



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO
DE:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y
TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ENLACE DE
COMUNICACIONES ÓPTICAS MEDIANTE SOFTWARE
PARA LOS EQUIPOS DE TELEPROTECCIÓN EN
UNIDADES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA**

AUTOR:

EDWIN PAÚL ALBUJA CALO

TUTOR:

ING. DAVID PATRICO CANDO GARZÓN MG.

AÑO 2017

DATOS GENERALES:

TEMA :	Diseño y Simulación de un Enlace de Comunicaciones Ópticas mediante Software para los Equipos de Tele protección en Unidades de Generación Eléctrica
AUTOR:	Edwin Paúl Albuja Calo
CARRERA:	Electrónica Digital y Telecomunicaciones
TUTOR:	Ing. David Cando Mg.
ASESOR TÉCNICO:	Ing. David Cando Mg.
FECHA :	03 de Octubre de 2017

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco al Señor todopoderoso por permitirme despertar con salud cada día, para poder seguir cumpliendo mis sueños y metas.

Agradezco a mis padres por la confianza y apoyo recibido ya que ellos son mis primeros maestros.

A mi hermana que siempre me apoya en todo tipo de situaciones.

A la mujer que me ayuda me anima y siempre me regala una sonrisa y deseo que siempre este a mi lado.

A mis profesores que contribuyeron con mi formación profesional.

Paúl Albuja

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mi familia la cual incondicionalmente me brinda su apoyo también al joven que deseo que se construya como un hombre de bien con la bendición de Dios.

Paúl Albuja

RESUMEN

El propósito del presente proyecto es el diseño y simulación de un enlace de comunicaciones entre la central hidroeléctrica coca codo Sinclair (CCS), su Edificio de Control (EDC) y la subestación San Rafael (SR). Debido a que no cuenta con un sistema de alivio de carga cuando suscita una contingencia crítica en el sistema nacional interconectado (SNI), lo que causa daños considerables en todo el sistema de generación.

El desarrollo del proyecto constituye el diseño del enlace de comunicaciones mediante fibra óptica, para lo cual se debe realizar un estudio y análisis de los requerimientos del sistema de tele protección, durante la realización del mismo se profundizará en las diversas tecnologías existentes, en la actualidad de las comunicaciones para el sector eléctrico.

En el diseño del proyecto se describen los diferentes equipos que forman la red y sus características más importantes, así como los diagramas generales del enlace de comunicación, el *software* Optisystem servirá para la simulación del enlace con lo que se corroborará la viabilidad del mismo adicionalmente, se podrán realizar los cálculos de comunicación de datos, que exige el tipo de enlace con la adecuada coordinación de protecciones de las unidades de generación eléctrica.

Se analizará cada espectro de señal y sus parámetros nominales de funcionamiento que conforman el enlace de comunicación, la tasa de bit errado es uno de ellos, con el que se puede analizar la proporción de bits errados respecto al número de bits transmitidos.

PALABRAS CLAVE: Tele protección, Fibra óptica, Generación eléctrica, Red, Software.

SUMMARY

The purpose of this project is the design and simulation of a communications link between the Sinclair Coca-Cola Hydroelectric Plant (CCS), its Control Building (EDC) and the San Rafael (S / R) substation. Because it does not have a load relief system when it raises a critical contingency in the interconnected national system (SIN), which causes considerable damage to the whole generation system.

The development of the project constitutes the design of the fiber optic communication link, for which a study and analysis of the requirements of the teleportation system must be carried out.

During the accomplishment of the same it will be deepened in the diverse technologies existing in the present of the communications for the electrical sector.

The design of the project describes the different equipment that makes up the network and its most important features, as well as the general diagrams of the communication link.

The Optisystem software will be used for the simulation of the link with which it will be corroborated the viability of the same, in addition to this it will be possible to analyze the calculations of data communication, which requires the type of link for the adequate coordination of protections of the electric generation units.

We analyze each signal spectrum and its nominal operating parameters that make up the communication link, the wrong bit rate is one of them, whereby we can analyze the ratio of wrong bits to the number of bits transmitted.

KEY WORDS: Tele protection, Fiber optics, Electrical generation, Network, Software.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA	IV
RESUMEN	V
SUMMARY	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
SECCIÓN I.....	1
1.1.- Problema de investigación.....	1
1.2.- Objetivo General:	2
1.3.- Objetivos específicos:.....	2
1.4.- Introducción.....	2
1.5.- Hipótesis	3
SECCIÓN II	5
2.1.- Marco Teórico	5
2.1.1.- Sistema de tele protección	5
2.1.2.- Características de los sistemas de tele protección	6
2.1.3.- Características básicas de funcionamiento	7
2.1.4.- Las zonas de protección.....	7
2.1.5.- Protección principal.....	8
2.1.6.- Protección de Respaldo	8
2.1.7.- Esquemas de protecciones de distancia	9
2.1.7.1.- Protección de subalcance.....	9
2.1.7.2.- Protección de sobrealcance.....	9
2.1.8.- Esquemas de disparo	10
2.1.8.1.- Esquema de disparo directo transferido de bajo alcance.....	10
2.1.8.2.- Esquema de disparo Permisivo Trasferido bajo alcance.	11
2.1.8.3.- Esquema de disparo Permisivo Trasferido de sobre alcance.....	12
2.1.9.- Esquemas de protección Sistémica.....	13

2.1.10.- Esquemas Especiales de protección.....	13
2.1.11.- Telecomunicaciones.....	14
2.1.12.- Energía Electromagnética.....	15
2.1.13.- Frecuencias de transmisión.....	16
2.1.14.- Tipos de canales de comunicación.....	18
2.1.14.1.- Comunicación por Onda portadora.....	18
2.1.14.2.- Comunicación por microondas.....	18
2.1.14.3.- Comunicación por fibra óptica.....	19
2.1.15.- Ancho de banda.....	20
2.1.16.- Tipos de Medios de Transmisión.....	20
2.1.16.1.- Medio de transmisión guiados.....	20
2.1.16.2.- Medios no guiados de transmisión.....	21
2.1.17- Fibra óptica.....	22
2.1.17.1- Refracción y Reflexión de la luz.....	22
2.1.17.2- Refracción.....	22
2.1.17.3.- Índice de refracción.....	23
2.1.17.4.- Ángulo crítico.....	23
2.1.17.5.- Reflexión.....	24
2.1.18.- Tipos de fibras ópticas.....	25
2.1.18.1.- Fibras ópticas mono modo.....	25
2.1.18.2.- Fibras ópticas mono modo de índice escalonado.....	25
2.1.18.3.- Fibras ópticas multimodal.....	25
2.1.18.4.- Fibra multimodal de índice escalonado.....	26
2.1.18.5.- Fibra multimodal de índice gradual.....	26
2.1.18.6.- Pérdidas en la fibra óptica.....	27
2.1.19- Componentes de la fibra óptica.....	27
2.1.19.1.- Estructura física.....	28
2.1.20.- Atenuadores de fibra óptica.....	29
2.1.20.1.- Conector LC.....	29
2.1.20.2- Conector FC.....	29
2.1.20.3.- Conector E2000.....	30
2.1.20.4.- Bastidor de distribución óptico ODF.....	30
2.1.21.- Tipo de tendido de la fibra Óptica.....	31

2.1.22.- Tendido de fibra óptica.....	32
2.1.23- Teoría de Cálculos Ópticos	35
2.1.23.1.- Pérdidas producidas en la FO	35
2.1.23.2.- Pérdidas producidas en los empalmes	35
2.1.23.3.- Pérdidas producidas en los conectores	36
2.1.23.4.- Margen del enlace.....	36
2.1.23.5.- Margen de diseño	36
2.1.23.6.- Potencia del receptor	37
2.1.24.- Multiplexación.....	37
2.1.24.1.- Multiplexación por división en frecuencia (FDM).....	38
2.1.24.2.- Multiplexación por división en el tiempo síncrona (TDM)	38
2.1.25.- Tecnología SDH y PDH	40
2.1.25.1.- Tecnología PDH	40
2.1.25.2.- Tecnología SHD	41
2.1.26.- Software OptiSystem.....	43
2.1.26.1.- Interfaz de Optisystem 7.0.....	44
2.1.26.2.- Analizadores del Software Optisystem	46
2.1.27.- Siemens SWT 3000	47
2.1.28.- Normas de la UIT	49
2.2.- Marco Conceptual	50
SECCIÓN III	52
3.1.- Metodología.....	52
3.2.- Propuesta	55
3.2.1- Diseño del enlace de comunicación	55
3.2.1.1- Disponibilidad	56
3.2.1.2.- Confiabilidad	56
3.2.1.3.- Proyección	57
3.2.1.5.- Requerimientos del enlace.....	59
3.2.1.6.- Características para el enlace.....	60
3.2.1.7.- Equipos y dispositivos	61
3.2.1.8.- Selección del tipo de fibra óptica	61
3.2.1.9.- Características de los tipos de fibras ópticas	62
3.2.1.10.- Fibra óptica G 652	63

3.2.2.- Presupuesto del enlace de comunicación	64
3.2.2.1.- Pérdidas producidas en el enlace	65
3.2.2.2.- Pérdidas producidas en la Fibra Óptica	66
3.2.2.3.- Pérdidas producidas en los empalmes	66
3.2.2.4.- Pérdidas producidas en los conectores	67
3.2.2.5.- Reserva de pérdidas en el enlace	67
3.2.3.- Simulación del enlace	70
3.2.4.- Análisis del resultado de la atenuación en el enlace de comunicación	79
3.2.4.1.- Análisis del resultado de la señal óptica transmitida.....	81
3.2.4.2.- Análisis del resultado de la tasa de bits errados (BER).....	84
3.2.4.3.- Análisis de la prueba de desvanecimiento y BER	87
SECCIÓN IV	91
4.1.- Conclusiones.....	91
4.2.- Recomendaciones	92
4.3.- Bibliografía.....	94
4.4.- Anexos.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.- Sistema de Teleprotección	5
Figura 2.- Zonas de protecciones del SEP	8
Figura 3.- Esquema de protecciones principal y respaldo	9
Figura 4.- Esquema de disparo directo	10
Figura 5.- Esquema de disparo Permisivo	11
Figura 6.- Esquema de disparo Permisivo de sobre alcance	12
Figura 7.- Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones	14
Figura 8.- Espectro electromagnético de frecuencias	16
Figura 9.- Enlace simplificado de comunicaciones con fibra óptica.	19
Figura 10.- Rayo de refracción.	22
Figura 11.- Ángulo de reflexión.	24
Figura 12.- Propagación de la fibra monomodo	25
Figura 13.- Propagación de la fibra multimodal de índice gradual	26
Figura 14.- Enlace simplificado de comunicaciones con fibra óptica.	26
Figura 15.- fibra óptica.	27
Figura 16.- Estructura del cable de fibra óptica.	28
Figura 17.- Conector LC.	29
Figura 18.- Conector FC.	30
Figura 19.- Conector E2000.	30
Figura 20.- ODF.	31
Figura 21.- Técnica de multiplexación.	37
Figura 22.- Técnica de multiplexación FDM.	38
Figura 23. -Técnica de multiplexación TDM	38
Figura 24.- Técnica de multiplexación TDM Síncrona	39
Figura 25.- Técnica de multiplexación TDM Asíncrona	39
Figura 26. - Mapping	42
Figura 27.- Software Optisystem.	44
Figura 28.- Interface software oftisystem 7.0.	44

Figura 29.- Optical Spectrum Analyzer.....	46
Figura 30.- OTDR.....	46
Figura 31.- Optical Power Meter	46
Figura 32.- BER Analyzer	47
Figura 33.- Oscilloscope analizar	47
Figura 34.- STW 3000.	48
Figura 35.- Conexiones STW 3000	48
Figura 36.- Diseño del enlace de comunicaciones.....	58
Figura 37.- Enlace de comunicación.....	60
Figura 38.- Gráfica de parámetros del enlace.	69
Figura 39.- Pseudo- Randon Bit Sequence Generator.	71
Figura 40.- User defined Bit.	72
Figura 41.- Find Component Oftisystem 7.0	72
Figura 42.- CW Láser Oftisystem 7.0.....	73
Figura 43.- CW Láser Properties Oftisystem 7.0.....	73
Figura 44.- NRZ pulse generator.	74
Figura 45.- Mach- Zehnder modulator.	74
Figura 46.- Autocconnect.	75
Figura 47.- Optical Attenuator.....	76
Figura 48.- Optical Attenuator properties.....	76
Figura 49.- Optical Fiber	77
Figura 50.- Optical Fiber Properties.	77
Figura 51.- Photodetector PIN.....	78
Figura 52.- Enlace de Comunicación.....	78
Figura 53.- Análisis del Enlace de comunicación.....	79
Figura 54- Simulación del Enlace.....	80
Figura 55- Atenuación de la señal óptica.....	80
Figura 56.- Análisis de señales Tx y Rx.	82
Figura 57- Señal eléctrica con secuencia de bits.	82
Figura 58.- Señal óptica con secuencia de bits.	83
Figura 59.- Señal recibida en fotodetector PIN.	83
Figura 60.- Análisis de la tasa de bits errados (BER).....	85
Figura 61.- Análisis de pulso de la señal.	85

Figura 62.- Análisis del diagrama de ojo.....	86
Figura 63.- Análisis del diagrama de ojo con potencia mínima.	88
Figura 64.- Análisis del diagrama de ojo con potencia máxima.....	88
Figura 65.- Cronograma.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Características de medios no guiados.....	17
Tabla 2.- Características de medios físicos.....	21
Tabla 3.- Características de medios no guiados.....	22
Tabla 4.- Aspectos de tendido de fibras ópticas.	32
Tabla 5.- Jerarquía PDH.	41
Tabla 6.- Requerimientos de instalación.....	43
Tabla 7.- Requerimientos de instalación.....	59
Tabla 8.- Características de fibras ópticas.	62
Tabla 9.- Características de fibra G.652.D.	63
Tabla 10.- Características del enlace de comunicación.	65
Tabla 11.- Atenuación de materiales.	66
Tabla 12.- Pérdidas de la fibra óptica.	66
Tabla 13.- Pérdidas de empalmes.	67
Tabla 14.- Pérdida de conectores.	67
Tabla 15.- Margen de diseño.	68
Tabla 16.- Valores totales de atenuación.	68
Tabla 17.- Valores de los parámetros del diseño del enlace de comunicación.....	70
Tabla 18.- Valores de potencias.....	81

SECCIÓN I

1.1.- Problema de investigación

En el funcionamiento de la central hidroeléctrica intervienen diversos sistemas tales como, eléctricos, electrónicos, mecánicos, para su arranque y correcto funcionamiento, y así de esta manera lograr satisfacer la demanda de energía eléctrica requerida.

Uno de los mayores problemas que puede sufrir la central hidroeléctrica es el *Black out* (apagón eléctrico), ocasionado por fallas eléctricas (contingencias críticas), existentes en el Sistema Nacional Interconectado. Debido a este problema se deja de suministrar un 39.8 % por ciento de energía, como indica el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) de la demanda nacional ocasionando un problema para la central hidroeléctrica y el usuario ya que sin contar con este servicio las actividades se paralizan.

La central hidroeléctrica en la actualidad no posee un sistema de protección, para aliviar carga en una eventual contingencia. El sistema de protección existente, es entre subestaciones eléctricas, más no un sistema que comunique la subestación con la unidad de generación.

Las unidades de generación se encuentran vulnerables a posibles fallos eléctricos en el sistema, cuando estos suscitan se corre el riesgo de tener daños críticos en el sistema de la unidad de generación. Este problema es latente para la central ya que se no posee un enlace de comunicación para sistemas de tele protección con la subestación eléctrica, donde se distribuye la energía al SNI, y este, es un punto de aviso en caso de contingencias en las líneas de transmisión.

El enlace de comunicación del sistema de tele protección debe garantizar el envío de la señal de aviso para un relé de protección con lo que se lograra la apertura inmediata, en este caso del interruptor de potencia, tras el fallo eléctrico, con lo que la unidad de generación pueda trabajar en vacío, esto quiere decir que mecánicamente funciona pero no entrega energía a las líneas de transmisión. Para esto se requiere diseñar un enlace de comunicaciones ópticas y simular en el *software* Optisystem para validar la viabilidad del diseño, de esta manera avalar la eficiente transmisión de datos y así permitir el correcto funcionamiento del sistema de los equipos de tele protección.

1.2.- Objetivo General:

Simular un enlace de comunicaciones ópticas mediante *software* para los equipos de tele protección en unidades de generación eléctrica, y de esta manera verificar la transmisión de la señal de información la que servirá para activar un relé eléctrico para la confiabilidad de generación eléctrica de la Central, en caso de eventuales contingencias, con lo que se logrará suministrar energía continua, y adecuada, adicionalmente se cumplirá con los requerimientos del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

1.3.- Objetivos específicos:

- Analizar la capacidad y viabilidad de la señal en el sistema de comunicación hasta la subestación San Rafael para el funcionamiento de la tele protección.
- Diseñar el enlace de comunicaciones ópticas mediante *software* desde Casa de Máquinas (CDM), al Edificio de Control (EDF), y a la subestación San Rafael (S/T).
- Simular el diseño del enlace de comunicaciones ópticas mediante *software*.
- Realizar una correcta comunicación entre la estación remota y equipos de tele protección, para obtener la transmisión de datos en el rango de milisegundos (ms), con lo que se realizará la activación de protecciones eléctricas.

1.4.- Introducción

En la actualidad la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair es la más grande del país, está constituida de 8 unidades de generación cada una respectivamente con una potencia de 186 MW, de acuerdo a los informes técnicos de la demanda energética del Sistema Nacional Interconectado (SNI), por parte del CENACE, se puede decir que el aporte de los 1500 MW es el 39.8 % de suministro de energía eléctrica para los usuarios a nivel nacional.

El SNI consta de protecciones eléctricas en puntos estratégicos para identificar y caracterizar las contingencias críticas que podrán llevarlo al colapso.

Esta coordinación de protecciones mediante algoritmos matemáticos, lo controla el Sistema de Protección Sistemica (SPS), el mismo que se explicará en la sección II.

La central hidroeléctrica debe implementar una lógica de funcionamiento de tele protección, con lo que se ejecutará el SPS, y así se logrará aliviar la carga eléctrica en el momento que se requiera por cualquier contingencia crítica en el sistema. Por lo que se debe realizar un diseño de un enlace de comunicaciones ópticas mediante un *software* para la transmisión de datos, los mismos que se verán reflejados en el accionamiento de un contacto eléctrico en el rango de milisegundos.

Esto conlleva a ejecutar un análisis de los equipos electrónicos y del tipo de fibra óptica a ser utilizados en el enlace de comunicación, para lograr satisfacer la necesidad de realizar un alivio de carga en las unidades de generación eléctrica.

Se corroborará la viabilidad del diseño con el *software* de simulación Optisystem, en el cual se deberá realizar un análisis adecuado del comportamiento de cada uno de sus componentes de transmisión de datos con el fin de garantizar un enlace adecuado para el sistema de tele protección.

Con lo que se podrá certificar la correcta comunicación de los equipos SWT 3000 (Tele protección), con los cuales la central hidroeléctrica mitigará cualquier contingencia crítica que se suscite en el SNI.

1.5.- Hipótesis

La central hidroeléctrica genera energía eléctrica, suministrándola de una manera eficiente y continua al usuario, pero en el momento de una contingencia crítica en el sistema las unidades de generación, no poseen la protección para salvaguardar tanto el suministro de energía, como los equipos que conforman dicha unidad.

Si se tuviera un enlace de comunicaciones ópticas para equipos de tele protección que comuniquen las unidades de generación eléctrica, con la subestación la cual se conecta al SNI y en donde se encuentran las señales de aviso de falla en cualquier punto de las líneas del sistema, se lograría obtener la activación de un relé de protección, el mismo que dará una señal de control al sistema del interruptor de potencia de la unidad de generación, el cual permite el bloqueo y/o circulación de la energía generada, a la barra principal de distribución.

Con esto se lograría precautelar la vida útil de los componentes que intervienen en la generación de energía eléctrica, ya que cuando suscite una de estas contingencias críticas es seguro que sufrirán cualquier tipo de daño, debido al paso de la alta corriente por los cables, los transitorios que esto representa y como resultado de estos se tiene el efecto joule, que hace referencia a la temperatura excesiva en el cable, lo que puede llegar a fundir al mismo, esto sucede en transformadores, seccionadores, rotor, estator, y con ello el análisis económico que representa en el momento que uno de estos equipos sufre alguna anomalía, tanto para la parte técnica de la misma central como para la entrega de energía eléctrica al usuario.

El diseño y simulación de un enlace de comunicaciones para equipos de tele protección, deberá satisfacer los requerimientos técnicos, económicos y de la fiabilidad permanente en la transmisión de la señal, para corroborar los tipos de materiales a utilizarse en una futura implementación.

SECCIÓN II

2.1.- Marco Teórico

2.1.1.- Sistema de tele protección

Los equipos de transmisión y generación están sujetos a eventuales fallas eléctricas, para lo cual el sistema de tele protección, evitará daños en los diversos elementos del sistema nacional interconectado (SIN) y preservará su estabilidad.

Para evitar daños en dispositivos y elementos de la red eléctrica del SNI, el sistema de tele protección consigue desconectar la parte afectada con la falla, mediante la transmisión de señales en un rango de tiempo mínimo.

Un ejemplo del sistema de tele protección se muestra en la Figura 1.

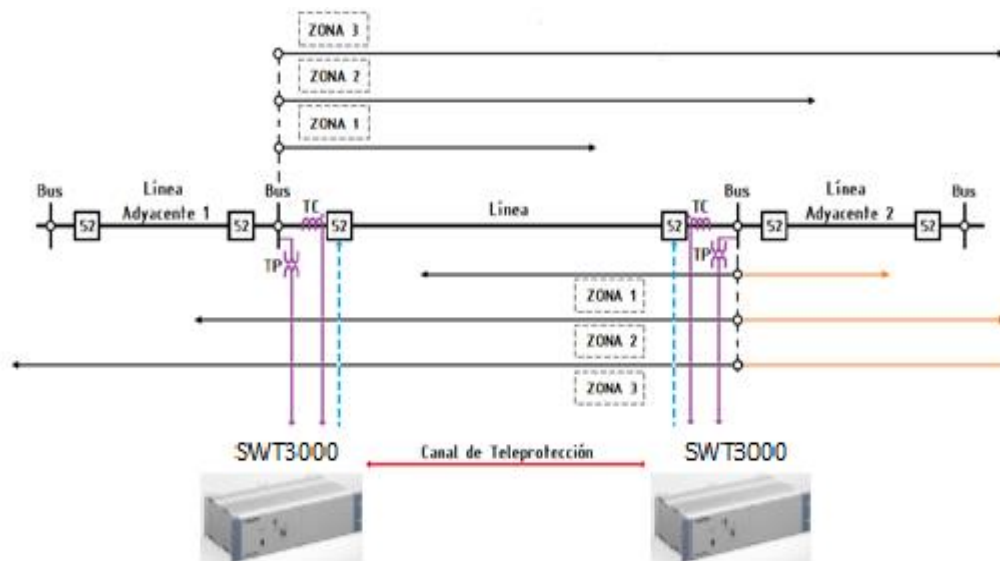


Figura 1.- Sistema de Tele protección (Ramírez, 2003).

En la figura 1 podemos encontrar los siguientes elementos:

- **Bus:** Barra de conexión del sistema de potencia.
- **Línea:** Conformada por estructuras, en las cuales están los conductores de sección uniforme que son cables de aluminio desnudo con alma de acero (ASCR) y una sección de 360 mil circular mil (MCM), utilizado para transportar eficientemente la energía eléctrica.

- **52:** Interruptor de Corriente Alterna es utilizado para la apertura y cierre de circuitos eléctricos que conforman el SNI.
- **Zona 1/ Zona 2/ Zona 3:** Zonas de protección del sistema de potencia.
- **TC:** Transformador de corriente.
- **TP:** Transformador de potencial.
- **SWT3000:** Equipo de tele protección.
- **Canal de tele protección:** Medio de comunicación por el cual, se transmiten señales a los equipos de protección.

Se muestra de una manera esquemática las zonas de protección en las cuales puede actuar la tele protección, cabe añadir que en la figura 1 no se especifica el medio de transmisión.

El propósito del canal de comunicación es transmitir la información de las condiciones del sistema de un extremo de la línea protegida al otro, también se enviarán las solicitudes para iniciar o bloquear el disparo del interruptor. Esto se lo conoce como esquema de tele protección.

2.1.2.- Características de los sistemas de tele protección

El objetivo primordial de los sistemas de tele protección es aislar rápidamente el área del sistema de potencia que se encuentre con algún problema, de tal manera que el resto del sistema pueda seguir funcionando.

Se debe indicar que el término de tele protección no significa prevención de riesgos eléctricos, es quiere decir que el termino mencionado no implica la prevención de fallas en los equipos o descargas eléctricas debido a contactos indirectos (involuntarios).La protección minimiza el tiempo de una falla además de limitar los daños que puedan ocurrir, adicionalmente reduce los tiempos de interrupción de energía y otros problemas que se pueden tener, para el caso de no contar con protecciones (Gutiérrez, 2010, p. 135).

Para que los sistemas de protección cumplan de una manera adecuada con su trabajo, sin que su operación no presente un obstáculo, en el funcionamiento del SNI.

En la actualidad los relés de protección incluyen la tecnología digital, es decir que las entradas de forma analógica al relé se convierten en señales digitales como también las salidas del mismo.

Las protecciones hoy en día están constituidas con tecnología de microprocesadores, que permiten tomar decisiones de actuación en tiempo real, mediante la ejecución de algoritmos matemáticos que realizan la medición de los parámetros nominales de funcionamiento del sistema eléctrico.

2.1.3.- Características básicas de funcionamiento

Las características para tomar en cuenta el funcionamiento adecuado de las protecciones eléctricas se detallan a continuación (Ramírez, 2003, p. 89):

- **Rapidez.-** Cuando se presenta una falla en el SNI, lo idóneo es que esta sea aislada en el menor tiempo posible.
- **Confiabilidad.-** Los sistemas de protecciones deben actuar únicamente cuando se lo requiera, por lo que no deben activarse innecesariamente.
- **Sensibilidad.-** Es la capacidad de la protección eléctrica para reaccionar inmediatamente incluso a desviaciones relativamente pequeñas de los parámetros nominales de funcionamiento monitoreados.
- **Selectividad.-** Las protecciones deben ser autosuficientes, para seleccionar entre aquellas condiciones que requieren un accionamiento inmediato y aquellas que no deben actuar, o se desea que actúen con un determinado tiempo de retardo, así se logrará aislar el elemento con falla, de esta manera se puede garantizar la máxima continuidad de servicio eléctrico con la mínima desconexión de carga.
- **Simplicidad.-** Reducir al máximo la cantidad de equipos de protección y conexiones que conllevan los circuitos de protección eléctrica.
- **Economía.-** Está ligada a la simplicidad es decir, que los sistemas de protecciones deben contar con la máxima protección para el SNI al menor precio posible.

2.1.4.- Las zonas de protección

La zona de protección es el área donde se espera que los relés detecten las fallas e inmediatamente inicien el aislamiento de los componentes, para minimizar el daño, y así prevenir el colapso del SNI.

Entre los tipos de zonas de protección disponibles en cada sistema de potencia eléctrico se tiene:

- Generadores y Unidad generador – transformador.
- Barras.
- Línea de transmisión, sub transmisión, y distribución.
- Equipos de consumos (cargas estáticas, motores eléctricos, etc.).
- Banco de condensadores.

Alguna de las zonas mencionadas se muestra en la Figura 2.

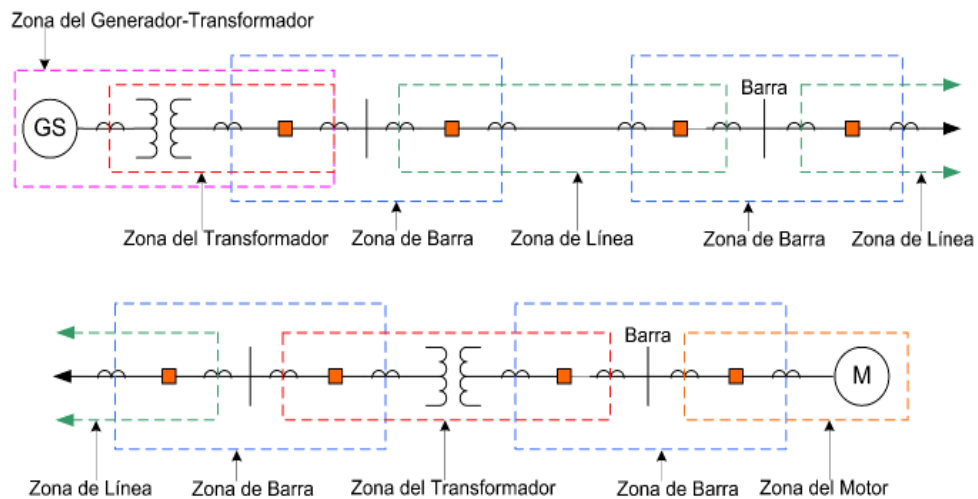


Figura 2.- Zonas de protecciones del SEP (Ramírez, 2003).

Cada zona debe superponer a la zona adyacente en caso de no ser así se produce un vacío de la protección primaria entre las zonas. Esto se logra mediante la ubicación de los transformadores de corriente que son la fuente principal de información para la actuación de la protecciones.

2.1.5.- Protección principal

Es la protección que actúa instantáneamente, ésta opera lo más rápido posible, y logra colocar fuera de servicio la menor cantidad de equipos, el momento que suscita una falla.

2.1.6.- Protección de Respaldo

Este tipo de protección debe actuar siempre y cuando la protección principal falle, el tiempo de acción es más lento, y retira más cantidad de elementos del sistema para despejar la anomalía (Harper, 2010, p. 46).

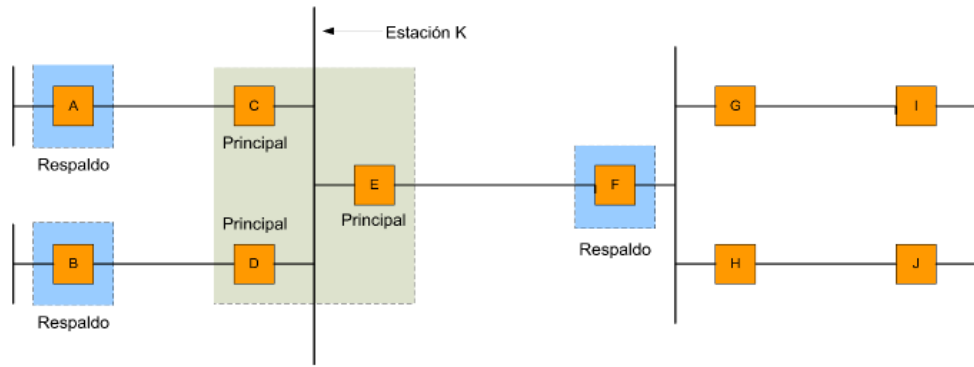


Figura 3.- Esquema de protecciones principal y respaldo (Harper, 2010).

En la figura 3, se observa los disyuntores A, B y F, son las protecciones de respaldo para cuando se produce una falla en la barra de la estación K, estos se dispararán ante la no actuación de los disyuntores principales C, D y E respectivamente.

2.1.7.- Esquemas de protecciones de distancia

Los relés de distancia responden a la impedancia que se encuentra entre la ubicación del relé y la ubicación de la falla.

La impedancia en una línea cortocircuitada varía desde cero, en una falla en el extremo de entrada, con un valor finito para la falla en el extremo lejano, el valor de la impedancia se incrementa con la distancia de la falla por lo que a esta clase de esquemas basados en estas mediciones se conocen como protecciones de distancia (Harper, 2010, p. 96).

2.1.7.1.- Protección de subalcance

Es una forma de protección en la cual los relés de un terminal dado no operan por fallas en ubicaciones remotas del equipo protegido. Esto establece que el relé es ajustado de manera que no censé la falla producida más allá de una distancia dada, es decir que el relé censará fallas inferiores al 100% de la longitud de la línea.

2.1.7.2.- Protección de sobrealcance

Es una forma de protección en la cual los relés de un terminal operan por las fallas producidas, hasta más allá del siguiente terminal. Estos pueden ser restringidos de la desconexión, hasta que una señal de entrada desde un terminal remoto indique si el fallo

está más allá de la sección de línea protegida, la restricción agregada a la protección es para evitar la pérdida de coordinación.

2.1.8.- Esquemas de disparo

Los esquemas de disparo están conformados por distintos tipos, los mismos que tienen ciertas características individuales propias de acuerdo a su lógica de operación.

2.1.8.1.- Esquema de disparo directo transferido de bajo alcance

Este tipo de disparo directo transferido de bajo alcance es conocido también por sus siglas en inglés DUTT, que significan Direct Under Reach Transfer Trip, es una forma muy sencilla de reducir el tiempo de reacción para proteger a la línea de transmisión durante un eventual fallo.

La Figura 4 ilustra la manera de actuar de un disparo directo. Con el esquema de bajo alcance que permite operar en condiciones de la zona 1, la misma que no alcanza a cubrir la totalidad de línea.

Al activarse el bit llamado Zona 1, el relevador digital de protección de distancia, un bit llamado “DUTT-Tx” este es un disparo directo de bajo alcance del transmisor, que será enviado para solicitar al otro extremo en el cual recibirá un relevador digital y hará que la protección de la línea se dispare automáticamente, esta información es enviada por un canal de comunicación.

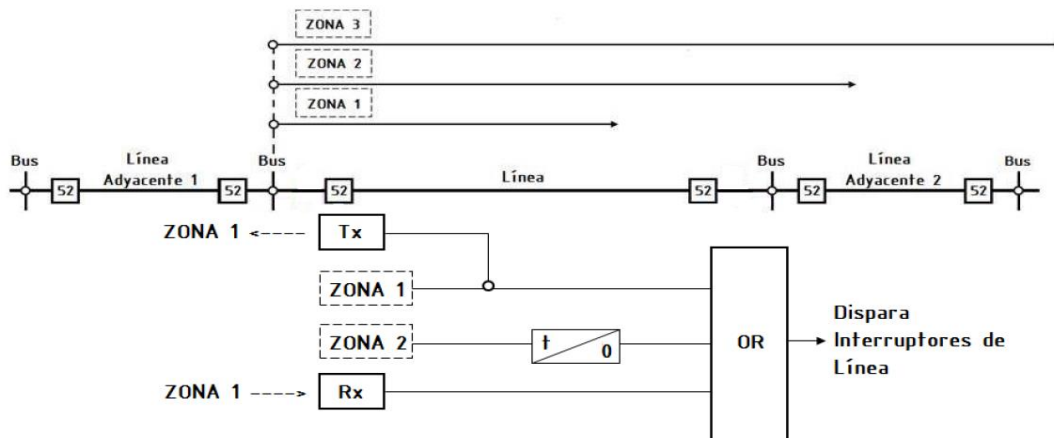


Figura 4.- Esquema de disparo directo (Romero, 2010).

2.1.8.2.- Esquema de disparo Permisivo Trasferido bajo alcance.

El esquema de disparo mostrado en la Figura 4, se hace más selectivo mediante la supervisión de la señal recibida con la detención de la falla en la zona 2, antes de permitir un disparo instantáneo.

Este esquema conocido como Esquema de disparo Permisivo Trasferido de bajo alcance, o también como Permissive Under Reach Transfer Trip (PUTT), ya que ambos equipos deben detectar una falla antes que el relé del extremo remoto tenga permiso para el disparo en tiempos de la zona 1. La Figura 5, muestra la lógica de operación de este tipo de esquema.

La lógica mostrada, indica que una vez activado el bit de la Zona 1 en el relevador digital ubicado en el extremo local A, está listo para transferir un bit “PUTT Tx”, al extremo remoto B, donde este recibirá el bit como “PUTT Rx”.

Envés de realizar el disparo directo, solicita confirmación del mismo, este es la confirmación la detención de la falla en el extremo B realizado por la zona 2.

Esto se aprecia en la sección de la lógica de la compuerta “AND”, la misma que al tener los elementos conectados como entradas con pulsos positivos o conocidos como unos lógicos resultara un pulso positivo, caso contrario será un cero lógico.

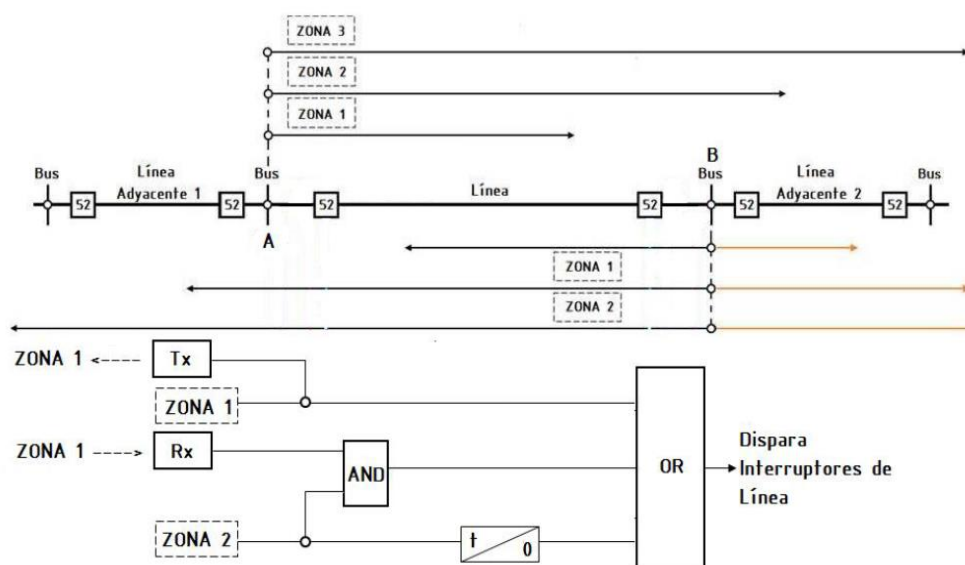


Figura 5.- Esquema de disparo Permisivo (Romero, 2010).

2.1.8.3.- Esquema de disparo Permisivo Trasferido de sobre alcance.

Este esquema es conocido también como Permissive Over Reach Transfer Trip (POTT) se utiliza el elemento de la Zona 2, de distancia la que sobre alcanza la línea de transmisión para enviar la señal de solicitud de disparo al extremo remoto, este se convierte en un esquema mucho más sensible y rápido que el esquema anterior. La zona 2 es más sensible que la zona uno debido a su área de protección, y de esta manera logra detectar fallos eléctricos con anticipación y reaccionar en un rango de milisegundos. En la Figura 6, se indica la lógica de operación de este tipo de esquema.

Una vez activado el bit de la Zona 2, en el relevador digital ubicado en el extremo A, está listo para transferir el bit llamado “PTT-Tx” al extremo remoto B, donde se recibirá el bit como “POTT-Rx”. Al igual que el esquema permisivo de bajo alcance, en lugar de realizar el disparo directo, solicita confirmación de disparo, este es la confirmación la detención de la falla por la Zona 2.

La lógica de la compuerta AND es la misma explicada anteriormente en el esquema de bajo alcance, de acuerdo a la lógica la única diferencia entre ambas es el uso de elementos de la zona 2, para accionar el esquema.

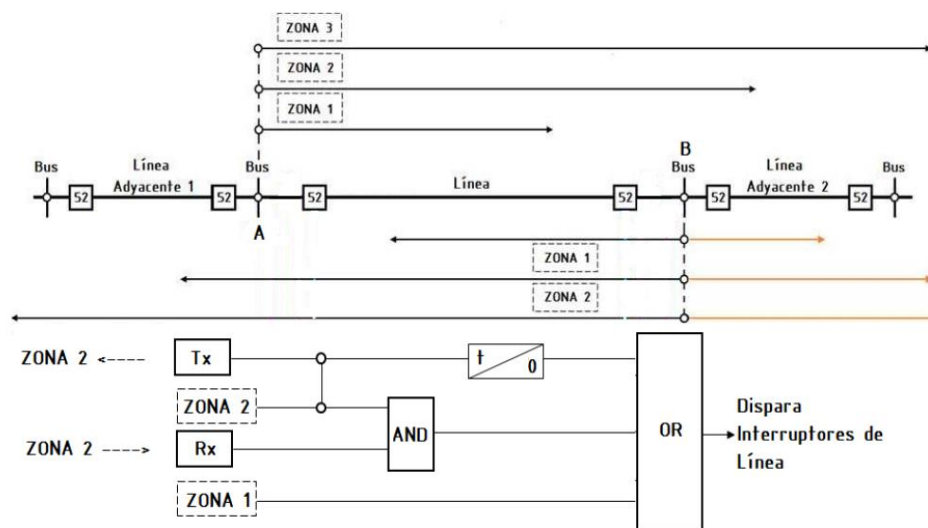


Figura 6.- Esquema de disparo Permisivo de sobrealcance (Ramírez, 2003).

Como se menciona anteriormente esto se debe a la sensibilidad de las zonas, es más conveniente tener una zona más sensible para la detención de fallas, ya que así se logrará abrir los interruptores en tiempos menores.

2.1.9.- Esquemas de protección Sistemica

Los esquemas de protección sistémica (E.P.S), también conocidos como Sistemas de Protección Sistemica (S.P.S), tienen como objetivo evitar el colapso total del sistema internacional interconectado.

Cuando se produce fallas críticas en el sistema de potencia, que puede llevarle al colapso por alguna de las tres pérdidas de estabilidad ya sea por voltaje, frecuencia o ángulo de rotor se deben ejecutar las acciones remediales que son determinadas para cada tipo de contingencia crítica, las cuales son diseñada para mitigar los efectos de las pérdidas incontroladas de estabilidad del SNI.

2.1.10.- Esquemas Especiales de protección.

El mencionado Sistema de protección sistémica está diseñado para detectar una condición en el sistema tal como la inestabilidad, sobrecarga o colapso de voltaje. Las acciones remediales prescritas pueden requerir la apertura de una o más líneas de transmisión, la desconexión o disparo de unidades de generación, rechazo o desconexión intencional de carga u otras medidas que alivien el problema detectado.

En el Ecuador los estudios realizados por el CENACE, determinan que en las condiciones topológicas actuales del (S.N.I), el disparo de los dos circuitos de la línea de transmisión Totoras y Santa rosa de 230kv, es una contingencia crítica para el sistema, lo cual de ocurrir, el S.N.I podrá colapsar.

Como medidas remediales y con el objetivo de evitar el colapso total del S.N.I, el S.P.S desconecta cierto porcentaje de carga y generación. Con lo que se ha establecido los esquemas especializados de protección:

- Esquema de alivio de carga por frecuencias bajas respecto a la nominal.
- Esquema de alivio de carga por voltajes bajos respecto al nominal.
- Esquema de disparo automático de generación.

2.1.11.- Telecomunicaciones.

Dentro de las telecomunicaciones el área encargada de estudiar la comunicación de información a larga distancia, tiene como esencia la transmisión, la recepción y el procesamiento de información mediante circuitos eléctricos y electrónicos esta información puede ser de forma analógica como por ejemplo:

- Voz humana.
- Imágenes de video.

También información en forma digital como por ejemplo:

- Gráficos.
- Información de datos.

La información antes de ser enviada o ser propagada por algún medio de comunicación debe ser convertida en energía electromagnética.

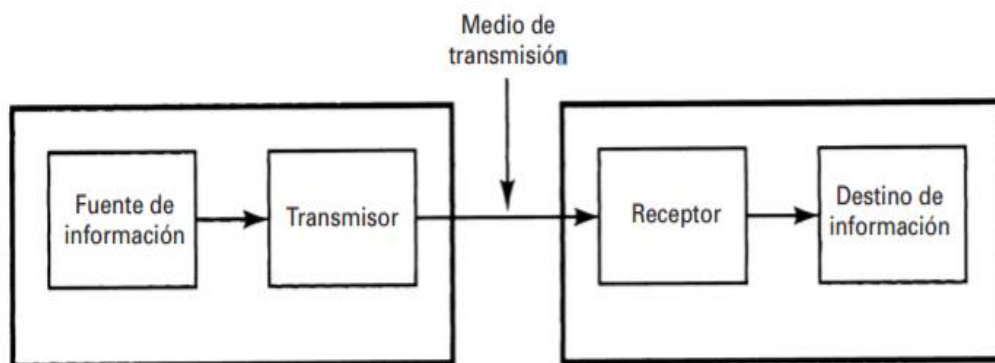


Figura 7.- Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas (Tomasi, W. 2003)

La Figura 7, presenta un diagrama de bloques simplificado de un sistema de comunicaciones formado por un transmisor, un medio de transmisión y un receptor.

El transmisor es el conjunto de uno o varios dispositivos, circuitos electrónicos que convierten la información de la fuente en un tipo de señal adecuada.

El receptor es el dispositivo electrónico que recibe la información entregada por la fuente y la convierte en una señal de información de acuerdo al medio de propagación.

El medio de transmisión es aquel que transporta la información desde el transmisor hacia el receptor.

A la información se la puede convertir en ondas electromagnéticas luminosas estas serán capaces de transportarse por un cable de fibra óptica o comunicaciones de radioenlaces para grandes distancias.

El receptor es el dispositivo electrónico que recibe el medio de transmisión y recepta las señales enviadas desde el transmisor y transformándolas a su forma original.

A este conjunto se lo puede definir como una red de datos de información.

2.1.12.- Energía Electromagnética

La principal función de un sistema de comunicaciones es realizar el intercambio información entre dos lugares o más separados geográficamente esto se logra al transformar la señal original en energía electromagnética para enviarla por un medio de transmisión hacia el lugar destino donde se extrae la información de la señal recibida.

La energía electromagnética se puede propagar en un medio de transmisión físico como por ejemplo el cobre por medio de corriente o voltaje, como también a través de radioondas en la cuales su medio de transmisión es el espacio libre y también puede transmitirse por ondas luminosas esto se realiza por el medio físico de la fibra óptica.

La distribución de la energía electromagnética se la puede realizar en intervalos casi infinitos de frecuencia.

La frecuencia es la cantidad de veces que sucede un movimiento periódico, se la representa en forma matemática en la ecuación 1:

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)} \quad (1\text{Hz} = 1\text{cps}) \quad \text{(Ecuación. 1)}$$

Donde:

- **f:** Frecuencia Hz.

- **T:** Periodo
- **1 cps:** Un ciclo por segundo.

En la Figura 8, se pueden apreciar los rangos de frecuencia del espectro electromagnético con sus respectivos servicios.

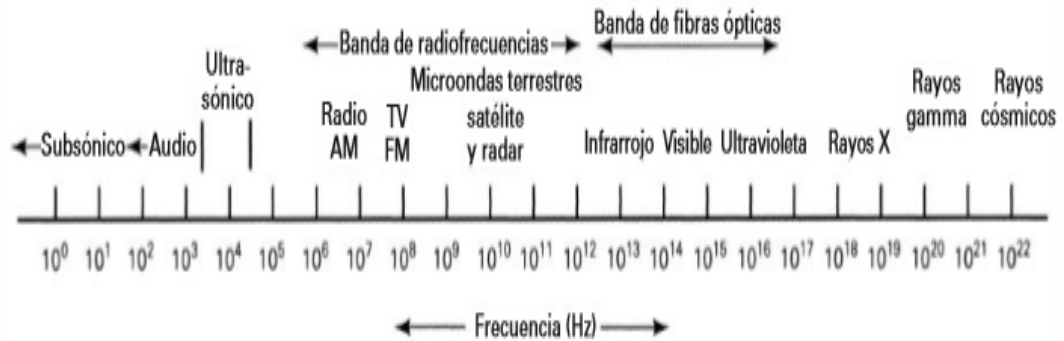


Figura 8.- Espectro electromagnético de frecuencias (Tomasi, W. 2003)

2.1.13.- Frecuencias de transmisión

La frecuencia de transmisión corresponde a un grupo, que se encuentran divididas en intervalos, para identificar señales y controladas por:

- FCC: Comisión federal de comunicaciones.
- CCIR: Comité consultivo de radio.

Las fibras ópticas trabajan en la región del espectro de la luz infrarroja y luz visible sus valores se los puede apreciar a continuación.

En la Tabla 1, se muestran los tipos de frecuencias de acuerdo al Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR).

Tabla 1.- Intervalo de frecuencias del CCIR. (Tomasi, 2003)

Número de banda	Intervalo de frecuencias*	Designación
2	30 Hz–300 Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3 kHz–3 kHz	VF (frecuencias de voz)
4	3 kHz–30 kHz	VLF (frecuencias muy bajas)
5	30 kHz–300 kHz	LF (bajas frecuencias)
6	0.3 MHz–3 MHz	MF (frecuencias intermedias)
7	3 MHz–30 MHz	HF (frecuencias altas)
8	30 MHz–300 MHz	VHF (frecuencias muy altas)
9	300 MHz–3 GHz	UHF (frecuencias ultra altas)
10	3 GHz–30 GHz	SHF (frecuencias super altas)
11	30 GHz–300 GHz	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3 THz–3 THz	Luz infrarroja
13	3 THz–30 THz	Luz infrarroja
14	30 THz–300 THz	Luz infrarroja
15	0.3 PHz–3 PHz	Luz visible
16	3 PHz–30 PHz	Luz ultravioleta
17	30 PHz–300 PHz	Rayos X
18	0.3 EHz–3 EHz	Rayos gamma
19	3 EHz–30 EHz	Rayos cósmicos

* 10^0 , hertz (Hz); 10^3 , kilohertz (kHz); 10^6 , megahertz (MHz); 10^9 gigahertz (GHz); 10^{12} , terahertz (THz); 10^{15} , petahertz (PHz); 10^{18} exahertz (EHz)

La longitud de onda es ocupada en ondas de radio y corresponde a la distancia entre crestas máximas o mínimas de una señal sinusoidal y esta expresada en metros y se la expresa matemáticamente según la ecuación 2 (Tomasi, W. 2003, p. 6).

:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{(Ecuación. 2)}$$

Donde:

- λ : Longitud de onda (metros por ciclo).
- c : Velocidad de la luz (3×10^8 metros por segundo).
- f : Frecuencia (Hertz).

2.1.14.- Tipos de canales de comunicación

Los canales de comunicación utilizados para transferir datos de información son:

- Ondas Portadoras.
- Microonda.
- Fibra óptica.

2.1.14.1.- Comunicación por Onda portadora

Este tipo de comunicación está basado en un enlace de equipos de protección eléctrica entre subestaciones, tales que su medio de trasmisión sea las líneas de alto voltaje eléctrico.

- Es un medio económico.
- No requiere repetidoras para cubrir largas distancias.
- Menos susceptible a las condiciones atmosféricas.
- Bajo costo de mantenimiento.

Con lo que presenta un gran número de servicios tales como voz, comunicación de datos.

2.1.14.2.- Comunicación por microondas

En este tipo de comunicación la longitud de onda está en el rango (milimétrico). Básicamente un enlace vía microondas tiene tres componentes fundamentales que son (Stallings, W. 2003, p. 113):

- Trasmisor.
- Receptor.
- Canal aéreo.

El trasmisor es el encargado de modular la señal de la información en alta frecuencia, de esta manera transmitir por un medio libre (canal aéreo), y el receptor recibe la señal y la transforma a su señal original (Tomasi, W. 2003, p. 762). Algunas características de este tipo de sistema son:

- Depende de las condiciones atmosféricas.

- No es afectado por perturbaciones en el sistema de potencia.
- Requiere de varias repetidoras para amplificar su señal en grandes distancias u obstáculos geográficos.
- La distancia aproximada de comunicación es apenas 30 km.

2.1.14.3.- Comunicación por fibra óptica

La fibra óptica consiste en un tubo de vidrio o plástico muy delgado atreves del viaja la información en forma de energía luminosa, esto quiere decir que la información es transformada de un formato digital a luz para ser trasmitida, esto permite manejar un ancho de banda muy alto.

En la Figura 9 se puede apreciar un enlace para transmitir información por fibra óptica, donde el conjunto de la interface digital, convertidor de voltaje, fuente luminosa, e interface de fibra son el dispositivo que forman la transmisión Tx, de la misma manera Tiene su Rx, para convertir la señal de transmisión a la original. A este tipo de elementos se denomina convertidores electro-ópticos (E/O) y opto- eléctrico (O/E), ya que se encargan de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa y viceversa (Tomasi, W. 2003, p. 422).

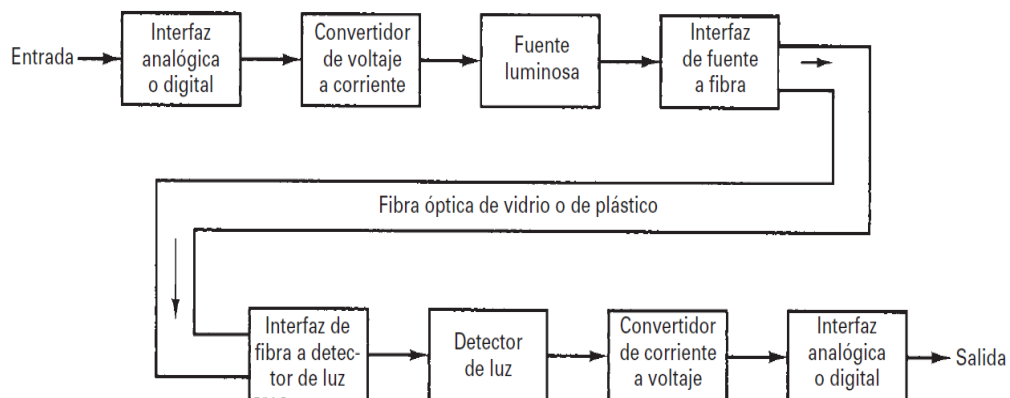


Figura 9.- Enlace simplificado de comunicaciones con fibra óptica (Tomasi, 2003)

La fibra se divide de acuerdo a tres grupos de longitudes de onda: 800 – 900 nm, 1200 – 1300 nm, 1500 – 1600 nm, todas estas longitudes de onda son constantes para todas las frecuencias de la señal trasmitida. Adicional los enlaces de fibra óptica ofrecen protección contra interferencia, esto es una gran ventaja al momento de transmitir información.

2.1.15.- Ancho de banda

El ancho de banda de una señal de información es expresado por la ecuación, de la siguiente manera:

$$B = f_{max. de la información} - f_{min. de la información} \quad (\text{Ecuación. 3})$$

Donde:

- **B:** Ancho de banda.
- **f max:** Frecuencia máxima de información.
- **f min:** Frecuencia mínima de información.

El ancho de banda de un canal de transmisión se lo puede expresar de la siguiente manera:

$$B = f_{max. del canal} - f_{min. del canal} \quad (\text{Ecuación. 4})$$

Es la diferencia entre las frecuencias máximas del canal y la frecuencia mínima del mismo, de esta manera se obtiene el valor del canal por donde puede pasar la información. La cantidad de información que se puede enviar por un medio de transmisión viene ligado a su ancho de banda y el tiempo que se demora (Tomasi, W. 2003, p. 8).

2.1.16.- Tipos de Medios de Transmisión

El medio de transmisión constituye, la vía por donde se propaga la señal, la misma que puede comunicarse por medio de un cable físico o por el espacio al aire libre, que a través de este el transmisor se puede comunicar con el receptor en un sistema de comunicación, los datos de información son transmitidos por ondas electromagnéticas, independiente del medio de propagación para lo cual se dividen en dos grandes grupos que se mencionaran a continuación (Stallings, W. 2003, p. 102).

2.1.16.1.- Medio de transmisión guiados

En este tipo de medios de transmisión la señal de información es propagada a través de un cable de comunicación encargado de llevar los datos, desde la fuente hacia el receptor. Este tipo de medios pueden ser: cable par trenzado, fibra óptica, cable coaxial. Las

características de estos materiales se pueden apreciar en la tabla 2 (Stallings, W. 2003, p. 103).

Características:

- Distancia prolongadas entre repetidores.
- Interferencias electromagnéticas (inducción de corrientes o voltaje).
- La velocidad de transmisión máxima depende básicamente de la distancia existente entre terminales y el tipo de transmisión físico utilizado.

Tabla 2.- Parámetros de funcionamiento de los medios físicos (Fernández, 2014).

Tipo de medio	Ancho de banda	Velocidad a transmitir	Distancia entre repetidores	Interferencia electromagnética
Cable Coaxial	350 MHz	500Mbps	1-10 km	Alta
Par Trenzado de Cobre	3Mhz	10 Mbps-100 Mbps	2-10 km	Alta
Fibra Óptica OS1	2 GHz	2 Gbps	10-100 km	No posee

2.1.16.2.- Medios no guiados de transmisión

En este tipo de medios de transmisión, la propagación de la señal de información es mediante el espacio libre, en el cual el transmisor y receptor están constituidos por antenas de comunicación, esto es debido a que no posee un medio de transmisión físico.

La característica primordial en este tipo de medio es la frecuencia de transmisión, las cuales se pueden clasificar en: radiofrecuencia, microondas y láser. Para esto se aprecia las características de cada una de estas en la Tabla 3.

Tabla 3.- Ventajas y desventajas de los medios no guiados (Fernández, 2014).

Medio	Ventaja	Desventaja
Radiofrecuencia	Flexible / Portátil	Interferencias / Transmisión baja
Microondas	Velocidad de la luz	Interferencias
Satélite	Cobertura de grandes zonas	Posicionamiento y descensos costosos

2.1.17- Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión que está constituido por finos hilos de vidrio o plástico, por los que se transmiten señales ópticas cuenta con las siguientes características.

2.1.17.1- Refracción y Reflexión de la luz

La reflexión y refracción son fenómenos que provienen de los estudios de la óptica.

2.1.17.2- Refracción

La refracción es considerada cuando un rayo de luz pasa del medio n_1 , al medio n_2 , y cambia su velocidad, con esto la dirección, en la figura 10, se puede apreciar esta característica.

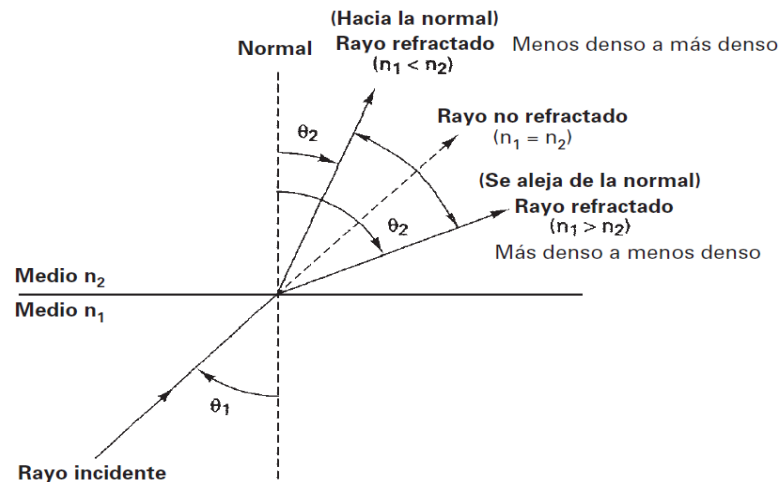


Figura 10.- Rayo de refracción (Tomasi, W. 2003)

Donde se puede obtener la ley de Snell:

$$n_1 \operatorname{sen}(\theta_1) = n_2 \operatorname{sen}(\theta_2) \quad \text{(Ecuación. 5)}$$

Donde:

- n_1 : Índice de refracción 1 (característica del medio de propagación adimensional).
- n_2 : Índice de refracción 2 (característica del medio de propagación adimensional).
- θ_1 : Ángulo de incidencia.
- θ_2 : Ángulo de refracción.

La misma que ayuda al cálculo del ángulo de refracción.

2.1.17.3.- Índice de refracción

Este índice de refracción es la relación de la velocidad de la luz entre la velocidad de propagación de un rayo de luz en un determinado material (Tomasi, W. 2003, p. 353).

La ecuación correspondiente es:

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{(Ecuación. 6)}$$

Donde:

- n : Índice de refracción.
- c : Velocidad de la luz (3×10^8 m/s).
- v : Velocidad del rayo de luz en un determinado material (metros por segundo).

2.1.17.4.- Ángulo crítico

Es considerado como el ángulo límite donde no existe ni reflexión ni refracción, es un ángulo de incidencia con el cual el rayo de luz se vuelve paralelo a la interfaz de los medios en contacto, esto hace que la luz no cambie de medio ni regrese al medio del que provino. Por lo tanto al considerar el ángulo de refracción es igual a 90° se obtendrá la ecuación del ángulo crítico (Tomasi, W. 2003, p. 364).

$$n_1 \sin(\alpha \text{ incidente}) = n_2 \sin(90^\circ)$$

$$\sin(\alpha \text{ incidente}) = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\alpha \text{ critico} = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad \text{(Ecuación. 7)}$$

2.1.17.5.- Reflexión

Este fenómeno de reflexión es cuando el rayo de luz incidente cambia de dirección al encontrar a un medio de índice diferente, de esta manera el rayo retorna a su medio original como se indica en la figura 11.

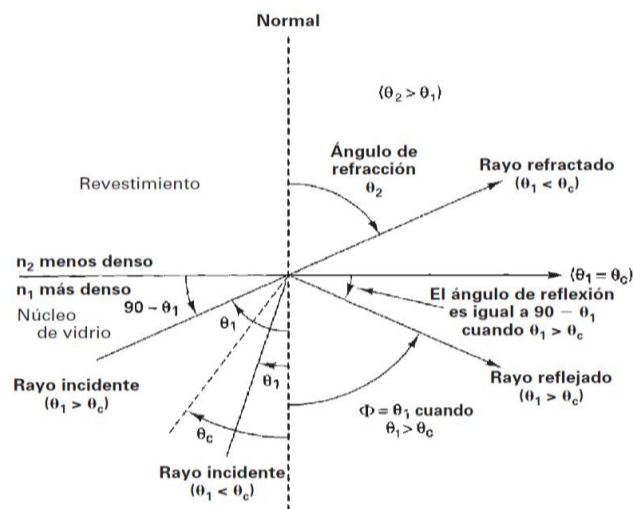


Figura 11.- Ángulo de reflexión (Tomasi, W. 2003)

Por consiguiente se produce reflexión total, en donde los ángulos:

$$\theta_1 = \theta_2 \quad \text{(Ecuación. 8)}$$

Donde:

- θ_1 : Ángulo de incidencia.
- θ_2 : Ángulo de reflexión.

2.1.18.- Tipos de fibras ópticas

Las fibras ópticas se clasifican según su modo de propagación en el medio guiado, se clasifican en dos grupos: fibras mono modo y fibras multimodal.

2.1.18.1.- Fibras ópticas mono modo.

En este tipo de fibras mono modo tiene un solo tipo de trayectoria el rayo de luz.

Las fibras mono modo son las que en la actualidad ofrecen mayores rangos de velocidad y distancia, debido a que estas envían un único rayo de luz, el cual viaja en línea recta en el núcleo de la fibra con una dispersión cromática mínima, en las curvaturas es ineludible encontrar este efecto.

2.1.18.2.- Fibras ópticas mono modo de índice escalonado

Este tipo de fibra está constituido por un núcleo pequeño de 7 μ m a 10 μ m, de manera que esencialmente solo hay un camino para la propagación de la luz, tiene una mínima dispersión cromática, ya que todos los haces de luz que se propagan siguen el mismo camino, por lo tanto se tardan el mismo tiempo en llegar al receptor de la señal. Este tipo de índice resulta con un mayor ancho de banda que la multimodal. En la figura 12, se observa el modo de propagación de la señal de este tipo de índice escalonado.

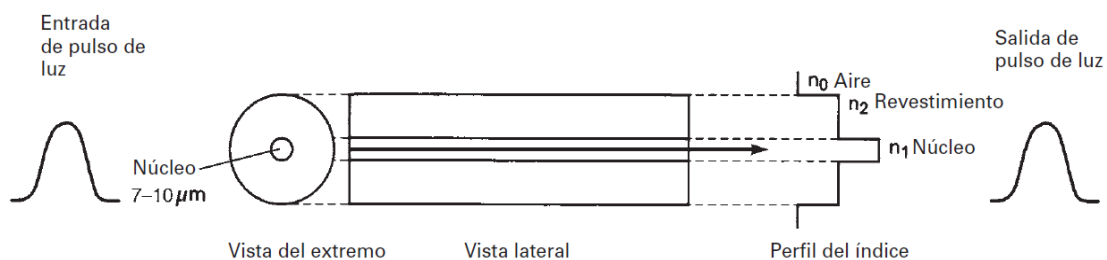


Figura 12.- Propagación de fibra monomodo (Tomasi, 2003)

2.1.18.3.- Fibras ópticas multimodal

En la terminología de fibras ópticas, si hay más de una trayectoria, se llama modo múltiple o multimodal.

2.1.18.4.- Fibra multimodal de índice escalonado

La fibra multimodal de índice escalonado como se indica en la figura 13, propaga varias señales luminosas a través del núcleo de fibra óptica, los mismos que tienen diferentes ángulos de reflexión y diferentes velocidades, por lo que resulta que las señales se desfasen y al momento de llegar al receptor los hagan en diferentes tiempos.

Esto provoca que aumente la dispersión y exista un ancho de banda muy bajo, debido a la alta dispersión modal que afecta a este tipo de fibra están son utilizadas en redes de distancias cortas, hasta máximo 2 km.

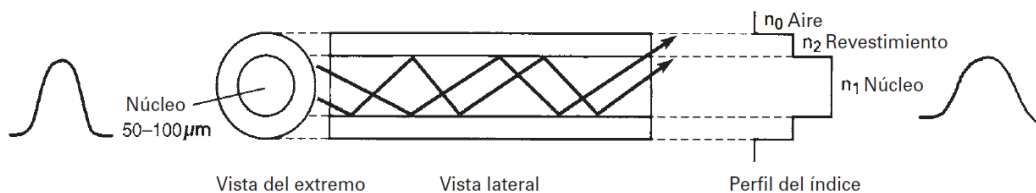


Figura 13.- Propagación de la fibra multimodal de índice escalonado (Tomasi, 2003)

2.1.18.5.- Fibra multimodal de índice gradual

La fibra óptica de índice gradual, propaga las señales luminosas de dos formas distintas; las de cortas distancias lo realizan con velocidades bajas, mientras que las señales con un ángulo crítico pueden recorrer distancias muy largas y con una velocidad más alta, esto ayuda a que el desfase entre ellas, se elimine y así las señales de luz llegarán al mismo instante de tiempo al receptor, como se puede apreciar en la figura 14, Este tipo de fibra son utilizadas en enlaces de hasta 10 km de distancia.

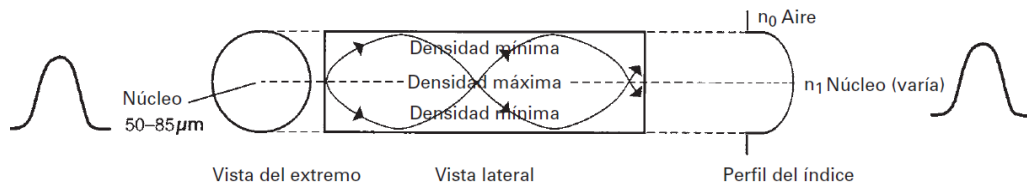


Figura 14.- Propagación de la fibra multimodal de índice gradual (Tomasi, 2003)

2.1.18.6.- Pérdidas en la fibra óptica

A las pérdidas de transmisión por fibra óptica también se las conoce como atenuación, que es la pérdida de potencia de la señal de información cuando esta tiene que recorrer largas distancias. Esta expresada en decibelios (dB), es relacionada directamente con la distancia que recorre.

Esta atenuación que sufre la información en la fibra óptica se la puede expresar con la siguiente fórmula:

$$A(dB) = 10 \log \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \quad \text{(Ecuación. 9)}$$

En la cual:

- **A (dB):** Reducción total de potencia (atenuación).
- **Psal:** Potencia de salida del cable (watts.)
- **Pent:** Potencia de entrada al cable (watts).

2.1.19- Componentes de la fibra óptica

El cable de fibra es un medio de transmisión, compuesto por filamentos de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio) de alta pureza mezclados con elementos específicos que pueden ser óxidos de metales de tal manera que en su fabricación se logre obtener el índice de refracción deseado. Para emitir los haces de luz se utiliza fuentes láser las cuales transforman la energía eléctrica en óptica, también se usan fuentes Led, que son diodos semiconductores que al polarizarse directamente emiten luz. En la figura 15 se aprecia un cable de fibra con sus respectivos hilos.



Figura 15.- fibra óptica (Catálogo de fibra óptica ICOM 2014).

Un cable de fibra óptica está constituido por las siguientes partes:

- El núcleo.

- El revestimiento.
- La cubierta.

2.1.19.1.- Estructura física

De forma general, un cable mono modo de fibra óptica se compone de tres elementos, como se aprecia en la figura 16 los mismos que se describen a continuación:

- **Núcleo:** Sección de un filamento en el centro de cable, este puede ser de diferentes diámetros. Se fabrican de varios tipos de materiales translucidos como vidrio y plástico, los mismos que permiten la propagación del rayo lumínico.

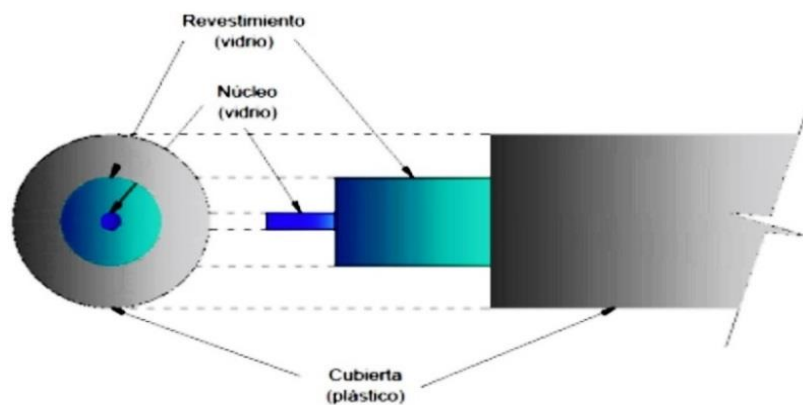


Figura 16.- Estructura del cable de fibra óptica (Addison, 1998).

- **Revestimiento:** Es la capa que protege al núcleo. Esta se fabrica de un material translucido, diferente al material del que está hecho el núcleo. Para que exista la propagación de la luz al interior de la fibra se requiere que el índice de refracción del revestimiento sea mucho menor que del núcleo.
- **Cubierta:** Es la capa ubicada al exterior de todo el cable. Está formado de poliuretano adherido al revestimiento, su función es proteger físicamente a la fibra de esfuerzos mecánicos. En esta capa los fabricantes ponen diferentes materiales para ser usadas en interiores o exteriores.

2.1.20.- Atenuadores de fibra óptica

Los atenuadores de fibra óptica son utilizados en los sistemas de comunicación con el fin de reducir la potencia óptica recibida en los receptores, están formados por componentes de alta precisión que mitigan de una forma precisa una zona de la longitud de onda.

Características del atenuador:

- Su atenuación es precisa.
- El factor de reflexión fiable.
- Es funcional con varias longitudes de onda.
- Están disponibles con conectores SC, FC, LC, E2000.

2.1.20.1.- Conector LC

El conector *little conector* (LC) que significa conector pequeño, el mismo que es muy sofisticado, usado en Trascervers que significa transceptores que son dispositivos electrónicos que están formados de un transmisor y receptor los que comparten la circuitería común o es decir un único alojamiento para los mismos. También se usa en equipos electrónicos de alta densidad de datos, en la Figura 17, se aprecia este tipo de atenuador.



Figura 17.- Conector LC (Catálogo de atenuadores Optronix, 2017).

2.1.20.2.- Conector FC

El conector *Ferule Connector* (FC), es un tipo de conector con una férula de cerámica de 2.5mm que consta con un sistema de rosca. Utilizado para reducir la amplitud de la señal luminosa mientras atraviesa mencionado atenuador. Los conectores FC están disponibles

para fibra multimodal y mono modo, pero son mayormente utilizados en aplicaciones mono modo y en redes de alta velocidad.

Su principal uso es en entornos de espacio de alta vibración debido a su sistema de rosca. Tiene una pérdida por inserción de 0.3dB. Su apariencia física se la puede observar en la Figura 18.



Figura 18.- Conector FC (Catálogo de atenuadores Optronix, 2017).

2.1.20.3.- Conector E2000

El conector de fibra óptica E2000 posee un tipo de mecanismo de acoplamiento push-pull, (empujar y halar), con un obturador de metal automático en el conector y en el adaptador como protección contra el polvo y controlar el haz de luz. Es un diseño con lo que se obtiene una pieza versátil de fácil conexión, la misma que se utiliza para aplicaciones de alta potencia de alta seguridad. Su apariencia física se la puede observar en la Figura 19.



Figura 19.- Conector E2000 (Catálogo de atenuadores Optronix, 2017).

2.1.20.4.- Bastidor de distribución óptico ODF

El *Optical Distribution Frame* (ODF) es el marco o rack de distribución de fibra óptica más popular y completa que se utiliza para aumentar la fiabilidad y flexibilidad de la red de fibra óptica, durante toda su instalación y mantenimiento. Este se presenta en diversos tipos y números de puertos utilizados para redes de fibra óptica ya que en este se logra organizar las conexiones de los enlaces que se tenga. Su apariencia física se la puede observar en la Figura 20.

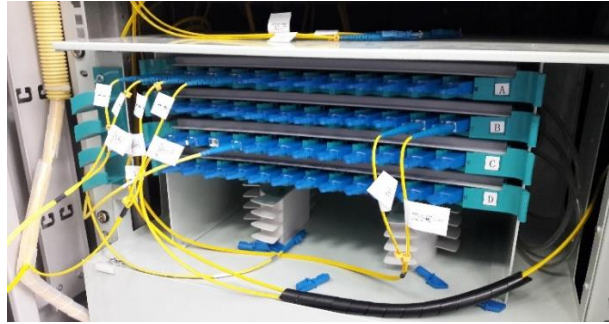


Figura 20.- ODF (Catálogo de atenuadores Optronix, 2017).

2.1.21.- Tipo de tendido de la fibra Óptica

Los tipos de tendido de fibra óptica existentes son por parte aérea y subterráneo, para llevar acabo el tendido del enlace de comunicación se debe considerar los costos y la infraestructura a ser utilizada, y de esta manera se adapte al diseño del enlace de comunicación requerido.

Las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la TL.35 que trata sobre la instalación de cables de fibra óptica, en cada tipo de tendidos tienen las siguientes recomendaciones:

Tendido Aéreo

- Distancia media entre postes 25-80 metros (UIT L-35).
- Distancia máxima entre postes 50-200 metros (UIT L-35).
- En los puntos de empalme longitud sobrante es de 0.8 – 10 metros (UIT L-35).
- Recomienda tener cuidado con los esfuerzos mecánicos y también con condiciones ambientales.


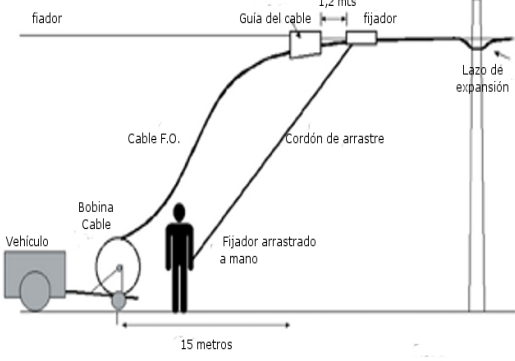
Tendido Subterráneo

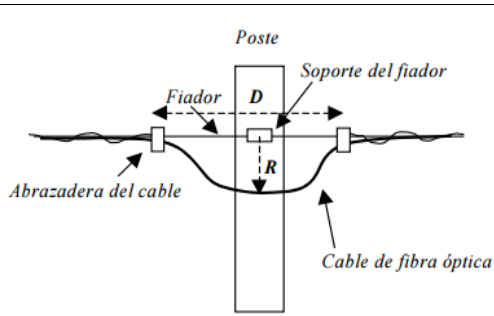
- Se realiza instalación de ductos con la profundidad de acuerdo al estudio del suelo comúnmente de 1.20 mts (UIT L-35).
- Numero de cajas de empalme por kilómetro hasta 30.
- Diámetro interno del conducto: 27-125 mm (UIT L-35).
- Material del subconducto: poli cloruro de vinilo (PVC) y polietileno (PE).
- Diámetro interno de los subconductos: 14-44 mm.

2.1.22.- Tendido de fibra óptica

Para realizar un tendido aéreo de fibra óptica se debe considerar diversos aspectos tales como los que se detalla en la Tabla 4, a continuación.

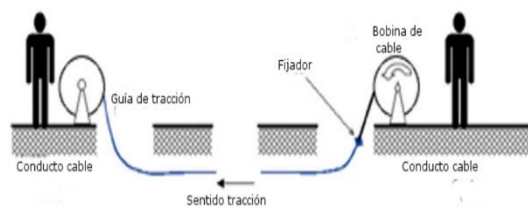
Tabla 4.- Aspectos de tendido de fibras ópticas (Catálogo Commscope, 2017).

ASPECTOS A CONSIDERAR	DETALLE
 <p>Carrete de Fibra óptica (Commscope, 2017)</p>	<p>El carrete de fibra óptica en el cual viene enrollado la fibra debidamente protegida tiene una variedad de longitudes que son de 4,5,15, hasta los 20 Kilómetros, pero el más comercializado en el mercado es el de 4 Kilómetros, este mismo se ocupará para cálculos respectivos de este presente proyecto más adelante.</p>
 <p>Tendido de la fibra aérea (Addison, 1998)</p>	<p>Situar la bobina al poste que se va iniciar, se acordona el cable de fibra a un fiador de acero, esto se lleva acabo con una guía de cable y un fijador manual el cual es arrastrado, considerar siempre la distancia de 15 metros del carrete al fijador.</p>



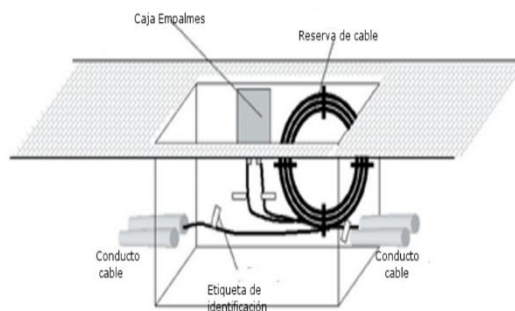
Fijación del cable de fibra (Addison, 1998)

La fijación de la fibra se realizará con herrajes y abrazaderas, se debe tener presente el radio de curvatura el que se dejará vueltas completas o curvas con el fin de prevenir daños futuros por la dilatación del fiador de acero.



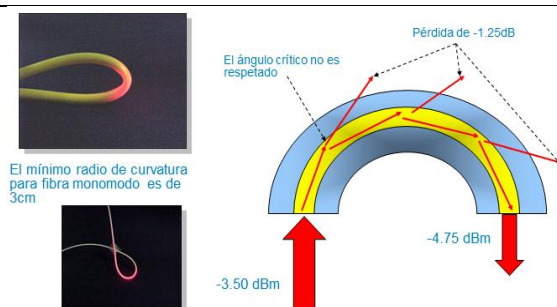
Tendido de la fibra subterráneo (Addison, 1998)

Para este tendido se debe preparar identificar los ductos a ser utilizados, colocar el carrete en soportes adecuados, que faciliten el tendido del cable, esto se realiza con una guía de tracción.




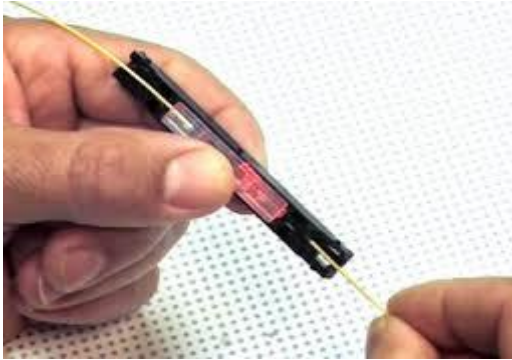
Caja de empalmes (Commscope, 2017).

En las arquetas se realiza la verificación del cable, en la misma se tiene la caja de empalmes y donde se realiza la reserva adecuada del cable, se toma en cuenta los radios máximos de curvatura del cable.



Radio Mínimo de Curvatura (Commscope, 2017).

Se debe tener en cuenta que el radio mínimo de curvatura de la fibra óptica mono modo es de 3 centímetros, caso se excediera dicho radio se produce una atenuación de la señal en la fibra óptica.

 <p>Caja de empalmes (Commscope, 2017).</p>	<p>Se realiza un cálculo matemático para saber la cantidad de cajas de empalme expresada de la siguiente manera:</p> $Nem = \frac{dt}{Lc}$ <p>Donde: Nem: La cantidad de cajas de empalme. dt: Distancia del enlace de fibra. Lc: La longitud de carrete de fibra.</p>
 <p>Cantidad de empalmes (Commscope, 2017).</p>	<p>Para determinar el número de empalmes a realizar en el enlace se lo calcula de la siguiente manera:</p> $Ne = Nme + 2$ <p>Donde: Ne: El número de empalme. Nme: Cantidad de cajas de empalme.</p>

Adicionalmente se debe tener en cuenta todas las normas de seguridad para realizar cualquier tipo de actividad, para lo cual se debe utilizar el respectivo equipo de protección personal que cumplan con las normas del Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI), lo que garantiza minimizar accidentes de trabajo durante el desempeño de las actividades.

2.1.23- Teoría de Cálculos Ópticos

2.1.23.1.- Pérdidas producidas en la FO

La pérdida producida por la fibra óptica, se las obtiene de acuerdo al a característica de la fibra a utilizar y con el siguiente cálculo:

$$P_{f_o} = l \times \alpha_{f_o} \quad \text{(Ecuación. 10)}$$

Donde:

- P_{f_o} : Pérdidas de la fibra óptica.
- l : Es la distancia del enlace, esto viene dado en km.
- α_{f_o} : Es el coeficiente de atenuación, esto viene dado en dB/km.

2.1.23.2.- Pérdidas producidas en los empalmes

Las pérdidas producidas por empalmes se clasifican según el tipo de empalme entre los cuales tenemos:

Empalme por Fusión.- Este tipo de empalme se lo realiza con una fusionadora especial, la cual alinea los dos cables a ser unidos y los funde, la atenuación producida por este tipo de empalme es menor de 0.1 dB.

Empalme por acción mecánica.- En este tipo de empalmes se utiliza uniones circulares de una longitud aproximada de 6 cm, los cuales son adheridos a los hilos de fibra que deben estar debidamente alineados y se recubre con una protección termo contraíble.

Para lo cual se calculará con la ecuación 11, las pérdidas de la siguiente manera:

$$P_{em} = N_{em} \times \alpha_{em} \quad \text{(Ecuación. 11)}$$

Donde:

- P_{em} : Pérdida producida por empalme.
- N_{em} : Número de empalmes existentes.

- α_{em} : Coeficiente de atenuación en el empalme.

2.1.23.3.- Pérdidas producidas en los conectores

Los conectores a utilizarse en el enlace de comunicaciones producen una atenuación que esta estandarizada en un valor promedio de 0.3 dB por cada uno de ellos el cual se calculará con la ecuación 12, de la siguiente manera:

$$P_{cn} = N_{co} \times \alpha_{co} \quad \text{(Ecuación. 12)}$$

Donde:

- P_{cn} : Pérdida producida por el conector.
- N_{co} : Número de conectores existentes.
- α_{co} : Coeficiente de atenuación en el conector.

2.1.23.4.- Margen del enlace

Se lo puede calcular con la ecuación 13, mostrada a continuación:

$$M_{enl} = L_{enl} \times Atn_{rev} \quad \text{(Ecuacion. 13)}$$

Donde:

- M_{enl} : Margen del enlace.
- L_{enl} : Longitud del enlace.
- Atn_{rev} : Atenuación de reserva.

2.1.23.5.- Margen de diseño

El margen de diseño se calcula con la ecuación 14, mediante la diferencia entre el valor de la potencia de entrada y la sensibilidad del equipo.

$$M_{ds} = P_{ent} - \text{Sensibilidad}. \quad \text{(Ecuación. 14)}$$

Donde:

- M_{ds} : Margen de diseño.
- P_{ent} : Potencia de entrada al equipo.
- **Sensibilidad**: Característica propia del equipo.

2.1.23.6.- Potencia del receptor

La potencia máxima admisible para el enlace de comunicaciones, se calculará utilizando la ecuación 15:

$$P_{ent} = P_{tx} - A_{to} \quad \text{(Ecuación. 15)}$$

Donde:

- P_{ent} : Potencia de entrada al receptor del enlace.
- P_{tx} : Potencia del transmisor del enlace.
- A_{to} : Atenuación total de enlace

2.1.24.- Multiplexación

Uno de los aspectos más importantes en el área de la comunicación de datos es el uso eficiente de las líneas de telecomunicaciones con alta velocidad. La multiplexación consiste en la transmisión simultánea de múltiples señales analógicas o digitales por un solo canal de transmisión. En la figura 21, se muestra el sistema de funcionamiento de la técnica de multiplexación descrita anteriormente.



Figura 21.- Técnica de multiplexación (Hernández, 2010)

2.1.24.1.- Multiplexación por división en frecuencia (FDM)

Este tipo de multiplexación se puede usar con señales analógicas, de modo que se transmiten varias señales a través del mismo medio gracias a la asignación de una banda de frecuencia diferente para cada señal.

El equipamiento de modulación es preciso para desplazar cada señal a la banda de frecuencia requerida, esto es por su parte necesario y los equipos de multiplexación, cambian las señales moduladas, como se puede apreciar en la Figura 22.

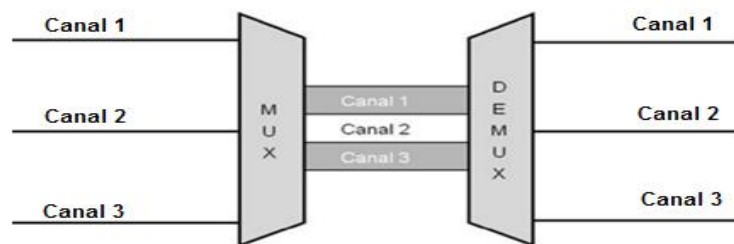


Figura 22.- Técnica de multiplexación FDM (Forouzan, 2008).

2.1.24.2.- Multiplexación por división en el tiempo síncrona (TDM)

La multiplexación por división en el tiempo es un proceso digital, es decir que multiplexa señales o canales digitales, el envío de la información es en ranuras de tiempo, esta mencionada ranura utiliza la totalidad del ancho de banda como se puede indicar en la Figura 23.

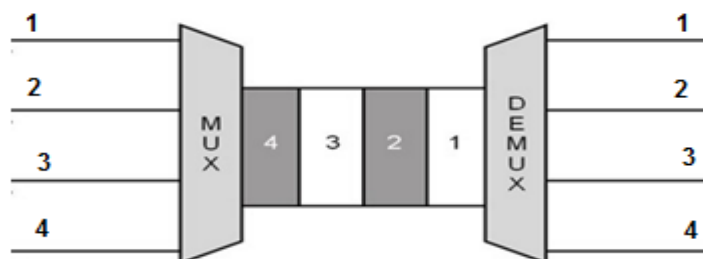


Figura 23.- Técnica de multiplexación TDM (Forouzan, 2008).

En este tipo de multiplexación TDM se puede tener:

TDM síncrona, esto sucede cuando el multiplexor asigna siempre la misma ranura de tiempo a un dispositivo electrónico, esto lo realiza en el momento que tiene información que transmitir, o si no la tiene también la transfiere. Las ranuras de tiempo ya se encuentran asignadas y son fijas al transmitir la información, cuando un dispositivo electrónico no envía sus datos, la ranura de tiempo correspondiente estará vacía, con lo que se desperdicia la capacidad del enlace de comunicación. En la Figura 24, se puede observar la multiplexación y demultiplexación de este tipo.

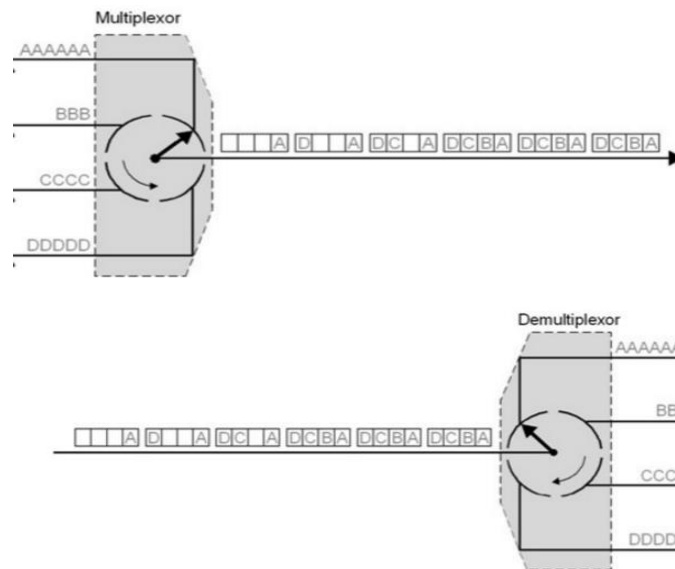


Figura 24.- Técnica de multiplexación TDM Síncrona (Forouzan, 2008).

TDM asíncrona en este tipo de multiplexación no hay una asignación fija, y permite transmitir, en este caso la trama de datos debe incorporar una dirección para ser identificado y saber a qué dispositivo electrónico de entrada pertenece. En este tipo de multiplexación cada ranura está disponible a recibir la información de cualquier dispositivo electrónico a la entrada, y de esta manera envía los datos que tengan información. En la Figura 25, se puede apreciar que solo cuatro líneas envían datos y como toda la trama va ocupándose (Stallings, W. 2003, p. 102).

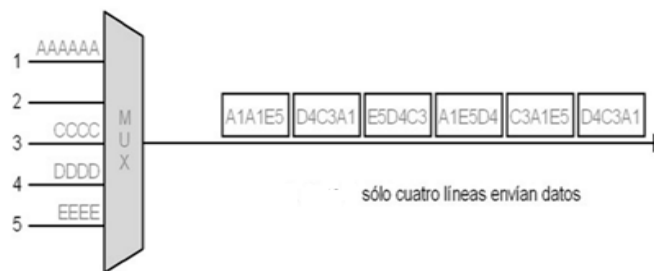


Figura 25.- Técnica de multiplexación TDM Asíncrona (Forouzan, 2008)

Ventajas de TDM.

- La capacidad de instalación es alta.
- Utiliza un solo enlace de transmisión.

Desventajas de TDM.

- Su sensibilidad de anomalías es alta.
- Ruido en comunicación análoga.

2.1.25.- Tecnología SDH y PDH

Las tecnologías *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) y *Plesiochronous Digital Hierarchy* (PDH), se iniciaron con sus primeras aplicaciones desde los años 60 para el servicio en el área de telecomunicaciones, desde ahí mencionadas tecnologías han ido evolucionado con el tiempo.

2.1.25.1.- Tecnología PDH

Esta clase de tecnología es conocida como jerarquía digital ple-sincrónica, fue creada en los años 60, para el campo de las telecomunicaciones, este tipo de tecnología permite enviar datos por un mismo medio posee un patrón jerárquico que se desarrolló con el fin de reducir costos y aumentar velocidades de transmisión en la información o datos.

El aspecto más importante en los sistemas de comunicación digital, es el sincronismo, con la tecnología PDH todos los dispositivos de una red se encuentran sincronizados a pesar que existe más de una señal de información.

Esta tecnología cuenta con tres tipos de jerarquía Europea, Americana y Japonesa. Estas se basan en la multiplexación de canales de 64 kbps, con lo que se obtiene, de acuerdo con la jerarquía a utilizar, diferentes velocidades de transmisión.

En la Tabla 5, se observa las diferentes jerarquías de acuerdo al nivel de multiplexación.

Tabla 5.- Jerarquía PDH (Fernández, 2014)

Jerarquía Japonesa	# Circ.	Mbps	Jerarquía Europa	# Circ.	Mbps	Jerarquía Americana	# Circ.	Mbps
J1	24	1.54	E1	30	2.05	T1	24	1.54
J2	96	6.31	E2	120	8.44	T2	96	6.3
J3	480	32.06	E3	480	34.37	T3	672	44.74
J4	1440	97.73	E4	1920	139.26	T4	2016	274.18

2.1.25.2.- Tecnología SHD

Como consecuencia de la demanda del usuario por un mayor ancho de banda y un sistema de transmisión mucho más versátil, esta tecnología se da mayor difusión con la fibra óptica como su medio de transmisión, y de esta manera reemplazar a la tecnología PDH, por sus sobresalientes características de transmitir la información.

Al SHD se lo define como jerarquía digital síncrona, es un protocolo de transmisión, que está basado en una referencia temporal común que se lo denomina reloj primario, este multiplexa, varias señales dentro de una misma jerarquía y envía la información a través de la fibra óptica, esto permite el transporte de voz, video, multimedia, datos, para lo cual se realiza la gestión del ancho de banda necesario para cada tipo de tráfico en la fibra óptica.

La tecnología SDH, trabaja con una estructura básica STM-1 (Módulo de Transporte Síncrono nivel 1) en la cual la señal transmitida tiene una duración de $125\mu\text{s}$ es decir que se repite 8000 veces en un segundo y corresponde a una matriz de 9 filas y 270 columnas cuyos elementos son octetos de 8 bits. En la gráfica 26, se puede apreciar la estructura de multiplexación SDH.

Un contenedor virtual o VC-n (Virtual Container) es el conjunto de un contenedor y la tara de trayecto. El VC es la entidad de carga útil que viaja sin cambios a lo largo de la

red. El siguiente paso para formar la señal STM-N completa, consiste en añadir un puntero en una posición fija de esta forma se dará el comienzo del VC dentro de la trama.

Después, se realiza un simple proceso de multiplexación por entrelazado de byte de un conjunto de TUs, se obtiene una estructura denominada grupo de unidades tributarias o TUG-n (Tributary Units Group).

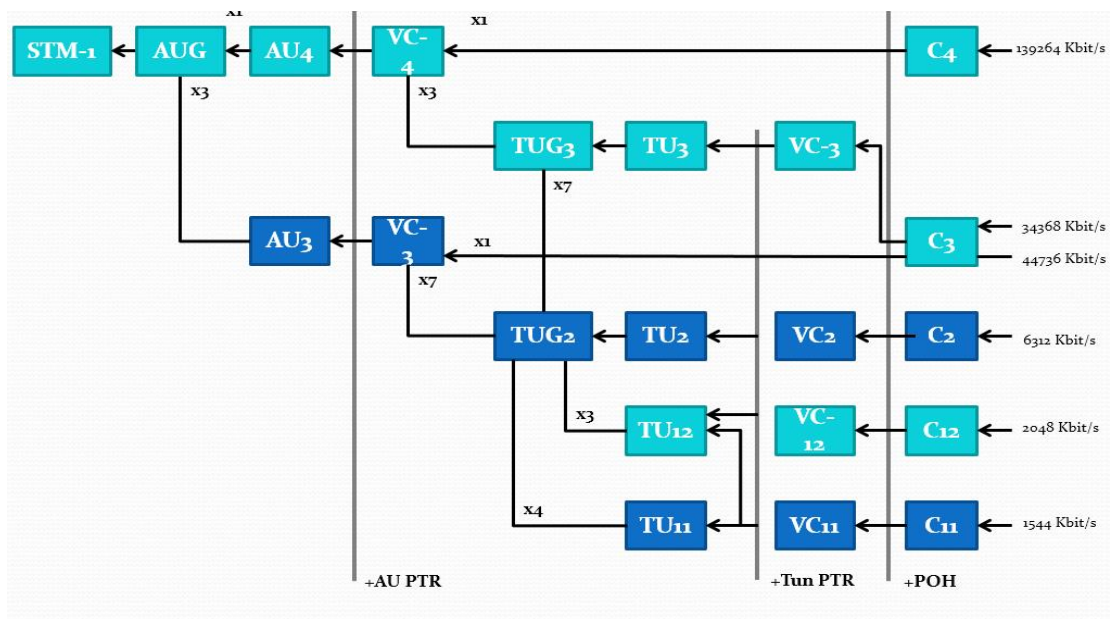


Figura 26.- Mapeo STM-1 (Ares, 2000).

Ventajas de la tecnología SDH.

- SDH permite transmitir todas las jerarquías digitales existentes.
- Se tienen 3 jerarquías PDH en Europa, Latinoamérica y Japón. Cualquier tipo de estas velocidades puede ser transportada en la carga útil de la trama STM-1 a 155 Mb/s.
- La trama básica del SDH es la STM-1 que significa Modulo de transporte síncrono nivel, que posee una velocidad de transmisión de 155 Mbps.

Como también:

STM-4 a 622.08 Mbps.

STM-16 a 2488.32 Mbps.

STM-64 a 9953.28 Mbps.

- Simple multiplexación.
- Interfaces ópticos.

- Puertos de alta capacidad.
- Velocidad de transmisión alta.
- Capacidad de transmisión alta.

Desventajas de la tecnología SDH.

- Estructura compleja
- Con la adaptación a la comunicación Ethernet, causa los desperdicios de canales de transmisión.

2.1.26.- Software OptiSystem

El *software* Optisystem es un producto desarrollado por la compañía Optiware permite probar la factibilidad y simular un diseño de comunicaciones mediante fibra óptica, a lo que se debe aplicar ciertas características y parámetros específicos de cada diseño.

Este posee una amplia librería de componentes para el diseño y simulación, los requerimientos de la instalación de este *software* se detallan en la tabla 6.

Tabla 6.- Requerimientos de instalación (Catalogo Optisystem, 2017)

Sistema Operativo	Procesador	Espacio de memoria [MB]	RAM utilizada [MB]
Windows 32-bit XP/Vista/7	Intel Pentium III	350	512
Windows 64-bit XP/Vista/8	Intel Dual Core,i5,i7,Intel Xeon	350	1024

Este *software* posee una interfaz gráfica amigable para el usuario al momento de realizar proyectos de diseño ya sea estos redes punto a punto, anillos, con fibra óptica la presentación se la observa en la Figura 27.

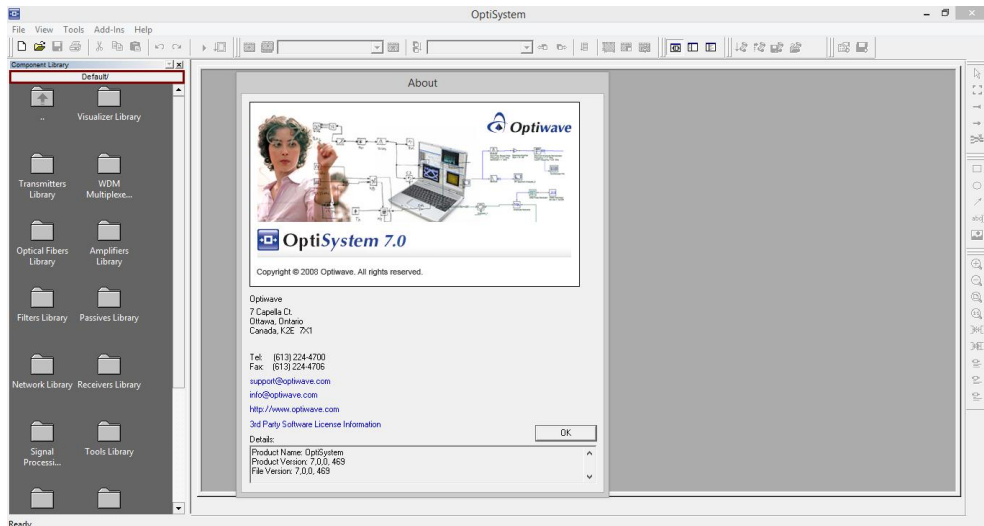


Figura 27. - *Software Optisystem (Optisystem, 2017).*

2.1.26.1.- Interfaz de Optisystem 7.0

Para ingresar a la interfaz del *software* Optisystem 7.0, una vez que se encuentra correctamente instalado en el computador, se ingresa al menú de Windows y se busca el programa de diseño nombrado, dar clic en el mismo, y se abrirá la interface mostrada en la Figura 28.

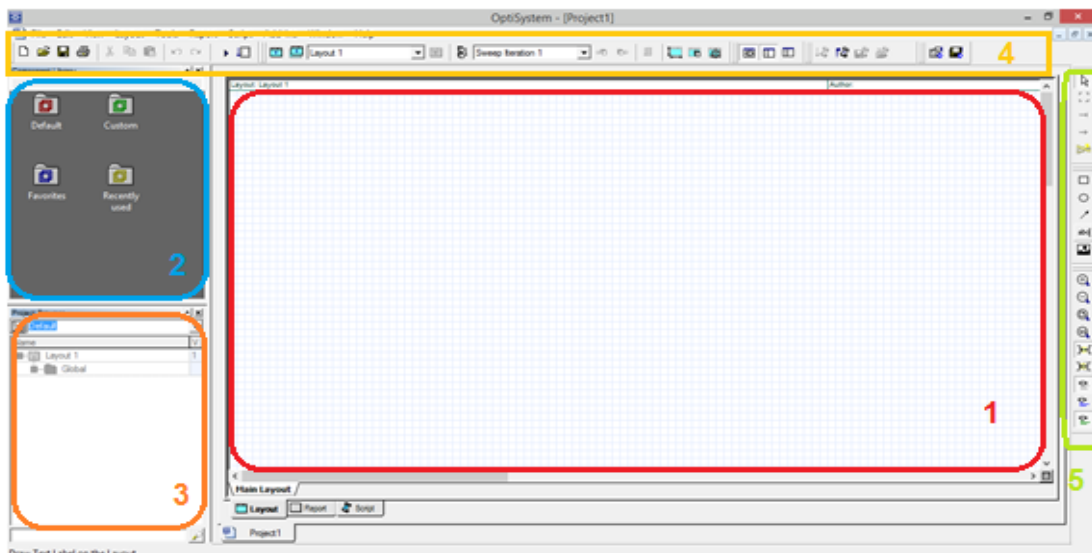


Figura 28. - *Interface software Optisystem 7.0 (Optisystem, 2017).*

En la ventana principal que se indica en la Figura28, se puede observar que está conformada por 4 secciones, las mismas que son:

1.- Zona de trabajo.- En donde se realiza el esquema de diseño.

2.- Biblioteca.- Donde se encuentra toda la galería de componentes para utilizar en el diseño.

3.- Projet browser.- Es la pantalla donde se recoge todos los cálculos que se realiza en la simulación del enlace.

4.- Barra de menú.- En donde se alojan iconos para guardar archivar.

5.- Barra de herramientas.- Es una barra donde se encuentran iconos de herramientas útiles para elaborar el diseño.

En el icono View que se encuentra en la barra de menú, se ejecuta la opción donde se puede activar o desactivar cualquier ventana de herramientas.

La consideración para realizar el enlace de comunicaciones ópticas es la velocidad de la señal de la información la cual está dada en símbolos por unidad de tiempo, también conocida como tasa de símbolo, velocidad de modulación.

Se puede verificar la potencia de la señal con la que llega al dispositivo, como también la ganancia, ruido y otros parámetros.

Para esto se debe construir la parte de transmisión del enlace, el conjunto transmisor está compuesto por:

- Láser.
- Generador de bits.
- Generador de pulsos eléctricos.
- Modulador.

Los elementos descritos se encuentran en los iconos del área de biblioteca de la interfaz del *software*.

2.1.26.2.- Analizadores del Software Optisystem

- **Optical Spectrum Analyzer.-** Es un analizador de espectros ópticos, este facilita la lectura de señales en el rango de radiofrecuencia, muestra la potencia pico expresada en dBm, Este tipo de componente permite indicar las señales ópticas en el dominio de la frecuencia. , el icono que representa este componente se lo aprecia en la Figura 29.

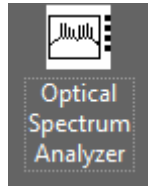


Figura 29. - Optical Spectrum Analyzer (Oftisystem, 2017)

- **Optical Time Domain Visualizer.-** Es un reflectómetro en el dominio del tiempo óptico (OTDR), este instrumento envía una serie de pulsos de luz a través de la fibra óptica, y mide las reflexiones en el cable, con lo que se logra diagnosticar la condición de la fibra óptica, el icono que representa este componente se lo muestra en la Figura 30.

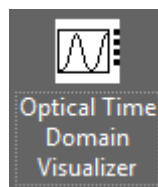


Figura 30. - OTDR (Oftisystem, 2017)

- **Optical Power Meter.-** Es un medidor de potencia óptica, este elemento permite leer la potencia de cada dispositivo del enlace de comunicaciones, el icono que representa este componente se lo indica el la Figura 31.

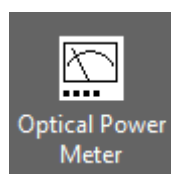


Figura 31. - Optical Power Meter (Oftisystem, 2017)

- **BER Analyzer.-** Es un visualizador de la tasa de bit errado (BER), es la proporción de los bits errados, respecto al número de bits transmitidos, si se tiene un bit errado por cada millón de bits transmitidos, la base de BER será 1×10^{-6} . El icono que representa este componente se lo aprecia en la Figura 32.

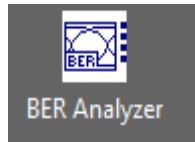


Figura 32.- BER Analyzer (Oftisystem, 2017)

- **Oscilloscope Visualizer.-** Es un osciloscopio en donde se puede representar el tipo de onda de los elementos fuentes, se puede decir que se lo utiliza como un voltímetro. El icono que representa este componente se lo puede ver en la Figura 33.



Figura 33.- Oscilloscope analizar (Oftisystem, 2017)

Los dos últimos componentes se los encuentra en la subcarpeta **Electrical**, la misma que se detalló al inicio su acceso.

2.1.27.- Siemens SWT 3000

El STW 3000 es un equipo de transmisión de señales de protección, se lo puede observar en la Figura 34. Al combinar un relé de protección a distancia con el sistema de tele protección mencionada, se logrará identificar las averías que se produzcan en la red de alta tensión, aislarlas y repararlas con rapidez de esta forma se ofrece una alta seguridad con un mínimo de periodos de corte en el suministro de energía eléctrica.



Figura 34.- STW 3000 (Catalogo STW3000, 2017)

Aspectos destacados:

- Modo de transmisión analógica o digital.
- Fuente de alimentación redundante.
- Comandos binarios 4/8.
- Comunicación digital configurable, 64 kbps(x21 o G703.1)
- Interface fibra óptica
- Grandes distancias (SM, 1550 nm).
- Cortas distancias (SM, 1310 nm).
- Cortas distancias (MM, 850 nm).
- Transmisión digital.

El equipo tiene el siguiente tipo de conexiones en la Figura 35, se observa la conexión directa mediante FO.

- Conexión redundante por F.O. directa y F.O. de la Tele protección SWT 3000 a través de multiplexor.
- Conexión entre SWT 3000 y multiplexores. Respectivamente.

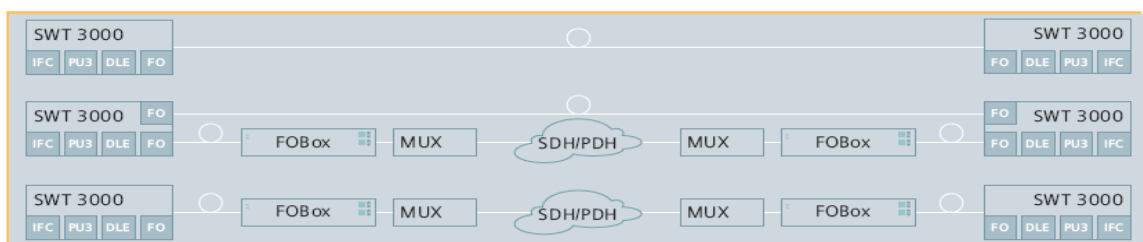


Figura 35.- Conexiones STW 3000 (Catalogo STW3000, 2017)

2.1.28.- Normas de la UIT

La UIT es la Unión Internacional de Telecomunicaciones, es la entidad internacional que estandariza a las distintas clases de fibra óptica, consta de una lista de recomendaciones para los medios de transmisión digitales, en la cual se describe los parámetros técnicos de funcionamiento (ITU Telecom world 2017).

- **Norma ITU-T G.651.1.** Esta norma reemplaza a la ITU-T G651 en el año 2008, la misma que sugiere ser utilizada para redes en edificios, donde se utiliza una fibra multimodal de índice gradual, con eje central de 50 μm y un revestimiento de 152 μm , la característica de esta fibra que puede transmitir a la velocidad de 1 Gbps, a 850 nm, con una distancia máxima entre transmisor y receptor de 560 m.
- **Norma ITU-T G.652.** Esta norma especifica los parámetros de una fibra mono modo, la cual opera a una longitud de onda de 1310 nm, adicional también lo realiza con 1550 nm, donde se presenta una atenuación de 0,2 dB/km.
- **Norma ITU-T G.653.** Esta norma especifica los parámetros de una fibra mono modo, la cual trabaja a una longitud de onda de 1550 nm, presenta una dispersión cromática nula y una atenuación de 0.35 dB/km.
- **Norma ITU-T G.654.** Esta norma trata de una fibra fabricada con silicio puro, trabaja a una longitud de onda de 1550 nm, su atenuación es de 0.19 dB/km, su costo es elevado.
- **Norma ITU-T G.655.** La característica de esta fibra que tiene rangos de operación que son de 1530 nm – 1565 nm, en la banda de 1550 nm, presenta una dispersión cromática mínima.
- **Norma ITU-T G.657.** La presente norma hace referencia a las fibras mono modo, las cuales son insensibles a la atenuación en curvaturas, estas se dividen en dos categorías de clase A y B, y la diferencia entre estas dos es el radio de curvatura.

2.2.- Marco Conceptual

Ancho de banda. Es la capacidad del canal de transmisión para transportar la información de un punto a otro, esto es representado en bits por segundo.

CENACE. Es el Centro Nacional de Control de Energía, que está encargada del manejo técnico, económico de la energía que suministra al país, con el control de SIN.

Fibra Óptica.- Está constituida por un filamento o filamentos que son de vidrio o plástico los cuales son materiales dieléctricos que permiten la transmisión de un extremo a otro, las señales luminosas a grandes distancias.

Fibra Mono modo. Este tipo de fibras permiten la transmisión de un solo haz de luz, por su núcleo y su característica es la de brindar grandes velocidades de transmisión.

Fibra Multimodal. Este tipo de fibra son las que permiten la transmisión de varios haces de luces, con lo que se reduce la velocidad de propagación.

Línea de transmisión. La línea de transmisión eléctrica es el conductor de la energía, en su mayoría conformado por un cable de aluminio ASCR 360 MCM de sección, que se encarga de transportar la energía producida a puntos estratégicos del SIN para el consumo de la misma.

Multiplexación. La multiplexación es la combinación de varias señales digitales o analógicas, que son transmitidas por un solo medio de comunicación.

Medios Guiados de Transmisión. Este tipo de medio es el que transporta la señal por un medio físico que es el cable de comunicación, por el cual se transmite la información.

Medios no Guiados de Transmisión. Este tipo de medios no utiliza un medio físico de transmisión, para enviar la información, esto lo realiza mediante antenas, donde el medio de transmisión es el espacio libre.

Normas ITU. La ITU es la Unión Internacional de Telecomunicaciones son normas y recomendaciones para implementación, mantenimiento de redes de telecomunicación.

ODF. El Fiber Distributor Optical, es un distribuidor utilizado para los enlaces de comunicación con fibra óptica con lo que se obtiene redes de fibra organizadas, flexibles y de ágil manipulación en caso de mantenimientos.

OTDR. Es un reflectómetro de dominio del tiempo óptico, es un equipo electrónico importante que se utiliza para verificar el rendimiento de nuevos enlaces de fibra óptica y detectar anomalías como corte del hilo de fibra, en enlaces existentes.

Plesiócrono. Este hace referencia a que las redes PDH (jerarquía digital plesiócrona), pueden transmitir varias señales por un solo medio, se lleva a cabo mediante la multiplexación por división de tiempo.

Pérdidas de fibra óptica. Es la atenuación que presenta la potencia de la señal de salida en un enlace de comunicación.

Refracción. La refracción es el cambio de dirección del haz de luz que se transmite en un medio a otro con lo que experimenta este cambio.

Reflexión. La reflexión es el cambio de dirección del haz de luz al encontrar un medio diferente al de incidencia, con lo que el haz de luz retorna al medio de incidencia.

Relé eléctrico. Dispositivo electromagnético que cuenta con varios contactos que tienen la función de energizar o desenergizar los circuitos eléctricos independientes, esto lo realiza al recibir una señal de activación.

Síncrono. La palabra síncrono se refiere a que varias operaciones estén debidamente programados para que estos ocurran en un tiempo determinado, en términos de Telecomunicación se refiere que la transmisión de datos necesita una señal de reloj en su sincronización.

Software de Simulación. Un *software* de comunicación es el conjunto de librerías de componentes, en este caso para enlaces de fibra óptica, el que permite probar la factibilidad y corroborar el diseño de una red.

Tele protección. La tele protección es uno de los recientes equipos, compuesto por tarjetas electrónicas y protocolos de comunicación que se utilizan para la detención de contingencias críticas en sistemas eléctricos de potencia.

SECCIÓN III

3.1.- Metodología

La central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair (CCS) actualmente tiene la capacidad de suministrar hasta 1500 MW con todas sus ocho unidades en funcionamiento, cada una de estas tiene la capacidad de 186 MW, por ese motivo es considerada la central de energía con más alta capacidad en el país. Esto se logra con la energía potencial del agua que es captada del río Coca, la cual es canalizada y enviada por una tubería de presión con una distancia de 24,8 km, hasta llegar a la obra de embalse donde se acumula el agua y es enviada por caída libre a 620 m, y es controlada por una válvula esférica, la misma que permite o bloquea la circulación de agua hacia el rodete tipo pelton, este moverá el rotor del generador de 24 polos, alimentado con 125 voltios de corriente directa (VDC), el cual conforma el campo magnético, con un movimiento sincrónico de 300 revoluciones por minuto (RPM), induce un voltaje en el estator que es un bobinado con conexión en estrella de cuatro ramales en paralelo con neutro, en el cual se inducirá 13,8 KV.

A la salida del generador las líneas ingresan a un interruptor de potencia *Breaker Circuit Cabinet* (GCB), que permite la circulación de la energía generada al banco de transformadores los mismos que elevan el voltaje a 500 KV, desde este punto sale al patio de maniobras donde se ejecuta el acoplamiento de la energía en alta tensión a la subestación San Rafael, que se conecta al anillo de la red eléctrica del SNI.

La central hidroeléctrica está expuesta a contingencias críticas en el SNI, que suscitan por cualquier eventualidad tanto en las líneas de transmisión, y subestaciones, por lo cual se tiene la necesidad de suprimir dichas contingencias. Por este motivo se generó una solución basada en aliviar la carga de energía mediante un enlace de comunicación, que logre la activación de protecciones eléctricas.

En el presente año 2017 la mencionada central, sufrió dos colapsos eléctricos, los cuales dieron como resultado el apagón total de las unidades, en plena generación, lo que ocasiona la pérdida de suministro de energía del sistema de servicios auxiliares de la central, esto compromete gravemente a su funcionamiento seguro, para este colapso eléctrico, los trabajadores encargados de la operación y mantenimiento, deben arrancar inmediatamente las unidades de generación diésel de emergencia, en cada una de las

localidades de la central donde se encuentren listas para proveer de energía alterna de emergencia, con lo que se minimizará las pérdidas y accidentes de consideración. Adicionalmente se debe encender la unidad de emergencia hidráulica o diésel, disponible en el arranque en negro, este es cuando la central no tiene energía. Esto presenta inconvenientes significativos tales como:

- El corte de servicio eléctrico provocará la interrupción de la iluminación interna de la central, por lo cual los operadores y personal de mantenimiento no pueden descubrir las fallas o defectos oportunamente y probablemente pueden ocurrir lesiones imprevistas en el personal por el motivo de iluminación insuficiente.
- Por la desconexión del servicio eléctrico, el sistema de drenaje no puede operar por largo tiempo y esto provoca la elevación del nivel de agua de pozos de drenaje hasta que exceda el rango permisible, lo que ocasiona la inundación de la casa de máquinas por el aumento de agua.
- La desconexión de la alimentación de los servicios auxiliares como; el sistema de corriente directa general, sistema de comunicación, sistema de protección y control todos estos pierden sus funciones de supervisión y comunicación a lo externo de la central.

Todo lo descrito anteriormente sucede, porque la central no cuenta con un sistema de tele protección, para alertar el momento de suscitar una contingencia eléctrica en el SNI, cuando ocurre una falla la corriente se eleva y retorna a la fuente de energía eléctrica, en este trayecto puede causar daños significativos a los elementos y dispositivos involucrados en las unidades de generación.

La coordinación de protecciones eléctricas que existen en la central, son para equipos eléctricos, tales como generadores, transformadores, en casa de máquinas y las tele protecciones existentes son entre subestaciones del SNI, por lo que se requiere diseñar un enlace de tele protección que comunique la subestación eléctrica San Rafael con las unidades de generación de la central hidroeléctrica.

Al analizar que medio físico es fiable para realizar el diseño y una futura implementación del enlace de comunicaciones ópticas se verificaron algunas alternativas como:

Realizar un enlace de comunicación mediante cable de cobre, uno de los mayores inconvenientes al utilizar este tipo de cable son las interferencias electromagnéticas por la distancia que de comunicación entre el emisor y receptor del diseño del enlace lo que no garantiza una adecuada comunicación entre equipos de protección.

- Un enlace de comunicación por microondas, es un medio no guiado que realiza la transferencia de información en el espacio libre, una de sus desventajas es el retardo en la comunicación y para el pretendido diseño se requiere garantizar la señales de disparo de protección en tiempo real.
- La fibra óptica es un medio guiado con el que se realiza el enlace de comunicaciones, tiene ventajas en relación a los otros medios como un ancho de banda, permite la transmisión de señales a gran velocidad, no posee interferencias electromagnéticas, por lo cual es la mejor opción para el diseño del enlace.

El presente diseño tiene una alta relevancia porque asegura la protección de las unidades en eventuales contingencias lo que conlleva a tener un servicio continuo y sin interrupciones de energía, en el momento de suscitar una de estas anomalías la tele protección que se ubicará en la subestación eléctrica San Rafael enviará una señal para activar un relé en casa de máquinas el cual permitirá la apertura del interruptor principal, de esta manera se logrará suprimir carga, esto significa dejar de entregar energía al sistema, y la unidad se queda en funcionamiento de modo no synch, con este tipo de maniobra se logrará equilibrar el sistema y no permitir que se produzca el apagón en la central.

Se considera factible el diseño del enlace de comunicación mediante fibra óptica, el mismo que debe satisfacer la transmisión de datos desde un equipo de tele protección STW3000, ubicado en la sala de comunicaciones de la Subestación San Rafael y el otro equipo STW 3000 en sala de relés de Casa de Máquinas de la Central Hidroeléctrica y para mayor accesibilidad al enlace por la ubicación geográfica de dichos puntos se tiene un ODF en sala de comunicaciones del Edificio de Control. Con la finalidad de garantizar la transmisión de la señal de aviso que realiza la apertura de la protección eléctrica respectivamente ubicada en un lugar de fácil acceso.

Para el presente proyecto se tomó en cuenta las pérdidas cuando suscita una anomalía, el suministro de energía está dado en kilovatios por hora (Kw/h), el momento que se deja de suministrar energía, la parte económica es cero o pérdida, para poder entender de mejor manera se hace la siguiente analogía si el Kw/h en el Ecuador está a 0.0933 centavos de acuerdo a la Concejo nacional de electricidad (CONELEC) y en el momento que suscita una falla la central está con una generación de 1200 Mw/h. El tiempo de restaurar el sistema eléctrico es aproximadamente de dos horas, matemáticamente se calcula el valor de la pérdida económica de generación:

$$\frac{1 \frac{Kw}{h}}{0.0933 \text{ Usd}} = \frac{1200000 \frac{Kw}{h}}{\text{Usd}}$$

$$\text{Usd} = 111960.00 \times 2 \text{ hrs.} = 223920.00 \$$$

Como se aprecia el resultado en dólares es una cantidad considerable que se pierde por no generar por ende en el diseño se considerarán equipos de primera gama, que garanticen la eficiencia requerida para este tipo de enlace de comunicación, como también de materiales, dispositivos y fibra óptica a ser utilizados, a esto se suma la instalación y mantenimiento que este tipo de enlace requiere.

Identificando la necesidad de diseñar un enlace de comunicaciones fiable que garantice la comunicación de forma rápida y segura, el presente proyecto se direcciona a utilizar lo último en tecnología de comunicaciones como es la fibra óptica y equipos de teleprotección de alta gama, los mismos que garantizarán la eficiencia de la comunicación a largas distancias.

3.2.- Propuesta

3.2.1- Diseño del enlace de comunicación

El diseño del enlace de comunicaciones ópticas a más de satisfacer la fiabilidad de transmisión de datos también debe cumplir las siguientes características descritas a continuación para un adecuado y versátil diseño de comunicación.

3.2.1.1- Disponibilidad

El enlace de comunicaciones cuenta con tres puntos de conexión, los mismos que se encuentran en la sala de relés de Casa de Máquinas (CDM), sala de comunicaciones en el Edificio de Control(EDC) y en la subestación San Rafael (S/T SR) respectivamente, los puntos de CDM y S/T SR deben tener sus equipos de tele protección que cumplan con las normas y estándares técnicos para protecciones eléctricas, en la selección de estos se considera tiempo de transmisión, seguridad, ancho de banda y disponibilidad, uno de los factores primordiales es el alcance de transmisión de señal que tiene, el mismo que debe satisfacer en el caso del presente diseño es de 11 km, existentes entre los dos puntos de control.

Para lo que se exige que el equipo de tele protección cuente con una comunicación de respaldo y la principal, la misma que será el *backup* del enlace para garantizar una comunicación sin interrupciones, y tener un servicio continuo las de 24 horas del día por los 7 días de la semana los 365 días del año.

3.2.1.2.- Confiabilidad

La confiabilidad del enlace de comunicaciones, garantiza que sea inmune a transferencias como también proporciona una baja pérdida de la potencia de la señal a ser transmitida. Esto se logra al cumplir las normas para el cableado de la fibra óptica tanto aérea como subterránea, el presente proyecto se regirá a las normas de la unión internacional de telecomunicaciones UTI-T, tanto en el tendido de fibra, los empalmes la seguridad a tener en cuenta en la ejecución, que son las:

- L.2 (Impregnación de los postes de madera).
- L.12 (Empalmes de fibra óptica).
- L.13 (Requisitos de calidad para los nodos ópticos pasivos, caja de cierre hermético para entornos exteriores).
- L.14 (Método de medidas para determinar la resistencia mecánica a la tracción en cables de fibra óptica sometidos a cargas mecánicas).
- L.25 (Mantenimiento de redes de cables de fibra óptica).
- L.31 (Atenuadores de fibra óptica).
- L.36 (Conectores de fibra óptica mono modo).

- L.31 (Atenuadores de fibra óptica).
- L61 (Instalación de cables de fibra óptica mediante la técnica flotante).

Además de esto el diseño de un enlace de fibra óptica debe cumplir con las normas del ARCOTEL (Agencia e Regulación y Control de las Telecomunicaciones) estas garantizaran la correcta instalación para un idóneo funcionamiento del enlace en una futura instalación. Tales como:

- Norma técnica para el despliegue y tendido de redes físicas soterradas de servicios de telecomunicaciones, servicios de audio y video por suscripción (modalidad cable físico) y redes privadas.
- Lineamientos técnicos para el despliegue y tendido de redes físicas soterradas. Tipo de cables y número de cables por ducto.
- Empaquetado y agrupamiento de cables dentro de ductos. Ubicación de Pozos, cámaras o cajas de revisión. Derechos y obligaciones de los propietarios de redes físicas.

3.2.1.3.- Proyección

Para este tipo de enlace, el análisis de futuros servicios que puedan solicitar en el enlace de comunicaciones ópticas. Esto se refiere a dimensionar los canales o hilos de fibra a ser utilizados en el enlace y prever otros en caso de futuros servicios.

En el presente diseño se utilizará 4 hilos de fibra óptica para su conexión entre puntos un par será principal y otro *backup* y un análisis previo que permitirá escoger el tipo de fibra en donde el criterio de elegir es seleccionar la de superior capacidad de hilos a los requeridos. Otro punto a considerar son las reservas futuras de cable de fibra óptica que irán estratégicamente situadas. Con esto se puede prevenir cualquier eventualidad que suscite con la fibra óptica, como rupturas por esfuerzos mecánicos.

En la Figura 36, se puede apreciar el diseño del enlace de comunicación donde la ubicación de los equipos de tele protección se encuentran en la sala de relés de la central y en la subestación San Rafael respectivamente y sus respectivos puntos de conexión en cada distribuidor de fibra (ODF).

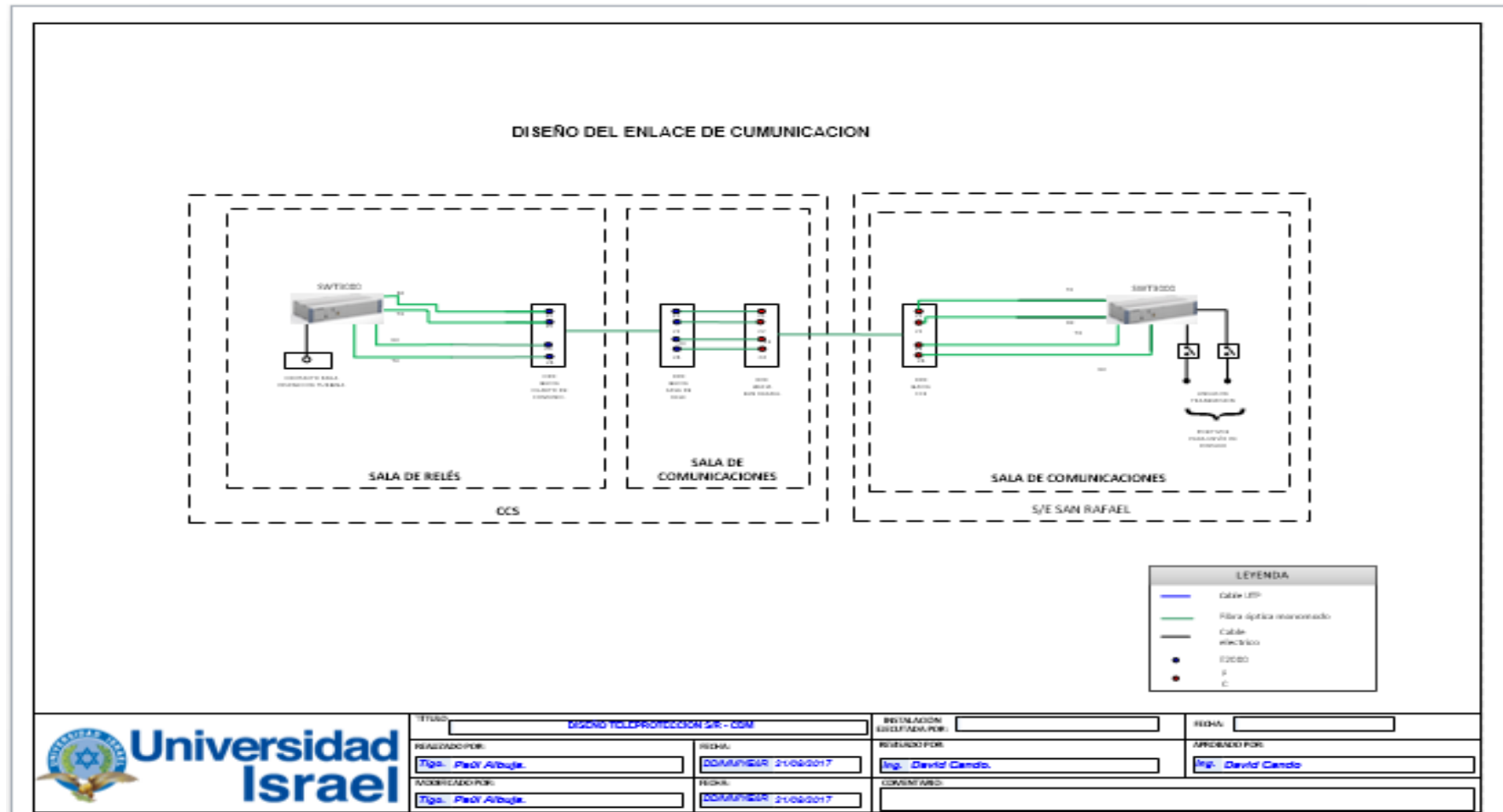


Figura 36.- Diseño del enlace de comunicaciones (Autor, 2017)

3.2.1.5.- Requerimientos del enlace

La distancia existente de los puntos a ser enlazados por el tendido de fibra óptica se lo representa en la tabla 7 donde E1 es el enlace uno desde casa de máquinas (CDM) al edificio de control (EDC) y E2 es el enlace 2 que comunica el EDC y la Subestación San Rafael (ST SR).

Tabla 7.- Requerimientos de instalación (Investigación del autor 2017).

Enlace	Ubicación	Distancia
E1	Casa de Maquinas – Edificio de Control	1 km
E2	Edificio de control – Sub Estación SR.	10 km

La distancia total (DT), del enlace se la calcula con la ecuación 16 donde el resultado de esta operación es la longitud que tendrá el enlace de comunica donde el transmisor y receptor que son la Subestación San Rafael (SB SR) y casa de máquinas (CDM) respectivamente.

$$DT = E1 + E2 \quad \text{(Ecuación. 16)}$$

$$DT = (1 + 10) Km.$$

$$DT = 11 Km.$$

La distancia total del enlace es la sumatoria parcial de las dos distancias como se puede apreciar en la figura 37.

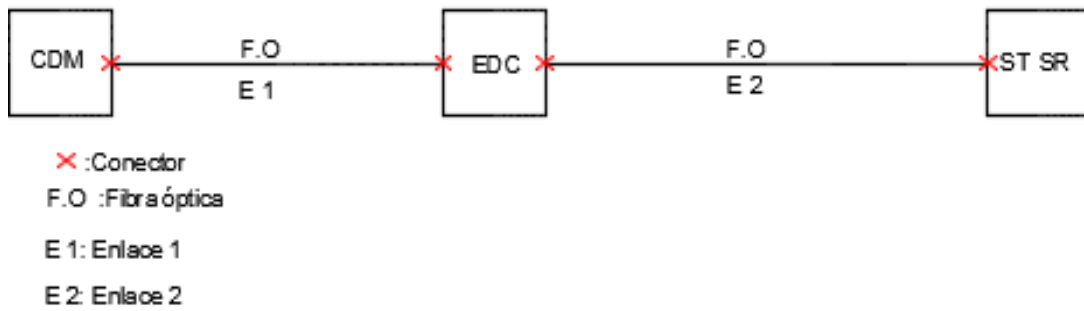


Figura 37.- Enlace de Comunicación (Autor, 2017).

Al resultado de esta operación se aumentará el 10% que es considerado el margen de error mínimo, adicionalmente tomar en cuenta los metros de fibra óptica para la reserva se considera un 15% de la distancia total con lo que se obtendrá el siguiente dato para la distancia total, estos dos parámetros suman el 25 % que es una guía para conocer la cantidad de cable a ser utilizado en una futura implementación.

$$DT = (E1 + E2) \times 0.25$$

$$DT = 11 \times 0.25$$

$$DT = 13.75 \text{ Km.}$$

3.2.1.6.- Características para el enlace

- Transmisión de datos para la activación de relés ABB RXMA2 110-125 es un relé auxiliar con contactos de puente resistentes se utiliza como un relé de disparo o como un relé de protección de salida multi-contacto tiene una alta capacidad de corte, buena fiabilidad de contacto y está libre de riesgo de soldadura por contacto características eléctricas primordiales para garantizar el disparo de la protección.
- Tipo de instalación de la fibra óptica: Tendido Aéreo y tendido subterráneo.
- Enlace de fibra óptica.

3.2.1.7.- Equipos y dispositivos

Los equipos de tele protección STW 300 son los sistemas de protección más acogidos en el área eléctrica para protección de líneas de transmisión por la confiabilidad que estos ofrecen a la transmisión y detención de avisos de fallas eléctricas ya que una de sus características es el alcance de trabajo en kilómetros de estos equipos. La instalación de los equipos de tele protección será en los respectivos lugares, tales como: casa de relés, en casa de máquinas (CDM) y en la subestación San Rafael (ST SR) con lo que se requiere lo siguiente:

- 2 equipos SIEMENS SWT 3000.
- Conectores *little conector* (LC). (*In /Out* del equipo de tele protección).
- Alimentación de 48 voltios directos VDC. (Fuente de alimentación del relé eléctrico).
- Alimentación 125 voltios directos VDC. (Fuente de alimentación secundaria).
- Alimentación 120 voltios alternos VAC. (Fuente de alimentación primaria).

Lo que se deberá tomar en cuenta en una futura instalación es la ubicación de estos equipos ya que deben estar a una temperatura adecuada.

3.2.1.8.- Selección del tipo de fibra óptica

La selección de la fibra óptica en el enlace de comunicación es un sistema guiado entre la central y una subestación eléctrica, implica conectar los equipos de tele protección en el sector de protecciones eléctricas, esto se basará a estándares internacionales de comunicación para garantizar la sostenibilidad y confiabilidad del enlace. Adicional a esto que tenga la capacidad de admitir tecnologías futuras.

Se toma en cuenta:

- Tipo de información a transmitir
- Velocidad de transmisión
- Distancia del enlace
- Modo de instalación del cable.

Características adicionales:

- Factores Ambientales en los cuales pueden afectar la fibra óptica agua humedad.
- Instalación y mantenimiento del enlace de fibra debe estar en lugares estratégicos y seguros para realizar mantenimientos periódicos.

3.2.1.9.- Características de los tipos de fibras ópticas

En el marco teórico se describieron los dos tipos de fibras mono modo y multimodal para ya un carácter aplicativo se detallará a continuación las características de cada una de las mencionadas, según las normas TIA/EIA 568-B3, Componentes de cableado, Fibra óptica. Vienen dadas por el organismo Electronics Industry Association (EIA). Desarrolla normas y publicaciones sobre las principales áreas técnicas que son componentes electrónicos y telecomunicaciones.

Telecommunications Industry Association (TIA)- Este organismo desarrolla normas para el cableado industrial voluntario en muchos productos de las telecomunicaciones. En la tabla 8, se citará la diferencia de características de los tipos de fibra óptica.

Tabla 8.- Características de fibras ópticas (Adison, 1988).

Factor a considerar	Mono modo de índice escalonado	Multimodal de índice escalonado
Atenuación	Oscila entre 0.25dB/km, a 0.4 dB/km.	Oscila entre 2.5dB/km, a 3dB/km.
Núcleo	Diámetro: 8µm-10 µm Conduce un solo haz de luz por lo cual no son afectados por dispersión modal.	Diámetro: 50/125µm-62.5/125 µm Conduce varios haces de luz lo cual son afectados por dispersión modal.
Ancho de Banda	Muy alta	Reducida
Velocidad de transmisión	Velocidades ≥ 10 Gbps	Velocidades hasta 10 Gbps

Emisor de haz de luz	Potencia muy alta trabaja en la segunda banda para transmitir, tipo láser	Baja potencia ya que posee un ancho espectral que genera varios haces de luz, tipo led
Distancia de transmisión	Media y larga superan los 20km	Cortas hasta 2km
Dispersión cromática	Aumenta la tasa del BER	No afecta
Aplicación	Redes internas externas	Redes internas

3.2.1.10.- Fibra óptica G 652

De acuerdo a la Norma ITU-T que es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en recomendaciones normativas que garantizan la interconectividad de las redes. La fibra óptica estándar normalizada por la ITU-T G.652 se trata del cable mono modo (SM), en la parte comercial se tiene varios tipos de cables el aconsejable para tendido aéreo es un cable óptico al aire libre auto portante GYTC8S.

Estructura trenzada, resistente a la tracción, excelente rendimiento a prueba del agua, temperatura de funcionamiento -40 °C +- 70 °C. Los parámetros técnicos descritos en la tabla 9, son de una fibra óptica G.652.D.

Tabla 9.- Características de fibra G.652.D (Fernández, 2009).

Detalle	G.652.D
Longitud de onda	1310nm
Diámetro del núcleo	8.6 – 9.5 µm
Diámetro del revestimiento nominal	125.0 µm nominal.
Longitud de onda de corte máximo	1260 nm máximo.

Pérdida de macro flexión	Radio: 30 mm. Numero de vueltas: 100. Máximo a 1625nm: 0.1 dB.
Atenuación	Máximo a 1310 nm : 0.4 dB/km / Mínimo a 1310 nm: 0.3 dB/km Máximo a 1550 nm : 0.3 dB/km / Mínimo a 1550 nm: 0.2 dB/km
Dispersión cromática	≤ 3 (ps/nm.km)
Estructura	Holgada
Longitud de bobina	4 km.
Máxima tensión	5KN.
Distancia de Vano	800 m. Máximo
Numero de Fibras	6 hasta 72 hilos.

Mencionado tipo de fibra es optimizada en la operación con una longitud de onda de 1310nm, adicional también opera con la longitud de 1550nm, en la cual presenta dispersión cromática. La información la transmite mediante la multiplicación de la longitud de onda.

3.2.2.- Presupuesto del enlace de comunicación

El enlace de comunicación está compuesto por dos trayectorias la primera de casa de máquinas (CDM) al edificio de control (EDC) y la segunda es desde el (EDF) hasta la subestación San Rafael (SB SR) estos se describen en la tabla 10 con sus respectivas características como tipo de tendido, tipo de fibra, mangas de empalmes y distancia.

Tabla 10.- Características del enlace de comunicación (Catalogo Colzlink Global optical communications industry, 2017)

Enlace	Tipo de tendido	Tipo de F.O	Mangas de Empalme	Número de Empalmes	Distancia
CDM-EDC	Subterráneo	Cable Blindado/PFV	0	2	1 km
EDC - S/E	Aéreo	Cable ADSS	2	4	10 km

En donde ADSS (All-dielectric self-supporting), es un tipo de cable de fibra óptica para tendido aéreo.

Los cálculos descritos en la tabla 10 se obtuvieron al remplazar los datos del enlace en la ecuación 17 descrita en la tabla 4 respectivamente, para esto toma en cuenta la longitud del carrete de fibra óptica comercial de 4 km.

$$N_{em} = \frac{dt}{L_c} = \frac{1}{4} = 0.24 \equiv 0 \text{ cajas de empalme. (Ecuación. 17)}$$

$$N_{em} = \frac{dt}{L_c} = \frac{10}{4} = 2.5 \equiv 2 \text{ cajas de empalme.}$$

$$N_e = N_{em} + 2 = 0 + 2 = 2 \text{ empalmes.}$$

$$N_e = N_{em} + 2 = 2 + 2 = 4 \text{ empalmes.}$$

3.2.2.1.- Pérdidas producidas en el enlace

Para realizar el cálculo de las pérdidas obtenidas del enlace de comunicación se las deberán cuantificar los diferentes aspectos como se indica en la tabla 11, estos parámetros se obtienen de las características de la fibra óptica G.652 D.

Tabla 11.- Atenuación de materiales (Fernández, 2009).

Material	Cantidad de pérdida
Conector	0.3 dB
Empalme	0.05 dB
FO 1310 nm	0.30 dB/ km (mínimo)
FO 1550 nm	0.20 dB/ km (mínimo)

3.2.2.2.- Pérdidas producidas en la Fibra Óptica

En el caso del presente proyecto el cálculo se lo realizará con un coeficiente de atenuación que presenta una fibra mono modo con un ancho de banda de 1310nm, de acuerdo a la ITU-T G.652 D, se escoge la atenuación mínima de la mencionada fibra y se reemplaza los datos existentes en la ecuación 10 (Ec.10) descrita anteriormente en el marco teórico.

$$P_{f_o} = l \times \alpha_{f_o} = 1 \times 0.3 = 0.3 \text{ dB}$$

$$P_{f_o} = l \times \alpha_{f_o} = 10 \times 0.3 = 3 \text{ dB}$$

Los resultados obtenidos están descritos en la tabla 12, estos valores representan las pérdidas de la fibra óptica.

Tabla 12.- Pérdidas de la fibra óptica (Central Coca codo Sinclair, 2017).

Enlace	Distancia	(α_{f_o}) Coeficiente de atenuación	Resultado de Pérdida
CDM- EDC	1km	0.30 dB/ km	0.3 dB
EDC - S/E	10km	0.30 dB/ km	3 dB

3.2.2.3.- Pérdidas producidas en los empalmes

El número de empalmes que se obtuvo del enlace de comunicación ya fue calculado anteriormente con la ecuación 17 y sus valores se presentan en la tabla 10, los valores de atenuación del empalme son de acuerdo a las características de la ITU-T G.652 D y con

ellos se calcula la atenuación producida por los empalmes existentes en el enlace, se reemplaza valores en la ecuación 11 (Ec.11) de pérdidas en los empalmes descrita en el marco teórico, con lo que se obtiene los resultados de la tabla 13.

Tabla 13.- Pérdidas de empalmes (Central Coca codo Sinclair, 2017).

Enlace	Distancia	Número de empalmes	Atenuación de empalme	Total de pérdida en empalmes
CDM- EDC	1km	2	0.1 dB	0.2 dB
EDC - S/E	10km	4	0.1 dB	0.4 dB

3.2.2.4.- Pérdidas producidas en los conectores

Al utilizar la ecuación 12 (Ec.12) descrita en el marco teórico se reemplaza los valores a considerar tal como la atenuación que es un dato del manual técnico del conector LC, en donde se obtiene los resultados de la tabla 14.

Tabla 14.- Pérdida de conectores (Central Coca codo Sinclair, 2017).

Enlace	Número de conectores	Atenuación del conector	Total de atenuación
CDM- EDC	6	0.3 dB	1.8 dB
EDC - S/E	6	0.3 dB	1.8 dB

3.2.2.5.- Reserva de pérdidas en el enlace

Este tipo de reserva se tiene en consideración debido a que en un futuro se implemente nuevos empalmes, conectores en el enlace y también por la degradación del cable de fibra óptica, para el presente proyecto se tomará en consideración una atenuación de reserva de 0.1 dB/km de acuerdo a las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT.

Margen del enlace.

En el diseño del enlace de comunicaciones siempre se debe tener presente el mencionado margen para solventar futuras atenuaciones que se presenten en dicho enlace.

En la tabla 15 se presentan los resultados obtenidos en el margen del enlace al remplazar respectivamente sus valores.

Tabla 15.- Margen de diseño (Central Coca codo Sinclair, 2017).

Enlace	Distancia	Atn_{rev}	M_{enl}
CDM- EDC	1	0.1	0.1 dB
EDC - S/E	10	0.1	1 dB

La atenuación total del enlace de comunicación es la sumatoria de todas las pérdidas anteriormente calculadas y que se las representa en la Tabla 16.

Tabla 16.- Valores totales de atenuación (Central Coca codo Sinclair, 2017).

Enlace	Atenuaciones $Pf_o + Pem + Pco + Menl$	Total de atenuación
CDM- EDC	0.3+0.2+1.8+0.1	2.4 dB
EDC - S/E	3+0.4+1.8+1	6.2 dB

Con los valores calculados se obtiene la atenuación total del enlace que es de 8.6 dB, esta ayudara a calcular la potencia máxima admisible al receptor, para ello se remplaza los datos en la ecuación 15 (Ec.15), donde se obtiene:

Datos:

P_{tx} : - 15 dBm. *Parametro del equipo STW 3000.*

A_{to} : 8.6 dB *Parametro Calculado.*

Sensibilidad: - 32 dBm. *Parametro del equipo STW 3000.*

$$P_{ent} = -15 \text{ dBm} - 8.6 \text{ dB} = -23.6 \text{ dBm.}$$

El valor obtenido es la cantidad de la potencia de entrada al dispositivo STW300 (receptor) del enlace de comunicación en el presente proyecto, esto se obtiene con una atenuación total del enlace de 8.6 dB, ya que su potencia de salida del equipo es de -15

dBm. La sensibilidad del equipo es de -32 dBm, esta es la potencia mínima que puede recibir el receptor para que funcione correctamente y convierta la señal luminosa en un pulso eléctrico, que se utilizará para fines de protección eléctrica a eventuales fallos.

Margen de diseño.

Para calcular este parámetro se reemplaza los valores de potencia de entrada del equipo y la sensibilidad del mismo en la ecuación 14 (Ec.14) descrita en el marco teórico.

$$M_{ds} : -23.6 \text{ dBm} - (-32 \text{ dBm}) = 8.4 \text{ dB}.$$

El margen de diseño del enlace de comunicación calculado es de 8.4 dB, este parámetro indica el nivel máximo de desvanecimiento del enlace para funcionar dentro del rango de sensibilidad del equipo con lo que se asegura una correcta transmisión de señal.

Debido a que el enlace de comunicación puede sufrir eventuales rupturas que requieren la realización de empalmes, los cuales producen pérdidas en la señal de transmisión. Esto debe ser considerado en el margen de diseño.

En el gráfico 38, se representa con rectas numéricas la potencia de entrada que fue calculada anteriormente así como la potencia de salida y la sensibilidad del equipo que son datos del fabricante.

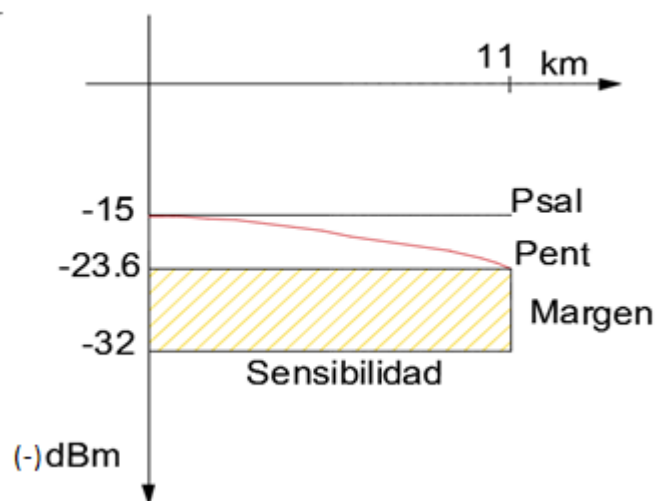


Figura 38.- Gráfica de parámetros del enlace (Autor, 2017)

La curva de color rojo, indica la atenuación que sufre la señal al ser transmitida, la potencia de entrada que fue calculada con anterioridad se encuentra dentro del rango de funcionamiento idóneo, porque su valor no supera la sensibilidad del equipo, con lo que se certifica un enlace de comunicación óptimo y fiable.

El margen de diseño que fue calculado con anterioridad, está representado por las líneas segmentadas de color amarillo, representa la máxima atenuación futura que se podrá manipular en este enlace, con este margen se garantiza el adecuado funcionamiento del mismo.

En la tabla 17, se presenta todos los datos de los parámetros a ser utilizados en la simulación del diseño del enlace de comunicación.

Tabla 17.- Valores de los parámetros del diseño del enlace de comunicación (Autor, 2017).

Parámetros	Valor
Distancia del enlace	11 km.
Atenuación de fibra óptica.	3,3 dB.
Atenuación de empalmes	0,6 dB.
Atenuación de conectores	3,6 dB
Margen del enlace	1,1 dB.
Potencia de recepción	-23,6 dBm.
Potencia del transmisor	-15 dBm.
Sensibilidad	-32 dBm
Margen de diseño	8,4 dB.

3.2.3.- Simulación del enlace

La simulación del enlace de comunicación mediante fibra óptica se lo realizó en el programa Optisystem 7.0, es un *software* de diseño muy versátil que permite desarrollar

simulaciones de redes de fibra óptica, en esta plataforma se logra programar parámetros específicos de cada uno de los elementos utilizados en el enlace simulado.

Este *software* es totalmente libre, se lo puede descargar directamente por internet, con la interfaz instalada se podrá diseñar y simular redes ópticas, redes SDH en anillos. Este programa de simulación consta con herramientas de análisis en la cual se puede observar diagramas del comportamiento de la señal y otros parámetros.

- **Generador de bits.**-Para elegir el icono que representa un generador de bit se lo debe arrastrar a la área de trabajo para esto en la biblioteca del interface del *software* y se da clic en la carpeta default, la que direcciona a la subcarpeta **Transmitters Library**, en la cual se encuentra la carpeta **Bit Sequence Generator**, en esta se elige **Pseudo- Random Bit Sequence Generator**, como se indica en la Figura 39.

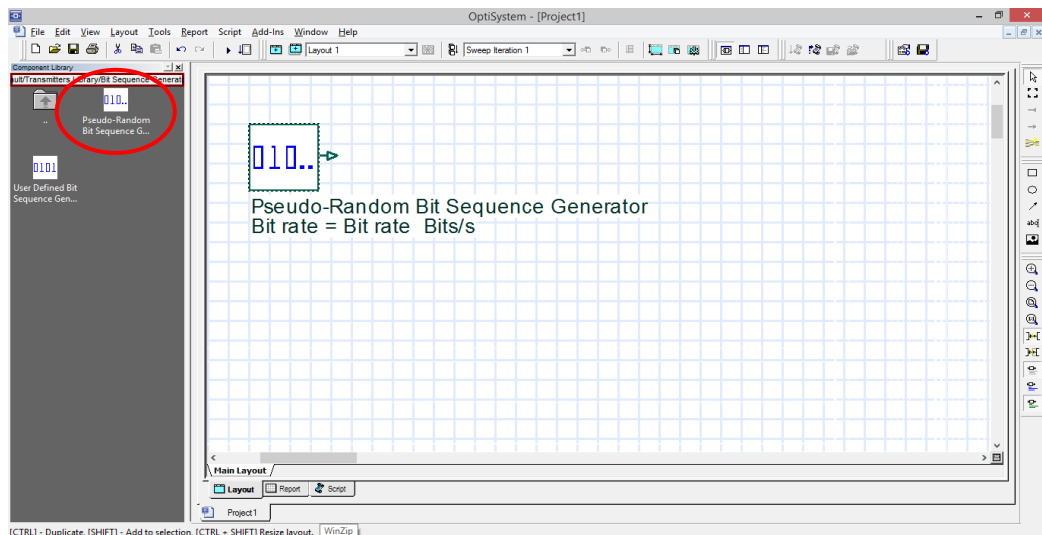


Figura 39. - Pseudo- Random Bit Sequence Generator (Optisystem, 2017)

Una vez colocado el generador de pulso en la zona de trabajo se realiza la configuración de secuencia binaria que se desea transmitir, en este diseño de enlace se transmitirá un pulso con lo que se puede configurar la secuencia binaria de acuerdo al equipo STW 3000 donde esta es de 2Mbps. Esto se lo logra al dar clic sobre el generador de pulsos en el área de trabajo como se indica en la Figura 40.

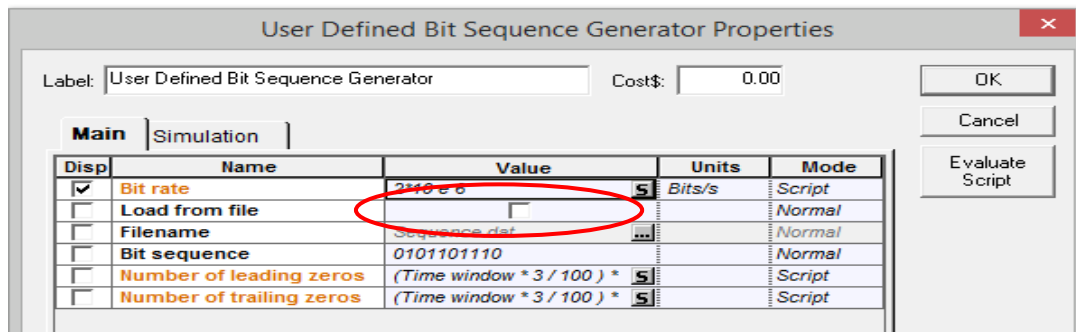


Figura 40. - User defined Bit (Optisystem, 2017)

También se puede buscar los elementos de una manera más directa al dar clic derecho sobre la biblioteca en **Find Component**, se desplegará una pantalla, como la que se indica en la Figura 41, en **Keywords** se coloca el nombre del elemento deseado.

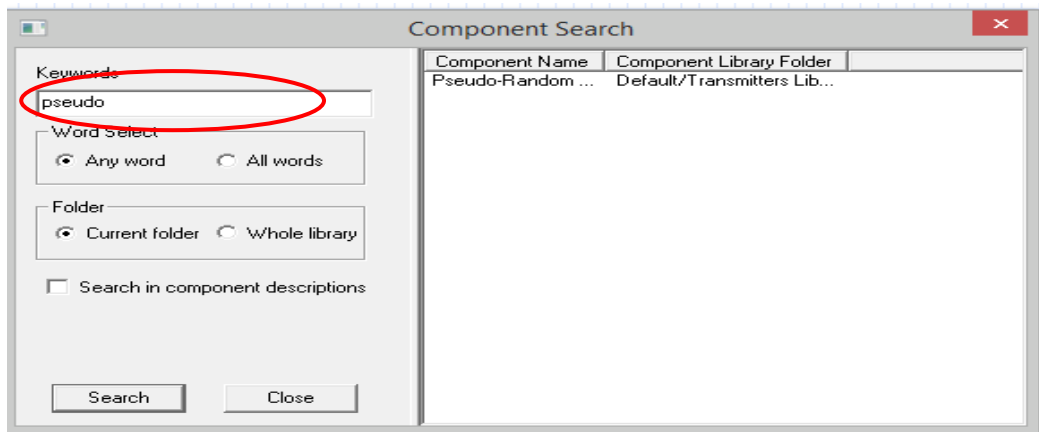


Figura 41. - Find Component Oftisystem 7.0 (Optisystem, 2017)

- **Láser luz Óptica.-** De la misma manera que el generador de pulsos, se escogerá un láser que será la fuente de luz del enlace, en el área de la biblioteca se da clic en la carpeta **Default**, luego en la subcarpeta **Transmitters Library, Optical Sources** se escogerá **CW Lasser** como se indica en la Figura 42.

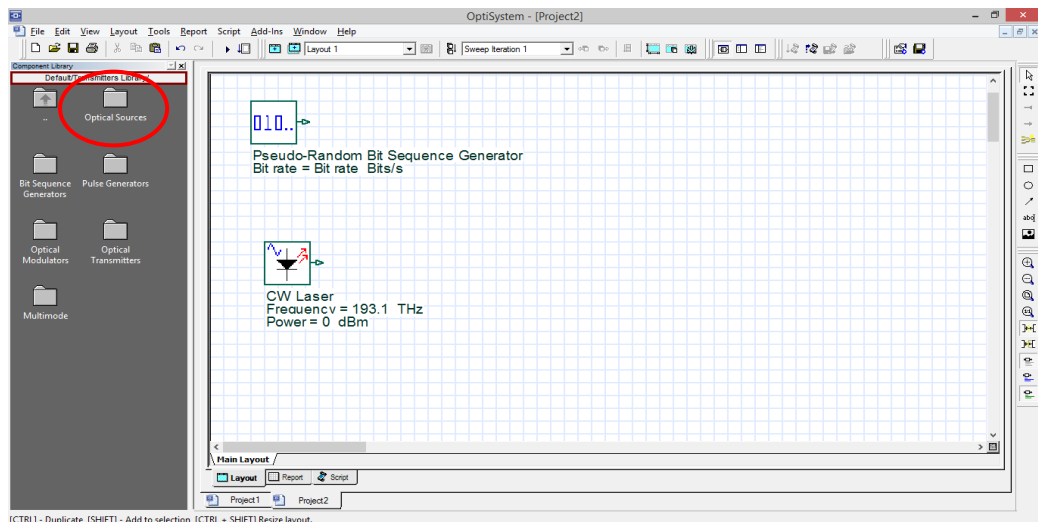


Figura 42. - CW Láser Oftsistema 7.0 (Optisystem, 2017)

Este tipo de componente **CW Láser** tiene la característica de permanecer encendido, al realizar doble clic sobre el componente puede modificar sus parámetros, en la ventana **CW Láser Properties**, como se muestra en la Figura 43, aquí se modificara la potencia de salida de -15 dBm, y la frecuencia de 1310 nm..

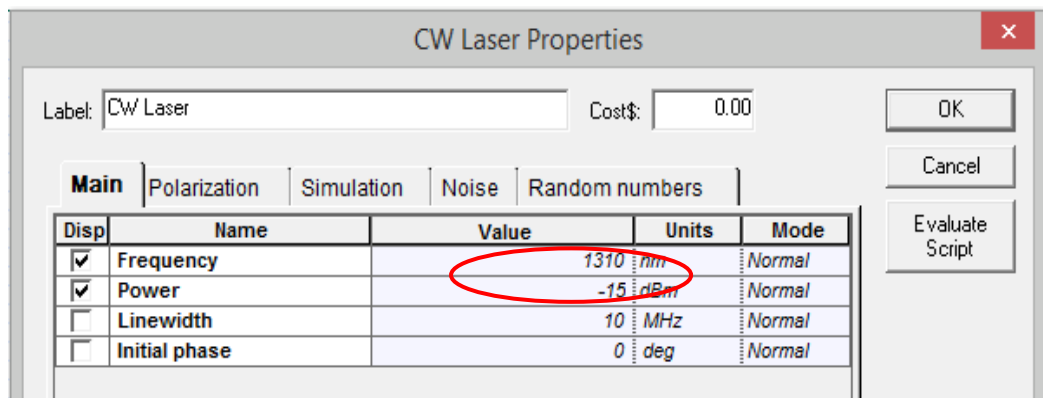


Figura 43. - CW Láser Properties Oftsistema 7.0 (Optisystem, 2017)

- **Generador NRZ.-** Es un generador de pulsos eléctricos NRZ (No retorna a cero) es el encargado de recibir los datos binarios entregados por el generador de pulsos, **Pseudo- Random Bit Sequence Generator** y transformar los datos binarios en una señal NRZ.

Este componente se lo encuentra en el área de la biblioteca, al dar clic en la subcarpeta **Trasmitters library**, abre **Pulse generators**, y se selecciona la carpeta

Electrical, donde Se escoge el **NRZ pulse generator** y es arrastrado a la zona de trabajo su icono se lo indica en la Figura 44, sus parámetros de funcionamiento vienen predefinidos.

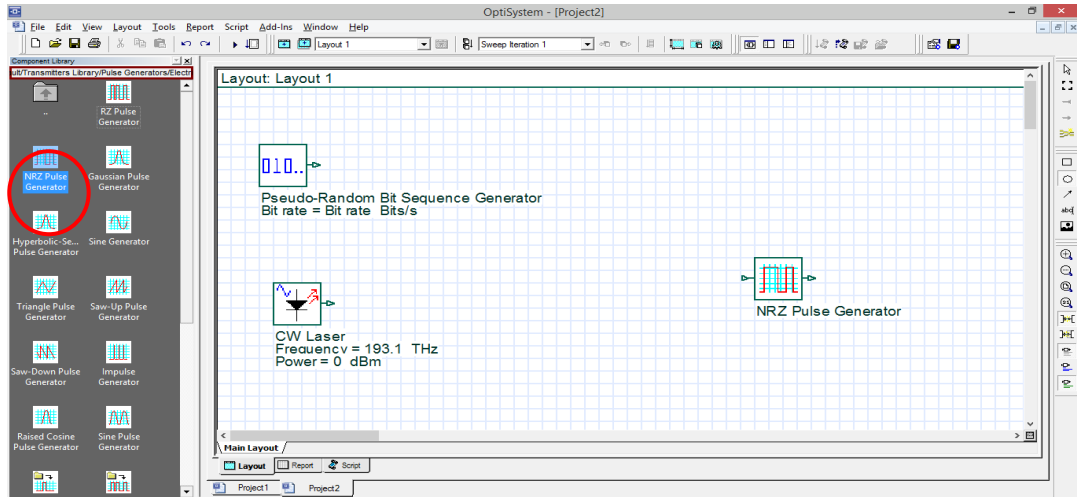


Figura 44.- NRZ pulse generator (Optisystem, 2017)

- Modulador Mach- Zehnder (MZ).**- Es un modulador de señal óptica tipo MZ, la función de este dispositivo es cuando recibe la señal de bit 1(unos lógico) se envía un haz de luz (señal portadora) y cuando el bit es 0 (cero lógico), el modulador MZ no envía el haz de luz, de esta manera se obtiene como resultado una señal óptica a la salida del modulador. Para seleccionar este elemento se da clic en el icono **Transmitters library** ubicado en la biblioteca, se dirige a la carpeta **Optical modulator** en la cual se escoge el **Mach- Zehnder modulator** y se lo coloca en el área de trabajo, como se indica en la Figura 45.

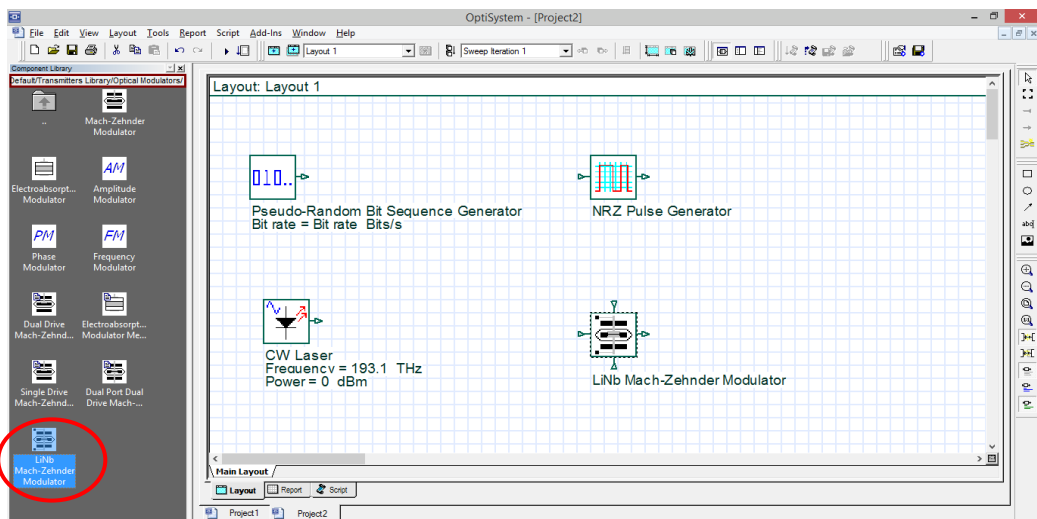


Figura 45.- Mach- Zehnder modulator (Optisystem, 2017)

Una vez ya colocados los elementos descritos en el área de trabajo se realiza la unión de los mismos en la parte inferior derecha se encuentra los iconos **Autoconnect on drop** y **on move** con lo que se puede conectar de una forma manual y automática respectivamente, se arrastra el elemento a la área de trabajo como se indica en la Figura 46.

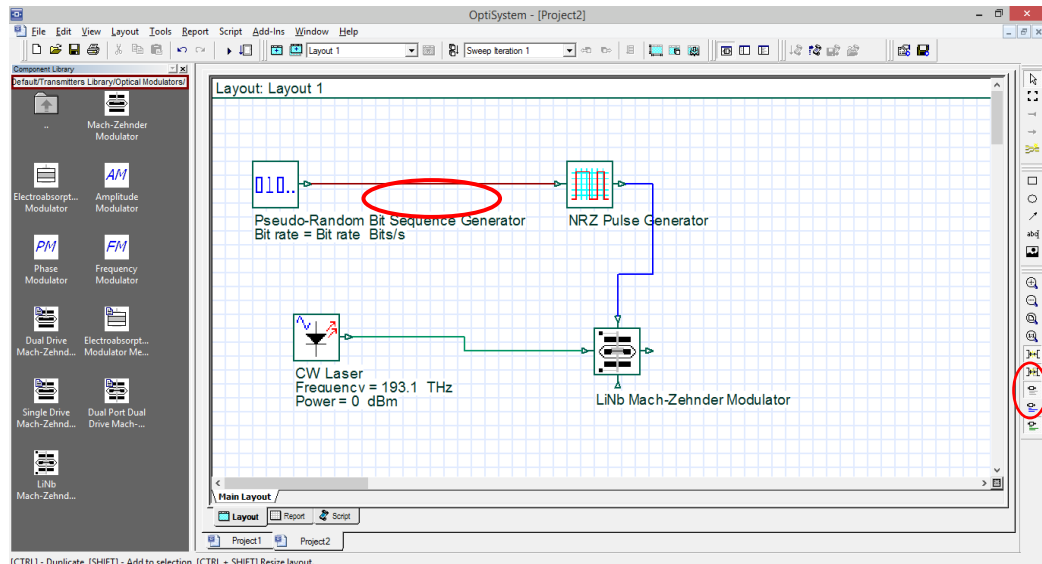


Figura 46.- Autoconect (Optisystem, 2017)

Al unir los componentes se consigue la salida del modulador MZ que es la señal óptica a ser transmitida. A todo este conjunto de elementos se denominará Transmisor en el enlace de comunicación diseñado.

- **Atenuador Óptico.-** El Atenuador óptico es el que permite atenuar la señal óptica en el enlace de comunicación, en otras palabras este representará las pérdidas totales del enlace.

Este atenuador se lo encuentra en el área de la biblioteca, dar clic en **Passives library**, donde se dirige a la carpeta **Óptical** y se selecciona **Attenuators**, en esta carpeta se puede seleccionar **Optical Attenuator** y llevar al área de trabajo como se indica en la Figura 47.

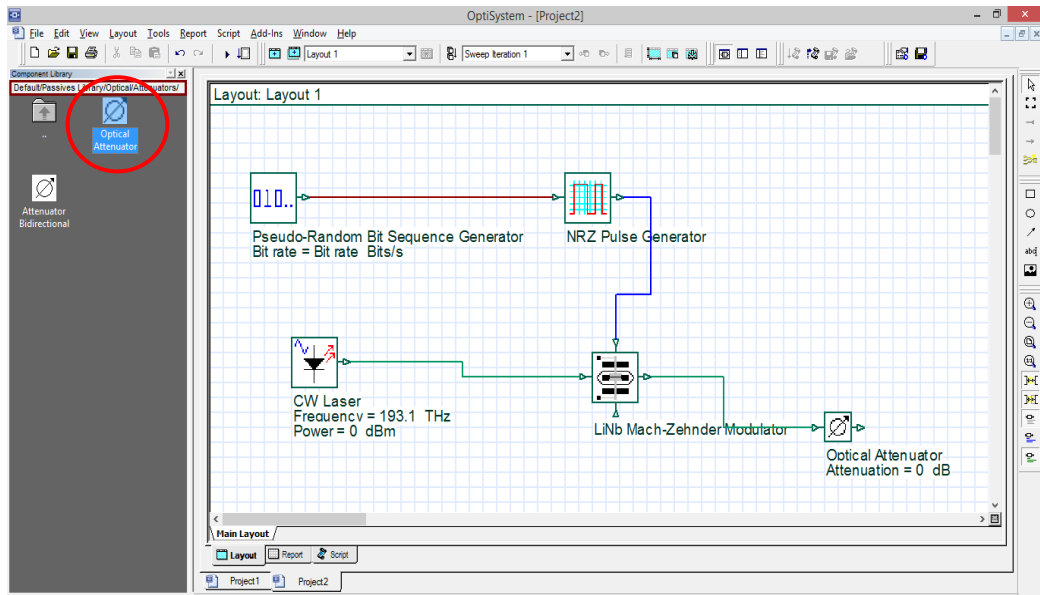


Figura 47.- Optical Attenuator (Optisystem, 2017)

Para modificar el valor de atenuación se da clic sobre este elemento y se desplegará la ventana **optical attenuators propieter** como se indica en la Figura 48, en donde se modifica al valor de atenuación total del enlace que es 8.6 dB, el mismo que fue calculado con anterioridad.

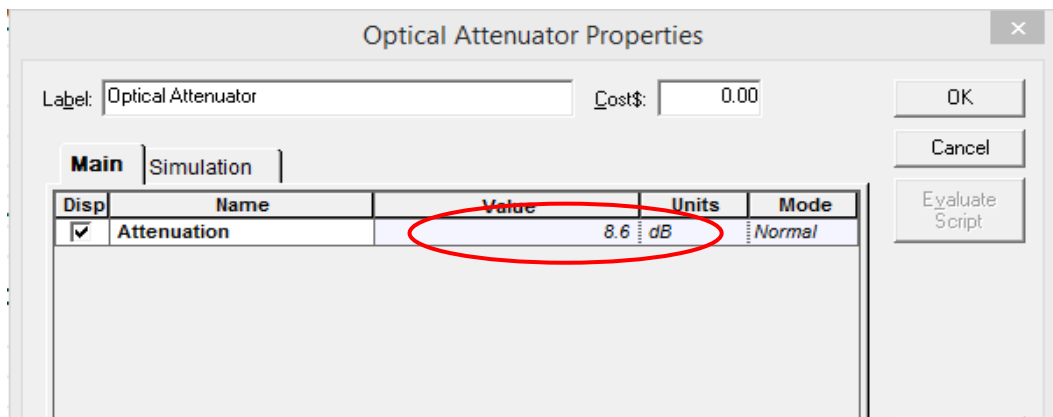


Figura 48.- Optical Attenuator properties (Optisystem, 2017)

- **Fibra Óptica.-** La fibra óptica utilizada para el desarrollo de este enlace es mono modo, la cual se la encuentra en la biblioteca de componentes, al dar clic en **Optical Fiber library** y se selecciona **Optical fiber** y se arrastra al área de trabajo como se indica la Figura 49.

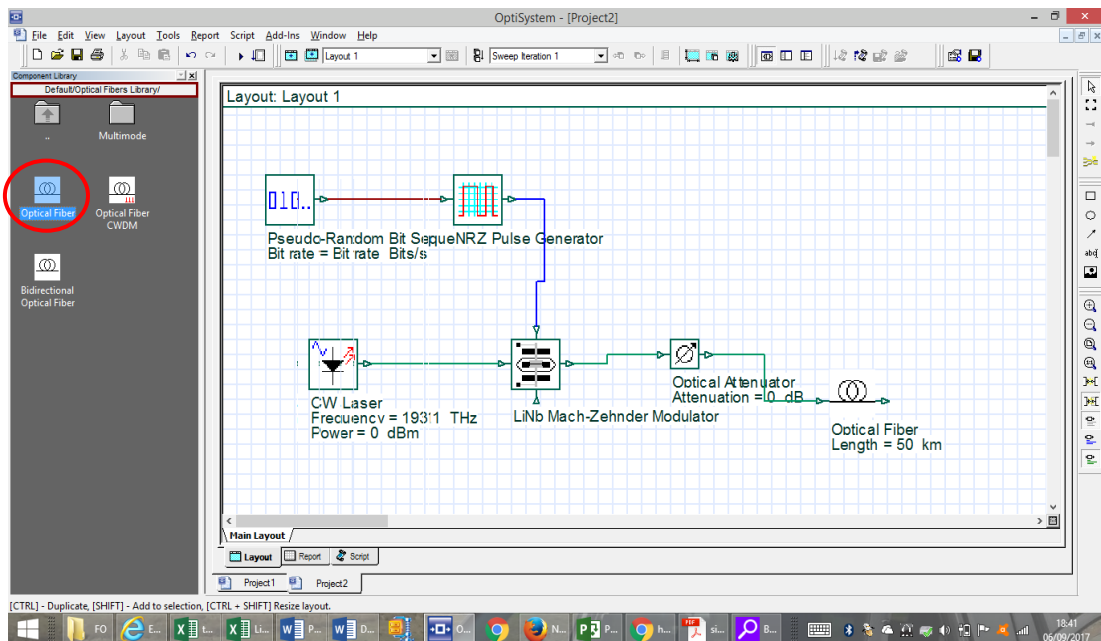


Figura 49.- Optical Fiber (Optisystem, 2017)

Una vez que se coloca la fibra óptica y la atenuación total, a estos componentes se los conocerá como el enlace de comunicación, para modificar los parámetros se hará clic sobre el mismo y se desplegará **Optical fiber properties**.

En la Figura 50, se puede apreciar la ventana **Optical Fiber**, cabe descartar que el parámetro que se modificará es la distancia, que en este caso es de 11 km, y se desactivará la opción de atenuación ya que en el cálculo la atenuación de fibra óptica fue considerado en el **optical attenuator**.

The screenshot shows the 'Optical Fiber Properties' dialog box. The 'Main' tab is selected. The 'Label' is 'Optical Fiber' and the 'Cost' is '0.00'. The 'Main' tab contains the following table:

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	User defined reference w	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Reference wavelength	1310	nm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Length	11	km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation effect	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation data type	Constant		Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation	0.2	dB/km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation vs. wavelength	Attenuation.dat		Normal

Figura 50.- Optical Fiber Properties (Optisystem, 2017)

- **Fotodetector PIN.-** Es un detector de los fotones (haz de luz), este absorbe los fotones con lo que entregan energía a los electrones, los mismos que saltan de banda de conducción y se produce la generación de energía eléctrica. Este

elemento se lo consigue en la biblioteca de componentes, dar clic en **Receiver library**, seguido en la subcarpeta **Photodetectors**, seleccionar **Photodetector PIN**, como se indica en la Figura 51.

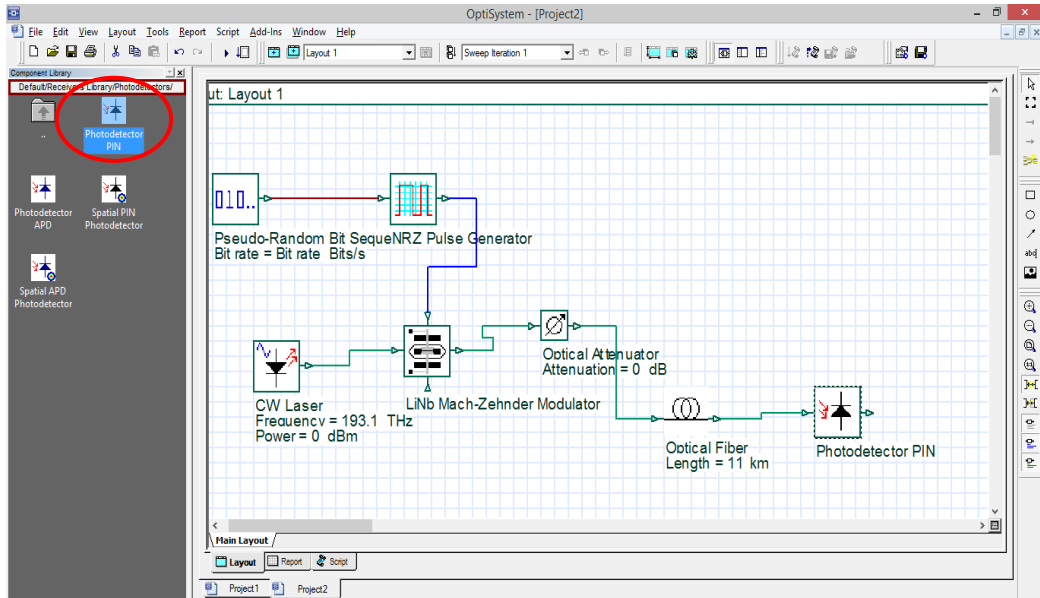


Figura 51.- Photodetector PIN (Optisystem, 2017)

Para este diseño de enlace se utilizará un filtro pasa bajo eléctrico, el mismo que ayudará a mitigar el ancho de banda del ruido, para esto se da clic en la carpeta **Filters library**, se abre la subcarpeta **Electrical** y se selecciona **Low Pass Bessel Filter**, este atenuará las frecuencias altas.

A este conjunto se denominará receptor con lo que el diseño del enlace de comunicaciones está completo, se lo representa en transmisor, enlace de comunicación y receptor como se indica en la Figura 52.

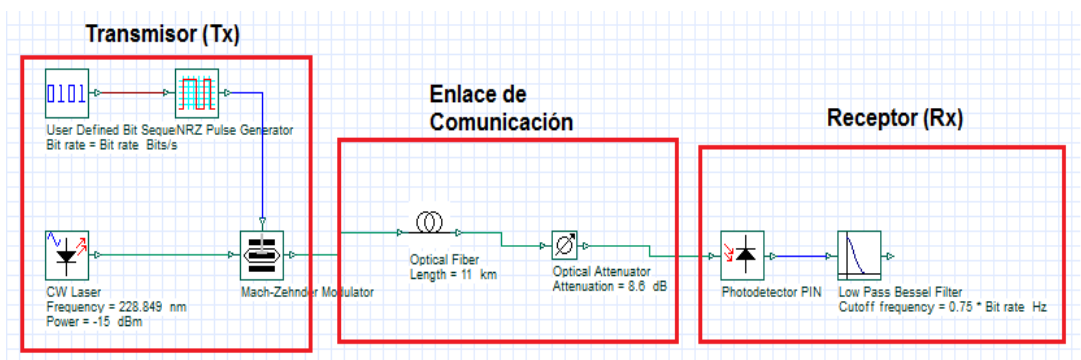


Figura 52.- Enlace de Comunicación (Optisystem, 2017)

3.2.4.- Análisis del resultado de la atenuación en el enlace de comunicación

Una vez realizado el diseño del enlace de comunicación, se analiza cada una de sus etapas, para esto el *software* Optisystem brinda los analizadores de potencias que se utilizará en el presente diseño. Se debe dar clic en la carpeta **Visulizer Library**, ubicada en la biblioteca, en la cual están inmersas las carpetas **Optical** y **Electrical**, en la primera se encontrará los siguientes componentes:

Los analizadores de la potencia óptica se colocan en el diseño del enlace para ser simulados, y observar los resultados de cada área del enlace. Para este análisis se utilizará un **Optical Spectrum Analyzer** y **Optical Power Meter**, que se colocará en la salida del transmisor (Tx) la cual es la potencia de salida del enlace, y también se coloca en el final del enlace es decir al inicio del Receptor (Rx), esta es la potencia de entrada, tal y como se muestra en la Figura 53.

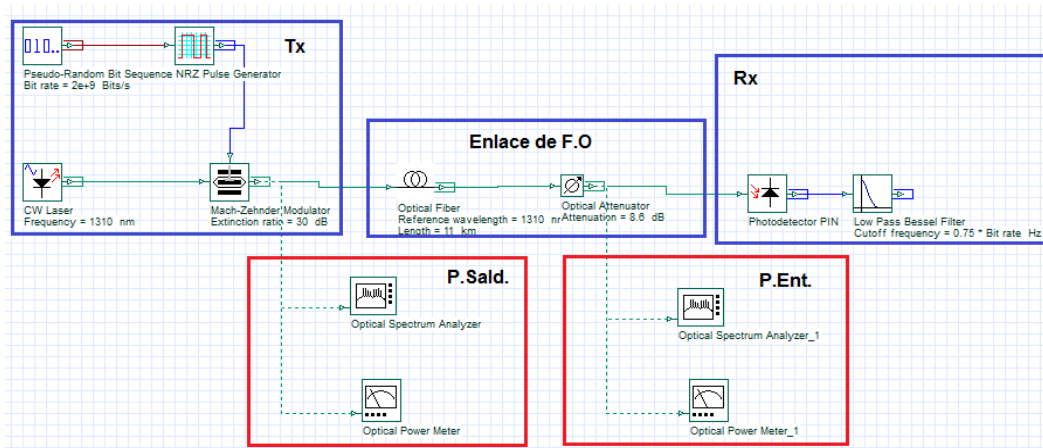


Figura 53.- Análisis del Enlace de comunicación (Optisystem, 2017)

El *software* Optisystem permite visualizar los efectos de la señal en el enlace de comunicación, esto se puede corroborar en la potencia de entrada al receptor de fibra óptica que se puede observar en Wattios (W) y (dBm), también se puede verificar la longitud de onda a la que funcionará para este diseño es de 1310 nm.

Los parámetros del transmisor para este diseño descritos anteriormente en este capítulo como la potencia de salida de -15 dBm, la cual fue configurada en la fuente de luz. Para simular una vez colocados los analizadores se debe dar clic en play en la barra de menús, donde se desplegará una pantalla de simulación del enlace, tal como se indica en la Figura

54, la misma que ayudara a detectar de una manera rápida si el diseño tiene algún tipo de error.

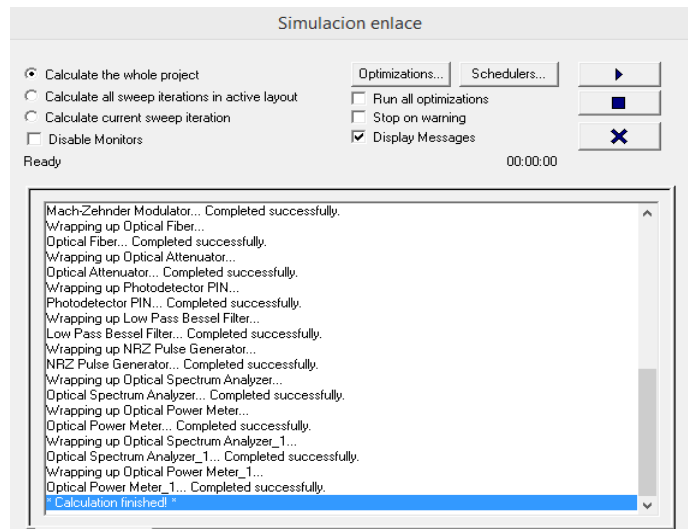


Figura 54.- Simulación del Enlace (Optisystem, 2017)

Una vez que se simula se puede apreciar los valores de la potencia de salida del transmisor que recorre la distancia de 11km con una atenuación total de 8.6 dBm, en la Figura 55 se puede visualizar la atenuación que sufre la señal óptica.

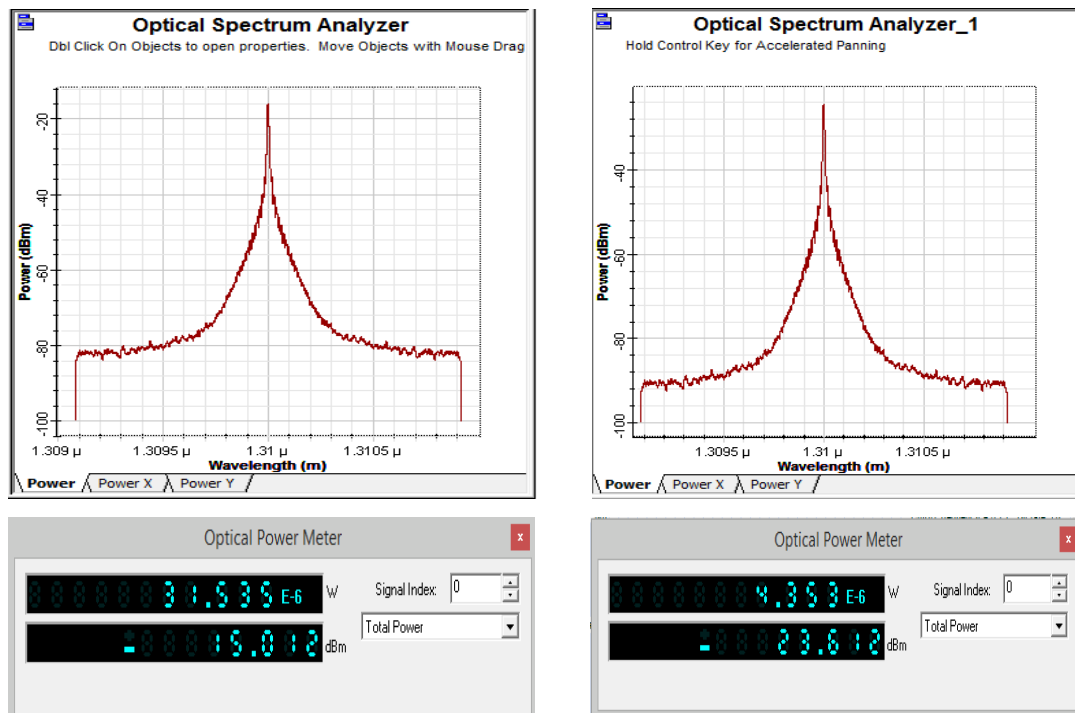


Figura 55.- Atenuación de la señal óptica (Optisystem, 2017)

Como se puede apreciar en el gráfico la potencia de salida es -15.012 dBm y una longitud de onda de 1.31 um (288,85 THz), la señal se atenúa con lo que se obtiene la potencia de entrada al receptor de -23.612 dBm y permanece con la misma longitud de onda. En la tabla 18 se resume los valores de atenuación calculados con los simulados.

Tabla 18.- Valores de potencias (Autor, 2017)

Parámetros	Potencia de salida	Potencia de entrada
Calculados	-15 dBm	-23.6 dBm
Simulados	-15.012 dBm	-23.612 dBm

Con estos valores se puede calcular el error relativo entre los datos calculados y los simulados, utilizando la siguiente ecuación.

$$Error_{Relativo} = \left| \frac{P_{calculada} - P_{simulada}}{P_{calculada}} \right| * 100$$

$$Error_{Relativo} = \left| \frac{-23.6 \text{ dBm} + 23.612 \text{ dBm}}{-23.6 \text{ dBm}} \right| * 100$$

$$Error_{Relativo} = 0.050 \%$$

El resultado del error relativo es muy bajo con lo que resulta despreciable, con lo que se puede afirmar la fiabilidad del diseño de enlace de comunicación. Debido a que la potencia de entrada del receptor está dentro el rango de sensibilidad del equipo de tele protección.

3.2.4.1.- Análisis del resultado de la señal óptica transmitida

El presente diseño fue simulado con una modulación externa que representa el equipo de tele protección, la misma que está conformada por los elementos del transmisor, ya que la señal eléctrica ingresa a un modulador, así como también ingresa la fuente de luz que se comporta como portadora y la señal eléctrica será la moduladora, de la señal óptica portadora, esto se lo consigue con la ayuda de un modulador en el caso del presente diseño es el Foto detector Mach Zenher. El enlace de comunicación como se indica en la Figura 56 está compuesto por una fuente láser configurada a 1310 nm, con la potencia de -15

dBm y su transmisión de datos 2 Mbps datos técnicos obtenidos en manuales del fabricante para el STW 3000 ver en anexos.

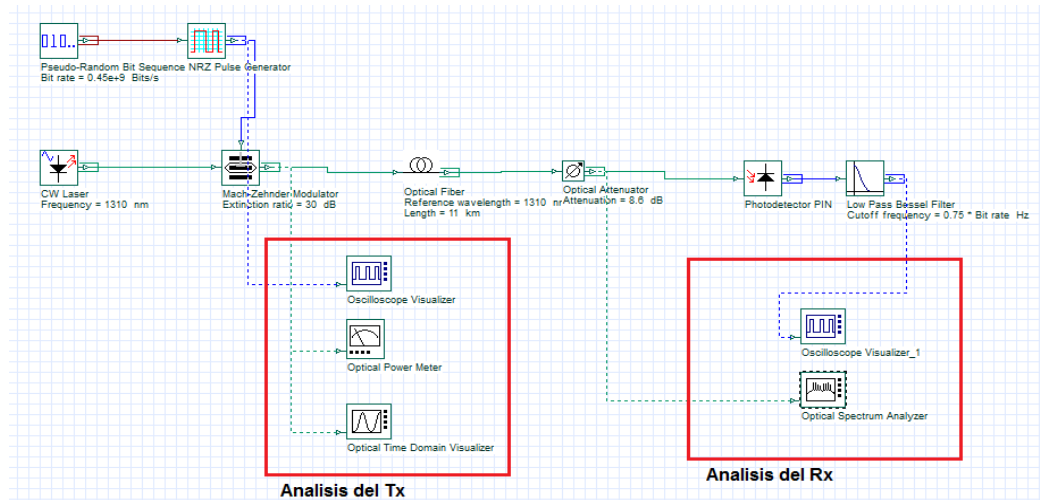


Figura 56.- Análisis de señales Tx y Rx (Optisystem, 2017)

Como se aprecia en la Figura 56 se coloca los analizadores en la salida del modulador externo, esta no depende de la señal del Cw láser ni su tiempo de respuesta, la señal dependerá del modulador Mach Zender. La Figura 57, se puede apreciar la señal de modulación digital mediante un NRZ.

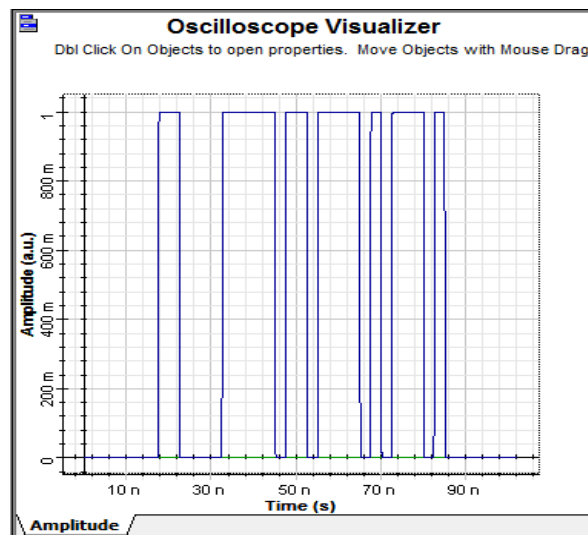


Figura 57- Señal eléctrica con secuencia de bits (Optisystem, 2017)

A la salida de modulador se obtiene la señal óptica para ser transmitida como se puede ver en la Figura 58.

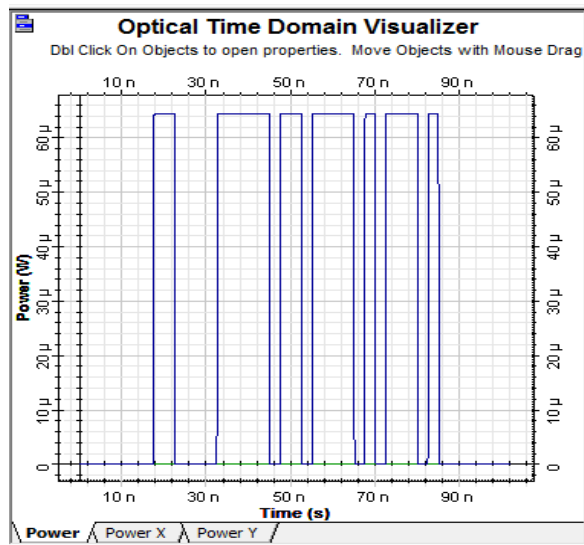


Figura 58.- Señal óptica con secuencia de bits (Optisystem, 2017)

Como se puede apreciar en la Figura la señal está libre de perturbaciones tanto al inicio como al final del pulso, con una amplitud máxima de potencia 6.77×10^{-5} W, el modulador está basado en la comparación de fases para enviar uno o cero lógico.

En el receptor se encuentra un fotodetector PIN, el cual recibe la señal óptica transmitida, como se indica en la Figura 59.

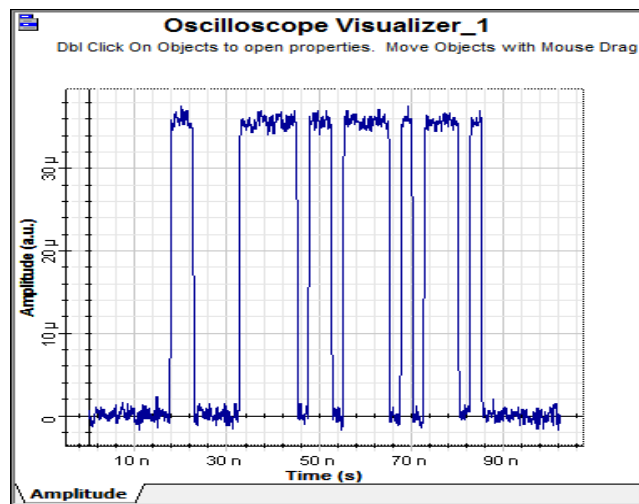


Figura 59.- Señal recibida en fotodetector PIN (Optisystem, 2017)

Como se puede apreciar en la amplitud del gráfico la señal presenta atenuación, debido a las pérdidas y la distancia del enlace de comunicación, pero el pulso de la señal es el mismo enviado desde el transmisor, y no tiene otro tipo de oscilaciones.

La distorsión que se encuentra en la parte superior de la curva, se debe a que el receptor PIN, requiere un tiempo de respuesta al recibir la señal óptica.

La distorsión en la parte inferior de los pulsos, es causado por el ruido, tal como se aprecia en la Figura 59, este se lo puede controlar con un filtro pasa alto.

Como resultado de este análisis se demostró que en el diseño de comunicación recibe la señal de pulsos transmitidos de una manera eficiente.

3.2.4.2.- Análisis del resultado de la tasa de bits errados (BER)

La tasa de bits errados (BER) es la relación de los bits errados con respecto a los transmitidos, este parámetro es utilizado para cuantificar la factibilidad del enlace de comunicación.

Con esto se puede determinar si el diseño es fiable o no, si el SNR (relación señal a ruido), es muy alta, el BER será despreciable o tiene un valor bajo la base. Pero si el SNR disminuye, debido a la presencia de ruido el BER aumentará. Este valor puede variar debido a que es afectado por interferencias, es un factor externo al sistema, se lo puede manipular mediante el ancho de banda, si se reduce este logrará limitar el rendimiento de transmisión de la señal, y se obtendrá una tasa de bits deseado.

También la potencia del receptor asegura una adecuada tasa de bits (BER), siempre y cuando este valor este dentro el rango mínimo de potencia de entrada al receptor. Caso contrario si la potencia es mayor que la sensibilidad del equipo el BER también aumentará. En la Figura 60, se observa la conexión del analizador (BER), el mismo que necesita la señal de salida del filtro de pasos, adicional la señal de secuencia de bits, y una señal eléctrica, para que este pueda representar el diagrama de análisis.

Una vez que este colocado el analizador se procede a la verificación del diseño como se indicó anteriormente se dirige al icono play, para iniciar la simulación y analizar el resultado se da clic sobre el elemento que es el analizador BER.

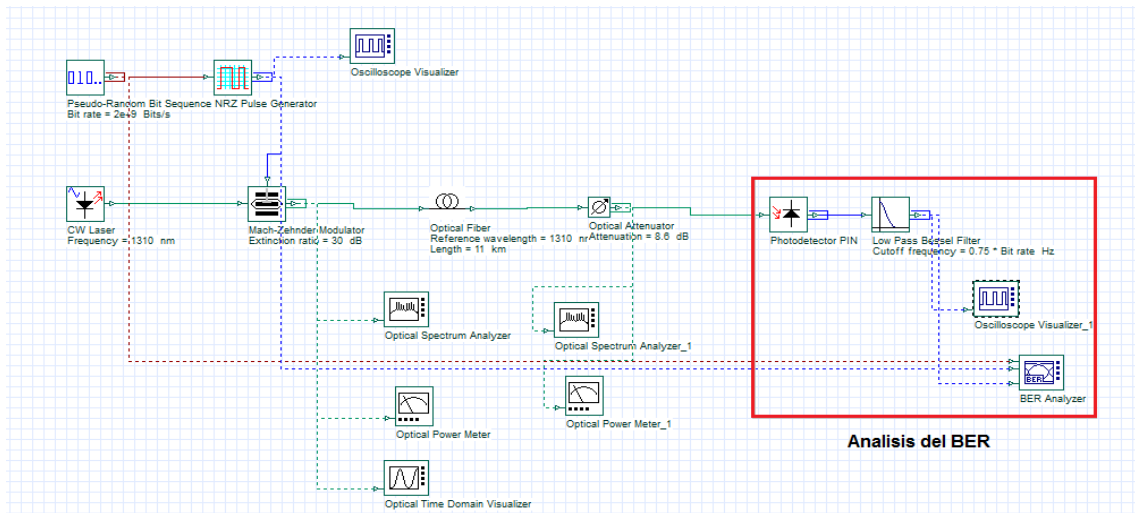


Figura 60.- Análisis de la tasa de bits errados (BER) (Optisystem, 2017)

En la Figura 61 se representa el pulso de la señal transmitida en la cual puede variar debido a factores externos como interferencias, ruido, distorsión y otros, en la misma figura se encuentran dichos factores los que representan:

- **Amp:** Amplitud del pulso transmitido.
- **Amax:** Amplitud del pulso máxima.
- **Intervalo unitario:** Este es el tiempo transcurrido entre los dos pulsos adyacentes.
- **Sobretensión superior:** Es la parte de amplitud excedente para uno o cero lógico.

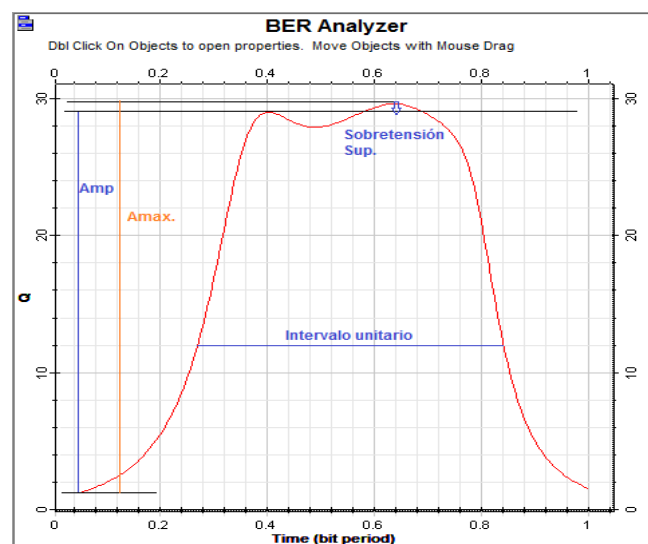


Figura 61.- Análisis de pulso de la señal (Optisystem, 2017)

Una vez visto el análisis del pulso se continúa con el análisis del diagrama de ojo, en la misma pantalla en la parte derecha se muestra el diagrama de ojo, se da clic. Este dicho

diagrama es la superposición de todas las combinaciones de los pulsos de ceros y unos lógicos como se indica en la Figura 62 en el cual se encontrará:

- **Periodo de bit:** Es la apertura o cierre del ojo.
- **Cruce de tiempo:** Es el tiempo donde se realiza la apertura y cierre del ojo.
- **Cruce de amplitud:** Este es el nivel de voltaje donde se realiza la apertura y cierre del ojo.
- **Niveles 1 y 0 lógico:** El valor promedio de cada uno respectivamente.

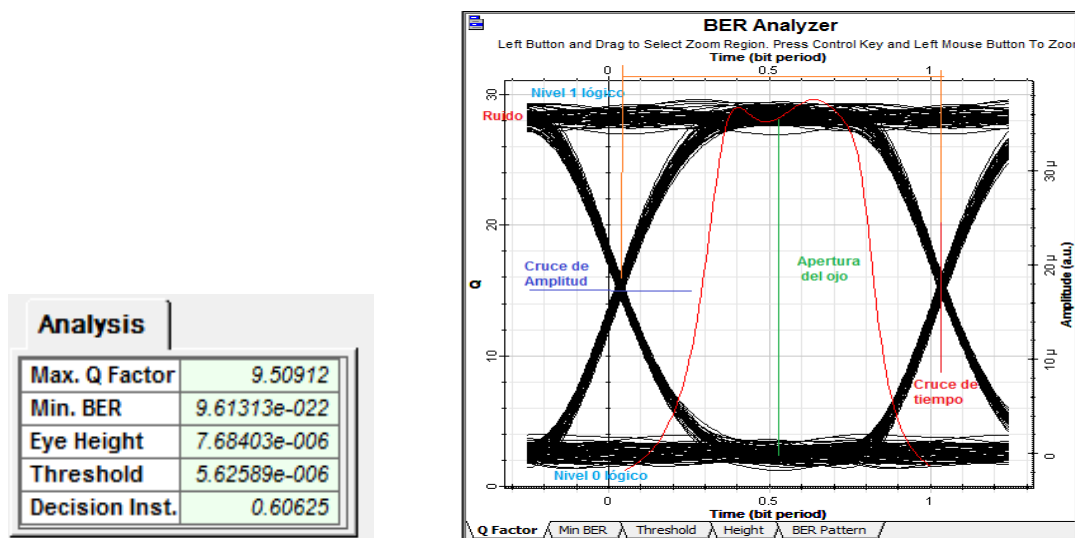


Figura 62.- Análisis del diagrama de ojo (Optisystem, 2017)

Como se puede apreciar en la figura el diagrama de ojo posee una apertura muy buena lo que indica la recepción de la señal sin interferencia, adicional en la parte superior se puede observar ruido el mismo que no ingresa al ojo, con lo que se puede concluir que no afecta a la recepción de la señal este tiene un valor aproximado de 1.8 (μ a.u), esto significa que el enlace tiene distorsión pero el mismo es aceptable por ser un enlace de comunicación digital en el cual se requiere detectar la señal de los pulsos de ceros y unos lógicos, en el análisis de simulación se obtiene un Min. BER de 9.6131 e -22 este es un valor menor que la base por lo que es despreciable, con esto se afirma que el diseño del enlace cumple con la eficiente transmisión de señal.

Como resultado del análisis con el diagrama de ojo y BER es afirmar que los elementos y equipos a utilizarse en el enlace cumplan la eficiente transmisión de datos del transmisor al receptor con lo que se puede garantizar un diseño de comunicación fiable y aplicable

al asegurar la recepción de señal la misma que es de vital importancia ya que su uso será empleado en la activación de relés eléctricos con los cuales se puede realizar la apertura de interruptores de potencia en eventuales fallos.

En el área eléctrica es de primordial importancia la detención de fallas a tiempo para salvaguardar los equipos del sistema de potencia a esfuerzos mecánicos, térmicos causados por sobre corrientes con lo que se hace énfasis en la importancia del enlace de comunicaciones ópticas y su eficiente funcionamiento.

3.2.4.3.- Análisis de la prueba de desvanecimiento y BER

El análisis de esta prueba hace referencia al BER, la base de este para la fibra óptica es de 1×10^{-12} , se determina mediante la potencia de entrada al receptor.

Mediante los cálculos realizados en la propuesta del enlace se tiene:

- Potencia del receptor: -23,6 dBm.
- Sensibilidad: -32 dBm.

Con la diferencia de estos dos parámetros se puede determinar que el enlace tiene un margen de desvanecimiento de 8,4 dB y de esta manera comprobar que el enlace tiene un valor del BER base, se puede afirmar que el enlace de comunicaciones enviara la señal de información normalmente y dentro los parámetros de sensibilidad del equipo.

Para lo cual el equipo de tele protección tiene el rango de potencia de salida del transmisor mínima y máxima de acuerdo al manual técnico:

- Potencia max: -8 dBm.
- Potencia min: -15 dBm.

Estos valores se colocarán en los parámetros de simulación del elemento CW Láser del diseño, adicional a esto se sumara el desvanecimiento a la atenuación total del enlace y se analiza los resultados del BER.

Caso 1 de simulación.- Si la Potencia mínima de salida del transmisor es -15 dBm y un desvanecimiento de 10 dB se tiene:

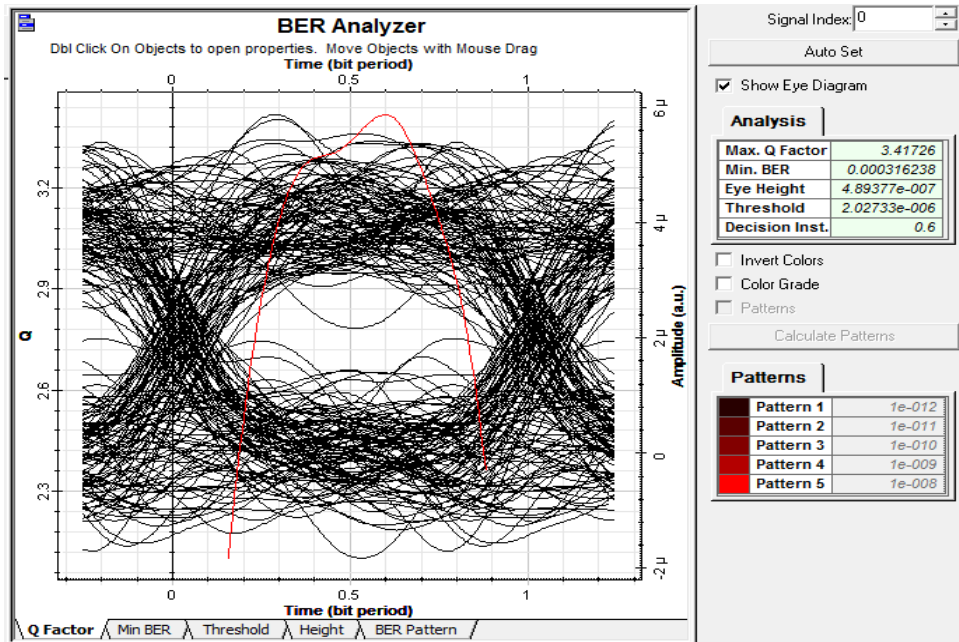


Figura 63.- Análisis del diagrama de ojo con potencia mínima (Optisystem, 2017)

La potencia de entrada al receptor es de -28,133 dBm y su BER es $3,1623 \times 10^{-4}$ se puede observar en la Figura 63, el desvanecimiento de la señal lo que significa una inadecuada comunicación del enlace, adicional a esto se puede apreciar el ruido existente.

Caso 2 de simulación.- Si la potencia máxima de salida del transmisor es -8 dBm, y un desvanecimiento de 10 dB, se tiene:

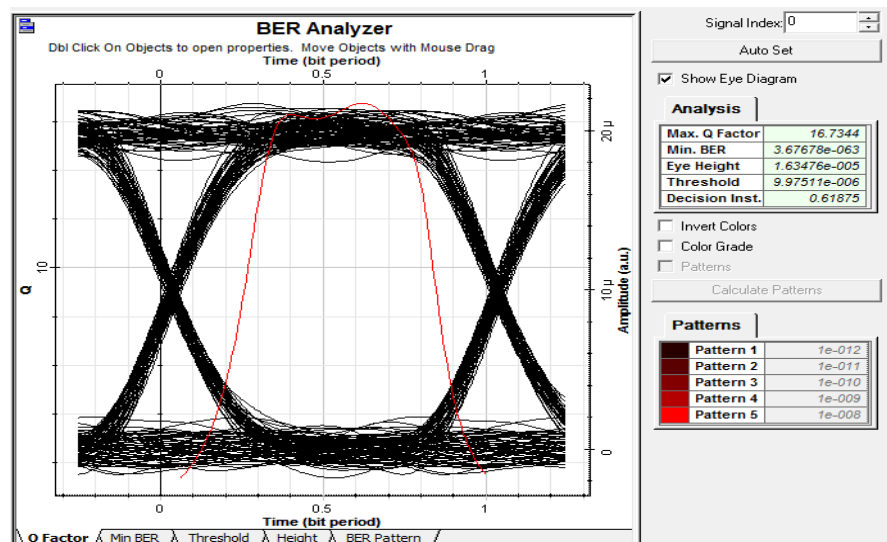


Figura 64.- Análisis del diagrama de ojo con potencia máxima (Optisystem, 2017)

En este caso la potencia de entrada al receptor es de -21,113 dBm con lo que se obtiene un BER de $3,6767 \times 10^{-63}$, como se puede observar en la Figura 64, el BER se mejora notablemente ya que el ruido disminuye de la señal de la información la misma que no tiene distorsiones en la recepción.

Resultado de la simulación.

En el caso 1 de la simulación se realiza con la potencia mínima de salida al enlace y el BER se comporta inversamente ya que se desmejora, lo que causa una inadecuada señal de transmisión. Pasa lo contrario para el caso 2, ya que se sube la potencia y el BER disminuye este mejora la calidad de transmisión de la señal y se puede afirmar que el BER está ligado directamente a la potencia de entrada del receptor.

Mientras la potencia de entrada se acerca más a la sensibilidad del equipo la señal se distorsiona, lo que indica un mal enlace de comunicación.

Se puede aumentar el desvanecimiento del enlace siempre y cuando se aumente la potencia de salida del transmisor y los parámetros ligados a este tienen de igual manera cambios, es decir la potencia de entrada al receptor aumenta, alejándose del parámetro de la sensibilidad del equipo, esto hace que el enlace de comunicación transmita una señal de información adecuada, caso contrario si la potencia de entrada se acerca o es igual a la sensibilidad la señal se distorsiona.

3.3.- Cronograma

Para realizar el proyecto del diseño y simulación de comunicaciones ópticas se realiza actividades cronológicamente, que ayudan al desarrollo del proyecto de una forma ágil y organizada para obtener los resultados esperados. Las actividades que se dio seguimiento son las que se pueden apreciar a Figura 65.

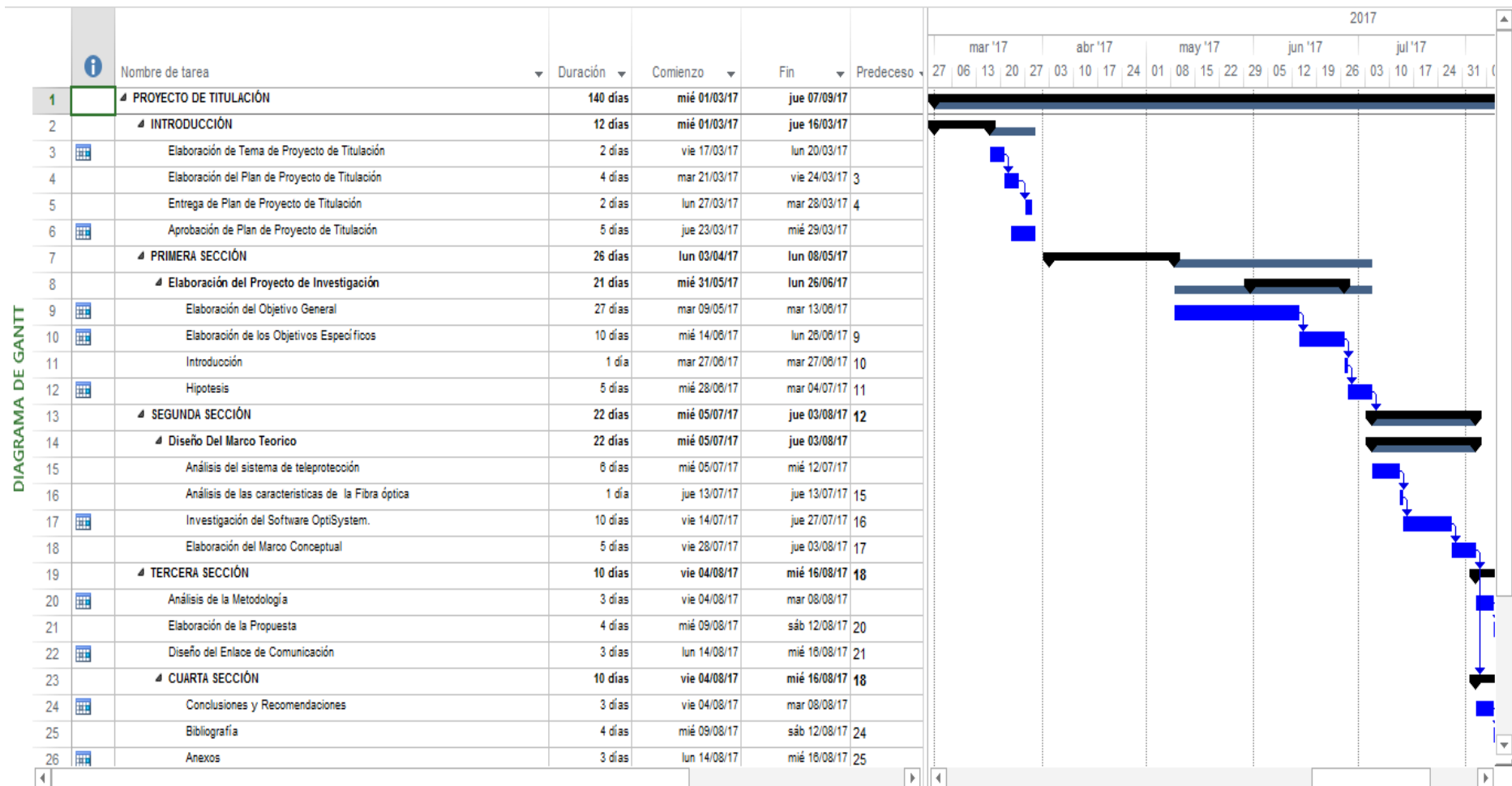


Figura 65.- Cronograma, (Autor 2017)

SECCIÓN IV

4.1.- Conclusiones

- Se analizaron los aspectos técnicos, geográficos y de ambiente que influyen en el diseño del enlace de comunicaciones, los cuales ayudan a determinar las características de comunicación, como resultado se determina que la fibra óptica como medio de transmisión adecuado para este tipo de enlace, así como todos sus componentes.
- En el diseño del enlace de comunicaciones, la selección de la fibra óptica G.652 D, se determina por, su menor dispersión cromática ≤ 3 (ps/nm.km), bajos niveles de atenuación por Kilómetro (0.3 dB/km). Y para una posible implementación deberá cumplir con las normas de la (UTI). Unión nacional de Telecomunicaciones. Tales como: Norma ITU-T G.652 D. (norma que especifica parámetros de la fibra óptica), L.25 (Tendido de redes de cables de fibra óptica).
- El de margen de desvanecimiento es uno de los parámetros calculados que indica la atenuación máxima que debe tener el enlace para una adecuada comunicación, para el caso del presente diseño este es de 8.4 dB, se realizó una simulación con la potencia mínima de -15 dBm y una potencia máxima de -8 dBm, se puede corroborar el comportamiento de la potencia de entrada al transmisor, como resultado se obtiene una potencia de -28,133 dBm, con la potencia mínima del transmisor, y -21,113 dBm con la potencia máxima. Con lo que se determina que ha mayor potencia de entrada al transmisor el desvanecimiento aumenta.
- En la simulación del enlace de comunicaciones ópticas para equipos de tele protección en centrales de generación eléctrica, se logró una aproximación del 90% de la fiabilidad de trasmisión de la señal, la misma que será de vital importancia para la activación de la protección eléctrica entre los puntos de Casa de máquinas y la Subestación San Rafael. La simulación da como resultado una potencia de entrada al receptor de -23,612 dBm, y de acuerdo al catálogo técnico del equipo de tele protección se conoce que la sensibilidad de este es de -32 dBm, con la diferencia de estos dos parámetros mencionados se puede conocer el

margen de desvanecimiento, que es 8.38 dB, valor que es aceptable para este tipo de enlace, ya que este valor es la reserva futura para eventos inesperados en la fibra, tal como empalmes. Con estos indicadores se muestra la factibilidad del enlace de comunicaciones.

- La simulación realizada del enlace de comunicaciones permite corroborar que el BER simulado es de $9,3161 \times 10^{-22}$ es menor que el valor teórico de un bit errado por cada millón de bits transmitidos la base del BER será 1×10^{-12} , para la fibra óptica, con lo que se puede considerar factible la transmisión de datos en el diseño para una posterior aplicación e implementación.

4.2.- Recomendaciones

- El tipo de fibra que se recomienda es una fibra óptica G.652 D mono modo de 6 hilos, con lo que 4 hilos de esta serán para reserva en caso de eventualidades futuras.
- Se recomienda otro tipo de enlace de comunicación en paralelo al sistema de tele protección, como el de radiofrecuencia, que solventara la comunicación de datos en el enlace, en el caso de una contingencia futura tal como la ruptura total del cable de fibra óptica del sistema principal.
- Al realizar el diseño del enlace de comunicaciones se recomienda tener presente, que la atenuación es un factor determinante para la transmisión de señales ópticas, debido a que es directamente proporcional a la distancia del enlace, esto quiere decir que a mayor distancia mayor será su atenuación.
- En el diseño del enlace de comunicaciones es recomendable dejar un margen de desvanecimiento considerable, que será de utilidad en futuras eventualidades, tales como adicionar equipos futuros, roturas de la fibra óptica, empalmes, etc.
- Para el diseño del enlace de comunicaciones se debe considerar los siguientes factores: tipo de información a transmitir, velocidad de transmisión, distancia del enlace, modo de instalación del cable.

- Al realizar los cálculos de la propuesta del enlace, los parámetros de atenuación tanto de los conectores, como de la fibra óptica, se los debe adquirir de catálogos técnicos comerciales en la industria de las telecomunicaciones, estos se los puede encontrar en los anexos.
- Se debe tener siempre presente los parámetros nominales de los equipos electrónicos que se utilizan, para el desarrollo de los cálculos en el diseño de enlace de comunicaciones.
- Para garantizar la recepción de la señal en el enlace de fibra óptica se debe realizar el análisis del BER y el diagrama de ojo conjuntamente, y considerar sus componentes, tales como el ruido e intensidad de la señal de información.

4.3.- Bibliografía

- Addison, W. (1998): Introducción a los sistemas de comunicación, México, Tercera Edición, Pearson.
- Castillo, M. (2008): Comunicaciones II, análisis del diagrama de ojo. Disponible en la web: http://www.mfbarcell.es/redes_de_datos/tema_08/tema08_medios.pdf. [Consulta: 20 de Julio de 2017]
- Forouzan, B. (2001): Transmisión de Datos y Redes de Comunicaciones, 2da edición, Mc Graw Hill.
- Fernández, B. (2009): “Medios de transmisión. Departamento de sistemas informáticos”, pp 1-35.
- Fred, H. (1992): Data Communications, Computer Networks and OSI, Wesley, 3rd edition, Addison.
- Herrera Pérez Enrique (2001): Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, Limusa.
- León-García, A. y Widjaja, I (2000): Redes De Comunicación, Conceptos Fundamentales y Arquitecturas Básicas, Madrid, McGraw-Hill.
- Nirajam, B (2014): Mapping de la tecnología SDH. Disponible en la web: <https://www.slideshare.net/NiranjanPoojary/sdh-mapping-and-multiplexing>. [Consulta: 02 de Junio de 2017]
- Normas ITU, (2016): Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior. Disponible en la web : <https://www.itu.int/rec/T-REC-L/es> [Consultado: 28 de junio de 2017]
- Manual de Capacitación del Sistema de Cableado Siemon IS-1821-01 Rev. M. Disponible en la web: <http://www.siemon.com>. [Consulta 21 de julio de 2017].
- Marchukov, Y. (2011): Desarrollo de una aplicación gráfica para el diseño de infraestructuras con fibra optica, Universidad Politécnica de Valencia, Gandia - España
- Ramon, J (2000): Tecnología de funcionamiento SDH. Disponible en la web: <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/sdh.php> [Consulta: 18 de Junio de 2017]
- Ramírez, S (2003): Protección de Sistemas Eléctricos, Colombia Manizales, 1era edición.

- Satllings, W. (2004): Comunicaciones y redes de computadoras, Madrid, séptima edición, Pearson educación s.a., Capitulo 5, Capitulo 8.
- Tomasi, W (2003): “Sistemas de comunicaciones”, Mexico, cuarta edición, pp. 728-746.

4.4.- Anexos.

ANEXO 1.-DISEÑO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES.

ANEXO 2.-PARÁMETROS DEL EQUIPO STW 3000.

ANEXO 3.-TABLA DE ESPECIFICACIONES UIT G.652.

ANEXO 4.-CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA.

ANEXO 5.-CERTIFICADO DE AUSPICIO DEL PROYECTO.

ANEXO 6.-PLAGIARISIM CHECKER.