



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**GESTIÓN DE LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE NIVELES DE POTENCIA
ÓPTICA EN FIBRA ÓPTICA DE REDES SDH**

José Adan Nuñez Gamboa

Asesorado por el Ing. Juan Miguel Sitaví Cos

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GESTIÓN DE LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE NIVELES DE POTENCIA
ÓPTICA EN FIBRA ÓPTICA DE REDES SDH**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ ADAN NUÑEZ GAMBOA

ASESORADO POR EL ING. JUAN MIGUEL SITAVÍ COS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Ángel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez |
| VOCAL V | Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera de López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|--|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar |
| EXAMINADOR | Ing. Marvin Marino Hernández Fernández |
| EXAMINADORA | Inga. Wendy Nora Miranda López |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GESTIÓN DE LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE NIVELES DE POTENCIA ÓPTICA EN FIBRA ÓPTICA DE REDES SDH

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 18 de agosto de 2016.

José Adan Nuñez Gamboa

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por estar en todo el recorrido de mi carrera.
- Mi madre** Laura Gamboa, por enseñarme a luchar por mis sueños sin importar lo difíciles y lejos que estos se encuentren.
- Mi esposa** Gabriela Fernández, por estar conmigo apoyándome en toda la carrera.
- Mi hija** Luna, por ser una inspiración en cada paso que doy en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Mis amigos de la
facultad**

Juan Rodas, Luis González y Luis Velásquez
por estar en todo momento importante y difícil
de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | III |
| LISTA DE SÍMBOLOS..... | V |
| GLOSARIO..... | VII |
| RESUMEN..... | IX |
| OBJETIVOS..... | XI |
| INTRODUCCIÓN..... | XIII |
| | |
| 1. FIBRA ÓPTICA..... | 1 |
| 1.1. ¿Qué es la fibra óptica?..... | 2 |
| 1.2. ¿Cómo funciona la fibra óptica en las telecomunicaciones?..... | 3 |
| 1.2.1. Ley de Snell..... | 3 |
| 1.2.2. Partes de la fibra óptica..... | 7 |
| 1.2.3. Tipos de fibra óptica..... | 9 |
| 1.3. Atributos del cableado óptico..... | 10 |
| | |
| 2. CONEXIONES DE FIBRA ÓPTICA..... | 15 |
| 2.1. Conectores utilizados en fibra óptica..... | 17 |
| 2.2. Empalmes en fibra óptica..... | 19 |
| 2.3. Pruebas que se realizan en la fibra óptica..... | 20 |
| 2.4. Problemas comunes en conexiones de fibra óptica..... | 25 |
| | |
| 3. PROBLEMAS PARA DETECTAR FALLAS EN LA FIBRA ÓPTICA..... | 31 |
| 3.1. Identificación de fuente de información..... | 31 |
| 3.2. Entrevista..... | 32 |

| | |
|--|----|
| 4. DISEÑO DE HERRAMIENTA DE GESTION DE NIVELES DE POTENCIA..... | 39 |
| 4.1. Definición de parámetros para la herramienta de gestión y monitoreo de los niveles de potencia de la fibra óptica | 40 |
| 4.2. Requerimiento de la herramienta a desarrollar | 41 |
| 4.3. Requerimientos técnicos de hardware para el funcionamiento de la herramienta | 44 |
| 4.4. Entregables del desarrollo del proyecto | 48 |
| 4.5. Análisis financiero de la herramienta | 51 |
| | |
| CONCLUSIONES..... | 55 |
| RECOMENDACIONES | 57 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 59 |
| ANEXOS..... | 61 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Ley de Snell | 5 |
| 2. | Componentes ley de Snell | 6 |
| 3. | Reflexión interna total | 7 |
| 4. | Partes de la fibra óptica | 8 |
| 5. | Tipos de dispersión | 10 |
| 6. | Causas de pérdida óptica en el conector..... | 16 |
| 7. | Causas de pérdida óptica en el conector..... | 17 |
| 8. | Sección lateral de una fibra óptica..... | 19 |
| 9. | Falla de fibra óptica en un sentido de comunicación bidireccional | 34 |
| 10. | Falla de fibra óptica en un sentido de comunicación bidireccional | 41 |

TABLAS

| | | |
|------|--|----|
| I. | Atributos del cableado óptico | 14 |
| II. | Daños causados por factores ambientales | 28 |
| III. | Daños causados por factores no ambientales | 29 |
| IV. | Pruebas acordes a cumplimiento de requerimientos | 49 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-----------------------|---|
| θ_c | Ángulo crítico |
| θ_i | Ángulo de incidencia |
| θ_r | Ángulo refractado |
| Cos | Coseno del ángulo |
| dB | Decibel. Expresa cuántas veces más o cuántas veces menos, pero no una cantidad exacta. No es lineal; es logarítmica. |
| W⁻¹ | Dimensional obtenida de índice de refracción del medio donde el rayo de luz se refractará y el área efectiva de la fibra. |
| Gpa | Giga pascal, 10^9 pascales |
| n_1 | Índice de refracción |
| n_2 | Índice de refracción |
| Km | Kilómetros, 1000 metros |
| MHz | Mega hertzios, 10^6 hertzios |
| nm | Nano metros, 10^{-9} metros |
| ps | Pico segundos, 10^{-12} segundos |
| % | Porcentaje, representa una cantidad dada como una fracción en 100 partes iguales. |
| Sin | Seno del ángulo |
| v | Velocidad |

c

Velocidad de la luz 3×10^8 en metros por segundo.

GLOSARIO

| | |
|----------------------------|--|
| Ángulo incidencia | Ángulo que se forma entre una línea recta al incidir en una superficie con la normal a la superficie en el punto de incidencia. |
| Ángulo refractado | Ángulo que se forma con la normal de la superficie del medio en el punto de incidencia. |
| DC | Corriente de energía eléctrica directa. |
| FTP | Protocolo de red para transferencia de archivos. |
| ITU-T | Comisión de estudio del sector de normalización de las telecomunicaciones. |
| Memoria RAM | Memoria de acceso aleatorio. Sirve para almacenar momentáneamente instrucciones que ejecuta el procesador de un dispositivo electrónico. |
| MYSQL | Sistema de base de datos de licencia libre brindada por Oracle. |
| Punto de incidencia | Punto de reflexión donde se ubica la normal de una superficie. |

| | |
|------------------|---|
| ODF | Banda de distribución óptica, donde se centralizan las conexiones físicas de las redes ópticas. |
| ORL | Pérdida óptica de retorno. |
| OTDR | Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo. Puede ser un equipo para medición o puede hacer referencia a la prueba con ese nombre. |
| PATCHCORD | Cable de conexión de longitud corta. |
| RX | Parte o puerto receptor de un equipo de telecomunicaciones. |
| SQL | Lenguaje de consulta estructurada. Es un lenguaje utilizado en bases de datos relacionales. |
| SSH | Intérprete de órdenes seguro, protocolo de comunicación entre dos dispositivos. |
| TELNET | Protocolo de comunicación entre dos dispositivos. |
| TX | Parte o puerto transmisor de un equipo de telecomunicaciones. |

RESUMEN

En el presente documento se detalla el funcionamiento de la fibra óptica, qué leyes físicas lo rigen y qué propiedades y atributos permiten que funcione acorde a las necesidades requeridas para la transmisión de datos. También aborda las partes de las cuales está compuesta y describe su funcionalidad para obtener el comportamiento deseado en la transmisión de datos.

También se describirán las distintas conexiones que se pueden realizar al momento de interconectar la fibra óptica como un canal de transmisión de datos. Se analizan los problemas que pueden existir en estas conexiones y sus consecuencias. Luego se describirán los problemas que pueden existir en la fibra óptica por distintas causas posibles, errores humanos, naturaleza o desgaste de uso.

Luego se analizarán los requerimientos necesarios para el desarrollo de una herramienta que permita identificar problemas en los enlaces de fibra óptica, con la intención de evitar mayores consecuencias en las redes de transmisión de datos. Se consulta con ingenieros de campo encargados del mantenimiento de las redes de fibra óptica, acerca de las fallas y de los requerimientos que podría llevar la herramienta.

Finalmente, se propone un diseño de la herramienta que cumpla con los requerimientos de los ingenieros de campo, el cual incluye un análisis financiero.

OBJETIVOS

General

Mostrar los requerimientos necesarios para el desarrollo de una herramienta que permita gestionar y monitorear los niveles de potencia ópticos en las redes de transporte de fibra óptica.

Específicos

1. Analizar distintas causas de pérdida en la fibra óptica.
2. Determinar las características de hardware y software para el monitoreo de la fibra óptica.
3. Determinar los umbrales de pérdida de potencia en las transmisiones.
4. Plantear los requerimientos básicos para la gestión de niveles de potencia ópticos.
5. Analizar económicamente el desarrollo del sistema de gestión de monitoreo de niveles de potencia ópticos.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se refiere a la creación de una solución viable para la lectura de niveles ópticos en la fibra óptica utilizada para el transporte de datos en redes de tecnología SDH (jerarquía digital sincrónica, según sus siglas en inglés). Es necesario que la capa de transporte de las redes estén en constante monitoreo para evitar problemas de comunicación.

La característica principal de la solución que se propone en este trabajo, es que esta sea automatizada. En el trabajo se describirán las necesidades de hardware y software, para poder ejecutarla.

Para analizar la solución propuesta será necesario conocer las razones que crean el problema. Antes que nada, está el tiempo que requiere analizar los niveles ópticos, lo cual implica costos en personal que constantemente tome y analice las muestras de las mediciones realizadas. Las muestras no se toman siempre a la misma hora, por lo que las mediciones no están sujetas a las mismas condiciones atmosféricas, una de otra.

La solución que se propone es de interés para ingenieros a cargo de la operación y mantenimiento de los equipos, ya que son ellos los encargados de que las redes de transporte estén en óptimas condiciones para la transferencias de voz y datos sobre la fibra. Además incluirá los requerimientos y costos en que deben incurrir para poder implementar la solución en sus redes, así como de especificar los beneficios que la solución conlleva.

1. FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es un medio de comunicación de datos. A continuación se describirán sus características, atributos y propiedades. Se analizará su funcionamiento desde el punto de vista físico, y se detallarán los fenómenos físicos de la naturaleza de los cuales se saca provecho para que funcione acorde a las necesidades de los usuarios. Se describirán las partes que forman la fibra óptica, los tipos que existen y los usos de cada una. Finalmente se mencionarán los atributos que debe tener una fibra para que pueda ser utilizada como medio de comunicación de datos.

Todo sistema de comunicación consta de un emisor, un receptor y un canal. El ejemplo más común de un sistema de comunicación es cuando dos personas establecen una conversación. El emisor es la persona que envía el mensaje a través del canal. El canal es el medio por el cual se envía un mensaje; para este ejemplo, es el aire. El receptor es la persona que recibe el mensaje; en este caso, quien escucha el mensaje. En una conversación, el canal sería el aire que transmite las ondas de sonido.

En los sistemas de comunicación actuales existen distintos canales para la transmisión de datos. Entre ellos podemos mencionar el cable de cobre, el cable coaxial, el aire, la fibra óptica, entre otros. Todos los medios de comunicación tienen una característica en común y la potencia del mensaje disminuye conforme la distancia del canal aumenta.

1.1. ¿Qué es la fibra óptica?

“La fibra óptica es un medio de transmisión, empleado habitualmente en redes de datos y telecomunicaciones, consiste en un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir”¹.

“Una fibra óptica es compuesta básicamente de material dieléctrico (en general **sílice**), según una larga estructura cilíndrica, transparente y flexible, de dimensiones microscópicas, comparables a las de un cabello humano”²

“Como fibra óptica se denomina el filamento o haz de filamentos fabricado con material transparente y flexible, principalmente a partir de vidrio o plástico, que es empleado para la transmisión de información a grandes distancias mediante señales luminosas”.³

De acuerdo a las citas textuales anteriores se puede afirmar que la fibra óptica es un medio de transmisión de redes de datos y telecomunicaciones, de material dieléctrico, generalmente sílice, vidrio o plástico. Tiene forma cilíndrica y es de un diámetro de dimensiones microscópicas. Además, la fibra óptica es de los medios de transmisión de datos más eficaces, ya que puede cubrir más largas distancias a mayores velocidades que otros medios como el cobre o medios inalámbricos, por lo que es considerado el medio de transmisión más avanzado en la actualidad. Además es inmune a interferencias electromagnéticas.

¹ GONZÁLEZ, Mónica. La Guía: La fibra óptica. 25 abril 2011 [Consulta: 15 de febrero, 2017]. Disponible en: <http://fisica.laguia2000.com/optica/la-fibra-optica>.

² Fibra Óptica: Qué es y cómo funciona. 05 Febrero 2013. [Consulta: 26 de enero, 2017]. Disponible en: <http://www.alebentelecom.es/servicios-informaticos/faqs/fibra-optica-que-es-y-como-funciona>.

³ Fibra óptica 26 enero 2017. [Consulta: 26 de enero de, 2017]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_óptica.

La fibra óptica, además de ser utilizada como medio de transmisión, también es empleada en la rama de la medicina como sensores de temperatura, presión o tensión arterial. Los endoscopios médicos e industriales la utilizan para inspeccionar adentro del cuerpo humano y el interior de ciertos sistemas mecánicos. Entre otras áreas, se utiliza para iluminación y decoración. Los nuevos edificios recurren a ella para llevar luz natural de la azotea hacia cualquier parte de la construcción, y en tramos cortos con iluminación artificial para dar un efecto artificial.

1.2. ¿Cómo funciona la fibra óptica en las telecomunicaciones?

La fibra óptica es utilizada en las telecomunicaciones como medio de transmisión de datos, los cuales viajan a través de la fibra óptica en forma de luz. Este comportamiento de la luz para la transmisión de datos se puede explicar a través de la ley de Snell, y luego de analizarla se podrá definir las partes por las cuales está compuesta la fibra. De esta ley también se puede comprender la razón de la existencia de las distintas partes que componen la fibra óptica para que funcionen eficientemente en la transmisión de datos.

1.2.1. Ley de Snell

“La ley de Snell (también llamada ley de Snell-Descartes) es una fórmula utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz (o cualquier onda electromagnética) con índice de refracción distinto”.⁴

⁴ Ley de Snell. 18 nov 2017. [Consulta: 26 de enero de, 2017] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Snell .

“Este resultado experimental, junto con la observación de que los rayos incidentes y refractados, así como la normal, se encuentran en el mismo plano se llama ley de refracción o ley de Snell, en honor del científico holandés Willebrord Snell (1591-1626)”.⁵

“La ley de Snell es una fórmula simple utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz (o cualquier onda electromagnética) con índice de refracción distinto”.⁶

Las citas anteriores hacen referencia a que la ley de Snell explica la ecuación que determina el comportamiento de la luz al cambiar de un medio de propagación a otro. Un ejemplo es cuando un rayo de luz viaja hacia un recipiente con agua, en él se puede observar cómo la luz se refleja y se refracta. (figura 1)

La ecuación que describe la ley de Snell está definida como:

$$N_1 \sin \phi_1 = N_2 \sin \phi_2 \quad \text{Ecuación 1}$$

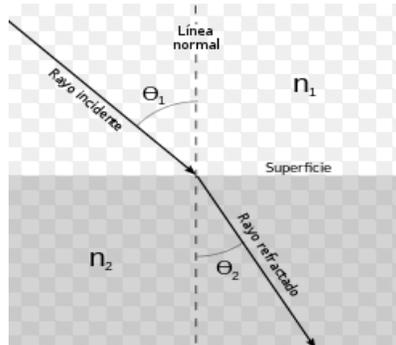
Donde

- N_1 y N_2 son los índices de refracción de cada medio.
- ϕ_1 y ϕ_2 son ángulos que se forman con la normal siendo ϕ_1 el ángulo de incidencia y ϕ_2 el ángulo de refracción.

⁵ SEARS, ZEMANSKY, YOUNG, FREEDMAN. *Física Universitaria*. Duodécima edición. México: Pearson Educación, 2009.

⁶ Física Moderna Tema : Óptica [Consulta: 26 de enero, 2017] Disponible en: <https://fisica-moderna.jimdo.com/%C3%B3ptica/ley-de-snell/>.

Figura 1. Ley de Snell



Fuente: Ley de Snell. https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Snell . Consulta: 18 noviembre, 2016.

La ley de Snell es la principal razón por la cual se permite que las señales de luz viajen a través de la fibra óptica. Explica cómo la luz se refleja y/o se refracta (transmite) cuando pasa de un medio a otro. Por ejemplo, cuando una persona se acerca a una ventana, si observa con cuidado, se podrá ver reflejada en el vidrio y, al mismo tiempo, ver a través del mismo. Es exactamente este fenómeno físico lo que la ley de Snell explica. El índice de refracción (N) está definido como la relación de la velocidad de la luz (c) en el vacío y la velocidad de la luz en el material (v).

$$N = c/v \quad \text{Ecuación 2}$$

El índice de refracción en cada material siempre será mayor que 1, debido a que la luz en el vacío siempre viajará más rápido que en cualquier material.

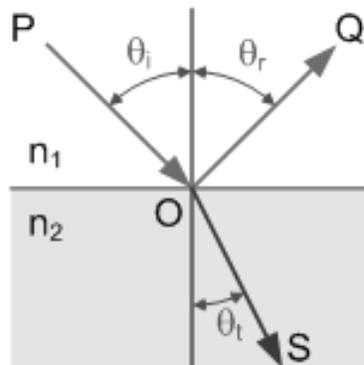
Existen 2 tipos de reflexión de la luz de acuerdo a la superficie de donde esta colisiona; es decir, acorde a la frontera entre un medio y otro. La reflexión especular sucede en una superficie muy lisa y, por tal razón, tiene definido un

ángulo de reflexión; es decir, cuando el índice entre la normal y el rayo de luz incidente es igual al ángulo entre el rayo de luz reflejado y la normal (figura 2).

$$\theta_i = \theta_r \quad \text{Ecuación 3}$$

Una reflexión difusa sucede cuando un rayo incidente choca en una superficie áspera y no se tiene definido el ángulo de reflexión. En este trabajo interesa la reflexión especular; es decir, sobre superficies planas como espejos, metales pulidos o vidrio. Cuando sucede una reflexión especular el ángulo de reflexión y el de incidencia es el mismo.

Figura 2. **Componentes ley de Snell**



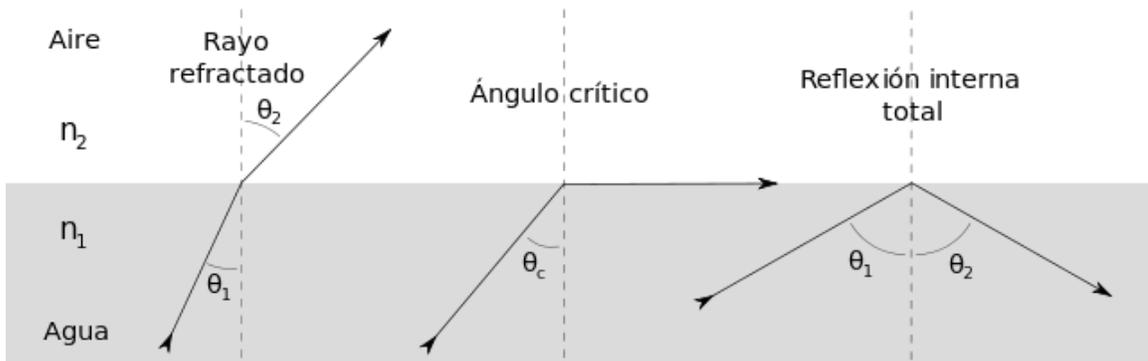
Fuente: *Reflexión (física)*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Reflexi3n_\(f%C3%ADsica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Reflexi3n_(f%C3%ADsica)) . Consulta: 18 de noviembre, 2016.

La ley de Snell muestra el comportamiento de la luz al cruzar una frontera de dos medios de propagación. Un concepto importante es el del ángulo crítico. Este es medido desde la normal y se conoce como el ángulo mínimo de incidencia de un rayo de luz para el cual se produce reflexión interna total. Este ángulo está definido por:

$$\theta_c = \arcsin \frac{N_2}{N_1} \quad \text{Ecuación 4}$$

Todos los valores de ángulo de incidencia mayores al ángulo crítico son los que describen el fenómeno de reflexión interna total; es decir, este fenómeno es el que debe ocurrir en la fibra óptica para que las señales de luz puedan ser transmitidas en una fibra con el mínimo de pérdida de energía, ya que la luz no se refractará. Partiendo de la ecuación 1 y asumiendo que $N_1 > N_2$, entonces sabemos que $\phi_2 > \phi_1$; esto hace fácil observar que si ϕ_1 aumenta ϕ_2 aumenta y ϕ_2 no puede ser mayor de 90° , ya que para este caso el rayo de luz refractado está en paralelo con el plano. Si ϕ_1 sigue en aumento no existe transmisión hacia el medio y, por lo tanto, el rayo de luz se refleja (figura 3).

Figura 3. **Reflexión interna total**



Fuente: *Reflexión interna total*. https://es.wikipedia.org/wiki/Reflexión_interna_total .

Consulta: 12 diciembre, 2016.

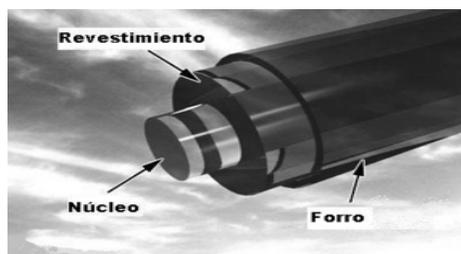
1.2.2. Partes de la fibra óptica

Luego de analizar la ley de Snell se puede describir el comportamiento ideal de la luz en la fibra óptica para que pueda transmitir datos. Anteriormente se

describió que la fibra óptica tiene una forma cilíndrica por la cual viajan rayos de luz; esto permite inferir que la luz viaja a través de la forma cilíndrica de la fibra y se transmite por medio del fenómeno descrito como reflexión interna total. También se puede determinar que la forma cilíndrica de la fibra está formada por dos medios, uno con mucho mayor índice de refracción que el otro. Solo con esta deducción ya podemos indicar que la fibra tiene como mínimo dos partes con distinto índice de refracción.

El núcleo de una fibra es la parte de la fibra por donde viajan las señales de luz que transmiten la información; podría decirse que el núcleo es en sí la propia fibra óptica. Si por el núcleo es por donde viajan las señales de luz por medio del fenómeno físico de reflexión total, entonces alrededor de la fibra debe existir un revestimiento con un índice de refracción menor que el índice de refracción del núcleo de la fibra óptica, para permitir que exista la mayor reflexión interna total y evitar pérdida de potencia en la transmisión de la luz. Por último, tanto el núcleo como el revestimiento se deben proteger de condiciones ambientales como humedad, temperatura o maltratos que pueda sufrir por su uso. Para ello se agrega la última parte de la fibra, que es el forro. Las tres partes fundamentales de una fibra óptica se pueden apreciar en la figura 4.

Figura 4. **Partes de la fibra óptica**



Fuente: *Fibras ópticas* . <http://www.monografias.com/trabajos16/fibras-ópticas/fibras-ópticas.shtml> . Consulta: 4 de febrero, 2017.

1.2.3. Tipos de fibra óptica

Existen dos tipos de fibra óptica, la multimodo y la monomodo. Se diferencian por varias características, principalmente en que la multimodo tiene el diámetro del núcleo más grande.

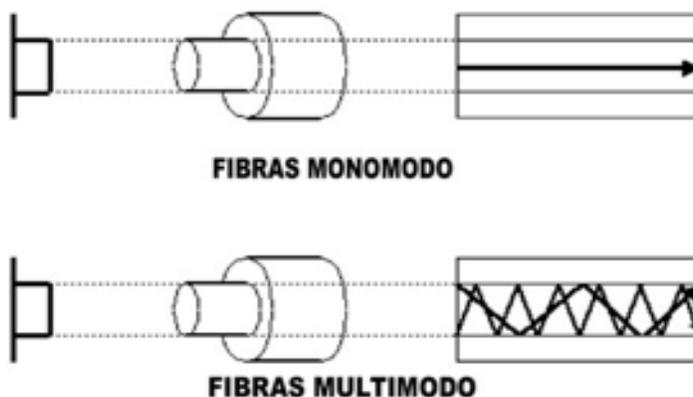
La fibra es comúnmente utilizada para distancias cortas, para interconectar equipos que se encuentran en una misma sala o en un mismo edificio, ya que llegan a tener un promedio de pérdida de potencia de decibel por kilómetro de longitud. Debido a que su núcleo es de mayor tamaño tiene un acople más sencillo hacia el emisor de luz. La fibra también permite que la luz se propague dentro de la fibra óptica de varias formas o modos por lo que sufre de dispersión intermodal; esto quiere decir que los haces de luz recorren distintas distancias dentro de la misma fibra y por tanto no llegan al mismo tiempo a su destino final.

La principal ventaja de la fibra óptica monomodo es el ancho de banda alto; el diámetro de su núcleo es más pequeño que el de la fibra, por lo que permite que la luz viaje únicamente de un solo modo. La reducción del diámetro en la fibra monomodo también permite alcanzar mayores distancias, de valores de 100 kilómetros como máximo, ya que la pérdida de potencia de la luz por kilómetro es mínima. La dispersión intermodal mencionada en la fibra no es relevante en la fibra monomodo por la forma en que viajan los haces de luz; sin embargo, existe la dispersión cromática.

La dispersión cromática hace referencia a los distintos haces de luz que viajan a distinta velocidad dentro de la fibra; es decir, un haz de luz de una longitud de onda determinada llega antes que un haz de luz de otra longitud de onda, por lo que es importante tomar en cuenta la longitud de onda de la luz

que se transmitirá en la fibra. El hecho de que la fibra monomodo tenga poca pérdida, no le afecte la dispersión intermodal, y que permita un ancho de banda muy alto la convierte en una fibra óptica ideal para largas distancias. La desventaja de la fibra óptica monomodo es que requiere mantenimiento minucioso y la instalación debe cumplir ciertas normas para evitar que existan problemas de transmisión de datos, debido a su reducido diámetro. Las formas de propagación de la luz en las distintas fibras se puede apreciar en la figura 5.

Figura 5. Tipos de Dispersión



Fuente: *¿Que cable de fibra óptica es el óptimo para mi instalación?*
<http://www.fibraoptica hoy.com/que-cable-de-fibra-optica-es-el-optimo-para-mi-instalacion/> .
Consulta: 26 de enero, 2017.

1.3. Atributos del cableado óptico

Los atributos del cableado óptico son las características que se debe considerar para la instalación del mismo. Los valores recomendados para estas características se encuentran en los documentos ITU-T G.651.1 para fibra y en el ITU-T G.652 para fibra monomodo. Los atributos del cableado óptico se

pueden dividir en tres: atributos de fibra, de cable y de enlace. El primero va relacionado al núcleo, revestimiento y protección de la fibra óptica; el segundo, al cableado completo de fibra óptica y el tercero, al cableado de la fibra óptica y sus conectores.

Al momento de adquirir una fibra, el fabricante indica varios puntos importantes relacionados al núcleo de la fibra óptica; entre ellos el diámetro del núcleo y la no circularidad expresados en μm y en porcentaje, respectivamente. También indica el centro del núcleo y el centro del revestimiento. El primero es el centro de un círculo que mejor se ajusta a una intensidad de campo constante cercana al centro del núcleo. El centro del revestimiento es el centro de un círculo que mejor encaja con la frontera entre el revestimiento y el núcleo. La diferencia entre estos dos parámetros es conocido como error de concentricidad dado en μm .

Otra característica relacionada con el núcleo de la fibra es el diámetro de modo de campo de la fibra (MFD por sus siglas en inglés). Es importante para indicar la resistencia de la fibra para doblarse e inducir pérdida. Este atributo describe el tamaño de la luz que se transporta en la fibra óptica, y está dada en μm . Además se tiene el atributo área efectiva medido en μm^2 , obtenido a partir de la medición del MFD.

Las atributos del revestimiento de la fibra óptica son relacionados al tamaño del mismo. Ya se mencionó el centro del revestimiento, al cual se puede agregar el diámetro del mismo, que indica el tamaño del círculo que se forma desde el centro, expresado en μm . La no circularidad del revestimiento es la diferencia entre el radio máximo y mínimo dividido entre el radio del centro. Este valor se expresa de forma porcentual.

La longitud de onda de corte es la longitud de onda más corta a la cual se puede propagar en una fibra óptica; este parámetro se expresa en nm. Este atributo depende de la longitud y los dobleces que hay en la fibra, por lo que existen tres cortes de longitud de onda: el corte de longitud de onda de cableado de puente, corte de longitud de onda de la fibra y corte de longitud de onda del cable. El primero se realiza en cableados de puente; el segundo, en fibras sin cablear; es decir, con un recubrimiento sencillo. Finalmente, el tercero se realiza en fibras que están listas para su instalación.

La apertura numérica es el atributo de la fibra que se obtiene de la función seno de medio Angulo del cono de luz que ingresa a la fibra óptica ya sea al núcleo o al revestimiento, multiplicado por el índice de refracción donde se encuentra vértice del cono de luz. Este valor es comúnmente 5 % más bajo que la apertura numérica teórica, el cual se obtiene del índice de refracción del núcleo y del revestimiento.

El término pérdida por microcurvaturas es otro atributo importante de la fibra. Consiste en medir la pérdida de un tramo de fibra de acuerdo al doblez que se realice en esta. Se trata de entorchar la fibra en un mandril de un radio específico, información que se puede obtener del estándar ITU-T. Esta medida puede ser dada en dB/vuelta o dB.

A nivel de atributos de la fibra que consisten en la propagación de la luz, se puede mencionar dos más: la dispersión cromática y el ancho de banda modal. La primera utiliza las dimensionales ps/(nm·km) e identifica las velocidades a las cuales viajan las distintas longitudes de onda de la luz en una fibra. Depende de las propiedades dispersivas de la cuales está fabricada la fibra. El ancho de banda modal indica la máxima frecuencia o ancho de banda de una señal para una distancia dada que una fibra puede soportar sin que sufra

pérdidas o alteraciones. Este atributo está ligado a las perturbaciones de la fibra como tal y sus dimensiones son en MHz · km.

A nivel mecánico existen tres atributos de la fibra óptica: los materiales de los que está hecha y su recubrimiento, lo que da dos parámetros; el índice de refracción, y los materiales del núcleo y revestimiento. Luego están los materiales que protegen la fibra. Por último, las fibras son sometidas a pruebas de estrés dadas en GPa, lo que se obtiene aplicando el módulo de Young o módulo de elasticidad.

Entre los atributos del cableado de fibra óptica está el coeficiente de atenuación que indica la pérdida de potencia por kilómetro expresado en dB/Km; el coeficiente de dispersión por polarización que indica la diferencia de tiempo que existe entre los modos polarizados de luz que viaja en la fibra expresados en ps/ $\sqrt{\text{Km}}$, y el ancho de banda modal descrito y expresado en MHz·Km.

Por último están los atributos de enlace, como la atenuación expresada en dB, la dispersión cromática ya mencionada; el retraso diferencial de grupo que se obtiene a partir de la dispersión modal y se expresa en Ps; y el coeficiente no lineal obtenido del índice de reflectancia del revestimiento entre el área efectiva y se expresa en W^{-1} .

En la siguiente tabla se pueden resumir los atributos mencionados y sus dimensiones.

Tabla I. **Atributos del cableado óptico**

| Atributos de fibra | |
|------------------------------------|------------------------|
| Diámetro del núcleo | μm |
| Circularidad del núcleo | % |
| Modo de campo de la fibra | μm |
| Área efectiva | μm^2 |
| Error de concentricidad del núcleo | μm |
| Radio del revestimiento | μm |
| Circularidad del revestimiento | % |
| Corte de longitud de onda | nm |
| Apertura numérica | |
| Pérdida por micro curvatura | dB/Km |
| Fibra y materiales de protección | |
| Materiales de protección | |
| Nivel de prueba de estrés | GPa |
| Índice de refracción | |
| Ancho de banda modal | MHz·Km |
| Coefficiente de dispersión | Ps/(nm·Km) |
| Atributos de cableado | |
| Coefficiente de atenuación | dB/Km |
| Dispersión de polarización modal | ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ |
| Ancho de banda modal | MHz · Km |
| Atributos de enlace | |
| Atenuación | dB |
| Dispersión cromática | ps/nm |
| Retraso diferencial | Ps |
| Coefficiente no lineal | W^{-1} |

Fuente: *Optical fibres, cables and systems ITU-T MANUAL*. https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/hdb/T-HDB-OUT.10-2009-1-PDF-E.pdf . Consulta: 14 de marzo, 2017.

2. CONEXIONES DE FIBRA ÓPTICA

En la actualidad existen varios canales para los sistemas de comunicación, los cuales se pueden dividir en inalámbricos y alámbricos. El cobre fue el más utilizado años atrás pero hoy es sustituido por la fibra óptica. Al igual que con el cobre, la fibra óptica debe ser conectada a distintos equipos de transmisión. En este capítulo se describen las distintas formas de conectar la fibra óptica a los equipos de transmisión; además, se describirá cómo funcionan los empalmes de fibra óptica. Por último se mencionará los principales problemas que existen en las conexiones de fibra óptica.

Se hablará de la fibra óptica exclusivamente como canal de un sistema de comunicación o medio de transporte de los datos. Si cumple únicamente dicha función, se debe conectar a un equipo final que analice e interprete los datos transmitidos, para lo cual los fabricantes han creado distintos conectores que permitan el enlace entre la fibra y los equipos para que estén estandarizados. Así mismo, la fibra óptica se utiliza en distancias de varios kilómetros y puede llegar a sufrir daños. Para no cambiar la longitud completa de la fibra es posible repararla, tal y como se realiza con los empalmes en los cableados de cobre. Este tipo de interconexión en la fibra se le conoce como fusión de la fibra óptica.

Un conector de fibra óptica debe cumplir con dos características importantes: buen rendimiento óptico, determinado por causar poca pérdida de potencia en la luz y tener poca reflectancia, y alta resistencia mecánica que evite desconexiones involuntarias. La reflectancia es la cantidad de luz que se refleja en dirección hacia el emisor de la luz y es el mayor problema que presentan los conectores. Al momento de adquirir un conector, la primera característica que

se debe conocer es la pérdida que causa; es decir, la pérdida de luz que sucede al momento de acoplarlo con otro conector y la reflectancia. En la figura 6 se puede apreciar las distintas causas de pérdidas en los conectores.

Figura 6. **Causas de pérdida óptica en conectores**



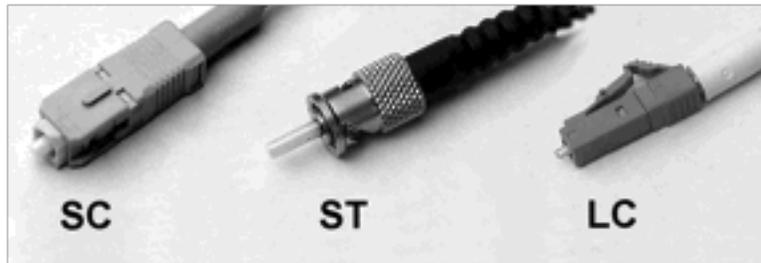
Fuente: *Guide to Fiber Optics & Premises Cabling Fallbrook*.
<http://www.thefoa.org/ESP/Conectores.htm> . Consulta: 1 diciembre 2015.

En la imagen se observa varios ejemplos de eventos que se deben evitar en un conector. Entre los más comunes están la concentricidad que existe entre el núcleo del conector y el puerto o fibra a la cual se conecta. Esto causa reflectancia y pérdida de potencia de la luz, al igual que si el núcleo de la fibra es de distinto diámetro al puerto o conector. La conexión de los conectores también da un parámetro importante, que es la pérdida por retorno. Esta es la relación porcentual de la cantidad de potencia que viaja en la dirección deseada en relación a la potencia que viaja en la dirección contraria. Este fenómeno no solo aplica para los conectores sino también para el resto de la fibra óptica.

2.1. Conectores utilizados en fibra óptica

Desde el inicio del uso de la fibra óptica se crearon numerosos tipos de conectores, cada uno con diseño cuyo principal objetivo era ofrecer un mejor desempeño. Los más eficaces los ha determinado el uso; sin embargo, se ha intentado estandarizar los conectores sin éxito alguno, ya que cada vez surgía uno nuevo con mejor rendimiento. La elección de conectores para los equipos depende del fabricante, ya que existen de varios tipos. Los más utilizados hoy son los ST, LC, SC que se muestran en la figura 7 .

Figura 7. **Causas de pérdida óptica en conectores**



Fuente: *Guide to Fiber Optics & Premises Cabling Fallbrook*.
<http://www.thefoa.org/ESP/Conectores.htm> . Consulta: 1 de diciembre, 2015.

El conector ST fue creado por la empresa AT&T. Utilizaba férulas de cerámica pero actualmente ya utiliza férulas metálicas o de plástico, la cual sostiene la fibra en sí. Este conector es muy utilizado en fibras.

El conector SC fue el primero estandarizado por la norma TIA-568¹³. Es muy utilizado tanto en monomodo como en multimodo. Su forma de conectar, a diferencia del ST que utiliza rosca, es únicamente de empujar y jalar con un sistema mecánico que previene la desconexión accidental.

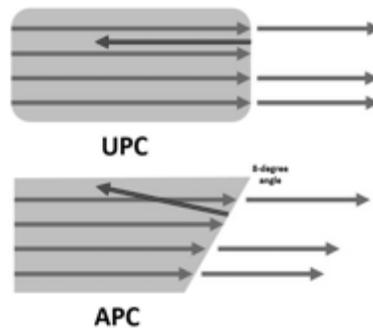
¹³ Estándar que trata de cableado comercial para productos y servicios.

El conector LC es relativamente nuevo en comparación con los dos mencionados. Es utilizado generalmente en formato dúplex y para fibras monomodo, ya que de los tres descritos es el que mejor desempeño tiene.

Además de esta clasificación de conector, que describe esencialmente la terminación final del mismo, existe una característica importante en los conectores que los clasifica en dos grupos. Esta depende del tipo de terminación de la fibra óptica y no del tipo de puerto al que se conectan: APC (contacto físico angular, por sus siglas en inglés, *angle physical contact*) y UPC (contacto ultra físico por sus siglas en inglés, *ultra physical contact*). El de la fibra APC cuenta con una terminación con un ángulo de 8° de inclinación, mientras que la de UPC es plana, sin ningún ángulo de inclinación (observar la figura 8).

Los conectores UPC fueron los primeros creados y utilizados. Había que pulirlos para evitar que existiera aire de por medio en la conexión, ya que ocasionaba pérdida de potencia óptica. Había dos tipos de conectores UPC, los que se pulían de forma plana y los que se pulían de forma convexa, los últimos eran mejores que los primeros. Los planos tenían una pérdida aproximada de 0,25 dB y una reflexión de -20 dB, mientras que los convexos mejoraron con una pérdida promedio de 0,3 dB y una reflexión de -40 dB. Finalmente, los conectores que mejor rendimiento mostraron fueron los APC; con el ángulo de 8 grados en su terminación lograban que la luz reflejada fuera absorbida por el recubrimiento de la fibra y lograban una reflexión menor a -60 dB. Para diferenciar un conector UPC de un conector APC basta con ver el color de la bota protectora del conector: la de color verde identifica a los conectores APC y la de color turquesa (aguamarina), para conectores UPC.

Figura 8. **Sección lateral de una fibra óptica**



Fuente: *The Right Signals Blog: UPC or APC?*. <http://www.belden.com/blog/datacenters/UPC-or-APC.cfm> . Consulta: 14 de agosto, 2014.

2.2. Empalmes en fibra óptica

Los empalmes de fibra intentan unir permanentemente dos tramos de fibra. Son más utilizados donde la unión es para conexiones largas de cable externo, ya que se requiere más de un cable. También se utiliza cuando un cable de 48 fibras ópticas se conecta a 6 diferentes cables con 8 fibras cada uno, que tienen distintos destinos. Los empalmes también son utilizados para las restauraciones y reparaciones de daños en la fibra en plantas externas.

Existen dos tipos de empalme, por fusión y mecánico. El más utilizado es el primero, ya que tiene el mejor desempeño, baja pérdida y menor reflectancia, así como la unión más fuerte y confiable. El mecánico es utilizado únicamente para reparaciones temporales y en fibras.

El empalme por fusión se realiza al soldar dos fibras con arco eléctrico; debe ser realizado en lugares abiertos donde no haya una atmósfera con gases

explosivos. El equipo para realizarlo suele ser de gran tamaño y peso, por lo que se debe utilizar generalmente un vehículo especializado.

El empalme mecánico se realiza con un dispositivo que alinea los extremos de las 2 fibras y los mantiene unidos con un gel igualador de índice o pegamento. Las herramientas para hacerlo no son costosas. El empalme funciona de manera aceptable en fibras monomodo.

2.3. Pruebas que se realizan en la fibra óptica

Luego de instalar la fibra óptica, se requiere que cumpla con ciertos requisitos para probar que se encuentra en perfectas condiciones. Esta serie de pruebas ayudarán a que exista menor probabilidad de fallas al momento de colocar tráfico de datos en el tramo de fibra. Los principales parámetros que se verifican es la continuidad de la fibra y la pérdida de inserción punto a punto; es decir, la pérdida de potencia que sucede en todo el tramo de fibra. Todo esto con la finalidad de contar con un presupuesto de potencia y asegurar que la potencia del transmisor será lo suficiente para que el receptor detecte la señal sin problemas. Además, es importante identificar los puntos de falla en cada una de las conexiones. Un tramo completo de fibra está separado en 3 partes:

- Conexiones internas punto inicial: conexiones desde el equipo de transmisión y recepción hacia el hilo de fibra que se extiende por toda la trayectoria; por ejemplo, *patchcords* y ODFs. Aquí es necesario tomar en cuenta los tipos de conectores, su pérdida y reflectancia.
- Conexiones externas: empalmes mecánicos y empalmes por fusión, su pérdida y respectiva reflectancia.

- Conexiones internas punto final: igual que las del punto inicial, únicamente que estas se encuentran en el otro extremo de la transmisión. También se debe revisar los conectores, su pérdida y reflectancia, *patchcords* y ODFs.

De acuerdo con las partes de una conexión de fibra, se puede separar las pruebas en dos secciones: las de conexiones internas y externas. Las primeras hacen referencia a distancias cortas desde el punto de transmisión de datos, o a cortas distancias del punto de recepción de datos. Las segundas hacen referencia a las conexiones de fibra que unen las dos conexiones internas; se caracterizan por tener altas longitudes.

Entre las pruebas a las conexiones de fibra internas, están las siguientes:

- Trazador visual de continuidad: esta prueba se realiza para verificar la continuidad de un tramo de fibra óptica en conexiones internas. Consiste en colocar una luz visible que se acople al conector de la fibra óptica; en caso de que la fibra esté correcta, se observará la luz en el otro extremo de la conexión. Debido a que se utiliza una luz del espectro visible, la potencia no es alta. Por lo tanto, esta prueba únicamente se utiliza para interconexiones internas que no ocupan más de unos cuantos metros de distancia, aunque existen versiones que alcanzan varios kilómetros; aún así, se recomienda utilizar en distancias cortas. En caso de que no se observe la luz en el otro extremo de la conexión será necesario verificar las interconexiones del tramo de fibra y los cableados, y corregir los problemas mediante el intercambio de conectores o los cableados. Esta prueba es también conocida como VLF (*Visual Fault Locator*, por sus siglas en inglés).

- Inspección visual con microscopio: esta prueba se realiza para inspeccionar los conectores de la fibra óptica, verificar que el pulido de la fibra sea el adecuado, encontrar fallos como rasguños, defectos del pulido y suciedad. Un buen conector tiene un acabado suave, pulido y sin rasguños, sin ninguna muestra de rayones, astillas. El microscopio se debe utilizar tanto en conectores de fibra óptica como en los puertos de interconexión de los equipos. En caso de tener suciedad, cada una de las interconexiones debe ser cuidadosamente limpiada con las herramientas correctas de limpieza.
- Pérdida de potencia óptica: la potencia óptica se puede separar en dos partes, la absoluta y la relativa. La primera es el nivel de potencia en la salida o en la entrada de un transmisor; la segunda mide la diferencia de potencia entre la entrada de un componente y la salida del mismo, ya sea cableado, conector o empalme. Esta última es la que hace referencia a la pérdida de potencia óptica y se mide en decibeles (dB), mientras que la potencia óptica se mide en decibelios mili vatios (dBm). La pérdida de potencia óptica es un número negativo. Los decibels representan una escala logarítmica en la cual 10 dB es una porción 10 veces, 20dB es una porción 100 veces y 30 dB es una porción 1000. La ecuación de los decibels está definida por:

$$dB = 10 \text{ Log} \frac{P_2}{P_1} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde P2 es la potencia medida y P1 la potencia de referencia. Es fácil confundir las mediciones de pérdida con las mediciones de potencia óptica, ya que las últimas se realizan en dBm. La letra “m” se refiere a que la ecuación 5 utiliza una potencia de referencia de 1 mili vatio.

Existen dos tipos de medidores, los medidores de potencia óptica y los equipos de comprobación de pérdidas ópticas (OLTS).

- Pérdida de potencia por inserción: es la medición de la pérdida de potencia por inserción a una red de fibra óptica. Se mide en los conectores y en los cables de fibra óptica. Para esta prueba se requiere de cables de referencia cuya pérdida sea escasa y conocida, al igual que sus conectores. Estos cables de referencia se conectan a la red (cableados de fibra y conectores a medir). En un extremo se conecta una fuente de luz cuya potencia es conocida y en el otro extremo se conecta un medidor de la potencia recibida.

Entre las pruebas a las conexiones de fibra externas están las siguientes:

- OTDR (*Optical time domain reflectometer*, por sus siglas en inglés): es una de las pruebas más potentes de la fibra óptica. Con esta se puede ubicar empalmes, conectores, fallos, entre otros, en un tramo largo de fibra. Una prueba de OTDR puede ser muy útil siempre que se tenga conocimiento de la configuración del equipo de medición y se pueda interpretar los resultados de forma correcta. La mayoría de los OTDR carece de resolución de distancia para cables cortos, por lo que no se recomienda su uso en distancias cortas. El OTDR utiliza la luz retrodispersada de la fibra para detectar pérdidas. Se puede hacer la analogía que el OTDR funciona como un radar, que envía señales de alta potencia y detecta señales de retorno retrodispersada. Esta señal retrodispersada es muy pequeña, por lo que el OTDR envía varios pulsos y obtiene un promedio para, finalmente, entregar un resultado. Prácticamente, lo que el OTDR hace es medir un pulso, calcular el tiempo que este se retrodispersa y tras varios pulsos, obtener un

promedio. Esto permite graficar la distancia que la fibra óptica tiene en tiempo real hacia un empalme, corte o conector. La prueba de OTDR brinda muchos resultados de acuerdo a la gráfica que se traza en el medidor. Se puede obtener la pérdida por longitud dB/Km, la reflectancia causada por un conector o un empalme, así como la pérdida que este provoca en el trayecto de la fibra.

- ORL (*Optical Return Loss*, por sus siglas en inglés). La prueba de pérdida por retorno consiste en medir la cantidad de potencia que se recibe de retorno en comparación con la que se envía hacia adelante. Es ideal que la potencia de retorno sea mínima, por lo que esta medición se efectúa con sensores sensibles que permitan detectarla correctamente. El valor de la pérdida por retorno debe oscilar entre los -40 dB y -60 dB.
- Dispersión cromática: esta es una prueba más compleja y se ejecuta en fibras ópticas que llevan más de una señal de luz en ellas. Mide el retardo que sufre un pulso óptico conforme se propaga sobre la fibra óptica. La medición se debe realizar sobre varias longitudes de onda y mostrar que a mayor longitud de onda mayor es el tiempo de tránsito de la señal. Esta prueba es muy compleja y se ha vuelto obligatoria para distancias muy largas y velocidades de transmisión de bits altas. Se requiere de instrumentación compleja y no se aborda en este documento.
- Dispersión modal: esta prueba mide las dos polarizaciones que contiene la luz. Normalmente ambas viajan a la misma velocidad, pero debido a las imperfecciones y simetría de la fibra óptica, cada modo viaja a distinta velocidad; por tanto, es necesario calcular que la diferencia de velocidad no exceda de cierto valor para certificar que los datos sean transmitidos correctamente. Esta prueba, al igual que la dispersión cromática, requiere

de instrumentación compleja. Además, es obligatoria para distancias largas y altas velocidades de transmisión de bits y no se aborda en este documento.

2.4. Problemas comunes en conexiones de fibra óptica

Debido a que los cables de fibra óptica funcionan con luz y no con pulsos eléctricos, pueden presentar distintos problemas de conexión completamente nuevos, si se compara con el cable de cobre comúnmente utilizado. El principal problema que se presenta es la suciedad del conector, lo que causa pérdida de potencia o alta tasa de errores en la transmisión. Para solucionarlo se requiere de un kit especial de limpieza, el cual permite limpiar tanto el conector de la fibra como los puertos de los equipos, los cuales luego se inspeccionan con un microscopio.

Otro problema recurrente en el uso de cables de fibra óptica es la diferencia de diámetro en el núcleo de la fibra entre cada interconexión y con los puertos finales de conexión. Por ello es importante conocer el núcleo de las fibras ópticas que serán conectadas. Los problemas que causan la diferencia de núcleo pueden ser atenuación y alta refracción de conectores.

Los tendidos de fibra óptica en centrales de comunicación pueden sufrir daños con el tiempo de uso, por las nuevas conexiones que se realicen. Cada nueva conexión se debe manipular con el debido cuidado; sin embargo, siempre pueden suceder accidentes que dañen o desgasten la fibra y causen atenuaciones en la transmisión. Las fibras se pueden dañar por algún doblez que se les cause; se pueden cortar si atraviesan por algún material filoso o

estirar de más y causar daños internos a la fibra, entre otros eventos que pueden suceder.

Hasta ahora se ha mencionado problemas que existen en centrales de comunicación; en el exterior se presentan situaciones de otra índole que también causan problemas en la transmisión de datos. En las conexiones externas (al aire libre) de fibra óptica se pueden presentar varios problemas que causan el desgaste o corte total de la fibra, interrumpiendo la transmisión de datos de un punto hacia otro.

La causa más común de daños en los tendidos de fibra en el exterior de centrales son las compañías de construcción, ya que estas —la mayoría de veces— no utilizan su maquinaria de forma correcta y causan cortes de fibra o deterioro de la misma. Las fibras también pueden sufrir daños si no se colocan a una altura adecuada: un vehículo puede dañarla si alcanza el tendido de la misma.

Otros daños pueden ser causados por actos de vandalismo, ya sea por diversión o por intentar alcanzar cableados de cobre para luego venderlos. Las personas, al darse cuenta que no es cobre, pueden dañar parcialmente cables de fibra y afectar la transmisión de datos. También los accidentes automovilísticos pueden causar daños a los tendidos de fibra si dañan algún poste.

También están los daños por eventos de la naturaleza, como viento, lluvia, nieve o incluso animales. El viento afecta el tendido de fibra y la deteriora con el tiempo; la lluvia hace que los cables pesen más y se deterioren. Los animales pueden morder los tendidos de fibra y posarse sobre ellos, lo que causa un deterioro gradual que conduce a problemas de transmisión.

En la siguiente tabla se describe algunos factores, además de los ya mencionados, que pueden afectar la fibra óptica instalada en distintos ambientes.

Tabla II. **Daños causados por factores ambientales**

| Factores ambientales | Tipo de instalación | | | | |
|-------------------------|---|------------------------------------|---------------------------------|---------|---|
| | Aérea | Subterránea | Ductos | Túneles | Submarinos |
| Cambios de temperatura | Afectan los niveles ópticos de acuerdo a altas o bajas temperaturas. | | | | |
| Viento | La fibra se sobretensión debido al viento | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Agua salada | Corrosión de catenaria de la fibra | Corrosión del material de la fibra | N/A | N/A | Corrosión de catenaria de la fibra |
| Lluvia o aguas termales | Corrosión del material de la fibra | Corrosión por aguas termales | | | Corrosión del material de la fibra |
| Nieve y hielo | Daño en la cobertura exceso de tensión | N/A | | N/A | Daño de la cobertura causado por el hielo |
| Agua y humedad | Pérdida de potencia debido a la filtración de agua, daño en la cobertura de fibra | | | | |
| Luz solar | Daño en la cobertura de la fibra causado por los rayos UV | N/A | N/A | | N/A |
| Relámpagos | Daños a la fibra | | | | N/A |
| Terremotos, derrumbes | Daños en la cobertura, exceso de tensión en la fibra | Cortes de fibra | | | N/A |
| Corrosión del suelo | N/A | Daño en la armadura protectora | N/A | N/A | N/A |
| Animales | Daño a la cobertura | | | N/A | N/A |
| Hidrógeno | Pérdida de potencia óptica por hidrogeno | | | | |
| Corrientes de agua | N/A | N/A | N/A | N/A | Daños al cableado |
| Moho | N/A | N/A | Daño a la cobertura de la fibra | N/A | N/A |

Fuente: *Optical fibers, cables and systems ITU-T MANUAL*. https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/hdb/T-HDB-OUT.10-2009-1-PDF-E.pdf . Consulta: 14 de marzo, 2017.

Tabla III. **Daños causados por factores no ambientales**

| Factores no ambientales | Tipo de instalación | | | | |
|-------------------------|--|--|--------|--------------------|-------------------------|
| | Aéreo | Subterráneos | Ductos | Túneles | Submarinos |
| Contaminación del aire | Corrosión del metal | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Tráfico de vehículos | N/A | Daño a la protección de la fibra y uniones, debido a la afluencia y vibraciones, causando también pérdida de potencia óptica | | N/A | N/A |
| Voltaje inducido | Daño al cableado y personal que opera la red de fibra óptica | | | N/A | N/A |
| Corriente DC | N/A | Erosión electrolítica | N/A | N/A | N/A |
| Petróleo y fugas de gas | N/A | Daño de la protección de la fibra, debida a efectos químicos | N/A | N/A | N/A |
| Fuego | Daño al recubrimiento y la fibra | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Radiación nuclear | Aún en consideración | | | | |
| Hidrogeno | Aumento de pérdida de potencia óptica | | | | |
| Instalación incorrecta | Corte o rasgadura en los cableados | | | | |
| | Aumento de tensión en fibra óptica | | | | |
| | Dobleces creados en la instalación | Dobleces o apretamiento en los cables causando pérdida de potencia | | Dobleces en ductos | Dobleces en instalación |

Fuente: *Optical fibers, cables and systems ITU-T MANUAL*. https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/hdb/T-HDB-OUT.10-2009-1-PDF-E.pdf . Consulta: 14 marzo 2017.

3. PROBLEMAS PARA DETECTAR FALLAS EN LA FIBRA ÓPTICA

Para conocer los problemas de los operadores para detectar fallas en la fibra óptica, hay que conocer el problema desde su interior. En este capítulo se identificarán los problemas para detectar fallas en la fibra óptica. Para ello se realizaron entrevistas con personal encargado de la operación y mantenimiento de las redes de fibra óptica; se describirá el proceso de estas entrevistas, su objetivo, cómo se realizaron, cuáles fueron las conclusiones y cuáles son los siguientes pasos a seguir en el desarrollo del proyecto.

3.1. Identificación de fuente de información

Antes de realizar la entrevista es necesario determinar la muestra. En las compañías de telecomunicaciones se logró identificar cuatro áreas que pueden estar asociadas al monitoreo del estado de la red de fibra óptica.

El primer departamento que se identificó es el de CCR o Centro de Control de Redes. En esta área se realiza el control y monitoreo de la red completa de las compañías operadoras. Se da atención permanente a todo tipo de alarmas que puedan existir, desde fallos por daños en la fibra hasta fallos por daños en los equipos.

También fue identificado el Departamento de planeamiento e ingeniería. En este se encargan de planificar el crecimiento de la red e implementar proyectos nuevos para ampliar la cartera de servicios de la empresa.

Por último se identifica el Departamento de operaciones y mantenimiento, también conocido como O&M. En este se encargan de verificar las operaciones de la red, que se encuentre en óptimas condiciones. También se verifica las conexiones de cobre, de energía y de fibra óptica, y se efectúan mantenimientos preventivos y correctivos sobre la red.

Se observó que quienes laboran en estas áreas poseen distintos niveles de experiencia. Hay personal con 5, 10, y 15 años de experiencia en el ámbito de telecomunicaciones y manejo de fibra óptica.

De acuerdo con los departamentos mencionados, será entrevistado personal del área de CCR y de O&M, que es donde más contacto hay con el monitoreo y mantenimiento de la red.

3.2. Entrevista

Una vez identificado el personal idóneo, se procede a la entrevista. Los objetivos de la misma son:

- Conocer el procedimiento actual para el monitoreo de niveles de potencia óptica de las redes de fibra óptica.
- Conocer los problemas que surgen al monitorear los niveles de potencia óptica de la red de fibra óptica.
- Determinar los requerimientos necesarios para elaborar una herramienta que ayude a monitorear los niveles de potencia de la red de fibra óptica.

Partiendo de los objetivos mencionados es posible plantear las preguntas a realizar en la entrevista. Estas son:

1. Actualmente, ¿cuál es el procedimiento para el monitoreo de niveles de potencia óptica en las redes de fibra óptica?
2. ¿Qué problemas se enfrentan con el procedimiento actual para el monitoreo de niveles de potencia óptica?
3. ¿Podría mencionar algunos requerimientos necesarios para elaborar una herramienta que monitoree los niveles actuales de potencia óptica?

Esta entrevista se manejará siempre en el anonimato, ya que abarca temas de procesos internos de la empresa.

En el capítulo anterior fueron identificados varios problemas que existen en las conexiones de fibra óptica. A continuación se definirán los problemas que enfrentan los usuarios de las redes de fibra óptica al momento de monitorear y detectar problemas, y sus recomendaciones para desarrollar una herramienta que mejore el estado y/o la detección de dichos problemas. Para obtener esta información se contactó a personal encargado de las redes de fibra óptica del sector privado, por lo que la referencia se mantendrá en anonimato.

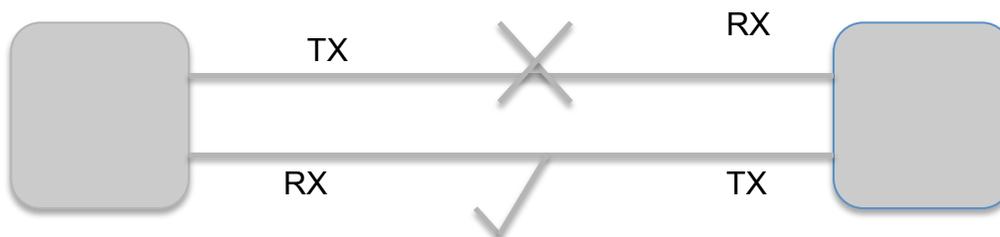
El personal entrevistado indicó que el mayor problema se presenta cuando se intenta detectar un hilo de fibra que está dañado. Dichos hilos se encuentran a la intemperie y se dañan por varios factores de la naturaleza; además, la mayoría de los cableados están tendidos entre postes. Los cableados se dañan porque el aire los abate y el mismo peso del material hace que se tense más de lo que puede soportar, lo que daña fusiones o la fibra misma. Este daño no es irreparable ni inmediato, sino más bien reparable y gradual; es decir, se podría detectar si se monitorea con frecuencia los hilos de fibra.

En la actualidad, para amortiguar el problema hay personal encargado de monitorear toda la red de fibra constantemente, hilo por hilo. Se analiza los

niveles de potencia de cada tendido y se crea una base de datos de la lectura. Esta solución no es la más adecuada, ya que se desperdicia un recurso humano y tiene un costo elevado. Además, monitorear cada tendido de fibra toma demasiado tiempo, por lo que no se puede analizar toda la red en un día sino que el análisis completo de la red toma varios días.

Otro problema que indica el personal entrevistado es que en las transmisiones bidireccionales (las que utilizan 2 hilos de fibra óptica), los equipos no detectan si existen una diferencia de potencia entre los 2 hilos de fibra óptica que componen la comunicación de dos equipos; es decir, en un hilo la recepción se puede encontrar sin problemas, pero en el otro extremo existe algún problema de comunicación o una diferencia de potencia que los equipos no alertan. Sin embargo, es importante considerar, ya que esta falla indica que un hilo está dañado y requiere atención inmediata. De una forma gráfica, este problema se puede observar en la figura 9, donde se muestra cómo un hilo de la transmisión tiene alguna falla que, por el momento, no perjudica la transmisión —pero que en un futuro puede afectarla— mientras que el otro hilo no presenta ninguna falla.

Figura 9. **Falla de fibra óptica en un sentido de comunicación bidireccional**



Fuente: elaboración propia

Lo descrito refiere que los equipos de transmisión no muestran ninguna alarma a los usuarios de estas fallas “silenciosas”, lo cual puede ser debido a varios factores. Uno de estos es por los rangos de niveles de potencia que cada equipo maneja como umbral de recepción, que son bastante amplios (aproximadamente entre -3dB y -25dB). Esto quiere decir que si por alguna razón un nivel óptico sufre una caída de, por ejemplo, -5dB a -10dB, el equipo no se alarmará, ya que los niveles de potencia recibidos están en un nivel óptimo de recepción de los equipos. Sin embargo, este evento puede significar que el tendido de fibra ha sufrido en algún lugar un daño gradual que requiere atención para evitar daños que puedan ser perjudiciales para la transmisión de datos.

Otro problema que se mencionó al consultar con el personal es identificar cuándo se pierde la gestión de un equipo, lo cual afecta porque se pierde la posibilidad de conocer qué alarmas tiene dicho equipo. Si al momento que se pierde gestión un equipo sufre alguna falla, la alarma no se verá reflejada en el sistema porque se ha perdido comunicación con el mismo. El no saber que se ha perdido comunicación puede afectar en el futuro la transmisión de datos.

Después de conocer los problemas descritos, la intención de crear una herramienta que monitoree los niveles de potencia de los enlaces de fibra es prevenir fallas que, si no se atienden en su momento, pueden llegar a afectar la red seriamente. Esto permite que las reparaciones sean planificadas y no repentinas o de emergencia. Prevenir una falla drástica ahorraría costos, ya que atender una emergencia no incurre en los mismos gastos que actuar de forma planificada.

A través de las entrevistas también se obtuvo información acerca de los requerimientos que la herramienta debería contener. Entre estos se puede mencionar:

- **Monitoreo diario de la red.** El personal comentó la importancia de monitorear a diario los niveles de potencia y que se almacenen los datos obtenidos en una base de datos, en la cual se pueda ver un histórico de los niveles de potencia diarios. Se enfatizó la importancia de que la medición sea aproximadamente a la misma hora cada día, ya que los niveles de potencia suelen ser afectados por condiciones climáticas. Se concluyó que el horario ideal para tomar una muestra del nivel óptico, es en horas de la madrugada.
- **Niveles de potencia de referencia.** La referencia inicial a considerar debe ser el nivel óptico obtenido la primera vez que se realiza la medición. Es decir, si en la primera medición se obtiene un nivel óptico de -5dB, esta debe ser su referencia. Sin embargo, se comentó que esta referencia debe ser modificable, ya que si en algún momento el hilo de fibra tiene una falla, esta se repara y el nivel de potencia posterior es de -4dB. Es necesario poder modificar la referencia a este valor.
- **Comparación de niveles de potencia.** Es necesario que la herramienta pueda comparar niveles de potencia de un enlace con alguna medición de alguna fecha en específico, para que se pueda comparar los niveles ópticos en ciertas épocas del año, ya que la condición climática afecta las mediciones de potencia.
- **Panel de alarmas.** Se requiere que la herramienta cuente con un panel de alarmas. Este debe mostrar cuáles son los enlaces afectados. Debe

existir dos tipos de alarmas, “advertencia” y “crítica”. La primera es cuando un enlace sufre una degradación entre -2dB a -4dB, y la segunda cuando existe una degradación entre -4,01 y -6dB. El panel de alarmas también debe detectar degradaciones, e indicar cuándo en un enlace un hilo de fibra tiene mejor recepción que otro. Además, indicar cuándo un nivel óptico es muy bajo (por debajo de los -25dB), y si no pudo ser leído. Esta última alarma permitirá verificar si el equipo tiene algún problema de gestión o si simplemente, al momento de leer el nivel óptico, existió un problema de comunicación.

- **Lectura de nivel óptico en tiempo real.** La herramienta debe permitir hacer la lectura de un nivel óptico en tiempo real. Esto con la intención de que si el monitoreo indicó algún problema en algún horario, verificar si persiste o si se debió a una eventualidad. Esto ayudará a que cuando el sistema indique alguna falla se confirme en tiempo real antes de movilizar personal a verificar el enlace, lo que permitirá ahorro de costos.
- **Gráficos.** Es importante que la herramienta permita graficar el histórico de los valores obtenidos. Esto debido a que se logra visualizar de mejor manera los datos cuando se muestran en una gráfica.
- **Conexión a sistema de gestión (base de datos).** En caso de que los equipos cuenten con algún sistema de gestión es importante que la herramienta tenga conectividad con este sistema. Esto permite verificar la ubicación de cada conexión, el nombre que recibe, la dirección lógica de los equipos y las unidades e interfaces que el enlace utiliza.

4. DISEÑO DE HERRAMIENTA DE GESTION DE NIVELES DE POTENCIA

En las páginas anteriores se describieron los problemas que presentan las conexiones de fibra óptica, y luego algunos puntos importantes a considerar para el diseño de una herramienta que permita detectar los problemas que existen en las mismas. En este capítulo se detallará el diseño de la herramienta que permita verificar el estado, el buen desempeño y detectar fallas en las redes de fibra óptica. Además, la lista de entregables del proyecto, el diseño recomendado acorde a las necesidades encontradas y un análisis financiero del producto.

Para el desarrollo de la herramienta se debe considerar los requerimientos identificados en el capítulo anterior: monitoreo diario de la red, contar con niveles de potencia de referencia para comparaciones, comparación de niveles de potencia de un mismo enlace, panel de alarmas que indican las fallas encontradas, permitir el monitoreo de los niveles en tiempo real, que sea posible graficar los niveles de potencia respecto del tiempo, y contar con una conexión a la base de datos de gestión de los equipos. Al finalizar el desarrollo de la herramienta se debe verificar que los requerimiento se cumplan en su totalidad.

Por ejemplo:

- Monitoreo diario de la red.
- Niveles de potencia de referencia.
- Comparación de niveles de potencia.

- Panel de alarmas.
- Lectura de nivel óptico en tiempo real.
- Gráficos.
- Conexión a sistema de gestión (base de datos). Debe tener un servidor de base de datos.

4.1. Definición de parámetros para la herramienta de gestión y monitoreo de los niveles de potencia de la fibra óptica

La parte principal que debe tener la herramienta es un servidor de base de datos. La idea de contar con una es consultar el historial de los niveles ópticos registrados. Debe contener información del equipo, la interface, identificación del enlace y la fecha y hora del análisis realizado. De preferencia debe estar en un servidor independiente con respaldos semanales en caso de que sufra algún daño. Con esto se cumple el requerimiento de que la herramienta contenga una base de datos.

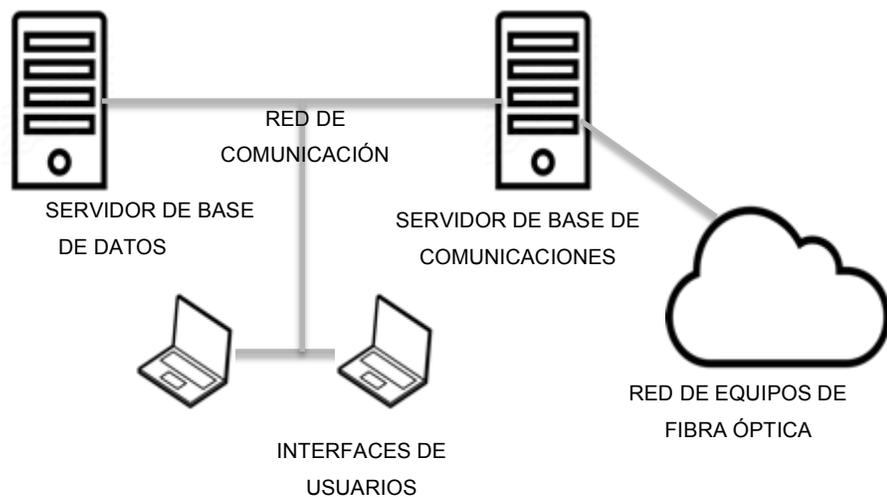
Se debe contar además con un servidor de comunicación, el cual será el encargado de leer los niveles ópticos en las interfaces y en los equipos. En general, este servidor será el encargado de consultar a la base de datos cuáles son los equipos y qué interfaces deben recopilar los niveles ópticos; luego se encargará de almacenarlos debidamente en la base de datos. Con este servidor se logrará cumplir con el monitoreo diario de la red.

Por último se debe contar con una aplicación que permita analizar las lecturas realizadas. Deberá ser instalada en las computadoras de los usuarios y mostrar los resultados de las lecturas. Cumplirá con los requerimientos y niveles de potencia restantes, comparación de niveles de potencia, panel de alarmas,

gráficos y lectura de niveles ópticos en tiempo real. Estos tres componentes deberán estar en comunicación a través de una red IP.

En la siguiente imagen se muestra un diagrama de los 3 componentes principales que se recomienda que contenga la herramienta.

Figura 10. **Falla de fibra óptica en un sentido de comunicación bidireccional**



Fuente: elaboracion propia

4.2. **Requerimiento de la herramienta a desarrollar**

De acuerdo con lo descrito, en el presente documento se plantean los requerimientos que debe contener la herramienta para la medición de niveles ópticos, que permita minimizar las fallas en una red de fibra óptica.

Como ya se mencionó, las condiciones climáticas como el viento, lluvia y la temperatura pueden afectar la medición de niveles ópticos. Además, las mediciones se pueden ver afectadas por la interacción de animales y por acciones premeditadas y no premeditadas de los habitantes del área donde se encuentre, como por ejemplo un accidente de tránsito o vandalismo. El mejor horario para realizar las mediciones es por la noche, de preferencia entre 00:00 a 06:00 horas todos los días. De esta manera se reduciría la probabilidad de que la temperatura ambiente afecte una medición de nivel óptico. En este horario se corre menos riesgo de que algún accidente automovilístico afecte la medición y, además, permite trabajar sobre la red cuando la demanda se reduce (es mayor en horario diurno). El primer requerimiento de la herramienta de medición de niveles ópticos es que las mediciones se realicen en horario nocturno.

Como ya se dijo en la definición de parámetros, se debe contar con una base de datos que almacene cada medición para que pueda ser consultada en cualquier momento por los usuarios. Debe ser posible agregar nuevos enlaces para medición y borrar otros, para evitar la saturación en el almacenamiento de los datos. En cuanto al servidor de comunicación encargado de medir los niveles ópticos, debe comunicarse con cada elemento de la red de fibra óptica, sin importar qué protocolo de comunicación es requerido por el equipo. Es importante conocer lo anterior porque existen varios equipos en el mercado y dependiendo de la marca, el protocolo de comunicación varía. Algunos equipos utilizan Telnet, SSH, SNMP y otros, protocolos propietarios de cada marca de los equipos de transmisión de datos.

Es importante que el servidor de comunicación tenga capacidad de la mayor cantidad de protocolos de comunicación posibles o, como requerimiento mínimo, que cuente con los más importantes: SSH, Telnet y SNMP. La función

del servidor de comunicaciones será consultar los niveles de potencia óptica en las interfaces de los equipos por medio de algún protocolo de comunicación. Debe ser capaz de identificar el protocolo de comunicación que se utiliza con cada equipo, ya sea por medio de la base de datos o por algún otro algoritmo. Además, debe contar con un algoritmo que almacene información en la base de datos e identifique todos los parámetros que identifican la lectura, interface, unidad, equipo y nombre del enlace. También debe ser capaz de leer los niveles ópticos de un enlace en tiempo real sin afectar su funcionamiento, y soportar usuarios simultáneos.

Los usuarios deben contar con una interface que les permita analizar los datos almacenados en la base de datos. Esta interface debe ser una aplicación de escritorio o web que permita el acceso a la base de datos y mostrar un histórico de las lecturas realizadas; además, debe ser capaz de graficar los valores obtenidos de las mediciones. En la gráfica se deberá mostrar los niveles ópticos en ambos extremos de un enlace, en caso sea bidireccional; si es unidireccional, deberá mostrar el valor de transmisión y el de recepción del enlace. Esta gráfica debe mostrar las mediciones diarias con respecto al tiempo y contar con un módulo de alarmas capaz de detectar los siguientes eventos, identificados en dos tipos: advertencias o críticos.

- Decremento del nivel de potencia mayor a 2dB comparado con el nivel de referencia del enlace marcado como advertencia (pérdida mayor a 2dB pero menor que 4dB).
- Decremento del nivel de potencia de mayor a 4dB comparado con el nivel de referencia del enlace marcarlo como alarma critica (pérdida mayor a 4dB).

- Diferencia de nivel de potencia entre ambos extremos en un enlace bidireccional mayor a 2dB se debe marcar como un enlace con advertencia (diferencia mayor a 2dB pero menor que 4dB).
- Diferencia de nivel de potencia entre ambos extremos en un enlace bidireccional mayor a 4 dB (diferencia mayor a 2dB).
- Marcar como pérdida de potencia cuando un nivel óptico se encuentra por debajo de los -25dB de potencia (pérdida de potencia completa en el nivel óptico).
- Marcar como una advertencia que no fue posible obtener lectura de un nivel óptico debido a que no fue posible comunicarse con el equipo.

Los requerimientos mencionados se consideran como los básicos para ayudar a los operadores de las redes de fibra óptica que esta tenga un mejor desempeño.

4.3. Requerimientos técnicos de hardware para el funcionamiento de la herramienta

Anteriormente se dijo que se requerirán dos servidores —el de comunicación y el de base de datos— para el desarrollo de la aplicación. A continuación se describirá los requerimientos técnicos de hardware de estos, a fin de que puedan cumplir de mejor manera su desempeño.

Inicialmente se requiere de un servidor que se comunique con los equipos de transmisión para que lea los niveles de potencia óptica de transmisión y recepción de los equipos. Se recomienda que cuente con sistema operativo Windows Server 2012. La razón de la selección de este sistema operativo es que es el más común con el que las aplicaciones de cliente de los equipos de

transmisión usan como base para establecer una comunicación entre usuario y equipo. Algunas marcas de gestores que funcionan en sistema operativo Windows son Alcatel-Lucent, Coriant, Cisco, Juniper, Huawei. Es por ello que se recomienda ampliamente el uso de este sistema operativo para el servidor de comunicaciones. Además, a este sistema operativo se le puede implementar los protocolos más comunes de comunicación como telnet, ftp, ssh, entre otros. De acuerdo con el sitio oficial de Windows, los requerimientos mínimos para el servidor son:

- Procesador de 64 bits y 1,4Ghz de frecuencia
- 512 MB de memoria RAM
- 32 GB de espacio de disco duro
- Adaptador Ethernet (10/100/1000baseT)
- Monitor VGA (1024x768)

Luego de mencionar los requerimientos mínimos para el sistema operativo, de acuerdo con sitio oficial de Windows, se recomienda que el servidor cuente con holgura con estos requerimientos, ya que en el servidor se ejecutarán servicios de comunicación de distintos protocolos de forma constante y se requerirá de instalación de software de terceros. Tomando esto en consideración, se recomienda que los requerimientos del hardware del servidor de comunicaciones sean:

- Procesador de 64 bits Quad Core 2,3 GHz de frecuencia.
- 12 Gb de memoria RAM (permitirá ejecutar servicios de manera simultánea y depurar errores de programación al momento de desarrollar la herramienta).
- 160 GB de espacio de disco duro (espacio para almacenamiento de datos).

- Adaptador Ethernet (10/100/1000baseT).
- Monitor VGA (1024x768).

Con estos requerimientos mínimos se considera que el servidor, además de la instalación del sistema operativo podrá instalársele software de terceros y correr varios procesos de comunicación de forma simultánea, además de poder depurar errores de programación durante el desarrollo de la aplicación.

El segundo componente que se requiere es un servidor de base de datos. Este será encargado de almacenar los datos de forma ordenada y de fácil lectura para la aplicación de los usuarios. Se recomienda un sistema operativo Unix, de preferencia de libre licenciamiento como Ubuntu server, Xubuntu server, Zenthyal, entre otros. La razón por la que el sistema operativo de este servidor es de uso libre es para no incurrir en gastos de licenciamiento; sin embargo, en algunas empresas manejan políticas especiales sobre los sistemas operativos y como los mencionados no cuentan con licenciamiento ni ofrecen soporte, algunas operadoras prefieren el sistema operativo Red Hat. Este también está basado en Unix, por lo que no hay ningún problema en utilizarlo.

En cuanto al software para la base de datos, de igual forma se sugiere una libre de licenciamiento, como por ejemplo mysql, postgres, sydes, SQLife, entre otras. Sin embargo, al igual que con el sistema operativo, si la empresa donde se implementará requiere que exista un contrato de soporte con el proveedor, se pueden utilizar otras opciones de bases de datos que lo brinden, como por ejemplo Sybase, Oracle, Microsoft SQL Server, FoxPro, entre otras. Para este servidor se recomienda consultar los requerimientos mínimos del sistema operativo. A diferencia de este servidor con el de comunicaciones, no es necesario que los componentes estén más holgados en cuanto a los

requerimientos mínimos del sistema operativo. Si se toma como ejemplo que el servidor de base de datos utilizará el sistema operativo Ubuntu Server, los requerimientos de hardware quedarían de la siguiente manera:

- Procesador de 700Mhz de 64 bits
- 512Mb de memoria RAM
- 5Gb de espacio de disco
- Monitor VGA (1024x768)
- Adaptador Ethernet (10/100/1000baseT)

Debido al crecimiento en espacio de disco que la base de datos pueda llegar a tener, el único parámetro que se debería modificar es el espacio en disco duro. Se recomienda que el disco sea de 500Gb, con esto y dependiendo del tamaño de la red de fibra óptica, se asegura que se mantenga un histórico de los niveles de potencia por varios años.

También es importante considerar el hardware que utilizarán los usuarios y que estará ligado completamente al diseño del sistema de la herramienta. Lo anterior se sale de los alcances de este trabajo, ya que forma parte de las consideraciones del desarrollador del software. De igual forma es importante mencionar algunos aspectos que se debe tomar en cuenta al momento de seleccionar el hardware: debe ser capaz de correr en la mayoría de sistemas operativos, conocer la memoria RAM requerida para el funcionamiento del software, contar con una interface de red (alámbrica o inalámbrica) para comunicarse con ambos servidores, así como conocer los requerimientos de complementos a instalar; es decir, si se requiere de algún componente extra como JAVA, Virtual C++, entre otros.

Por último, es necesario para el buen funcionamiento del sistema se obtengan copias de respaldo, tanto del servidor de comunicaciones como de la base de datos y del software instalado. En caso de que alguno de los componentes falle será fácil restablecer el funcionamiento de la herramienta sin mayor contratiempo.

4.4. Entregables del desarrollo del proyecto

Luego de que se tienen definidos los parámetros y el diseño de la herramienta, es necesario indicar cuales serían los entregables del proyecto, en caso este se lleve a cabo.

- **Manuales:** se debe entregar manuales de instalación del sistema completo. Estos incluyen:
 - Descripción del funcionamiento de la herramienta
 - Proceso de instalación
 - Acciones de mantenimiento
 - Manual de uso de la herramienta
 - Descripción de los requerimientos de hardware

- **Ingenierías de instalación:** se debe entregar documentos de la instalación de todo el sistema, que incluye:
 - Descripción del hardware instalado.
 - Descripción del software instalado incluyendo versiones y parámetros seleccionados.
 - Descripción de instalación ubicación y localización en las instalaciones del cliente.
 - Descripción de la instalación conexiones eléctricas.

- Descripción de instalación de conexiones de red.
- **Documentación de pruebas realizadas:** se debe demostrar con documentos las pruebas realizadas sobre el sistema:
 - Pruebas sobre fuentes de energía de los servidores.
 - Pruebas sobre redundancia en las conexiones de red.
 - Pruebas del software instalado.
 - Verificación de copias de respaldo obtenidas.
 - Verificación del cumplimiento de los requerimientos de la herramienta de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla IV. **Pruebas acordes a cumplimiento de requerimientos**

| Requerimiento | Donde se cumple | Prueba que será realizada |
|------------------------------------|---|---|
| Monitoreo diario de la red | Servidor de comunicación es el encargado de realizar esta tarea | Se monitoreará que exista una lectura automática diaria por 10 días. |
| Niveles de potencia de referencia | Interfaz de usuario | Debe poder verificarse cuál es el nivel de potencia de referencia almacenado. |
| Comparación de niveles de potencia | Interfaz de usuario | Debe ser posible comparar varias lecturas realizadas en una misma troncal. |
| Panel de alarmas | Interfaz de usuario | Se debe mostrar un panel de alarmas que muestre las fallas. |

| | | |
|---|---------------------------|---|
| Lectura de niveles ópticos en tiempo real | Interfaz de usuario | Se debe medir en tiempo real de forma exitosa 10 troncales al azar. |
| Gráficos | Interfaz de usuario | Se debe mostrar una gráfica de las últimas lecturas realizadas. |
| Base de datos | Servidor de base de datos | Se debe entregar las credenciales de accesos de la base de datos y los diagramas de relación. |

Fuente: elaboración propia.

- **Documentación de aceptación de la herramienta.** Los operadores de red deben contar con ciertos protocolos o requerimientos para la aceptación del proyecto. Esta documentación debe ser entregada para dar por concluida la ejecución del proyecto.
- **Instaladores de la herramienta.** Se deben entregar instaladores de la herramienta en algún medio digital como USB, CD, DVD entre otros.

Por último, es importante que dependiendo de los acuerdos que se tengan con el ente desarrollador de la herramienta, de entregar el código de programación creado. Esto depende de las negociaciones que se realicen al momento de empezar a realizar la herramienta. La razón de poder contar con este código de programación es poder en un futuro realizar alguna mejora a la

herramienta en dado caso los operadores de la red de fibra óptica así lo deseen.

4.5. Análisis financiero de la herramienta

Existen varias formas de analizar económicamente el desarrollo de un proyecto. La primera es el método CAUE, Costo Anual Uniforme Equivalente. Consiste en evaluar los proyectos a través de dos indicadores: los ingresos y los desembolsos. Este proyecto únicamente incurre en inversión pero no en ingresos monetarios directos, por lo que este análisis no es el adecuado en este caso.

El análisis VAN o Valor Actual Neto, y TIR, Tasa Interna de Retorno, son dos análisis financieros cuyo objetivo es medir los ingresos y egresos que un proyecto puede tener. Estos métodos se utilizan para determinar cuán rentable es un proyecto, o cuál es más rentable que otro, en caso de tener varias opciones. Al igual que con el análisis CAUE, este depende también de los ingresos. Este proyecto no cuenta con ingresos monetarios, por lo que tampoco es adecuado.

Por último está el análisis costo-beneficio. Este determina la conveniencia de un proyecto a través de la enumeración y valoración monetaria de todos los costos y beneficios que pueda requerir un proyecto. Este análisis se ajusta de mejor manera a la ejecución de este proyecto. La relación costo beneficio, también conocida como índice neto de rentabilidad, consiste en obtener el cociente de dividir el valor actual de los beneficios entre el valor de los costos de inversión o costos totales de un proyecto. Si el resultado es >1 se puede concluir que un proyecto es rentable.

A continuación se describe el costo aproximado del hardware requerido para la implementación de la herramienta. Para obtener un coste aproximado se buscó en línea, en una marca de prestigio, el precio de los servidores con las características que más se le asemejan. El valor del servidor de comunicaciones era de US\$ 985,49 y el del servidor de base de datos, de \$ 449,00, sin impuestos. Adicionalmente se requiere un conmutador de red para enlazar los servidores con las estaciones de trabajo de los usuarios. En el mercado se encuentran conmutadores sencillos a un precio de US\$ 22,00. Un ejemplo de estas cotizaciones se pueden encontrar en los anexos.

Luego de presentar el hardware necesario, se debe detallar el costo aproximado del software que se utilizará. La licencia de software de Windows Server 2012 tiene un costo aproximado de US\$ 375,00 —cotización que al igual que la de hardware se puede encontrar en los anexos del este documento—. El software de base no tiene costo, ya que se recomienda una base de datos libre de licencia. En cuanto al software de gestión de cada familia de equipos, dependerá de cada proveedor; no es necesario y en caso de que los usuarios de la red de fibra óptica quieren adquirirlos, serían ajenos a esta herramienta, por lo que no deben ser considerados dentro del costo de la misma.

Por último está el costo del software que será desarrollado. En sitios en línea de desarrolladores de software, tales como www.freelancer.com, www.upwork.com, entre otros que trabajan de forma independiente, el precio por hora de desarrollo es de US\$10, aproximadamente. En el mercado actual de la ciudad de Guatemala, un programador gana alrededor de US\$ 1000,00 mensualmente. Esta información se obtuvo al entrevistar a los operadores de la red de fibra óptica. Entre estos dos valores se puede obtener un valor promedio de US\$ 1 460,00, considerando que se trabajarán 8 horas diarias, un promedio

de 24 días al mes. Se estima que el proyecto tenga una duración de ejecución de 6 meses, considerando diseño de software, tiempo de programación, pruebas y soporte de la aplicación que se brindará a los usuarios.

En cuanto al monitoreo semanal se debe dedicar aproximadamente dos horas semanales, únicamente para verificar que los copias de respaldo estén ejecutándose correctamente, y corregir fallas de energía y conectividad que se puedan presentar. Considerando el análisis anterior de la mano de obra, se puede calcular que el costo anual del mantenimiento de servidor es de US\$ 1 040,00.

El resumen de gastos aproximados se detalla a continuación:

| | |
|--|----------------|
| Servidor de comunicaciones | US\$ 985,49 |
| Servidor de base de datos | US\$ 449,00 |
| Conmutador de red | US\$ 22,49 |
| Licencia de software Windows Server 2012 | US\$ 375,00 |
| | |
| Subtotal | US\$ 1 831,49 |
| IVA | US\$ 219,78 |
| Costo mano de obra 6 meses | US\$ 8 760,00 |
| Total | US\$ 10 811,27 |

Actualmente se requiere de dos personas para realizar el trabajo que la herramienta llevará a cabo. Si se toma como base el mismo costo del desarrollador de la aplicación, se puede decir que anualmente el costo de monitorear la red es de US\$ 35 040,00.

A partir de la relación costo beneficio, el costo actual del proyecto es de US\$ 11 851,27. Este valor se obtuvo de la inversión realizada y el costo de mantenimiento de la herramienta. Al aplicar el análisis costo-beneficio donde el

costo actual es de US\$ 35 040,00, se obtiene una relación de 2,9566. El análisis permite concluir que el proyecto es rentable.

CONCLUSIONES

1. Desarrollar una herramienta para el análisis de niveles de potencia en redes de transmisión óptica reducirá los costos de mantenimiento de las mismas.
2. El desarrollo de la herramienta permitirá el monitoreo constante del estado de la red de una forma eficaz y rápida.
3. Las principales causas de daño en la fibra óptica son producidas por la naturaleza, aunque también existen fallas a causa de errores humanos o desgaste de estructuras ajenas a la red de fibra óptica.
4. El desarrollo de la herramienta requiere de dos servidores conectados entre sí, uno para base de datos y el otro para ejecutar la aplicación. También es necesario contar con infraestructura de red IP para la conexión de los servidores y los usuarios a la aplicación.
5. De acuerdo con requerimientos descritos por el personal encargado del mantenimiento de la red, se considera que el nivel de potencia mínimo es de -25dB. Además, se definen dos rangos de degradación o diferencia de niveles de potencia óptica, de -2dB a -4dB y mayores a -4dB.
6. El desarrollo de la herramienta se debe llevar a cabo por un programador con la guía de un ingeniero encargado del mantenimiento de la red. El programador definirá los pasos a seguir y el ingeniero definirá y analizará

los requerimientos de la herramienta y verificará el funcionamiento de la misma.

RECOMENDACIONES

1. El proyecto debe ser llevado de la mano por un programador y/o ingeniero en sistemas, junto con un ingeniero encargado del monitoreo de la red, con el fin de ejecutar un proyecto más versátil.
2. Que la herramienta posea cuentas de usuario separadas por distintos privilegios a cada uno.
3. Capacitar en el uso de la herramienta a los usuarios de la misma, para indicarles cómo funciona y resolver dudas.
4. Generar copias de respaldo diarias.
5. Que el código de programación de la herramienta quede en propiedad de los ingenieros a cargo del monitoreo de la red, con la finalidad de solicitar mejoras en un proyecto futuro sobre esta herramienta.
6. La aplicación del usuario puede ser creada como aplicación de escritorio, lo que le dará seguridad. Sin embargo, hoy la mayoría de aplicaciones se desarrollan en ambiente web. Esto podría hacer la aplicación vulnerable a ataques cibernéticos pero, a la vez, sería más accesible a nuevos usuarios al momento de crear nuevas mejoras a la herramienta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fibra Óptica. 26 enero 2017. [Consulta 26 de enero, 2017]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_óptica
2. FOA Reference Guide to Fiber. Fallbrook, California 2014. [Consulta:1 de marzo, 2017]. Disponible en: <http://www.thefoa.org/ESP/Prueba.htm>
3. GONZÁLEZ, Mónica. *La Guía: la fibra óptica*. 25 abril 2011 [Consulta 15 de febrero, 2017]. Disponible en: <http://fisica.laguia2000.com/optica/la-fibra-optica>
4. Guide to Fiber Optics & premises Cabling Fallbrook, California 2014. [Consulta: 1 de diciembre, 2015]. Disponible en: <http://www.thefoa.org/ESP/Conectores.htm>
5. International Telecommunication Union. *Optical fibers, cables and systems ITU-T MANUAL*. [Consulta 14 de marzo, 2017]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/hdb/T-HDB-OUT.10-2009-1-PDF-E.pdf
6. LAWLER, Fred. *The 10 most Bizzare and Annoying Causes of Fiber cuts*. August 4 2011. [Consulta de 10 febrero, 2017]. Disponible en: <http://blog.level3.com/level-3-network/the-10-most-bizarre-and-annoying-causes-of-fiber-cuts/>

7. Ley de Snell 18 de noviembre, 2017. [Consulta 26 de enero, 2017].
Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Snell

8. ROBERTSON, Bruce. *Optical Return Loss Testing Application Note*.
Marzo 2017 [Consulta 5 de marzo, 2017]. Disponible en:
<http://www.kingfisherfiber.com/Application-Notes/06-Optica-Return-Loss-Testing.html>

9. The Right Signals Blog: UPC or APC? 14 agosto 2014. Disponible en:
<http://www.belden.com/blog/datacenters/UPS-or-APC.cfm>

ANEXOS

Anexo 1. Cotización de servidor de base de datos

Print Summary



PowerEdge T130 Tower Server

Starting Price **\$1,504.00**
Instant Savings **\$518.51**

Subtotal **\$985.49**

As low as **\$30.00 /month***

Dell Business Credit | Apply

Discount Details

Ships in 3 - 5 Business Days

My Selections All Options

• PowerEdge T130 Tower Server

| Date | 5/1/2017 11:59:02 PM Central Standard Time | | | |
|--|--|-----|----------------------|------|
| Catalog Number | 4 Retail 04 | | | |
| Value Code | PE_T130_1469 | | | |
| Catalog Number / Description | Product Code | Qty | SKU | Id |
| PowerEdge T130: PowerEdge T130 Server, No TPM | CT130 | 1 | [210-AFFS][329-BCXF] | 1 |
| Chassis Configuration: Chassis with up to 4, 3.5" Cabled Hard Drives and Embedded SATA | C4CES | 1 | [321-8BVS] | 1530 |
| Shipping: PowerEdge T130 Shipping DAO | DSHIP | 1 | [340-ARNP] | 1500 |
| Processor: Intel® Xeon® E3-1220 v5 3.0GHz, 8M cache, 4C/4T, turbo (80W) | 8030 | 1 | [338-BHTU][412-AAHD] | 1550 |
| Memory DIMM Type and Speed: 2133MT/s UDIMMs | LU2133 | 1 | [370-ACIN] | 1561 |
| Memory Configuration Type: Performance Optimized | PEOPT | 1 | [370-AAIP] | 1562 |
| Memory Capacity: 16GB UDIMM,2133MT/s,ECC | 162133 | 1 | [370-ACFT] | 1560 |

Continuación anexo 1.

| | | | | |
|--|---------|---|--------------------------|------|
| RAID Configuration: No RAID with Embedded SATA | MSTC | 1 | [780-BBWS] | 1540 |
| RAID Controller: Embedded SATA | NCTRLR | 1 | [405-AACD] | 1541 |
| Hard Drives: 500GB 7.2k RPM SATA 6Gbps Entry 3.5in Cabled Hard Drive | 500GBS3 | 1 | [400-ADEX] | 1570 |
| Additional Network Cards: On-Board LOM 1GBE Dual Port (BCM5720 GbE LOM) | OBNIC | 1 | [542-BBCQ] | 1514 |
| Embedded Systems Management: iDRAC8, Basic | IBBAS | 1 | [385-BBLJ] | 1520 |
| Internal Optical Drive: DVD ROM, SATA, Internal | DVD | 1 | [429-AAQM] | 1600 |
| Power Management BIOS Settings: Performance BIOS Setting | HPBIOS | 1 | [384-BBBL] | 1533 |
| Power Cords: NEMA 5-15P to C13 Wall Plug, 125 Volt, 15 AMP, 10 Feet (3m), Power Cord, North America | 125V10 | 1 | [450-AALV] | 1621 |
| System Documentation: No Systems Documentation, No OpenManage DVD Kit | NODOCS | 1 | [631-AACK] | 1590 |
| Operating System: Windows Server® 2012R2,Foundation Ed,Factory Install,No MED | WS12R2 | 1 | [618-BBED] | 1650 |
| OS Media Kits: Windows Server® 2012R2, Foundation Edition, Media Kit | WINR217 | 1 | [618-BBDX] | 1652 |
| Canada Ship Options: US No Canada Ship Charge | USNONE | 1 | [332-1286] | 111 |
| Service: 3 Year Basic Hardware Warranty Repair, 5X10 HW-Only, 5x10 NBD On-site | NBD3 | 1 | [806-2286][806- 2397] | 29 |
| Deployment Services: No Installation | NOINSTL | 1 | [900-9997] | 714 |
| Remote Consulting Services: Declined Remote Consulting Service | NORCS | 1 | [973-2426] | 735 |



Anexo 2. Cotización servidor de comunicaciones



PowerEdge T130 Tower Server

Starting Price \$710.00
Instant Savings \$261.00

Subtotal **\$449.00**

As low as \$15.00 /month*

Dell Business Credit | Apply

Discount Details

Ships in 3 - 5 Business Days

My Selections All Options

| • PowerEdge T130 Tower Server | | | | | |
|--|--|-----|----------------------|------|--|
| Date | 5/2/2017 12:17:06 AM Central Standard Time | | | | |
| Catalog Number | 4 Retail 04 | | | | |
| Evalue Code | PE_T130_1022 | | | | |
| Catalog Number / Description | Product Code | Qty | SKU | Id | |
| PowerEdge T130: PowerEdge T130 Server, No TPM | CT130 | 1 | [210-AFFS][329-BCXF] | 1 | |
| Chassis Configuration: Chassis with up to 4, 3.5" Cabled Hard Drives and Embedded SATA | C4CES | 1 | [321-BBVS] | 1530 | |
| Shipping: PowerEdge T130 Shipping DAO | DSHIP | 1 | [340-ARNP] | 1500 | |
| Processor: Intel Celeron G3900 2.8GHz, 2M cache, 2C/2T, no turbo (51W) | C6528 | 1 | [338-BIKC][412-AAHD] | 1550 | |
| Memory DIMM Type and Speed: 2133MT/s UDIMMs | LU2133 | 1 | [370-ACIN] | 1561 | |
| Memory Configuration Type: Performance Optimized | PEOPT | 1 | [370-AAIP] | 1562 | |
| Memory Capacity: 4GB UDIMM,2133MT/s,ECC | 42133 | 1 | [370-ACFU] | 1560 | |
| RAID Configuration: No RAID with Embedded SATA | MSTC | 1 | [780-BBWS] | 1540 | |
| RAID Controller: Embedded SATA | NCTRLR | 1 | [405-AACD] | 1541 | |
| Hard Drives: 500GB 7.2k RPM SATA 6Gbps Entry 3.5in Cabled Hard Drive | 500GBS3 | 1 | [400-ADEX] | 1570 | |
| Additional Network Cards: On-Board LOM 1 GbE Dual Port (BCM5720 GbE LOM) | OBNIC | 1 | [542-BBCQ] | 1514 | |
| Embedded Systems Management: | IBBAS | 1 | [385-BBLJ] | 1520 | |

Continuacion de anexo 2.

| | | | | |
|--|---------|---|----------------------|------|
| iDRAC8, Basic | | | | |
| Internal Optical Drive: DVD ROM, SATA, Internal | DVD | 1 | [429-AAQM] | 1600 |
| Power Management BIOS Settings: Performance BIOS Setting | HPBIOS | 1 | [384-BBBL] | 1533 |
| Power Cords: NEMA 5-15P to C13 Wall Plug, 125 Volt, 15 AMP, 10 Feet (3m), Power Cord, North America | 125V10 | 1 | [450-AALV] | 1621 |
| System Documentation: No Systems Documentation, No OpenManage DVD Kit | NODOCS | 1 | [631-AACK] | 1590 |
| Operating System: No Operating System | NOOS | 1 | [619-ABVR] | 1650 |
| OS Media Kits: No Media Required | NOMED | 1 | [421-5736] | 1652 |
| Canada Ship Options: US No Canada Ship Charge | USNONE | 1 | [332-1286] | 111 |
| Service: 1 Year Basic Hardware Warranty Repair, 5X10 HW-Only, 5x10 NBD On-site | NBD1 | 1 | [806-2242][806-2397] | 29 |
| Deployment Services: No Installation | NOINSTL | 1 | [900-9997] | 714 |
| Remote Consulting Services: Declined Remote Consulting Service | NORCS | 1 | [973-2426] | 735 |

 [Print](#)

Anexo 3. Cotización de conmutador



Cisco Systems

CISCO SYSTEMS 5 Port Ethernet Switch (SF110D05NA)

★★★★★ 12 customer reviews

List Price: \$35.00

Price: **\$22.95** *Prime*

You Save: \$12.05 (34%)

Note: Available at a lower price from other sellers, potentially without free Prime shipping.