.
- Certificación anual que garantice valores de resistencia, continuidad y descargas de sobretensiones.
- Compensación química anual y mantenimiento del pozo de la tierra.
- Puesta a tierra independiente para estructura, tableros eléctricos, equipos Rack y conexión de fibra óptica.



- Conectores y terminales antióxidantes, compatibles con cables de cobre aislados.
- Señalización visible de todos los puntos de conexión a tierra.
- Protección contra sobretensiones en líneas de alimentación mediante SPD clase I+II.
- Mediciones continuas que garanticen los parámetros de diseño en lo que respecta a resistencia, continuidad y potencial.
- Capacitación anual a técnicos sobre correcta instalación, mediciones y mantenimiento del sistema.

### **3.8.5 Comunicaciones**

Para el diseño de la infraestructura del centro de datos, nos basamos en las normas y especificaciones técnicas de la International Computer Room Experts Association (ICREA) nivel V para asegurar los más altos estándares de implementación y operación donde también deberá cumplir con las buenas prácticas en cableado estructurado de la Norma Peruana ISO/IEC 22237 (véase Fig. 97). Dichos parámetros permiten clasificar el centro de datos considerando su robustez ante fallas y capacidad de recuperación.

De esta manera, el marco de criterios técnicos adoptado asegura un diseño confiable y escalable, en concordancia con los objetivos del presente estudio en materia de continuidad y sostenibilidad operativa como:

- Establecer conexiones de red con 2 proveedores de servicios de Internet (ISP) Para desplegar de manera ordenada las redes de datos, se dispondrán estructuras metálicas galvanizadas.
- Se utilizará cable de red categoría 8 por su gran desempeño, siendo esta la tecnología en la que se enfocará gran parte de la infraestructura.
- El cableado de red también debe ser redundante en todos los niveles.
- Los gabinetes y racks cuentan con especificaciones vigentes de normativas como ICREA 2021, garantizando la compatibilidad de los componentes ópticos a instalar.
- La red óptica implementará topologías en anillo y malla, aprovechando el ducto y las canalizaciones para el paso de los cables.
- La administración y supervisión de la red óptica se realizará mediante sistemas de gestión que garanticen su alta disponibilidad.

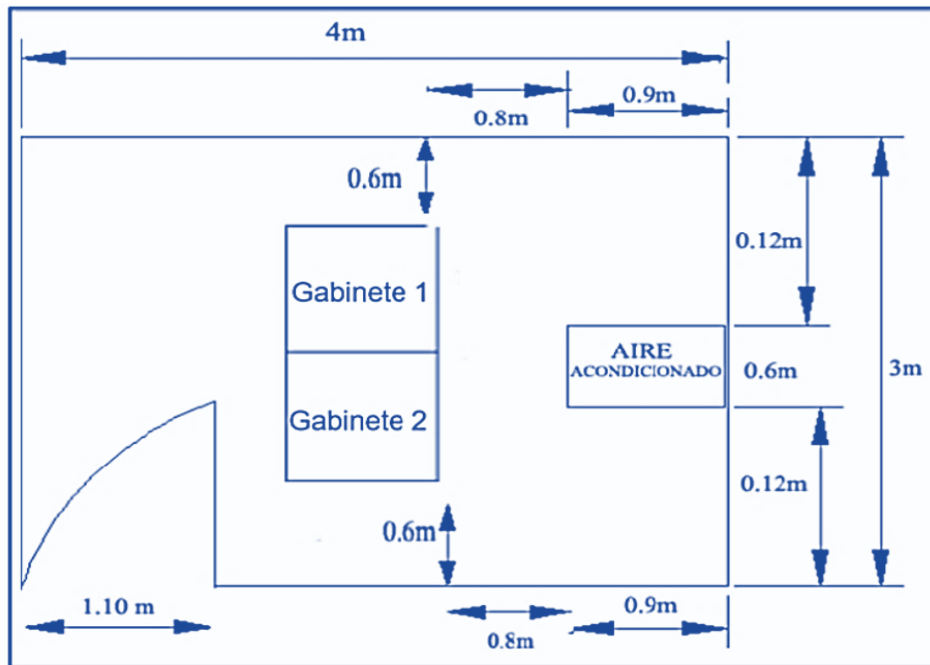


Fig. 95 Distribución de gabinetes en data center

### 3.8.6 Seguridad

En la parte de seguridad se cumplirá la norma ICREA 2021, garantizando la protección de activos como:

- La puerta de acceso cumple la certificación EN-1634 con marco y hoja de acero inoxidable de alta seguridad. Incluye sello cortafuegos EI2 120-C5.
- Se desplegarán sistemas de circuito cerrado de televisión (CCTV) en áreas críticas, proporcionando una supervisión continua y contribuyendo a la seguridad integral del entorno del Data Center.
- Se establecerán cinco niveles de control de acceso para el Centro de Procesamiento de Datos (CPD) y áreas críticas, garantizando una protección integral.
- El sistema de control de acceso biométrico multimodal cuenta con certificación CE y FICAM para identificación por huella digital y reconocimiento facial.
- La puerta y perímetro cuentan con sensores volumétricos, cortinas de humo/calor y detector láser de movimiento. Todo integrado a la plataforma de detección y alarma.
- El piso, paredes y cielo raso cuentan con materiales clasificados A2-s1, d0 según EN-13501-1 para reacción al fuego y producción de humo/gotas.

- Las cámaras de vigilancia 4K con visión nocturna ofrecen cobertura del perímetro y áreas comunes/críticas del servidor.
- Los registros biométricos, de accesos, alarmas e imágenes se almacenan en servidores físicamente aislados del data center, con respaldo off-site.

De acuerdo con la normativa ICREA 2021, el sistema de detección y extinción de incendios cumplirá como mínimo con:

- Detectores de temperatura y humo en techo, con cobertura de todos los sectores siguiendo criterios NFPA 72. Monitoreados por panel central de alarma.
- Doble rama hidráulica principal.
- Instalación de rociadores en formato doble interconectado, calculados conforme NFPA 13 y certificados UL/FM, con agente limpio FM-200.
- Sistema automático de rociado alimentado por tanque de agua presurizada de 1,500 L y generador eléctrico independiente.
- Apertura automática de compartimentos estancos ante la activación de la alarma de incendio.
- Extintor multipropósito de polvo químico seco, recargable anualmente.
- Entrenamiento y capacitación anual a todo el personal sobre protocolos de evacuación y uso de equipos contra incendios.

Con ello se diagrama el sistema de detección y extinción de incendios del data center (véase Fig. 98).

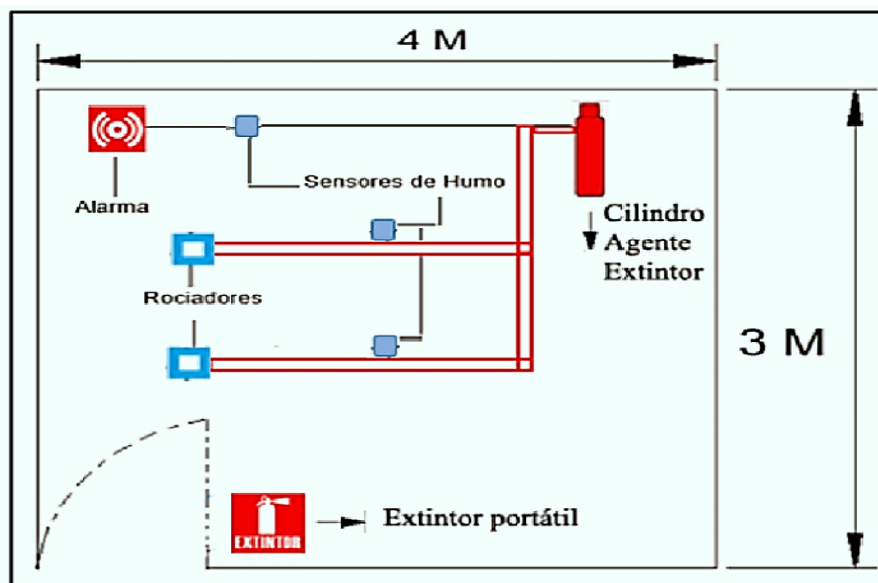


Fig. 96 Sistema de detección y extinción de incendios del data center.

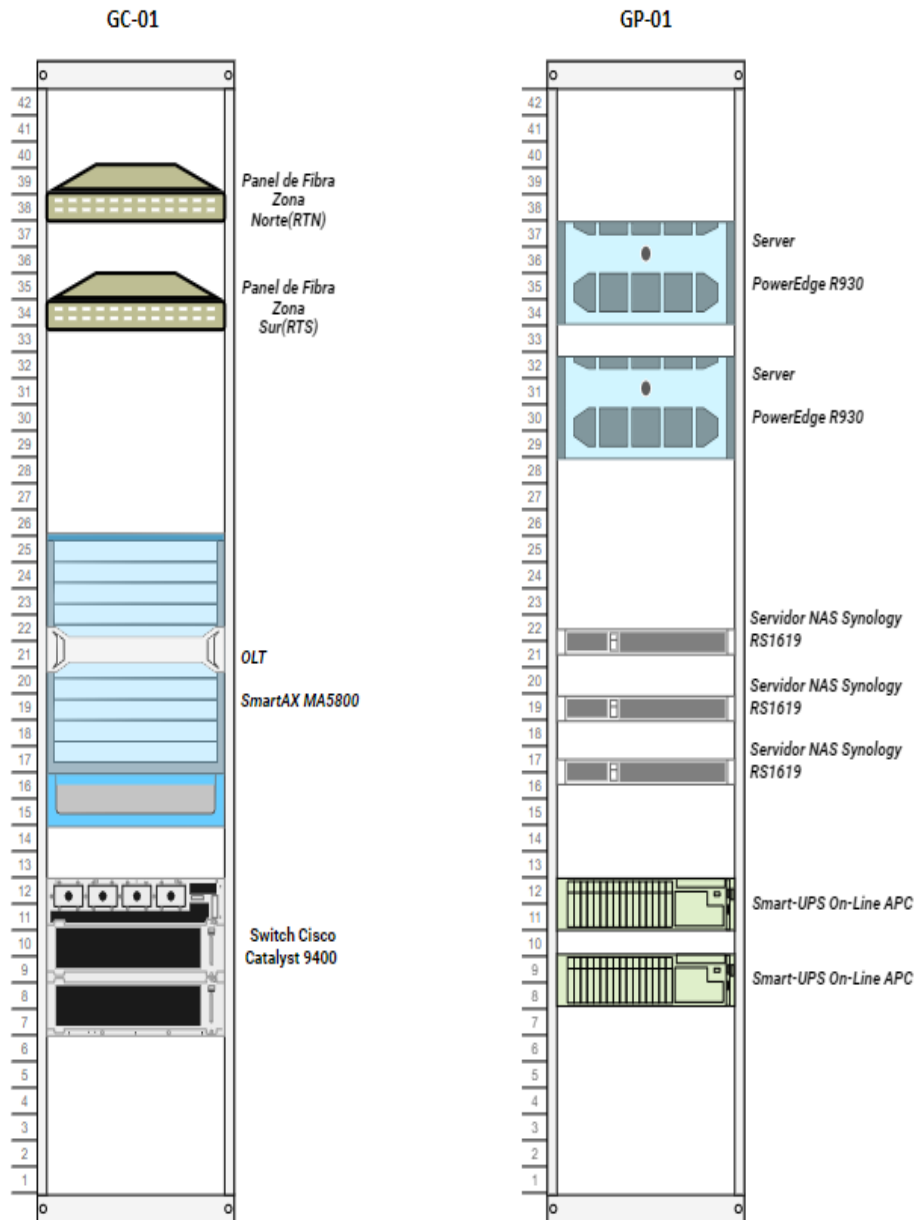
### **3.8.7 Diagrama de distribución de equipos en gabinete**

Se presenta el siguiente diagrama de distribución donde se muestra los equipos dentro de los gabinetes del centro de datos, identificados como GC-01 y GP-01 cada uno de 42(U).

El gabinete GC-01 (Comunicaciones) aloja los componentes clave de la infraestructura de fibra óptica. Contiene un OLT para la recepción de la señal externa, un switch core y dos paneles de conexión óptica de 24 puertos cada uno, asegurando la escalabilidad de la red.

El gabinete GP-01 (Procesamiento) alberga los recursos de cómputo y energía sin interrupción. Incluye dos servidores para procesar y almacenar información, se tiene tres servidores NAS para incrementar la redundancia. Estos servidores NAS proporcionan capacidades de almacenamiento y copia de seguridad adicionales y dos UPS para soporte a cortes eléctricos.

El diagrama detalla de forma gráfica la ubicación exacta de estos componentes críticos dentro de cada gabinete, mostrando la organización propuesta para proveer funciones de comunicación optimizada, proceso de datos y respaldo energético sin interrupciones. Esta disposición permite operar el centro de datos de manera eficiente, facilitando labores de administración y garantizando el cumplimiento de estándares para estas instalaciones (véase Fig. 99).



*Fig. 97 Diagrama de distribución de equipos en gabinete en data center*

Ahora siguiendo los lineamientos y actividades principales definidas, se ha realizado una planificación del data center, estableciendo una estimación de la duración de cada una de las tareas clave. Considerando elementos como preparación del sitio, montaje de infraestructura, instalación de equipos y cableado, configuración y pruebas, se ha construido un cronograma que abarca las etapas necesarias para completar la implementación del data center.

### 3.8.8 Cronograma

Se muestra la planificación para el data center en 28 días (4 semanas). Detallando las principales fases requeridas, con una secuencia lógica de actividades y estimación de tiempos (véase Fig. 100).

Actividad	Duración	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28
<b>Infraestructura física</b>	5 días																												
- Preparar el espacio físico	2 días																												
- Revestir el piso y las paredes	1 día																												
- Instalar sistemas de detección y extinción de incendios	2 días																												
<b>Construcción de la plataforma elevada</b>	3 días																												
- Instalar tableros metálicos	1 día																												
- Aplicar pinturas intumescentes	1 día																												
- Colocar barras de soporte	1 día																												
<b>Instalación del sistema de iluminación</b>	2 días																												
- Instalar luminarias	1 día																												
- Agregar dispositivos de control	1 día																												
<b>Implementación del sistema de aire acondicionado</b>	4 días																												
- Calcular capacidad de refrigeración	1 día																												
- Instalar sistema de aire acondicionado	3 días																												
<b>Instalaciones eléctricas</b>	5 días																												
- Implementar canalizaciones metálicas	1 día																												
- Configurar tableros de distribución	2 días																												
- Establecer puntos de referencia eléctricos	1 día																												
- Colocar protectores contra sobretensiones	1 día																												
<b>Implementación de la puesta a tierra</b>	2 días																												
- Configurar sistema de puesta a tierra	1 día																												
- Ajustes finales y revisión de seguridad	1 día																												
<b>Configuración de las comunicaciones</b>	3 días																												
- Instalación de estructuras metálicas	1 día																												
- Implementar red de fibra óptica	1 día																												
- Configurar topologías de red	1 día																												
<b>Seguridad</b>	4 días																												
- Instalación de dispositivos de acceso	2 días																												
- Configuración de dispositivos de acceso	2 días																												

Fig. 98 Cronograma de ejecución del data center



Una vez implementado el data center, se requiere un centro de monitoreo. Si bien el data center procesará y almacenará los datos, el centro permite exhibir esta información y que personal calificado pueda gestionarla para actuar sobre diferentes áreas.

### 3.9 CENTRO DE MONITOREO

El centro de monitoreo es esencial para la gestión de una ciudad inteligente, ya que permite supervisar y controlar de manera eficiente diversos aspectos relacionados con la seguridad, el tráfico, el medio ambiente y otros servicios públicos (véase Fig. 101).



*Fig. 99 Centro de monitoreo*

*Fuente: [https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fsp-ao.shortpixel.ai%2Fclient%2Fto\\_webp%2Cq\\_glossy](https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fsp-ao.shortpixel.ai%2Fclient%2Fto_webp%2Cq_glossy)*

Para garantizar un funcionamiento óptimo y efectivo del centro de monitoreo en este contexto, debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Infraestructura adecuada: Se considera el centro de monitoreo tenga suficiente espacio para acomodar cómodamente a todo el personal y los equipos necesarios. Es importante garantizar que haya un espacio adecuado para los monitores, consolas de control, sistemas de almacenamiento de datos y cualquier otro equipo necesario. El centro de monitoreo debe contar con una infraestructura de cableado estructurado que cumpla con las normas ANSI/TIA/EIA-568 y ISO/IEC 11801. Esto garantizará una conectividad confiable y robusta, permitiendo la transmisión de datos de manera eficiente.
- Sistema de gestión de video (VMS): El centro de monitoreo debe contar con un VMS confiable y compatible con las normas de video vigilancia IEC 62676 y ONVIF. Esto permitirá la integración y gestión eficiente de las cámaras, así como la visualización en tiempo real y la búsqueda de grabaciones.
- Monitores y video walls: Los monitores utilizados en el centro de monitoreo deben tener una alta resolución y un tamaño adecuado para permitir una visualización clara y detallada de las imágenes. Los videos walls pueden ser utilizados para mostrar múltiples cámaras simultáneamente, proporcionando una visión general completa de la ciudad.
- Seguridad física y lógica: El centro de monitoreo debe contar con medidas de seguridad física, como sistemas de control de acceso, cámaras de seguridad adicionales y alarmas. Además, se deben implementar medidas de seguridad lógica, como contraseñas seguras, autenticación de dos factores y actualizaciones regulares de software y firmware para proteger contra amenazas cibernéticas.
- Capacitación del personal: Es fundamental proporcionar capacitación adecuada al personal encargado del monitoreo. Deben estar familiarizados con el uso de las cámaras, el VMS y los procedimientos de seguridad. También deben recibir formación sobre las regulaciones de privacidad y protección de datos aplicables, como el GDPR.
- Mantenimiento regular: Se debe llevar a cabo un mantenimiento regular de los equipos y sistemas del centro de monitoreo para asegurar su funcionamiento óptimo. Esto incluye limpieza y revisión periódica de las

cámaras, actualizaciones de software y firmware, y verificación del estado de los sistemas de almacenamiento y respaldo de datos.

- Evaluación y mejora continua: Es importante realizar evaluaciones periódicas del rendimiento del centro de monitoreo y buscar oportunidades de mejora. Mantenerse actualizado sobre las últimas tecnologías y las mejores prácticas de la industria permitirá optimizar la eficiencia y la efectividad del centro de monitoreo a lo largo del tiempo.

Es momento de abordar el software indispensable que dotará de inteligencia al ecosistema digital ya planteado.

### **3.10 SOFTWARE DE GESTIÓN DE CIUDADES INTELIGENTES**

El software de gestión de ciudades inteligentes es fundamental para optimizar la infraestructura urbana, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y garantizar la sostenibilidad de los servicios públicos. Estas plataformas permiten a las ciudades recopilar y analizar datos de múltiples fuentes, como sensores IoT, cámaras, y dispositivos de red, para gestionar de manera eficiente áreas como el tráfico, la iluminación pública, la gestión de residuos, la seguridad y los servicios de emergencia.

Los softwares de gestión de ciudades inteligentes integran tecnologías avanzadas como inteligencia artificial, aprendizaje automático, Big Data y análisis predictivo. Estos sistemas ayudan a las ciudades a tomar decisiones basadas en datos en tiempo real, mejorando la respuesta a incidentes, optimizando los recursos, y promoviendo una gestión proactiva de los servicios urbanos para ello e llevará a cabo un análisis detallado y una comparativa de los distintos software de gestión de ciudades inteligentes disponibles en el mercado. Este proceso permitirá evaluar las características, funcionalidades y capacidades de cada solución, con el objetivo de seleccionar la opción que mejor se adapte a las necesidades específicas de la red 50G-PON y los servicios planteados para la ciudad de Cajamarca. La decisión final se basará en criterios de rendimiento, escalabilidad, facilidad de integración y capacidad para gestionar eficientemente los datos de la ciudad inteligente. (véase Tabla 45).

Software	Características Principales	Aplicaciones	Total (de 5)
NVIDIA Metropolis	Plataforma que combina IA con análisis de video en tiempo real para mejorar la eficiencia operativa y la seguridad. Optimiza el flujo de tráfico, la videovigilancia y la automatización urbana.	Seguridad pública, tráfico, gestión de residuos	5/5
Microsoft Azure IoT Central	Gestión de dispositivos IoT con capacidades de análisis en la nube, integración con IA y servicios de machine learning para la administración de infraestructuras urbanas y redes de sensores.	Infraestructura urbana, redes de sensores, optimización de servicios	4.5/5
SenseFoundry	Plataforma integral para la gestión urbana, capaz de monitorear instalaciones y gestionar alertas en tiempo real, ideal para emergencias y mantenimiento de infraestructura crítica.	Emergencias, infraestructura, monitoreo de sistemas	4.5/5
Verizon Smart Cities	Solución que utiliza IoT y tecnologías M2M para mejorar la movilidad, la iluminación inteligente y la seguridad. Adquirió Sensity para la gestión de sensores LED inteligentes.	Tráfico, iluminación pública, seguridad	4/5
SAP Future Cities	Solución orientada a la transformación digital de ciudades, proporcionando datos en tiempo real para mejorar la experiencia del ciudadano y optimizar la sostenibilidad urbana.	Gestión pública, servicios al ciudadano, sostenibilidad	4/5
Cisco Kinetic	Plataforma que facilita la extracción, procesamiento y movimiento de datos IoT, conectando sistemas en tiempo real para una gestión más eficiente de los recursos urbanos.	Integración de dispositivos IoT, datos en tiempo real	4/5

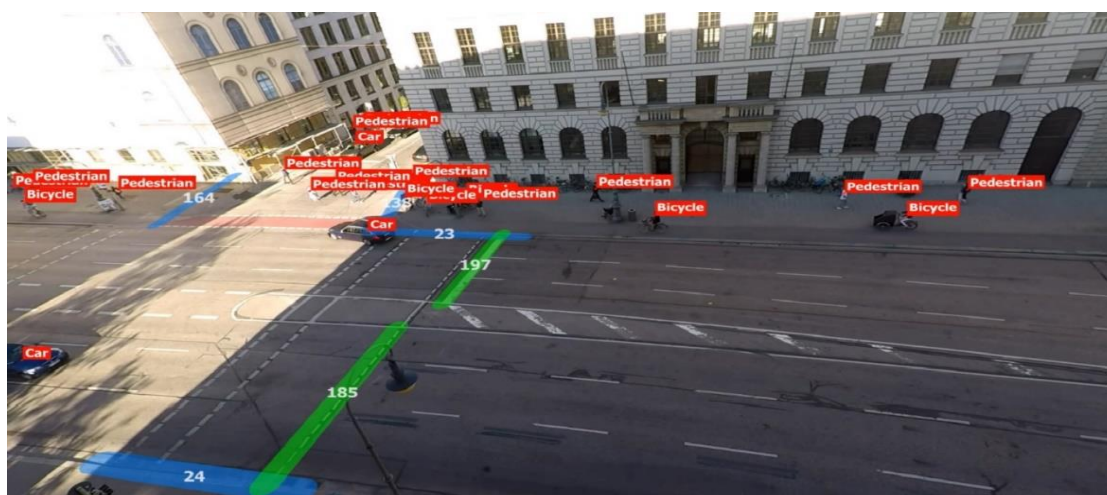
ArcGIS Urban	Herramienta de planificación urbana 3D que permite la colaboración en el diseño y gestión de proyectos urbanos, optimizando el uso del suelo y mejorando la sostenibilidad y la planificación.	Planificación urbana, desarrollo de proyectos	4/5
Huq Industries	Plataforma que ofrece análisis de movilidad y rendimiento de espacios en tiempo real, apoyando la toma de decisiones basadas en el flujo de personas en ciudades y lugares públicos.	Análisis de tráfico peatonal, planificación de espacios	3.5/5
Davra IoT Platform	Plataforma IoT que facilita la creación y despliegue rápido de aplicaciones inteligentes para la gestión de activos, con capacidades de análisis en tiempo real y gestión de datos complejos.	Gestión de flotas, mantenimiento predictivo	3.5/5

*Tabla 44 Comparativa de Software de Gestión de Ciudades Inteligentes*

Siendo NVIDIA Metropolis la plataforma más completa para la gestión de ciudades inteligentes debido a su capacidad para combinar la inteligencia artificial y el análisis de datos visuales en tiempo real. Permite a las ciudades adaptarse rápidamente a los desafíos urbanos modernos. Metropolis ofrece una solución integral que mejora significativamente la eficiencia operativa de las ciudades, facilitando decisiones rápidas y fundamentadas que promueven un entorno urbano más seguro y sostenible.

### 3.10.1 NVIDIA metropolis: Plataforma de la Ciudad Inteligente

Es una plataforma que permite crear y desplegar aplicaciones de análisis de datos e imágenes mediante profundas técnicas de inteligencia artificial, específicamente entrenadas para entender ecosistemas urbanos complejos. Está optimizada para procesar los grandes volúmenes de información generados por cámaras, sensores y dispositivos IoT en una ciudad, extrayendo métricas e indicadores para la toma de decisiones. Incluye herramientas de desarrollo como SDK, modelos pre-entrenados y runtime (entorno de ejecución de software) específico para aplicaciones de ciudades inteligentes (véase Fig. 102).



*Fig. 100 NVIDIA Metropolis*

*Fuente: <https://datafromsky.com/>*

Posee capacidad para gestionar de forma nativa e integrada los protocolos de comunicación en una ciudad inteligente. En particular, da soporte a MQTT para conectar sensores y dispositivos IoT de forma liviana y eficiente. También apoya AMQP cuando se necesita enrutamiento confiable de mensajes. Cuenta con comunicación HTTP/REST para interacciones simples de solicitud-respuesta.

Soporta gRPC para enlazar microservicios. Y ofrece integración con Kafka para transmitir y procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real.

Con este amplio soporte de protocolos facilita desde sencillas comunicaciones máquina-máquina, hasta complejas interacciones asíncronas y análisis de datos de múltiples fuentes. También, al ser una solución moderna y en constante evolución, se garantiza adaptabilidad a nuevos protocolos y estándares. Entre los casos de uso, Metropolis ha demostrado aumentar la seguridad vial optimizando en tiempo real los ciclos de semáforos basado en flujos vehiculares. También mejora tasas de reciclaje mediante clasificación automática de residuos [103].

Creando soluciones altamente escalables para manejar demandas complejas de procesamiento. Asimismo, al integrar capacidades 3D y de visualización, permite experiencias de realidad aumentada y virtual para una participación más profunda de los ciudadanos.

Por su flexibilidad para integrarse con múltiples sensores y ser desplegada desde el Edge (borde de la red) hasta la nube, NVIDIA Metropolis constituyendo la mejor opción como sistema nervioso central apoyado con inteligencia artificial para una Cajamarca como ciudad inteligente y conectada al futuro así se cierra el ciclo de soluciones tecnológicas expuestas en esta tesis para hacer realidad una Cajamarca verdaderamente inteligente y conectada. Sobre la robusta infraestructura de telecomunicaciones desplegada en fibra óptica 50G-PON y un data center de Nivel V HSHA-WCQA ICREA bajo la normativa peruana ISO/IEC 22237, NVIDIA Metropolis actuará como sistema nervioso central interconectando datos, aprendiendo patrones de comportamiento urbano, optimizando operaciones e inventando nuevos servicios digitales para mejorar la seguridad, movilidad y vida de los ciudadanos.

A fin de establecer una ruta crítica para la ejecución del proyecto, se desarrollará un cronograma detallado que contemple las principales actividades requeridas para que la implementación de la red 50G-PON se lleve a cabo de manera exitosa. Este plan de trabajo no solo identificará las tareas vitales e hitos claves en cada etapa, estimando duraciones y definiendo interdependencias, sino que también se desarrollará un presupuesto, permitiendo gestionar de manera óptima los plazos y recursos financieros. Con esta propuesta, se presenta un plan bien detallado en aspectos técnicos y lógicos, que incluye la creación de un cronograma de



actividades y un presupuesto ajustado a las necesidades del proyecto. Esto no solo asegura la gestión efectiva del tiempo y los recursos, sino que también proporciona la viabilidad para el desarrollo de una ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca, basada en una red 5G-PON. La combinación de un enfoque técnico sólido con una planificación financiera estratégica busca minimizar riesgos de demoras y sobrecostos, garantizando el cumplimiento.

### 3.11 PRESUPUESTO

Clasificación	Equipo	Descripción del Equipo	Unidad	Costo Unitario (S/)	Costo de Mantenimiento (S/)	Costo Total (S/)
Equipos de Red	OLT Huawei MA5800 X17	Equipo de terminación de línea óptica para redes 50G-PON.	1	S/ 14,000.00	S/ 5,700.00	S/ 19,700.00
Equipos de Red	Transceptor óptico Accelink RTX300-3xx	Transceptor para alta capacidad en redes ópticas.	20	S/ 600.00	S/ 570.00	S/ 12,570.00
Equipos de Red	ONU ZTE ZXEN G300-N9	Unidad de red óptica para usuarios finales en redes 50G-PON.	78	S/ 700.00	S/ 475.00	S/ 55,075.00
Equipos de Red	Controlador HPE Edgeline EL8000	Controlador avanzado para la gestión de datos IoT y redes 50G-PON.	4	S/ 14,000.00	S/ 7,600.00	S/ 63,600.00
Equipos de Red	Gateway LoRaWAN SG50 Ultra Low Power	Gateway para conectar sensores IoT en la red LoRaWAN.	4	S/ 2,140.00	S/ 304.00	S/ 8,864.00
Equipos de Red	Controlador de semáforo Econolite 2070LX	Controlador para gestión de tráfico en tiempo real.	53	S/ 1,100.00	S/ 950.00	S/ 59,250.00
Equipos de Red	Cámara de vigilancia Axis Q6215-LE	Cámara de vigilancia con alta capacidad de zoom y alcance IR.	18	S/ 1,300.00	S/ 1,330.00	S/ 24,730.00
Equipos de Red	Dragino LoRaWAN LGT-92	Sensor GPS para Redes LoRaWAN	822	S/ 190.00	S/ 300.00	S/ 156,480.00
Equipos de Red	Milesight VS351	Sensor de Conteo de Personas para Redes LoRaWAN	822	S/ 140.00	S/ 300.00	S/ 115,380.00
Equipos de Red	TEKTELIC LoRaWAN	Luminarias Inteligentes para Redes LoRaWAN	872	S/ 260.00	S/ 300.00	S/ 227,020.00
Equipos de Red	Sensoneo	Sensores para contenedores Inteligentes para Redes LoRaWAN	352	S/ 150.00	S/ 300.00	S/ 53,100.00
Equipos de Red	Dragino LAQ4	Sensor de Calidad de Aire para Redes LoRaWAN	96	S/ 200.00	S/ 300.00	S/ 19,500.00
Equipos de Red	AquaMod LoRaWAN	Sensor de Calidad de agua para Redes LoRaWAN	73	S/ 190.00	S/ 300.00	S/ 14,170.00
Infraestructura de Data Center	Servidor PowerEdge R930	Servidor de alto rendimiento para el data center.	2	S/ 30,000.00	S/ 17,100.00	S/ 77,100.00
Infraestructura de Data Center	Servidor NAS Synology RS1619xs+	Servidor NAS para almacenamiento de datos.	3	S/ 9,500.00	S/ 950.00	S/ 29,450.00
Infraestructura de Data Center	Smart-UPS SRTL5KRM2UT	Sistema de alimentación ininterrumpida para el data center.	2	S/ 15,200.00	S/ 760.00	S/ 31,160.00
Infraestructura de Data Center	Switch core Cisco Catalyst 9400 Series	Switch de núcleo con alta capacidad de switching y soporte para IoT.	1	S/ 53,000.00	S/ 3,800.00	S/ 56,800.00
Infraestructura de Data Center	Gabinete GW-2868 24U	Gabinete rack para montaje de equipos en el data center.	2	S/ 4,560.00	S/ 228.00	S/ 9,348.00
Materiales de Red	Fibra óptica G.657.A2	Rollo de cables de fibra óptica para conexiones en la red.	2	S/ 7,600.00	S/ 380.00	S/ 15,580.00
Materiales de Red	Panel de fibra óptica de 36 puertos	Panel de conexión para la fibra óptica.	2	S/ 300.00	S/ 114.00	S/ 714.00
Materiales de Red	Splitter óptico modular	Divisores ópticos para redes PON.	178	S/ 56.00	S/ 190.00	S/ 10,158.00
Infraestructura de Data Center	Construcción de infraestructura física	Construcción y acondicionamiento del data center.	1	S/ 220,000.00	S/ 12,000.00	S/ 232,000.00
Infraestructura de Data Center	Piso elevado y soportes	Instalación de piso elevado y soportes para el data center.	1	S/ 6,000.00	S/ 4,000.00	S/ 10,000.00
Infraestructura de Data Center	Luminarias y sistemas de extinción de incendios	Iluminación y sistemas de protección contra incendios.	1	S/ 3,200.00	S/ 3,000.00	S/ 6,200.00
Infraestructura de Data Center	Sistema de aire acondicionado de precisión	Aire acondicionado de precisión para el data center.	1	S/ 8,000.00	S/ 5,000.00	S/ 13,000.00
Infraestructura de Data Center	Instalación eléctrica y cableado	Instalación eléctrica y cableado estructurado del data center.	1	S/ 18,500.00	S/ 2,500.00	S/ 21,000.00
Software y Servicios	Software de Gestión NVIDIA	Software de gestión y monitoreo de ciudad inteligente de NVIDIA.	1	S/ 220,000.00	S/ 25,000.00	S/ 245,000.00
Servicios	Instalación de equipos y cableado	Mano de obra para instalación de equipos y cableado.	1	S/ 158,000.00	S/ 3,800.00	S/ 161,800.00
Servicios	Configuración y pruebas de red	Configuración y pruebas de la red desplegada.	1	S/ 19,000.00	S/ 1,900.00	S/ 20,900.00
Servicios	Transporte de equipos y materiales	Logística de transporte para equipos y materiales.	1	S/ 11,400.00	S/ 1,140.00	S/ 12,540.00
Servicios	Contingencia (10% de costos)	Margen de contingencia para cubrir posibles sobre costos.	1	S/ 95,900.00	S/ 6,590.00	S/ 102,490.00
<b>TOTAL</b>						<b>S/ 1,884,679.00</b>

Tabla 45 Presupuesto para el desarrollo de una ciudad inteligente con tecnología 50g-pon en la zona urbana de Cajamarca.

El presupuesto presentado refleja una planificación integral para la implementación de la red 50G-PON en la ciudad de Cajamarca, abarcando tanto la infraestructura de red como el equipamiento y los servicios necesarios para el despliegue exitoso del proyecto. Se ha considerado una selección cuidadosa de equipos avanzados, como la OLT Huawei MA5800 X17 y los controladores HPE Edgeline EL8000, que permitirán una gestión eficiente y escalable de la red, acorde con las necesidades actuales y futuras de una ciudad inteligente.

La clasificación de los costos incluye equipos de red, infraestructura del data center, materiales de red, y software de gestión, junto con los servicios de instalación, configuración y pruebas, asegurando una implementación completa y sin contratiempos. Adicionalmente, se ha contemplado un margen de contingencia para mitigar posibles sobrecostos durante la ejecución. Siendo el presupuesto total S/ 1,884,679.00, lo que garantiza no solo la instalación inicial, sino también la sostenibilidad a largo plazo con costos de mantenimiento detallados para cada componente.

Donde esta inversión proporciona una base sólida para el desarrollo tecnológico de Cajamarca, posicionándola como una ciudad inteligente preparada para el futuro, con una infraestructura de telecomunicaciones avanzada y adaptable a los continuos avances tecnológicos.

### 3.12 CRONOGRAMA DEL PROYECTO

Semuestra la planificación elaborada para concretar el despliegue de la red de fibra óptica con tecnología 50G-PON, destinada a desarrollar una Ciudad Inteligente en la zona urbana de Cajamarca. El cronograma total tiene una duración estimada de 23 semanas para completar el proyecto (véase Fig. 103).

Actividad	Duración	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21	Semana 22	Semana 23
		<b>Otorgamiento de buena Pro - gestión de ingreso de personal</b>	5 Sem.																					
- Coordinación con áreas municipales para gestiones y permisos	2 Sem.																							
- Definición de perfiles y contratación de personal técnico	1 Sem.																							
- Inducción y capacitación del personal	2 Sem.																							
<b>Levantamiento de información</b>	3 Sem.																							
- Diseño y creación de planos acorde a la ciudad	1 Sem.																							
- Censo de ubicaciones para nodos	1 Sem.																							
- Visitas de campo para validación	1 Sem.																							
<b>Entrega de materiales</b>	2 Sem.																							
- Disponibilidad de fibra óptica y splitters	1 Sem.																							
- Disponibilidad de equipos y gabinetes para la data center	1 Sem.																							
<b>Instalación de cableado</b>	10 Sem.																							
<b>Despliegue de data center</b>	4 Sem.																							
<b>Despliegue y configuración de sensores</b>	6 Sem.																							
<b>Levantamiento de observaciones</b>	1 Sem.																							
<b>despliegue de NVIDIA Metropolis</b>	1 Sem.																							
<b>Cierre administrativo del proyecto</b>	1 Sem.																							

Fig. 101 Cronograma de ejecución de 50G-PON para desarrollar una ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca

## **b. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **3.13 TRATAMIENTO**

Esta investigación fue de tipo aplicada y descriptiva, ya que buscó la aplicación de los conocimientos tecnológicos acerca de la tecnología 50G-PON aplicada a ciudades inteligentes, a la vez que se detalló la tecnología existente y necesaria. La investigación se obtuvo de una forma organizada y sistemática a la realidad de la infraestructura y servicios actuales de la ciudad, basándose en revisiones de literatura, entrevistas con funcionarios y encuestas a ciudadanos.

El nivel de estudio fue exploratorio y explicativo, porque se exploró lo que se tiene en tecnología para ciudades inteligentes, se explicó su aplicabilidad y potencial impacto. Se estableció una relación entre las variables "Ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca" (dependiente) y "Red 50 GPON" (independiente).

El diseño fue no experimental, ya que no se manipularon las variables, sino que se observaron y analizaron en su contexto natural. Además, fue de corte transversal, ya que la recolección de datos se realizó en un momento específico, apoyándose en teorías y autores relevantes en el campo de las ciudades inteligentes.

El método de investigación es deductivo, ya que se tomaron en cuenta las variables, la descripción de estas, y la presentación de hipótesis que representan la funcionalidad de las tecnologías de ciudad inteligente y el estado actual y potencial futuro del objeto de estudio. Todo esto permitió contrastar las conclusiones respecto a las hipótesis que involucran a ambas variables.

### 3.14 VARIABLES E INDICADORES

Esta investigación cuenta con dos tipos de variables: la variable dependiente: Ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca y la variable independiente: Red 50 GPON. A continuación, se presenta a ambas variables con sus respectivas dimensiones, indicadores y técnicas y/o instrumentos para su posterior estudio (véase Tabla 46).

Variable	Dimensiones	Indicador	Medición
Red 50G-PON.	Downstream (throughput de bajada).	Mbps	Intervalo
	Upstream (throughput de subida).	Mbps	Intervalo
	Fibra óptica.	Km	Intervalo
	Sensores y dispositivos conectados.	Unidad	Intervalo
Ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca.	Centros Integrados de Operación y Control.	Unidad	Intervalo
	Zonas a monitorear.	Unidad	Intervalo / Encuesta
	Interfaces de Comunicación.	Unidad	Intervalo

*Tabla 46 Variables con dimensiones*

### 3.15 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas de recolección de datos que se utilizaron fueron:

Técnicas de muestreo: Se empleó un muestreo simple, seleccionando el área urbana de la ciudad de Cajamarca de acuerdo a los objetivos del proyecto.

Técnicas de recolección de datos: Se utilizó principalmente la técnica de gabinete, realizando todo el estudio en base a la información proporcionada por instituciones, libros y otros trabajos de investigación previamente realizados. Adicionalmente, se realizó una encuesta para identificar los servicios necesarios en Cajamarca junto con las zonas donde aplicarlos.

Instrumentos de recolección de datos: Se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva de distintos trabajos publicados por FITEL, MTC-PRONATEL, OSIPTEL, INEI, entre otros.

También se analizaron políticas de gobierno orientadas a ciudades digitales, gobierno electrónico y ordenanzas de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

Técnicas de análisis: Se realizó un análisis estadístico, tecnológico y geográfico utilizando herramientas como Excel y Google Earth.

Respecto a la confiabilidad y validez de los instrumentos:

- Para el instrumento que mide la variable independiente “Red 50G-PON” la información consultada fue proporcionada por entes gubernamentales y es fruto de trabajos de investigación previamente revisados. Además, está alineada con las normas establecidas por la ITU para el estándar 50G-PON. Por lo tanto, dicha información se considera confiable y válida, sin requerir validación adicional por parte de especialistas externos.
- Para el instrumento que mide a la variable dependiente “Ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca” dimensión “Centros Integrados de Operación y Control” la información consultada fue proporcionada por las normas ETP ISO/IEC TBS 22237. Por lo tanto, dicha información se considera confiable y válida, sin requerir validación adicional por parte de especialistas externos
- Para el instrumento que mide a la variable dependiente “Ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca” dimensión “Interfaces de Comunicación” se realizó un análisis comparativo de softwares para la gestión de ciudades inteligentes, seleccionando el más adecuado para proyecto.
- Para la dimensión "Zonas a Monitorear" de la variable "Ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca," se llevó a cabo un análisis basado en los resultados de encuestas a los ciudadanos de Cajamarca y la revisión de estudios geoespaciales, utilizando herramientas como Google Earth para la identificación de áreas críticas. Estas zonas fueron priorizadas en función de factores como: incidencia de problemas de tráfico, necesidades de seguridad y calidad ambiental asegurando así la confiabilidad y validez de la información utilizada para la implementación de los servicios de la ciudad inteligente. Esta metodología permitió establecer un mapeo detallado de las áreas que requieren atención prioritaria dentro del proyecto de ciudad inteligente.



## **3.16 ANÁLISIS DE DATOS**

### **3.16.1 Análisis de datos para variable independiente “RED 50 GPON”**

El diseño de la red 50G-PON requiere el despliegue de 3.67 km de fibra óptica y la instalación de 78 ONUs distribuidas estratégicamente para garantizar el correcto funcionamiento de la red. A través del dimensionamiento del ancho de banda necesario para los distintos servicios de la ciudad inteligente, se identificó un total de 3172 sensores, incluyendo controladores de semáforos, sensores GPS, contadores de personas, luminarias inteligentes, contenedores de residuos, sensores de calidad del aire y del agua, y cámaras de videovigilancia. Este dimensionamiento asegura que la red propuesta pueda soportar eficientemente la alta demanda de datos.

En términos de capacidad, el throughput de la red es de 49.7664 Gb/s en downstream y configuraciones de hasta 49.7664 Gb/s en upstream, lo que representa un incremento significativo comparado con tecnologías PON previas. Las longitudes de onda para downstream (1340-1344 nm) y upstream (1260-1280 nm o 1290-1310 nm) están optimizadas para una transmisión eficiente, reduciendo la interferencia en la fibra y permitiendo el correcto funcionamiento de los servicios avanzados de ciudad inteligente [27].

### **3.16.1 Análisis de datos para Dependiente Ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca.**

Para la dimensión de los Centros Integrados de Operación y Control en la red 50G-PON de Cajamarca, estos centros desempeñan un papel crucial en la administración centralizada de los servicios de la ciudad inteligente, gestionando la toma de decisiones y la respuesta en tiempo real. Gracias a la integración de datos provenientes de sensores, cámaras y otros dispositivos distribuidos en la ciudad, estos centros se convierten en el núcleo de la gestión eficiente de los servicios urbanos. Los Centros Integrados están diseñados bajo los más altos estándares internacionales, cumpliendo con las normativas ETP ISO/IEC TBS 22237 e ICREA Nivel V (HSHA-WCQA), lo que asegura la seguridad, redundancia y eficiencia en la operación.

En cuanto a la infraestructura del Data Center asociado, éste se diseñó con un enfoque en garantizar la disponibilidad continua (99.9%) y escalabilidad, permitiendo un crecimiento futuro acorde a las necesidades de la ciudad. Este centro de procesamiento de datos cuenta con múltiples acometidas eléctricas, redundancia en sistemas de climatización y seguridad avanzada, protegiendo así los datos críticos que son esenciales para el funcionamiento de la ciudad. Además, la infraestructura física está diseñada para resistir posibles contingencias, manteniendo un ambiente seguro y controlado para los equipos de telecomunicaciones.

Para la dimensión Zonas a Monitorear, que se fundamenta en la identificación de áreas clave a través de encuestas realizadas a los ciudadanos de Cajamarca, determinando los puntos prioritarios para la implementación de los servicios inteligentes.

Para esta dimensión, se utilizó la encuesta sobre "Prioridades y Ubicaciones para Servicios de Ciudad Inteligente en Cajamarca". Los ciudadanos respondieron acerca de las zonas de la ciudad donde consideraban que la implementación de servicios inteligentes, como cámaras de vigilancia, sensores de calidad ambiental, y otros dispositivos.

Los resultados obtenidos permiten identificar las áreas prioritarias que requieren mayor intervención tecnológica para mejorar la seguridad, gestión del tráfico, gestión de residuos, y otros servicios urbanos. A partir de estos datos, se establecieron las zonas críticas que serán monitoreadas para una intervención eficiente y alineada con las necesidades de la comunidad (**Anexo 30**).

En cuanto a la confiabilidad y validez, la información recolectada mediante la encuesta es altamente confiable y válida, ya que proviene directamente de los 77 residentes de Cajamarca, quienes poseen un conocimiento de sus propias necesidades y de los problemas locales. Los resultados de esta encuesta han sido fundamentales para la selección y ubicación estratégica de los dispositivos de monitoreo en la red propuesta para la ciudad inteligente, garantizando que las soluciones implementadas respondan efectivamente a las demandas reales de la comunidad.

En la dimensión de Interfaces de Comunicación de la propuesta de red 50G-PON para Cajamarca, se seleccionó la plataforma NVIDIA Metropolis para gestionar de

manera integrada los datos y servicios de la ciudad inteligente. NVIDIA Metropolis es una plataforma avanzada que facilita la creación y despliegue de aplicaciones de análisis de datos e imágenes utilizando inteligencia artificial, especialmente diseñada para entender y optimizar ecosistemas urbanos complejos. Esta plataforma soporta una amplia gama de protocolos de comunicación, incluyendo MQTT para la conexión eficiente de sensores IoT, AMQP para el enrutamiento confiable de mensajes, HTTP/REST para interacciones de solicitud-respuesta, gRPC para la integración de microservicios, y Kafka para el procesamiento de grandes volúmenes de datos en tiempo real.

Gracias a su capacidad para manejar diversos protocolos de comunicación, NVIDIA Metropolis se integra de manera óptima con la infraestructura de 50G-PON, ofreciendo soluciones escalables para las demandas de procesamiento complejo de la ciudad. Entre sus aplicaciones destacadas se incluyen la optimización de ciclos de semáforos en tiempo real basada en flujos vehiculares y la clasificación automática de residuos para mejorar las tasas de reciclaje, lo cual contribuye directamente a los objetivos de movilidad y gestión ambiental de Cajamarca.

Este enfoque asegura no solo la viabilidad técnica de la red 50G-PON sino también su sostenibilidad y eficacia a largo plazo, lo que posicionará a Cajamarca en la vanguardia de las ciudades inteligentes, con una infraestructura robusta y flexible capaz de adaptarse a los continuos avances tecnológicos y a las necesidades de sus ciudadanos.

## 4 CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

---

Tras exponer en detalle las soluciones tecnológicas para la transformación de Cajamarca en una ciudad inteligente (**Anexo 1, Anexo 2**), es momento de evaluar los resultados obtenidos. Este proceso de evaluación se llevará a cabo trabajando en base a los indicadores previamente establecidos, que permiten medir la efectividad del diseño de la red 50G-PON y su capacidad para soportar los servicios propuestos. Estos indicadores, tales como el throughput, la cantidad de sensores conectados, la fibra óptica desplegada y la cobertura de los centros de control, son esenciales para garantizar que las soluciones implementadas cumplan con los estándares necesarios para transformar a Cajamarca en una ciudad inteligente eficiente, escalable y sostenible.

Se partió estableciendo como primer objetivo “Diagnosticar la infraestructura de banda ancha en la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, como punto de partida para el desarrollo de nuevas tecnologías” donde se reveló que, la fibra óptica previamente desplegada (**Anexo 3**) conjunto con en el anillo interinstitucional interconectando la municipalidad (**Anexo 4**) proporciona una base sólida para el proyecto. En este contexto, se propone aprovechar la infraestructura de fibra óptica existente, ya que resulta una solución más eficiente en términos de costos y permite maximizar el uso de la tecnología actual. Optar por un nuevo despliegue implicaría mayores costos y desaprovecharía los recursos disponibles. Aunque las cámaras de videovigilancia representan un avance, la infraestructura actual no posee la capacidad ni la escalabilidad necesarias para gestionar y procesar el gran volumen de datos requerido por las soluciones inteligentes propuestas, subrayando la necesidad de optimizar y ampliar la red existente para soportar los servicios de una ciudad inteligente. (**Anexos 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12**).

Se propone como solución aprovechar la infraestructura de fibra óptica ya desplegada en Cajamarca, adecuándola a la tecnología 50G-PON para soportar los servicios de una ciudad inteligente. En lugar de realizar un costoso y complejo despliegue de nueva infraestructura, la adaptación de la red existente permite maximizar los recursos actuales, optimizando su capacidad para manejar las aplicaciones de ciudades inteligentes. Esta estrategia consiste en modernizar el

despliegue de fibra ya instalado, haciéndolo compatible con las tecnologías de 50G-PON, lo que permitirá un funcionamiento eficiente y escalable de los servicios avanzados.

El diseño de la red 50G-PON requiere el despliegue de 3.67 km adicionales de fibra óptica y la instalación de 78 ONUs distribuidas estratégicamente para garantizar el correcto funcionamiento de la red. A través del dimensionamiento del ancho de banda necesario para los distintos servicios de la ciudad inteligente, se identificó un total de 3,172 sensores, entre los que se incluyen controladores de semáforos, sensores GPS, contadores de personas, luminarias inteligentes, contenedores de residuos, sensores de calidad del aire y del agua, y cámaras de videovigilancia. Este dimensionamiento asegura que la red propuesta pueda soportar eficientemente la alta demanda de datos que requieren estos servicios.

En términos de capacidad, el throughput de la red es de 49.7664 Gb/s en downstream y configuraciones de hasta 49.7664 Gb/s en upstream, lo que representa un incremento significativo comparado con tecnologías PON previas. Las longitudes de onda para downstream (1340-1344 nm) y upstream (1260-1280 nm o 1290-1310 nm) están optimizadas para una transmisión eficiente, reduciendo la interferencia en la fibra y permitiendo el correcto funcionamiento de los servicios avanzados de ciudad inteligente. Estas mejoras permiten no solo cumplir con las demandas actuales, sino también escalar la red en el futuro para integrar nuevos servicios y tecnologías sin comprometer el rendimiento o la estabilidad de la red. (**Anexos 13,14,15 y 16**). Lo que garantiza un rendimiento superior sin la necesidad de reemplazar la infraestructura existente. Así, se fortalece la conectividad de la ciudad con una visión de futuro, habilitando una plataforma robusta y escalable para el desarrollo de soluciones inteligentes y transformadoras, integrando tecnología de vanguardia en la red actual (**Anexo 17**) [104], [105].

En el segundo objetivo "Identificar los servicios que posibiliten a Cajamarca ser una "ciudad inteligente" para dimensionar el ancho de banda necesario" se identificaron y analizaron servicios clave como el transporte inteligente, la eficiencia energética, la gestión ambiental, la gestión de residuos urbanos y la seguridad ciudadana. Este análisis fue posible gracias a la encuesta realizada a 77 ciudadanos de la ciudad de Cajamarca, complementada con documentación oficial de entidades públicas. Los servicios identificados, como la semaforización inteligente, el transporte público

conectado, la iluminación inteligente, la recolección de residuos con sensores de llenado y la vigilancia mediante cámaras de alta gama, están diseñados para mejorar significativamente la operatividad y eficiencia de la ciudad, sentando las bases para una red urbana más moderna y conectada. (**Anexo 18,19,20 y 31**) potenciados por tecnologías como inteligencia artificial, sensores y redes de banda ancha tendrían un impacto positivo en la calidad de vida, sostenibilidad y competitividad de Cajamarca. Se plantearon soluciones específicas como semaforización inteligente, luminarias inteligentes, redes de contenedores y calidad ambiental con sensores en tiempo real. Tras un dimensionamiento de ancho de banda, la tecnología 50G-PON resulta óptima al cubrir los 1.73 GB/s requeridos por los sensores.

Esto demostró factibilidad técnica, pero se necesita un plan escalonado de implementación priorizando áreas de alto beneficio, proyectos piloto iniciales y capacitación del personal para la gestión de estas soluciones inteligentes. Asegurando así con la tecnología adecuada para garantizar el funcionamiento óptimo de una ciudad inteligente, especialmente en lo que respecta a la velocidad de banda ancha [106], [107].

Con el desarrollo del tercer objetivo “Establecer la cobertura de la infraestructura de red para delimitar su alcance dentro de la zona urbana de la ciudad de Cajamarca” se obtuvo que la infraestructura de red diseñada para el área urbana de la ciudad de Cajamarca, el diseño de la red 50G-PON se basa en el aprovechamiento la infraestructura existente, donde solo es necesario un despliegue adicional de 3.67 km de fibra óptica y la instalación estratégica de 78 ONUs (Unidades de Red Óptica). Estas ONUs se ubicarán en puntos clave para maximizar la eficiencia y cobertura de la red, asegurando que los servicios inteligentes puedan operar de manera óptima. Esta infraestructura no solo reduce costos, sino que también simplifica el proceso de implementación al aprovechar las redes de fibra previamente desplegadas, garantizando así una conectividad continua y confiable para los habitantes de Cajamarca. Con este enfoque, se logra una integración efectiva de los servicios de ciudad inteligente, optimizando la conectividad y eficiencia en toda la zona urbana. Además de optimizar el uso de la infraestructura existente, los hilos de fibra óptica libres de los despliegues previos se utilizarán como fibras de respaldo, lo que añadirá una capa adicional de

redundancia y seguridad a la red 50G-PON. Esta configuración permitirá que, en caso de cualquier falla o interrupción en la fibra principal, la red pueda mantener la operatividad mediante los hilos de backup, garantizando la continuidad de los servicios de la ciudad inteligente sin comprometer el rendimiento ni la calidad de la conectividad. Este enfoque no solo maximiza la eficiencia del uso de los recursos disponibles, sino que también refuerza la resiliencia de la infraestructura, asegurando un servicio robusto y confiable para la población de Cajamarca. La topología de red tipo árbol, junto con el diseño distributivo basado en la normativa ITU-T G.984, lo que garantiza eficiencia y flexibilidad. Además, se ha propuesto la ubicación estratégica de dispositivos y sensores para de la ciudad inteligente siendo este enfoque integral donde se busca transformar Cajamarca en una ciudad inteligente, mejorando la calidad de vida y promoviendo el desarrollo sostenible mediante conectividad avanzada y una gestión eficiente de recursos [55] [108].

En el cuarto objetivo desarrollado “Seleccionar equipamiento e identificar los recursos necesarios para el despliegue de la tecnología 50G-PON” se evidencia que la conectividad de altas prestaciones está garantizada gracias a la red 50G PON, entonces es necesario recopilar, analizar y utilizar de modo efectivo la ingente cantidad de datos generados. Por ello se realizaron elecciones estratégicas de equipos como la OLT SmartAX MA5800-X17 de Huawei la cual posee gran escalabilidad y capacidad (**Anexo 21**), permitiendo implementaciones masivas de accesos XG-PON y 50G-PON. El transceptor óptico Accelink RTX300-3xx por su modulación PAM4 y alcance de 20km (**Anexo 22**), ideal para redes de gran longitud. La ONU ZXEN G300-N9de ZTE es la elección más apropiada al ofrecer compatibilidad con 50G-PON (**Anexo 23**), siendo la opción ideal para asegurar una conectividad óptima. La fibra óptica G.657.A2 (**Anexo 24**) se seleccionó para adaptarse a los requisitos mecánicos y de rendimiento de cada tramo. Para el procesamiento de datos, se optó por el servidor Dell PowerEdge R930 (**Anexo 25**), y el servidor NAS Synology RS1619xs se eligió por su escalabilidad en almacenamiento (**Anexo 26**). El switch Cisco Catalyst 9400 (**Anexo 27**) desempeña un rol crucial al brindar conectividad a la red dentro del Data Center, asegurando una operación fluida y eficiente. Teniendo la protección eléctrica se asegura mediante el UPS Smart-UPS SRTL5KRM2UT de APC (**Anexo 28**).



En el data center, se han planificado para poseer aspectos críticos como la infraestructura física, sistemas de aire acondicionado, instalaciones eléctricas y seguridad, cumpliendo con normativas internacionales. La redundancia en sistemas, la puesta a tierra robusta y la implementación de medidas de seguridad garantizan la resiliencia del centro de datos. Asimismo, el data center se alinea a la certificación de Nivel V - ICREA HSHA-WCQA (High Security, High Available World Class Quality Assurance), bajo las recomendaciones de la norma peruana ISO/IEC 22237, la cual establece condiciones estrictas de redundancia eléctrica y mecánica, tolerancia a fallos, monitoreo proactivo y protección física para centros de procesamiento de datos.

Por otra parte, el Centro de Monitoreo, se considera fundamental para la gestión eficiente, destacando una infraestructura adecuada, con sistemas de gestión de video, medidas de seguridad y capacitación del personal.

La elección de la plataforma NVIDIA Metropolis como componente clave en la infraestructura de procesamiento de datos para Cajamarca se basa en su capacidad única para procesar grandes volúmenes de información generados por cámaras, sensores y dispositivos IoT en tiempo real. Esta plataforma no solo demuestra eficiencia en casos de uso prácticos, como la optimización de ciclos de semáforos y la clasificación automática de residuos, sino que también ofrece flexibilidad al integrarse con diversos sensores y desplegarse desde el borde de la red hasta la nube. Su capacidad para aprender patrones de comportamiento urbano, optimizar operaciones y crear servicios impulsa la transformación hacia una Cajamarca verdaderamente inteligente.

La cuidadosa selección de tecnologías y la implementación de una infraestructura de red sólida en Cajamarca establecen los cimientos para el desarrollo de una ciudad inteligente. La red 50G-PON y su equipamiento estratégico ofrecen conectividad eficiente, gestionando grandes volúmenes de datos generados por dispositivos IoT y sensores. El robusto Data Center garantizan la resiliencia y seguridad necesaria. La integración de la plataforma NVIDIA Metropolis destaca por su capacidad para procesar datos en tiempo real, aprender patrones urbanos y optimizar operaciones, permitiendo soluciones innovadoras como la gestión dinámica del tráfico y la clasificación automática de residuos. En conjunto, estas

soluciones tecnológicas implementadas posicionaran a Cajamarca como una ciudad inteligente [12].

En el desarrollo del objetivo “Proyectar la red 5G-PON en base a los servicios, cobertura y equipamiento” se ha identificado que la infraestructura de fibra óptica existente en Cajamarca, compuesta por despliegues realizados en 2011 y 2019, proporciona una base sólida para la evolución hacia una red más avanzada sin necesidad de un nuevo despliegue masivo. El análisis ha revelado que los hilos de fibra libres, que representan una reserva valiosa dentro de la infraestructura actual, permiten no solo la expansión de la red, sino también la implementación de servicios avanzados de ciudad inteligente con tecnología 5G-PON.

La red actual cuenta con un significativo número de hilos de fibra óptica sin utilizar, especialmente en el despliegue de 2019, donde se identificaron 18 hilos libres en la zona sur, 2 hilos en la zona norte y 56 hilos en el centro de la ciudad. Estos hilos disponibles pueden ser utilizados de manera estratégica para expandir la cobertura y mejorar la capacidad de la red, sirviendo como canales de backup para garantizar la redundancia y la continuidad del servicio. La capacidad ociosa de estos hilos, junto con la baja atenuación obtenida por la red 5G-PON, proporciona una oportunidad para escalar la red sin necesidad de realizar un despliegue adicional. La reutilización de los hilos libres y la optimización del despliegue existente ofrecen una propuesta escalable y rentable, que se adapta a las necesidades actuales y futuras sin incurrir en los elevados costos asociados con un nuevo despliegue completo de fibra. Este enfoque asegura que la ciudad no solo aproveche al máximo su infraestructura actual, sino que también esté preparada para integrar las tecnologías más avanzadas en su red, garantizando así un camino claro hacia la digitalización y la modernización de sus servicios urbanos.

En el Data Center se consideraron dos gabinetes, uno de comunicaciones (GC-01) y otro de procesamiento (GP-01) con capacidad para agregar más equipos que complementen las funciones. Se incluyeron dos servidores para procesamiento de información de la ciudad y tres NAS para respaldo, con UPS para energía.

Siendo la naturaleza dinámica de una ciudad inteligente la cual requiere que su infraestructura de conectividad sea flexible para ampliar la cobertura e incorporar nuevas soluciones tecnológicas con el tiempo. Inicialmente, los proyectos suelen focalizarse en áreas específicas, pero el objetivo es extender los beneficios de

forma progresiva a más zonas y residentes. Además, los avances en tecnologías como internet de las cosas, inteligencia artificial y comunicaciones móviles demandan redes capaces de escalar capacidad y ancho de banda para su adopción. Demostrando que la columna vertebral de conectividad desarrollada permite expansión y modernización continua, la ciudad inteligente tendrá proyecciones a futuro. Al implementar redes troncales sobredimensionadas con hilos disponibles, enlaces óptimos y fibra de respaldo como se plantea para zona urbana de Cajamarca, se habilita esta flexibilidad. Se puede ampliar cobertura, incorporar nuevos servicios inteligentes e integrar infraestructura adicional sin rupturas, garantizando calidad y disponibilidad en una creciente área de influencia para mejorar la vida de más habitantes [108].

## 4.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS SEGÚN ANTECEDENTES

La infraestructura de fibra óptica de Cajamarca, desplegada en los años 2011 y 2019, se presenta como una base sólida y adaptable para la implementación de tecnología 50G-PON, permitiendo la transformación hacia una ciudad inteligente sin necesidad de un despliegue masivo adicional. Este enfoque se ve respaldado por una serie de investigaciones internacionales que destacan la viabilidad técnica y económica de aprovechar infraestructuras ópticas heredadas para migrar a redes avanzadas de mayor capacidad.

Comparativa con Investigaciones Científicas: Estudios como "50G-PON: The First ITU-T Higher-Speed PON System" demuestran que la tecnología 50G-PON no solo mejora significativamente la capacidad de las redes ópticas, sino que también permite la coexistencia con sistemas PON ya instalados, gracias a la multiplexación por división de longitud de onda (WDM). Esto es particularmente relevante para Cajamarca, donde la reutilización de los hilos libres permite una actualización sin necesidad de un reemplazo completo de la infraestructura actual [7].

Otra investigación relevante, "Estudio tecno-económico del despliegue del estándar 50G-PON sobre infraestructura óptica heredada", destaca que reutilizar la infraestructura óptica existente no solo es técnicamente viable, sino también beneficioso desde el punto de vista económico. Esta estrategia reduce los costos de despliegue y explotación de servicios avanzados, facilitando una transición más eficiente hacia redes de mayor capacidad. Este análisis se alinea perfectamente con la situación en Cajamarca, donde los hilos libres identificados pueden utilizarse estratégicamente para soportar la expansión y garantizar la continuidad del servicio[16].

La investigación "Migration Paths to 25G EPON, 50G, 100G EPON and Wavelength Plans" resalta la importancia de la planificación de longitudes de onda y la coexistencia con tecnologías anteriores, asegurando que las redes puedan evolucionar en pasos significativos sin necesidad de una reconfiguración total. Esta conclusión es especialmente relevante, ya que la infraestructura actual de Cajamarca presenta la flexibilidad necesaria para soportar incrementos sustanciales en la capacidad de transmisión sin comprometer la calidad del servicio[15].

Por otro lado, la investigación "Progress of ITU-T higher speed passive optical network (50G-PON) standardization" aborda los avances en la estandarización y la viabilidad técnica del 50G-PON, enfatizando la capacidad de esta tecnología para satisfacer las crecientes demandas de ancho de banda debido a servicios emergentes como la realidad virtual y la realidad aumentada. Esta perspectiva proporciona un marco integral para la actualización de la red en Cajamarca, permitiendo un uso eficiente de los recursos existentes y facilitando la adopción de servicios avanzados para una ciudad inteligente [20].

## 5 CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### 5.1 CONCLUSIONES

En base al desarrollo de objetivos concluimos lo siguiente:

#### **Diagnóstico de la Infraestructura de Banda Ancha Actual:**

El diagnóstico de la infraestructura de banda ancha en la zona urbana de Cajamarca demostró que, a pesar de los despliegues realizados en 2011 y 2019, existen oportunidades significativas para optimizar y escalar la red existente. Se identificó que la infraestructura de fibra óptica actual, con sus hilos libres y capacidad de expansión, proporciona una base adecuada para evolucionar hacia una red más avanzada como la 50G-PON, sin necesidad de un despliegue masivo nuevo. Esta perspectiva aprovecha al máximo los recursos ya instalados, permitiendo una actualización eficiente y rentable que responde a las crecientes demandas tecnológicas de una ciudad inteligente.

#### **Identificación de Servicios Clave para una Ciudad Inteligente:**

El estudio identificó que, a partir del análisis de los servicios potenciales, se destacaron áreas clave como la gestión inteligente del tráfico, la seguridad ciudadana, la eficiencia energética, la gestión de residuos y la salud pública. Estos servicios requieren una conectividad robusta y de baja latencia, características que la tecnología 50G-PON puede proporcionar. La implementación de esta red permitirá una integración más eficiente de los servicios digitales, potenciando la transformación urbana hacia una ciudad verdaderamente inteligente.

En particular, la seguridad ciudadana juega un papel crucial. La red 50G-PON, junto con sistemas de gestión de NVIDIA Metropolis, permitirá un control centralizado y en tiempo real de cámaras de vigilancia, sensores y otros dispositivos de monitoreo, facilitando una respuesta más rápida ante incidentes y una mayor capacidad de prevención del crimen. Empezar en Cajamarca con la gestión y control de la delincuencia no solo mejorará la calidad de vida de sus habitantes, sino que sentará las bases para un desarrollo urbano seguro, sostenible y resiliente, siendo un ejemplo a seguir para otras ciudades del país.

#### **Establecimiento de la Cobertura de la Red:**

La evaluación de la cobertura de la red mostró que, con solo 3.67 km adicionales de fibra y la instalación estratégica de 78 ONUs, es posible cubrir de manera

efectiva toda la zona urbana de Cajamarca. Esta solución maximiza el uso de la infraestructura existente y asegura una distribución uniforme y eficiente de los servicios digitales avanzados, optimizando la conectividad y reduciendo costos.

### **Selección del Equipamiento y Recursos Necesarios para el Despliegue de la Tecnología:**

La selección del equipamiento necesario, como la OLT Huawei MA5800 X17 y los controladores HPE Edgeline, asegura que la red 50G-PON esté equipada para soportar las altas demandas de datos y la integración de múltiples servicios. La inversión en tecnología moderna y adaptable no solo mejora el rendimiento de la red, sino que también garantiza su escalabilidad y sostenibilidad a largo plazo, permitiendo una evolución continua hacia nuevos estándares tecnológicos.

### **Proyectar la red 50G-PON en base a los servicios, cobertura y equipamiento:**

La proyección de la red 50G-PON, basada en el diagnóstico de la infraestructura existente, la identificación de servicios clave y la cobertura planificada, asegura una implementación escalable y adaptable a las necesidades actuales y futuras de Cajamarca como ciudad inteligente. Esta red no solo soportará la demanda actual, sino que también permitirá la integración de nuevas tecnologías y servicios, impulsando la modernización de la ciudad. Incluye la selección de equipos avanzados, como la OLT Huawei MA5800 X17 y los controladores HPE Edgeline EL8000, que facilitan una gestión eficiente y escalable de la red, alineándose con los estándares de rendimiento y sostenibilidad. El presupuesto, que abarca infraestructura de red, materiales, software de gestión y servicios de instalación y configuración, asegura una implementación sin contratiempos y con capacidad de expansión. Además, se ha considerado un margen de contingencia para mitigar posibles sobrecostos, garantizando la sostenibilidad operativa a largo plazo. Esta inversión proporciona a Cajamarca una base tecnológica robusta y adaptable, posicionándola como una ciudad inteligente preparada para los avances en telecomunicaciones y capaz de enfrentar los desafíos tecnológicos futuros.



## 5.2 RECOMENDACIONES

Basado en las conclusiones, se recomienda proceder con la actualización de la infraestructura a 50G-PON para abordar las limitaciones actuales y preparar a Cajamarca para futuros desarrollos tecnológicos. Además, es crucial realizar una planificación detallada y considerar asociaciones con tecnólogos y empresas especializadas en redes de fibra óptica para asegurar una implementación exitosa y eficiente.

Considerando los análisis realizados y la infraestructura existente, la implementación de la tecnología 50G-PON en la ciudad de Cajamarca resulta factible y ventajosa. El despliegue adicional de solo 3.67 km de fibra y la instalación de 78 ONUs permiten aprovechar los recursos actuales sin necesidad de iniciar desde cero, lo cual reduce significativamente los costos y la complejidad del proyecto. La red 50G-PON, con un throughput de 49.7664 Gb/s, puede gestionar eficientemente los 3172 sensores distribuidos para servicios esenciales como semaforización inteligente, gestión de residuos, control de calidad ambiental, y cámaras de videovigilancia.

Además, la elección del software NVIDIA Metropolis garantiza un control avanzado y centralizado de la infraestructura urbana, permitiendo el análisis y la toma de decisiones en tiempo real. Esta plataforma está optimizada para procesar grandes volúmenes de datos, facilitando la gestión eficiente de los sensores y dispositivos IoT desplegados en la ciudad, mejorando la seguridad, movilidad y sostenibilidad. Finalmente, con la planificación detallada de cronogramas y presupuestos, se asegura la viabilidad técnica y económica del proyecto, proporcionando una solución escalable y sostenible para transformar a Cajamarca en una ciudad verdaderamente inteligente y conectada al futuro.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] El Peruano, «Estrategia Nacional de Ciudades Inteligentes permitirá integrar esfuerzos de inversión tecnológica». Accedido: 31 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://elperuano.pe/noticia/168387--estrategia-nacional-de-ciudades-inteligentes-permitira-integrar-esfuerzos-de-inversion-tecnologica>
- [2] Andina, «¡Atención Cajamarca! Región registra niveles de radiación muy altos por escasa nubosidad». Accedido: 19 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-atencion-cajamarca-region-registra-niveles-radiacion-muy-altos-escasa-nubosidad-947214.aspx>
- [3] C. Patel, *Network Scalability in Optical Networks*. John Wiley & Sons., 2021.
- [4] N. Kumar y S. Smys, «Security Challenges in Optical Networks.», *CRC Press*, 2020.
- [5] M. Shafi, A. Molish, y P. Smith, «5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice.», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, n.º 6, pp. 1201-1221, 2017.
- [6] E. Dahlman, S. Parkvall, y J. Skold, *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology*. Academic Press., 2020.
- [7] R. Bonk *et al.*, «50G-PON: The First ITU-T Higher-Speed PON System», *IEEE Communications Magazine*, vol. 60, n.º 3, pp. 48-54, mar. 2022, doi: 10.1109/MCOM.001.2100441.
- [8] J. Zhang, y Y. Liu, *50G-PON Technology: Opportunities and Challenges. Optical Network Design and Modeling*. 2021.
- [9] B. Quinde, «Conectividad país: ¿Cuáles son las medidas para mejorar la cobertura y acortar la brecha digital?», *Rumbo Minero*. Accedido: 1 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/actualidad-empresarial/brecha-digital/>
- [10] I. Basombrío, «Telecomunicaciones: Tendencias, Servicios y Derechos de los Usuarios.», *Revista de la Competencia y la Propiedad Intelectual*, vol. 1, n.º 10, pp. 118-143, 2023.
- [11] E. Press, «Huawei lanza el primer prototipo 50G POL de la industria para redes de campus Wi-Fi 7 de próxima generación». Accedido: 1 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.europapress.es/comunicados/internacional-00907/noticia-comunicado-huawei-lanza-primer-prototipo-50g-pol-industria-redes-campus-wi-fi-proxima-generacion-20230303151649.html>
- [12] «50G PON's Major Role in Driving Society Forward», Huawei BLOG. Accedido: 12 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://blog.huawei.com/2022/11/23/50g-pon-role-driving-society-forward/>
- [13] IEEE, «GPON and XG(S)-PON Coexistence in Access Networks», *IEEE Communications Magazine*, 2023.
- [14] J. Kunstler, «PON's momentum continues: an overview of market dynamics including importance of sustainability | OFC». Accedido: 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ofcconference.org/en-us/home/news-and-press/ofc-blog/2024/january/pon%e2%80%99s-momentum-continues-an-overview-of-market-dyn/>
- [15] E. Dai, «Migration Paths to 25G EPON, 50G, 100G EPON and Wavelength Plans», presentado en IEEE 802.3ca TF, IEEE Plenary Meeting, Orlando,

- USA, 2019. [En línea]. Disponible en: [https://grouper.ieee.org/groups/802/3/ca/public/meeting\\_archive/2017/11/dai\\_3ca\\_1\\_1117.pdf](https://grouper.ieee.org/groups/802/3/ca/public/meeting_archive/2017/11/dai_3ca_1_1117.pdf)
- [16] C. Rábano Alarcón, J. M. Fábrega Sánchez, y P. Tuset Peiró, *Estudio tecno-económico del despliegue del estándar 50G-PON sobre infraestructura óptica heredada*, Cataluña -España., junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/145907/7/crabanoaTFM0622memoria.pdf>
- [17] L. Chengcheng, J. Che, L. Zhengxuan, Y. Song, L. Yingchun, y Q. Zhang, «Demonstration of symmetrical 50-Gb/s TDM-PON in O-band supporting over 33-dB link budget with OLT-side amplification», *OPTICS EXPRESS* 18344, vol. 27, n.º 13, 2019.
- [18] C. Knittle, «IEEE 50 Gb/s EPON (50G-EPON)», *IEEE Xplore.*, 2020.
- [19] V. Houtsma, D. Van Veen, y E. Harstead, «Recent Progress on Standardization of Next Generation 25, 50 and 100G EPON», *Journal of Lightwave Technology*, 2019.
- [20] D. Zhang, D. Liu, X. Wu, y D. Nettet, «Progress of ITU-T higher speed passive optical network (50G-PON) standardization», *Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 12, n.º 10, pp. D99-D108, oct. 2020, doi: 10.1364/JOCN.391830.
- [21] G. Keiser, *Optical Fiber Communications*. McGraw-Hill., 2010.
- [22] M. Maier y R. Martin, *Future Access Enablers for Ubiquitous and Intelligent Infrastructures*. 2012.
- [23] W. Stallings, *Data and Computer Communications*. Pearson., 2013.
- [24] ITU-T, *ITU-T Recommendation G.984.1 (2008). Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General Characteristics*. 2008.
- [25] G. Kramer y G. Pesavento, «IPACT a dynamic protocol for an Ethernet PON (EPON)», *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, n.º 2, pp. 74-80, 2002.
- [26] ITU-T, «ITU-T Recommendation G.989 (2014). 40-Gigabit-capable Passive Optical Networks (NG-PON2).» 2014.
- [27] ITU-T, «ITU-T Recommendation G.9807.1 (2020). 50-Gigabit-capable Passive Optical Networks (50G-PON).» 2020.
- [28] H. Chourabi, «Understanding Smart Cities: An Integrative Framework.», presentado en Proceedings of the 45th Hawaii International Conference on System Sciences., 2012.
- [29] C. Harrinson *et al.*, «Foundations for Smarter Cities.», *IBM Journal of Research and Development*, vol. 54, n.º 4, 2010.
- [30] M. Batty *et al.*, «Smart Cities of the Future.», *The European Physical Journal Special Topics*, 2012.
- [31] R. Kitchin, «The Real-Time City? Big Data and Smart Urbanism.», *GeoJournal*, vol. 79, n.º 1, pp. 1-14, 2014.
- [32] J. Sanchez-Gomez, J. Gallego-Madrid, R. Sanchez-Iborra, y A. F. Skarmeta, «Performance Study of LoRaWAN for Smart-City Applications», en *2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF)*, Dresden, Germany: IEEE, sep. 2019, pp. 58-62. doi: 10.1109/5GWF.2019.8911676.
- [33] A. Townsend, «Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia.», *W.W. Norton & Company.*, 2013.

- [34] C. Goh y I. Ng, «Harnessing High-Speed Broadband for Smart City Development.», *Journal of Telecommunications and the Digital Economy*, 2018.
- [35] T. Bakici, E. Almirall, y J. Wareman, «Una iniciativa de ciudad inteligente: el caso de Barcelona.», *Revista de Economía del Conocimiento*, vol. 4, n.º 2, pp. 135-148, 2013.
- [36] J. Lee, M. Hancock, y M. Hu, «Towards an effective framework for building smart cities: Lessons from Seoul and San Francisco.», *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 89, pp. 80-99, 2014.
- [37] R. Ramaswami, K. Sivarajan, y G. Sasaki, *Optical Networks: A Practical Perspective.*, Morgan Kaufmann. 2008.
- [38] A. Picot, J. Bauer, y N. Grove, «Broadband Infrastructure Investment: The Business Case». 2009.
- [39] FCC, «Guía de Velocidades de Banda Ancha». [En línea]. Disponible en: <https://www.fcc.gov/consumers/guides/guia-de-velocidades-de-banda-ancha>
- [40] A. S. Tanenbaum y D. J. Wetherall, *Computer Networks*, 5th ed. Pearson Education., 2011.
- [41] J. W. Creswell y J. D. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 5th ed. Sage Publications., 2017.
- [42] M. Patton, *Qualitative Research & Evaluation Methods*. SAGE Publications., 2015.
- [43] R. Yin, *Case Study Research: Design and Methods*, 5th ed. Sage Publications., 2018.
- [44] E. Quisnancela y N. Espinosa, «Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x», *Enfoque UTE*, vol. 7, n.º 4, pp. 16-30, dic. 2016, doi: 10.29019/enfoqueute.v7n4.111.
- [45] L. Atzori, G. Morabito, y A. Lera, «The Internet of Things: A Survey.», *Computer Networks*, vol. 54, n.º 15, 2010.
- [46] M. Schwartz, *Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis*. Addison-Wesley., 2010.
- [47] ITU-T, «ITU-T Recommendation G.9807.1 (2020). 50-Gigabit-capable Passive Optical Networks (50G-PON).» 2020.
- [48] A. Fink, «Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper.» SAGE Publications., 2014.
- [49] ONU, «World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization. UN-Habitat.», presentado en United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2020)., 2020.
- [50] J. Pulgar, *Geografía del Perú las ocho regiones naturales, la regionalización transversal, la sabiduría ecológica tradicional*. Lima: Peisa, 2020.
- [51] J. V. Vásquez, *Tiburones de Alta Mar & Pasco y Cajamarca Emporios Mineros y Pobreza: Su lectura refleja los contrastes perversos y brutales en el comportamiento de la economía y sociedad Peruana*. 2020.
- [52] Cajamarca Opina, «El sector agrícola fortalecerá la economía en Cajamarca en el 2022». 2022.
- [53] O. Mires, *Iconografía de Cajamarca - Tomo 1 - LIBROS PERUANOS*, Red de Bibliotecas Rurales de Cajamarca. Cajamarca, 2002. Accedido: 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.librosperuanos.com/libros/detalle/8842/>

- [54] A. T. / P. L. / M. N. K. Saunders, *Research Methods For Business Students*. Harlow, England: PEARSON, 2019.
- [55] M. Bouskela, M. Casseb, s Bassi, C. De Luca, y M. Facchina, *La ruta hacia las Smart Cities: Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente*. Banco Internacional de Desarrollo. 2016.
- [56] MTC, «Red dorsal Nacional de Fibra Óptica», Lima, 2023. [En línea]. Disponible en: [https://portal.mtc.gob.pe/logros\\_red\\_dorsal.html](https://portal.mtc.gob.pe/logros_red_dorsal.html)
- [57] «PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS ACCIONES ESTRATÉGICAS DE GESTIÓN E IMPULSO DE LA REDNACE», presidencia del Consejo de Ministros, Lima, Perú, feb. 2022.
- [58] Pronatel, «San Marcos es la primera universidad pública conectada a la Red Dorsal para acceder a Internet de mayor velocidad». Accedido: 14 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/pronatel/noticias/654697-san-marcos-es-la-primera-universidad-publica-conectada-a-la-red-dorsal-para-acceder-a-internet-de-mayor-velocidad>
- [59] C. Sotelo, «(16) REDNACE GRAN OPORTUNIDAD DE DESARROLLO DEL ESTADO PERUANO | LinkedIn». Accedido: 14 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/rednace-gran-oportunidad-de-desarrollo-del-estado-carlos-sotelo-lopez/?originalSubdomain=es>
- [60] Congreso de la República y M. Taipe, «Ley que promueve la implementación progresiva de ciudades inteligentes y educadoras». 2022. [En línea]. Disponible en: [efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://wb2server.congreso.gob.pe/spley-portal-service/archivo/OTYzNjY=/pdf/PL0480820230427](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://wb2server.congreso.gob.pe/spley-portal-service/archivo/OTYzNjY=/pdf/PL0480820230427)
- [61] F. Vásquez, «Mucho que ganar: Las municipalidades y las smart cities en el Perú», Smart Cities Peru. Accedido: 14 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://smart-cities.pe/municipalidades-smart-cities-peru/>
- [62] Osiptel, «Mapa de cobertura de Telefonía Móvil». 2023. [En línea]. Disponible en: <https://serviciosweb.osiptel.gob.pe/CoberturaMovil/#>
- [63] «Encuesta a operadores: Claro, Movistar, Entel y Bitel sobre el costo y los servicios que ofrecen en la ciudad de Cajamarca», 12 de enero de 2023.
- [64] J. M. López, «Qué es el ping o latencia: cómo medirla y cómo solucionar problemas», Movistar blog. Accedido: 14 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.movistar.es/blog/gaming/latencia-ping-5g-calidad-conexion-internet/>
- [65] MPC, «Resumen ejecutivo del proyecto “Ampliación del servicio de suministro con video cámaras, utilizando la infraestructura del sistema integrado de seguridad del centro de control de emergencia y seguridad Ciudadana, Provincia de Cajamarca- Cajamarca.”» SNIP: 253650, 2018.
- [66] P. Tuset-Peiró, «Fundamentos tecnológicos, evolución, y futuro de la tecnología de acceso óptico pasivo (PON)», Tecnología++. Accedido: 17 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://blogs.uoc.edu/informatica/fundamentos-tecnologicos-evolucion-y-futuro-tecnologia-pon/>
- [67] C. Luis, G. Jorge, y G. Maira, *La ciudad inteligente y la gestión de las TIC. Caso de estudio: ciudad de Santa Marta*. Editorial Unimagdalena, 2020.
- [68] «Ley que promueve el uso de la inteligencia artificial en favor del desarrollo económico y social del país-LEY-N° 31814». Accedido: 17 de julio de 2023.

- [En línea]. Disponible en: <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-que-promueve-el-uso-de-la-inteligencia-artificial-en-fav-ley-n-31814-2192926-1/>
- [69] J. Vargas Leyva, «Situación actual del transporte público y Zonas de congestión vehicular en Cajamarca», 11 de julio de 2023.
- [70] Plataforma del Estado Peruano, «La MPC concesionó 13 rutas del servicio de transporte público regular de personas en beneficio de usuarios que no cuentan con este servicio». Consultado: 17 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/municajamarca/noticias/641359-la-mpc-concesiono-13-rutas-del-servicio-de-transporte-publico-regular-de-personas-en-beneficio-de-usuarios-que-no-cuentan-con-este-servicio>
- [71] A. Revilla, «Los problemas de tránsito vehicular en Cajamarca y el Perú tienen solución», 9 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=A8ROnp2UwLw&t=150s&ab\\_channel=Asociaci%C3%B3nAutomotrizdelPer%C3%BA-AAP](https://www.youtube.com/watch?v=A8ROnp2UwLw&t=150s&ab_channel=Asociaci%C3%B3nAutomotrizdelPer%C3%BA-AAP)
- [72] «CAJAMARCA PIERDE MÁS DE CIENTO MILLONES DE SOLES AL AÑO POR CONGESTIÓN VEHICULAR», Asociación Automotriz del Perú. Consultado: 17 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://aap.org.pe/cajamarca-pierde-mas-de-cien-millones-de-soles-al-ano-por-congestion-vehicular/>
- [73] F. Sabry, *Sistemas De Comunicación Vehicular: La perspectiva futura del transporte inteligente*. One Billion Knowledgeable, 2022.
- [74] H. A. Larijani, M. Saberi, A. Patooghy, y M. Mesgarpour, «A review of adaptive traffic signal control methods based on data mining and machine learning», 2018.
- [75] F. Sabry, *Tránsito Rápido Personal: El futuro del transporte público que permite a las ciudades moverse y respirar*. One Billion Knowledgeable, 2022.
- [76] «Información institucional». Consultado: 18 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/hidrandina/institucional>
- [77] C. Mondragón Mondragón, «Consumo energético de la ciudad de Cajamarca», 5 de julio de 2023.
- [78] E. P. Restrepo, *Hacia Una Cultura de la Gestión Energética Empresarial: Energía, cultura y desarrollo sostenible*. El Globo De Antonia, 2019.
- [79] S. M. Córdoba, *Domótica. Gestión de la energía y gestión técnica de edificios*. Grupo Editorial RA-MA.
- [80] «Expediente de operación y mantenimiento del sistema de gestión integral de residuos sólidos de la municipalidad provincial de cajamarca año 2023». gerencia de desarrollo Ambiental subgerencia de limpieza pública y ornato ambiental, 18 de julio de 2023.
- [81] «Ley N.º 27972». Consultado: 18 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/229447-27972>
- [82] «Ley N.º 28611 - Ley General del Medio Ambiente en Perú», gidahatari. Consultado: 18 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://gidahatari.com/ih-es/ley-general-del-medio-ambiente-ley-n-28611>
- [83] «Economía circular, ciudades circulares: una alternativa sostenible para América Latina y el Caribe», Ciudades Sostenibles. Consultado: 10 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/ciudades-circulares-economia-circular-sostenibilidad-urbelac-europa-america-latina-caribe/>

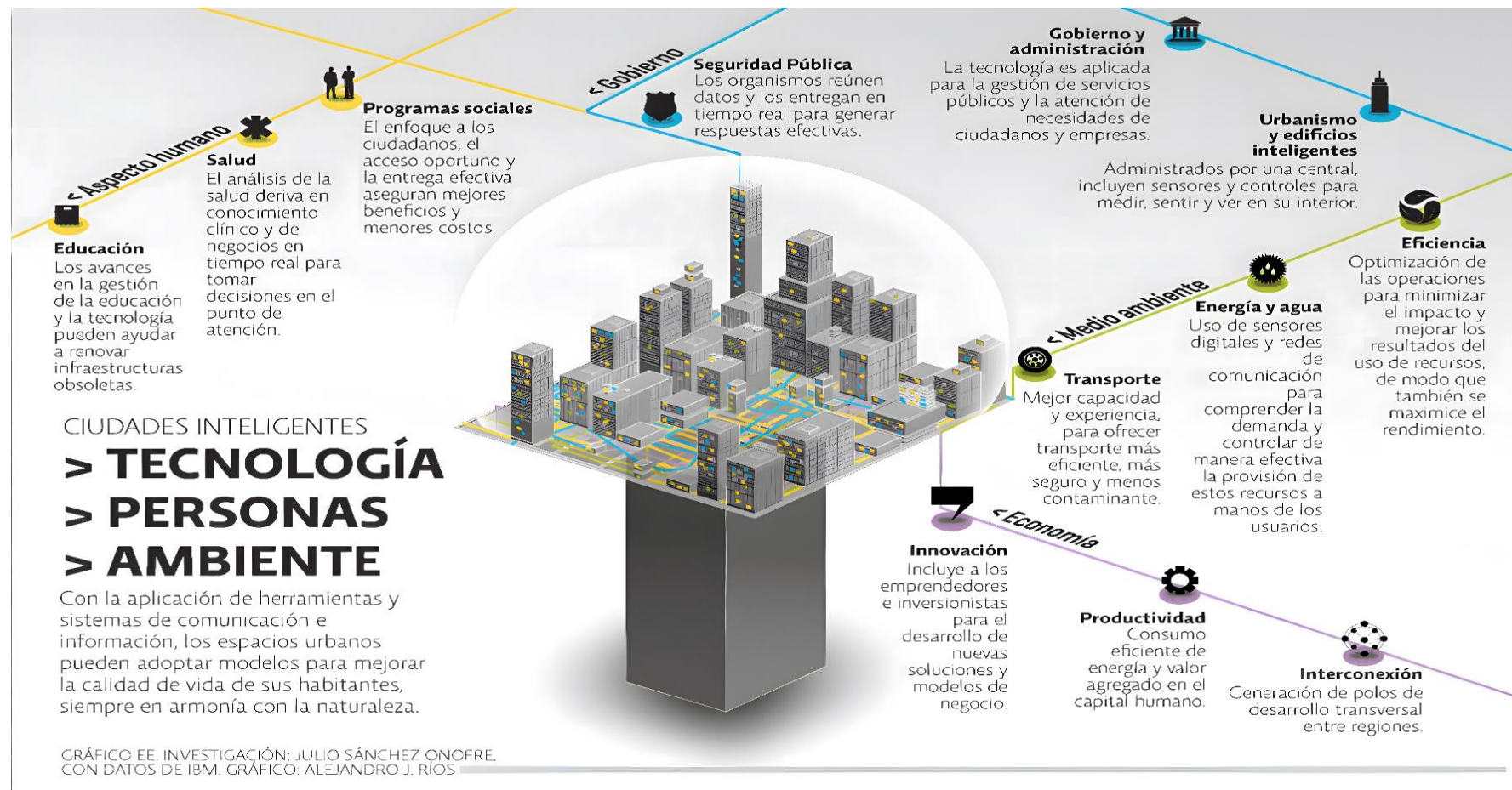
- [84] Á. Cárdenas, «Gestión inteligente de residuos urbanos en tu Smart City», Secmotic. Accedido: 10 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://secmotic.com/gestion-inteligente-de-residuos-urbanos-en-tu-smart-city/>
- [85] A. Sánchez Aguilar, «Anuario de Estadísticas Ambientales 2021». Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2021.
- [86] «MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN EL MERCADILLO DEL DISTRITO CAJAMARCA». Municipalidad Provincial de Cajamarca -Gerencia de Desarrollo Ambiental, 2023.
- [87] A. J. RIOS TIRAVANTI, «Situación actual de la seguridad ciudadana en Cajamarca», 9 de julio de 2023.
- [88] L. PRG, «Inteligencia artificial aplicada a la seguridad ciudadana | Excem Technologies», Excem Technologies, seguridad, telecomunicaciones e inteligencia. Accedido: 27 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://excemtech.com/inteligencia-artificial-seguridad-ciudadana/>
- [89] M. M. Rocasolano, *Cultural and Smart City: Torre-Pacheco*. Midac, SL, 2017.
- [90] «3. Casos prácticos de uso de la IA en los Gobiernos de América Latina y el Caribe | Uso estratégico y responsable de la inteligencia artificial en el sector público de América Latina y el Caribe | OECD iLibrary». Accedido: 27 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/6150ef8b-es/index.html?itemId=/content/component/6150ef8b-es>
- [91] J. Enrique Palomeque Flores, «¿Cómo podemos usar la inteligencia artificial para luchar contra la delincuencia en el Perú? | ENTREVISTA», *El Comercio*, Lima, 20 de febrero de 2022. Accedido: 27 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elcomercio.pe/tecnologia/actualidad/inteligencia-artificial-contrala-criminalidad-como-podemos-usar-la-inteligencia-artificial-para-luchar-contrala-delincuencia-algoritmos-patronos-reconocimiento-facial-base-de-datos-noticia/>
- [92] «Decreto Legislativo que regula el uso de las cámaras de videovigilancia-DECRETO LEGISLATIVO-N° 1218». Accedido: 19 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-regula-el-uso-de-las-cameras-de-vide-decreto-legislativo-n-1218-1291565-8/>
- [93] A. P. y Madrid, *El reconocimiento facial es un superpoder. Cómo te afectará y por qué deberías conocerlo*. Dykinson, 2021.
- [94] «Región Cajamarca es uno de los 10 destinos más visitados del Perú». Accedido: 27 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/regioncajamarca/noticias/621348-region-cajamarca-es-uno-de-los-10-destinos-mas-visitados-del-peru>
- [95] PricewaterhouseCoopers, «La tecnología que hace que las ciudades inteligentes sean inteligentes», PwC. Accedido: 24 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.pwc.com/co/es/pwc-insights/ciudades-inteligentes.html>
- [96] Schneider, «Visión y Experiencias de Schneider Electric», 2020. [En línea]. Disponible en: [https://www.elkarbide.com/sites/default/files/schneider\\_electric\\_dreamworks\\_smart\\_city\\_schneider\\_electric.pdf](https://www.elkarbide.com/sites/default/files/schneider_electric_dreamworks_smart_city_schneider_electric.pdf)



- [97] H. Villalobos Fonseca, «El desarrollo tecnológico en materia policial: una receta de éxito para la prevención del delito», *Revista de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad*, vol. 15, n.º 1, pp. 79-97, jun. 2020, doi: 10.18359/ries.4243.
- [98] F. Mazzella, «Herramientas innovadoras para combatir el cambio climático», Conexión Intal. Accedido: 24 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://conexionintal.iadb.org/2017/01/31/tecnologias-disruptivas-para-combatir-el-cambio-climatico/>
- [99] A. I. Basco, G. Beliz, D. Coatz, y P. Garnero, *Industria 4.0: Fabricando el Futuro*. Inter-American Development Bank, 2018.
- [100] L. M. C. FILIU, *Reglamento regulador de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones (RICT 2019) 5.ª edición 2022*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2022.
- [101] C. P Ioannis y H. A George, *Optical Access Networks and Advanced Photonics: Technologies and Deployment Strategies: Technologies and Deployment Strategies*. IGI Global, 2009.
- [102] «LoraWAN Gateways: How Far Can They Transmit? - DusunIoT». Accedido: 10 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dusuniot.com/blog/lorawan-gateways-how-far-can-they-transmit/>
- [103] «Construye Ciudades Más Inteligentes a Través de la IA», NVIDIA. Accedido: 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.nvidia.com/es-la/industries/smart-cities/>
- [104] M. Peters, «Technological unemployment: Educating for the fourth industrial revolution». 2017.
- [105] K. Schwab, «The fourth industrial revolution.» Cologne: World Economic Forum, 2016.
- [106] «El nuevo Informe Anual de Internet de Cisco pronostica que para 2023 más del 10% de las conexiones móviles globales serán con 5G», Cisco News The Americas Network. Accedido: 20 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://news-blogs.cisco.com/americas/es/2020/02/21/el-nuevo-informe-anual-de-internet-de-cisco-pronostica-que-para-2023-mas-del-10-de-las-conexiones-moviles-globales-seran-con-5g/>
- [107] «7 ventajas del 5G menos conocidas que cambiarán tu día a día», Telefónica. Accedido: 21 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/7-ventajas-del-5g-menos-conocidas-que-cambiaran-tu-dia-a-dia/>
- [108] D. McLaren y J. Agyeman, «Sharing cities: a case for truly smart and sustainable cities.», 2015.
- [109] L. Campanile, M. Gribaudo, M. Iacono, F. Marulli, y M. Mastroianni, «Computer Network Simulation with ns-3: A Systematic Literature Review», *Electronics*, vol. 9, n.º 2, Art. n.º 2, feb. 2020, doi: 10.3390/electronics9020272.

## 7 Anexos

### 7.1 Anexo 1: Servicios en una Smart City



## 7.2 ANEXO 2: DIMENSIONAMIENTO E INFRAESTRUCTURA PARA UNA CIUDAD INTELIGENTE

### 1. Dimensiones

Existen seis grandes áreas

divididas en subdimensiones que agrupan los servicios públicos prestados por la ciudad

Se evalúan a través de

las capacidades y adopción tecnológica que la ciudad tiene en cada dimensión

#### Medio Ambiente



- Acceso al agua
- Contaminación
- Energía

20 servicios

#### Movilidad



- Accidentalidad
- Planeación del transporte
- Tráfico
- Transporte urbano

20 servicios

#### Economía



- Desarrollo económico local
- Gobierno digital
- Turismo

18 servicios

#### Seguridad



- Seguridad ciudadana
- Resiliencia de la ciudad

15 servicios

#### Estilo de vida



- Inclusión social y diversidad
- Vivienda y desarrollo urbano
- Salud

28 servicios

#### Educación



- Talento
- Infraestructura educativa
- Brecha digital

10 servicios

Se evalúan a través de:

#### Capacidades

Se evalúan a nivel dimensión



- Visión y estrategia
- Coordinación
- Ecosistema
- Capacidades institucionales
- Financiamiento
- Marco legal

#### Adopción Tecnológica

Se evalúa a nivel servicio



- Implementación de proyectos tecnológicos o de ciudad inteligente en servicios públicos

#### Resiliencia

Se evalúan a nivel dimensión



- Preparación
- Respuesta
- Recuperación

### 2. Infraestructura

Es la infraestructura tecnológica que la ciudad tiene y apoya los proyectos de ciudad inteligente y de potencial de datos

Se evalúa a través de

la disponibilidad y características de cada tipo de infraestructura

#### Física



#### Digital



#### Potencial de datos



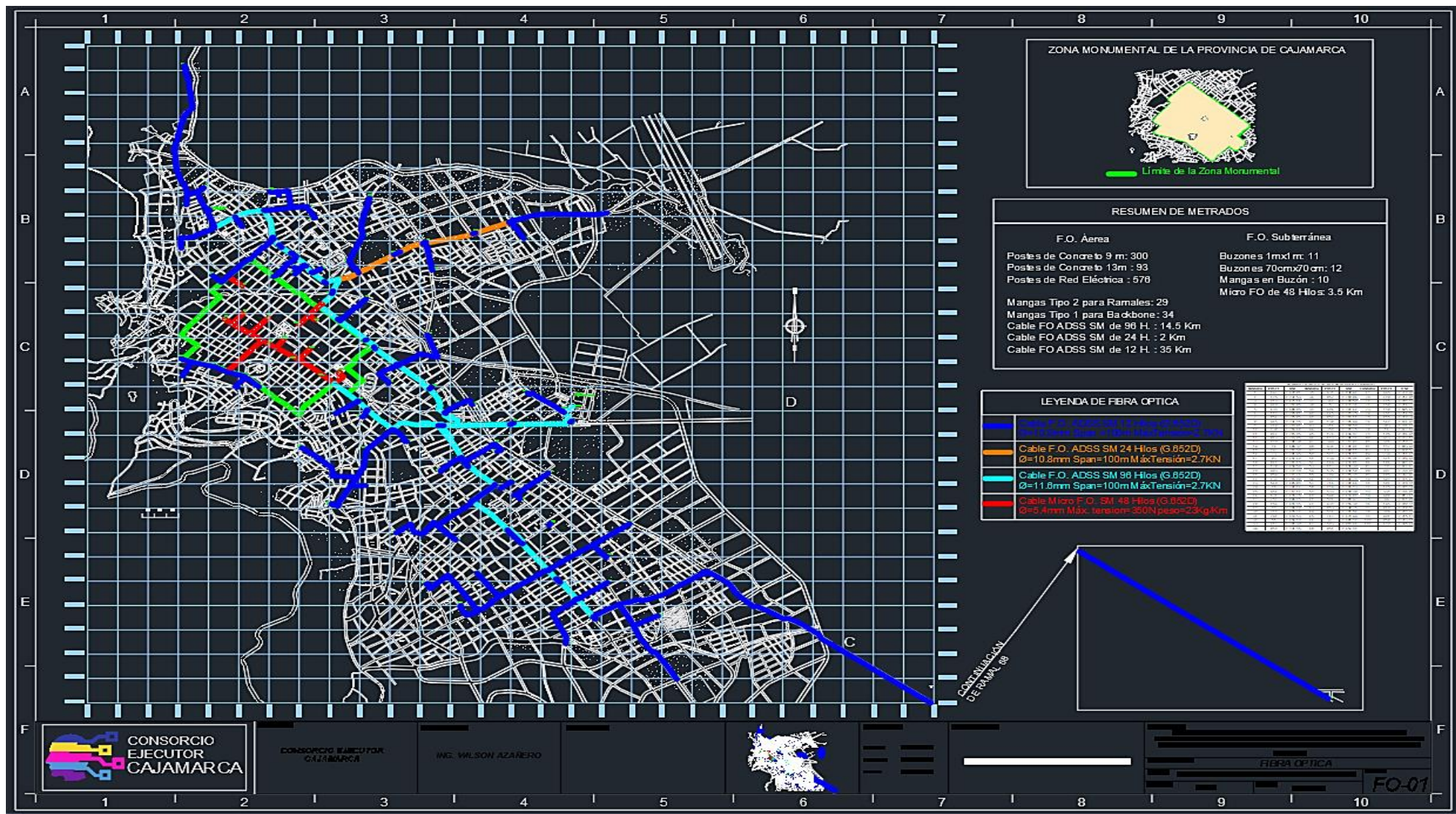
Se evalúan a través de:

#### Recursos de infraestructura

- Servidores
- Conexión alámbrica
- Conexión inalámbrica
- Conexión de última milla
- Cables submarinos
- Bases de datos
- Sistemas de análisis de datos
- Sistemas en nube
- Plataformas de gestión integrada
- Areas que generan datos
- Datos generados
- Análisis realizados



### 7.3 ANEXO 3: PLANO GENERAL DE DESPLIEGUE Y FIBRA ÓPTICA EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA





## 7.4 ANEXO 4: PLANO DE ANILLO ÓPTICO DESPLEGADO EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA.

### PLANO DEL ANILLO ÓPTICO



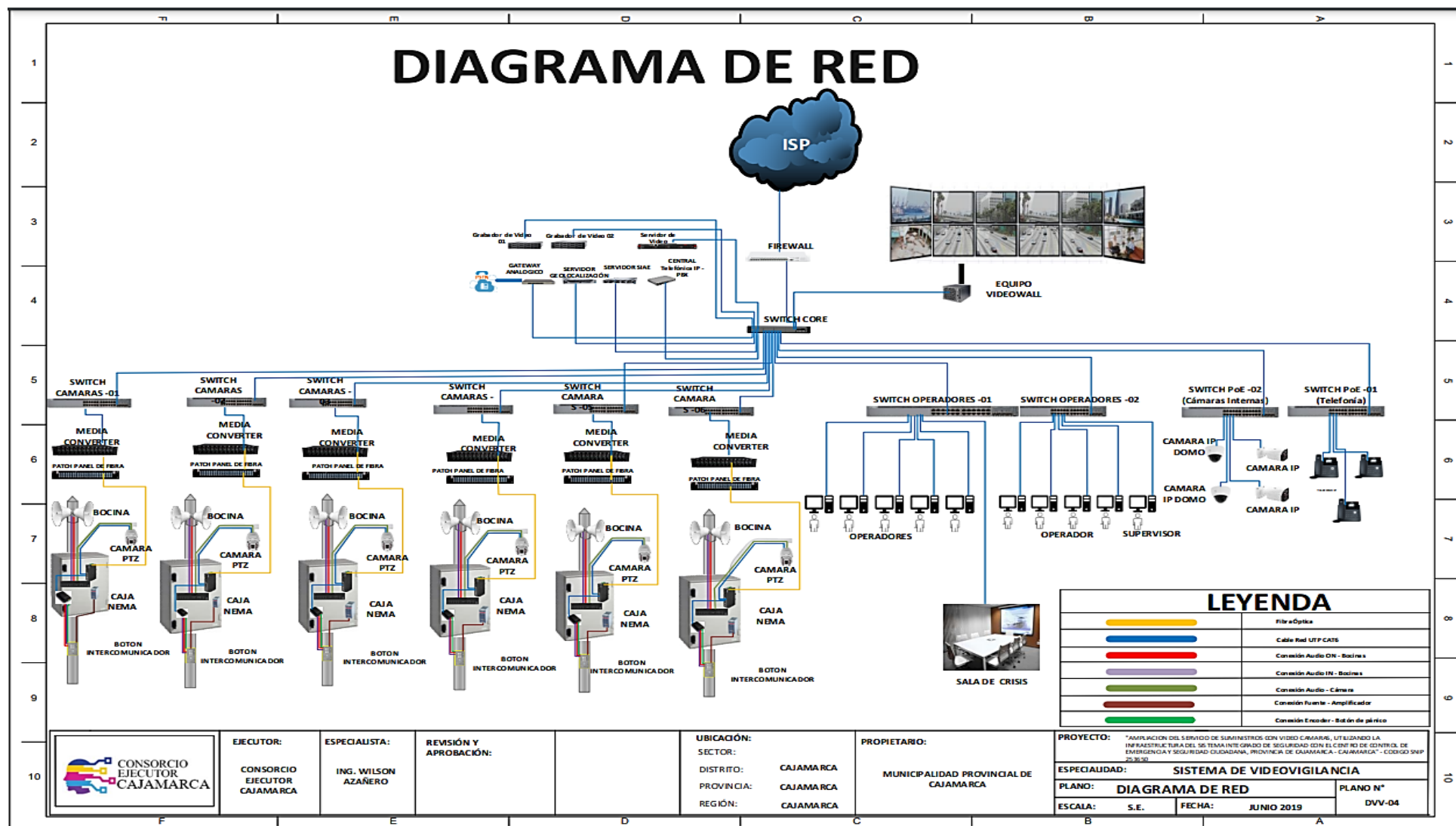
LEYENDA:

●	NODO
—	ANILLO ÓPTICO
■	ZONA DE EXPANSIÓN URBANA
■	ZONA AGROECOLÓGICA INTANGIBLE

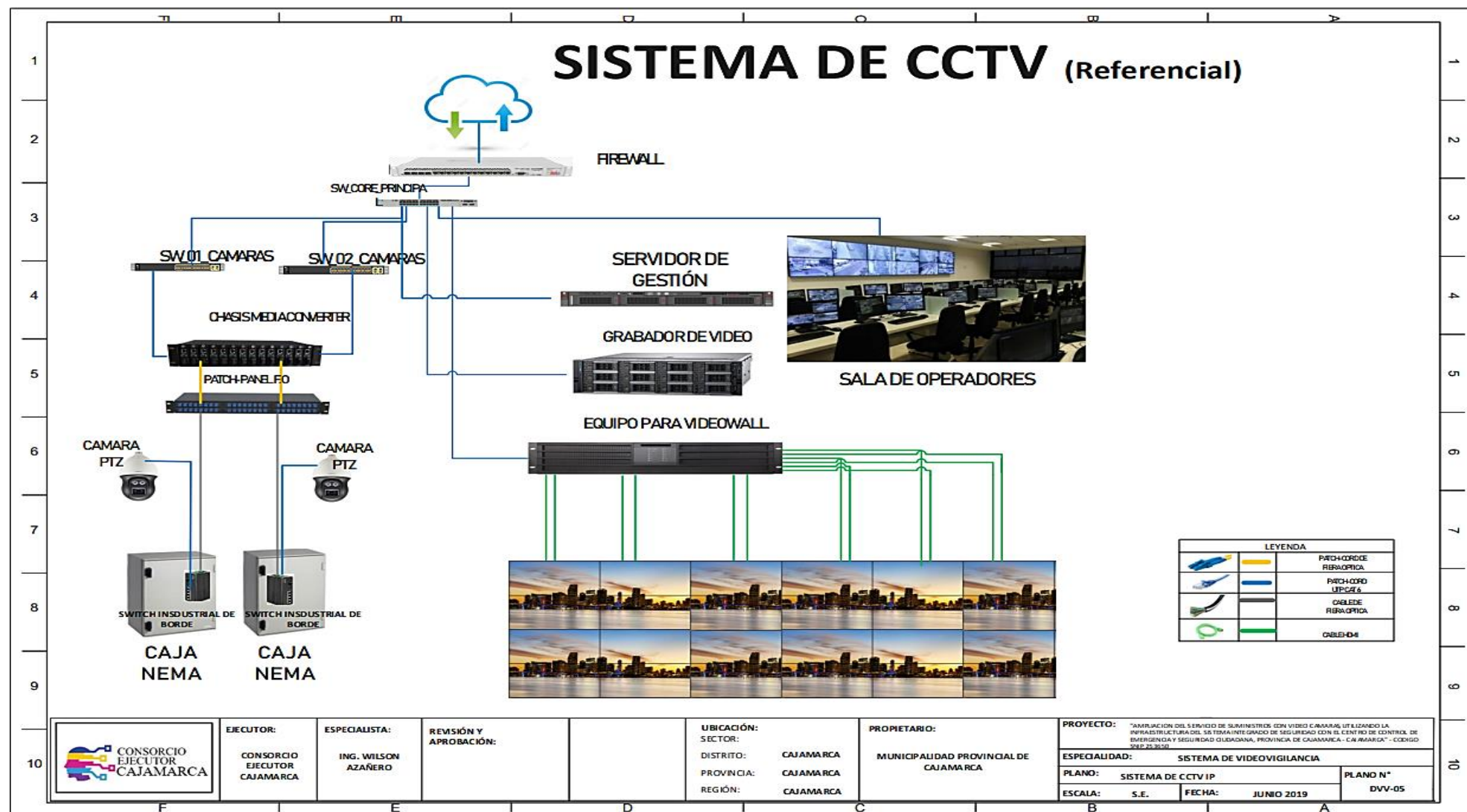
CONSORCIO SEGURIDAD CAJAMARCA

PROYECTO DE SUMINISTRO DE UNA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA PARA MEJORAR EL SERVICIO DE SEGURIDAD CON UN SISTEMA DE CONTROL DE LA SEGURIDAD URBANA (CSUCA) PARA LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA

## 7.5 ANEXO 5: DIAGRAMA DE RED DEL NUEVO CENTRO DE MONITOREO EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA

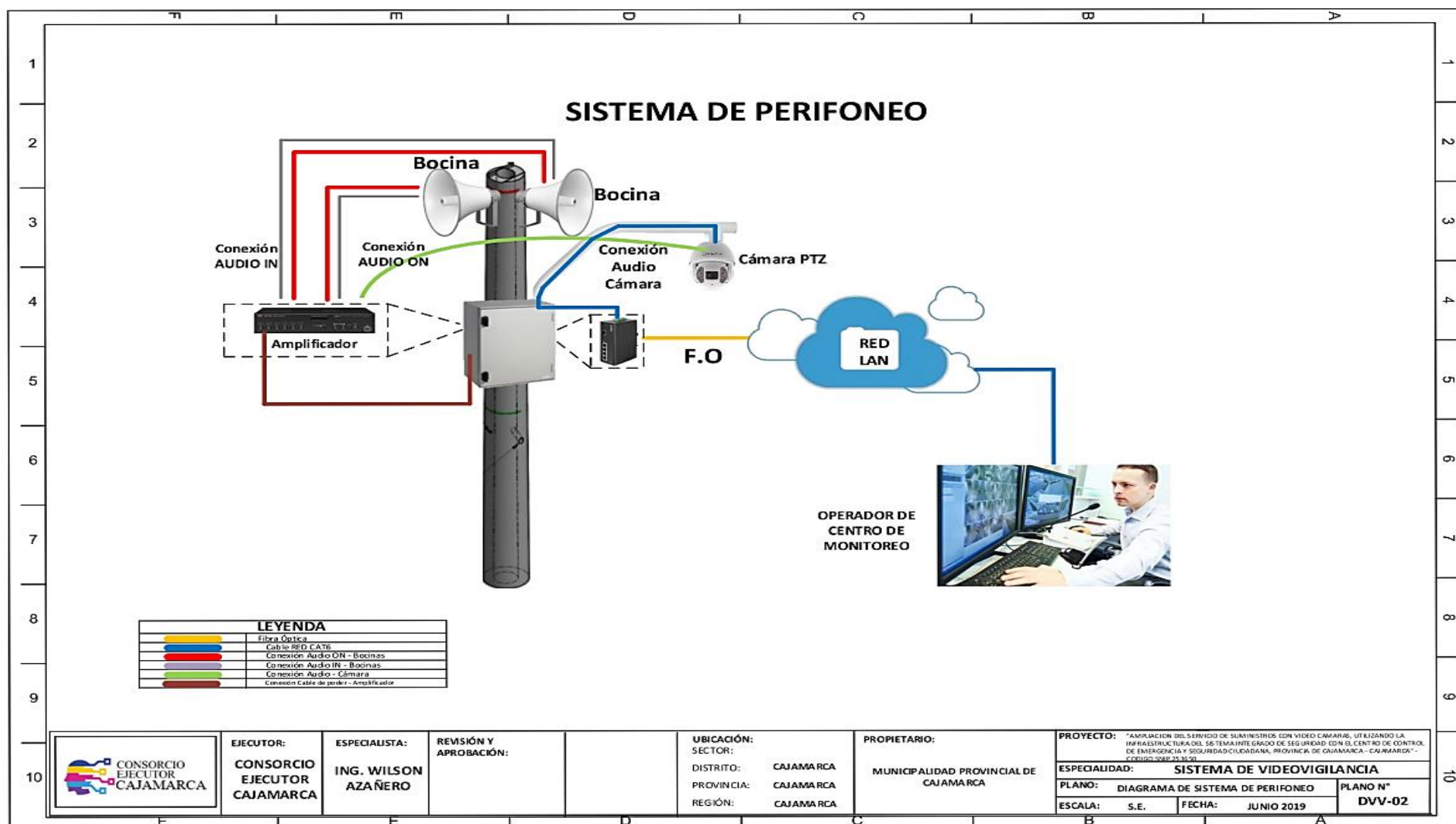


## 7.6 ANEXO 6: SISTEMA DE CCTV EN EL NUEVO CENTRO DE MONITOREO DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA

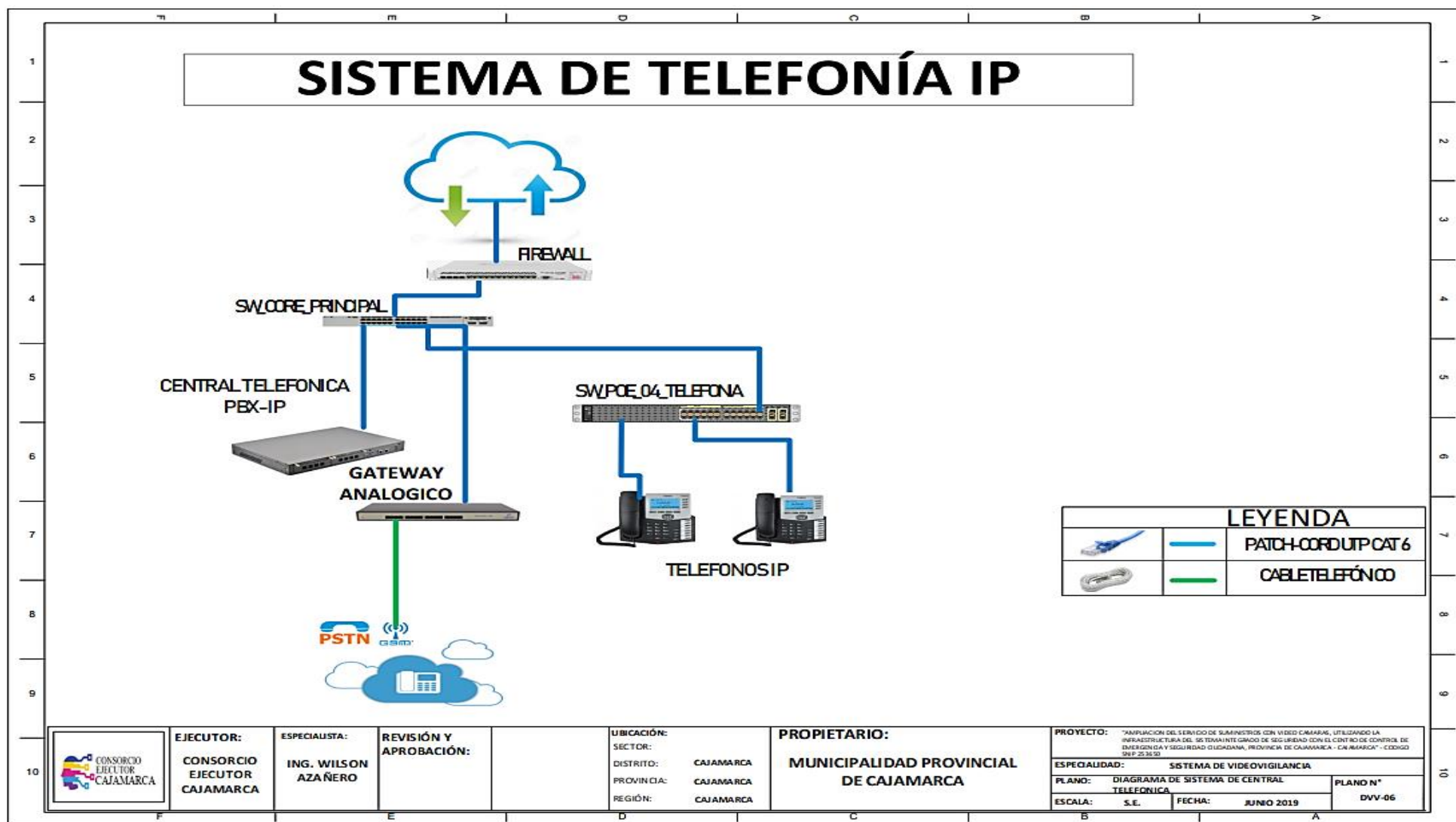




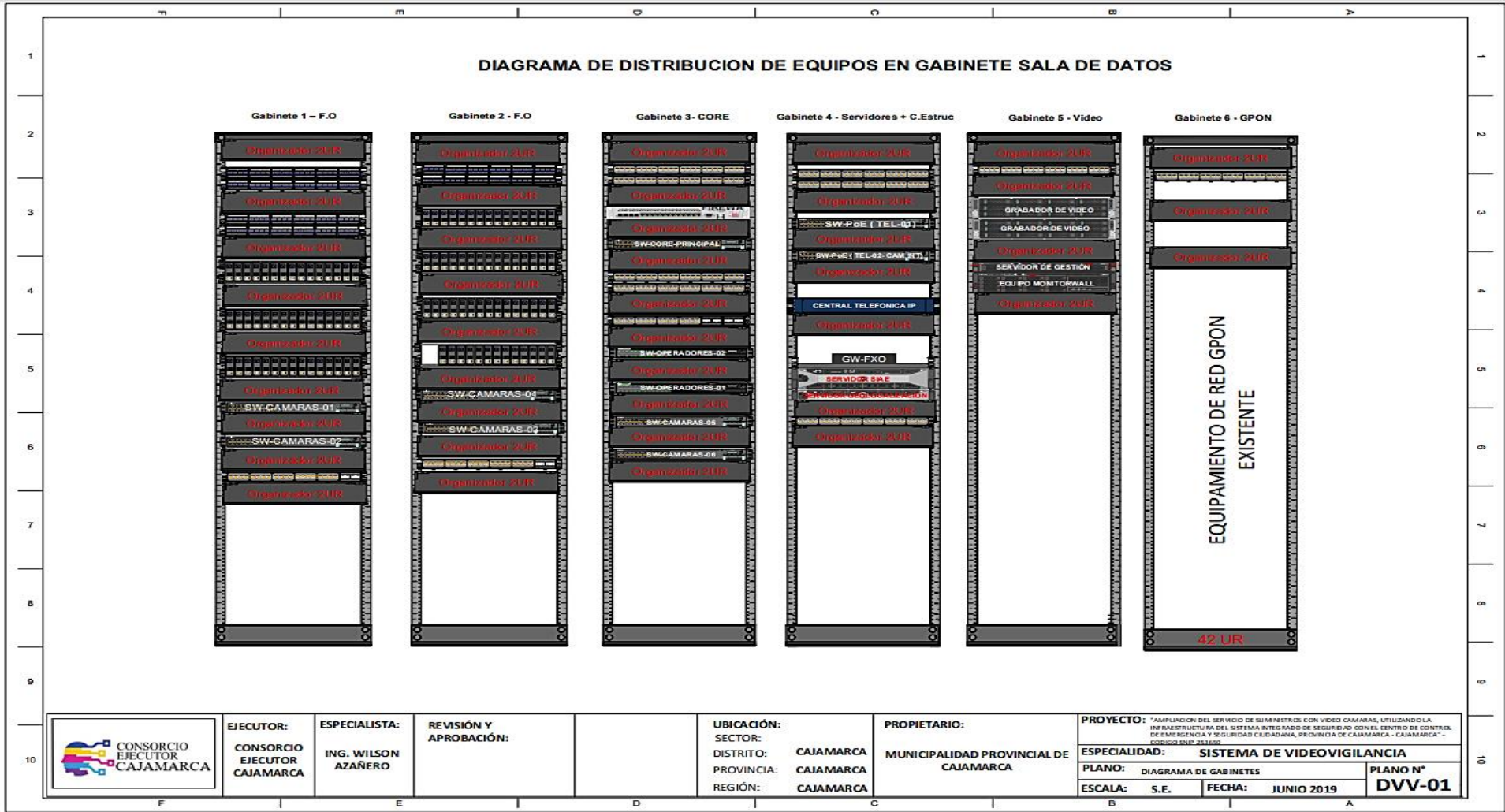
## 7.7 ANEXO 7: SISTEMA DE PERIFONEO EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA



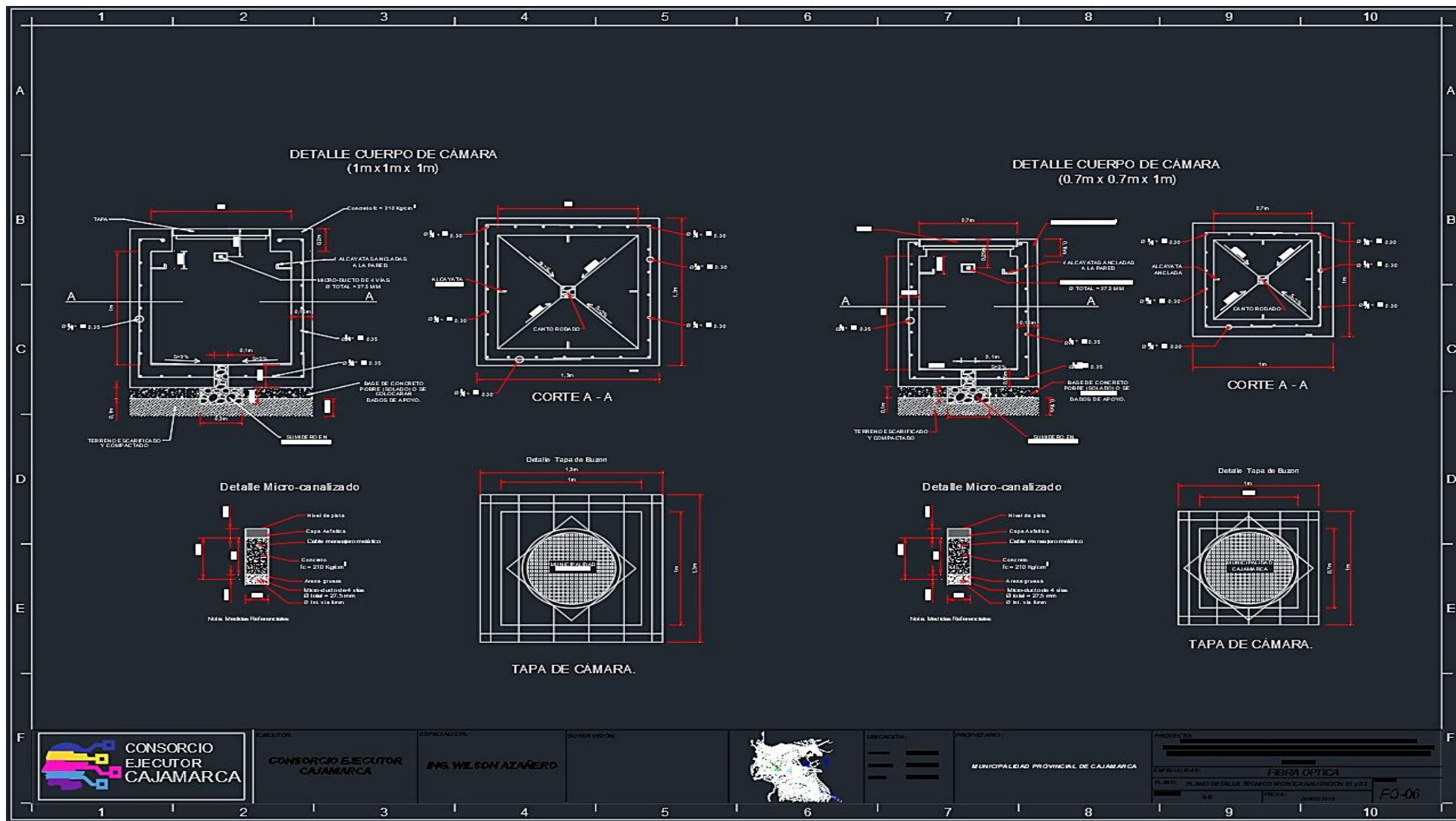
## 7.8 ANEXO 8: SISTEMA DE TELEFONÍA IP DEL NUEVO CENTRO DE MONITOREO EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA



# 7.9 ANEXO 9: DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS EN GABINETE PARA LA SALA DE DATOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA

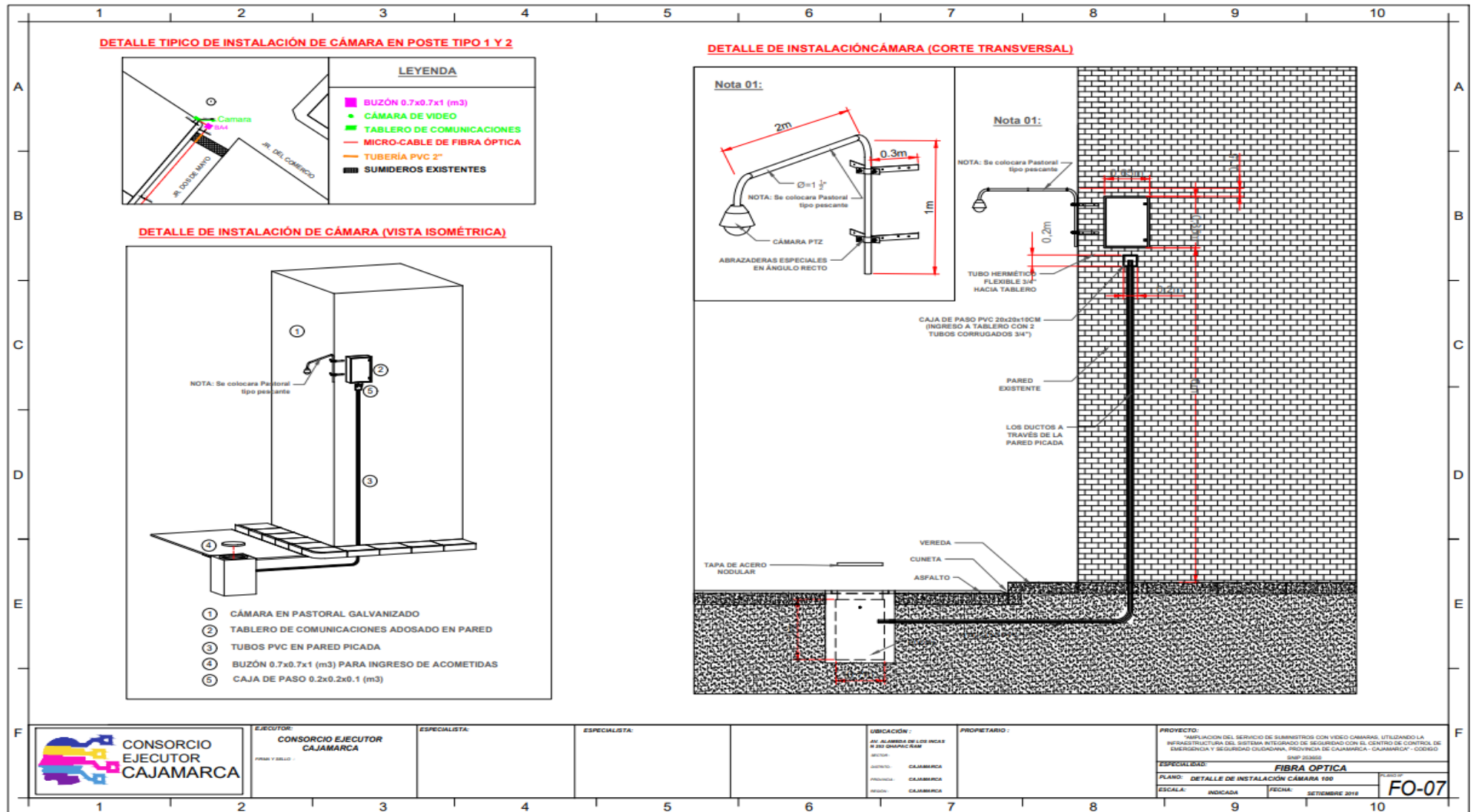


## 7.10 ANEXO 10: PLANO TÉCNICO DE MICRO CANALIZACIÓN

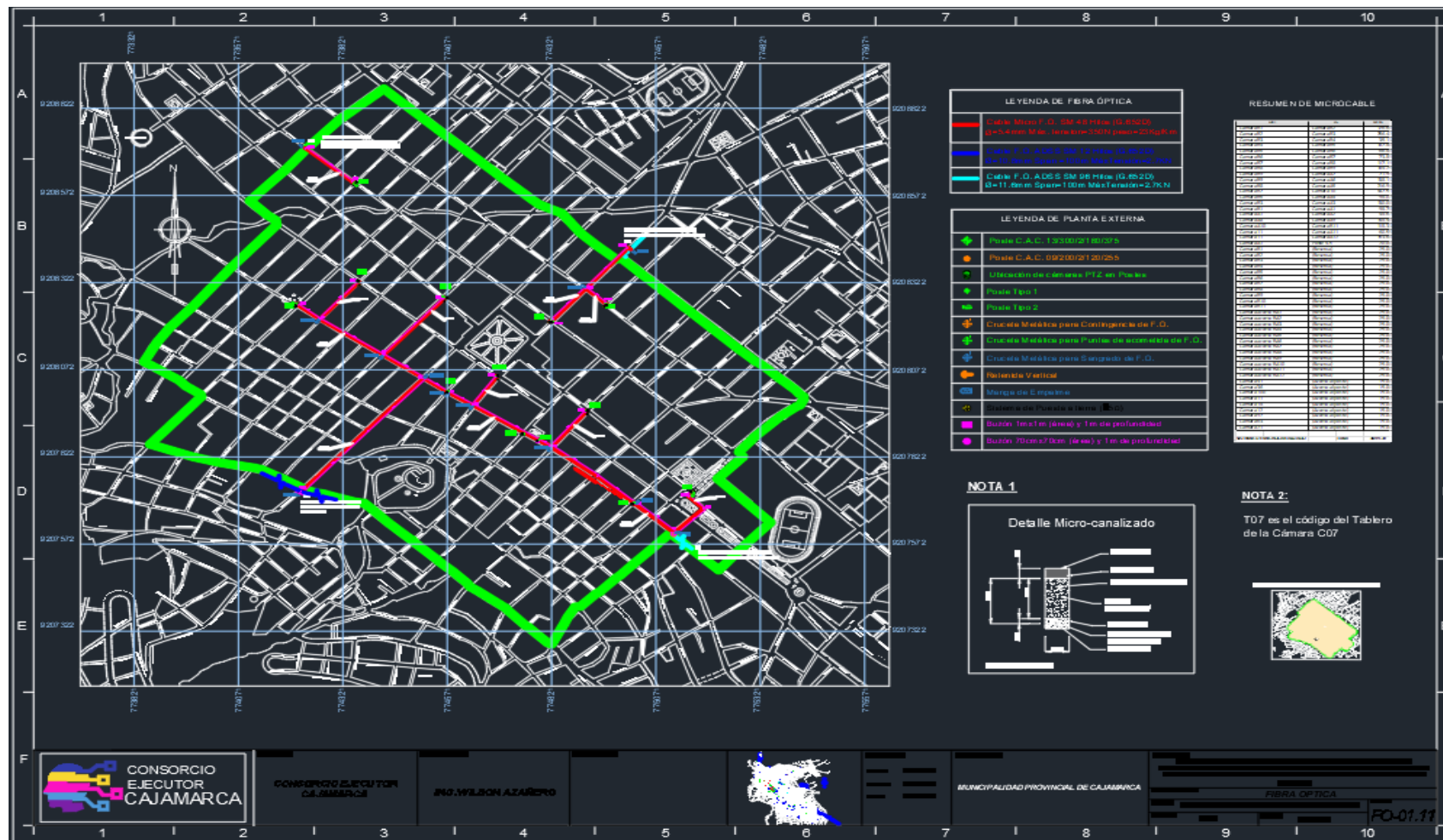




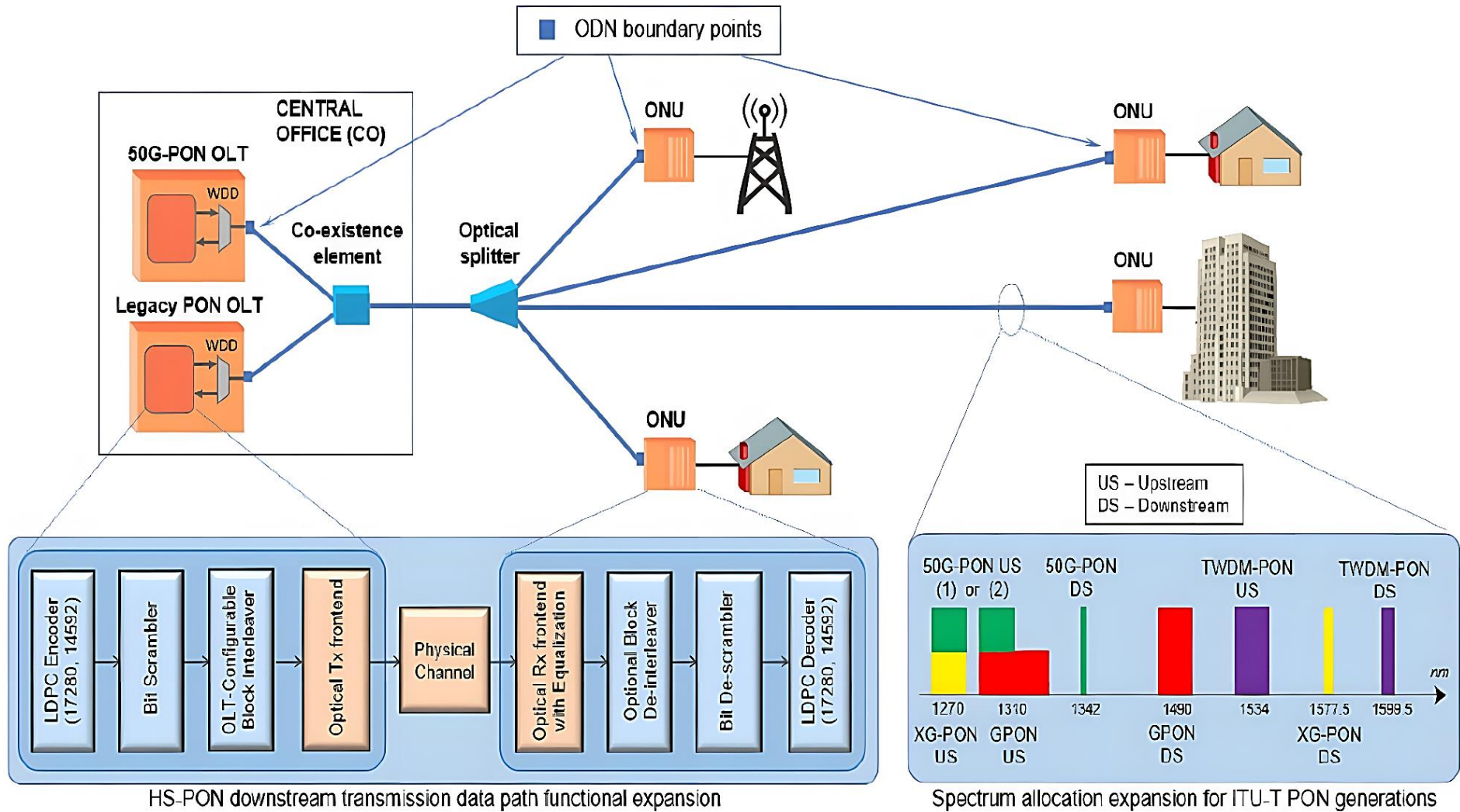
## 7.11 ANEXO 11: PLANO TÉCNICO DE INSTALACIÓN DE CÁMARAS DE SEGURIDAD



## 7.12 ANEXO 12: DESPLIEGUE DE RED DE FIBRA ÓPTICA EN CENTRO HISTÓRICO



### 7.13 ANEXO 13: ARQUITECTURA DE 50G-PON CON POSIBLES ESCENARIOS



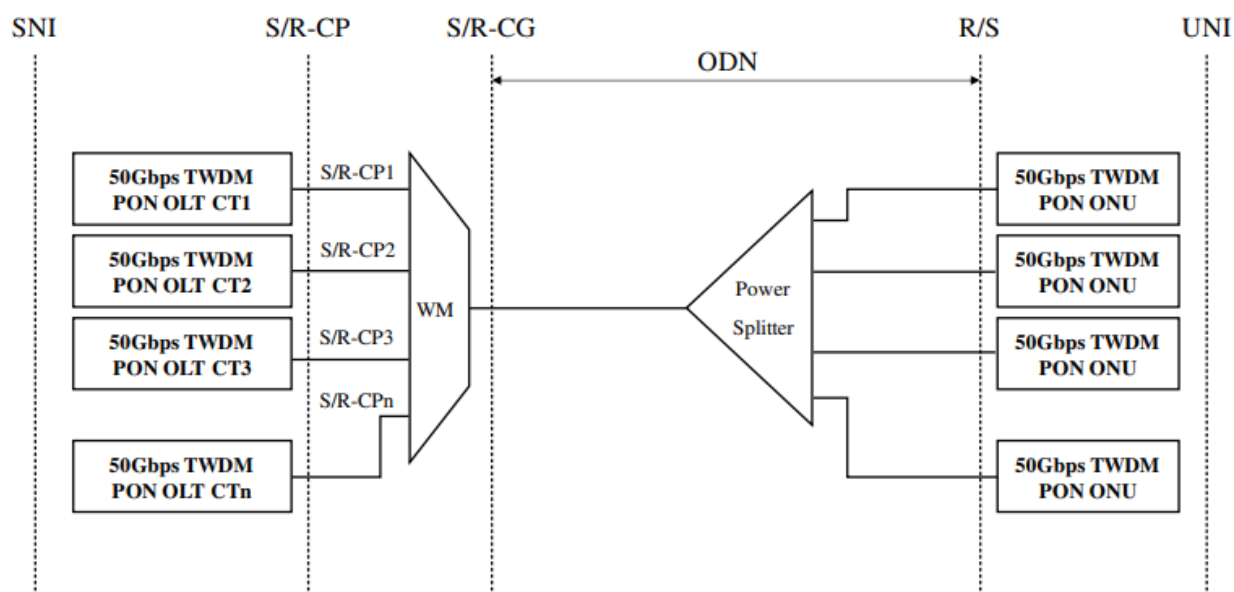


## 7.14 ANEXO 14: ESTÁNDARES Y SISTEMAS TU-T PON

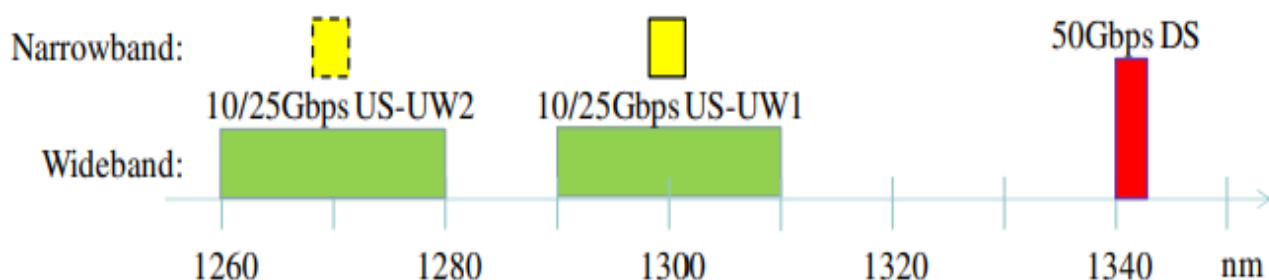
ITU-TPON SYSTEMS AND STANDARDS

	Downstream rate (Gb/s)	Upstream rate (Gb/s)	Downstream wavelength (nm)	Upstream wavelength (nm)
B-PON	0.622	0.155	1480–1500	1260–1360
G-PON	2.488	1.244	1480–1500	1290–1330
XG(S)-PON	9.952	9.952 2.488	1575–1580	1260–1280
NG-PON2	4×9.952	4×9.952	1596–1603	1524–1544
50G-PON	49.7664	49.7664* 24.8832 12.4416	1340–1344	1260–1280 or 1290–1310

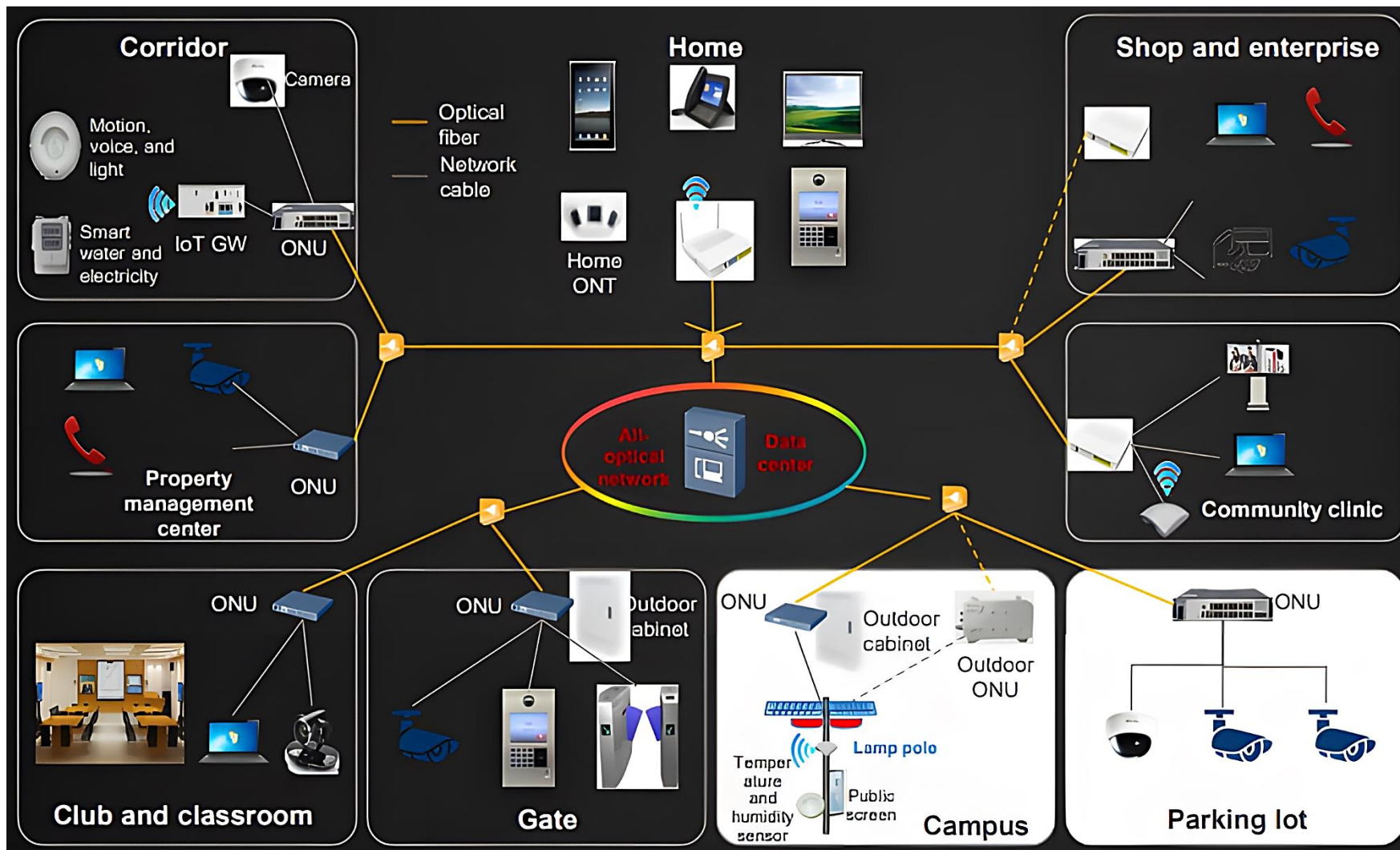
## 7.15 ANEXO 15: ARQUITECTURA DE 50G-PON



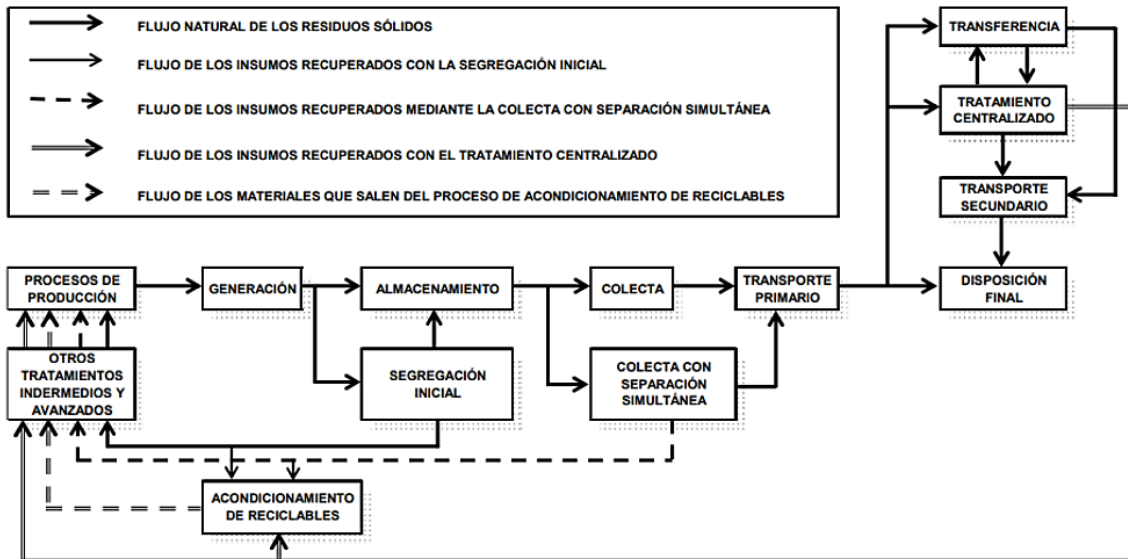
## 7.16 ANEXO 16: LONGITUD DE ONDA DE 50G-PON



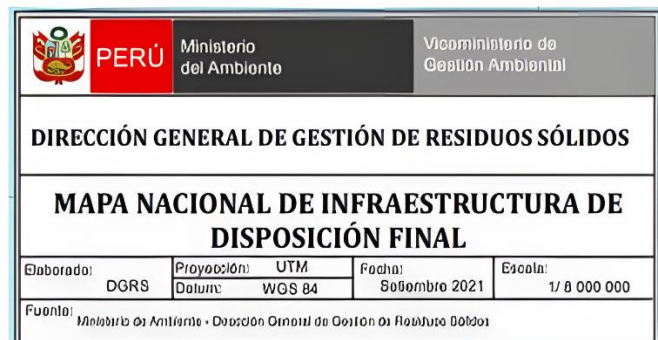
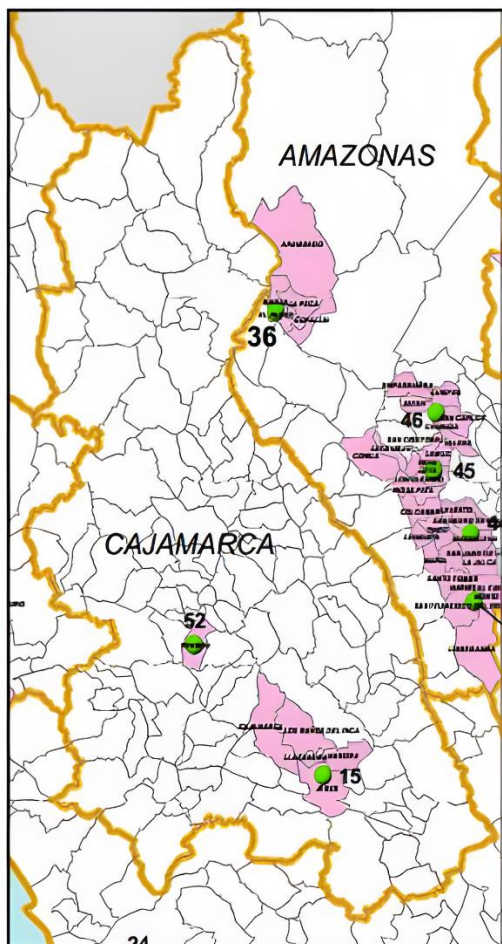
## 7.17 ANEXO 17: TRANSFORMACIÓN DIGITAL



## 7.18 ANEXO 18: GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CAJAMARCA

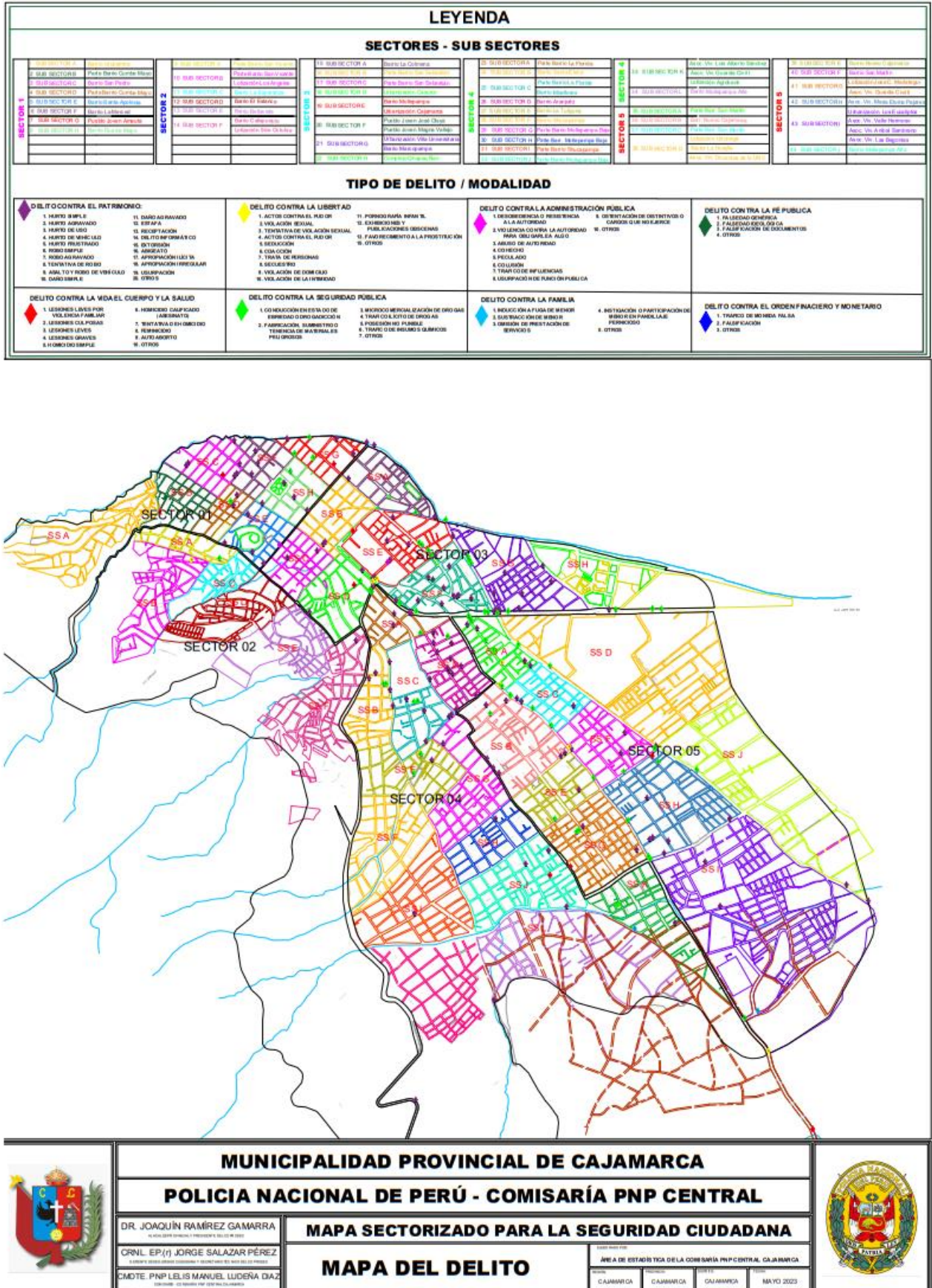


## 7.19 ANEXO 19: MAPA DE INFRAESTRUCTURAS DE DISPOSICIÓN FINAL EN LA REGIÓN CAJAMARCA





## 7.20 ANEXO 20: MAPA DEL DELITO EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA



## 7.21 ANEXO 21: OLT SMARTAX MA5800-X17



### All-optical Access Platform OLT

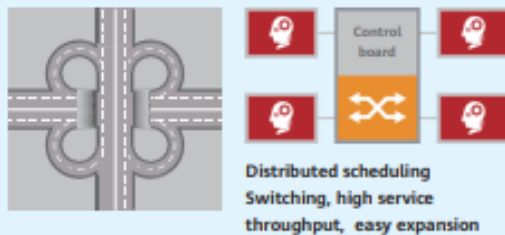
## SmartAX MA5800

### Best OLT Platform in the Gigabit Ultra-broadband Era

- ◆ The MA5800 series multi-service access device is the first OLT in the industry with distributed architecture. It provides a unified carrying platform for multiple services, such as broadband, wireless, video, and monitoring.
- ◆ The MA5800 provides GPON, XG-PON, XGS-PON, and 10GE/GE access, and supports FTTH, FTTD, FTTB, and FTTC network construction modes. This makes it applicable to home access, enterprise access, mobile backhaul, and Wi-Fi hotspot backhaul scenarios.

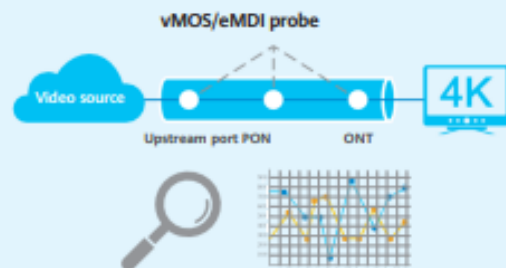
#### Distributed Architecture

Service processing, previously centered on the control board, is now distributed to every service board. The system switching capacity and performance are improved, with the throughput of a single slot reaching up to 200 Gbit/s. This ensures smooth services and supports faster HD video startup and channel zapping.



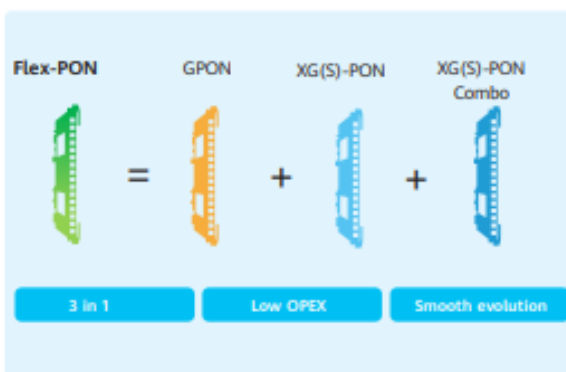
#### Superior 4K/8K Video Experience

Distributed large caches prevent burst video packet loss. Built-in vMOS/eMDI probes monitor video quality and locate fault remotely. Online PON board upgrade without video interruption brings a better user experience.



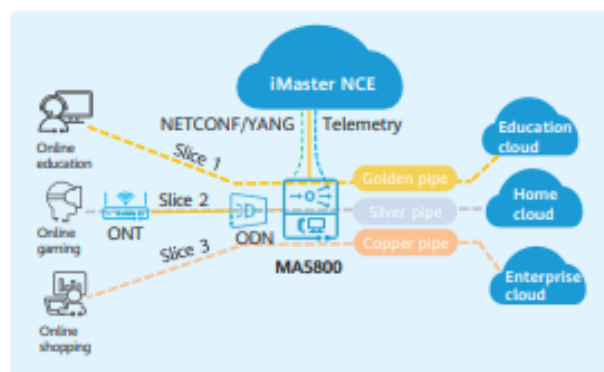
#### Flex-PON

A Flex-PON board supports GPON, XG(S)-PON, XGS-PON, and XG(S)-PON combo with the corresponding optical module, and reduces OPEX by smooth evolution without board replacement.






#### Slicing Technology

The E2E slicing technology provides differentiated bearing for services with different SLA requirements, achieving application-level bandwidth and latency commitment.



## Product Specifications

Product Indicator	 MA5800-X17	 MA5800-X15	 MA5800-X7
H x W x D (mm)	486 x 493 x 287	486 x 442 x 287	263.9 x 442 x 268.7
Payload switching capacity of the control board	MPLA/MPLB: 7 Tbit/s MPLG: 7.3 Tbit/s		
Maximum payload bandwidth per service slot	200 Gbit/s		
Number of concurrent 4K video users	16000	8000	
Power supply mode	DC power supply (dual for backup)		
Rated voltage	-48 V/-60 V		
Ambient temperature	-40 °C to +65 °C* (normal operation) Minimum startup temperature: -25 °C * +65°C indicates the temperature of the air intake vent of the service subrack.		
GPON/XG-PON/ XGS-PON ports	16 x 17 = 272	16 x 15 = 240	16 x 7 = 112
Upstream ports (Dual control boards for upstream transmission)	MPLA/MPLB: 8 x 10GE/GE MPLG: 2 x 100GE + 4 x 10GE/GE		

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2021. All rights reserved.

### General disclaimer

The information in this document may contain predictive statements including, without limitation, statements regarding the future financial and operating results, future product portfolio, new technology, etc. there are a number of factors that could cause actual results and developments to differ materially from those expressed or implied in the predictive statements. Therefore, such information is provided for reference purpose only and constitutes neither an offer nor an acceptance. Huawei may change the information at any time without notice.

<http://www.huawei.com>

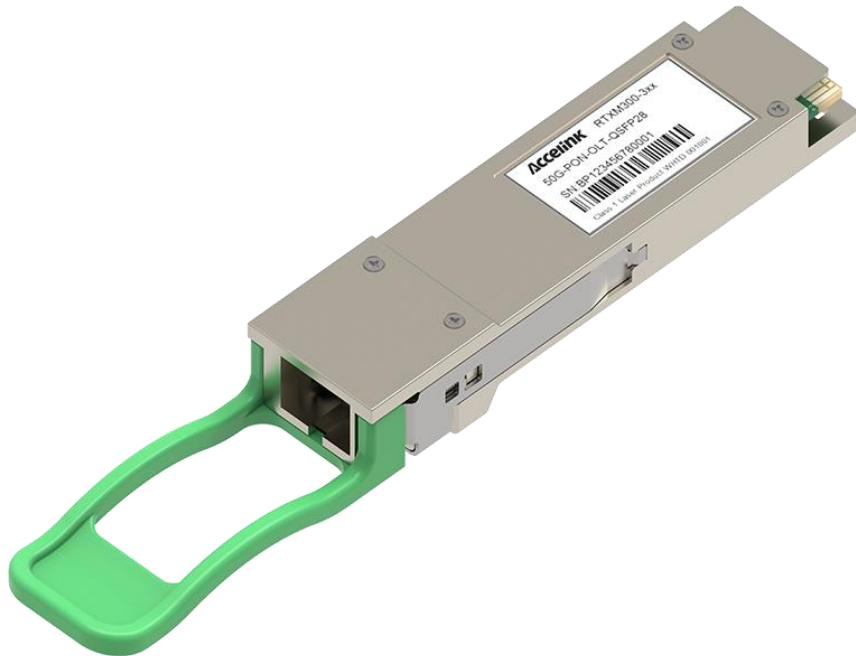


## 7.22 ANEXO 22: TRANSCEPTOR ÓPTICO ACCELINK RTX300-3XX

### 50G PON OLT QSFP28

RTXM300-3xx

RTXM300-3xx 50G PON OLT QSFP28 transceiver modules are designed for use in 50G PON OLT links on up to 20km of single mode fiber. They are compliant with the ITU-T G.9804.3. The optical transceiver is RoHS compliant.



<b>Data Rate</b>	24.8832/12.4416Gb/s US 49.7664Gb/s DS	<b>Distance</b>	20 km
<b>Case Temperature</b>	0~70°C	<b>Voltage Supply</b>	3.3V
<b>Transmitter</b>	EML	<b>Receiver</b>	APD
<b>Wavelength</b>	Tx 1342±2nm/Rx 1300±10nm	<b>Connector</b>	SC
<b>Power consumption (Max)</b>	3.5W		



## 7.23 ANEXO 23: ONU ZXEN G300-N9 DE ZTE



Especificaciones	
Modelo	ZXEN G300-N9
Tecnología de Conectividad	50G PON, 10G PON, GPON
Puertos	50G Ethernet óptico
Capacidad de Ancho de Banda	50 Gbps simétricos (uplink y downlink)
Chipset Wi-Fi	Wi-Fi 7, soporta hasta 19 Gbps (tres bandas, 4x4 streams)
Corrección de Errores	LDPC (Low Density Parity Check), mejora la sensibilidad en 2 dB
Compatibilidad	Coexistencia con GPON, 10G PON y 50G PON sin cambiar ODN
Algoritmo DSP Optimizado	Soporte para un presupuesto de potencia óptica de 32 dB
Aplicaciones	Gobiernos, campus empresariales, y cobertura óptica de 10 Gb/s
Funcionalidades Adicionales	Gateway principal para FTTR, interoperable con XGS-PON ONT
Seguridad	Admite codificación avanzada y mayor robustez en la conexión
Eficiencia Energética	Operación optimizada para minimizar el consumo de energía

## 7.24 ANEXO 24: FIBRA ÓPTICA G.657.A2



### Cable Fibra Optica Monomodo SM G657A

[silexfiber.com/producto/cable-fibra-optica-monomodo-sm-g657a2/](http://silexfiber.com/producto/cable-fibra-optica-monomodo-sm-g657a2/)



### Cable Fibra Óptica SM G657A2 Monomodo

#### Cable Fibra Optica Monomodo SM G657A

Estas fibras están optimizadas para su uso en la longitud de onda de 1310 nm. Adecuadas en aplicaciones de redes metropolitanas, de acceso, cableados estructurados, CATV y sobre todo para instalaciones FTTx.

La fibra óptica monomodo (G657) diseñada para ofrecer grandes y pequeñas curvaturas sin apariencia de atenuación, proporciona una gran resistencia a las pérdidas adicionales debidas a macrocurvaturas.

Ideal para el montaje de cable en el interior de edificios, cables patchcords y/o cables de interconexión. Perfecta para aplicaciones en redes planta interna y externa en despliegues FFTH "Fibre-to-the-Home".

Estas fibras cumplen con IEC 60793-2-50, UIT G.652D, G.657A&B, Telcordia GR-20-CORE, ANSI/IECA S-87-640.

SKU: CF10783 Categorías: Cables Fibra Optica, Cables Internas tipos Etiquetas: SM G657A, Tipos de Fibra

Estas fibras están optimizadas para su uso en la longitud de onda de 1310 nm. Adecuadas en aplicaciones de redes metropolitanas, de acceso, cableados estructurados, CATV y sobre todo para instalaciones FTTx.

La fibra óptica monomodo (G657) diseñada para ofrecer grandes y pequeñas curvaturas sin apariencia de atenuación, proporciona una gran resistencia a las pérdidas adicionales debidas a macrocurvaturas.

Ideal para el montaje de cable en el interior de edificios, cables patchcords y/o cables de interconexión. Perfecta para aplicaciones en redes planta interna y externa en despliegues FFTH "Fibre-to-the-Home".

Estas fibras cumplen con IEC 60793-2-50, UIT G.652D, G.657A&B, Telcordia GR-20-CORE, ANSI/IECA S-87-640.



## Ventajas y beneficios

- Baja atenuación
- Filtros y mayor cantidad de canales. Baja sensibilidad al hidrógeno.
- Gran Flexibilidad
- Posibilidad de micocurvaturas
- Extiende el rendimiento a distancia del PMD, reduciendo la regeneración.
- Mayor confiabilidad, durabilidad y rendimiento de envejecimiento, menor costo de mantenimiento.
- Comodidad de uso y flexibilidad
- Fácil conectorización

## Propiedades Ópticas

PROPIEDADES ÓPTICAS		G.657.A1	G.657.A2 / B2	G.657.B3
Atenuación con Curvatura* (1550 nm)	1 vuelta / Mandril 10mm	< 0.75	< 0.10	< 0.03
	10 vueltas / Mandril 15mm	< 0.25	< 0.03	
	1 vuelta / Mandril 7.5mm			< 0.08
	1 vuelta / Mandril 5mm			< 0.15
Diámetro Campo Modal (mm)	1310 nm	9.0 ± 0.4	8.5 – 9.3	8.8 ± 0.4
	1550 nm	10.1 ± 0.5	9.4 – 10.4	9.8 ± 0.5
Coeficiente Atenuación (dB/Km)	1310 nm	< 0.35	< 0.35	< 0.35
	1383 nm	< 0.35	< 0.35	< 0.35
	1460 nm	< 0.25	< 0.25	
	1550 nm	< 0.21	< 0.21	< 0.22
	1625 nm	< 0.23	< 0.23	< 0.24
Dispersión Cromática (ps/nm.Km)	1285 – 1330 nm	<  3		
	1550 nm	< 18		
	1625 nm	< 22		
Longitud Onda Cero Dispersión (nm)		1300 – 1322	1300 – 1324	1300 – 1324
Pendiente Dispersión Cero (ps / nm <sup>2</sup> Km)		< 0.090	< 0.092	< 0.092

## 7.25 ANEXO 25: SERVIDOR DELL POWEREDGE R930



### PowerEdge R930

El servidor en rack PowerEdge R930 de Dell fue diseñado específicamente para las aplicaciones empresariales más demandantes y cuenta con almacenamiento interno líder de la industria y capacidad de ampliación de memoria para optimizar el rendimiento de la aplicación.

Acelere las aplicaciones empresariales con el servidor más poderoso de Dell con procesamiento altamente escalable, memoria y almacenamiento interno. El R930 es la base ideal para:

- Bases de datos en memoria
- OLTP, OLAP
- CRM, ERP
- Servicios de migración de Unix a Linux

#### Rendimiento escalable

Al aprovechar lo último de la familia de productos del procesador E7 v4 Intel® Xeon® (con hasta 24 núcleos por procesador), el R930 de cuatro sockets se amplía flexiblemente para optimizar la transacción, las operaciones y reducir significativamente la latencia.

- Utilice los 96 núcleos de procesamiento para tener acceso hasta 6 TB (con DIMM de 64 GB) de memoria DDR4.
- Optimice el rendimiento en el procesamiento, memoria y E/S con hasta ocho PCIe SSDs.
- Proteja las aplicaciones de datos intensivos y críticos con las características Intel E7 RAS.

#### Acelere las aplicaciones

Reduzca los costos de licencias usando los recursos internos de un solo R930 para acelerar las aplicaciones y optimizar el procesamiento de cómputos. Con 96 ranuras DIMM y 24 discos duros, el R930 puede adaptarse fácilmente a las demandas de cualquier carga de trabajo.

- Amplíe la memoria de manera económica mediante DIMM pequeños y de bajo costo.
- Diseñe almacenamiento interno con unidades SSD y SAS para la optimización de aplicaciones específicas.
- Duplique el ancho de banda de E/S con tarjetas RAID PCIe 3.0 de 16 lanes.

#### Administración innovadora con automatización inteligente

La gama Dell OpenManage simplifica y automatiza la administración del ciclo de vida del servidor mediante el aprovechamiento de las incomparables capacidades sin agente de la controladora de acceso remoto integrada de Dell (iDRAC) con controladora del ciclo de vida. Con esta tecnología, la implementación, configuración y actualizaciones de servidores son optimizadas en toda la gama OpenManage y a través de la integración con soluciones de administración de terceros. OpenManage Essentials ofrece el monitoreo y control del hardware de centro de datos de Dell y de terceros en cualquier momento y en cualquier lugar de acceso móvil a través de OpenManage Mobile. OpenManage Essentials ahora también ofrece capacidades de administración de la configuración del servidor que automatizan de una a varias implementaciones de SO y servidores desprovistos de software, una replicación rápida y consistente de configuraciones, y garantiza el cumplimiento de una línea de base predefinida con la detección de cambios automatizados.

### PowerEdge R930

- Últimos procesadores Intel Xeon E7-8800 v4 y E7-4800 v4
- Hasta 96 DIMM de memoria DDR4
- Admite hasta 8 SSD PCIe Express Flash NVMe
- Hasta 10 ranuras PCIe 3.0



Característica	Especificaciones técnicas
Factor de forma	4U
Procesador	Procesadores Intel Xeon E7-8800 v4 y E7-4800 v4
Sockets del procesador	4
Interconexión interna	Intel QuickPath Interconnect (QPI)
Memoria caché	Hasta 60 MB
Chipset	Intel C602J
Factor de forma	4U
Dimensiones del chasis	Altura: 6,8" (172,6 mm) Ancho: 18,99" (482,4 mm) Profundidad: 31,59" (802,3 mm) con PSU y cubierta Profundidad: 29,65" (767,3 mm) sin cubierta
Memoria	196 ranuras DIMM: DDR4 de 8 GB/16 GB/32 GB/64 GB, LRDIMM hasta 2400 MT/s
Ranuras de E/S	Hasta 10 ranuras PCIe 3.0 + 1 ranura RAID + 1 ranura NDC
Controladoras RAID	Controladoras internas: PERC H330, PERC H730P HBA externos (RAID): PERC H830 HBA externos (no RAID): HBA SAS de 12 Gbps
Discos duros	SSD SATA/SAS de 2,5", HDD SAS (15.000, 10.000), HDD SAS Nearline (7200) SSD PCIe de 2,5": SSD Dell PowerEdge NVMe Express Flash PCIe
Compartimientos de unidades	Hasta 24 unidades HDD SAS o SSD SAS/SATA de conexión en marcha de 2,5" y 12 Gb/6 Gb Hasta 8 SSD Express Flash NVMe PCIe SSD (PCIe 3.0) accesibles desde la parte frontal
NIC integrada	Consulte <a href="http://Dell.com/poweredge">Dell.com/poweredge</a> para los NIC admitidos
Administración remota	iDRACB con controladora del ciclo de vida iDRACB Express (predeterminada) iDRACB Enterprise (opción de actualización) vFlash media de 8 GB o 16 GB (opciones de actualización)
Administración de sistema	Cumple con IPMI 2.0 Dell OpenManage Essentials Dell OpenManage Mobile Centro de alimentación Dell OpenManage Integraciones de Dell OpenManage: <ul style="list-style-type: none"> <li>Dell OpenManage Integration Suite para Microsoft System Center</li> <li>Dell OpenManage Integration para VMware® vCenter</li> </ul> Conexiones de Dell OpenManage: <ul style="list-style-type: none"> <li>Gerente de operaciones de HP, IBM Tivoli® Netcool® y CA Network y Administración de sistema</li> <li>Complemento de Dell OpenManage para administradores de bases de datos Oracle</li> </ul>
Fuentes de alimentación	PSU redundantes de conexión en marcha: 750 W CA, 1100 W CA
Disponibilidad	Discos duros de conexión en marcha, alimentación redundante de conexión en marcha, ventiladores redundantes de conexión en marcha, memoria ECC, módulo SD interno doble
Sistemas operativos	Microsoft® Windows Server® 2012 R2 Microsoft Windows Server 2012 Novell® SUSE® Linux Enterprise Server Red Hat® Enterprise Linux® VMware vSphere® ESXi™ Para obtener más información sobre las versiones y los agregados específicos, visite <a href="http://Dell.com/OSsupport">Dell.com/OSsupport</a> .
Versión disponible de OEM	Desde la cubierta al BIOS, y hasta el envoltorio, sus servidores pueden lucir y dar la impresión de que los diseñó y construyó usted mismo. Para obtener más información, visite <a href="http://Dell.com/OEM">Dell.com/OEM</a> .
Soporte recomendado	Dell ProSupport Plus para sistemas críticos o Dell ProSupport para soporte de primera calidad para software y hardware para la solución PowerEdge. También hay disponibles ofertas de consultoría e implementación. Comuníquese con un representante de Dell hoy mismo para obtener más información. La disponibilidad y los términos de los servicios de Dell varían según la región. Para obtener más información, visite <a href="http://Dell.com/ServiceDescriptions">Dell.com/ServiceDescriptions</a> .

\*64 GB disponible en septiembre de 2015

## Soluciones tecnológicas integrales

Aproveche al máximo la TI y las soluciones para empresas para reducir la complejidad de la TI, disminuir los costos y eliminar el rendimiento deficiente. Puede confiar en Dell en lo que respecta a las soluciones integrales para maximizar el rendimiento y el tiempo de actividad. Los servicios y las soluciones empresariales de Dell, reconocida como líder en servidores, almacenamiento y redes, brindan innovación a cualquier escala. Y si quiere preservar el dinero o aumentar la eficiencia operativa, Dell Financial Services™ cuenta con una amplia variedad de opciones para que la adquisición de la tecnología sea fácil y asequible. Comuníquese con su representante de ventas de Dell para obtener más información.\*\*

## 7.26 ANEXO 26: SERVIDOR NAS SYNOLOGY RS1619XS



Synology RackStation RS1619xs+ es un NAS de montaje en rack 1U de alto rendimiento con completas aplicaciones de almacenamiento, copia de seguridad de datos y colaboración, adecuado para pequeñas y medianas empresas. RS1619xs simplifica la gestión de datos, optimiza los entornos de virtualización y expande rápidamente la capacidad de almacenamiento con una inversión de tiempo mínima en la configuración y el mantenimiento. Synology RS1619xs+ está respaldado por la garantía limitada de 5 años de Synology.

### Potente solución NAS con diseño de 1U

Synology RS1619xs+ es una solución de almacenamiento conectado en red de montaje en rack 1U de 4 receptáculos equipada con un procesador de **cuatro núcleos**, **memoria DDR4 de 8 GB (ampliable a 64 GB)** y cuatro puertos Gigabit LAN. Gracias a una tarjeta adaptadora de red 10 GbE opcional instalada, RS1619xs+ ofrece un **rendimiento de lectura secuencial de más de 1523 MB/s** y **162 097 IOPS de lectura aleatoria de iSCSI** con una configuración RAID 5<sup>1</sup>.

RS1619xs+ cuenta con dos **ranuras SSD M.2 integradas**, lo que permite una rápida creación de la caché del sistema con **SSD M.2 2280 NVMe/SATA** sin ocupar bahías de unidades de 3,5" internas. RS1619xs+ también proporciona una gran flexibilidad para ampliar fácilmente hasta 16 unidades cuando se conecta a una **unidad de expansión Synology RX1217/RX1217RP**<sup>2</sup>. La capacidad de almacenamiento se puede ampliar con el mínimo esfuerzo en función de las necesidades de su empresa.

### Aplicaciones empresariales

Con la innovadora interfaz Synology DiskStation Manager (DSM), RS1619xs+ viene totalmente equipado con aplicaciones y funciones diseñadas específicamente para grandes empresas:

- **Windows® AD y LDAP** permiten una sencilla integración con servicios de directorio empresariales existentes.
- La compatibilidad con **Windows ACL** ofrece un control de acceso mucho más preciso y una eficiente configuración de privilegios, lo que permite que RS1619xs+ se ajuste sin problemas a la infraestructura existente.

### Aspectos destacados

- Potente NAS de 1U para empresas en crecimiento, que cuenta con una CPU de cuatro núcleos con AES-NI y DDR4 ECC UDIMM de 8 GB (hasta 64 GB)
- Ranuras SSD M.2 NVMe/SATA integradas para la compatibilidad de caché del sistema
- Excelente rendimiento de más de 1523 MB/s de lectura secuencial y 162 097 IOPS de lectura aleatoria de iSCSI<sup>1</sup>
- Compatibilidad con NIC de 10 GbE opcional
- Ampliable hasta 16 unidades con Synology RX1217/RX1217RP
- Solución de virtualización completa con Synology Virtual Machine Manager
- Garantía limitada de 5 años de Synology y servicio de sustitución de Synology (SRS)<sup>3</sup>



## Descripción del hardware



1	Botón e indicador de alimentación	2	Indicador de alerta	3	Indicador de estado del disco	4	Botón de pitido desactivado
5	Indicador de estado	6	Bandeja de discos	7	Puerto de alimentación	8	Puerto de consola
9	Ranura de expansión PCIe	10	Ventilador	11	Puerto RJ-45 1GbE	12	Botón RESET
13	Puerto USB 3.0	14	Puerto de expansión				

## Especificaciones técnicas

### Hardware

CPU	Intel Xeon D-1527 de cuatro núcleos a 2,2GHz, Turbo Boost de hasta 2,7 GHz
Motor de cifrado de hardware	Si (AES-NI)
Memoria	8 GB de UDIMM ECC DDR4 (ampliable hasta 64 GB)
Tipo de disco compatible	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 x SSD/HDD SATA de 3,5" o 2,5" (no se incluyen los discos)</li> <li>2 x SSD M.2 2280 NVMe/SATA (no se incluyen los discos)</li> </ul>
Disco intercambiable en caliente	Si
Puerto externo	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 x puerto USB 3.0</li> <li>1 x puerto de expansión</li> </ul>
Tamaño (Al. x An. x Pr.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>44 x 430,5 x 483,6 mm</li> <li>44 x 480 x 518,6 mm (con las aletas del servidor)</li> </ul>
Peso	8,16 kg
LAN	4 x Gigabit (RJ-45)
Wake on LAN/WAN	Si
Ranura PCIe 3.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 ranuras de 8 carriles x8</li> <li>Compatibilidad con tarjetas de interfaz de red 10 GbE/25 GbE</li> </ul>
Encendido/apagado programado	Si
Ventilador del sistema	2 (40 x 40 x 28 mm)
Tensión de alimentación de entrada CA	de 100 a 240 V CA
Frecuencia de alimentación	50/60 Hz, monofásica
Temperatura de funcionamiento	De 5 °C a 35 °C (de 40 °F a 95 °F)
Temperatura de almacenamiento	De -20 °C a 60 °C (de -5 °F a 140 °F)
Humedad relativa	Del 5 al 95 % de HR
Altitud operativa máxima	5000 m (16 400 pies)

### Especificaciones generales de DSM

Protocolo de red	SMB, AFP, NFS, FTP, WebDAV, CalDAV, iSCSI, Telnet, SSH, SNMP, VPN (PPTP, OpenVPN™, L2TP)
Sistema de archivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interno: Btrfs, ext4</li> <li>Externo: Btrfs, ext4, ext3, FAT, NTFS, HFS+, exFAT*</li> </ul>
Tipo de RAID compatible	Basic, JBOD, RAID 0, RAID 1, RAID 5, RAID 6, RAID 10, RAID F1
Gestión de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tamaño máximo de volumen individual: 108 TB/200 TB (al menos 32 GB de RAM necesarios; solo para grupos RAID 5 o RAID 6)</li> <li>Máximo de instantáneas del sistema: 65 536*</li> <li>Volumen interno máximo: 1.024</li> </ul>
Caché de SSD	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compatibilidad con escritura y lectura en caché</li> <li>Compatibilidad con SSD M.2 (SSD M.2 NVMe/SATA)</li> </ul>

## 7.27 ANEXO 27: SWITCH CISCO CATALYST 9400



**Figure 1.**  
Cisco Catalyst 9400 Series

### Cisco Catalyst 9400 Series chassis

The Cisco Catalyst 9400 Series offers three chassis options and a wide range of line card options (Table 2). It provides a common architecture that can scale up to 400 ports. Cisco StackWise Virtual technology doubles this port density by virtually stacking two Catalyst 9400 modular switches in a single logical switch.

The Catalyst 9400 Series chassis is enterprise optimized with efficient side-to-side airflow and full front accessibility for all removable components, including supervisors, line cards, power supplies and fan tray. The chassis also supports optional rear accessibility for fan trays to enable efficient cable management. Catalyst 9400 Series chassis, supervisor, line cards, power supplies and fan trays have embedded RFID tags which facilitate easy asset and inventory management using commercial RFID readers.

**Table 2.** Cisco Catalyst 9400 Series chassis features

Feature	Cisco Catalyst C9404R Chassis	Cisco Catalyst C9407R Chassis	Cisco Catalyst C9410R Chassis
Total number of slots	4	7	10
Line-card slots	2	5	8
Supervisor engine slots	2 <sup>1</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>3</sup>
Dedicated supervisor engine slot numbers	2 and 3 <sup>4</sup>	3 and 4 <sup>4</sup>	5 and 6 <sup>4</sup>
Supervisor engine redundancy	Yes	Yes	Yes
Supervisor engines supported	C9400X-SUP-2XL, C9400X-SUP-2, C9400-SUP-1XL, C9400-SUP-1XL-Y, C9400-SUP-1	C9400X-SUP-2XL, C9400X-SUP-2, C9400-SUP-1XL, C9400-SUP-1XL-Y, C9400-SUP-1	C9400X-SUP-2XL, C9400X-SUP-2, C9400-SUP-1XL, C9400-SUP-1XL-Y, C9400-SUP-1
Maximum PoE per slot	4320W <sup>5</sup>	4320W <sup>5</sup>	4320W <sup>5</sup>
Maximum Bandwidth scalability per line-card slot	Up to 480 Gbps on all slots <sup>6</sup>	Up to 480 Gbps on all slots <sup>7</sup>	Up to 480 Gbps on all slots <sup>8</sup>
Number of power supply bays	4	8	8
AC input power	Yes	Yes	Yes
Integrated PoE	Yes	Yes	Yes
Power supplies supported	3200W AC, 2100W AC, 3200W DC	3200W AC, 2100W AC, 3200W DC	3200W AC, 2100W AC, 3200W DC
Number of fan-tray bays	1	1	1
Location of 19-inch rack-mount	Front	Front	Front

## Supervisor configuration

The Catalyst 9400 Series offers an industry-leading supervisor engine built for secure networks, IoT applications, next generation mobility and cloud adoption. Supervisor Engine-2 options (Sup-2, Sup-2XL) and Supervisor Engine-1 options (Sup-1, Sup-1XL, Sup-1XL-Y) are built with the latest Unified Access Data Plane ASIC future-proofed for next generation technologies with its programmable pipeline, microengine capabilities and template-based configurable allocation of Layer 2, Layer 3, forwarding, Access Control Lists (ACLs) and QoS entries.

**Table 3.** Cisco Catalyst 9400 Series Supervisor Engine maximum bandwidth per slot

Feature	Cisco Catalyst 9400 Series Supervisor Engine C9400-SUP-1	Cisco Catalyst 9400 Series Supervisor Engine C9400-SUP-1XL	Cisco Catalyst 9400 Series Supervisor Engine C9400-SUP-1XL-Y	Cisco Catalyst 9400 Series Supervisor Engine C9400X-SUP-2	Cisco Catalyst 9400 Series Supervisor Engine C9400X-SUP-2XL
Cisco Catalyst C9404R chassis	80 Gbps/slot	240 Gbps/slot	240 Gbps/slot	240 Gbps/slot	480 Gbps/slot
Cisco Catalyst C9407R chassis	80 Gbps/slot	120 Gbps/slot	120 Gbps/slot	240 Gbps/slot	480 Gbps/slot
Cisco Catalyst C9410R chassis	80 Gbps/slot	80 Gbps/slot	80 Gbps/slot	240 Gbps/slot	480 Gbps/slot

Table 4 lists the minimum software requirements for the Cisco Catalyst 9400 supervisor engine.

**Table 4.** Cisco Catalyst Supervisor Engine Software Minimum Requirements

Chassis	Supervisor Engine	Minimum Software Requirement
Cisco C9407R	Supervisor Engine C9400-SUP-1	Cisco IOS XE Software Release 16.6.1
Cisco C9410R	Supervisor Engine C9400-SUP-1	Cisco IOS XE Software Release 16.6.1
Cisco C9407R	Supervisor Engine C9400-SUP-1XL	Cisco IOS XE Software Release 16.6.2
Cisco C9410R	Supervisor Engine C9400-SUP-1XL	Cisco IOS XE Software Release 16.6.2
Cisco C9404R	Supervisor Engine C9400-SUP-1	Cisco IOS XE Software Release 16.9.1
Cisco C9404R	Supervisor Engine C9400-SUP-1XL	Cisco IOS XE Software Release 16.9.1
Cisco C9404R	Supervisor Engine C9400-SUP-1XL-Y	Cisco IOS XE Software Release 16.9.1
Cisco C9407R	Supervisor Engine C9400-SUP-1XL-Y	Cisco IOS XE Software Release 16.9.1
Cisco C9410R	Supervisor Engine C9400-SUP-1XL-Y	Cisco IOS XE Software Release 16.9.1
Cisco C9404R	Supervisor Engine C9400X-SUP-2	Cisco IOS XE Software Release 17.7.1
Cisco C9407R	Supervisor Engine C9400X-SUP-2	Cisco IOS XE Software Release 17.7.1
Cisco C9410R	Supervisor Engine C9400X-SUP-2	Cisco IOS XE Software Release 17.7.1

## 7.28 ANEXO 28: SMART-UPS SRTL5KRM2UT

### Ficha técnica del producto

Especificaciones



APC Smart-UPS On-Line, 5kVA, ión-litio, montaje en rack 2U, 208/240V, 2x L6-20R + 2x L6-30R tomas NEMA, tarjeta de red, autonomía extendida, con kit de raíles

SRTL5KRM2UT

### Descripción General


Tiempo De Entrega Suele haber existencias en inventario

### Principal

Voltaje De Entrada Principal	208 V
Tipo De Producto O Componente	Uninterruptible power supply (UPS) ((*))
Otro Voltaje De Entrada	240 V
Voltaje De Salida Principal	208 V
Otro Voltaje De Salida	240 V
Potencia Nominal En W	4900 W
Potencia Nominal En Va	4900 VA
Tipo De Conexión De Entrada	NEMA L6-30P
Tipo De Conexión De Salida	2 NEMA L6-20R 2 NEMA L6-30R
Número De Unidad De Rack	2U
Longitud De Cable	3.05 m
Número De Cables	1
Equipo Suministrado	1 CD (software and documentation) ((*)) Cable para redes Brackets para Rack-mount

### Baterías y autonomía

Tiempo De Ejecución	<a href="#">View Runtime Graph</a>
Eficiencia	<a href="#">View Efficiency Graph</a>
Tipo De Batería	Li-Ion (ión de litio)
Baterías Pre-Instaladas	0
Ranuras Libres Para Baterías	0
Tiempo Típico De Recarga	1.5 H
Cantidad De Cartuchos De Batería De Recambio	1
Voltaje De Batería	180 V
Potencia De Carga De La Batería (Vatios)	600 W nominal

Vida De La Batería	5...10 yr
Batería De Repuesto	<a href="#">SRYLBM</a> 
Duración Prolongable	1

## General

Topología	Doble conversión en línea
Subfamilia Web De Productos	High density
Número De Ranuras Sin Módulo De Potencia	0
Número De Ranuras Llenas De Módulo De Potencia	0
Redundante	No

## Físico

Color	Negro
Altura	86 mm
Ancho	432 mm
Profundidad	701 mm
Peso Del Producto	29.2 kg
Ubicación De Montaje	Frontal
Preferencia De Montaje	No preference
Tipo De Montaje	Montado en rack
Dos Postes Montables	0
Usb Compatible	No
Posición De Montaje	Horizontal Vertical

## Entrada

Frecuencia Asignada De Empleo	40-70 Hz auto-sensing (†)
Barras De Separación	180...275 V ajustable (media carga)

## Salida

Máxima Potencia Configurable En Va	4900 VA
Máxima Potencia Configurable (Vatios)	4900 W
Frecuencia De Salida (Sincronizada A Red Eléctrica Principal)	50/60 Hz +/- 3 Hz sincronizada a red eléctrica principal
Tipo De Forma De Onda	Onda senoidal
Tiempo De Ejecución De Media Carga	00:12:00 2450 W
Tiempo De Ejecución De Carga Completa	00:05:00 4900 W
Distorsión Armónica	Menos que 2%
Crest Factor (†)	3:1
Tipo De Derivación	Desviación interna (automática y manual)

**7.29 ANEXO 29: OPERACIONALIZACIÓN DE CATEGORÍAS.**

<b>Categorías</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Medición</b>
Red 50G-PON.	Downstream (throughput de bajada).	Mbps	Intervalo
	Upstream (throughput de subida)	Mbps	Intervalo
	Fibra óptica	Km	Intervalo
	Sensores y dispositivos conectados.	Unidad	Intervalo
Ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca	Centros Integrados de Operación y Control.	Unidad	Intervalo
	Zonas a monitorear	Unidad	Intervalo/ Encuesta
	Interfaces de Comunicación.	Unidad	Intervalo



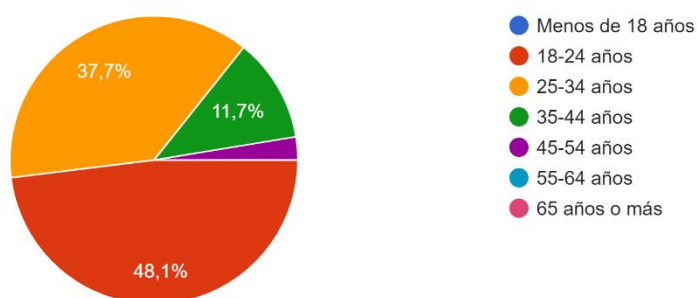
### 7.30 ANEXO 30: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

Tipo	Problema	Objetivo	Hipótesis	Categorías	Definición
General	La zona urbana de la ciudad de Cajamarca no cuenta con una red 50G-PON para convertirse en una ciudad inteligente.	Diseñar una red 50G-PON en la zona urbana de la ciudad de Cajamarca.	Es posible el diseño de una red 50G-PON, que permita a la zona urbana de la ciudad de Cajamarca convertirse en una ciudad inteligente.	Red 50G-PON	La tecnología 50G-PON posee un sistema de red óptica pasiva (PON) ofreciendo velocidad de línea de 50 Gb/s.[7]
Específicos	Infraestructura para banda ancha desconocida y/o inexistente en la zona urbana de la ciudad de Cajamarca	Diagnosticar la infraestructura de banda ancha en la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, como punto de partida para el desarrollo de nuevas tecnologías.	Es posible proyectar la demanda de ancho de banda, que demanden los dispositivos y/o sensores en la zona urbana de la ciudad de Cajamarca, para brindar servicios de ciudad inteligente.	Ciudad inteligente en la zona urbana de Cajamarca	La ciudad que se caracteriza por el uso intensivo y evolutivo de las TIC en la creación y mejoramiento de los sistemas que componen la ciudad.[67]
	inexistencia de servicios para una ciudad inteligente en Cajamarca	Identificar los servicios que posibiliten a Cajamarca ser una “ciudad inteligente” para dimensionar el ancho de banda necesario.			
	No se tiene una zona establecida donde opere la red 50G-PON	Establecer la cobertura de la infraestructura de red para delimitar su alcance dentro de la zona urbana de la ciudad de Cajamarca.	Es posible realizar el diseño esquemático utilizando tecnología 50G-PON con las especificaciones técnicas necesarias para alcanzar las velocidades que esta tecnología impone.		
	Gran amplitud de equipamiento que se adapta al despliegue de la red 50G-PON	Seleccionar equipamiento e identificar los recursos necesarios para el despliegue de la tecnología 50G-PON.			
	Una ciudad inteligente necesita un gran ancho de banda para soportar los servicios ofrece	Proyectar la red 50G-PON en base a los servicios, cobertura y equipamiento.			

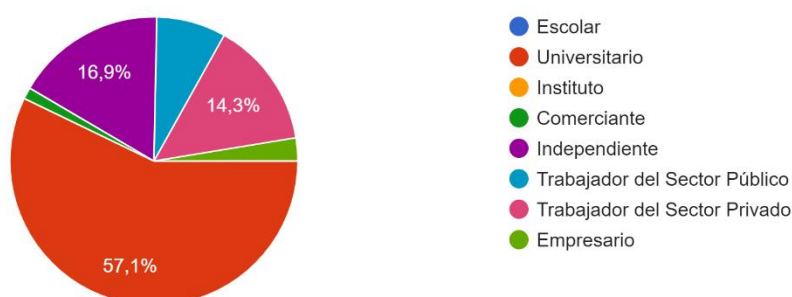
### 7.31 ANEXO 31: “ENCUESTA SOBRE PRIORIDADES Y UBICACIONES PARA SERVICIOS DE CIUDAD INTELIGENTE EN CAJAMARCA”.

Para la dimensión de zonas a monitorear: Se realizó una encuesta a 77 ciudadanos de la ciudad de Cajamarca con el objetivo de identificar las zonas prioritarias para el monitoreo en la implementación de la ciudad inteligente. Los resultados obtenidos proporcionan una base sólida para la toma de decisiones en la planificación y distribución de los sensores y dispositivos tecnológicos en dichas zonas. A continuación, se detallan los resultados de la encuesta:

Edad  
77 respuestas

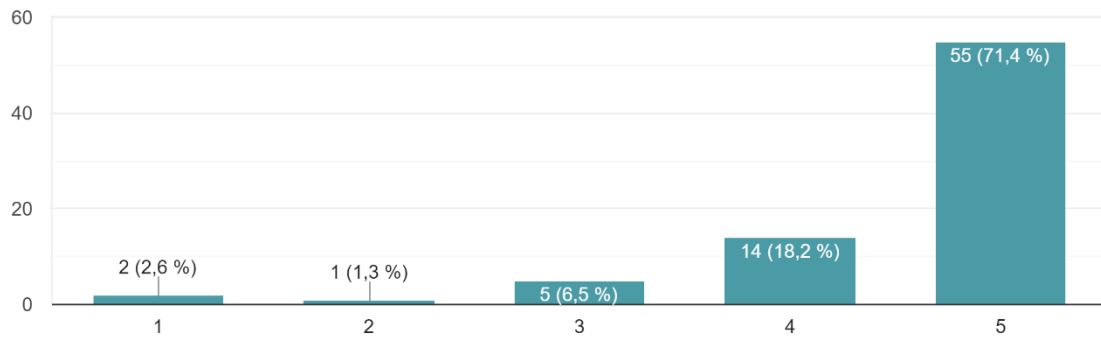


Ocupación  
77 respuestas



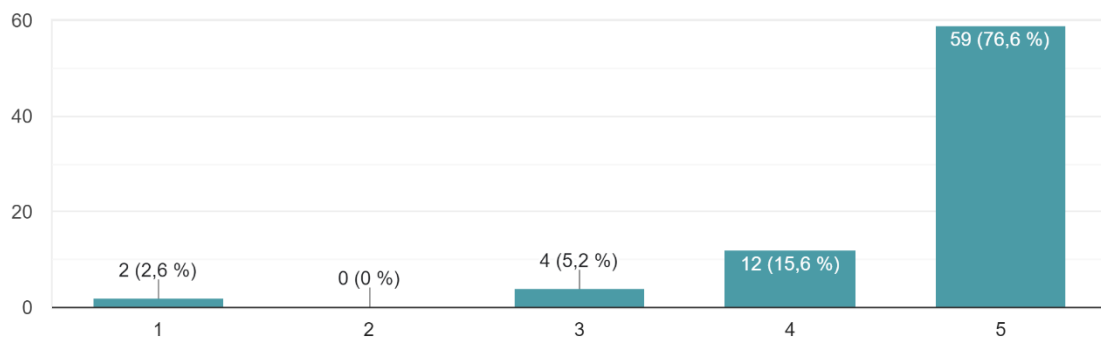
La implementación de tecnología para mejorar la gestión del tráfico es necesaria en Cajamarca.

77 respuestas



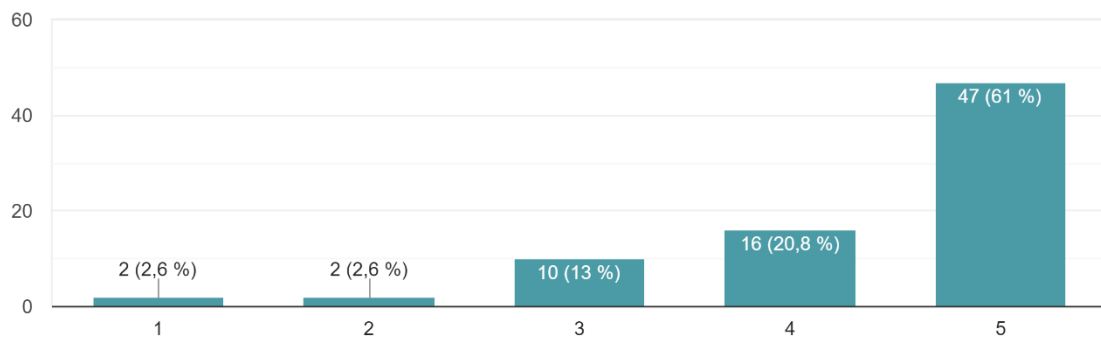
Es importante aumentar la seguridad con tecnología de vigilancia en áreas públicas.

77 respuestas



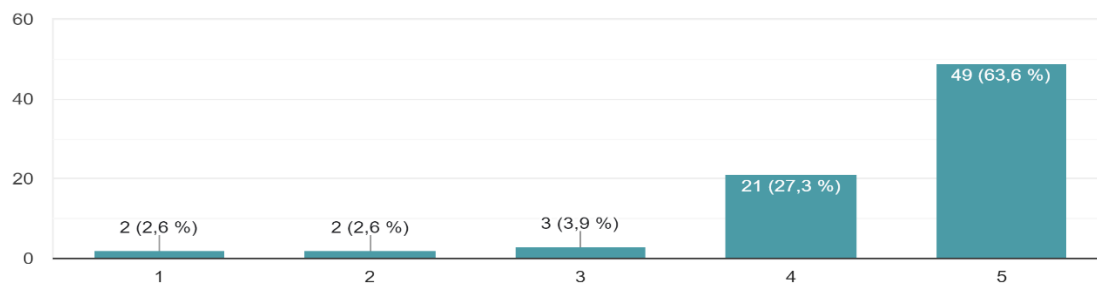
La gestión de residuos mejoraría significativamente con el uso de contenedores inteligentes y sistemas de reciclaje automatizados.

77 respuestas



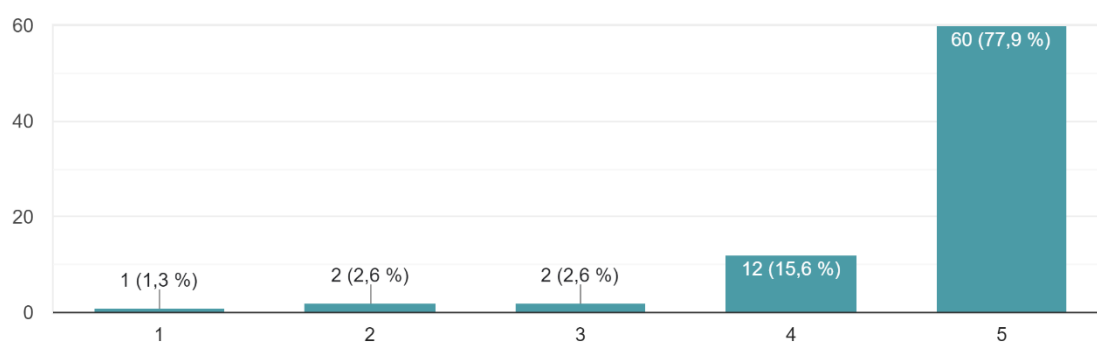
El monitoreo de la calidad del aire y del agua mediante sensores en tiempo real es crucial para la salud pública.

77 respuestas



La digitalización de servicios públicos (como pagos y trámites) facilitaría las gestiones cotidianas.

77 respuestas



### Sección 3: Preguntas Abiertas sobre Zonas y Calles Específicas.

¿En qué zonas específicas o calles de Cajamarca conoce que hay mucho tráfico y crees que deberían implementarse mejoras, puede ser en avenidas principales, calles que Ud. conoce o también por su vivienda o centro de trabajo o estudio?

77 respuestas

En la vía principal, algunas veces se satura

Por amazonas o por la parte del mercado

Vía de eviatiemto sur, óvalo musical, plazuela Bolognesi

Mercado, óvalo música

En el ovalo de la calle Sucre.

en el mercado central

Todas las calles del centro se congestionan de tráfico, debería controlarse más los estacionamientos.

Hoyo rubio por las tardes y mañanas

Huánuco

¿En qué zonas o calles Ud. cree que deberían adicionarse cámaras de seguridad, para mejorar la seguridad pública?

77 respuestas

Hoyos Rubio

En la mayor parte de la Av.La paz

Av. Héroes del cenepa

Hoyos rubio

Pasajes, via de evitamiento sur

En zonas oscuras, prolongaciones, calles estrechas de alto tránsito.

zonas perifericas

Zonas de el Malecón  
Av Perú en general

Límites de nuestra ciudad de Cajamarca

¿En qué zonas o calles cree que la implementación de iluminación inteligente podría mejorar significativamente la seguridad?

77 respuestas

En todas

Via de evitamiento

En todo cajamarca solo la zona de la plaza de armas tiene buena iluminacion

Av. La paz

Supongo que generalmente

Pasajes y callejones

Av. San Martin, Av..Miguel Grau

zonas perifericas

Realmente en todo Cajamarca, sería una iniciativa de seguridad para todos los Cajamarquinos sin excepción

## 7.32 ANEXO 32: VALIDACIÓN DE EXPERTOS.

### 7.32.1 Ing. Edgar Laurente Gomez.



CIUDAD INTELIGENTE CON TECNOLOGÍA 50G-PON EN LA  
ZONA URBANA DE CAJAMARCA UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
CAJAMARCA

### INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

#### I.-DATOS GENERALES:

Apellidos y Nombres del Juez: **Laurent Gomez, Edgar.**

Cargo e institución donde labora: Gerente de operaciones de Dolphin Telecom del Peru S.A.C.

Nombre de Instrumento evaluado: Ciudad inteligente con tecnología 50G-PON en la zona urbana de Cajamarca.

Autor del Instrumento: **Gyno Romero Prado.**

#### II.- ASPECTOS DE EVALUACION:

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE 0-20 %	REGULAR 21-40 %	BUENA 41-60 %	MUY BUENA 61-80 %	EXCELENTE 81-100 %
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado y comprensible.				X	
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables.					X
3. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad suficiente.				X	
4. PERTINENCIA	Permite conseguir datos de acuerdo a los objetivos planteados.			X		
5. CONSISTENCIA	Basado en aspecto teórico científico.					X

#### III.- OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

¿Qué opinión tiene sobre el diseño de ingeniería propuesto para la red 50G-PON en Cajamarca, considerando el análisis de la infraestructura existente y la planificación del Data Center?

El diseño de la red 50G-PON está bien detallado, demostrando eficiencia en el uso de la infraestructura existente y en la planificación del data center que garantiza alta disponibilidad con redundancia en todos los niveles, además, se destaca por su capacidad de escalabilidad para futuras implementaciones de servicios de la Ciudad inteligente, como recomendación sería útil incorporar controladores al borde de la red (edge computing), lo que permitiría optimizar los datos generados por los dispositivos IOT.

Fecha: 23/09/2024.





¿Considera que la evidencia presentada es suficiente y adecuada para respaldar la hipótesis planteada en el estudio?

Si, la evidencia presentada es suficiente y adecuada. El estudio a demostrado de manera clara que la infraestructura actual adaptada a la tecnología 50G-Pon es capaz de soportar servicios de Ciudad Inteligente alineándose con el proyecto.

¿Cuál sería su principal recomendación para mejorar el enfoque, la metodología o los resultados presentados en este trabajo de investigación?

Se recomienda implementar servicios relacionados con la salud pública, dada la relevancia que este tema a tenido en Cajamarca debido a los conflictos sociales entorno a la actividad minera teniendo un control de la calidad del agua.

IV.- PROMEDIO DE VALORACIÓN: 87%

Ing. Edgar Laurente Gomez  
DNI: 10697312

Fecha: 23/09/2024.



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Quien suscribe, Ing. Edgar Laurente Gomez con Documento de Nacional de Identidad N° 10697312 Ingeniero Electrónico, quien labora en gerente de operaciones de Dolphin Telecom del Peru S.A.C. hago constar que evalué mediante Juicio de Expertos, el instrumento de recolección de información con fines académicos; considerándolo válido para el desarrollo de los objetivos planteados en la investigación denominada: "Ciudad inteligente con tecnología 5G-PON en la zona urbana de Cajamarca".

Constancia que se expide en Cajamarca, en el mes de setiembre del 2024.

Ing. Edgar Laurente Gomez  
DNI: 10697312

Fecha: 23/09/2024.



## INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

### I.- DATOS GENERALES:

Apellidos y Nombres del Juez: **Pérez Cerna, Carlos Alfonso.**

Cargo e institución donde labora: **Coordinador del Área de Infraestructura y Soporte de TI de la Municipalidad provincial de Cajamarca.**

Nombre de Instrumento evaluado: **Ciudad inteligente con tecnología 50G-PON en la zona urbana de Cajamarca.**

Autor del Instrumento: **Gyno Romero Prado.**

### II.- ASPECTOS DE EVALUACION:

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE 0-20 %	REGULAR 21-40 %	BUENA 41-60 %	MUY BUENA 61-80 %	EXCELENTE 81-100 %
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado y comprensible.					X
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables.				X	
3. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad suficiente.				X	
4. PERTINENCIA	Permite conseguir datos de acuerdo a los objetivos planteados.				X	
5. CONSISTENCIA	Basado en aspecto técnico científico.					X

### III.- OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

¿Qué opinión tiene sobre el diseño de ingeniería propuesto para la red 50G-PON en Cajamarca, considerando el análisis de la infraestructura existente y la planificación del Data Center?

Es un enfoque innovador y aprovecha la infraestructura existente de fibra óptica, añadiendo solo 3,67 Km se logra el despliegue del proyecto de ciudad inteligente.

Fecha: 23/09/2024.



¿Considera que la evidencia presentada es suficiente y adecuada para respaldar la hipótesis planteada en el estudio?

El estudio presenta datos precisos y estándares internacionales que demuestran la viabilidad del proyecto para convertir a Cajamarca en una ciudad Inteligente

¿Cuál sería su principal recomendación para mejorar el enfoque, la metodología o los resultados presentados en este trabajo de investigación?

Mi recomendación sería utilizar un diagrama de flujo para describir el proceso de cada servicio de la ciudad Inteligente

IV.- PROMEDIO DE VALORACIÓN: 90%

Ing. Carlos Alfonso Pérez Cerna  
DNI: 43026777

Fecha: 23/09/2024.



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Quién suscribe, Ing. Carlos Alfonso Pérez Cerna con Documento de Nacional de Identidad N° 43026777 Ingeniero de Sistemas, quien labora de Coordinador del Área de Infraestructura y Soporte de TI en la Municipalidad provincial de Cajamarca ,hago constar que evalué mediante Juicio de Expertos, el instrumento de recolección de información con fines académicos; considerándolo válido para el desarrollo de los objetivos planteados en la investigación denominada: "Ciudad inteligente con tecnología 5G-PON en la zona urbana de Cajamarca".

Constancia que se expide en Cajamarca, en el mes de setiembre del 2024.

Ing. Carlos Alfonso Pérez Cerna  
DNI: 43026777

Fecha: 23/09/2024.

### 7.32.3 Ing. Ramos Sangay Huamán.



CIUDAD INTELIGENTE CON TECNOLOGÍA 50G-PON EN LA ZONA URBANA DE CAJAMARCA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

## INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

### I.- DATOS GENERALES:

Apellidos y Nombres del Juez: **Sangay Huamán, Ramos.**

Cargo e institución donde labora: **Jefe de la unidad de informática de la Municipalidad Distrital de Baños del Inca.**

Nombre de Instrumento evaluado: **Ciudad inteligente con tecnología 50G-PON en la zona urbana de Cajamarca.**

Autor del Instrumento: **Gyno Romero Prado.**

### II.- ASPECTOS DE EVALUACION:

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE 0-20 %	REGULAR 21-40 %	BUENA 41-60 %	MUY BUENA 61-80 %	EXCELENTE 81-100 %
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado y comprensible.					X
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables.				X	
3. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad suficiente.					X
4. PERTINENCIA	Permite conseguir datos de acuerdo a los objetivos planteados.				X	
5. CONSISTENCIA	Basado en aspecto teórico científico.					X

### III.- OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

¿Qué opinión tiene sobre el diseño de ingeniería propuesto para la red 50G-PON en Cajamarca, considerando el análisis de la infraestructura existente y la planificación del Data Center?

El diseño propuesto es práctico, usando estratégicamente la infraestructura ya desplegada y asegurando la escalabilidad con el Data Center

Fecha: 26/09/2024.





¿Considera que la evidencia presentada es suficiente y adecuada para respaldar la hipótesis planteada en el estudio?

La evidencia es sólida, apoyada en un plan claro de su implementación y uso eficiente de los recursos existentes

¿Cuál sería su principal recomendación para mejorar el enfoque, la metodología o los resultados presentados en este trabajo de investigación?

Recomendaría mejorar el servicio de transporte público para que los ciudadanos puedan reservar un asiento.

IV.- PROMEDIO DE VALORACIÓN: 93%

Ing. Ramos Sangay Huamán  
DNI: 26737575

Fecha: 26/09/2024.



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Quién suscribe, Ing. Ramos Sangay Huamán con Documento de Nacional de Identidad N° 26737575 Ingeniero de Sistemas, quien labora de Jefe de la unidad de informática de la Municipalidad Distrital de Baños del Inca , hago constar que evalué mediante Juicio de Expertos, el instrumento de recolección de información con fines académicos; considerándolo válido para el desarrollo de los objetivos planteados en la investigación denominada: "Ciudad inteligente con tecnología 50G-PON en la zona urbana de Cajamarca".

Constancia que se expide en Cajamarca, en el mes de setiembre del 2024.



---

Ing. Ramos Sangay Huamán  
DNI: 26737575

Fecha: 26/09/2024.



---

Dr. Ing. Carlos Jesus Koo Labrin  
Asesor



---

Gyno Romero Prado  
Tesisista