



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE DE BACKUP  
POR FIBRA ÓPTICA EN EL DEPARTAMENTO DE  
AREQUIPA PARA DOS EMPRESAS DE  
TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER  
DAVILA UMERES ERNESTO ALONSO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO Y  
TELECOMUNICACIONES**

**LIMA – PERÚ**

**2017**

**DEDICATORIA:**

Dedico este trabajo a mis padres, que me apoyaron para poder cumplir este objetivo, y sobre todo a mi esposa y a mis hijas, que son el motivo para poder superar cualquier adversidad en mi vida.

**AGRADECIMIENTO:**

Deseo expresar mi agradecimiento a todos mis compañeros de trabajo de la empresa Viettel Perú S. A. C. por todo el soporte y la información brindada para poder realizar este proyecto.

Así también deseo expresar mi gratitud para todos los docentes que fueron parte de mi formación profesional y los docentes que me apoyaron para poder desarrollar este proyecto.

## INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones se han vuelto indispensables a nivel mundial, actualmente una persona no puede estar incomunicada y es deber de cada empresa de telecomunicaciones brindar el servicio de una manera eficiente y buscar redundancias para asegurar la calidad del servicio, es por eso que las compañías de telecomunicaciones siempre están viendo la forma de como respaldar su red e infraestructura, frente a posibles desastres naturales o incidentes que puedan suceder y ocasionar algún deterioro en la señal.

En el Perú actualmente existen en promedio 31 826 018 millones de personas<sup>1</sup>, de las cuales 2 millones cuentan con equipo celular<sup>2</sup> hasta el 2015, todas estas personas están en uso constante de su equipos ya sea para comunicarse o para utilizar todos los servicios adicionales que ofrece la telefonía celular.

Existen varios tipos de redundancia para salvaguardar el servicio, ya sea anillos cerrados, enlaces de backups con microondas, o en algunos casos realizar convenios con otras empresas que presten el servicio de telecomunicaciones.

En el presente año, en el mes de Marzo, todas las compañías de telecomunicaciones tuvieron demasiadas averías debido a los desastres naturales que fueron originados por el fenómeno del niño afectando el servicio en departamentos como Ayacucho, Pasco, Huánuco, Huancavelica, Junín, Ucayali, La libertad, Ancash, Piura, Lambayeque, Cajamarca, San Martín, Loreto y en Arequipa (como se muestra en las Figuras del 1 al 5) estos impredecibles acontecimientos dieron a conocer que aún no es suficiente todos los respaldos que se están ejecutando, es por esta razón que dos compañías de telecomunicaciones decidieron realizar un enlace de backup a lo largo de toda la

---

<sup>1</sup> Fuente <https://www.inei.gob.pe/>

<sup>2</sup> Fuente <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/tecnologias-de-la-informacion-y-telecomunicaciones/>

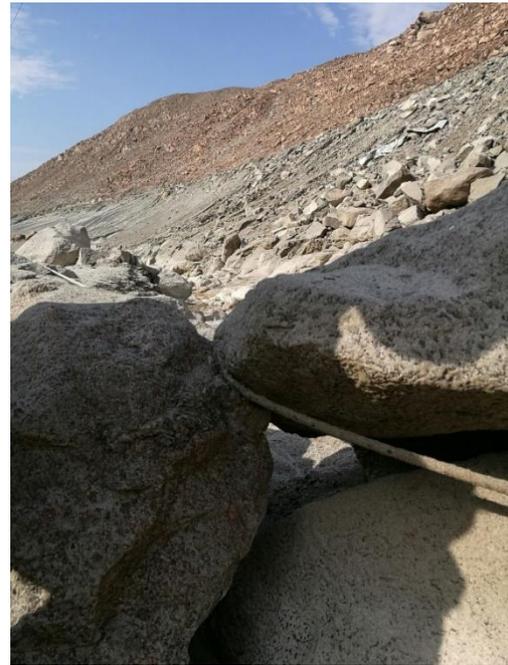
costa peruana, debido a que cada empresa presenta un diferente tipo de infraestructura otorga más condiciones favorables a que pueda suceder algún incidente en las dos redes a la vez, una empresa tiene la mayoría de su red desplegada en postes de 8, 9 y 11 metros de altura y la segunda empresa que ejecutara este plan tiene gran parte de su red desplegada en tramos subterráneos.

Figura 1: Daños cuasados por los huaycos



Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Fibra óptica dañada



Fuente: Elaboración propia

Figura 3: Postres caídos



Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Reparación de la avería



Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Estado de los postes después del huayco



Fuente: Elaboración propia

## RESUMEN

El presente proyecto tiene la finalidad de realizar una conexión de respaldo de 100 Gbps a través de dos redes de fibra óptica a lo largo de toda la costa peruana entre dos compañías de telecomunicaciones y así poder garantizar el flujo de información de sus respectivas redes troncales cuando suceda algún incidente que afecte el servicio final que prestan dichas compañías.

Figura 6 Diagrama de los enlaces de fibra óptica

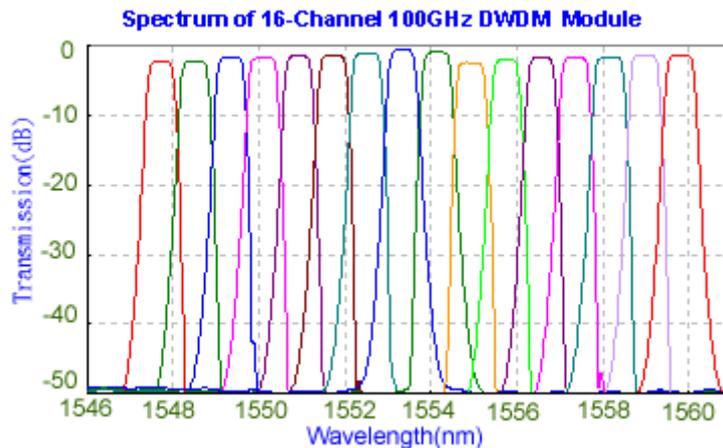


Fuente: Elaboración propia

Para este proyecto se está planteado utilizar las dos redes de fibra óptica ya existente por las dos compañías y además realizar pequeños despliegues para interconectar los nodos de dichas compañías, la categoría de la fibra óptica es el G.652 una de las razones para utilizar esta categoría es que para la

multiplexado compacto por división en longitudes de onda es lo suficientemente grande para evitar la mezcla de hasta cuatro ondas; además se trabajara en la longitud de onda 1550 nm, ya que en esta ventana de trabajo la fibra óptica presenta un rango menor de atenuación que es de 0.25 db/Km a comparación de la ventana de 1310 nm que presenta una atenuación de 0.35 db/Km.

Figura 7 División de 16 canales en DWDM



Fuente: <https://sx-de-tx.wikispaces.com/DWDM+y+CWDM>

Para estas conexiones se utilizaron los equipos de marca ZTE y la serie 9700 E ya que presentan las condiciones necesarias para satisfacer las necesidades para este proyecto.

## Índice de contenidos

<b>CAPITULO I: REALIDAD PROBLEMÁTICA</b>	
1.1. Descripción de la realidad problemática:.....	1
1.2. Análisis del problema:.....	1
1.3. OBJETIVO DEL PROYECTO.....	3
1.3.1 Objetivo Principal .....	3
1.3.2 Objetivos Secundarios .....	3
<b>CAPITULO II: DESARROLLO DEL PROYECTO</b>	
2.1. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO A DESARROLLAR .....	4
2.1.1 Primera Etapa: .....	5
2.1.2 SEGUNDA ETAPA.....	19
2.1.3 TERCERA ETAPA .....	25
<b>CAPITULO III: RECOMENDACIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>CAPITULO IV: CONCLUSIONES.....</b>	<b>36</b>
<b>CAPITULO V: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>37</b>
<b>CAPITULO VI: ANEXOS.....</b>	<b>38</b>

## **CAPÍTULO I: REALIDAD PROBLEMATICA**

## **1.1. Descripción de la realidad problemática:**

En la situación actual del país, es muy necesario contar con los servicios de telecomunicaciones, ya que frente algún desastre o problema, la mayoría de personas acuden o solicitan ayuda mediante algún medio de comunicación, es por esta razón que las compañías de telecomunicaciones siempre están consolidando su red para evitar averías o desperfectos, internamente se crean enlaces de respaldo que por lo general son de tipo 1+1, en el caso de las redes troncales este respaldo de 1+1 no es suficiente, ya que pueden presentarse diversas condiciones o situaciones que generen que estas redes sufran averías o desperfectos, como por ejemplo los desastres naturales, accidentes, fallas en los equipos, etc.

Es por esta razón que se ve la necesidad de recurrir a otras formas de asegurar la red, en este caso interviene otra empresa de telecomunicaciones, que tiene otro tipo de infraestructura desplegada, esta diferencia proporciona un respaldo más seguro y eficaz.

## **1.2. Análisis del problema:**

La infraestructura desplegada de una compañía de telecomunicaciones no es suficiente frente a desastres naturales, esto es lo que se pudo confirmar este año en los meses de Enero, Febrero y Marzo, cuando sucedieron la mayoría de deslizamientos de rocas por las lluvias.

El departamento de Arequipa también se vio afectado por estas inclemencias, generando averías en casi un tramo de 4 Km, donde todos los operadores sufrieron daños, algunos más que otros por el diseño de su infraestructura.

Figura 8: Tramo dañado por los deslizamientos de piedras en Arequipa



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en las fotos (Figura de las 9 al 11) las empresas que tenían su red desplegada en postes no sufrió tanto daño como las que tenían su red instalada subterráneamente.

Figura 9: Postes resistieron al desastre



Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Postes resistieron al desastre



Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Postes resistieron al desastre



Fuente: Elaboración propia

Observando estas condiciones se planteó realizar una conexión de respaldo entre dos empresas que tienen dos tipos de diferentes diseños de infraestructura desplegada a lo largo de la costa Peruana. En las siguientes imágenes (Figura 11 y 12) se verifica las redes desplegadas por las dos compañías de telecomunicaciones.

Figura 12 Empresa N°1



Fuente: Elaboración propia

Figura 13 Empresa N°2



Fuente: Elaboración propia

### 1.3. Objetivo del proyecto

#### 1.3.1 Objetivo Principal

Implementar una red de respaldo entre dos compañías de telecomunicaciones.

#### 1.3.2 Objetivos Secundarios

Realizar el correcto tendido de fibra respetando la normativa UIT-T L.26

Asegurar que la atenuación de la fibra óptica por kilómetro sea de 0.25 db

## **CAPÍTULO II: DESARROLLO DEL PROYECTO**

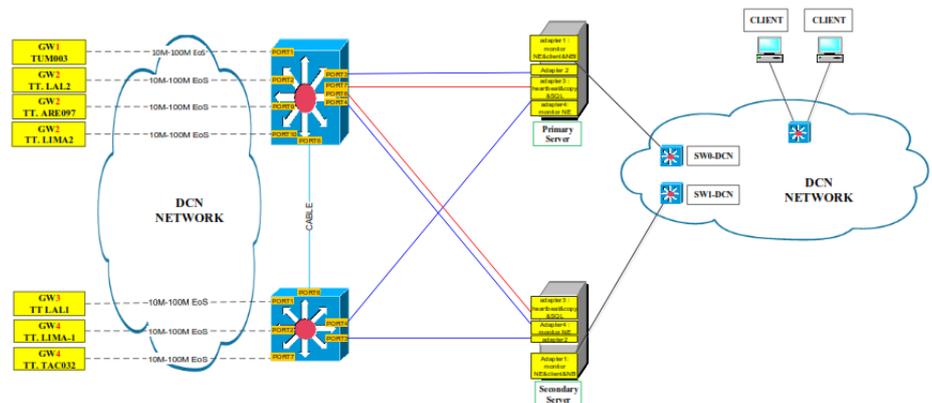
## 2.1. Descripción y desarrollo del proceso a desarrollar

La empresa en la que se va implementar dicho proyecto cuenta con aproximadamente 300 Km de fibra óptica desplegada desde el nodo que se encuentra en la provincia de Caravelí hasta el nodo que se encuentra en la provincia de Arequipa.

Las dos empresas ya cuentan con fibra desplegada para su propia red, este trabajo consta de 3 etapas:

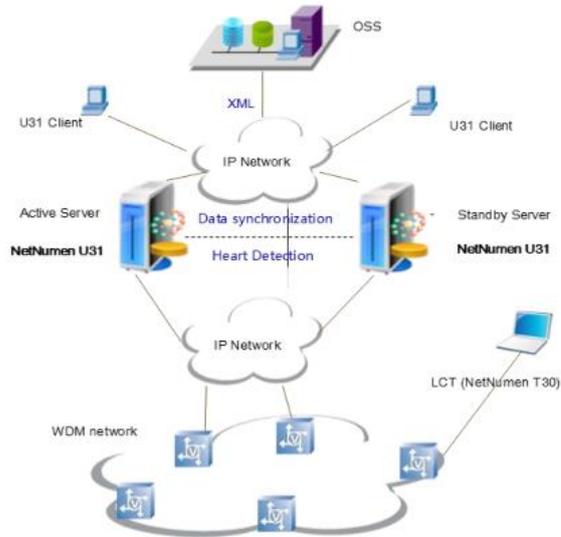
- Primera etapa: Despliegue de fibra entre los nodos.
- Segunda etapa: Empalme por calor de los hilos de fibra óptica que se van utilizar para el enlace de backup Y verificar que los hilos que se vayan a utilizar estén dentro de los valores indicados para que no se presente pérdida de información.
- Tercera etapa: Conexión hacia los equipos demoduladores para transmitir la señal y realizar pruebas para comprobar el paso de la información.

Figura 13 Diagrama de las conexiones físicas



Fuente: Elaboración propia

Figura 14 Diagrama de las conexiones lógicas



Fuente: Elaboración propia

### 2.1.1 Primera etapa:

#### A. Despliegue de fibra

En el departamento de Arequipa se van a interconectar 5 rutas que están distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 1: Distancia y niveles de atenuación por ruta

SITE A	SITE B	LONGITUD (KM)	ATENUACIÓN PROMEDIO INCLUIDO 2 EMPLAMES MECANICOS (dB)	TIPO DE CABLE
ARE0053	ARE0066	122	36.7	G.652
ARE0066	ARE0057	92	23	G.652
ARE0057	ARE0097	66	20	G.652
ARE0097	ARE0106	52	13	G.652
ARE0097	ARE0090	129	40.3	G.652

Fuente: Elaboración propia

Figura 15 Representación de rutas de F. O. en Arequipa



Fuente: Elaboración propia

En esta primera etapa interviene el estado del despliegue que se realizó, de la fibra óptica, ya que si desde esta etapa no se realiza el trabajo adecuado, considerando la normativa UIT-T L.26 va a generar que la señal se degrade y al final se va a tener que reemplazar todo el tramo de fibra instalada.

Esta norma describe las características que se debe tener en cuenta para que el despliegue no presente daños, además hay que considerar las condiciones climatológicas ya que no todos los lugares de un departamento presentan las mismas condiciones; si no se realiza el estudio necesario para el despliegue va a afectar la información transmitida.

#### ○ **Normativa UIT-T L.26**

Esta norma hace referencia a los cables de fibra óptica tipo monomodo que se utilizan para redes de telecomunicaciones, para instalaciones aéreas de planta externa, esta normativa hace mención a las características mecánicas y ambientales de la fibra óptica en cableados aéreos, tanto para cables autoportados como no autoportados; las características dimensionales y de transmisión deben cumplir con las recomendaciones de las categorías G.650, G.652, G653 y G.654 que hacen

referencia a fibras monomodo, debe tomarse en cuenta que algunos cables de fibra óptica pueden contener elementos metálicos, por lo cual se debe hacer referencia al manual de tecnologías de planta externa para redes públicas.

Figura 16: Técnico realizando tendido de fibra



Fuente: Elaboración propia

En esta normativa se definen las características que presentan la fibra óptica y las cuales serán descritas a continuación:

- **Características mecánicas:** Existen algunos efectos mecánicos que pueden modificar o variar los niveles de atenuación en la fibra, estos efectos pueden ser solucionados si se emplea la ferretería adecuada para la instalación.
- **Microflexión:** Se presenta cuando existe un pronunciada curvatura en la fibra que origina un desplazamiento axial de algunos micrómetros en las capas interiores de la fibra. Puede ser causada por algún

deterioro que haya sucedido al momento de su fabricación, un factor que también influye son los niveles de temperatura al momento de la fabricación; esta microflexión puede generar pérdidas que puedan afectar la calidad de información que está siendo transportada, por este motivo es muy importante realizar el tendido de fibra óptica de la mejor manera.

- **Macroflexión:** Es la curvatura resultante de una fibra óptica, que es grande con relación al diámetro de la fibra, después de la fabricación e instalación del cable. La macroflexión puede causar un aumento de la pérdida óptica. La pérdida óptica aumenta inversamente al radio de curvatura de la fibra: la macroflexión no debe ser suficientemente fuerte para aumentar considerablemente la pérdida óptica
- **Flexión:** En las condiciones dinámicas que se dan durante la instalación, la fibra puede estar sometida a deformación producida por la tensión con la que se retrae la fibra óptica. Deben seleccionarse los elementos de resistencia mecánica del cable y los radios de curvatura de instalación para limitar la deformación dinámica combinada por debajo de la máxima deformación admisible de la fibra a fin de que no se reduzca la vida útil prevista de la fibra. Los radios de curvatura de la fibra que permanecen después de la instalación del cable serán suficientemente grandes para no presentar pérdida por macroflexión.

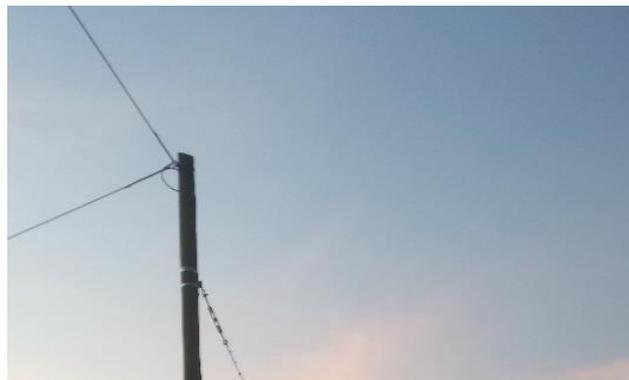
Figura 17: Fibra mal instalada



Fuente: Elaboración propia

- **Resistencia a la tracción:** Un cable de fibra óptica está sometido a carga a corto plazo durante la fabricación y la instalación, y puede ser afectado por carga estática continua y/o carga cíclica durante su explotación (por ejemplo, variación de temperatura). Puede aparecer carga continua hasta los límites del cable durante toda su vida útil. La deformación de la fibra puede ser causada por tensión, torsión, flexión y arrastre producidos a causa del espesor del cable, la instalación del mismo y/o el tipo de instalación aérea y/o condiciones ambientales, tales como viento y/o hielo y/o temperatura.

Figura 18: Herramientas de sujeción de fibra óptica



Fuente: Elaboración propia

- **Aplastamiento e impacto:** El cable puede estar sometido a aplastamiento e impacto durante su instalación y vida operacional. El aplastamiento y el impacto pueden aumentar la pérdida óptica (permanentemente o durante el tiempo de aplicación del esfuerzo) y un esfuerzo excesivo puede producir la fractura de la fibra. La estructura de un cable autosoportado debe poder resistir los efectos de compresión sin pérdida óptica adicional.

Figura 19: Fibra dañada debido a la caída de un poste



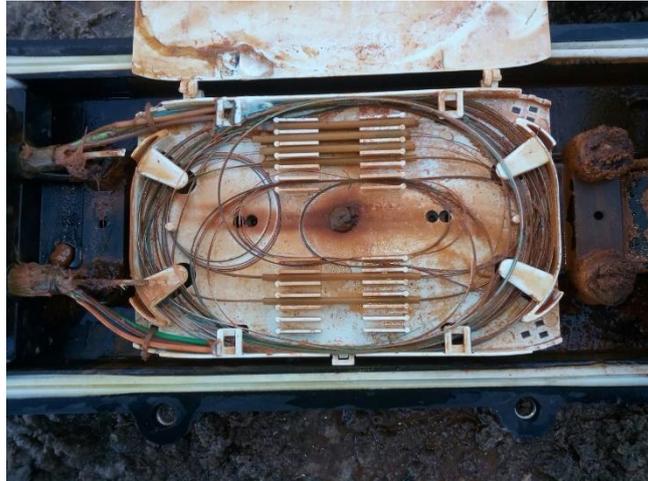
Fuente: Elaboración propia

- **Torsión del cable:** En las condiciones dinámicas que se dan durante su instalación y explotación, el cable puede estar sometido a torsión, resultando una deformación residual de las fibras y/o daño de la cubierta. Si se da este caso, el diseño del cable debe permitir un número especificado de torsiones por unidad de longitud sin un aumento de la pérdida de la fibra ni/o daño de la cubierta. Las máximas deformaciones residuales de las fibras esperadas, causadas por torsión, tensión y flexión, deben utilizarse para especificar el límite de deformación a corto plazo de la fibra.

Además de estas características mecánicas la fibra óptica también presenta variaciones debido a algunos factores ambientales que serán descritos a continuación

- **Gas hidrógeno:** En presencia de humedad y elementos mecánicos, puede generarse gas hidrógeno. El gas hidrógeno puede difundirse en el vidrio de sílice y aumentar la pérdida óptica. Se recomienda que la concentración de hidrógeno en el cable, de resultas de sus partes componentes, sea suficientemente baja para asegurar que los efectos a largo plazo del aumento de la pérdida óptica sean aceptables. Mediante la eliminación de componentes metálicos, o el uso de presurización dinámica por gas, materiales absorbentes de hidrógeno o la selección cuidadosa de los componentes del cable y de su construcción, por ejemplo, cubiertas con barrera antihumedad o eliminación de componentes metálicos, el aumento de la pérdida óptica puede mantenerse dentro de límites aceptables.
- **Permeación a la humedad:** Cuando la humedad permea la cubierta del cable y aparece en el núcleo del cable, se produce deterioración de la resistencia a la tracción de la fibra y se reducirá el tiempo hasta el fallo estático. Para asegurar una vida útil del cable, debe limitarse el nivel de deformación a largo plazo de la fibra. Pueden utilizarse diversos materiales como barreras para reducir la tasa de permeación a la humedad.

Figura 20: Caja de empalme mal sellada



Fuente: Elaboración propia

- **Penetración de agua:** En el caso de daños a la cubierta del cable o a un cierre de empalme, puede producirse +penetración longitudinal de agua en el núcleo de un cable o entre cubiertas. La penetración del agua produce un efecto similar al de la humedad. La penetración longitudinal de agua debe reducirse al mínimo o, si es posible, evitarse. Para evitar la penetración de agua puede aplicarse un elemento impermeabilizante (cintas, compuesto de relleno no tóxico, polvo no tóxico hidrohinchable o una combinación de materiales). El agua en el cable puede helarse en algunas condiciones y puede causar aplastamiento de la fibra con el correspondiente aumento de la pérdida óptica y posible rotura de la fibra.
  
- **Daños de origen biótico:** El pequeño tamaño de un cable de fibra óptica lo hace más vulnerable a los ataques de roedores, pájaros e insectos. Cuando no puedan eliminarse los roedores, debe proporcionarse protección metálica o especial no metálica.
  
- **Vibración:** Las vibraciones de los cables aéreos son producidas por corrientes de viento laminares que

producen remolinos a sotavento del cable (vibración eólica) o por variaciones en la dirección del viento con relación al eje del cable (efecto galope). Una rutina de vigilancia rigurosa identificará la actividad a fin de hacer una cuidadosa elección de la ruta y decidir técnicas de instalación y/o el uso de dispositivos de control de la vibración para minimizar ese tipo de problema.

- **Variaciones de temperatura:** Durante el almacenamiento, la instalación y la explotación, los cables pueden estar sujetos a diversas variaciones de temperatura. La expansión del cable producida por una variación de la temperatura hasta un alto nivel puede hacer que se alcance la mínima flecha permitida para una distancia al suelo segura. El encogimiento del cable producido por una variación de temperatura hasta un bajo nivel puede hacer que se alcance la máxima tensión de trabajo. Durante estas condiciones, la variación de la atenuación de las fibras será reversible y no rebasará los límites especificados.
- **Viento:** La deformación de la fibra puede ser causada por la tensión, torsión y flexión originadas por la presión del viento. La deformación dinámica y residual inducida en la fibra puede causar la rotura de la misma si se sobrepasa el límite de deformación a largo plazo de la fibra. Para reducir cualquier deformación de la fibra inducida por la presión del viento, el elemento de resistencia mecánica debe seleccionarse de manera que limite la deformación a niveles seguros, y la construcción del cable puede desacoplar mecánicamente la fibra de la cubierta para reducir al mínimo la deformación. Otra posibilidad de reducir la deformación de la fibra sería amarrar el cable a un cable

de suspensión de elevada resistencia mecánica. En las instalaciones aéreas los vientos pueden causar vibración y, en las instalaciones en figura de ocho e hilo de suspensión, puede producirse galope en todo el vano del cable. En estas situaciones, los cables deben diseñarse y/o instalarse para proporcionar estabilidad de las características de transmisión y rendimiento mecánico. Las instalaciones de cable deben diseñarse para reducir al mínimo la influencia del viento.

- **Campos eléctricos potentes:** Los cables aéreos sin partes metálicas instalados, en el entorno de alta tensión de las líneas de transporte de energía, son susceptibles a la influencia del campo eléctrico de estas líneas eléctricas, que pueden conducir a fenómenos tales como efecto corona, formación de arcos y rastreo de la cubierta del cable. Para evitar daños, el cable debe ser instalado en las líneas de transmisión de energía en una posición de mínima intensidad de campo y/o pueden utilizarse materiales de cubierta de cable especiales según el nivel del campo eléctrico. Además, el efecto de marcar la cubierta no debe causar una deterioración de la cubierta en estas circunstancias.

Figura 21: Daños ocasionados por campos electromagnéticos



Fuente: Elaboración propia

Figura 22: Daños ocasionados por campos electromagnéticos

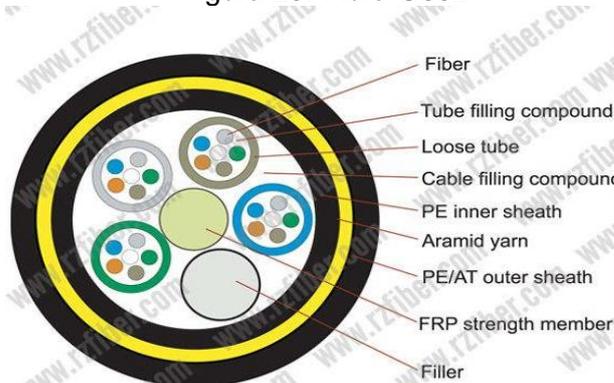


Fuente: Elaboración propia

## ○ FIBRA OPTICA

La Fibra Óptica Monomodo tiene como principal ventaja ancho de banda prácticamente ilimitada, sólo se propaga un modo por lo que se evita la dispersión modal, debida a la diferencia de velocidad de propagación de los modos que se transmiten por la fibra. Esto se debe al pequeño tamaño de su núcleo menor de  $9\mu\text{m}$ . Esto dificulta el acoplamiento de la luz, pero permite alcanzar mayores distancias y tasas de transmisión más elevadas que la fibra óptica multimodo.

Figura 23: Fibra G652



Fuente: <http://www.ftthtec.com/optical-fiber-cable/adss/double-jacket-overhead-adss-fiber-optic-cable.html>

La fibra óptica contiene diferentes tipos de recubrimientos, los cuales se describen a continuación

- **Protección primaria (recubrimientos):** La fibra tiene elevada resistencia mecánica intrínseca, pero esta resistencia es reducida por las

imperfecciones de la superficie. Debe por tanto aplicarse un recubrimiento primario inmediatamente después de estirar la fibra hasta su tamaño, que puede constar de múltiples capas. La fibra óptica debe haberse sometido a prueba. A fin de garantizar la fiabilidad a largo plazo en condiciones de servicio, debe especificarse la deformación de prueba, teniendo en cuenta la deformación admisible y la vida útil requerida. A fin de prepararla para el empalme, debe poderse eliminar el recubrimiento primario sin daño para la fibra, y sin el uso de materiales ni métodos considerados aventurados o peligrosos. La composición del recubrimiento primario, coloreado si se requiere, debe considerarse en relación con los requerimientos de los equipos locales de inyección de luz y detección utilizada en combinación con los métodos de empalme de fibras.

- Las fibras con recubrimiento primario deben haberse sometido a prueba con una deformación equivalente al 1%. Para ciertas aplicaciones, puede ser necesaria una deformación de prueba más grande.
- Se requiere ulterior estudio para aconsejar los métodos de prueba adecuados para la inyección de luz y la detección locales.

○ **Protección secundaria (recubrimientos):**

Debe proporcionarse protección secundaria de la fibra dentro del cable. La protección secundaria de las fibras con recubrimiento primario se aplica utilizando agrupamiento holgado dentro de un tubo o ranura, recubrimiento de polímero ajustado y recubrimiento de cinta.

### ○ **Núcleo del cable**

La composición del núcleo del cable, en particular el número de fibras, su método de protección e identificación, la ubicación de los elementos de resistencia mecánica y los hilos o pares metálicos si es necesario, deben definirse claramente.

El cable debe diseñarse con suficientes elementos de resistencia mecánica para cumplir las condiciones de instalación y de servicio de manera que las fibras no estén sometidas a una deformación excesiva. El cable aéreo puede clasificarse como un cable de tipo autosoportado, por ejemplo, construcción en figura de ocho o en el que los elementos de resistencia mecánica están ubicados en el núcleo del cable y/o en la cubierta.

Rellenar un cable con material impermeabilizante o envolver el núcleo del cable con capas de material hidrohinchable son dos medios de proteger las fibras contra la penetración de agua. Puede utilizarse un elemento impermeabilizante (cintas, compuesto de relleno, polvo hidrohinchable o una combinación de materiales). Los materiales utilizados no deben ser dañinos para el personal. Los materiales del cable deben ser compatibles entre sí, y en particular no deben afectar negativamente a las prestaciones de la fibra, ni a cualquier identificación por colores de las fibras. Un componente de relleno en contacto con las fibras debe seguir siendo blando a la temperatura de funcionamiento del cable para garantizar que no añada tensión a las fibras. Además, el material no debe ser devorador por los hongos, y ser eléctricamente no conductor, homogéneo y libre de contaminación.

El núcleo del cable debe estar revestido por una cubierta adecuada para las condiciones ambientales y mecánicas asociadas con el almacenamiento, la instalación y la explotación. La cubierta puede ser de una construcción compuesta y puede incluir elementos de resistencia mecánica. Las consideraciones relativas a la cubierta en los cables de fibra óptica son en general las mismas que para los conductores metálicos. Debe especificarse el mínimo espesor de la cubierta, junto con cualquier diámetro global admisible máximo o mínimo del cable. La cubierta exterior debe ser resistente a la degradación debida a la radiación ultravioleta y a los peligros de origen biótico.

- Uno de los materiales de cubierta más comunes es el polietileno. Sin embargo, puede haber algunas condiciones ambientales en las que sea necesario reducir al mínimo la inflamabilidad de un cable y limitar la emisión de humos y productos corrosivos. Deben utilizarse materiales especiales para la cubierta del cable y también cuando la cubierta está sometida a fuertes campos eléctricos

Cuando se requiere resistencia adicional a la tracción o protección contra daños externos, debe disponerse armadura sobre la cubierta del cable. Las consideraciones relativas a la armadura en los cables de fibra óptica son en general las mismas que para los cables conductores metálicos. Sin embargo, debe considerarse la generación de hidrógeno debida a la corrosión. Debe recordarse que las ventajas de los cables de fibra óptica, tales como su ligereza y flexibilidad, se reducirán cuando se pone armadura. La armadura en los cables no metálicos puede constar de hilos de aramida, hebras reforzadas con fibra de vidrio o cinta de vendar, etc.

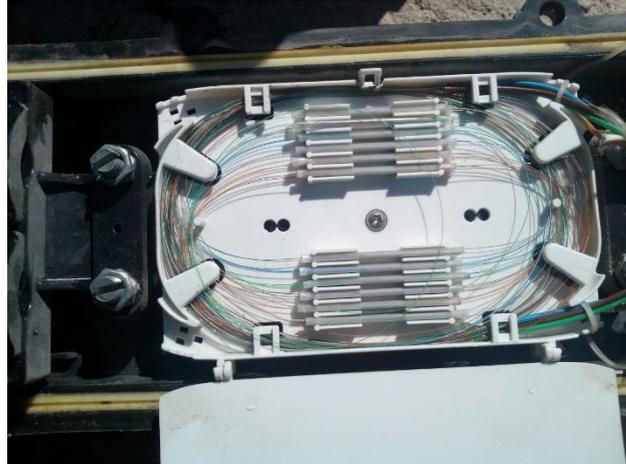
### 2.1.2 Segunda Etapa

Existen dos tipos de empalme por fibra óptica; por fusión y mecánicos.

- Existen diferentes métodos de obtener un empalme por fusión de fibras o cintas de fibras. En la actualidad, la fusión por arco eléctrico es el método más utilizado para hacer en el terreno empalmes fiables de fibras ópticas ya sean simples o en masa. El proceso de fusión se lleva a cabo utilizando 2 máquinas empalmadoras construidas de manera específica en las que la reproducibilidad y sencillez de la operación ha mejorado de manera continua durante la última década. Para hacer un empalme por fusión, se retiran todos los recubrimientos de las fibras, que se cortan y a continuación se posicionan y alinean entre dos electrodos en la máquina de empalmar. Un arco eléctrico calienta el vidrio de sílice hasta que se alcanza el punto de "fusión" o ablandamiento y al mismo tiempo se juntan las fibras longitudinalmente de tal manera que se obtenga un empalme con continuidad geométrica. Este proceso genera un filamento de vidrio continuo. La alineación de las fibras en estas máquinas puede ser pasiva (alineación en ranuras en V) o activa (inyección de luz y sistema de detección o supervisión del perfil del núcleo/revestimiento y sistema de alineación). A continuación se aplica al empalme un dispositivo de protección adecuado para proteger la fibra desnuda y facilitar su manipulación y almacenamiento sin afectar adversamente a la integridad física del empalme. La calidad del corte y la intensidad y duración del arco eléctrico, así como las diferencias entre las dos fibras que se han de empalmar, determinan la pérdida del empalme. Además, el esmero con que se lleve a cabo la eliminación de los recubrimientos, el corte de la fibra y la protección

del empalme contribuyen a la fiabilidad mecánica a largo plazo en el terreno.

Figura 24 Fibra óptica fusionada en caja de empalme



Fuente: Elaboración propia

- Los empalmes mecánicos tienen estructuras y diseños físicos distintos, y normalmente incluyen los componentes básicos siguientes:
  - Contar con una superficie para alinear los extremos de las fibras correspondientes
  - Colocar un dispositivo de retención para mantener las fibras alineadas

Algunos diseños permiten su instalación en fábrica en las fibras del extremo de un cable a fin de que la realización del empalme en el terreno sea más rápida. Para reducir las reflexiones de Fresnel se puede utilizar un material de adaptación óptica entre los extremos de las fibras. El material se elegirá de modo que iguale las propiedades ópticas de las fibras. Entre los materiales utilizados corrientemente figuran los geles de silicona, los adhesivos curables por rayos ultravioleta, las resinas epóxicas y las grasas ópticas. El índice de refracción de estos materiales tiene una dependencia de la temperatura diferente.

## ○ **Pasos del procedimiento de empalmado**

### - **Limpieza de las fibras y preparación de los extremos**

En el caso de cables rellenos de un fluido gelatinoso, deberá eliminarse mecánicamente de las fibras ese fluido hidrófugo utilizando tejido de papel sin hilachas o trapos de algodón. Se pueden utilizar los disolventes comerciales disponibles para ayudar en esta limpieza. Habrá que actuar con cuidado para que el material matriz de las cintas y los recubrimientos de las fibras no sufran ningún daño de tipo mecánico o químico. La inmersión en disolventes durante mucho tiempo puede afectar negativamente al recubrimiento de las fibras. Por otra parte, el suministrador del disolvente deberá aportar toda la información relacionada con la seguridad de estos productos. La máquina empalmadora por fusión o la herramienta de ensamblaje mediante empalmes mecánicos deberán estar cerca del cierre del empalme, para no someter a las fibras a un esfuerzo excesivo por flexión, tracción o presión. Los extremos que se han de empalmar deberán identificarse siguiendo el sistema de identificación del cable que designa las fibras dentro del mismo. Si se utilizan dispositivos de protección de tipo tubular, deberán situarse en uno de los extremos de las fibras o las cintas de fibras que se han de empalmar antes de efectuar esa operación. Una vez completado el empalme, se pueden adaptar protectores de tipo mordaza bivalva.

### - **Eliminación del recubrimiento**

Donde así proceda, deberán eliminarse los recubrimientos secundarios (construcciones a base de tubos protectores apretados o sueltos) hasta la distancia

recomendada por el fabricante del protector del empalme utilizando la herramienta adecuada para descubrir el recubrimiento primario. Deberá eliminarse una porción suficiente de recubrimiento de los extremos de manera que, tras el corte y empalme, toda la fibra desnuda quede cubierta por el dispositivo de protección. La eliminación del recubrimiento podría ser la operación más crítica del procedimiento de empalmado, sobre todo si se ha de llevar a cabo en fibras que han permanecido instaladas en el terreno durante muchos años, ya que quizás sea entonces más difícil debido al envejecimiento. Esta operación debe efectuarse, por tanto, con cuidado porque la resistencia final del empalme una vez completado depende de que se reduzca al mínimo la exposición que puede provocar grietas en la fibra desnuda. El procedimiento seguido para desnudar la fibra podría ser químico o mecánico, dependiendo de las aplicaciones y de la calidad deseada. Si se sigue un procedimiento químico, toda la información relacionada con la seguridad del producto deberá ser facilitada por el fabricante. Lo normal es que, en el caso de aplicaciones subterráneas, enterradas directamente o aéreas, la fibra se desnude siguiendo un procedimiento mecánico. La separación de la cuchilla y la alineación de las aperturas semicirculares o de ranura en V deberá ser controlada para penetrar en la capa de recubrimiento interna blanda sin erosionar la superficie de la fibra. Las cuchillas deberán ser objeto de un examen minucioso y frecuente. Habrán de estar bien alineadas y limpias en todo momento y habrá que sustituirlas cuando se dañen o se gasten. Si las cuchillas forman parte integrante del dispositivo con el que se desnuda el cable, será la herramienta en su totalidad lo que habrá que reemplazar. Cuando la fibra se desnude siguiendo procedimientos mecánicos en caliente, sobre todo si se trata de cintas de fibras, deberá calentarse el

recubrimiento hasta la temperatura recomendada por el fabricante de la cinta, y a continuación eliminarlo con una cuchilla. En el caso de aplicaciones submarinas, el procedimiento químico es el más adecuado por el mayor nivel de las pruebas requeridas. Para desnudar, cortar y empalmar cintas de fibras se utilizan siempre soportes, que algunas veces se utilizan también con sistemas empalmadores de monofibras. Las cintas se sujetan en un soporte antes de desnudarlas y cortarlas, y durante el proceso de fusión. El soporte deberá asegurar una buena alineación de las fibras sin dañarlas. Sólo la parte recubierta de la fibra o la cinta deberá ponerse en el soporte, de manera que las mordazas con las que se sujeta no le causen daño alguno. Los soportes deberán mantenerse limpios y sin residuos de ninguna clase. Cuando se hacen empalmes mecánicos, los soportes pueden ser necesarios o pueden no serlo durante la eliminación de los recubrimientos y/o durante el corte.

- **Limpieza de los extremos desnudos de las fibras**

Cuando se necesite que los extremos de las fibras estén limpios, deberán limpiarse los extremos desnudos con un tejido de papel empapado en alcohol de calidad para reactivos a fin de eliminar los restos de recubrimientos, teniendo el cuidado de no romperlos. No habrá que enjuagarlos más de dos o tres veces.

- **Corte de las fibras**

Los extremos desnudos de las fibras deberán cortarse perpendicularmente al eje de la fibra; la superficie de los extremos debe quedar como un espejo sin astillas ni rebabas. En el caso de empalmes por fusión, los ángulos en el extremo deberán ser normalmente de menos de 1° con respecto a la perpendicular al eje para monofibras y de menos de 3° a 4° para cintas de fibras (dependiendo

del tipo de fibra) para que los empalmes sean satisfactorios. La herramienta de corte habrá de conseguir esos valores con una longitud controlada de fibra desnuda, compatible con el sistema de empalme y el dispositivo de protección. En el caso de empalmes mecánicos, existen dispositivos específicos que modifican la herramienta de corte para conseguir unas superficies de extremo de fibra oblicuas con un ángulo constante de al menos  $4^{\circ}$ . Esto se hace para eliminar la luz reflejada debida a la no concordancia entre el cristal de la fibra y el material de adaptación de índices a temperaturas extremas cuando los empalmes se ensamblan con cortes en ángulo en vez de cortes perpendiculares, la luz reflejada ya no es captada y guiada totalmente por el núcleo de la fibra, sino que más bien es dirigida hacia el revestimiento de la fibra en donde se atenúa. La herramienta de corte deberá estar limpia y bien ajustada para producir extremos de fibra continuos y de pequeño ángulo. Si las abrazaderas de la mordaza de la herramienta de corte están sucias, pueden causar grietas que hagan que la fibra se rompa en un lugar inconveniente o que reduzcan la resistencia del empalme una vez completado. La cuchilla deberá rayar la fibra lo suficiente como para producir un corte limpio, pero sin percutirla hasta el punto de producir astillas. Las herramientas de corte que curvan las fibras deberán tener un recorrido limitado para no producir una flexión excesiva de las mismas. En el caso de fusión en masa, las longitudes de fibra desnuda cortada deberán ser aproximadamente iguales en toda la cinta para conseguir así una superposición uniforme en todas las fibras durante la fusión. Los recortes de la fibra extraídos deberán eliminarse con cuidado para evitar daños.

### 2.1.3 Tercera etapa

#### ○ **Conexión hacia los equipos**

Las conexiones que van a utilizar desde el ODF (Optical Distribution Fiber) con patchcords FC/LC hacia los equipos ECI que son los encargados de demodular y en algunos caso amplificar los canales que son transmitidos por la fibra óptica.

Figura 25: ODFs



Fuente: Elaboración propia

Figura 26: Equipos ZTE



Fuente: Elaboración propia

Para estas conexiones se desarrollaron los siguientes diseños ya que un factor importante para realizar este diseño es tener en cuenta las distancias que se tiene entre los nodos, ya que aparte de multiplexar la señal también la amplifica.

Los diagramas de las conexiones y los esquemas de los equipos están representados en el Anexo 01

#### ○ **Dense wavelength division multiplexing**

Las razones del atractivo de la fibra óptica, y en particular de la fibra óptica monomodo, son: baja atenuación, alto ancho de banda, fácil instalación, inmunidad a interferencias, alta seguridad de la señal, aislamiento eléctrico, y posibilidad de integración.

Actualmente, y gracias a la aparición de amplificadores

de fibra óptica y láseres de múltiples longitudes de onda, la multiplexación por división en longitud de onda es uno de los temas que más atención suscita dentro del campo de las comunicaciones ópticas, pues estos dispositivos permiten incrementar enormemente la capacidad de los sistemas de transmisión sin requerir de desarrollos tecnológicos significativos y sin alterar las arquitecturas de red implantadas. Es decir, permiten una evolución flexible y económica de las presentes redes, respondiendo a la demanda de mayor ancho de banda por parte de los nuevos servicios de telecomunicaciones avanzadas.

La multiplexación por división en longitud de onda, multiplexación óptica o DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) tiene su origen, en la posibilidad de acoplar las salidas de diferentes fuentes emisoras de luz, cada una a una longitud de onda diferente, sobre una misma fibra óptica. Después de la transmisión a través de la fibra, las señales a cada longitud de onda diferente, pueden ser separadas entre sí hacia diferentes detectores en su extremo final. El componente encargado de inyectar las distintas fuentes sobre la misma fibra óptica es el multiplexor, y el encargado de separarlas es el demultiplexor.

Cuando la distancia entre los distintos puntos de la red es muy pequeña, la introducción de nueva fibra puede ser una solución a los problemas de capacidad. No obstante, cuando las distancias aumentan, o bien se tiene una base de fibra instalada, la DWDM es la alternativa más económica.

La transparencia ha sido otro argumento a favor de las redes de transporte DWDM. Mediante DWDM en cada

una de las longitudes de onda se pueden ubicar diferentes tasas de bit de distintas capas superiores, como PDH, SDH, ATM e IP. Se puede ver, por lo tanto, como una tecnología totalmente óptica, independiente de la tasa de bit y protocolo de las capas superiores.

Hasta ahora las más importantes técnicas de multiplexación utilizadas eran la TDM (Time Division Multiplexing) o multiplexación por división en el tiempo, y la FDM (Frequency Division Multiplexing) o multiplexación por división en frecuencia. En TDM se segregan muestras de cada señal en ranuras temporales que el receptor puede seleccionar mediante un reloj correctamente sincronizado con el transmisor; y en FDM, cada señal se transporta en una frecuencia subportadora que puede ser filtrada electrónicamente por el receptor.

Si bien la FDM y la TDM son sistemas de multiplexación incompatibles, la DWDM puede hacer uso de señales previamente multiplexadas mediante las técnicas FDM y TDM en el dominio eléctrico. Por ello la DWDM es, actualmente, la mejor solución a los límites de capacidad alcanzados recientemente con la TDM en el dominio eléctrico.

La historia de las técnicas de multiplexación ha demostrado una evolución en espiral sobre el espacio, la frecuencia y el tiempo.

En efecto, la primera técnica de multiplexación óptica ha sido la SDM (Space Division Multiplexing), consistente en la mera disposición en paralelo, con el fin de incrementar la capacidad del enlace, de fibras ópticas transportando la misma longitud de onda entre el origen

y el destino. En estos momentos la DWDM, que también puede verse como una OFDM (Optical Frequency Division Multiplexing) considerando separaciones entre portadoras ópticas de GHz, es la técnica idónea para aprovechar el gran ancho de banda ofrecido por la fibra óptica. Cabe esperar que la técnica de multiplexación óptica del futuro, cuando se resuelvan las limitaciones impuestas por la dispersión en la fibra, sea la OTDM (Optical Time Division Multiplexing).

En efecto, tras evolucionar de las comunicaciones analógicas a las digitales, y de PDH a SDH, el objetivo está ahora en pasar de SDH a DWDM. SONET (Synchronous Optical Network) en Norte América y SDH (Synchronous Digital Hierarchy) o JDS (Jerarquía Digital Síncrona) en Europa, son los estándares de transmisión digital a larga distancia que resuelven los problemas de compatibilidad entre equipos de distintos proveedores, la gestión y mantenimiento de los equipos, así como de la inserción y la extracción de las señales de jerarquías inferiores -de menor capacidad-, presentados por su predecesor PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). Tanto PDH, como SONET y SDH, son tecnologías de transmisión están basadas en multiplexación en el tiempo, que utilizan la fibra óptica como mero sistema de transmisión, pero que realizan las funciones de amplificación, encaminamiento, extracción e inserción de señales, etc. en el dominio eléctrico, a diferencia de DWDM.

La tecnología de transporte SDH permite diferentes tasas de bit o STM (Synchronous Transport Module), desde STM-1 (155 Mbps) hasta STM-64 (10 Gbps). La protección se ofrece a través de topologías en anillo, posibilitadas gracias a ADMs (Add and Drop

Multiplexers) o multiplexores de extracción e inserción de señales, capaces de reconfigurarse del fallo de un enlace en menos de 50 ms.

- **Topología metro ethernet**

La red metro Ethernet es una arquitectura que suministra la conectividad con banda ancha a la red metropolitana soportando grandes servicios, aplicaciones y tráfico en tiempo real; tomando cuenta que las actualizaciones, el rendimiento, la disponibilidad, la fiabilidad y el proceso integrado de seguridad son elementos que toda empresa exige actualmente.

Metro Ethernet realiza una conexión de acceso a la banda ancha y de los diferentes servicios de los cuales son necesarios y beneficiosos para las empresas en la red metropolitana, todo ello con una conexión de punto a punto y con una banda con un bajo costo tanto en una red pública como privada.

Para garantizar el despliegue de un punto de red Ethernet se utilizan las líneas de cobre (MAN BUCLE); además soporta los diferentes servicios de Smart City.

Esta red por lo general realizan la conexión por medios guiados, como el cobre y la fibra óptica, dando unas velocidades de 10 Mbit/s, 20 Mbit/s, 34 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s, 10 Gbit/s y 100 Gbit/s.

Al transmitir la información por múltiples pares de cobre se puede entregar una gran disponibilidad y se pierde el peligro de que se rompan todas las líneas de cobre y si se rompe se disminuye el ancho de banda y de ahí se sigue transmitiendo. “La fibra óptica y el cobre, se complementan de forma ideal en el ámbito metropolitano,

ofreciendo cobertura total a cualquier servicio, a desplegar.”

Una red Metro Ethernet es una colección de dispositivos de Capa 2 o 3 como switch y routers. Los conmutadores o routers son conectados a través de fibra óptica, la topología que se usa puede ser un anillo, estrella o malla.

Los diferentes beneficios que tenemos son:

- Presencia y gran cobertura en la MAN por la gran disponibilidad de las líneas de cobre.
- Muy alta fiabilidad porque la transmisión se constituyen por múltiples pares de cobre y de fibra óptica, que se configuran mediante Spanning tree (activo-pasivo) o LACP.
- Interconectando con Ethernet se hace fácil y se simplifican mucho las operaciones de red, administración, manejo y actualización.

Para Metro Ethernet se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- CIR (Committed Information Rate): es la cantidad promedio de información que se ha transmitido, teniendo en cuenta los retardos, pérdidas.
- CBS (Committed Burst Size): es el tamaño de la información utilizado para obtener el CIR respectivo.
- EIR (Excess Information Rate): especifica la cantidad de información mayor o igual que el CIR, hasta el cual las tramas son transmitidas sin pérdidas.
- EBS (Excess Burst Size): es el tamaño de información que se necesita para obtener el EIR determinado.

○ **COSTO Y MATERIALES**

Tabla 2: Costos y cantidades del primer despliegue

<b>Materiales</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costos</b>
Fibra Óptica	Corning G.652	441 km	S/. 1,543,500.00
Empalme por fusión	Fusionadora Sumitomo Z1C / Inno VIEW6L / Fujikura FSM-608	150	S/. 150,000.00
Medición de fibra	OTDR Yokogawa AQ-7280 / Anritsu MT9083C2-053	120	S/. 60,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>S/. 1,753,500.00</b>

**Fuente: Elaboración propia**

El despliegue de toda la infraestructura ya existente se necesitó un promedio de S/. 1,753,500.00, y para realizar las conexiones este es el costo:

Tabla 3: Costos y cantidades del segundo despliegue

<b>Materiales</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costos</b>
Fibra Óptica	Corning G.652	28 km	S/. 98,000.00
Empalme por fusión	Fusionadora Sumitomo Z1C / Inno VIEW6L / Fujikura FSM-608	10	S/. 10,000.00
Medición de fibra	OTDR Yokogawa AQ-7280 / Anritsu MT9083C2-053	30	S/. 15,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>S/. 123,000.00</b>

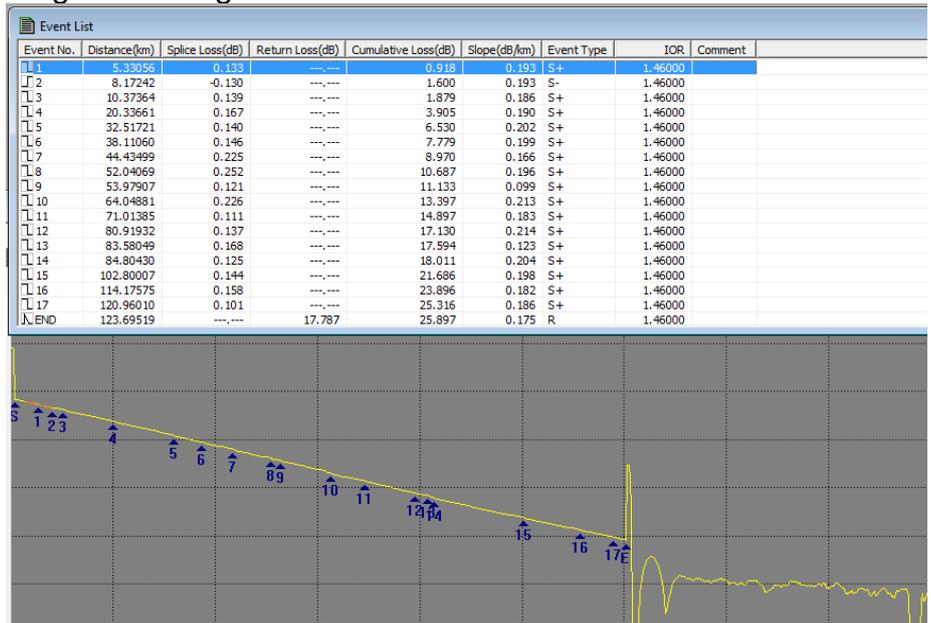
**Fuente: Elaboración propia**

El costo para poder llegar hasta los equipos de la otra empresa implico un costo de S/. 123,000.00

○ **Pruebas con el OTDR**

Para poder verificar que los enlaces estén dentro de los niveles correctos de atenuación se tienen que realizar pruebas con el OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), estas mediciones se reflejan en las gráficas que se muestran a continuación:

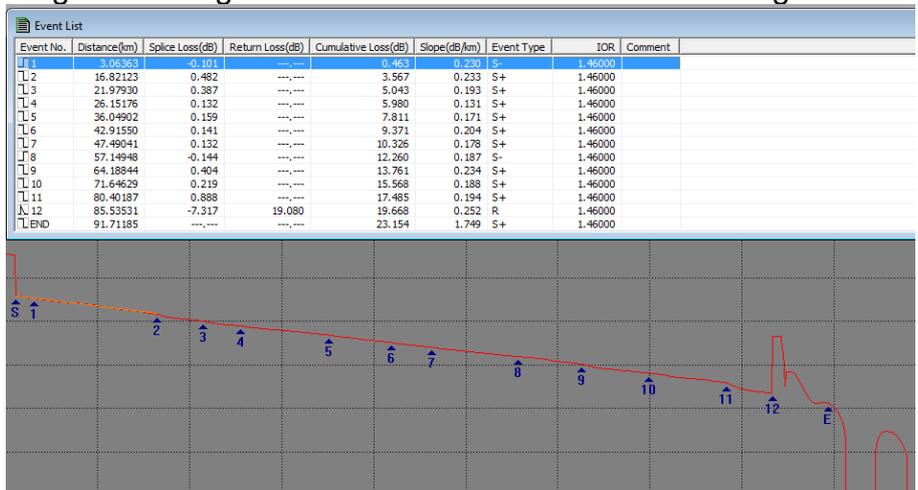
Figura 27: Logfile de la ruta de Ático hacia Camaná



Fuente: Elaboración propia

Distancia Real: 123.69 Km - pérdida total: 25.89 db

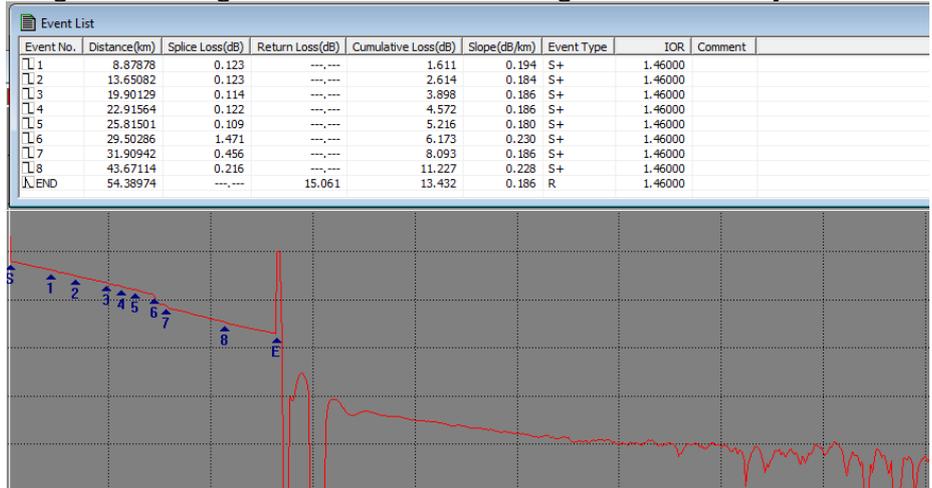
Figura 28: Logfile de la ruta de Camaná hacia Pedregal



Fuente: Elaboración propia

Distancia Real: 91.71 Km – Pérdidas totales: 25.15 db

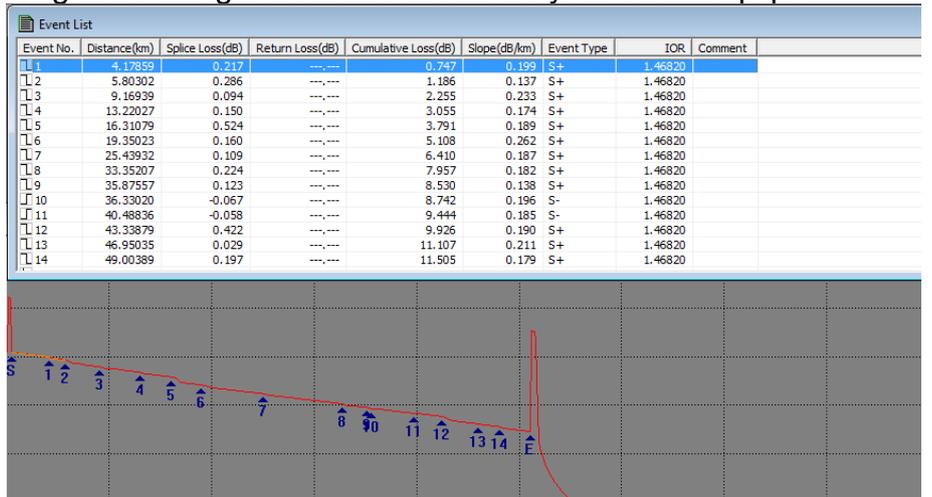
Figura 29: Logfile de la ruta de Pedregal hacia La Joya



Fuente: Elaboración propia

Distancia Real: 54.38 Km – Pérdida total: 13.42 db

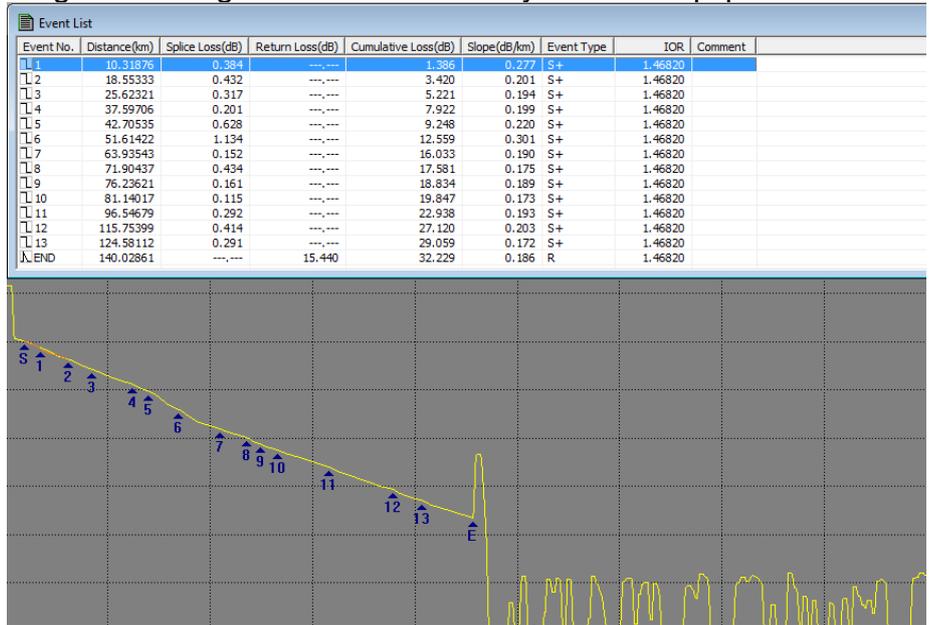
Figura 30: Logfile de la ruta de La Joya hacia Arequipa



Fuente: Elaboración propia

Distancia Real 49.0 Km – Pérdidas totales: 11.5 db

Figura 31: Logfile de la ruta de Islay hacia Arequipa



Fuente: Elaboración propia

Distancia Real: 140.0 Km – Pérdidas totales: 32.22 db

Como se puede observar en todas las gráficas, los enlaces están dentro de los rangos propuesto en los diseños.

## **CAPITULO III: RECOMENDACIONES**

- Considerar cambiar de tipos de ODF, debido a que los que utilizan conectores de tipo SC, presentan menores problemas de atenuación y presentan un mayor tiempo de vida.
- El tiempo de patrullaje que se realizan en las rutas debe ser más constante para poder prevenir cualquier incidente a futuro.
- El tiempo de la ferretería que se utiliza en la costa puede ser renovado cada 2 años, pero comprando un tipo diferente de ferretería se podría prolongar por lo menos 6 meses más el tiempo de vida de la ferretería.

## **CAPITULO IV: CONCLUSIONES**

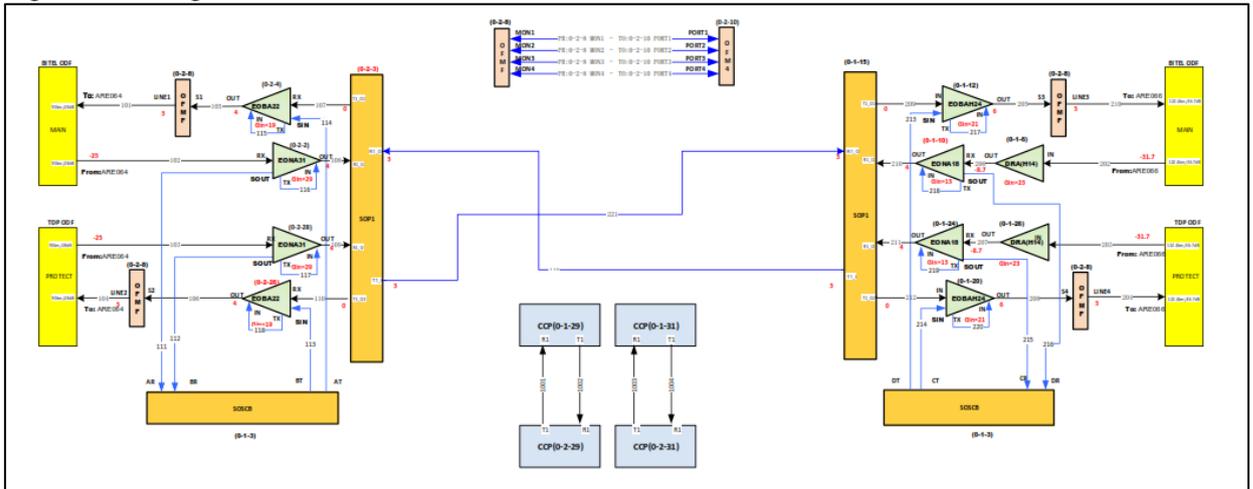
- Utilizar la normativa UIT-T L.26 garantiza que la instalación de la fibra óptica sea la más adecuada y así se pueda aprovechar todas las prestaciones de este material.
- Los empalmes de fusión realizados de acuerdo a los procedimientos establecidos y utilizando las herramientas adecuadas garantizan que las pérdidas sean las mínimas.
- Estas dos condiciones de trabajo confirman lo que se describió en el proyecto y esto se refleja en las gráficas obtenidas por el reflectómetro.
- El constante patrullaje es otro factor importante que se tiene que realizar para poder prevenir algún futuro incidente y presente averías en el servicio.

## CAPITULO V: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1/es>
- <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.2/es>
- <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.12/es>
- <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.25/es>
- <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.26/es>
- <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.31/es>
- <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.400/es>
- <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/dwdm.php>

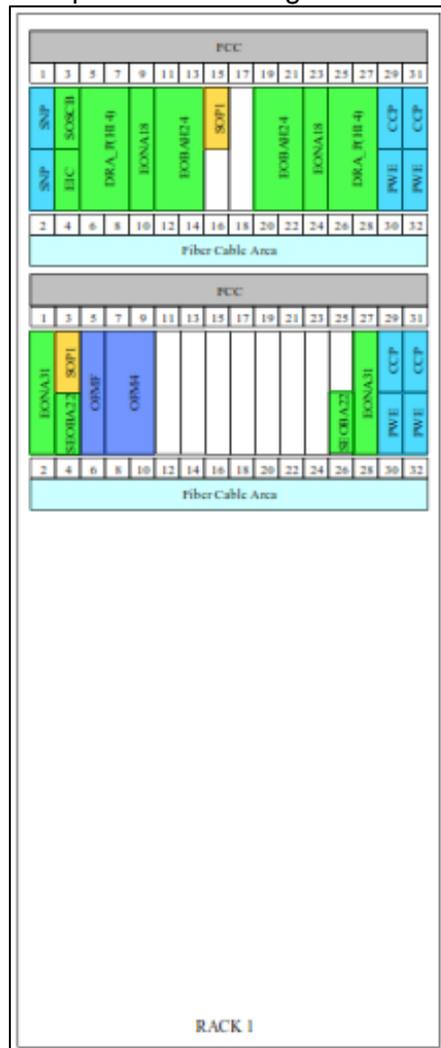
## **CAPITULO VI: ANEXOS**

Figura 31: Diagrama de conexiones de BTS Ático



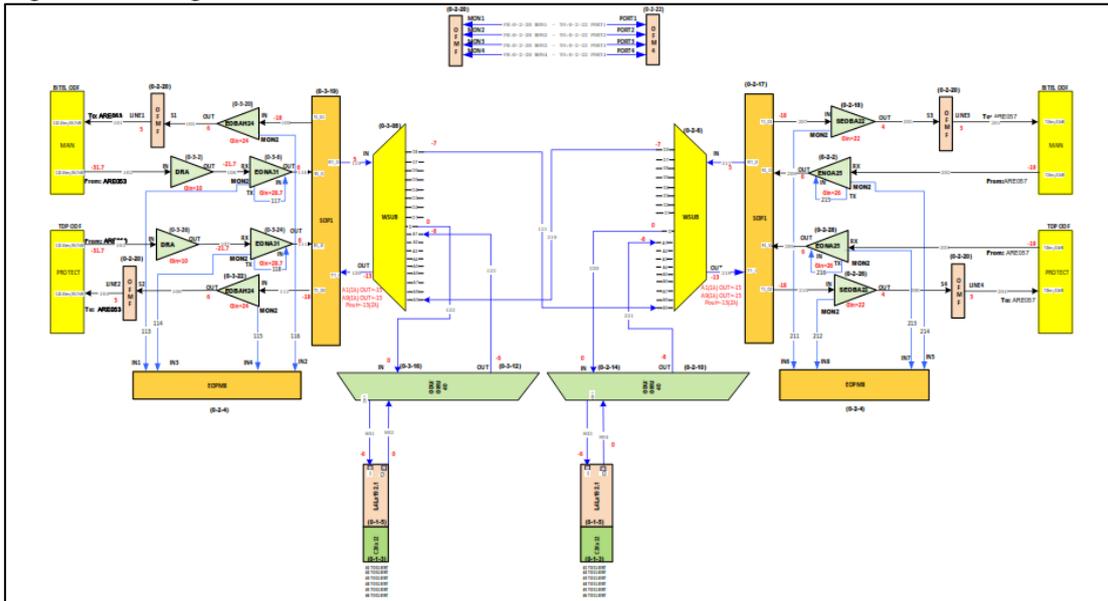
Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Esquema físico del gabinete de BTS Ático



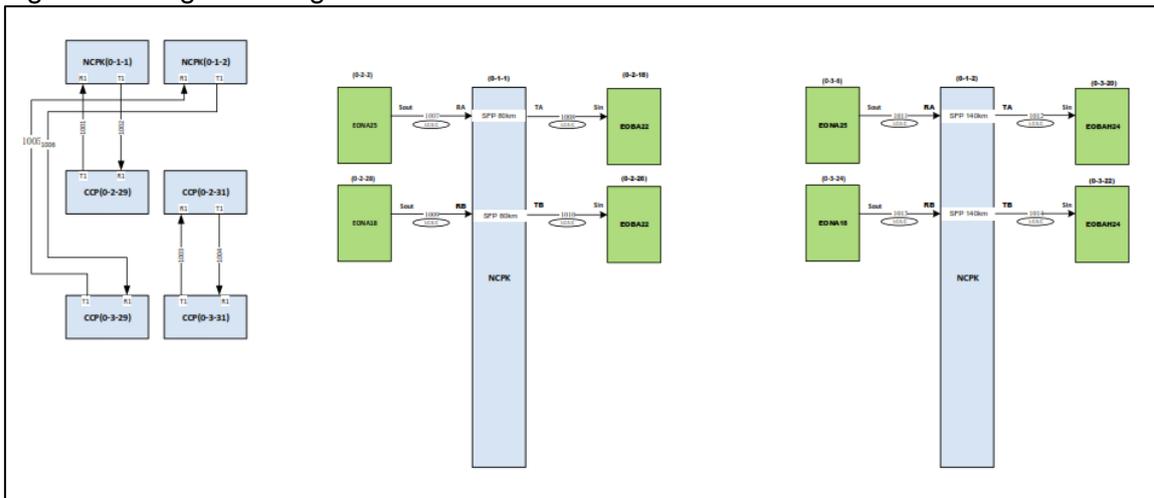
Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Diagrama de conexiones de BTS Camaná



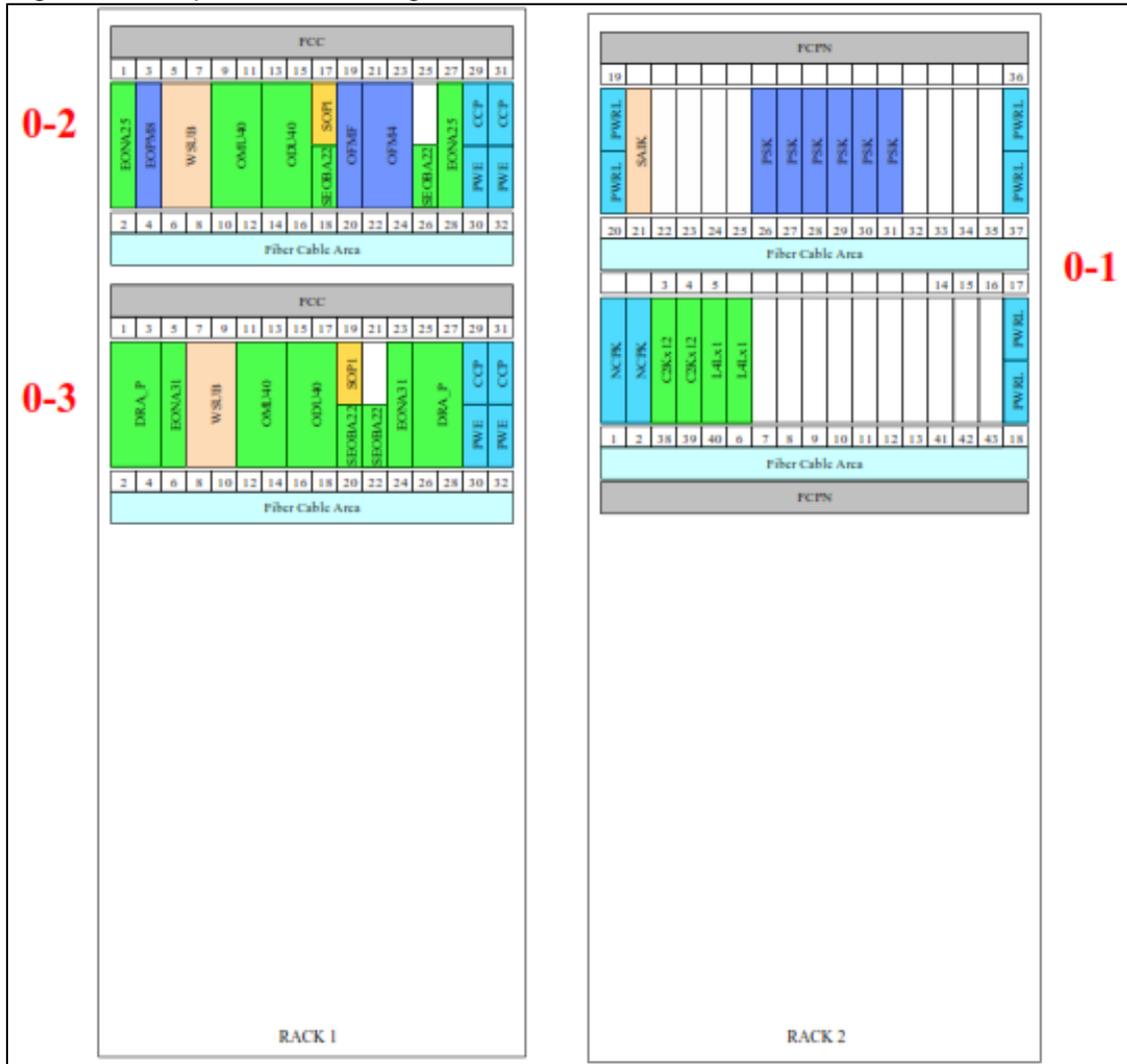
Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Segundo diagrama de conexiones de BTS Camaná



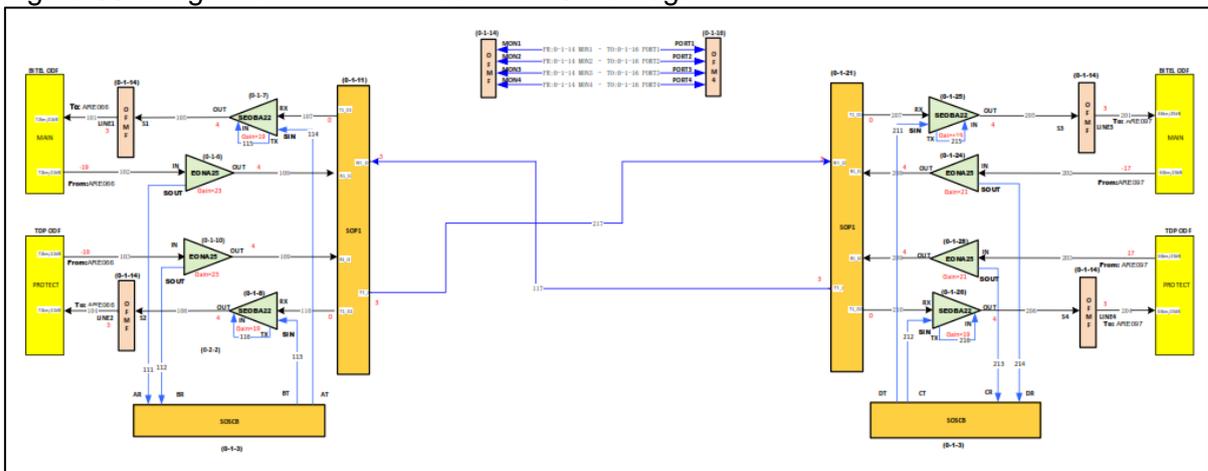
Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Esquema físico del gabinete de BTS Camaná



Fuente: Elaboración propia

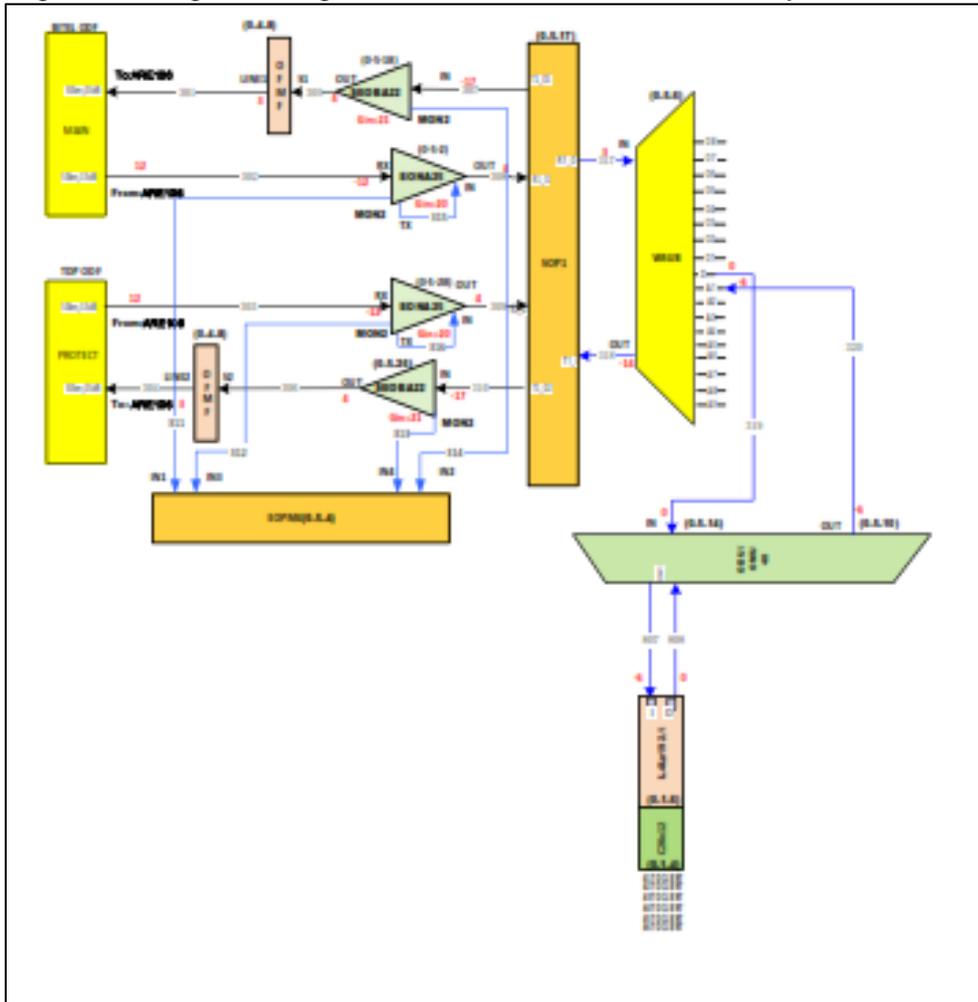
Figura 35: Diagrama de conexiones de BTS Pedregal



Fuente: Elaboración propia

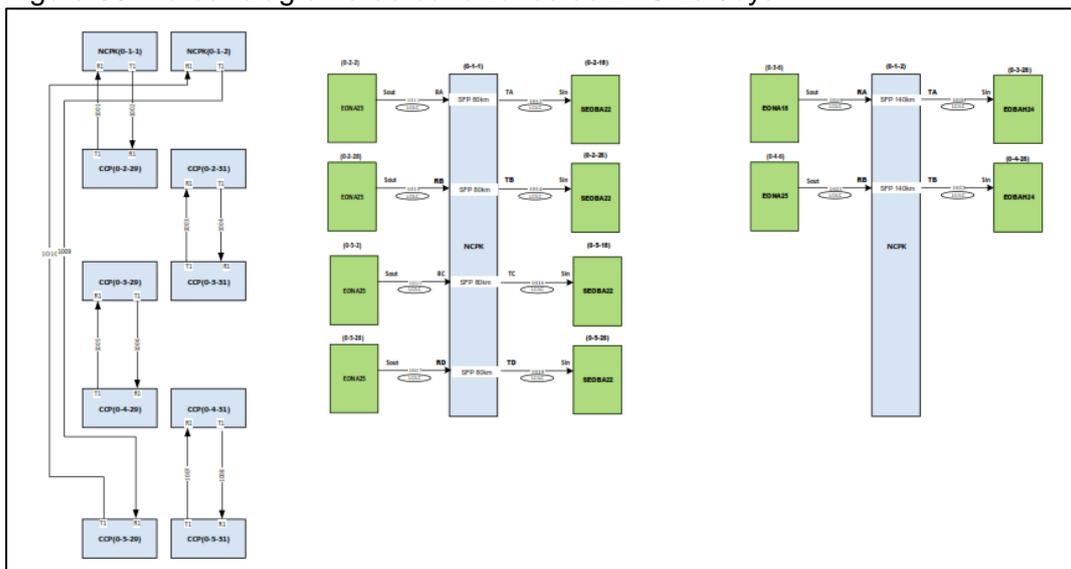


Figura 38: Segundo diagrama de conexiones de BTS La Joya



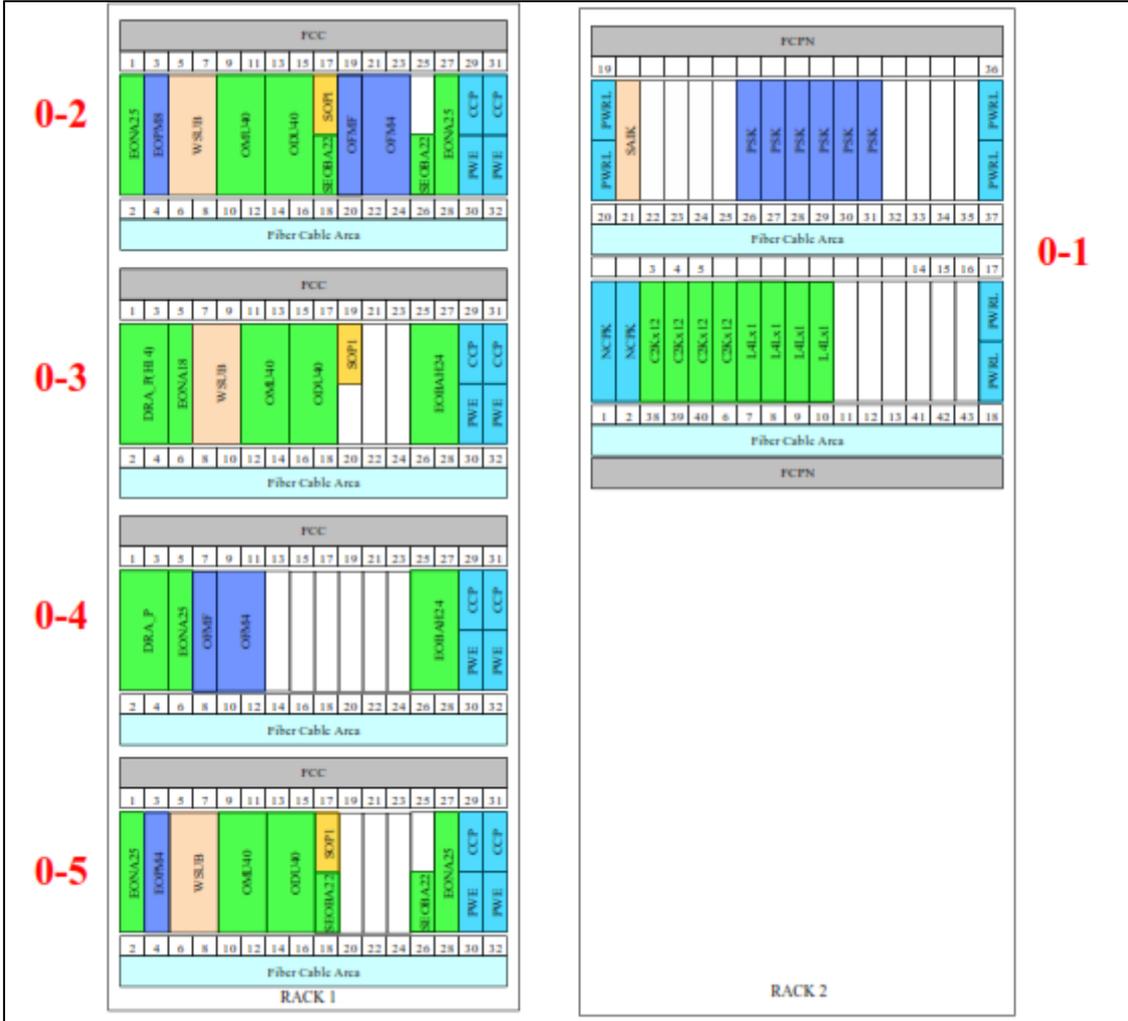
Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Tercer diagrama de conexiones de BTS La Joya



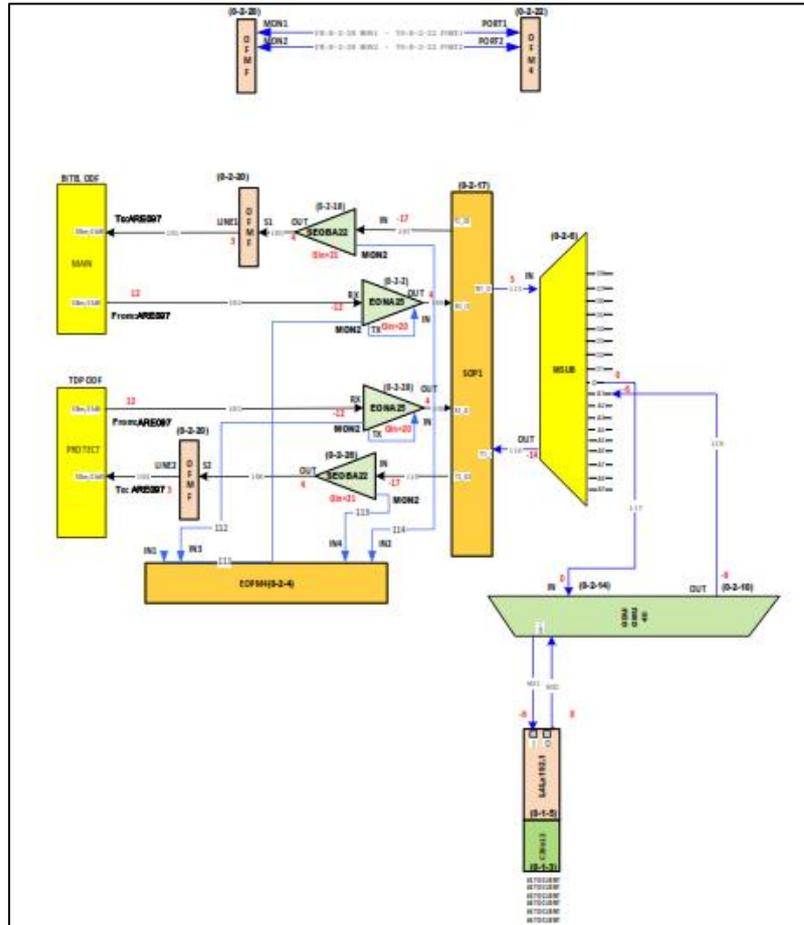
Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Esquema físico del gabinete de BTS La Joya



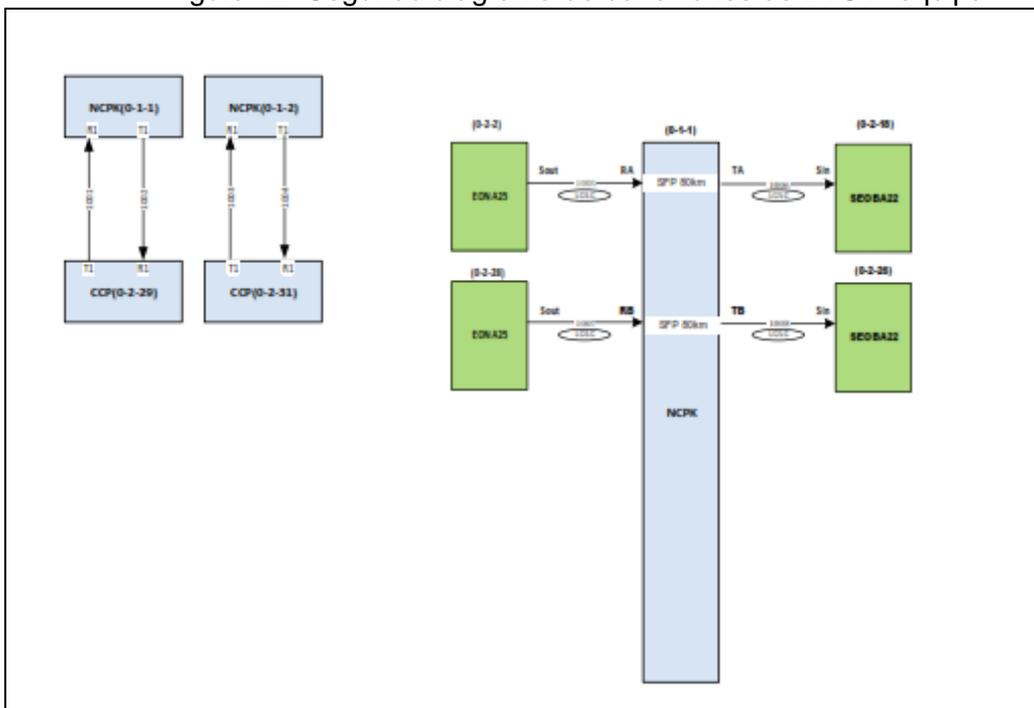
Fuente: Elaboración propia

Figura 41: Diagrama de conexiones de BTS Arequipa



Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Segundo diagrama de conexiones de BTS Arequipa



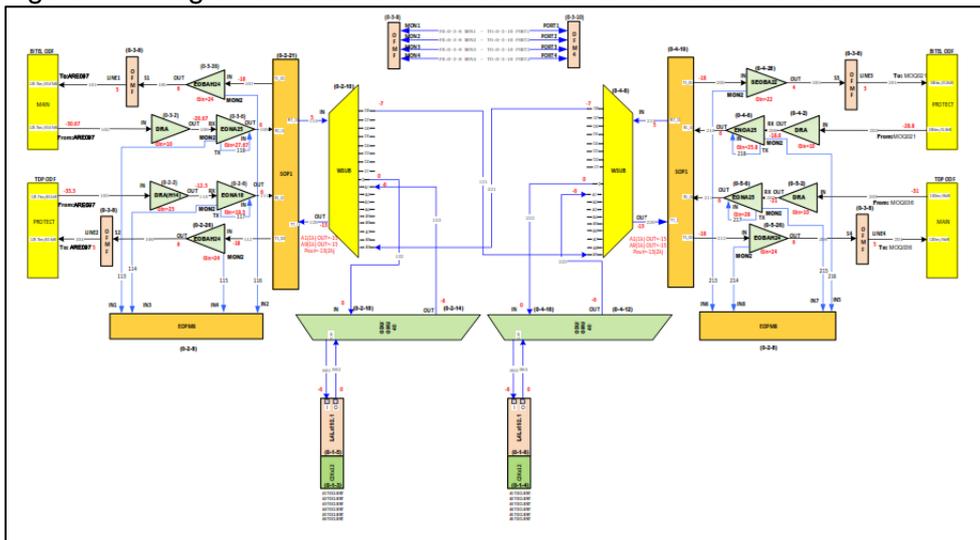
Fuente: Elaboración propia

Figura 43: Esquema físico del gabinete de BTS Arequipa



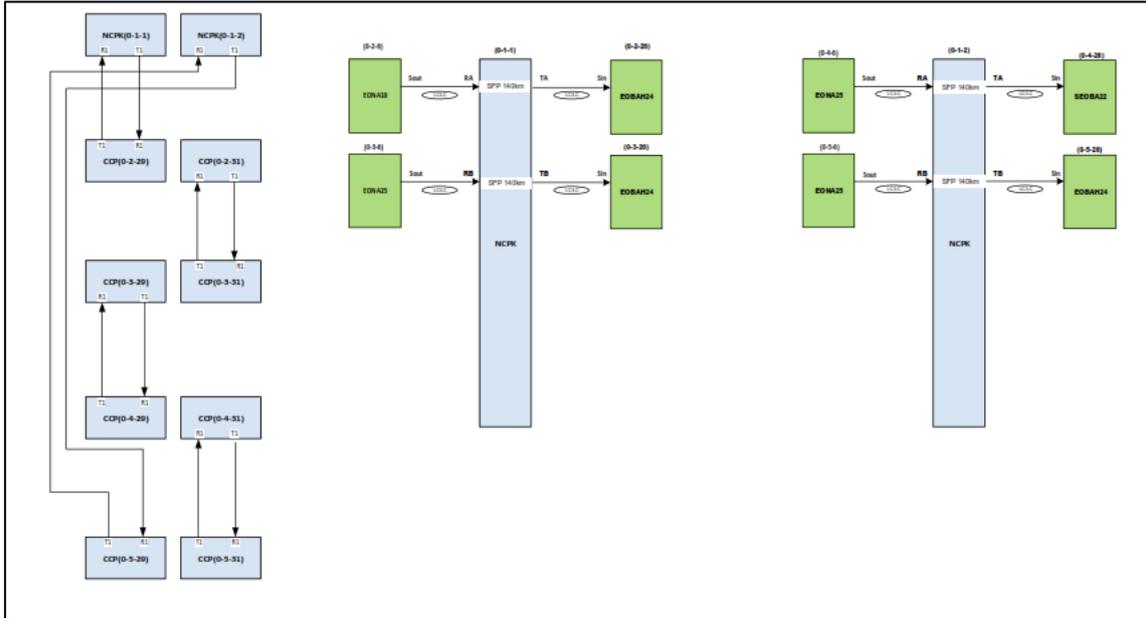
Fuente: Elaboración propia

Figura 44: Diagrama de conexiones de BTS La Punta de Bombom



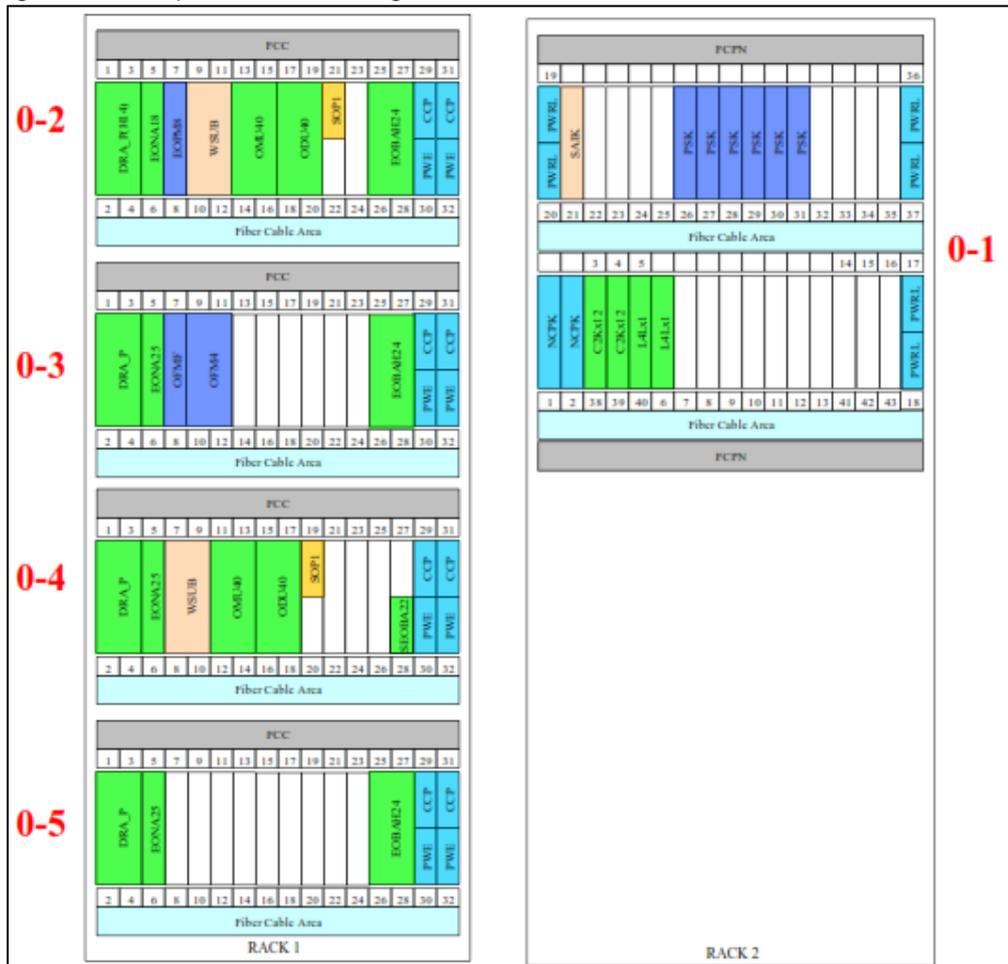
Fuente: Elaboración propia

Figura 45: Segundo diagrama de conexiones de BTS La Punta de Bombom



Fuente: Elaboración propia

Figura 46: Esquema físico del gabinete La Punta de Bombom



Fuente: Elaboración propia