



**PROPUESTA DE MONITORIZACIÓN DE
LA RED DE FIBRA ÓPTICA EN
PLATAFORMA ARDUINO PARA LA
GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA DE
RED EXTERNA DE TELEFÓNICA
VENEZOLANA C.A**

Autor:
Solórzano Virgilio
C.I: 24.817.882

Urbanización Yuma II, Calle N° 3.Municipio San Diego.
Teléfonos: 0241-8714240 (Master) – Fax: 0241-8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

**PROPUESTA DE MONITORIZACIÓN DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA EN
PLATAFORMA ARDUINO PARA LA GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA
DE LA RED EXTERNA DE TELEFÓNICA VENEZOLANA C.A**

EMPRESA: TELEFÓNICA VENEZOLANA C.A

Autor:
Solórzano Virgilio
C.I: 24.817.882


San Diego, Junio de 2017



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

PROPUESTA DE MONITORIZACIÓN DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA EN
PLATAFORMA ARDUINO PARA LA GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA
DE LA RED EXTERNA DE TELEFÓNICA VENEZOLANA C.A

CONSTANCIA DE ACEPTACIÓN


Nombre, firma y cédula de identidad del tutor académico

Rainier Blanco
Gerencia de Redes

Nombre, firma y cédula de identidad del tutor empresarial



Franklin Salazar
Gerencia de Redes





Autor:

Solórzano Virgilio

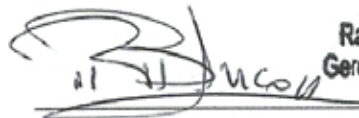
C.I. 24.817.882

San Diego, Junio de 2017

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Rainier Blanco, portador de la Cédula de Identidad N° 11.556.607, en mi carácter de Tutor del Trabajo de Grado presentado por el Ciudadano Br Virgilio J. Solórzano O., portador de la cédula de identidad N° 24.817.882, titulado **Propuesta de Monitorización de la Red de Fibra Óptica en Plataforma Arduino para la Gerencia de Infraestructura de la Red Externa de Telefónica Venezolana C.A**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero de Telecomunicaciones, acepta la tutoría del mencionado Proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación; según las condiciones de la Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes Reglamentos.

En San Diego, a los 09 días del mes de Junio del año 2017


Rainier Blanco
Gerencia de Redes

Telefónica



Ing. Rainier Blanco.

C.I.: 11.556.607

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pp
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
LA EMPRESA	
1.1 Ubicación.....	2
1.2 Descripción.....	2
1.3 Reseña Histórica.....	3
1.4 Misión.....	4
1.5 Visión.....	4
1.6 Valores.....	5
1.7 Organigrama General de la Empresa.....	6
1.8 Organigrama General del Departamento de Gerencia de Infraestructura de Red Externa.....	7
CAPÍTULO II	
EL PROBLEMA	
2.1 Planteamiento del Problema.....	8
2.2 Formulación del problema.....	10
2.3 Objetivos de la Investigación.....	10
2.3.1 Objetivo General.....	10
2.3.2 Objetivos Específicos.....	11
2.4. Justificación.....	11
2.5 Alcance.....	11
2.6 Limitaciones.....	12
CAPÍTULO III	
MARCO REFERENCIAL CONCEPTUAL	
3.1 Antecedentes.....	13
3.2 Bases Teóricas.....	15
3.2.1 Fibra Óptica.....	15
3.2.1.1 Historia y Origen	16

3.2.1.2 Características.....	17
3.2.1.3 Tipos.....	20
3.2.1.4 Aplicaciones.....	22
3.2.1.5 Ventajas.....	24
3.2.1.6 Desventajas.....	25
3.2.1.7 Fuentes Ópticas.....	25
3.2.1.8 Detectores Ópticos.....	29
3.2.1.9 Componentes para Aplicaciones Especiales.....	30
3.2.1.10 Parámetros de Interés.....	32
3.2.1.11 Conectores.....	33
3.2.1.12 Cable.....	35
3.2.1.12.1 Tipos de Cables.....	36
3.2.1.13 Empalmes.....	44
3.2.1.14 Pérdidas en los Cables de Fibra Óptica.....	50
3.2.1.15 Transceptor de Factor de Forma Pequeño Conectable Óptico(SFP).....	57
3.2.1.15.1 Estructura.....	59
3.2.1.15.2 EEPROM.....	63
3.2.2 Reflectometría Óptica en el Dominio del Tiempo(OTDR).....	64
3.2.2.1 Principios Básicos.....	65
3.2.2.2 Análisis de la Señal Retro Dispersada.....	69
3.2.3 Unidad Terminal Remota(RTU).....	71
3.2.3.1 Aplicaciones.....	72
3.2.4 Arduino.....	73
3.2.4.1 Hardware.....	75
3.2.4.2 Software.....	77
3.2.4.3 Arduino Uno.....	80
3.2.4.4 Shields de Comunicación.....	83
3.2.5 Circuito Interintegrado (I2C).....	87
3.2.5.1 Historia.....	88
3.2.5.2 Sistema de Bus.....	89
3.2.6 Transporte de Telemetría de Mensaje(MQTT).....	93
3.2.6.1 Arquitectura.....	93
3.2.6.2 Funcionamiento.....	95
3.2.6.3 Servidor Mosquitto.....	97
3.3 Definición de Términos Básicos.....	100

CAPITULO IV

FASES METODOLÓGICAS

4.1 Fases Metodológicas.....	104
Fase I. Estudiar las capacidades y características básicas de medición de un OTDR.....	104
Fase II. Diseñar un prototipo de OTDR en plataforma Arduino que permita monitorizar la red de fibra óptica	104
Fase III. Evaluar la factibilidad económica, técnica y operativa de la propuesta	106
Fase IV: Implementar la monitorización de la red de fibra óptica a través del OTDR en la plataforma Arduino	106

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Fase I. Estudiar las capacidades y características básicas de medición de un OTDR.....	107
Fase II. Diseñar un prototipo de OTDR en plataforma Arduino que Permita monitorizar la red de fibra óptica	109
Fase III. Evaluar la factibilidad económica, técnica y operativa de la propuesta	118
Fase IV: Implementar la monitorización de la red de fibra óptica a Través del OTDR en la plataforma Arduino.....	119

CONCLUSIONES	122
---------------------------	-----

RECOMENDACIONES	124
------------------------------	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
---	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°01. Especificaciones Arduino Uno.....	83
Tabla N°02. Tabla de Costos.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Pp.

Figura N°1. Organigrama de la Corporación.....	6
Figura N°2. Organigrama de la Vicepresidencia de Tecnología.....	7
Figura N°3. Estructura de la Fibra	18
Figura N°4. Fibra Monomodo.....	20
Figura N°5. Fibra Multimodo.....	21
Figura N°6. Fuentes Ópticas	26
Figura N°7. Longitud de Onda de Trasmisores.....	27
Figura N°8. Lanzamiento de Trasmisores Ópticos.....	28
Figura N°9. Longitud de Onda de Detectores Ópticos.....	29
Figura N°10. Tipos de Conectores.....	34
Figura N°11. Estructura del Cable de Fibra Óptica.....	35
Figura N°12. Estructura de un Cable Dúplex.....	37
Figura N°13. Estructura de un Cable de Distribución.....	38
Figura N°14. Estructura de un Cable Breakout.....	39
Figura N°15. Cable de Estructura Holgada.....	40
Figura N°16. Cable Tipo Cinta Fuente.....	41
Figura N°17. Cable Blindado Fuente.....	42
Figura N°18. Proceso de un Empalme por Fusión.....	46
Figura N°19. Proceso de un Empalme Mecánico.....	48
Figura N°20. Espectro de atenuación teórico para los mecanismos de pérdidas intrínsecas en vidrios de SiO ₂ -GeO ₂	52
Figura N°21. Espectro de atenuación medido para una fibra monomodo de ultra baja absorción. En la figura también aparecen los límites teóricos para la absorción intrínseca y Rayleigh.....	54
Figura N°22. SFP como interfaz en un Switch.....	58

Figura N°23. Diagrama de Bloques SFP Óptico.....	59
Figura N°24. Partes externas de un SFP.....	60
Figura N°25. Asignación de Pines.....	61
Figura N°26. Peine lector y Estructura (Host Board).....	62
Figura N°27. Mapa de Memoria de la EEPROM del SFP.....	64
Figura N°28. Fenómeno de Rayleigh.	66
Figura N°29. Reflexión de Fresnel.	67
Figura N°30. Diagrama de Bloques de un OTDR.	68
Figura N°31. Grafica del Pulso transmitido y pulso Reflejado.....	69
Figura N°32. Grafica Generada por el OTDR.	71
Figura N°33. Placa Arduino Mega.	76
Figura N°34. Entorno de Programación Arduino.	78
Figura N°35. Arduino Uno.	80
Figura N°36. Pines Arduino Uno.	82
Figura N°37. Ethernet Shield.	85
Figura N°38. Wi-Fi Shield.....	86
Figura N°39. Bus I2C.....	91
Figura N°40. Funcionamiento del Bus I2C.....	92
Figura N°41. MQTT Broker.....	94
Figura N°42. Jerarquía MQTT.....	95
Figura N°43. Comunicación MQTT.....	97
Figura N°44. Ejemplo de una Estructura MQTT.....	98
Figura N°45. Diagrama de Bloques de un OTDR.....	104
Figura N°46. Diagrama de Bloques del Prototipo de OTDR en Plataforma Arduino.....	106

Figura N°47. Esquemático de la Etapa SFP.....	107
Figura N°48. Físico (izquierda) y Layout (derecha) de la Etapa SFP.....	108
Figura N°49. Esquemático de la Etapa Arduino.....	109
Figura N°50. Físico (izquierda) y Layout (derecha) de la Etapa Arduino.....	109
Figura N°51. Buena Conexión en Web Server.....	110
Figura N°52. Conexión Degrada en Web Server.....	111
Figura N°53. Falla de Conexión en Web Server.....	111
Figura N°54. Interfaz Grafica con MQTT.....	112
Figura N°55. Prototipo de OTDR en Plataforma Arduino.....	113
Figura N°56. Implementación del OTDR en Plataforma Arduino.....	117

INTRODUCCIÓN

Equipos como el reflectómetro óptico en el dominio del tiempo, conocido por sus siglas en inglés como OTDR, es un equipo muy utilizado en sistemas de comunicaciones por fibra óptica para conocer una manera eficaz y sencilla el comportamiento de una fibra óptica a partir de las atenuaciones de potencia producidas en ella, siendo uno de sus usos comunes la localización de fallas y cortes del tipo de red descrita. También se encuentran las RTU, dispositivo basado en microprocesadores, el cual permite obtener señales independientes de los procesos y enviar la información a un sitio remoto donde se procese o visualice, en este caso, variables de interés presentes en la fibra óptica. Lo que convierte a estos dispositivos en herramientas esenciales al trabajar con redes de fibra óptica.

Telefónica Venezolana cuenta con un gran tendido de fibra óptica a lo largo del territorio nacional, por donde se transmiten gran cantidad de datos debido a su amplio ancho de banda, la convierte en algo primordial por lo que es necesario mantener libre de cualquier traba o interrupción estas líneas de transmisión para que la comunicación se complete de manera adecuada. Por lo cual la presente propuesta permitiría buscar la implementación de equipos que permitan la monitorización de la red de fibra óptica a partir de reflectometría óptica en el dominio del tiempo, además de visualizar valores de interés en tiempo real de manera remota para tener un mayor control de la misma.

CAPÍTULO I

LA EMPRESA

1.1 Ubicación

La sede principal de Telefónica Venezolana C.A se encuentra ubicada en la Av. Francisco de Miranda con 3era. Av. De Los Palos Grandes, Torre Telefónica Venezuela, Urb. Los Palos Grandes, Municipio Chacao, Estado Miranda, Distrito Capital. Las pasantías se realizaron en el MTSO de Maracay que se encuentra ubicado en la prolongación Av. Aragua La Morita 1 , Parcela 83D , CRT MCY del Estado Aragua.

1.2 Descripción

Telefónica Venezolana, bajo su marca Movistar, ofrece sus servicios a más de 12 millones de usuarios, quienes disfrutan de telefonía móvil, telefonía fija, Internet móvil, TV digital, transmisión de datos y servicios de valor agregado; también brinda soluciones corporativas a empresas y a pequeñas y medianas industrias (Pymes). Telefónica Venezuela es un gran generador de empleos, pues cuenta con un equipo de más de 6.800 personas, que trabajan de manera directa o indirecta en esta compañía.

1.3 Reseña Histórica

Telefónica Venezolana, C.A. nació el 6 de abril de 2005 tras la compra de los activos de BellSouth en Venezuela (antiguamente llamada Telcel Venezuela), la empresa contaba en ese momento con más de 4,5 millones de clientes consiguiendo el 48% de participación por parte de Movistar Móviles y cuenta con más de 300 puntos de atención al cliente en toda Venezuela. Su número de acceso es 0414 y 0424.

En el 2006 invirtió cerca de 300 millones de dólares dedicados, principalmente, a mejorar y ampliar la infraestructura de telecomunicaciones en el territorio venezolano. Adicionalmente, la compañía dio acceso a las telecomunicaciones, y con ello, disponibilidad a las personas más necesitadas en las regiones más apartadas de país, a través de la telefonía móvil.

En el 2007 Fue instalada en Venezuela una nueva red GSM que cubre todo el territorio nacional.

Luego en el 2008 Telefónica Venezuela cumplió con los objetivos que se trazó en lo que al desarrollo de su plataforma tecnológica se refiere, al completar un total 1.120 radio bases en la red GSM, 209 macro celdas y 106 micro celdas en servicio, lo que representa un total de 83.500 km para la optimización de su red. En diciembre de ese año lanzó la red 3.5G en Caracas.

Ya para el 2009 contaba con 295 celdas UMTS en servicio a nivel nacional y con un 4,4% de penetración 3.5G en Internet móvil, gracias al lanzamiento comercial en diversas regiones del país como: Gran Caracas, Maracaibo, Valencia, Puerto Ordaz, Maracay, Puerto La Cruz, Isla de Margarita, San Cristóbal, Mérida, Valera, Maturín, Ciudad Bolívar y Cumaná.

En el 2010 fue reconocida como el mejor lugar para trabajar en Venezuela, de acuerdo a la firma estadounidense Great Place to Work Institute.nc., dentro del sector de Telecomunicaciones fue la única compañía seleccionada en el ranking. El mercado para este año sigue creciendo, con la gestión de 11,5 millones de usuarios en el mes de junio. La Compañía mantiene una oferta integral de servicios con productos líderes en Internet móvil, televisión digital y telefonía móvil y fija.

1.4 Misión.

Ser una Telco (empresa de telecomunicaciones) para las personas significa darte el poder de decidir cómo mejorar tu vida y tomar el control de tu vida digital. Nuestros compromisos para lograrlo son:

- * Una conexión que pone a las personas por delante de la tecnología e impulsa la capacidad de elección en un mundo lleno de opciones.

- * Una conexión que ofrece protección y confianza para que las personas se sientan soberanas de su vida digital.

- * La conexión como un ecosistema de vida: piensa en las personas y optimiza la vida.

- * Una conexión que ayuda a disfrutar de un mundo de posibilidades.

1.5 Visión.

En Telefónica creemos que la tecnología forma parte de la vida de todos. Hoy, la conectividad no sirve sólo para relacionarnos, es esencial para nuestra vida

personal y laboral. Nuestro papel es facilitarte el disfrute de la conexión, salvaguardando el uso de tus datos y dándote el control de tu vida digital.

1.6 Valores

Cumpliremos estos compromisos a través de nuestro posicionamiento público, que defiende los intereses de los clientes, y de los valores de nuestras marcas. Los valores nos definen y son el motor de todo lo que hacemos. Dicen cómo somos y cómo queremos ser. Dan forma a nuestra actitud.

Telefónica y todas sus marcas comerciales compartimos los siguientes valores:

* **Confiables:** disponemos de la mejor red para ofrecerte la seguridad y fiabilidad que nos exigas. Nuestro compromiso contigo: excelencia en la ejecución, cuidado en el detalle y la mejor calidad. Si es bueno para ti, es bueno para nosotros.

* **Retadores:** yendo siempre un paso más allá de lo que esperas de nosotros, innovando para ofrecerte soluciones útiles. Tú nos marcas las metas.

* **Abiertos:** trabajamos desde dentro como un sistema abierto y colaborativo para trasladarte una actitud cercana y amable. Somos atentos y claros.

1.7. Organigrama General de la Empresa:

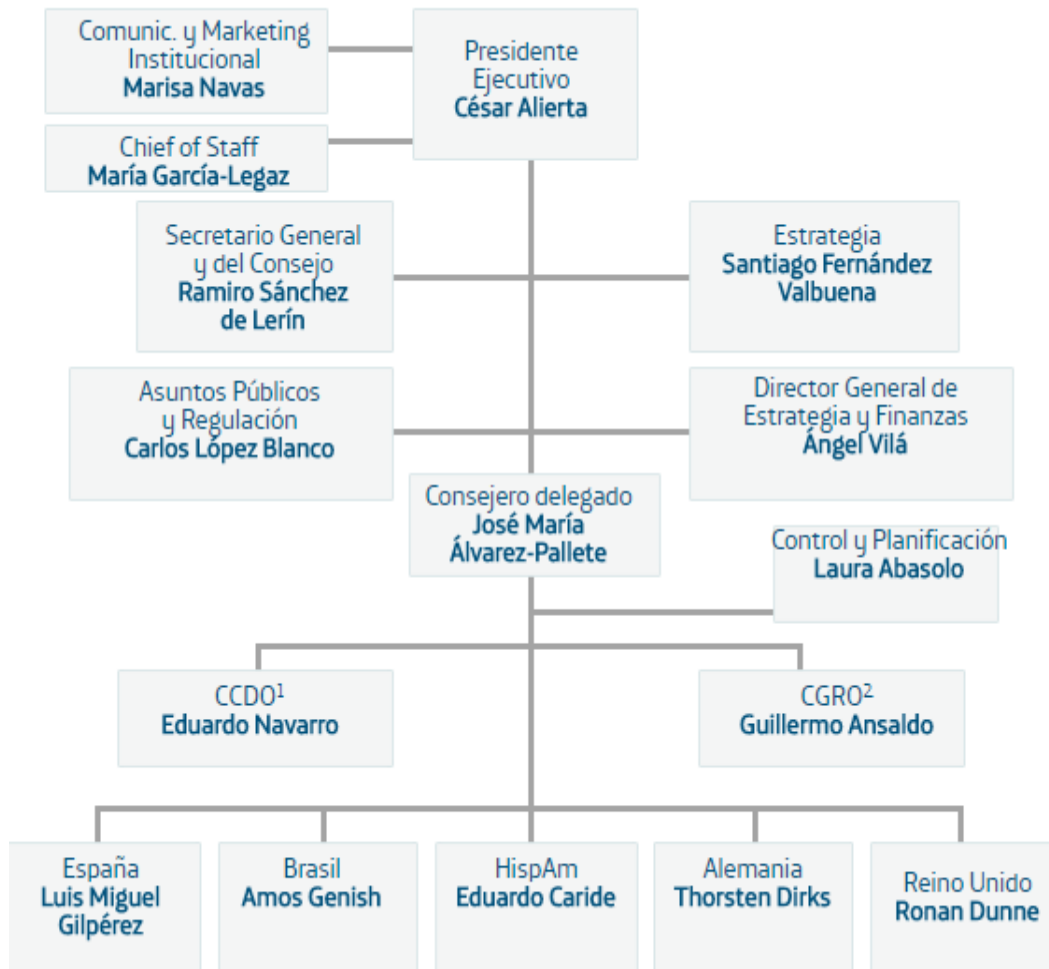


Figura N°1. Organigrama de la Corporación.

Fuente: Telefónica (2017)

1.8. Organigrama General del Departamento de Gerencia de Infraestructura de Red Externa:

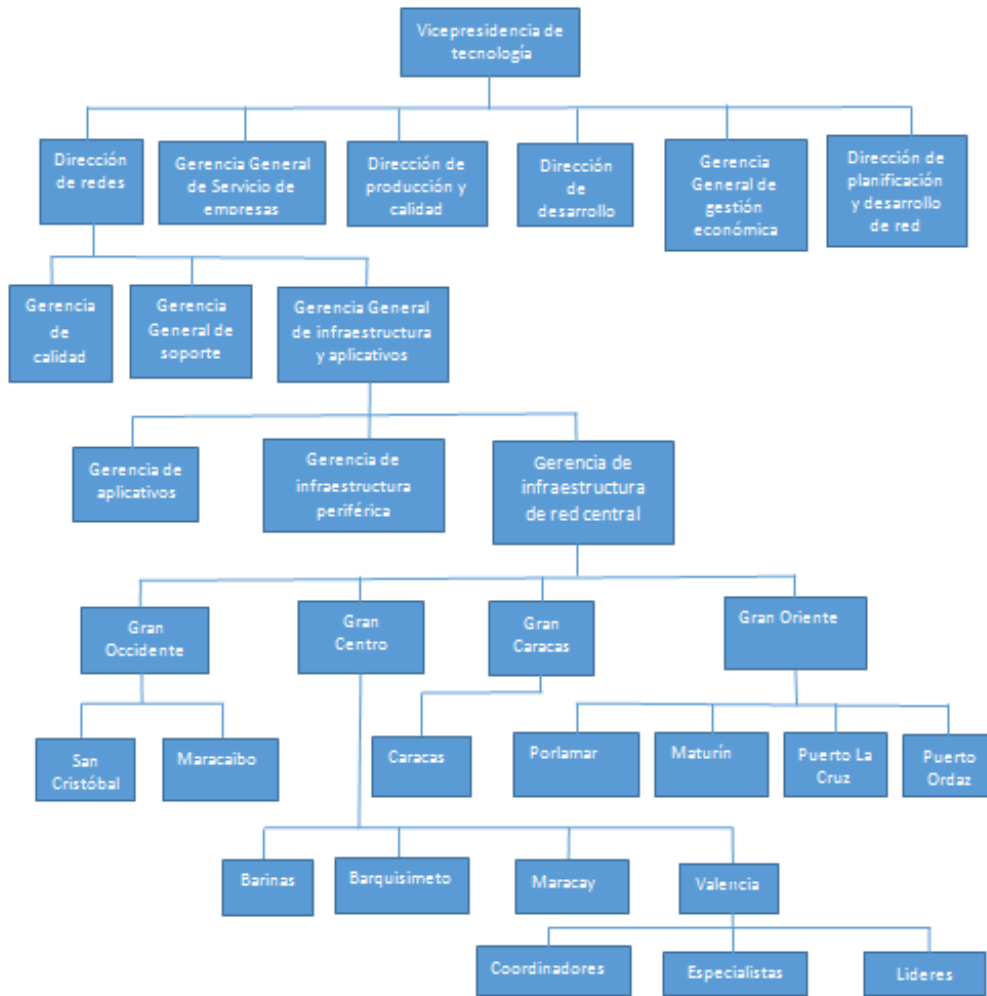


Figura N°2. Organigrama de la Vicepresidencia de Tecnología.

Fuente: Iuorio, I (2016)

CAPITULO II

EI PROBLEMA

2.1 Planteamiento del Problema

En el mundo de las Telecomunicaciones, disponemos de una multitud de recursos tecnológicos que permiten monitorizar procesos. Estos procesos ahorran tiempo al hombre y mejoran el rendimiento de las empresas. Internet, la interconexión de redes y la potencia computacional de los dispositivos permiten generar nuevos servicios y aplicaciones que mejoran la calidad de los mismos. En una época en la que van apareciendo nuevos dispositivos potentes y de bajo coste basados en sistemas de ordenadores de una sola placa (SBC) como lo es Arduino, junto con los recursos y conocimientos, podemos innovar y crear sistemas de monitorización. Como ejemplos de aplicaciones capaces de ser desarrolladas en estas plataformas podemos encontrar cosas tan interesantes como web servers accesibles desde red local e internet, control de aplicaciones mediante Wireless, aplicaciones domóticas en edificaciones, plataforma multimedia, sensores de nivel, medición de potencia eléctrica, monitorización de elementos mediante sensores y un sin fin de proyectos que cualquier empresa de telecomunicaciones pueda necesitar.

Las empresas telefónicas enfrentan la necesidad de gestionar recursos tecnológicos, humanos, financieros y comerciales, en el marco de una estrategia competitiva. De allí que en Venezuela, las empresas prestadoras de este servicio junto a las tecnologías buscan mejorar y desarrollar la infraestructura para competir en la

oferta de una prestación de estos servicios en el mercado nacional, lo que también implica mantener la operatividad de la infraestructura que posee la red.

Las telecomunicaciones en Venezuela han experimentado un desarrollo sostenido a lo largo de los años debido a que sus habitantes son consumidores muy exigentes tanto en servicios como en productos, por lo que las empresas intentan siempre estar a la altura de las expectativas de sus clientes y una de las infraestructuras que se los permiten son las redes de fibra óptica.

Como parte del plan de crecimiento sostenido de inversiones en el país, Movistar cerró el 2014 con una inversión de Bs. 1.772 millones en la región occidental, destinada a la mejora y ampliación de la cobertura, tendido de fibra óptica interurbana e infraestructura, para incrementar las capacidades de la red, que prestan servicio a los usuarios en la zona. Las labores que se han llevado a cabo en dichas zonas, se traducen en una capacidad instalada a la fecha de más de 2000 Mbps que pueden transitar por la región, más de un millón de minutos voz por hora y alrededor de 46 millones de SMS. Si hablamos de la Región Central ya la empresa de telecomunicaciones ha unido a través de la fibra óptica las ciudades de Barquisimeto, Puerto Cabello, Valencia, Maracay, Caracas, Maturín y Puerto La Cruz a través de 760 kilómetros de fibra. Con la instalación que se inauguro a finales del año 2013, se incremento la capacidad de 1,2 a 12 gigabits, y se alcanzo los 1.125 kilómetros de fibra óptica en el ámbito nacional, los cual constituye un crecimiento de 50% de la red. La fibra óptica beneficia sobre todo al sector corporativo, la industria, la banca, el comercio y las entidades gubernamentales, pues se expande ampliamente la capacidad de los servicios por la conexión interurbana.

Pero actualmente la situación es bastante precaria en cuanto la disponibilidad de equipos (unidad terminal remota (RTU), reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR), etc.) necesarios para levantamiento de fallas en el tendido de fibra óptica a lo largo y ancho del país en Telefónica Venezolana. Desde centrales con

ningún equipo de prueba de fibra óptica hasta mala planificación de las redes se cuentan como las razones por las que los clientes pueden presentar fallas al recibir servicios de telecomunicación de última generación con disponibilidad y calidad, además de la falta de atención y falta de previsión de la empresa para monitorizar el tendido de fibra óptica debido al alto costo de los equipos mencionados anteriormente. Todo esto trae como consecuencia la situación que se vive actualmente: regiones con fallas constantes en el tendido de fibra óptica ya que no poseen los equipos necesarios para que la empresa pueda atender estas deficiencias a corto plazo en el tendido de red afectado.

2.2 Formulación del Problema

¿De qué manera un sistema con las funciones esenciales de un OTDR o RTU realizado en la plataforma Arduino permitiría la monitorización de la red de fibra óptica para la Gerencia de Infraestructura de Red Externa en Telefónica Venezolana C.A?

2.3 Objetivos de la investigación

2.3.1 Objetivo General

Proponer un sistema de monitorización de la red de fibra óptica en plataforma Arduino para la Gerencia de Infraestructura de Red Externa de Telefónica Venezolana C.A.

2.3.2 Objetivos Específicos

- * Estudiar las capacidades y características básicas de medición de un OTDR.
- * Diseñar un prototipo de OTDR en plataforma Arduino que permita monitorizar la red de fibra óptica.
- * Evaluar la factibilidad económica, técnica y operativa de la propuesta.
- * Implementar la monitorización de la red de fibra óptica a través del OTDR en la plataforma Arduino.

2.4 Justificación

La red de fibra óptica está presentando constantes fallas y debido a la falta de la cantidad de equipos necesarios en la empresa, se ha generado un atraso en la detección y solución de fallas en la red descrita, lo que representa una baja en cuanto a calidad de servicios que Telefónica Venezolana le brinda a sus clientes.

Por estos motivos es necesario buscar alternativas tecnológicas que nos brinde un equipo que permita la monitorización y prueba de las redes de fibra óptica para mejorar el tiempo de respuesta y prevención de averías en este tipo de red.

2.5 Alcance

La implementación de la presente propuesta permitiría el desarrollo de equipos a un bajo costo de reflectometría en el dominio del tiempo, visualizar variables de interés en tiempo de real y de manera remota como las conocidas RTU'S. Que nos concede la monitorización de la red fibra óptica en líneas de

aproximadamente 50 km lo que se traduce en una mejora en la solución y prevención de fallas en este tipo de red.

2.6 Limitaciones del estudio

*La dificultad de encontrar en el país los componentes electrónicos necesarios en la circuitería representa un retraso en la etapa experimental.

*Algunos procedimientos en cuanto al manejo de fibra óptica significan la solicitud de servicios a terceros especializados en el área técnica de la misma.

*Los costos de algunos componentes y equipos pueden ser elevados en comparación al presupuesto disponible.

*Adaptarse al hardware disponible puede generar inconvenientes en alcanzar los objetivos de la propuesta.

CAPITULO III

MARCO REFERENCIAL CONCEPTUAL

3.1. Antecedentes

López C.; Eduardo (2013) en su trabajo de grado titulado “**Estudio teórico y simulación de un OTDR para sistemas de comunicaciones por fibra óptica**” Presentado ante la Universidad Politécnica de Madrid para optar al Título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

El autor presenta un proyecto En el presente trabajo se hace un análisis general de las características básicas de los reflectómetro ópticos en el dominio del tiempo (OTDR), los cuales constituyen una valiosa herramienta para comprobar el estado de funcionamiento de los canales ópticos. Para esto se explica en detalle el método de la retrodispersión, el cual es ampliamente utilizado para detectar y analizar los fenómenos característicos de una fibra óptica. Además se mencionan las modificaciones que se le han hecho a la teoría elemental de los OTDR, tratando de solucionar algunos inconvenientes que han surgido en la práctica. Con el propósito de entender el desempeño de los OTDR, esto se ha realizado mediante la interfaz gráfica(GUI) de matlab, obteniéndose un programa en el que él se le permite al usuario elegir las características del enlace de fibra óptica que desee visualizar por pantalla, pudiéndose elegir desde el tipo de fibra óptica, a los tipos de conectores etc. Por ello se ha dividido el desarrollo del proyecto en dos fases.

En la primera fase, desarrollo del reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR), realizando una interfaz que permita al usuario visualizar distintos

tipos de enlaces de fibra óptica que dependerán de los parámetros que se seleccionen antes de realizar la simulación

En la segunda fase, uso de la interfaz gráfica, creada para simular distintos enlaces tratando de caracterizar los principales problemas de los enlaces de fibra óptica así como maneras de visualizar e identificar los componentes de un enlace.

Montero S. David (2013) en su en su trabajo de grado titulado “**Localización de Fallos en Enlaces Full-Duplex de Fibra Óptica Mediante Detección Sincronizada de Tiempos de Caída**” Presentado ante la Universidad Politécnica de Madrid para optar al Título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

En este informe el autor presenta un sistema de supervisión de fibra óptica donde se muestran los resultados obtenidos durante la evaluación experimental de un método de localización de cortes en enlaces full-dúplex de fibra óptica, empleando un método alternativo a medidas con Reflectómetro Ópticos en el Dominio del Tiempo(OTDR). El método utilizado consiste en comparar los tiempos de caída en los dos extremos del enlace de manera sincronizada cuando se produce un corte de fibra. Se han evaluado dos tipos de tecnologías de fibra, multimodo y monomodo, analizando las prestaciones del método en cada caso y para varios tipos de rotura de cable, considerando y comparando la precisión de las medidas así como las máximas distancias soportadas.

Uría Z.; Jimena M. (2011) en el informe final de cursos en cooperación técnica y desarrollo social: “**Sistema de Documentación y Monitoreo de la Red de Fibra Óptica de Movistar en la Región Gran Caracas**” Presentado ante la Universidad Simón Bolívar como requisito parcial para optar al título Ingeniero Electrónico.

El autor presenta un proyecto que tiene como propósito implementar herramientas de gran eficiencia para agilizar y facilitar el sistema de documentación

de la base de datos de la red de fibra óptica de Gran Caracas de la empresa Movistar y brindar un valioso apoyo al trabajo de monitoreo y atención de fallas de la red a través de una aplicación que presente informes detallados de la ubicación y característica de la falla presentada.

3.2 Bases Teóricas

3.2.1 Fibra Óptica

La fibra óptica es una delgada hebra de vidrio o silicio fundido que conduce la luz. Se requieren dos filamentos para una comunicación bi-direccional: TX y RX. El grosor del filamento es comparable al grosor de un cabello humano, es decir, aproximadamente de 0,1 mm

El principio en que se basa la transmisión de luz por la fibra es la reflexión interna total; la luz que viaja por el centro o núcleo de la fibra incide sobre la superficie externa con un ángulo mayor que el ángulo crítico, de forma que toda la luz se refleja sin pérdidas hacia el interior de la fibra. Así, la luz puede transmitirse a larga distancia reflejándose miles de veces. Para evitar pérdidas por dispersión de luz debida a impurezas de la superficie de la fibra, el núcleo de la fibra óptica está recubierto por una capa de vidrio con un índice de refracción mucho menor; las reflexiones se producen en la superficie que separa la fibra de vidrio y el recubrimiento.

3.2.1.1 Historia y Origen

Los primeros cables submarinos que sirvieron para la comunicación entre continentes fueron los cables telegráficos, instalados en los tiempos de la guerra de Secesión. Les han sucedido los cables coaxiales, para realizar conversaciones telefónicas. El primer cable coaxial que unió los dos lados del Atlántico, tendido en 1955, correspondía a 48 líneas telefónicas. ¿Cuánto camino se ha recorrido desde entonces gracias a las fibras ópticas? Un solo par de estos largos y delgados cabellos de vidrio, que vehiculan la información en forma de impulsos de luz, transmite simultáneamente cerca de 500.000 comunicaciones telefónicas de un continente a otro, es decir a una distancia de 6.000 a 10.000 km.

La idea de fabricar fibras de vidrio de sílice suficientemente puro para transportar la luz a grandes distancias se ha ido abriendo camino desde finales de los años 60. El fundamento: la luz enviada por el interior de la fibra se refleja en sus paredes, lo que tiene como consecuencia guiar el haz luminoso a lo largo de la fibra, incluso cuando ésta está curvada; sin embargo, no fue hasta mediados de los años setenta que se publicaron los resultados del trabajo teórico. Estos indicaban que era posible confiar un haz luminoso en una fibra transparente flexible y proveer así un análogo óptico de la señalización por alambres electrónicamente.

El problema técnico que se había de resolver para el avance de la fibra óptica, residía en las fibras mismas, que absorbían luz que dificultaba el proceso. para la comunicación práctica, la fibra óptica debe transmitir señales luminosas detestables por muchos kilómetros. El vidrio ordinario tiene un haz luminoso de pocos metros. Se han desarrollado nuevos vidrios muy puros con transparencias mucho mayores que la del vidrio ordinario.

La concretización de esta idea requirió tiempo: han sido necesarias sucesivas innovaciones tecnológicas relativas tanto al soporte material -las fibras ópticas- como a la manera de enviar y hacer circular la información por ellas. También se han tenido que desarrollar focos láser en miniatura (los diodos láser) y dispositivos de recepción (fotodiodos), así como la electrónica numérica de los circuitos integrados. Por todo ello, la regla general durante mucho tiempo para las comunicaciones a larga distancia fueron los enlaces de radio por satélite, que no cedieron el paso a los cables ópticos hasta el final de los años ochenta. Pero, en la actualidad, la mayor parte de las comunicaciones intercontinentales se realizan a través de cables ópticos submarinos que, depositados en el fondo de los océanos, tejen una verdadera red alrededor del planeta. De este modo, las fibras ópticas han sustituido completamente a los cables coaxiales. Y, para el usuario, un signo tangible de esta mutación a las fibras ópticas en las comunicaciones telefónicas intercontinentales fue la desaparición en 1988 del tiempo muerto de 0,4 segundos, debido al enlace vía satélite.

3.2.1.2 Características

Los hilos de Fibra Óptica, sumamente finos y fáciles de romper, se reúnen en haces y se engloban en la estructura protectora de un cable, que sirve de refuerzo y aislamiento, protegiéndolos de la humedad, calor o frío (ver Figura N° 3).

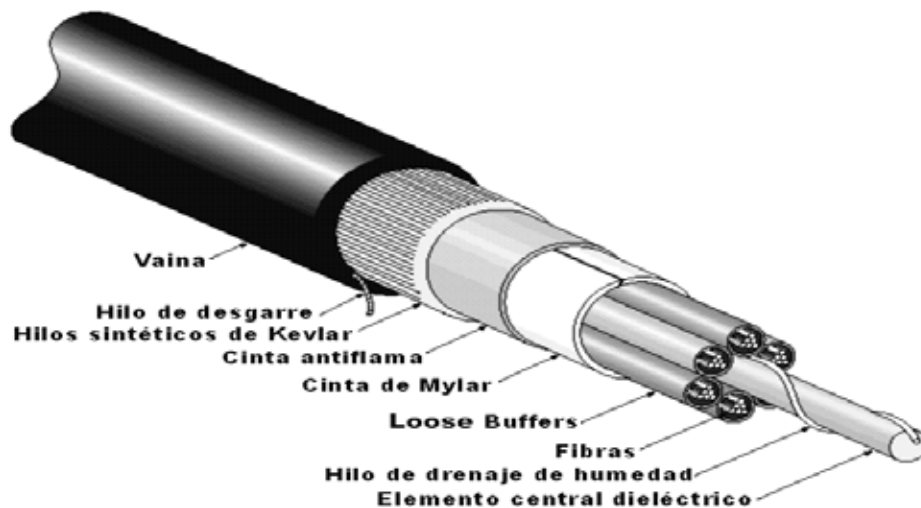


Figura N° 3. Estructura de la Fibra Óptica

Fuente: <https://fibrasopticaplus.wordpress.com/2011/08/04/caracteristicas/>

Si enumeramos las características principales de la Fibra Óptica, debemos destacar el aumento de velocidad en la transmisión de datos que supone, en relación con otros medios ya existentes, como el cable de cobre.

Esa velocidad se traduce en descargas más rápidas de Internet y transmisión más rápida de datos hacia la red desde los equipos. Igualmente, ofrece mejores resultados en tareas intensivas, como actividades online, o la emisión de canales de alta definición en streaming. Esas velocidades se mantienen de manera constante, sin los frecuentes altibajos que sufren las comunicaciones, ya que la Fibra Óptica es totalmente inmune a las interferencias y perturbaciones de origen electromagnético y no existe ninguna merma por la distancia que pueda existir hasta la centralita de datos.

Otra de las características de la Fibra Óptica es su gran ligereza y versatilidad, ya que el peso del cable de este material es muy inferior al de los tradicionales cables metálicos, del orden de nueve veces menos que un cable de cobre. Su ligereza es tal que un kilómetro de tendido se podría cubrir con bastante menos que un kilogramo de peso. Esta ligereza supone una enorme ventaja durante su instalación.

La sencillez de su instalación es, precisamente, otra de las características de la Fibra Óptica, ya que el reducido tamaño y peso de los cables permite utilizar cualquiera de las canalizaciones ya existentes en el edificio, por ejemplo, las conducciones de cable telefónico.

Una característica sumamente interesante para la industria y crucial para su desarrollo es el coste menor que supone la materia prima que conforma la Fibra Óptica, en relación con el cobre utilizado hasta ahora. Esto es lógico, si tenemos en cuenta que la mayoría de la Fibra Óptica se fabrica con arena o sílice, materiales naturales muy abundantes. Además, con apenas unos kilogramos de vidrio es posible construir casi 43 kilómetros, lo que supone una ventaja extraordinaria.

Por último cabe señalar otra característica muy importante de la Fibra Óptica, como es la fácil localización de las averías en el tendido. Al depender la transmisión de datos de la existencia de un flujo continuo de impulsos luminosos, existe un proceso basado en la telemetría que permite detectar de forma rápida la incidencia.

3.2.1.3 Tipos

Las fibras ópticas transportan las señales de luz hacia abajo, en lo que se denominan modos. Esto suena técnico, pero solamente se refiere a diferentes formas de viajar: un modo es simplemente la vía que un haz de luz sigue por la fibra. Otros modos involucran rebotar por la fibra en otros ángulos, más o menos pronunciados.

1. Fibras Monomodo

Cuenta con un núcleo muy pequeño de 5-10 micrones en el diámetro (ver Figura N° 4). En esta fibra, todas las señales viajan directamente a través del medio, sin los extremos externos. El cable de la televisión, internet, y las señales del teléfono son generalmente fibras de monomodo, envueltas en conjunto en un haz enorme. Los cables como este pueden enviar información a 100 km (60 millas).

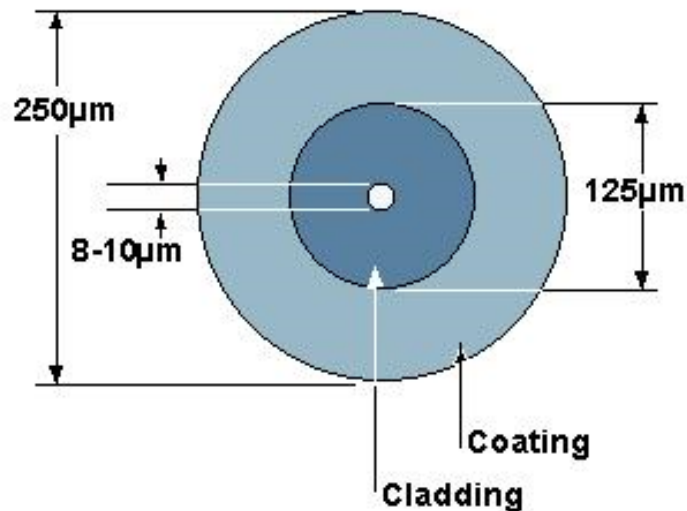


Figura N° 4. Fibra Monomodo

Fuente: <http://electronicaradical.blogspot.com/2011/03/fibra-optica>

2. Fibras Multimodo

Cada fibra óptica de este modo es, aproximadamente, 10 veces más grande que un cable de monomodo (ver Figura N° 5). Esto significa que el haz de luz puede viajar a través del núcleo siguiendo una serie de vías diferentes – en otras palabras, en múltiples modos diferentes. Los cables multimodo pueden enviar información solamente a distancias relativamente cortas y ser utilizados para mantener redes computacionales juntas.

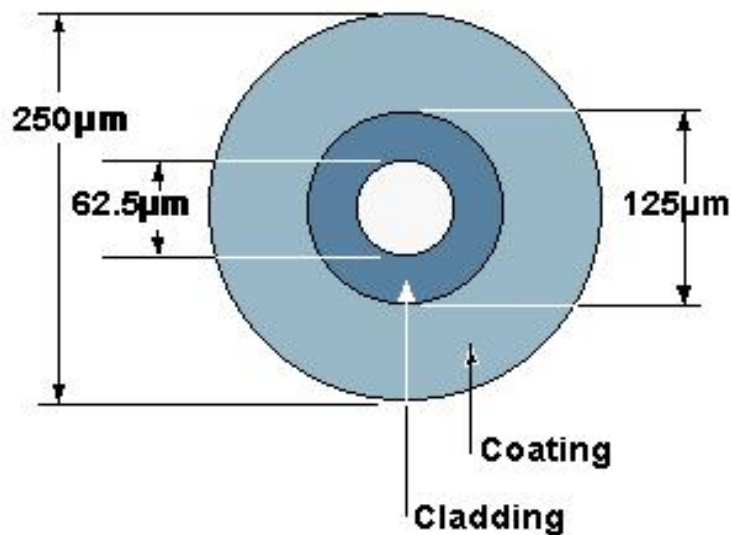


Figura N° 5. Fibra Multimodo

Fuente: <http://electronicaradical.blogspot.com/2011/03/fibra-optica>

Incluso fibras más gruesas son utilizadas en una herramienta médica conocida como gastroscopio (un tipo de endoscopio), que los doctores introducen por la

garganta del paciente con el objetivo de detectar enfermedades en el interior del estómago. Un gastroscopio es un cable gordo de fibra óptica que está formado por muchas fibras ópticas. También según su composición pueden ser de núcleo de plástico y cubierta plástica, o de núcleo de vidrio con cubierta de plástico (PCS) o de núcleo de vidrio y cubierta de vidrio (SCS).

3.2.1.4 Aplicaciones

*** Iluminación**

La aplicación más sencilla de las fibras ópticas es la transmisión de luz a lugares que serían difíciles de iluminar de otro modo, como la cavidad perforada por la turbina de un dentista. También pueden emplearse para transmitir imágenes; en este caso se utilizan haces de varios miles de fibras muy finas, situadas exactamente una al lado de la otra y ópticamente pulidas en sus extremos. Cada punto de la imagen proyectada sobre un extremo del haz se reproduce en el otro extremo, con lo que se reconstruye la imagen, que puede ser observada a través de una lupa. La transmisión de imágenes se utiliza mucho en instrumentos médicos para examinar el interior del cuerpo humano y para efectuar cirugía con láser, en sistemas de reproducción mediante facsímil y fotocomposición, en gráficos de ordenador o computadora y en muchas otras aplicaciones.

*** Sensores:**

Las fibras ópticas también se emplean en una amplia variedad de sensores, que van desde termómetros hasta giroscopios. Su potencial de aplicación en este campo casi no tiene límites, porque la luz transmitida a través de las fibras es sensible a numerosos cambios ambientales, entre ellos la presión, las ondas de sonido y la

deformación, además del calor y el movimiento. Las fibras pueden resultar especialmente útiles cuando los efectos eléctricos podrían hacer que un cable convencional resultara inútil, impreciso o incluso peligroso. También se han desarrollado fibras que transmiten rayos láser de alta potencia para cortar y taladrar materiales.

* Comunicaciones

Debido a que las ondas de luz tienen una frecuencia alta y la capacidad de una señal para transportar información aumenta con la frecuencia. En las redes de comunicaciones se emplean sistemas de láser con fibra óptica. Hoy funcionan muchas redes de fibra para comunicación a larga distancia, que proporcionan conexiones transcontinentales y transoceánicas. Una ventaja de los sistemas de fibra óptica es la gran distancia que puede recorrer una señal antes de necesitar un repetidor para recuperar su intensidad. En la actualidad, los repetidores de fibra óptica están separados entre sí unos 100 km, frente a aproximadamente 1,5 km en los sistemas eléctricos. Los amplificadores de fibra óptica recientemente desarrollados pueden aumentar todavía más esta distancia. En telefonía con motivo de la normalización de interfaces existentes, se dispone de los sistemas de transmisión por fibra óptica para los niveles de la red de telecomunicaciones públicas en una amplia aplicación. Con la implementación de los servicios en banda ancha como la videoconferencia, la videotelefonía, entre otras, la fibra óptica se hará imprescindible para el abonado (cliente final), los servicios de banda ancha posteriormente se ampliarán con los servicios de distribución de radio y de televisión en una red de telecomunicaciones integrada en banda ancha.

*Redes

Otra aplicación cada vez más extendida de la fibra óptica son las redes de área local. Al contrario que las comunicaciones de larga distancia, estos sistemas conectan a una serie de abonados locales con equipos centralizados como ordenadores (computadoras) o impresoras. Este sistema aumenta el rendimiento de los equipos y permite fácilmente la incorporación a la red de nuevos usuarios. El desarrollo de nuevos componentes electro ópticos y de óptica integrada aumentará aún más la capacidad de los sistemas de fibra óptica.

3.2.1.5 Ventajas

*Capacidad de transmisión: al ser tan delgadas, múltiples fibras pueden funcionar en un sólo cable. Actualmente, una sola fibra puede enviar 30 mil conversaciones al mismo tiempo. En cambio, un enlace de satélite llega a 2 mil; un cable coaxial a 10mil; un cable multipar a 500. En cuanto a Internet, se puede navegar a una velocidad de 2 millones de megabits por segundo.

*Baja debilitación de señal: gracias a los regeneradores, la señal puede viajar enormes distancias sin atenuar la señal.

*No interferencia: gracias a la pared y el revestimiento, la luz de una fibra no interfiere con la señal de las demás, así que no interfieren entre sí. Esto se traduce en mejor calidad de recepción de llamadas y canales de televisión.

*Peso y flexibilidad: el material es delgado y ligero, por lo que los cables pesan menos y son más fáciles de transportar. Además, la flexibilidad permite acomodar el cable con mayor libertad.

*Costo a largo plazo: en cuanto a distancias largas, es más barata la producción de fibra óptica que otras opciones como cables de cobre.

*Menor riesgo: ya que la luz no emite calor como lo hace la electricidad, por lo que no hay riesgo de incendio

3.2.1.6 Desventajas

*Alcance: la tecnología está limitada a poblaciones en zonas urbanas, por lo que se excluyen áreas rurales.

*Costo inicial: la instalación del servicio es alto, por lo que se requiere de una inversión inicial elevada.

*Fragilidad: a pesar de sus beneficios, la fibra óptica es muy frágil. Si no se le da su debido cuidado, resultará caro reemplazarla.

*Reparación: a diferencia de otros cables, no es posible reparar solamente una sección de un cable de fibra óptica, lo que produce mayores gastos.

3.2.1.7 Fuentes Ópticas

Las fuentes utilizadas para transmisores ópticos deben cumplir con varios criterios: operar en la longitud de onda adecuada, ser pasibles de modularse lo suficientemente rápido para transmitir datos y poder acoplarse de forma eficiente a la fibra.

Comúnmente se utilizan cuatro tipos de fuentes: LED, láser fabry-perot (FP), láser de retroalimentación distribuida (DFB) y láser de cavidad vertical y emisión

semiconductores (chips). Los LED y VCSEL se fabrican sobre pastillas de material semiconductor para que puedan emitir luz desde la superficie del chip, mientras que el láser F-P y DFB emiten luz desde el lateral del chip, desde una cavidad del láser creada en el medio del chip (ver Figura N°6).

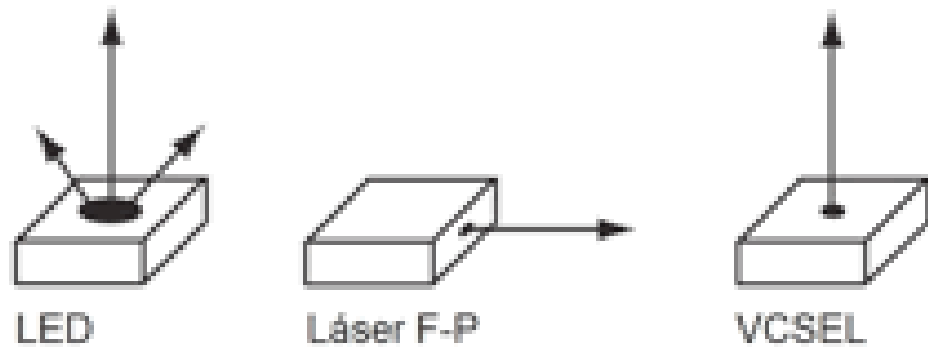


Figura N° 6. Fuentes Ópticas

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

Los LED tienen una potencia disponible mucho menor que los láser y su patrón divergente y amplio de salida de la luz hace que sea más difícil que se acoplen a las fibras, por lo que se pueden utilizar sólo con fibras multimodo. Tienen un ancho de banda menor que los láser y su uso se limita a sistemas que operan a 250 MHz o 200 Mb/s aproximadamente.

Los láser tienen un patrón de salida de la luz menor y más estrecho, por lo que se pueden acoplar fácilmente a fibras monomodo, lo que los hace ideales para transmisiones de alta velocidad en larga distancia. Por otro lado, los láser tienen una capacidad de ancho banda muy elevada, por lo que pueden ser útiles en 10 GHz o 10 Gb/s.

Debido al método en el que son fabricados, los LED y VCSEL son más económicos. Los láser son más costosos porque es más difícil crear la cavidad del láser dentro del dispositivo, y recién se podrá probar si el láser funciona correctamente cuando el chip esté separado de la pastilla del material semiconductor y tenga cada extremo revestido. Los LED tienen un ancho de banda limitado mientras que todos los tipos de láser son muy rápidos (ver Figura N°7). Otra gran diferencia entre los LED y ambos tipos de láser es el espectro de emisión. Los LED tienen un espectro de emisión muy ancho, lo que provoca dispersión cromática en la fibra, mientras que los láser tienen un espectro de emisión angosto que causa muy poca dispersión cromática. Los láser DFB, que se utilizan en largas distancias y en los sistemas DWDM, tienen los anchos espectrales más angostos, lo que disminuye la dispersión cromática en las transmisiones de mayor distancia. Los láser DFB también son altamente lineales (es decir que la salida de la luz continúa directamente a la entrada eléctrica) por lo que pueden utilizarse como fuentes en sistemas CATV AM.

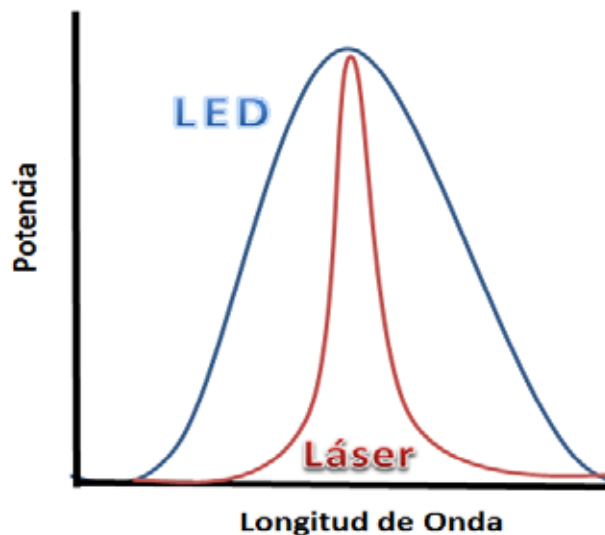


Figura N° 7. Longitud de Onda de Trasmisores Ópticos

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

La elección de estos dispositivos depende principalmente de la velocidad y de cuestiones de compatibilidad. Dado que muchos sistemas de planta interna que utilizan fibra multimodo han superado la velocidad de transmisión de bits de 1 Gb/s, los láser (mayormente los VCSEL) han reemplazado los LED. La salida de luz de los LED es muy dispersa; sin embargo, la de los láser es muy localizada, y las fuentes llenan la fibra de forma diferente (ver Figura N° 8). El lanzamiento restringido del VCSEL o de cualquier otro láser proporciona un mayor ancho de banda efectivo de la fibra; sin embargo, la fibra optimizada para láser, generalmente la OM3, es la ideal para los láser.

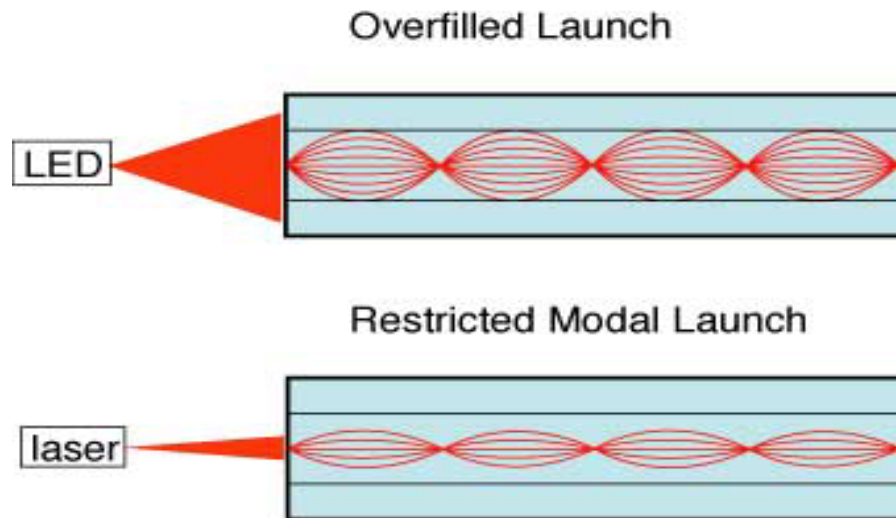


Figura N° 8. Lanzamiento de Transmisores Ópticos

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

La electrónica de un transmisor es simple: convierten un pulso de entrada (voltaje) en un pulso de corriente preciso para dirigir la fuente de luz. Generalmente, los láser se polarizan con una corriente continua baja.

3.2.1.8 Detectores Ópticos

Los receptores utilizan detectores semiconductores (fotodiodos o fotodetectores) para convertir las señales ópticas en señales eléctricas.

Los fotodiodos de silicio se utilizan para enlaces de longitud de onda corta (650 para fibra óptica de plástico, y 850 para fibra multimodo de vidrio). Generalmente, en los sistemas de longitud de onda larga se utilizan detectores de InGaAs (arseniuro de galio-indio) ya que tienen menor ruido que los de germanio, que hace que los receptores sean más sensibles (ver Figura N° 9).

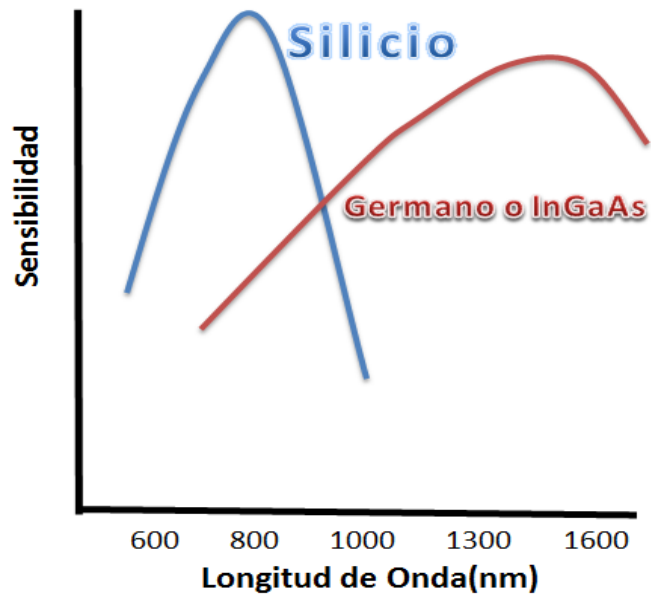


Figura N° 9. Longitud de Onda de Detectores Ópticos

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

Los sistemas de muy alta velocidad a veces utilizan fotodiodos de avalancha (APD) que tienen mayor capacidad de ancho de banda que otros fotodiodos. Los APD se polarizan con alto voltaje para crear ganancia en el fotodiodo, lo que aumenta la sensibilidad y la capacidad de frecuencia. Estos dispositivos son más costosos y complicados de utilizar pero ofrecen ganancia significativa en la potencia.

3.2.1.9 Componentes para Aplicaciones Especiales

Dado que la luz de las diferentes longitudes de onda no se mezcla en la fibra, es posible transmitir simultáneamente señales en diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra. La fibra es económica, pero instalar nuevos cables puede ser costoso, por lo que utilizar fibras ya instaladas para transmitir más señales puede ser muy rentable.

1. La Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM)

Se utilizó por primera vez con fibra multimodo en los comienzos de la fibra óptica, utilizando tanto 850 como 1310 nm en fibra multimodo. Actualmente, las redes de fibra monomodo pueden transportar señales a 10Gb/s en 64 longitudes de onda o más, lo que se conoce como multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM). Los sistemas de fibras multimodo que utilizan multiplexación por división de longitud de onda (WDM) han sido menos populares; sin embargo, algunos estándares utilizan multiplexación por división de longitud de onda ligera (CWDM) para transportar señales a velocidades mayores a 1 Gb/s sobre fibras multimodo optimizadas para láser.

2. Repetidores y amplificadores ópticos

A pesar de que la fibra óptica tiene pérdidas bajas, lo que permite que la señal viaje cientos de kilómetros, para distancias extremadamente largas e incluso en cables submarinos, se necesitan regeneradores o repetidores para amplificar la señal periódicamente. Al principio, los repetidores consistían básicamente en un transmisor seguido de un receptor. Este receptor convertía la señal de entrada óptica en una señal eléctrica, la limpiaba para eliminar todo el ruido posible y luego otro transmisor láser la retransmitía. Estos repetidores añadían ruido a la señal, consumían mucha energía y eran complejos, lo que significa que eran una causa de fallas. Además, tienen que fabricarse para una velocidad de transmisión específica y si se desea realizar una actualización de la red, se deben reemplazar todos los repetidores, ¡una tarea realmente difícil de realizarse en un cable submarino!

La solución a los repetidores ópticos fueron los amplificadores ópticos. Un amplificador de fibra estándar funciona en banda 1480-1650 nm. Consta de fibra dopada con erbio bombeada con un láser a 980 o 1480 nm. El láser de bombeo suministra la energía para el amplificador, mientras que la señal de entrada estimula la emisión a medida que el pulso atraviesa la fibra dopada. Esta emisión estimulada a su vez estimula mayor emisión, por lo que se genera un crecimiento rápido y exponencial de energía en la fibra dopada. Es posible obtener ganancias de hasta 40 dB (10000X) con potencias disponibles de hasta +26 dBm (400 mW).

Además de utilizarse como repetidores, los amplificadores ópticos se utilizan para aumentar el nivel de señal en los sistemas de televisión por cable, los que requieren niveles de energía elevados en el receptor para mantener un rendimiento adecuado de la relación señal-ruido, lo que permite tendidos de cable de mayor distancia o bien el uso de divisores (splitters) para "emitir" una sola señal a través de un acoplador hacia muchas fibras, y así ahorrar el costo de transmisores adicionales. En telefonía, los amplificadores de fibra se combinan con DWDM (multiplexación

por división de longitud de onda densa) para sobrellevar las ineficiencias de los acopladores de DWDM para transmisiones de larga distancia.

3.2.1.10 Parámetros de Interés

1. Parámetros Estáticos

Son constantes a lo largo de la fibra, dentro de las tolerancias propias de fabricación, y se refieren a las características ópticas y geométricas de las mismas. Entre estas figuran:

Perfil del índice de refracción que define la ley de variación del mismo en sentido radial, y siendo la velocidad de la luz en cada punto función de dicho índice, dará lugar a diversas velocidades en diferentes puntos

La apertura numérica ,determinante de la cantidad de luz que puede aceptar una fibra y en consecuencia de la energía que puede transportar, no necesariamente ligada a la calidad de la información correspondiente.

2. Parámetros Geométricos (diámetros y excentricidades)

Son función de la tecnología usada en la fabricación de las fibras, y las tolerancias correspondientes serán consecuencia de las mismas.

3. Parámetros Dinámicos

Son características de la fibra que afectan a la progresión de la señal a lo largo de la misma. Estos son:

La atenuación, de la que , aun correspondiendo al mismo concepto que en los conductores metálicos, no cabe hablar del mismo modo que en ellos , por cuanto no depende de la frecuencia de cada una de las componentes espectrales de la señal , sino de la longitud de onda de la luz portadora de la misma . Los mecanismos que provocan esta atenuación pueden tener su origen en causas intrínsecas a la propia fibra o en factores externos a la misma, tales como los procesos de fabricación, el envejecimiento, el tendido, etc.

La dispersión temporal, causada por las características dispersivas en la fibra sobre la señal en el transcurso del tiempo, lo que provoca ensanchamiento en el tiempo de los impulsos a medida que progresas en su recorrido y, en consecuencia, la deformación de los mismos, acarreando errores que , en definitiva, son los que limitan a la velocidad de información o régimen que puede transportar la fibra.

3.2.1.11 Conectores

Estos elementos se encargan de conectar las líneas de fibra a un elemento, ya puede ser un transmisor o un receptor. Los tipos de conectores disponibles son muy variados y su elección va de la mano al uso que tendrá o tiene la línea de fibra(ver Figura N°10), entre los que podemos encontrar se hallan los siguientes:

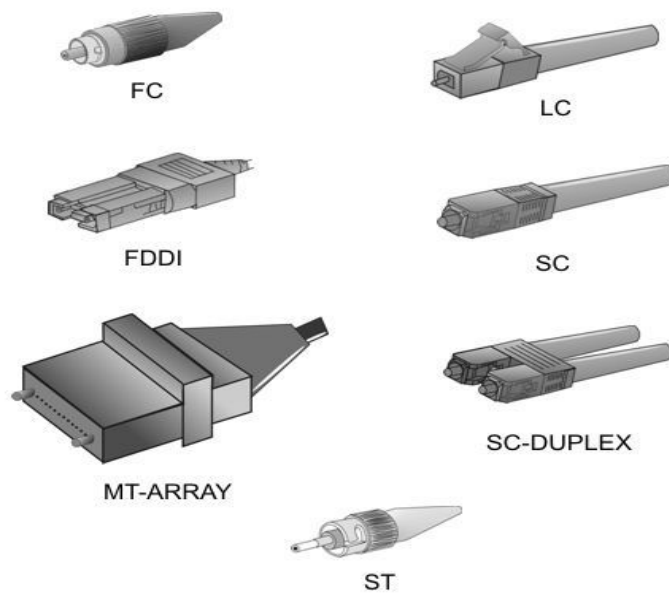


Figura N° 10. Tipos de Conectores

Fuente: www.mgainformatica.com/p/diferentes-conectores-fibra-optica.html

-FC que se usa en la transmisión de datos y en las telecomunicaciones siempre.

-FDDI se usa para redes de fibra óptica.

-LC y MT-Array que se utilizan en transmisiones de alta densidad de datos, más que nada usado en servers o clústeres.

-SC y SC Dúplex se utilizan para la transmisión de datos.

-ST o BFOC se usa en redes de edificios y en sistemas de seguridad.

3.2.1.12 Cable

Una fibra óptica consta de un cilindro de vidrio extremadamente delgado, denominado núcleo, recubierto por una capa de vidrio concéntrica, conocida como revestimiento. Las fibras a veces son de plástico. El plástico es más fácil de instalar, pero no puede llevar los pulsos de luz a distancias tan grandes como el vidrio. Debido a que los hilos de vidrio pasan las señales en una sola dirección, un cable consta de dos hilos en envolturas separadas. Un hilo transmite y el otro recibe. Una capa de plástico de refuerzo alrededor de cada hilo de vidrio y las fibras Kevlar ofrece solidez. En el conector de fibra óptica, las fibras de Kevlar se colocan entre los dos cables. Al igual que sus homólogos (par trenzado y coaxial), los cables de fibra óptica se encierran en un revestimiento de plástico para su protección (ver Figura N°11).

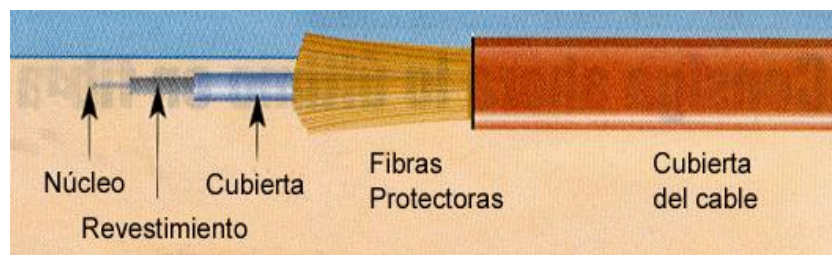


Figura N° 11. Estructura del Cable de Fibra Óptica

Fuente: http://www.fernandomenendez.es/redes/tema_02_m.htm

Las transmisiones del cable de fibra óptica no están sujetas a intermodulaciones eléctricas y son extremadamente rápidas, comúnmente transmiten

a unos 100 Mbps, con velocidades demostradas de hasta 1 gigabit por segundo (Gbps). Pueden transportar una señal (el pulso de luz) varios kilómetros.

3.2.1.12.1 Tipos de Cables

Existen dos tipos de cables básicos que suelen definirse como de estructura ajustada y de estructura holgada. Los cables de estructura ajustada (simplex, dúplex zipcord, de distribución y “breakout”) se utilizan en instalaciones en planta interna en las que la flexibilidad del cable y la facilidad para realizar la terminación son importantes, incluso más que la robustez y la resistencia a la fuerza de tracción que caracterizan a los cables de estructura holgada y a los cables tipo cinta (ribbon). En general, los cables de estructura ajustada se utilizan en interiores y los cables de estructura holgada o los cables tipo cinta (ribbon), en exteriores.

1. Cable simplex y dúplex (zipcord)

Estos tipos de cables se utilizan mayormente al instalar un cable de conexión (patchcord) o una placa lateral de conexiones (backplane); sin embargo, el cable duplex (zipcord) también puede utilizarse en conexiones de escritorio. Los cables simplex están compuestos por una sola fibra, de estructura ajustada (con un recubrimiento “buffer” de estructura ajustada de 900 micrones por encima del recubrimiento “buffer” primario), con elementos de refuerzo de Kevlar (fibra de aramida) y una chaqueta para uso en interiores. La chaqueta suele tener un diámetro de 3 mm. El cable dúplex (zipcord) está compuesto simplemente por dos cables de este tipo unidos por una red delgada(ver Figura N°12).

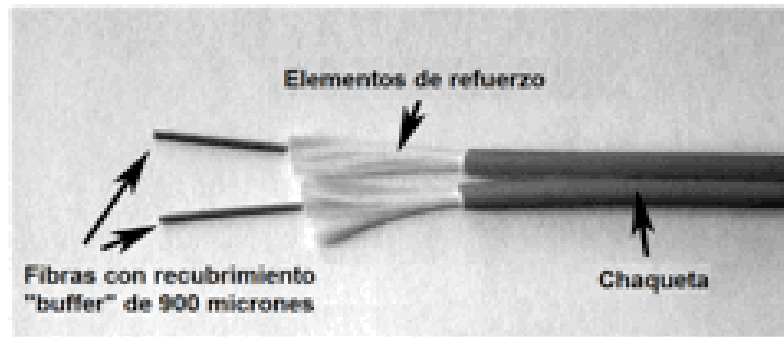


Figura N° 12. Estructura de un Cable Dúplex

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Cable.htm>

2. Cable de distribución

El cable de distribución es el cable para instalación en interiores más popular, ya que es de tamaño pequeño y, además, liviano. Contiene varias fibras de estructura ajustada agrupadas en una misma chaqueta con elementos de refuerzo de Kevlar y, en algunas ocasiones, una varilla de fibra de vidrio de refuerzo para tensar el cable y evitar que se retuerza. Estos cables son de tamaño pequeño y se los utiliza para tendidos cortos a través de conductos subterráneos en áreas libres de agua, y en instalaciones de cableado vertical o “riser” y aplicaciones “plenum”. Las fibras tienen un recubrimiento “buffer” doble, y se puede realizar la terminación de manera directa. Sin embargo, como las fibras no están reforzadas individualmente, estos cables deben distribuirse mediante una “caja de distribución”, o debe hacerse la terminación dentro de un panel de conexiones o una caja de conexiones para proteger a cada fibra (ver Figura N°13).

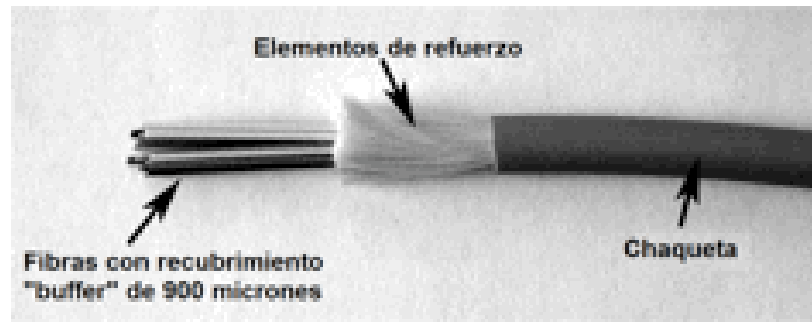


Figura N° 13. Estructura de un Cable de Distribución

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Cable.htm>

3. Cable “breakout”

El cable “breakout” es el favorito cuando se trata de utilizar cables resistentes o cuando se necesita hacer terminaciones directas sin cajas de conexiones, paneles de conexiones u otro tipo de hardware. Están compuestos por varios cables simplex agrupados en una misma chaqueta. Este es un cable de diseño fuerte y resistente, pero es más largo y más costoso que el cable de distribución. Es adecuado para tendidos de cables a través de conductos subterráneos y en instalaciones de cableado vertical o “riser” y aplicaciones “plenum”. Es perfecto para instalaciones industriales en las que se necesitan cables resistentes. Como cada fibra está reforzada individualmente, este diseño permite una terminación rápida de los conectores y no se necesitan paneles o cajas de conexiones. El cable “breakout” puede ser más económico cuando la cantidad de fibras por cable no es tan grande ni las distancias tan largas, ya que hacer la terminación demanda mucho menos tiempo (ver Figura N°14).

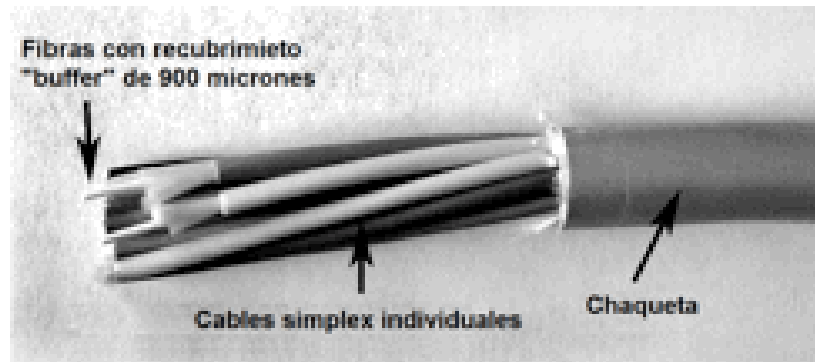


Figura N° 14. Estructura de un Cable Breakout

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Cable.htm>

4. Cable de estructura holgada

Los cables de estructura holgada son los más utilizados en enlaces en planta externa ya que ofrecen la mejor protección para las fibras en condiciones de elevada tensión por tracción y son fáciles de proteger de la humedad con gel o con la cinta para el bloqueo del agua. Estos cables están compuestos por varias fibras agrupadas en un tubo de plástico pequeño y, a su vez, enrolladas en un elemento central de refuerzo, rodeadas de elementos de refuerzo de aramida. Todo esto está envuelto en una chaqueta que forma un cable pequeño, de muchas fibras por cable. Este tipo de cable es ideal para la instalación de enlaces en planta externa, ya que pueden hacerse con tubos de estructura holgada que se rellenan de gel o polvo absorbente para evitar que las fibras se dañen a causa del agua. Puede utilizarse en instalaciones en conductos subterráneos, instalaciones aéreas o instalaciones bajo tierra, con cables enterrados de manera directa. Es posible que algunos cables para instalación en exteriores tengan doble chaqueta con una cubierta de metal entre ambas, lo que protege a los cables de los roedores que puedan masticarlos, o bien, una capa de

Kevlar, que les brinda resistencia al momento de someterlos a una fuerza de tracción desde las chaquetas. Como las fibras solo tienen un recubrimiento (buffer) de estructura ajustada delgada, deben manipularse con cuidado y estar protegidos de posibles daños. En los cables de estructura holgada que tienen fibras monomodo, para hacer la terminación se suelen empalmar cables de fibra conectorizados (pigtail) a las fibras y se los protege en el cierre del empalme. En el caso de los cables de estructura holgada que tienen fibras multimodo, la terminación se hace de manera directa con un kit para proteger la terminación de la fibra (breakout kit), también denominado kit de derivación (fan-out kit), con el que se viste a la fibra para su protección (ver Figura N°15).

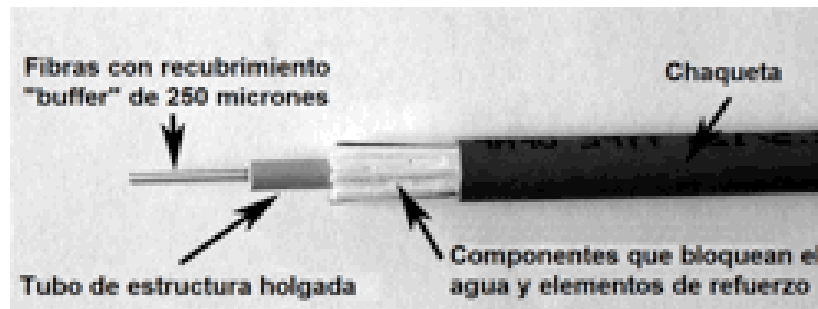


Figura N° 15. Cable de Estructura Holgada

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Cable.htm>

5. Cable tipo cinta (ribbon)

El cable tipo cinta (ribbon) es el preferido cuando se necesita un cable de diámetro pequeño con una gran cantidad de fibras por cable. Este es el cable que

cuenta con la mayor cantidad de fibras en el cable más pequeño, ya que todas las fibras están dispuestas en filas, dentro de cintas que suelen contener 12 fibras, y las cintas están ubicadas una encima de la otra. No solo se trata del cable más pequeño con la mayor cantidad de fibras, sino que suele ser el cable de más bajo costo. En general, las 144 fibras solo tienen una sección transversal de aproximadamente 6 mm y una chaqueta de 13 mm de diámetro. Algunos diseños de cables utilizan un “núcleo de expansión” que soporta hasta 6 de esos 144 empalmes de cintas de fibra óptica, lo que da lugar a 864 fibras en el mismo cable. Como es un cable para instalaciones en planta externa, está relleno de un gel que bloquea el agua o está fabricado con componentes para el bloqueo del agua. Otra ventaja del cable tipo cinta (ribbon) es que las fusionadoras de fibra óptica masivas pueden empalmar una cinta (12 fibras) de manera simultánea, lo que hace la instalación más rápida y fácil. Los cables de fibra conectorizados (pigtail) de las cintas se empalman al cable para una terminación rápida (ver Figura N°16).

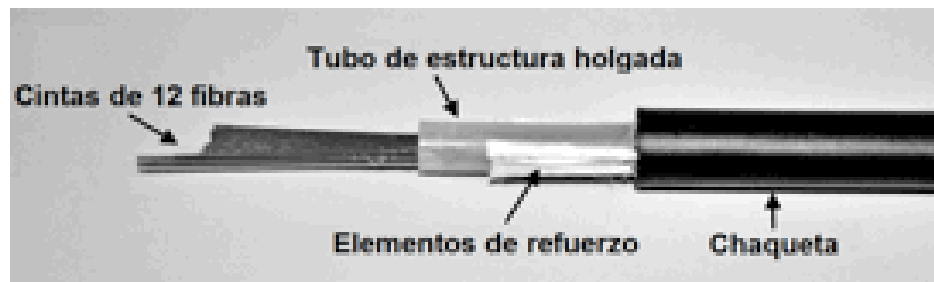


Figura N° 16. Cable Tipo Cinta

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Cable.htm>

6. Cable blindado

El cable blindado se utiliza en instalaciones en planta externa en las que se entierran los cables de manera directa, y se necesita un cable resistente que soporte el ingreso de los roedores. El cable blindado resiste satisfactoriamente ser aplastado por un determinado peso, algo necesario en las instalaciones bajo tierra donde los cables están enterrados de manera directa. En estos tipos de instalaciones, en las áreas en las que los roedores son un problema, se suele dotar al cable de una cubierta de metal entre dos chaquetas, lo que lo protege de los roedores. Otro tipo de instalación en la que se utiliza el cable blindado es en los centros de datos, donde los cables se instalan debajo del piso y se corre el riesgo de que se aplasten. En los cables blindados para instalación en interiores, es posible que la cubierta no sea de metal; el cable blindado de metal es conductor de la electricidad, motivo por el cual es necesario conectarlo debidamente a una puesta a tierra (ver Figura N°17).

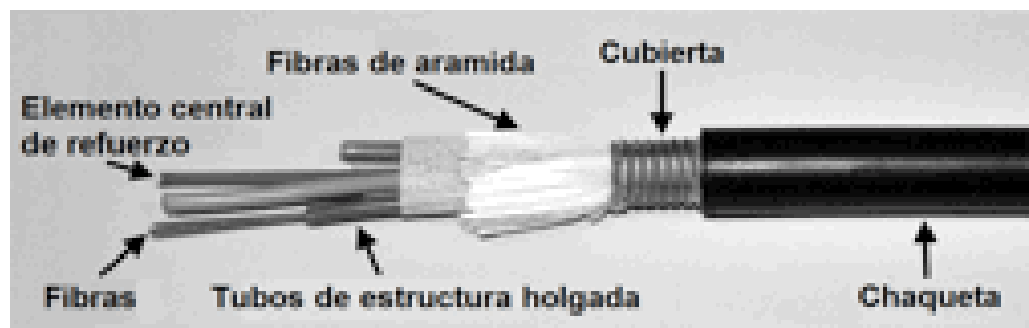


Figura N° 17. Cable Blindado

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Cable.htm>

7. Cable aéreo

Los cables aéreos se utilizan en instalaciones en planta externa, sobre postes. Pueden estar enlazados a un cable mensajero u a otro cable (habitual en el sistema CATV) y poseen elementos de refuerzo de metal o de aramida que permiten que soporten su propio peso, o elementos de refuerzo que los sostienen (cable totalmente dieléctrico autosoportado, o ADSS). El cable conocido como Figura 8 es un cable conectado a un cable mensajero de acero con material aislante que tiene la capacidad de sostenerlo. Debe estar debidamente conectado a una puesta a tierra.

Un cable aéreo de amplia utilización es el cable a tierra de fibra óptica (OPGW), que es un cable de distribución de alto voltaje que contiene fibra óptica dentro de un tubo metálico ubicado en el centro del cable. La fibra no se ve afectada por los campos eléctricos y la empresa de servicios públicos que lo instala obtiene fibras para la gestión y comunicación de la red eléctrica. Este cable se suele instalar en la parte superior de las torres de alto voltaje pero se lo baja al nivel del suelo para realizar tareas de empalme o terminaciones.

8. Otros tipos de cables

Existen muchos otros tipos de cables de fibra óptica disponibles, muchos de los cuales son fabricados por un fabricante en particular. Cada fabricante tiene sus propias especialidades y, algunas veces utilizan sus propios nombres para denominar tipos de cables de uso habitual, de manera que asesorarse con la mayor cantidad de fabricantes de cable como sea posible es una buena idea. No se debe pasar por alto a las empresas fabricantes de cable pequeñas, a menudo es posible ahorrar costos si fabrican el cable de manera personalizada, aún en cantidades relativamente pequeñas.

Cable de fibra óptica de soplado ,es otro tipo de cable, que no es un cable en el sentido estricto. Se instala un “cable”, que es simplemente un grupo de tubos de plástico vacíos, y se “soplan” las fibras por el interior de los tubos tanto como sea

necesario, con un equipamiento especial que funciona con gas comprimido. Si se necesita hacer mejoras en la instalación, se soplan hacia afuera las fibras viejas y hacia adentro las nuevas. El cable de fibra óptica de soplado para instalaciones en interiores y en exteriores está disponible en el mercado. Además, se utilizó en la fibra hasta el hogar. Se necesitaron fibras especiales a las que se les colocó un recubrimiento para que se deslicen más fácilmente a través de los tubos, pero la fibra monomodo o la multimodo están disponibles. La instalación de este tipo de cable es más costosa porque se deben instalar los tubos, se debe contar con equipamiento especial y con instaladores experimentados, pero puede ser rentable a la hora de realizar mejoras. Cables híbridos y mixtos, estos dos tipos de cables suelen confundirse entre sí, pero casi todas las personas, así como el código eléctrico nacional (NEC) lo definen de la siguiente manera:

Cables híbridos que contienen dos tipos de fibras, usualmente multimodo y monomodo. Estos cables suelen utilizarse en redes troncales (backbones) en instalaciones a nivel de campus y en planta interna, en las que pueden utilizarse fibras monomodo en el futuro.

Cables mixtos que contienen fibras y conductores eléctricos. Los vehículos submarinos conectados con un cable umbilical utilizan estos tipos de cables, así como también suelen utilizarse en algunos cables que se instalan para antenas o cámaras de CCTV remotas con conexión inalámbrica. Estos cables deben estar debidamente conectados a tierra para brindar seguridad.

3.2.1.13 Empalmes

Los empalmes crean una unión permanente entre dos fibras, por lo que su uso está limitado a aquellos lugares donde no se espera que los cables estén disponibles

para realizar mantenimientos en el futuro. La aplicación más común del empalme es para la concatenación (la unión) de los cables en las conexiones largas de cable en plantas externas donde la longitud del tendido requiere más de un cable. El empalme puede utilizarse para combinar diferentes tipos de cables, como conectar un cable de 48 fibras a seis cables de 8 fibras que van a diferentes lugares. Los empalmes generalmente también se utilizan para colocar las terminaciones de las fibras monomodo con cables conectorizados (pigtailes) en cada fibra, y por supuesto, los empalmes se utilizan para las restauraciones de las instalaciones en plantas externas.

Hay dos tipos de empalmes: por fusión y mecánicos. El empalme por fusión es el más utilizado ya que es el que brinda las pérdidas más bajas y la menor reflectancia, como también brinda la unión más fuerte y más confiable. Prácticamente todos los empalmes de fibra monomodo son por fusión. El empalme mecánico se utiliza para restauraciones temporarias y empalmes de fibras multimodo. En la foto que sigue a continuación, hay un empalme por fusión a la izquierda y el resto son diferentes tipos de empalmes mecánicos.

1. Empalmes por fusión

Los empalmes por fusión se hacen “soldando” dos fibras utilizando un arco eléctrico (ver Figura N°18). Por cuestiones de seguridad, los empalmes por fusión no deben realizarse en espacios cerrados como alcantarillas o cualquier atmósfera que pueda ser explosiva. El equipo para realizar el empalme por fusión en general es muy voluminoso para los tendidos aéreos, por lo que los empalmes por fusión en general se realizan en un camión o tráiler equipado especialmente para ello.

Las fusionadoras por fusión para fibras monomodo son muy automatizadas, por lo que es difícil que se realice un empalme malo si se limpian y cortan las fibras adecuadamente y se siguen las indicaciones para utilizar la fusionadora de forma correcta. Los empalmes por fusión hoy en día son tan buenos que algunos empalmes pueden no ser detectados en los trazados gráficos de un OTDR. Algunas máquinas

fusionadoras solamente realizan una fusión por vez, pero las fusionadoras para cintas de fibras pueden empalmar 12 fibras de una vez.



Figura N° 18. Proceso de un Empalme por Fusión

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Conectores.htm>

El proceso de empalme por fusión es casi igual para todas las fusionadoras automáticas. El primer paso es pelar, limpiar y cortar las fibras a la que se realizará el empalme. Debe pelar el recubrimiento de la fibra para dejar al descubierto la longitud necesaria de fibra desnuda, limpiar la fibra con un paño adecuado, cortar la fibra siguiendo las indicaciones de la cortadora de precisión que está utilizando, colocar cada fibra en las guías de la fusionadora y fijarla allí. Primero elija el programa adecuado para las fibras en las que se realizará el empalme. La fusionadora mostrará las fibras mientras que se realiza el empalme en una pantalla de video. Se deberán

inspeccionar los extremos de las fibras para comprobar que los cortes estén bien realizados, aquellos que no lo estén serán rechazados, y aquellas fibras deberán cortarse de nuevo; luego se colocan las fibras en posición, se prefusionan para quitar cualquier suciedad en los extremos de la fibra y para precalentar las fibras para el empalme. Las fibras se alinean utilizando el método alineación por núcleo que se utiliza en esa fusionadora, luego se fusionan por un arco automático que las calienta en un arco eléctrico y lo transmite a todas las fibras a una tasa controlada.

Cuando la fusión está terminada, la fusionadora inspeccionará el empalme y mostrará la pérdida óptica estimada del empalme, luego le indicará al operador si el empalme debe realizarse de nuevo. El operador retira las fibras de las guías y les coloca un maguito protector termocontraíble o una protección tipo mordaza.

2. Empalmes mecánicos

Los empalmes mecánicos se realizan con un dispositivo que alinea los extremos de las dos fibras y los mantiene unidos con un gel igualador de índice o pegamento (ver Figura N°19). Hay varios tipos de empalmes mecánicos, como las pequeñas varillas de cristal o las abrazaderas de metal en forma de “v”. Las herramientas necesarias para realizar los empalmes mecánicos no son muy costosas, pero los empalmes en sí pueden ser más costosos. Muchos empalmes mecánicos se utilizan en restauraciones, pero con la práctica y utilizando una cortadora de precisión de calidad, como las que se usan para los empalmes por fusión, pueden funcionar bien con fibras monomodo y también con fibras multimodo.

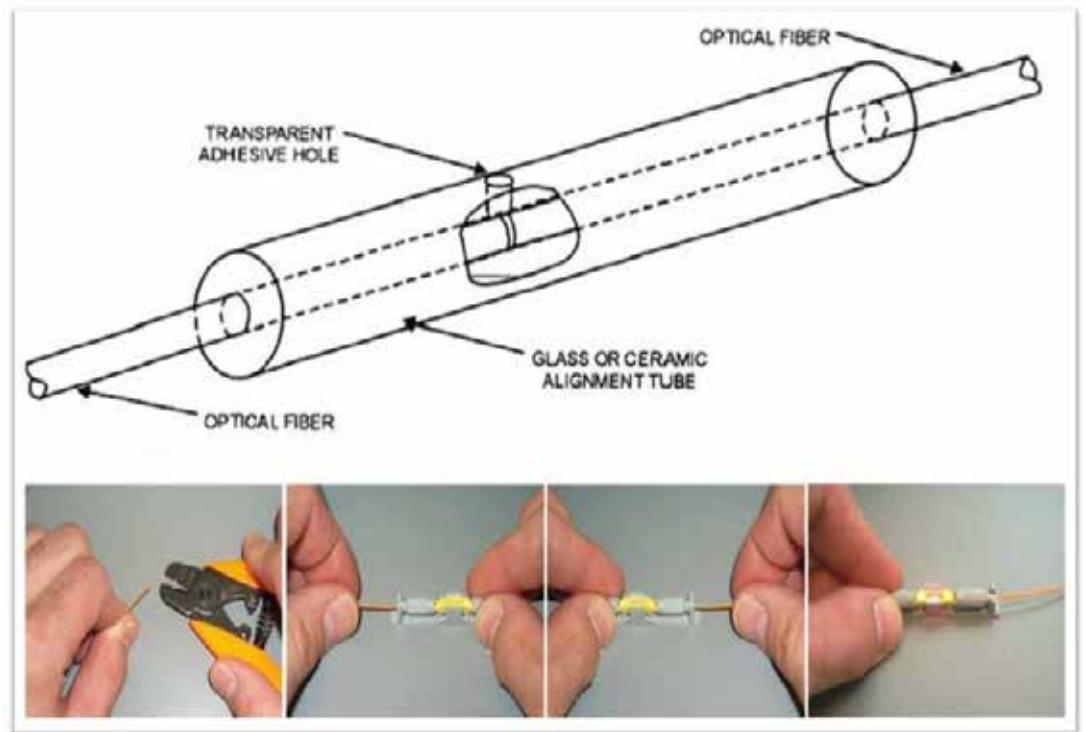


Figura N° 19. Proceso de un Empalme Mecánico

Fuente: <http://www.thefoa.org/ESP/Conectores.htm>

El proceso de empalme es casi igual para todos los tipos de empalmes mecánicos. El primer paso es pelar, limpiar y cortar las fibras a las que se realizará el empalme. Debe pelar el recubrimiento de la fibra para dejar al descubierto la longitud necesaria de fibra desnuda, limpiar la fibra con un paño adecuado, cortar la fibra siguiendo las indicaciones de la cortadora de precisión que está utilizando; si utiliza una cortadora de precisión como las que vienen con las fusionadoras logrará empalmes más consistentes y con pérdidas más bajas. Coloque la primera fibra en el empalme mecánico. La mayoría de los empalmes están diseñados para limitar la profundidad en que se inserta la fibra mediante el largo de fibra pelada. Asegure la

fibra en el lugar si las fibras están separadas; algunos empalmes aseguran ambas fibras al mismo tiempo. Repita estos pasos para la segunda fibra. Puede optimizar con un localizador visual de fallos, que es una fuente láser de comprobación, las pérdidas de un empalme mecánico si los extremos de fibra a empalmarse se pueden ver. Retire suavemente una de las fibras, rótelas levemente y vuélvalas a insertar hasta que la luz visible sea mínima, lo que indica la menor pérdida.

Para lograr constantemente empalmes con bajas pérdidas se necesita una técnica adecuada y un mantenimiento del equipo en buenas condiciones. Por supuesto, la limpieza es una cuestión importante. Las peladoras de fibras deben mantenerse limpias y en buenas condiciones, y deben reemplazarse cuando están dañadas o gastadas. Las cortadoras de precisión son las más importantes, ya que el secreto de los buenos empalmes (ya sean por fusión o mecánicos) es obtener buenos cortes en ambas fibras. Mantenga las cortadoras de precisión limpias y el filo del lápiz rayador con punta de carburo alineado, y cámbielo regularmente. Debe realizar de forma adecuada los mantenimientos correspondientes de las fusionadoras y ajustar los parámetros de fusión de según las fibras que se empalmen. Para los empalmes mecánicos, es importante realizar una ligera presión en la fibra para mantener los extremos juntos mientras está asegurándolos. Si es posible, utilice un localizador visual de fallos para optimizar el empalme antes de asegurarlo.

Para protegerlos del entorno y del deterioro, los empalmes necesitan una funda de protección. Normalmente se los ubica en una bandeja de empalmes que luego se los coloca dentro de una caja de empalmes en las instalaciones en planta externa o dentro de un panel de conexión en las instalaciones en planta interna. Dentro de los cierres de empalmes y en cada extremo, aquellos cables que tengan blindaje o elementos de resistencia deben estar debidamente conectados a tierra.

3.2.1.14 Pérdidas en los cables de Fibra Óptica

La atenuación o pérdidas de transmisión han demostrado ser la espoleta que ha disparado la aceptación de estos sistemas como medio de transmisión en telecomunicaciones. La atenuación del canal es lo que fija la distancia entre repetidores (amplificadores de señal), así pues la fibra empezó a ser un medio muy interesante cuando bajó su atenuación por debajo de los 5dB/Km que es la atenuación típica de un conductor metálico.

La atenuación, como en los demás medios de transmisión, se mide en decibelios. El decibelio, que se usa para comparar dos niveles de potencia, se puede definir para una determinada longitud de onda como el cociente entre la potencia óptica a la entrada de la fibra P_i y la potencia óptica a la salida P_o según la Ecuación 1:

$$\text{---} \quad (1)$$

Esta unidad logarítmica tiene la ventaja que las multiplicaciones y divisiones se transforman en sumas y restas, por lo contrario las sumas y restas aunque complejas no se usan casi nunca. En comunicaciones ópticas la atenuación se expresa en decibelios por unidad de longitud según la Ecuación 2:

$$\text{---} \quad (2)$$

Donde α es la atenuación por unidad de longitud y L es la longitud de la fibra.

Una vez sabemos cómo se define la atenuación nos queda por conocer los mecanismos por los que esta se produce. Estos mecanismos dependen de la composición de la fibra, la técnica de preparación y purificación del material y la estructura de la fibra. Se dividen en áreas que incluyen la absorción del material, la dispersión del material (dispersión lineal y no lineal), pérdidas por curvaturas y microcurvaturas y pérdidas por acoplamiento hacia modos no permitidos o con pérdidas. Cuando analicemos las pérdidas totales del sistema además tendremos que tener en cuenta las debidas a empalmes y conectores, pero esto será analizado en el tema correspondiente.

1. Pérdidas por absorción del material

Estas pérdidas son debidas a la composición de la fibra y al método de fabricación. La potencia perdida se transforma en calor en la fibra. La absorción puede ser intrínseca (causada por los componentes del vidrio) o extrínseca (causada por impurezas no deseadas).

1.1 Absorción intrínseca

Un vidrio de sílice tiene muy poca absorción debida a su estructura atómica en el rango espectral del infrarrojo cercano. Sin embargo, hay dos mecanismos de absorción intrínseca en otras zonas del espectro y que generan una absorción en el rango entre 0.8 y 1.7 μ m (ver Figura N°20). Donde se muestra la curva de atenuación en función de la energía del fotón y de la longitud de onda para un material sin ninguna impureza.

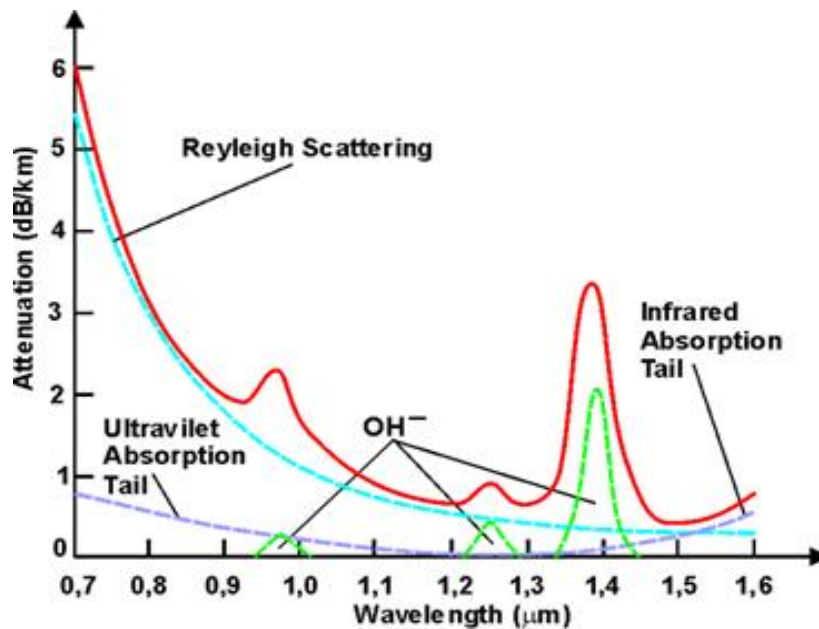


Figura N°20. Espectro de atenuación teórico para los mecanismos

de pérdidas intrínsecas en vidrios de SiO₂-GeO₂.

Fuente: http://www.invocom.et.put.poznan.pl/~invocom/C/P1-9/swiatlowody_en/p1-1_2_2.htm

Vemos las colas de dos picos de absorción, uno fundamental situado en la zona ultravioleta que es debido a excitación electrónica (cambio de nivel de un electrón) y otro en el infrarrojo (alrededor de las 7m) que se produce por la interacción de los fotones con vibraciones moleculares. Estas absorciones son las relacionadas con enlaces como los siguientes: Si-O (9.2m), Ge-O (11.0m). La atenuación de las fibras para >1.5m viene causada por las colas de estos picos.

Ambos picos de absorción aunque lejanos de la zona de interés limitan la mínima atenuación que puede conseguirse. Los efectos principalmente de la absorción debida a las vibraciones moleculares pueden limitarse.

1.2 Absorción extrínseca

En fibras comerciales fabricadas por medio de técnicas de manejo de material fundido, las principales fuentes de atenuación son causadas por la absorción de materiales no deseados que son típicamente metales de transición. La contaminación por metales de transición puede reducirse a niveles de concentración de 1010 mediante métodos como la oxidación en fase vapor que elimina gran parte de este problema(ver Figura N°21). Otro problema relacionado con la absorción extrínseca es la causada por el agua (más concretamente el ión OH) disuelta en el vidrio. Este ión está ligado a la estructura del vidrio y tiene picos de absorción por vibración que pueden estar entre 2.7 y 4.2 m dependiendo a que punto de la red del vidrio esté ligado. Estas vibraciones fundamentales dan sobretonos que aparecen de forma armónica (como si de música se tratara) a 1.38, 0.95 y 0.72m, como puede verse en la figura N°20. Además aparecen combinaciones de los sobretonos y las absorciones fundamentales delSiO₂ a 1.24, 1.13 y 0.88 m con lo que se completa la figura N°20. Como todos son picos son bastante abruptos aparecen valles entre los picos en la zona de 1.3 y 1.55m, aparecen lo que se han dado en llama las ventanas de transmisión.

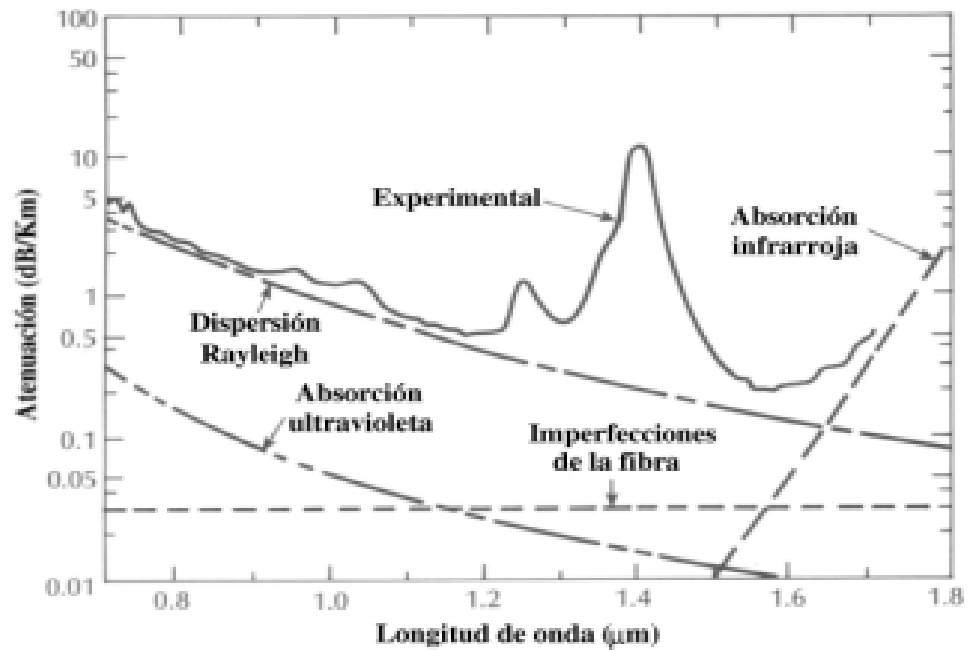


Figura N°21. Espectro de atenuación medido para una fibra monomodo de ultra baja absorción. En la figura también aparecen los límites teóricos para la absorción intrínseca y Rayleigh.

Fuente: <https://telpromadrid.eu/fibra-optica/>

2. Pérdidas lineales por dispersión espacial

La dispersión lineal transfiere parte de la potencia contenida en un modo de propagación a otro modo de forma lineal (proporcional a la potencia del modo). Este proceso produce una atenuación ya que parte de la potencia transferida puede pasar a un modo no permitido que será radiado al exterior. Otra característica de este tipo de pérdidas es que no hay cambio de frecuencia (o longitud de onda) en el proceso de dispersión.

Hay dos tipos principales en la dispersión lineal la Rayleigh y la Mie.

2.1 Dispersión Rayleigh

Es el mecanismo de dispersión predominante entre las colas de los picos de absorción ultravioleta e infrarrojo. Es causado por las inhomogeneidades de pequeña escala, pequeñas al compararlas con el tamaño de la longitud de onda transmitida. Estas inhomogeneidades se manifiestan como fluctuaciones del índice de refracción y surgen debido a variaciones de composición en la fibra que se producen cuando esta se enfría en su fabricación. Estas variaciones pueden ser reducidas mediante mejoras en la fabricación, pero las fluctuaciones de índice debidas a la congelación de defectos inhomogéneos (la densidad de defectos no es constante) es algo de carácter fundamental y no puede evitarse.

2.2 Dispersión Mie

La dispersión lineal también puede ser causada por inhomogeneidades de un tamaño similar a la longitud de onda transmitida. Son debidas a la estructura no exactamente cilíndrica de la fibra que es causada por imperfecciones de la fibra como las irregularidades en la intercara núcleo-envoltura, estas pueden ser la variación de la diferencia del índice de refracción a lo largo de la fibra, fluctuaciones en el diámetro, tensiones o burbujas. Cuando la inhomogeneidad es mayor que ≈ 10 la intensidad dispersada depende mucho del ángulo. Esta dispersión puede aminorarse reduciendo las imperfecciones debidas al proceso de fabricación .controlar el proceso de la extrusión y recubrimiento, incrementar la diferencia de índices de refracción. De este modo se puede reducir este tipo de dispersión a niveles despreciables.

3. Perdidas no lineales por dispersión

Las fibras ópticas no siempre se comportan como canales de transmisión lineales en los cuales el incremento en la potencia de entrada implique un incremento proporcional de la potencia de salida. Hay varios efectos no lineales que en el caso que nos ocupa, la dispersión, provoca unos incrementos muy altos en la atenuación. Este efecto ocurre para elevadas potencias ópticas. Esta dispersión no lineal genera que potencia de un modo sea transferida a otro, tanto en la misma dirección de propagación como en la contraria, este otro modo tendrá además una longitud de onda distinta. Esta dispersión depende fuertemente de la densidad de potencia óptica y sólo es significativa sobre determinados umbrales de potencia. Los dos tipos de dispersión más importantes son la dispersión por estimulación Brillouin y la Raman, ambos tipos sólo son observados a altas densidades de potencia en fibras ópticas monomodo de gran longitud. Estos fenómenos dispersivos de hecho proporcionan ganancia óptica pero con una variación de la longitud de onda. Estos fenómenos pueden aprovecharse para amplificación óptica.

3.1 Dispersión por estimulación Brillouin

La dispersión por estimulación Brillouin puede explicarse como una modulación de la luz debida a vibraciones térmicas moleculares en el interior de la fibra. La luz dispersada aparece como unas bandas de frecuencia laterales (como una modulación de frecuencia), estas bandas laterales aparecen en transmisión en la dirección contraria a la de la luz dispersada.

3.2 Dispersión por estimulación Raman

La dispersión por estimulación Raman es similar a la Brillouin excepto porque la modulación que genera las bandas laterales se produce a mayor frecuencia (las bandas están más alejadas de la frecuencia fundamental). La dispersión Raman puede

ocurrir tanto en la dirección de la propagación como en la contraria y suele tener una potencia umbral PR unos tres órdenes de magnitud mayor que la Brillouin.

4. Perdidas por curvatura de la fibra

La fibra óptica tiene perdidas cuando se dobla, esto es debido a que la energía en el campo evanescente en la parte exterior de la curva, ya que debe seguir el mismo frente de onda que el resto y por tanto debe ir a una velocidad mayor, mayor que la velocidad de la luz. Esto es imposible y para remediarlo pierde parte de su energía radiándola al exterior.

3.2.1.15 Transceptor de Factor de Forma Pequeño Conectable Óptico (SFP)

Un SFP, significa Small Form-Factor Pluggable, es un transceptor insertable en que se emplea como interface entre un equipo switch, router o conversor de medios (ver Figura N°22) y un enlace por fibra óptica también es un formato popular de la industria, desarrollado conjuntamente con el apoyo de muchos proveedores de componentes de red.

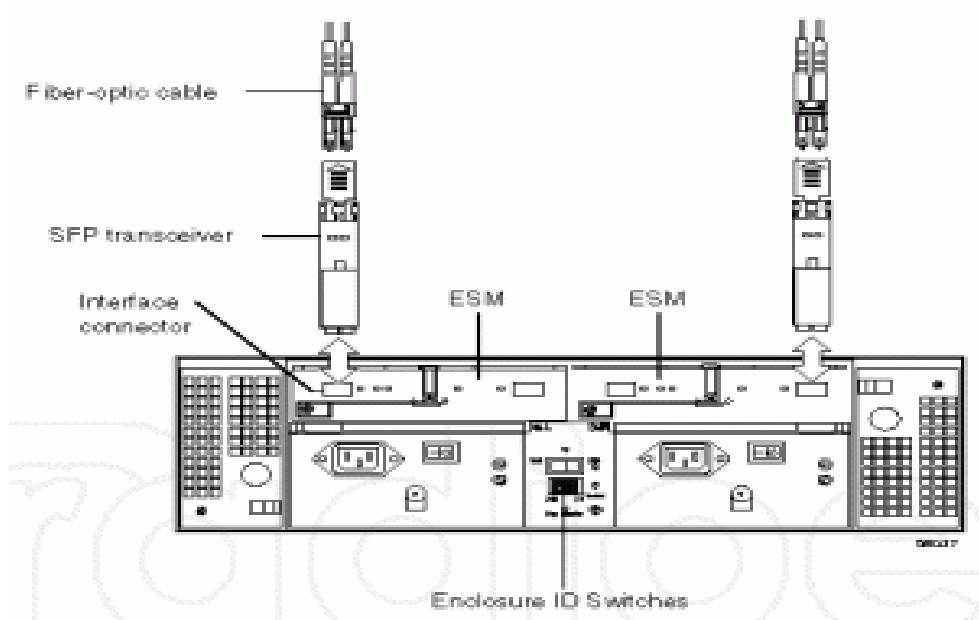


Figura N°22. SFP como interfaz en un Switch.

Fuente: <http://www.fiber-optic-solutions.com/about-cisco-products-in-connectivity-regarding-devices.html>

Podemos encontrar los siguientes tipos más comunes de interfaces ópticas Gigabit para fibras monomodo en segunda y tercera ventana (1310 y 1550 nm respectivamente) SFP 1000BASE-LX (hasta 10km), SFP 1000BASE-XD (hasta 40km), SFP 1000BASE-LH/ZX (hasta 70 km), SFP 1000BASE-EX (hasta 120 Km). Para corto alcance, se usan fibras multimodo SFP 1000BASE-SX en primera ventana (850nm), con alcance de hasta 2 km. Otra característica importante es el color del anillo de extracción del SFP, relacionado con la ventana de transmisión en la que trabaja. Las más comunes:

"Negro" significa primera ventana y multimodo.

"Azul" significa segunda ventana y monomodo.

"Amarillo" significa tercera ventana y monomodo

3.2.1.15.1 Estructura

El SFP cumple con las siguientes normas para su elaboración en cuanto a su estructura interna, mecánica y externa (dimensiones) para poder ser estandarizado y usar un mismo lector (host board).

1. Diagrama de Bloques(ver Figura N°23)

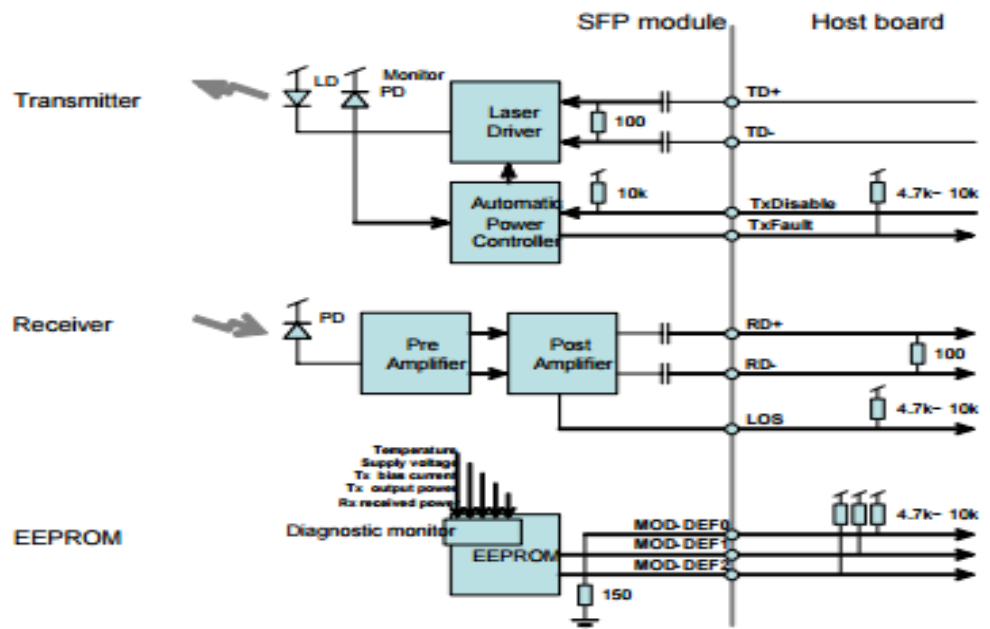
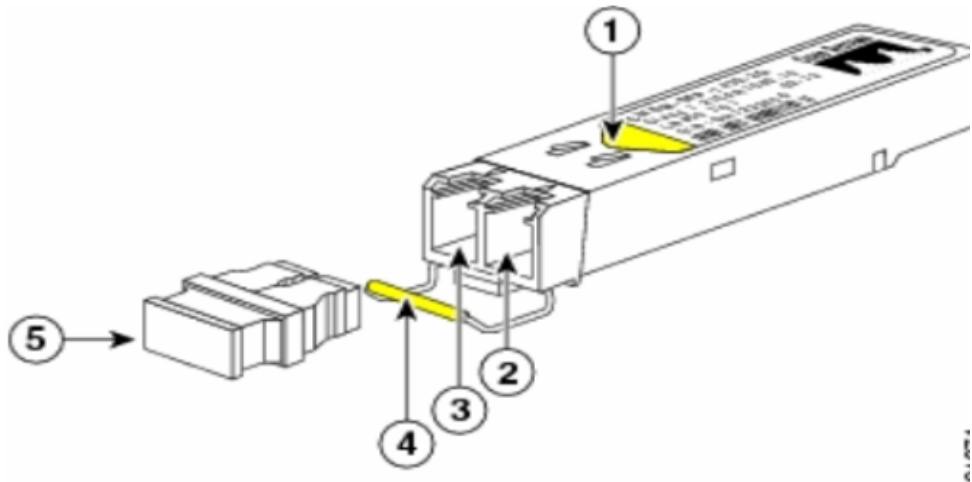


Figura N°23. Diagrama de Bloques SFP Óptico.

Fuente: www.maximintegrated.com/en/images/appnotes/3257/3257Fig01.gif

2. Mecánica (ver Figura N°24)



Número	Descripción
1	Flecha de color en la etiqueta
2	Orificio óptico de recepción
3	Orificio óptico de transmisión
4	Cierre fiador codificado en color
5	Funda del orificio óptico

Figura N°24. Partes externas de un SFP.

Fuente: http://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/i/100001-200000/120001-130000/120001-121000/120533.ps/_jcr_content/renditions/120533.jpg

3. Pines (ver Figura N°25)

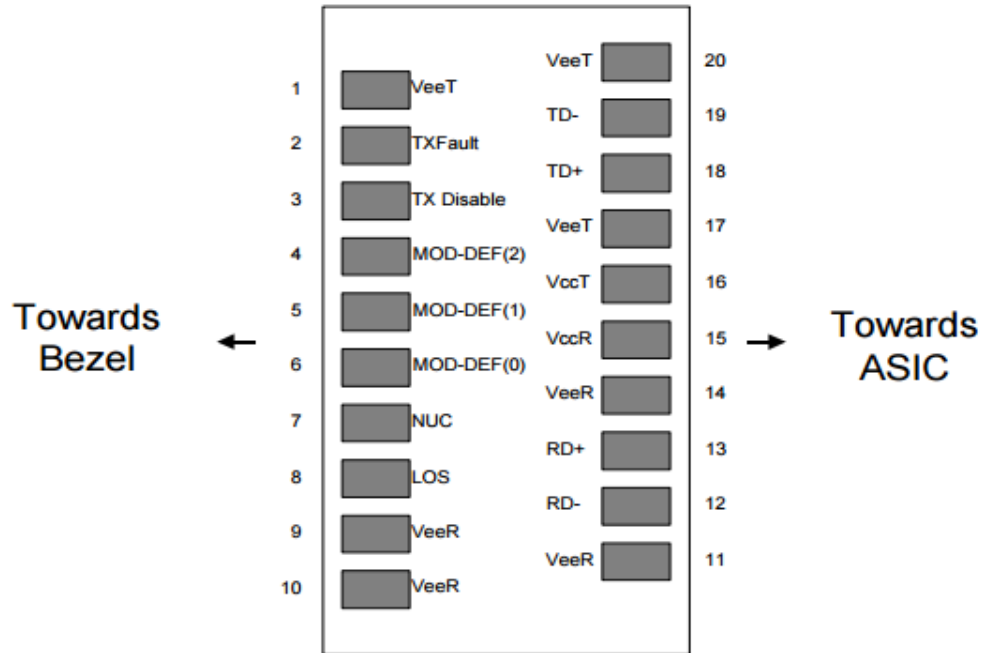


Figura N°25. Asignación de Pines.

Fuente: <http://www.lantechcom.tw/global/eng/mini-gbic-bidi-125gbps.html>

3.2.1.15.2 EEPROM

El SFP define un mapa de memoria de 256 bytes(ver Figura N°27)en una EEPROM que describe las capacidades del transceptor, interfaces, fabricante y otra información, que es accesible a través de una interfaz I²C en la dirección de 8 bits 1010000X (A0h).

Los transceptores SFP ópticos modernos soportan las funciones estándar de monitoreo de diagnóstico digital (DDM). Esta característica también se conoce como monitor digital óptico (DOM). Los módulos con esta capacidad le dan al usuario final la capacidad de supervisar los parámetros de la SFP, como la potencia de salida óptica, la potencia de entrada óptica, la temperatura, la corriente de polarización láser y la tensión de alimentación del transceptor, en tiempo real, que también es accesible a través de una interfaz I²C en la dirección de 8 bits 1010001X (A2h) (ver Figura N°25). Esta funcionalidad se implementa comúnmente para la supervisión de enrutadores, conmutadores y equipos de transporte óptico a través de SNMP.

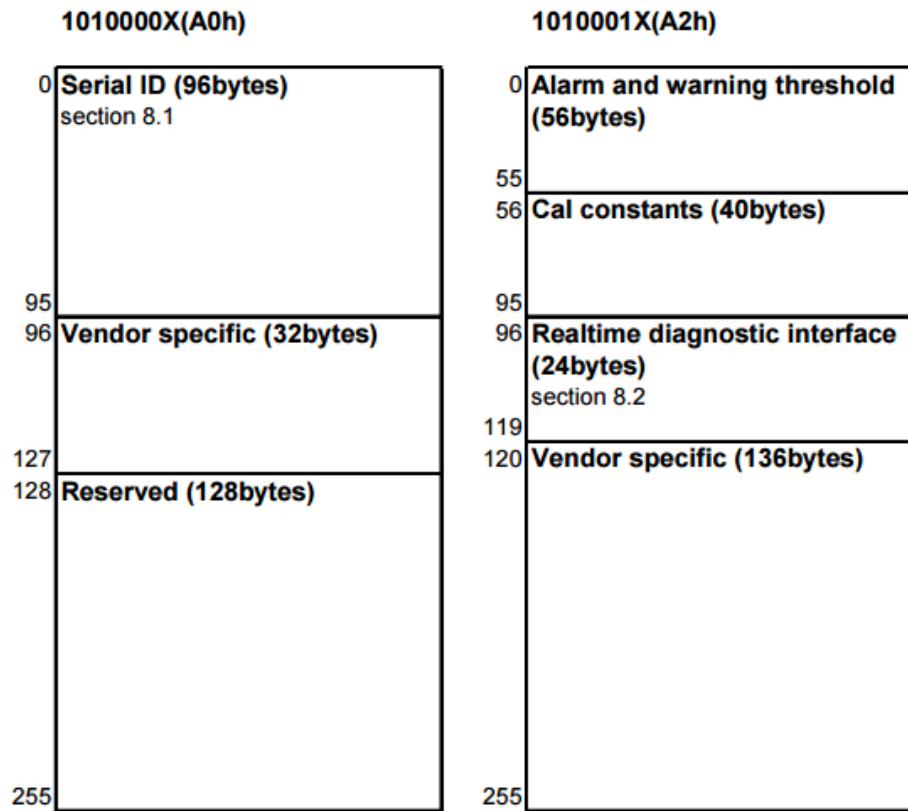


Figura N°27. Mapa de Memoria de la EEPROM del SFP.

Fuente: pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/277496/FINISAR/FTLF8519P2BTL

3.2.2 Reflectometría Óptica en el Dominio del Tiempo (OTDR)

Un OTDR es un reflectómetro óptico en el dominio tiempo. Es un instrumento de medición que envía pulsos de luz, a la longitud de onda deseada (ejemplo 3ra ventana: 1550 nm), para luego medir sus “ecos”, o el tiempo que tarda en recibir una reflexión producida a lo largo de la FO. Estos resultados, luego de ser promediadas las muestras tomadas, se grafican en una pantalla donde se muestra el nivel de señal

en función de la distancia. Luego se podrán medir atenuaciones de los diferentes tramos, atenuación de empalmes y conectores, atenuación entre dos puntos, etc.

El OTDR aprovecha los fenómenos presentes en la F.O. para analizar y entregar un resumen detallado de la situación. En concreto se pretende medir:

Rango dinámico de reflexión. Informa sobre los límites de medida de eventos reflexivos. Puede resultar útil si existen eventos que lleguen a saturar el instrumento.

Rango dinámico de scattering. Es el rango con que se cuenta para registrar eventos de todo tipo, reflexivos (no saturantes) y no reflexivos. Alcanza hasta el límite de detección del instrumento o hasta el extremo de la fibra.

Eventos típicos. Por ejemplo, soldaduras, empalmes, terminaciones pulidas o sin pulir, conexiones planas, redondeadas (PC) o angulares (APC).

Falsas medidas y detecciones. En concreto, se explican las circunstancias en que pueden surgir ecos y fantasmas, fenómenos que pueden falsear las medidas, y se intenta reproducir alguno de ellos.

3.2.2.1 Principios Básicos

El OTDR aprovecha 2 cualidades de la fibra:

Dispersión de Rayleigh

Debido al fenómeno Rayleigh, de la cantidad energía que se dispersa en cada punto de la fibra, y hacia todas las direcciones, sólo una minúscula parte retorna hacia el OTDR(ver Figura N°28). Esta pequeña retrodifusión es recibida por un fotodetector o detector óptico, que es parte del mismo circuito de la fuente óptica. Este dispositivo intercepta la mayor cantidad de señal, la que es fotoamplificada y transformada en señal eléctrica. Como se trata de una señal de 40 a 80 decibeles por

debajo de la señal enviada, es decir, de alrededor de una millonésima parte de la señal aplicada, es necesario mejorar la relación señal/ruido y el rango dinámico, por lo que el láser debe suministrar una alta potencia óptica y así alejarla del nivel de ruido.

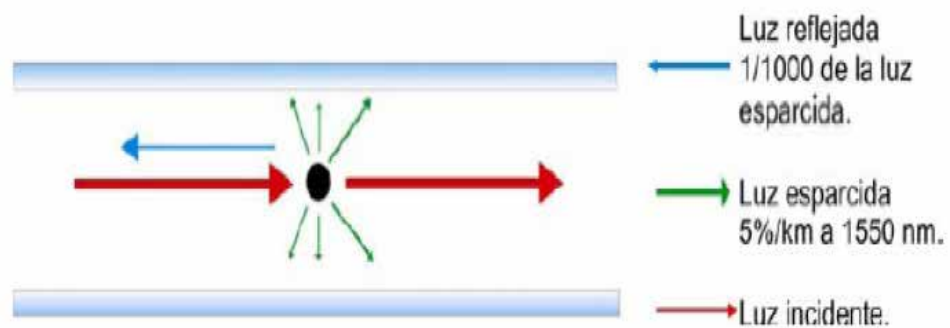


Figura N°28. Fenómeno de Rayleigh.

Fuente: <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>

Reflexión de Fresnel

Es la reflexión discreta, la cual es causada por el punto individual de las fibras enteras. Estos puntos son causados por un cambio en el coeficiente de elementos inversa tales como el vidrio y el espacio de aire. En estos puntos, habrá una fuerte luz de retrodispersión reflejada (ver Figura N°29). Por lo tanto, OTDR está utilizando la

información de la reflexión de Fresnel para localizar el punto, el terminal de fibra óptica de conexión o puntos de interrupción.

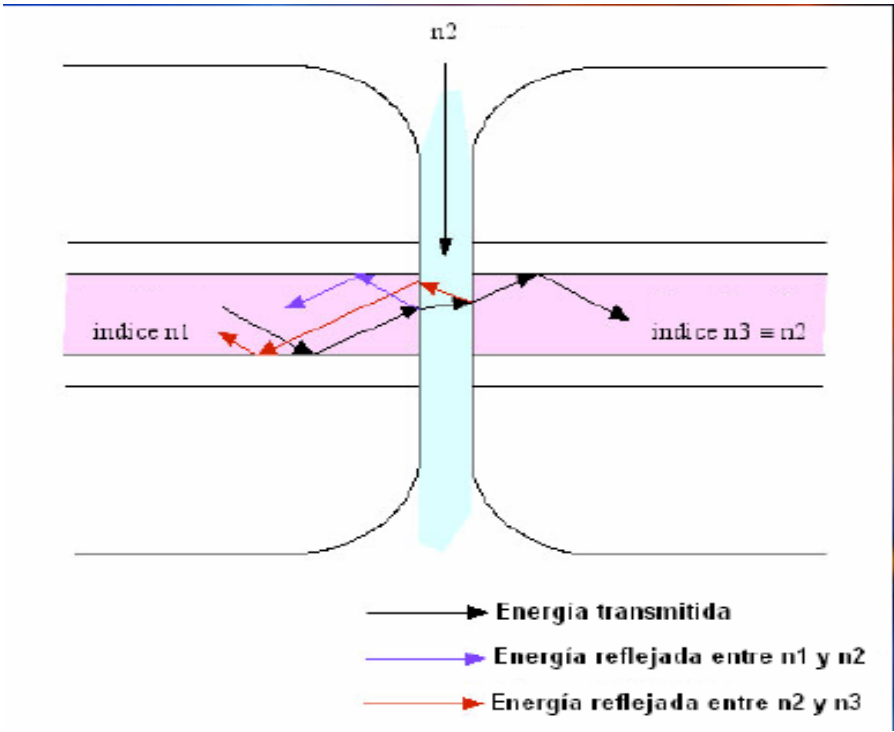


Figura N°29. Reflexión de Fresnel.

Fuente: <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>

Diagrama de Bloques de un OTDR (ver Figura N°30)

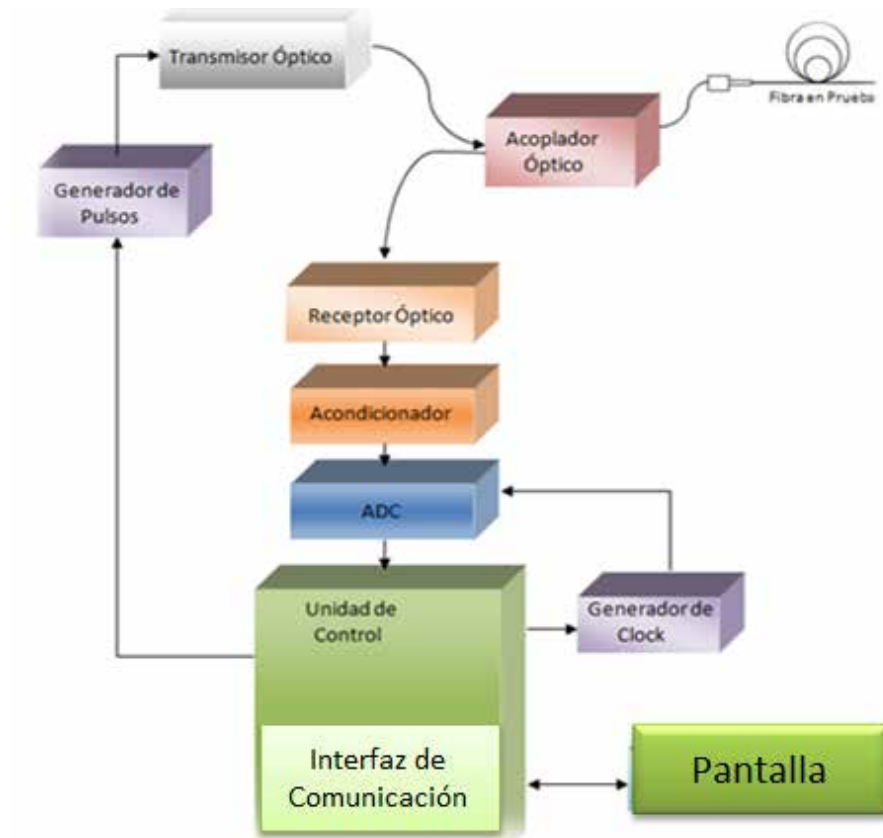


Figura N°30. Diagrama de Bloques de un OTDR.

Fuente: Sólorzano, 2017

El generador de pulsos alimenta al diodo láser, que convierte señal eléctrica a luz. La función del acoplador es separar la señal enviada de la señal devuelta. La señal que pasa por el acoplador alimenta al fotodiodo, el cual convierte la señal óptica

a eléctrica. Posteriormente se realiza la conversión analógica a digital de la señal. Finalmente, luego del procesamiento digital el resultado es enviado a pantalla.

3.2.2.2 Análisis de la señal retro dispersada

Para entender la localización de algún punto de la fibra del OTDR, consideremos el frente principal de un pulso geométrico con un ancho W donde recorrerá una distancia en T segundos hacia delante y la misma distancia en T segundos hacia atrás. Cuando el pulso de luz es retrodispersado y llega hasta al punto de inicio, este pulso de luz con retrodispersión recorrió dos veces la misma longitud en un tiempo $2T$ y tendrá la suma de todas sus potencias de la luz con retrodispersión. Lo que se puede representar con una simple formula (ver Ecuación N°1) ya que conocemos a la velocidad que viaja el pulso transmitido (velocidad de la luz)(ver Figura N°31).

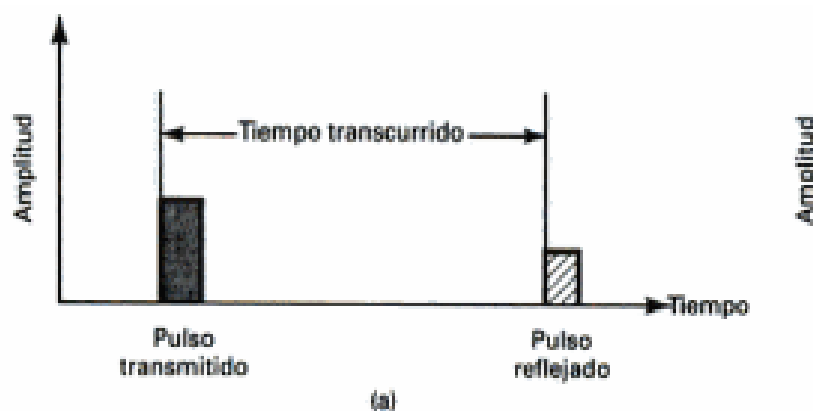


Figura N°31. Grafica del Pulso transmitido y pulso Reflejado

Fuente:es.scribd.com/document/57378944/Principios-de-Un-OTDR-v01

Ecuación N°1. Ecuación de la Distancia a Partir del Desfasaje del Pulso Transmitido y Recibido

A partir de estas mediciones y de las distancias de las señales retro dispersadas el OTDR generara una gráfica que representa los distintos fenómenos estudiados a lo largo de la fibra (ver Figura N°32).

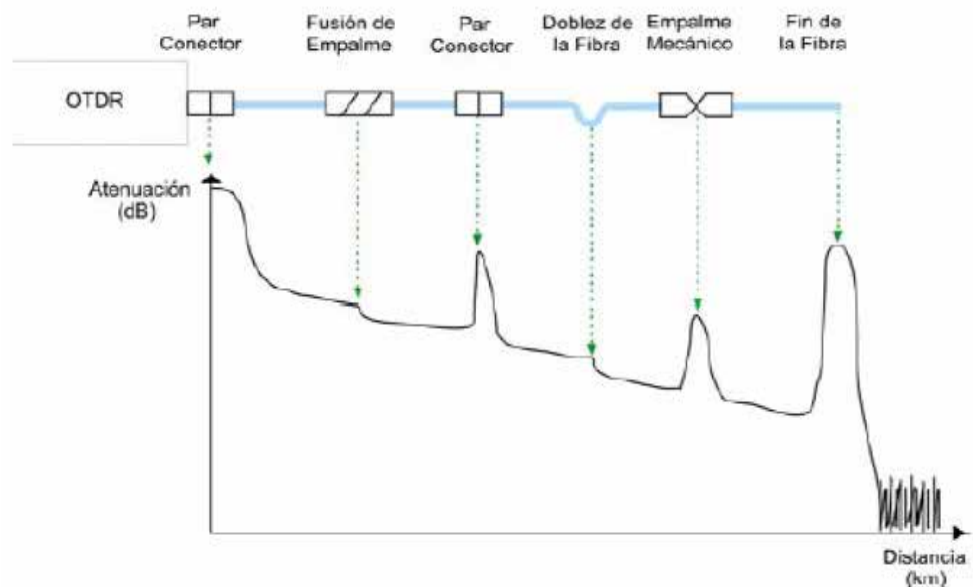


Figura N°32. Grafica Generada por el OTDR

Fuente: es.scribd.com/document/57378944/Principios-de-Un-OTDR-v01

Esta es la pantalla típica que se ve en un OTDR, en esta se nos muestran las distintas atenuaciones que sufre la fibra a lo largo de su recorrido.

3.2.3 Unidad Terminal Remota(RTU)

Unidad Terminal Remota, sigla más conocida como RTU (sigla en inglés), define a un dispositivo basado en microprocesadores, el cual permite obtener señales independientes de los procesos y enviar la información a un sitio remoto donde se procese. Generalmente este sitio remoto es una sala de control donde se encuentra un sistema central SCADA el cual permite visualizar las variables enviadas por la UTR.

Dentro del universo de las UTR existen los Controlador lógico programable quienes han complementado sus facilidades de comunicación.

La tecnología de estado sólido ha revolucionado el diseño electrónico de las RTUs en los últimos años, extendiéndose al uso de unidades microprocesadoras equipadas con memoria tipo de solo lectura y borrada electrónicamente (Electronic Erase Programmable Read Only Memory, EEPROM) y del tipo de Acceso Directo (Random Acces Memory, RAM) respaldada con batería de litio para salvaguardar la programación en caso de fallas eléctricas e incorporándoles una interfaz humano-máquina (HMI, Human Machine Interace), capacidades de comunicación con sistemas de medición, transductores, controladores lógicos programables (PLC), etc.

3.2.3.1 Aplicaciones

RTU, es un término que ha sido usado en los sistemas de adquisición de datos y control supervisorio durante más de 20 años. Este término no concuerda tan bien con su significado funcional y se han realizado muchos intentos para desarrollar un título más descriptivo, sin embargo, a lo largo de estas líneas se mantendrá esta designación la cual describe una “caja negra” a través de la cual se adquiere la data (analógica y/o digital) de un proceso remoto. Una unidad terminal remota tiene la capacidad de monitorear un número de entradas/salidas (I/O) relacionadas con un proceso, analizar y mantener datos en tiempo real, ejecutar algoritmos de control programados por el usuario, comunicarse con la estación maestra y en algunos casos, con otras remotas.

La RTU realiza una exploración periódica de las variables del proceso y, a través de un módulo de comunicación permite el intercambio de dicha información con una estación maestra (MTU) ubicada en una sala de control central, utilizando diversos medios de comunicación: línea telefónica, UHF/VHF, microondas, satélite, fibra óptica u otro medio, a través de puertos auxiliares con otras remotas y/o terminales portátiles. El protocolo de comunicación, estructura del mensaje y técnicas de corrección de errores son propias de cada fabricante.

3.2.4 Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos.

Arduino puede interactuar con el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el “Arduino Programming Language” (basado en Wiring) y el “Arduino Development Environment” (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo con Flash, Processing, MaxMSP, etc.).

Las placas se pueden ensamblar a mano o encargarlas pre ensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que eres libre de

adaptarlas a tus necesidades. Arduino recibió una mención honorífica en la sección Digital Communities del Ars Electronica Prix en 2006.

Arduino también simplifica el proceso de trabajo con microcontroladores, pero ofrece algunas ventajas para profesores, estudiantes y aficionados interesados sobre otros sistemas:

Barato: Las placas Arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas microcontroladoras. La versión menos cara del módulo Arduino puede ser ensamblada a mano, e incluso los módulos de Arduino preensamblados cuestan menos de 50\$.

Multiplataforma: El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OS X y GNU/Linux. La mayoría de los sistemas microcontroladores están limitados a Windows.

Entorno de programación simple y claro: El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes, pero flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo también. Para profesores, está convenientemente basado en el entorno de programación Processing, de manera que estudiantes aprendiendo a programar en ese entorno estarán familiarizados con el aspecto y la imagen de Arduino.

Código abierto y software extensible: El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados. El lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++, y la gente que quiera entender los detalles técnicos pueden hacer el salto desde Arduino a la programación en lenguaje AVR C en el cual está basado. De forma similar, puedes añadir código AVR-C directamente en tus programas Arduino si quieres.

3.2.4.1 Hardware

El hardware Arduino se basa en una sencilla placa con entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales. El elemento principal es el microcontrolador Atmega8, un chip sencillo y de bajo coste que permite el desarrollo de múltiples diseños.

Los microcontroladores AVR más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños, aunque también nos encontramos microcontroladores CortexM3 de ARM de 32 bits, 5 que coexistirán con las más limitadas, pero también económicas AVR de 8 bits. ARM y AVR son plataformas diferentes, pero gracias al IDE de Arduino los programas se compilan y luego se ejecutan sin cambios en cualquiera de las plataformas.

La tarjeta Arduino, contiene para interacción con el usuario trece entradas/salidas digitales, seis entradas analógicas y un puerto serial que permite realizar comunicación con periférico, además de un puerto serial una conexión USB, en la figura podemos observar la localización de las entradas analógicas y digitales como los pines de alimentación. También tiene un pulsador para resetear cualquier fallo que exista en los procesos que se vayan a realizar con la tarjeta Arduino. Según la aplicación que se quiera procesar, hay disponibles otras tarjetas con diferentes prestaciones. Una de ellas es la tarjeta Arduino Mega (ver Figura N°33).



Figura N°33. Placa Arduino Mega

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>

Características:

Microcontrolador: ATmega1280

Tensión de alimentación: 5V

Tensión de entrada recomendada: 7-12V

Límite de entrada: 6-20V Pines digitales: 54 (14 con PWM)

Entradas analógicas: 16

Corriente máxima por pin: 40 mA

Corriente máxima para el pin 3.3V: 50 mA

Memoria flash: 128 KB (4 KB usado por el bootloader)

SRAM: 8 KB

EEPROM: 4 KB

Velocidad de reloj: 16 MHz

3.2.4.2 Software

El software de fuente abierta Arduino (IDE) hace que sea fácil de escribir código y cargarlo en el tablero. Se ejecuta en Windows, Mac OS X y Linux. El entorno está escrito en Java y basado en Procesamiento y otro software de código abierto. Este software se puede utilizar con cualquier placa Arduino.

Un IDE es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, es decir, que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (ver Figura N°34). Además en el caso de Arduino incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware a través del puerto serie.

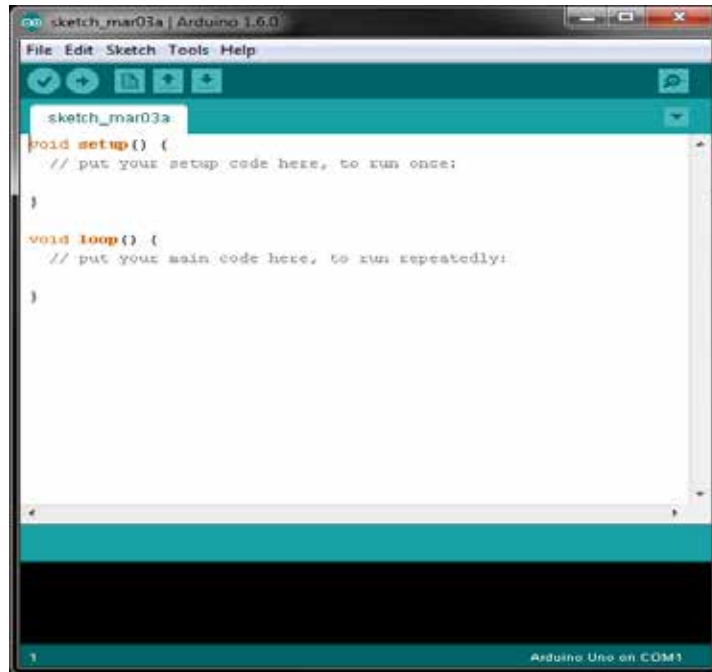


Figura N°34. Entorno de Programación Arduino

Fuente: blog.arduino.cc/2016/03/09/arduino-ide-1-6-8-available-for-download

Los programas de Arduino están compuestos por un solo fichero con extensión “ino”, aunque es posible organizarlo en varios ficheros. El fichero principal siempre debe estar en una carpeta con el mismo nombre que el fichero. También es destacable desde la aparición de la versión 1.6.2 la incorporación de la gestión de librerías y la gestión de placas, muy mejoradas respecto a las versiones anteriores y avisos de actualización de versiones de librerías y cores.

La estructura básica de programación de Arduino es bastante simple y divide la ejecución en dos partes: setup y loop. Setup() constituye la preparación del programa y loop() es la ejecución. En la función Setup() se incluye la declaración de variables y se trata de la primera función que se ejecuta en el programa. Esta función

se ejecuta una única vez y es empleada para configurar el pinMode (p. ej. si un determinado pin digital es de entrada o salida) e inicializar la comunicación serie. La función loop() incluye el código a ser ejecutado continuamente (leyendo las entradas de la placa, salidas, etc.), También se puede hablar de las siguientes parte que debería contener un código en Arduino:

La función , es un bloque de código identificado por un nombre y que es ejecutado cuando la función es llamada. La declaración de una función incluye en primer lugar el tipo de datos que devuelve la función (e.j. int si lo que devuelve es un valor entero).

Las variables deben ser declaradas y opcionalmente asignada a un determinado valor. En la declaración de la variables se indica el tipo de datos que almacenará (int, float, long,array,string).

Las librerías proporcionan funcionalidad adicional para uso en sketches, e.p, trabajar con hardware o manipular datos. Debido a que las bibliotecas se suben al tablero con su sketch, aumentan la cantidad de espacio que ocupa. Si un sketch ya no necesita una biblioteca, simplemente elimine sus instrucciones #include desde la parte superior de su código. Algunas bibliotecas se incluyen con el software Arduino. Otros se pueden descargar desde una variedad de fuentes a través del Administrador de la Biblioteca o Internet para ser importadas.

El monitor serial es una ventana emergente separada que actúa como un terminal independiente que se comunica recibiendo y enviando Datos Seriales. Los datos en serie se envían a través de un solo cable (pero por lo general viaja a través de USB en nuestro caso) y consiste en una serie de 1 y 0 enviados a través del cable. Los datos se pueden enviar en ambas direcciones (en nuestro caso en dos cables).

3.2.4.3 Arduino Uno

Arduino UNO es la última versión de la placa, existen dos variantes, la Arduino UNO convencional y la Arduino UNO SMD. La única diferencia entre ambas es el tipo de microcontrolador que montan, La primera es un microcontrolador Atmega en formato DIP Y la segunda dispone de un microcontrolador en formato SMD. Nosotros nos decantaremos por la segunda debido a motivos de disponibilidad(ver Figura N°35)



Figura N°35. Arduino Uno

Fuente: http://robotechshop.com/wp-content/uploads/2015/12/arduino_uno_large-comp.jpg

Cada uno de los 14 pines digitales se puede usar como entrada o como salida(ver Figura N°36). Funcionan a 5V, cada pin puede suministrar hasta 40 mA.

La intensidad máxima de entrada también es de 40 mA. Cada uno de los pines digitales dispone de una resistencia de pull-est^a desconectada, salvo que nosotros indiquemos lo contrario. Arduino dispone de 6 pines de entrada anal^ogicos que trasladan las se^ñales a un conversor anal^ogico/digital de 10 bits. Tambi^en dispone de unos pines especiales:

RX y TX: Se usan para transmisiones serie de se^ñales TTL.

Interrupciones externas: Los pines 2 y 3 est^án configurados para generar una interrupci^on en el atmega. Las interrupciones pueden dispararse cuando se encuentra un valor bajo en estas entradas y con flancos de subida o bajada de la entrada.

PWM: Arduino dispone de 6 salidas destinadas a la generaci^on de se^ñales PWM de hasta 8 bits.

SPI: Los pines 10, 11, 12 y 13 pueden utilizarse para llevar a cabo comunicaciones SPI, que permiten trasladar informaci^on full d^uplex en un entorno Maestro/Esclavo.

I2C: Permite establecer comunicaciones a trav^es de un bus I2C(se hablara detalladamente sobre el bus en la secci^on 3.2.5. El bus I2C es un producto de Phillips para interconexi^on de sistemas embebidos. Actualmente se puede encontrar una gran diversidad de dispositivos que utilizan esta interfaz, desde pantallas LCD, memorias EEPROM, sensores.

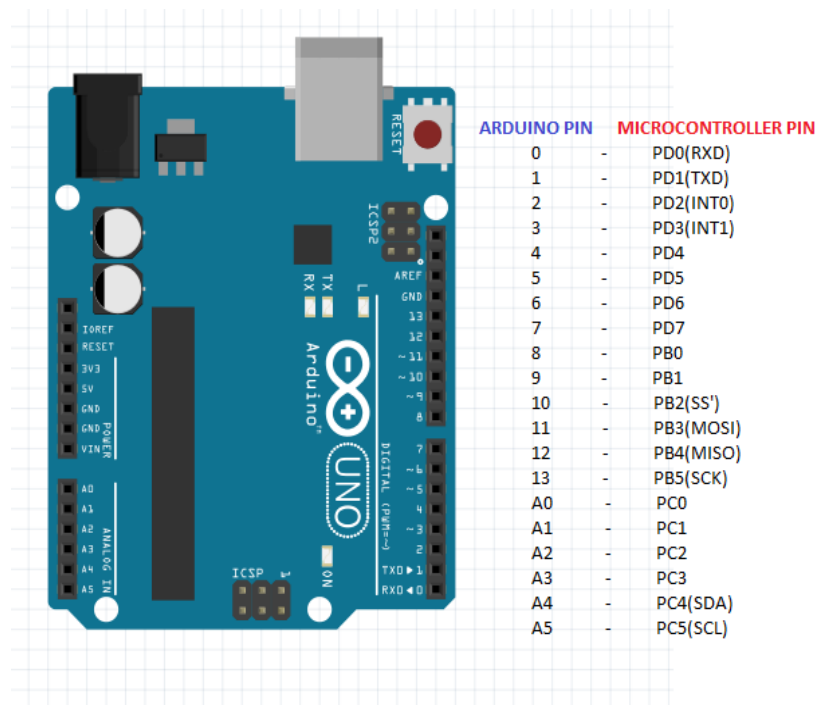


Figura N°36. Pines Arduino Uno

Fuente: https://itp.nyu.edu/physcomp/wp-content/uploads/Uno_pinouts.png

Puede alimentarse directamente a través del propio cable USB o mediante una fuente de alimentación externa, como puede ser un pequeño transformador o, por ejemplo una pila de 9V. Los límites están entre los 6 y los 12 V. Como única restricción hay que saber que si la placa se alimenta con menos de 7V, la salida del regulador de tensión a 5V puede dar menos que este voltaje y si sobrepasamos los

12V, probablemente dañaremos la placa. La alimentación puede conectarse mediante un conector de 2,1mm con el positivo en el centro o directamente a los pines Vin y GND marcados sobre la placa. Hay que tener en cuenta que podemos medir el voltaje presente en el jack directamente desde Vin. En el caso de que el Arduino esté siendo alimentado mediante el cable USB, ese voltaje no podrá monitorizarse desde ahí.

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (Limite)	6 – 20V
Pines para entrada- salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Tabla N°1. Especificaciones Arduino UNO

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>

3.2.4.4 Shields de Comunicación

Este apartado abarca el conjunto de elementos que permiten la comunicación entre distintas placas Arduino y el servidor o incluso con electrodomésticos del

hogar. El medio por el que circula la información puede ser por aire (modulación de ondas electromagnéticas) o físico (por cable) teniendo sus ventajas e inconvenientes. Normalmente estos dispositivos tendrán a nuestra disposición librerías con funciones ya implementadas que nos facilitará su manejo.

Es una placa que se acopla encima de la Arduino y permite establecer conexiones a internet mediante el estándar Ethernet que utiliza el protocolo TCP/IP (ver Figura N°37). Podemos conectarla a un router utilizando un cable RJ45 y le asignará una dirección IP. Con esta dirección podremos abrir conexiones entre el servidor y la placa o de placa a placa para enviar flujos de datos. Hay distintos chips y cada uno utiliza sus propias librerías. En nuestro caso hemos trabajado con el chip 28J60 que usa las librerías `etherShield.h` y `ETHER_28J60.h`. Es importante tener en cuenta que en el código de la placa la configuración de la Ethernet Shield ha de ser correcta. Debemos asignarle la dirección IP que le proporcione el router en caso de que utilice DHCP. También hay que poner una dirección MAC única para que el router conozca los distintos dispositivos conectados. Además podremos abrir un puerto mediante el que escuchará peticiones. Esta configuración se ha de realizar en la función `setup()`, es decir en la fase de inicio de la placa. La función principal de la Ethernet Shield va a ser leer peticiones, en nuestro caso HTTP (puerto 80). En esta propuesta se trabajara con este shield pero puede ser usado cualquier otro modulo que trabaje sobre TCP/IP como el Wi-Fi.



Figura N°37. Ethernet Shield

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products#iot>

-Fi

Si deseamos utilizar el protocolo TCP/IP pero queremos evitar tener que cablear la habitación podemos utilizar este módulo también acoplable a la Arduino(ver Figura N°38). Aunque utiliza otra librería los métodos son equivalentes al del módulo Ethernet. La frecuencia de la señal ronda los 2.4GHz.



Figura N°38.Wi-Fi Shield

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products#iot>

Este elemento se comunica de forma inalámbrica utilizando ZigBee que es un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y que necesiten un bajo consume. Utiliza unas frecuencias comprendidas entre 865MHz y 2.4GHz.

Se denomina Bluetooth al protocolo de comunicaciones diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo, que requieren corto alcance de emisión y basados en transceptores de bajo costo. Opera mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz. Su uso es adecuado cuando puede haber dos o más dispositivos en un área reducida sin grandes necesidades de ancho de

banda. Bluetooth tiene la ventaja de simplificar el descubrimiento y configuración de los dispositivos, ya que éstos pueden indicar a otros los servicios que ofrecen, lo que redundaría en la accesibilidad de los mismos sin un control explícito de direcciones de red, permisos y otros aspectos típicos de redes tradicionales. El WiFi utiliza el mismo espectro de frecuencia que Bluetooth con una potencia de salida mayor que lleva a conexiones más sólidas.

os

Otra forma de comunicación sin medio físico es la utilización de rayos infrarrojos. Este tipo de comunicación consigue tener menos interferencias debido a la mayor frecuencia del espectro electromagnético en la que trabaja.

3.2.5 Circuito Interintegrado (I2C)

El estándar I2C (Inter-Integrated Circuit) fue desarrollado por Philips en 1982 para la comunicación interna de dispositivos electrónicos en sus artículos. Posteriormente fue adoptado progresivamente por otros fabricantes hasta convertirse en un estándar del mercado. I2C también se denomina TWI (Two Wired Interface) únicamente por motivos de licencia. No obstante, la patente caducó en 2006, por lo que actualmente no hay restricción sobre el uso del término I2C.

El bus I2C requiere únicamente dos cables para su funcionamiento, uno para la señal de reloj (CLK) y otro para el envío de datos (SDA), lo cual es una ventaja frente al bus SPI. Por contra, su funcionamiento es un poco más complejo, así como la electrónica necesaria para implementarla.

Una de las propiedades del I²C es el hecho de que un microcontrolador puede controlar toda una red de circuitos integrados con sólo dos I/O-Pins (Input/Output) y un software muy simple. Los buses de este tipo fueron realizados ya que una proporción significativa del precio de un circuito integrado y la placa de circuito depende del tamaño de la carcasa y del número de pines. Una carcasa grande tiene más pines, necesita más espacio en la placa de circuito y tiene más conexiones que podrían fallar. Todo esto aumenta los costes de desarrollo, producción y pruebas.

Aunque es más lento que los sistemas de bus más nuevos, I²C es beneficioso debido al bajo coste para los sistemas periféricos que no necesitan ser rápidos. A menudo es usado para la transmisión de datos de control y configuración, por ejemplo para control de volumen, conversor de señal analógica-digital o digital-analógica con baja tasa de frecuencia de muestreo, relojes a tiempo real, pequeños espacios de memoria o conmutadores bidireccionales y multiplexores. Incluso los sensores electrónicos integran con frecuencia un convertidor analógico-digital con un I²C como el Arduino.

3.2.5.1 Historia

El bus I²C fue introducido en 1982 por Philips para la comunicación interna entre circuitos integrados como por ejemplo juegos de CD y televisiones. Para ello, fue desarrollada la familia de microcontrolador MAB8400, la cual poseía un controlador de bus I²C. La primera especificación estandarizada 1.0 fue publicada en 1992. Ésta sustituyó el estándar original de 100 kbps por un nuevo modo rápido con

400 kbps y expandió el espacio de direccionamiento a un modo de 10 bits, de tal manera que en vez de los 112 nodos originales, ahora es compatible con hasta 1136 nodos.

Con la versión 2.0 de 1998 llegó el modo de alta velocidad (Hs) con un máximo de 3,4 Mbps, aunque los requisitos de voltaje e intensidad de corriente fueron reducidos. La versión 3.0 de 2007 incluyó un nuevo modo denominado Fm+ (modo rápido mejorado) con una velocidad máxima de 1 Mbps que, al contrario que el modo Hs, utiliza el mismo protocolo que los modos de 100 y 400 kbps.

En el año 2012 fue establecido con la versión V.4 un modo aún más rápido, el Ufm (modo ultrarrápido), el cual es compatible con velocidades de transferencia unidireccionales de hasta 5 Mbps. En el mismo año fueron corregidos con la versión actual de V.5 los errores de la versión anterior. En abril de 2014 fue presentada la versión V.6 que volvió a corregir algunos errores.

3.2.5.2 Sistema de Bus

En el bus Cada dispositivo dispone de una dirección, que se emplea para acceder a los dispositivos de forma individual. Esta dirección puede ser fijada por hardware (en cuyo caso, frecuentemente, se pueden modificar los últimos 3 bits mediante jumpers o interruptores) o totalmente por software. En general, cada dispositivo conectado al bus debe tener una dirección única. Si tenemos varios dispositivos similares tendremos que cambiar la dirección o, en caso de no ser posible, implementar un bus secundario.

El bus I2C tiene una arquitectura de tipo maestro-esclavo. El dispositivo maestro inicia la comunicación con los esclavos, y puede mandar o recibir datos de los esclavos. Los esclavos no pueden iniciar la comunicación (el maestro tiene que preguntarles), ni hablar entre si directamente. Es posible disponer de más de un maestro, pero solo uno puede ser el maestro cada vez. El cambio de maestro supone una alta complejidad, por lo que no es algo frecuente.

El bus I2C es síncrono. El maestro proporciona una señal de reloj, que mantiene sincronizados a todos los dispositivos del bus. De esta forma, se elimina la necesidad de que cada dispositivo tenga su propio reloj, de tener que acordar una velocidad de transmisión y mecanismos para mantener la transmisión sincronizada (como en UART)

El protocolo I2C prevé resistencias de Pull-UP de las líneas a Vcc (ver Figura N°39). En Arduino veréis que frecuentemente no se instalan estas resistencias, ya que la librería Wire activa las resistencias internas de Pull-UP. Sin embargo las resistencias internas tienen un valor de entre 20-30k Ohmios, por lo que son unas resistencias de Pull-UP muy blandas. Usar unas resistencias blandas implica que los flancos de subida de la señal serán menos rápidas, lo que implica que podremos usar velocidades menores y distancias de comunicación inferiores. Si queremos emplear velocidades o distancias de transmisión superiores, deberemos poner físicamente resistencias de Pull-UP de entre 1k a 4K7.

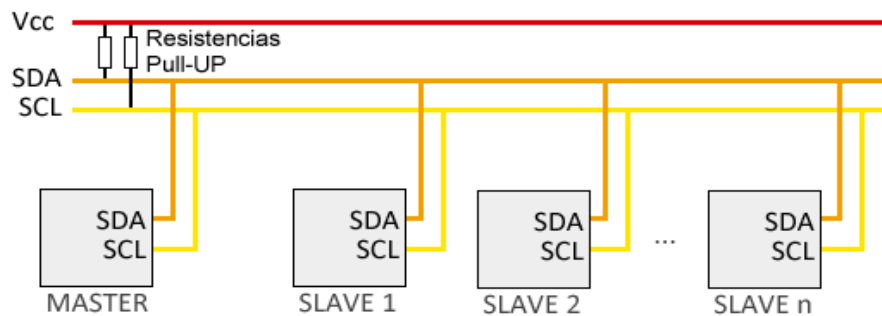


Figura N°39. Bus I2C

Fuente:<http://www.luisllamas.es/2016/05/arduino-i2c/>

Para poder realizar la comunicación con solo un cable de datos, el bus I2C emplea una trama (el formato de los datos enviados) amplia(ver Figura N°40). La comunicación consta de:

7 bits a la dirección del dispositivo esclavo con el que queremos comunicar.

-Un bit restante indica si queremos enviar o recibir información.

-Un bit de validación

-Uno o más bytes son los datos enviados o recibidos del esclavo.

-Un bit de validación

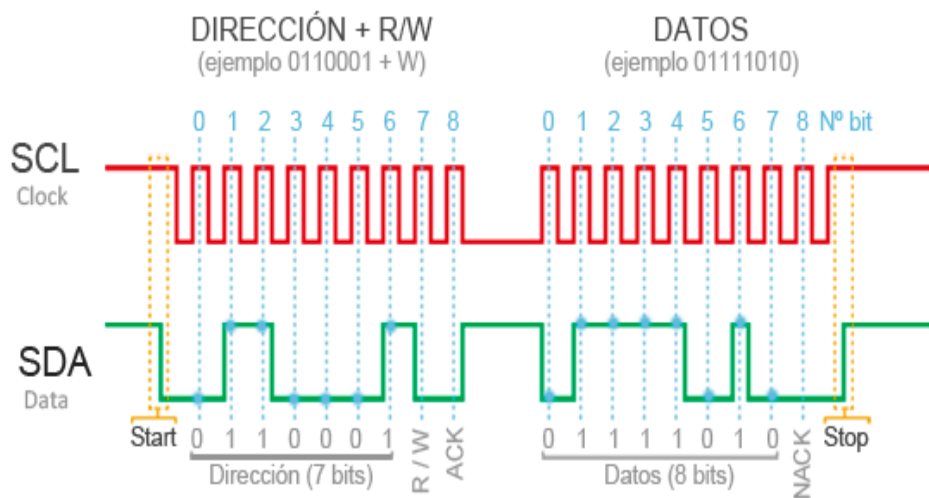


Figura N°40. Funcionamiento del Bus I2C

Fuente: <http://www.luisllamas.es/2016/05/arduino-i2c/>

Con estos 7 bits de dirección es posible acceder a 112 dispositivos en un mismo bus (16 direcciones de las 128 direcciones posibles se reservan para usos especiales) Este incremento de los datos enviados (18bits por cada 8bits de datos) supone que, en general, la velocidad del bus I2C es reducida. La velocidad estándar de transmisión es de 100Mhz, con un modo de alta velocidad de 400Mhz. El estándar I2C define otros modos de funcionamiento, como un envío de dirección de 8,10 y 12bits, o velocidades de transmisión de 1Mbit/s, 3.4Mbit/s y 5Mbit/s. No suelen ser empleados en Arduino.

3.2.6 Transporte de Telemetría de Mensaje (MQTT)

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de conectividad abierto Machine-to-Machine (M2M) que permite enviar datos estilo telemetría como mensajes a través de redes de alta latencia o con restricciones.

Está diseñado para ser una mensajería Publish-Suscribe muy ligera, es muy útil para conexiones donde es importante no consumir mucho ancho de banda , estas características han hecho que rápidamente se convierta en un protocolo muy empleado en la comunicación de sensores y, consecuentemente, dentro del Internet de las Cosas. Es también ideal para aplicaciones móviles. Se usa por ejemplo en el Facebook Messenger para iPhone y Android.

3.2.6.1 Arquitectura

En cuanto a su arquitectura, sigue una topología en estrella, donde existe un nodo central o broker con capacidad para trabajar con un gran número de clientes(ver Figura N°41).Es precisamente el broker el elemento encargado de gestionar la red y transmitir los mensajes.

Una característica interesante es la capacidad de MQTT para establecer comunicaciones cifradas lo que aporta a nuestra red una capa extra de seguridad.

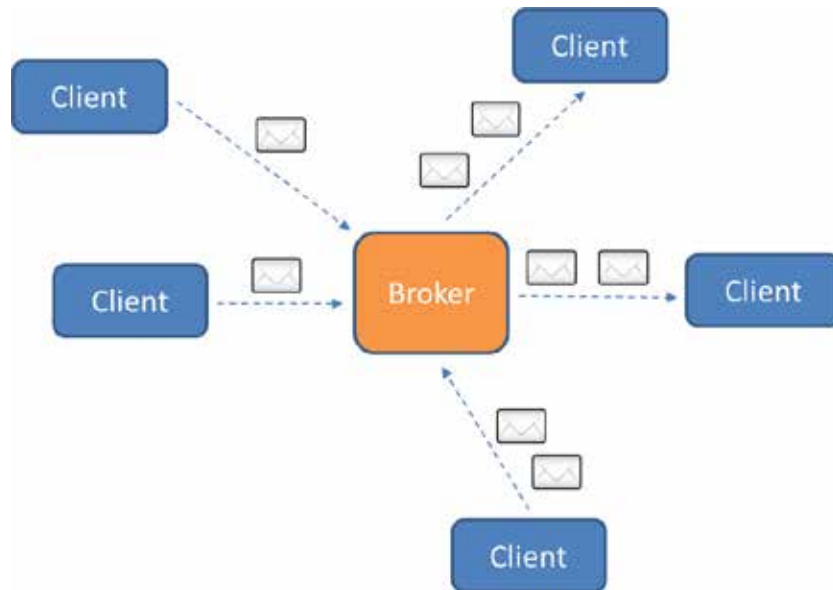


Figura N°41. MQTT Broker

Fuente:<http://www.embedded101.com/Develop-M2M-IoT-Devices-Ebook/DevelopM2MIoTDevicesContent/ArticleId/219/3-2-Architecture-Clients-and-Broker>

Dentro de la arquitectura de MQTT, es muy importante el concepto "topic" o "tema" en español ya que a través de estos "topics" se articula la comunicación puesto que emisores y receptores (clientes) deben estar suscritos a un "topic" común para poder entablar la comunicación. Este concepto es prácticamente el mismo que se emplea en colas, donde existen unos publicadores (que publican o emiten información) y unos suscritores (que reciben dicha información) siempre que ambas partes estén suscritas a la misma cola. Este tipo de arquitecturas, lleva asociada otra interesante característica: la comunicación puede ser de uno a uno o de uno a muchos. Además, los "topics" tienen una estructura jerárquica gracias a la cual podemos establecer relaciones padre-hijo y, al suscribirnos a un topic padre, recibir también la información de sus hijos (ver Figura N°42).



Figura N°42. Jerarquía MQTT

Fuente: <https://ricveal.com/blog/primeros-pasos-mqtt/>

3.2.6.2 Funcionamiento

Una comunicación MQTT(ver Figura N°43) se divide en cuatro etapas: conexión, autenticación, comunicación y terminación. Un cliente comienza por crear una conexión TCP / IP al intermediario ya sea utilizando un puerto estándar o un puerto personalizado definido por los operadores del intermediario. Al conectarse, es importante reconocer que el servidor puede continuar una sesión antigua si se le proporciona una identidad de cliente reutilizada.

Los puertos estándar son 1883 para la comunicación no cifrada y 8883 para la comunicación cifrada usando SSL / TLS. Durante el handshake SSL / TLS, el cliente valida el certificado del servidor para autenticar el servidor. El cliente también puede proporcionar un certificado de cliente al corredor durante el apretón de manos que el corredor puede usar para autenticar al cliente. Aunque no forma parte de la especificación MQTT, se ha convertido en una costumbre para los corredores de soportar la autenticación del cliente con SSL / TLS certificados del lado del cliente.

Debido a que MQTT pretende ser un protocolo para dispositivos con restricciones de recursos, SSL / TLS puede no ser siempre una opción y en algunos casos, puede que no se desee. En tales casos, la autenticación se presenta como un nombre de usuario y contraseña de texto claro que el cliente envía al servidor como parte de la secuencia de paquetes CONNECT / CONNACK. Algunos corredores, especialmente corredores abiertos publicados en Internet, aceptarán clientes anónimos. En estos casos, el nombre de usuario y la contraseña simplemente se deja en blanco.

MQTT se denomina un protocolo ligero porque todos los mensajes tienen una pequeña huella de código. Cada mensaje consta de un encabezado fijo (2 bytes), un encabezado de variable opcional, una carga útil de mensaje que está limitada a 256 MB de información y un nivel de calidad de servicio (QoS). Los tres diferentes niveles de calidad de servicio determinan cómo el contenido se gestiona mediante el protocolo MQTT. Aunque los niveles más altos de QoS son más confiables, tienen más latencia y requisitos de ancho de banda para que los clientes suscriptores puedan especificar el nivel de QoS más alto que les gustaría recibir.

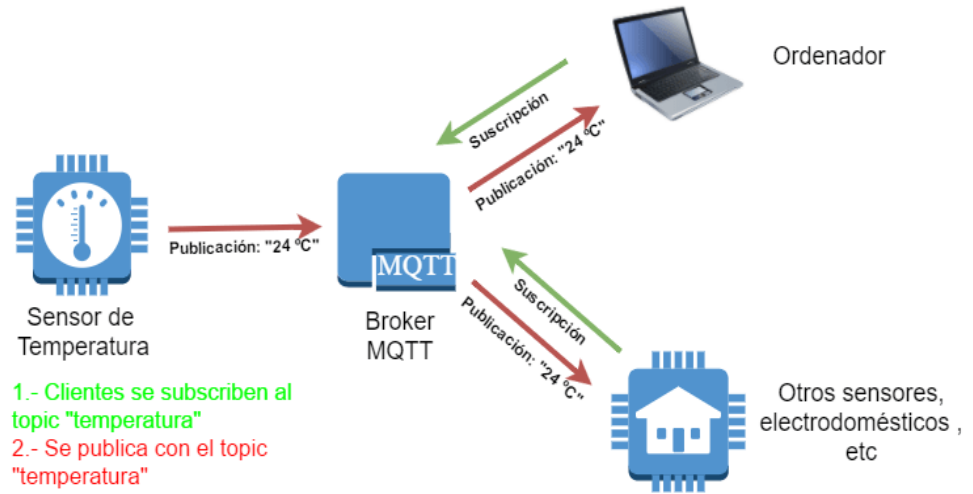


Figura N°43. Comunicación MQTT

Fuente: <https://i2.wp.com/www.ermesh.com/wp-content/uploads/2016/06/Protocolo-MQTT.png>

3.2.6.3 Servidor Mosquitto

Mosquitto es un broker OpenSource ampliamente utilizado debido a su ligereza lo que nos permite, fácilmente, emplearlo en gran número de ambientes, incluso si éstos son de pocos recursos.

En nuestro proyecto se comportara como el servidor que controlara la comunicación entre el dispositivo en Arduino y el operador. Para ver cómo funciona el protocolo se mostrara el siguiente ejemplo (Figura N°44).

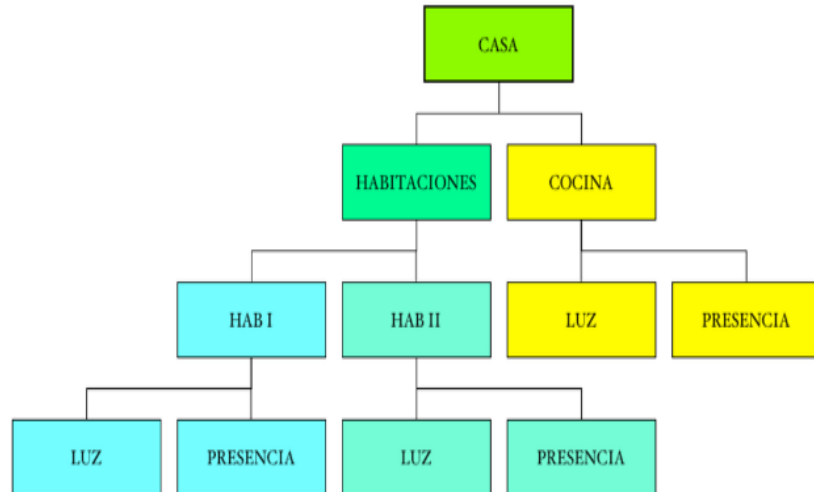


Figura N°44. Ejemplo de una Estructura MQTT

Fuente: <https://ricveal.com/blog/primeros-pasos-mqtt/>

Dentro de esta estructura, nuestros únicos "emisores" son los sensores de luz y presencia que hemos colocado en la Hab1, Hab2 y Cocina. Cada uno de ellos, lo vamos a asignar a un topic propio quedando el listado de topics de la siguiente forma:

Hab1

Luz: casa/habitaciones/hab1/luz

Presencia: casa/habitaciones/hab1/presencia

Hab2

Luz: casa/habitaciones/hab2/luz

Presencia: casa/habitaciones/hab2/presencia

Cocina

Luz: casa/cocina/luz

Presencia: casa/cocina/presencia

Para ver cómo funciona el protocolo, vamos a subscribirnos a tres topics:

-casa/habitaciones/hab1/luz

-casa/habitaciones/#

-casa/#

El '#' del final es semejante al asterisco y hace las veces de comodín por lo que todos sus hijos deberían ser escuchados bajo esa cola.

Cada uno de los comandos que se escriba ahora, debería ir en una terminal / consola diferente. Por otra parte, dependiendo de tu sistema operativo puede que tengas que arrancar el servidor de Mosquitto de forma manual.

Se Empieza por los subscriptores:

```
mosquitto_sub -t "casa/habitaciones/hab1/luz" -v
```

```
mosquitto_sub -t "casa/habitaciones/#" -v
```

```
mosquitto_sub -t "casa/#" -v
```

Y ahora se empieza a publicar mensajes desde alguno de los nodos que definimos antes. Concretamente, voy a lanzar comandos que simulen los siguientes casos:

```
encendido luz Hab1
```

encendido luz Hab2

encendido presencia cocina

mosquitto_pub -t "casa/habitaciones/hab1/luz" -m "ON"

mosquitto_pub -t "casa/habitaciones/hab2/luz" -m "ON"

mosquitto_pub -t "casa/cocina/presencia" -m "ON"

Como se observa, el "encendido luz Hab1" es detectado por todos los subscriptores, el "encendido luz Hab2" es detectado por el suscriptor general y el suscriptor a las habitaciones y, por último, el "encendido presencia cocina" sólo es detectado por el suscriptor general ya que el sensor no forma parte del árbol jerárquico de habitaciones (ni lógicamente hab1).

3.3 Definición de términos Básicos

Backbone: backbone (columna vertebral) se refiere a las principales conexiones troncales de Internet. Están compuestas de un gran número de router interconectados comerciales, gubernamentales, universitarios y otros de gran capacidad que llevan los datos a través de países, continentes y océanos del mundo mediante cables de fibra óptica.

Backplane: es una placa de circuito (por lo general, una placa de circuito impreso) que conecta varios conectores en paralelo uno con otro, de tal modo que cada pin de un conector esté conectado al mismo pin relativo del resto de conectores, formando un bus de ordenador.

Bootloader: un gestor de arranque o arrancador (en inglés bootloader) es un programa sencillo que no tiene la totalidad de las funcionalidades de un sistema operativo, y que está diseñado exclusivamente para preparar todo lo que necesita para iniciar el sistema operativo.

CATV: CATV(Community Antenna Television), comúnmente denominada videocable o simplemente cable, es un servicio de sistema de televisión por suscripción que se ofrece a través de señales de radiofrecuencia que se transmiten a los televisores por medio de redes de fibra óptica o cable coaxial.

DWDM: es el acrónimo, en inglés, de Dense Wavelength Division Multiplexing, que significa multiplexado compacto por división en longitudes de onda. DWDM es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica usando la banda C (1550 nm).

IoT: Internet de las cosas (en inglés, Internet of things, abreviado IoT) es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con internet. Alternativamente, Internet de las cosas es el punto en el tiempo en el que se conectarían a internet más “cosas u objetos” que personas. También suele referirse como el internet de todas las cosas o internet en las cosas. Si los objetos de la vida cotidiana tuvieran incorporadas etiquetas de radio, podrían ser identificados y gestionados por otros equipos, de la misma manera que si lo fuesen por seres humanos.

Open Source: el software de código abierto (en inglés open source software u OSS) es el software cuyo código fuente y otros derechos que normalmente son exclusivos para quienes poseen los derechos de autor, son publicados bajo una licencia de software compatible con la Open Source Definition o forman parte del dominio público.

OPGW: un cable de tierra óptico (también conocido como OPGW o, en el estándar IEEE, un compuesto de fibra óptica cable de tierra encima de la cabeza) es un tipo de cable que se utiliza en líneas de alta tensión . Tal cable combina las funciones de puesta a tierra y las comunicaciones.

Patchcord: Patch Cord o cable' se usa en una red para conectar un dispositivo electrónico con otro. Se producen en muchos colores para facilitar su identificación. En cuanto a longitud, los cables de red pueden ser desde muy cortos para los componentes apilados, o tener hasta 100 metros máximo.

Pigtail: un cable pigtail de fibra óptica está formado por un cordón corto de fibra. Un conector en uno de los extremos que sirve de interfaz con los equipos y fibra descubierta en el otro extremo para ser empalmado a la fibra del cable principal.

SNMP: el Protocolo Simple de Administración de Red o SNMP (del inglés Simple Network Management Protocol) es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red.

Zipcord: es un tipo de cable eléctrico con dos o más conductores se mantienen unidos por una camisa aislante que se pueden separar fácilmente simplemente tirando aparte. El término también se usa con cables de fibra óptica que consta de dos fibras ópticas unidas de una manera similar. El diseño de la cremallera del cordón hace que sea fácil de mantener conductores que transportan señales eléctricas u ópticas relacionados entre sí y ayuda a evitar que se enreden los cables. Las aplicaciones típicas incluyen cable de la lámpara y el cable del altavoz.

CAPITULO IV

FASES METODOLÓGICAS

4.1 Fases Metodológicas

Fase I: Estudiar las capacidades y características básicas de medición de un OTDR

En esta primera fase se estudio las características de un equipo promedio de reflectometría en el dominio del tiempo, pero principalmente sus capacidades (Rango dinámico, zonas muertas, Resolución de muestreo, capacidad para establecer umbrales de aprobación/error, Distancia máxima y mínima de reflectometría, post-procesamiento y generación de informes) ya que nos brindo el punto de comparación más importante con respecto a nuestra propuesta de un equipo de reflectometría óptica basado en la plataforma Arduino.

Fase II: Diseñar un prototipo de OTDR en plataforma Arduino que permita monitorizar la red de fibra óptica.

En esta etapa se realizó el proyecto, ya con un diagnóstico detallado, se implementó toda la información investigada en el diseño del equipo, para monitorizar la red de fibra óptica. Esta fase esta divida en etapas o partes que componen el diseño del equipo.

Para trabajar de eléctrico a óptico se utilizo la interfaz del Transceptor de Factor de Forma Pequeño Conectable Óptico (SFP) ya que permite de una manera más fácil realizar la tarea propuesta. También existe la opción de implementar una circuitería para la reflectometría óptica en el dominio del tiempo con diodos laser, pin y amplificadores (para regenerar la señal recibida) que brindara más capacidades como OTDR pero complicaría el diseño, sobre todo por la disponibilidad de elementos electrónicos necesarios.

Para la recolección de datos obtenidos se utilizo la plataforma Arduino, con el fin interactuar vía circuito interintegrado (I2C) con el SFP para la obtención de valores como potencia de transmisión, fallas de transmisor, potencia en la recepción , cortes de fibra y los generados por la reflectometría optica.En caso de ser utilizar una circuitería para la reflectometría óptica no sería necesario usar I2C en esta prueba.

Una vez obtenidos los valores, será necesario ser visualizados de forma local o remota. En nuestro caso se eligió la manera remota, donde se implemento una shield ethernet al Arduino para brindarle la capacidad de comunicarse vía TCP/IP a través de la red de Telefonica Venezolana C.A, como protocolo de conectividad se utilizara el mencionado Transporte de Telemetría de Mensaje (MQTT) bajo un servidor o bróker Mosquitto, donde el cliente será el operador que visualizará los valores obtenidos por el equipo diseñado.

En caso de ser local existe la opción de ser visualizado por medio de una interfaz gráfica en una computadora personal por la conexión serial del Arduino o implementar una pantalla LCD de 16x2 que presente los valores en pantalla.

Fase III: Evaluar la factibilidad económica, técnica y operativa de la propuesta.

En esta etapa se procedió la evaluación de la propuesta, ya que la inversión constituye hoy en día un tema de gran interés e importancia, ya que mediante este proceso se valora cualitativa y cuantitativamente las ventajas y desventajas de destinar recursos a una iniciativa específica o propuesta.

Se evaluó la factibilidad operacional ya que comprende la posibilidad de que un nuevo sistema (en nuestro caso la propuesta) se use como se supone. También la factibilidad técnica, que permite evaluar si el equipo y software están disponibles y tienen las capacidades técnicas requeridas por cada alternativa del diseño que se esté planificando, también se consideran las interfaces entre los sistemas actuales y los nuevos.

Fase IV: Implementar la monitorización de la red de fibra óptica a través del OTDR en la plataforma Arduino.

En esta fase se procedió a implementar el equipo diseñado, para monitorizar un tendido de fibra óptica de 15 a 30 km en Telefonica Venezolana C.A y posteriormente evaluar los resultados obtenidos por la propuesta.

Aunque el equipo de diseñado tiene la capacidad de realizar pruebas de largos alcance, mayores a 60km.

CAPITULO V

RESULTADOS

En este apartado se exponen de manera clara y objetiva los resultados de cada uno de los pasos que se llevaron a cabo, mediante el cumplimiento de las fases metodológicas que fueron definidas brevemente en el capítulo anterior, las cuales son las que dictan las pautas a seguir para la culminación exitosa de cada objetivo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos lo largo del periodo de las pasantías:

Fase I: Estudiar las capacidades y características básicas de medición de un OTDR.

Es notable considerar que en esta fase se conoció el reflectómetro óptico en el dominio del tiempo, el cual marco las pautas de la siguiente fase donde se considera el diseño de nuestra propuesta.

El OTDR es un instrumento de medición que envía pulsos de luz, a la longitud de onda deseada, para luego medir sus ecos o el tiempo en que tarda en recibir una reflexión producida a lo largo de la F.O. Estos resultados, luego de ser promediadas las muestras tomadas, se grafican en una pantalla donde se muestra el nivel de señal en función de la distancia.

En pocas palabras el OTDR aprovecha los fenómenos presentes en la F.O, como lo son esparcimiento de Rayleigh y reflexión de Fresnel, para analizar y entregar un resumen detallado. El esparcimiento de Rayleigh es debido a que el

material de las fibras no es homogéneo y al estar sus partículas distribuidas aleatoriamente la luz tiende a dispersarse en todas direcciones generando ondas reflejadas como también esparcida (perdida de energía), en cuanto a la reflexión de Fresnel es un cálculo matemático que representa el fenómeno, que ocurre cuando hay un cambio en el índice de refracción de la fibra, así como la potencia reflejada debido al mismo fenómeno.

Es importante analizar el diagrama de bloques en la que se basa un OTDR (Ver Figura N°45) para comprender mejor la manera en que procesa y obtiene los datos para plantear un diseño similar al hardware que este presenta.

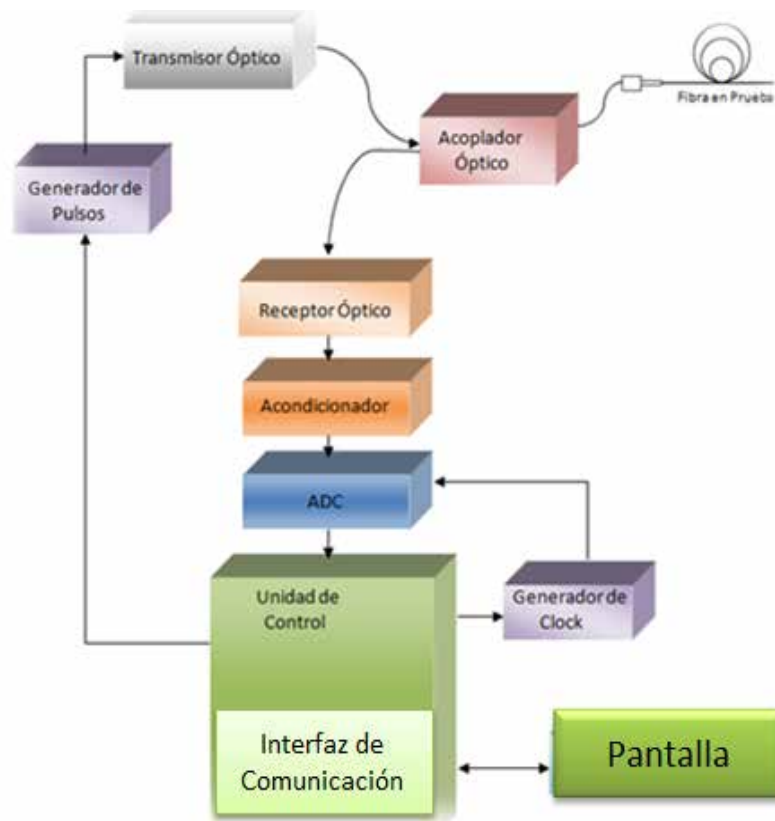


Figura N°45. Diagrama de Bloques de un OTDR
Fuente: Solórzano, 2017

Una vez conocidas las bases de funcionamiento del OTDR, agregaremos la gran importancia de realizar prácticas con el equipo, ya que el contacto real nos permite una mayor familiarización con el mismo, hay que tener claro el largo de onda a utilizar en el momento de la exploración; ya que como vemos, obtendremos resultados diferentes en cada ventana de operación, debido a las distintas atenuaciones en cada una de ellas.

Luego de estudiar el OTDR se plantean las capacidades y características que este posee, como lo son el rango dinámico, zona muerta, resolución, precisión y longitud de onda.

El rango dinámico determina la longitud máxima observable de la fibra y por lo tanto la capacidad del OTDR para analizar alguna conexión. La zona muerta es conocida como el tiempo que requiere el fotodiodo para recuperarse de la saturación al recibir un pulso. La resolución es la distancia mínima entre dos puntos de adquisición, mientras menor es la distancia mayor el número de puntos de adquisición. Precisión, como la capacidad de la medición referente al valor real. La longitud de onda ya que la atenuación de fibras ópticas varían con la misma y por lo tanto las mediciones también.

Fase II: Diseñar un prototipo de OTDR en plataforma Arduino que permita monitorizar la red de fibra óptica.

En esta etapa se optó por un prototipo que permitió monitorizar valores como potencia de transmisión, potencia de recepción, temperatura y cortes en la fibra óptica de manera remota vía TCP/IP. La reflectometría en el dominio del tiempo no fue incorporada debido a la capacidad de muestreo del arduino nano, asemejando el proyecto a una RTU. El hecho de no incorporar el OTDR en este prototipo no

significa que no sea posible, esta limitación puede ser superada agregando una circuitería (basado en un microprocesador potente, acondicionador, ADC, diodos emisores y receptores) que se comunicaría con el arduino nano sin depender de las capacidades de muestreo del mismo

El hardware del prototipo se dividió en tres bloques, las cuales denominamos SFP, Arduino y conectividad, esta decisión se tomo ya que al buscar o evaluar fallas en prototipos sin dividir en 3 partes, generó atraso y problemas al no determinar cual etapa estaba fallando exactamente. Estos tres “bloques” están conectados según el siguiente diagrama de bloques (Ver Figura N°46).

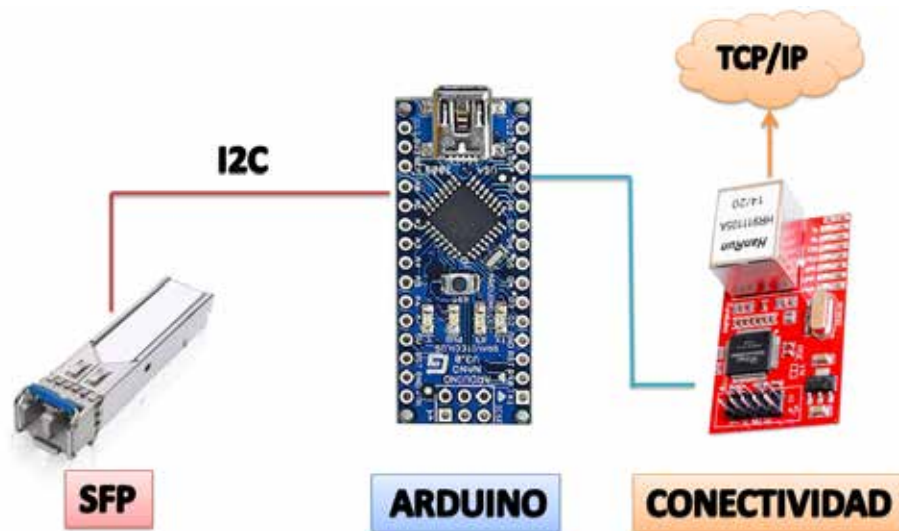


Figura N°46. Diagrama de Bloques del Prototipo de OTDR en Plataforma Arduino
Fuente: Solórzano, 2017

En la etapa del SFP se encuentra la parte optoelectrónica, es donde tiene lugar la obtención de valores de la fibra óptica, estos valores son almacenados en una memoria que es accesible vía I2C. Como se puede ver en el diagrama de bloques (ver

Figura N°46), este bloque se comunica con el arduino por el buss I2C y sigue el siguiente esquema de conexiones (ver Figura N°47).

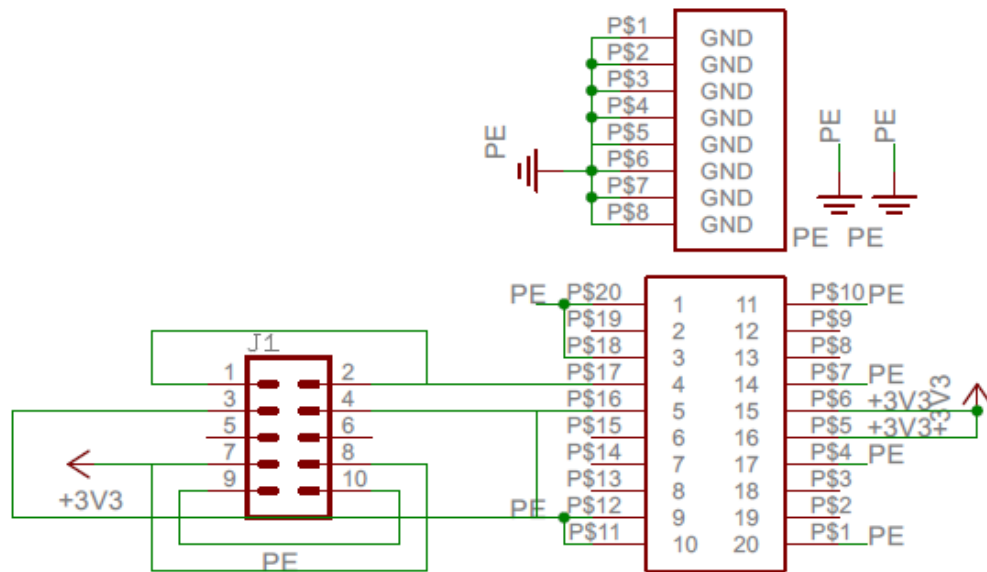


Figura N°47. Esquemático de la etapa SFP
Fuente: Solórzano, 2017

Cabe destacar que los tendidos de fibra óptica que pueden ser monitorizados depende directamente de las capacidades del SFP, esto nos brinda la posibilidad de trabajar con distintos tendidos de fibra con el mismo prototipo con tan solo cambiar el SFP por otro con las capacidades requeridas. El layout y resultados se definieron de manera satisfactoria (ver Figura N°48), estos fueron conectados a la siguiente etapa mediante un jumper.

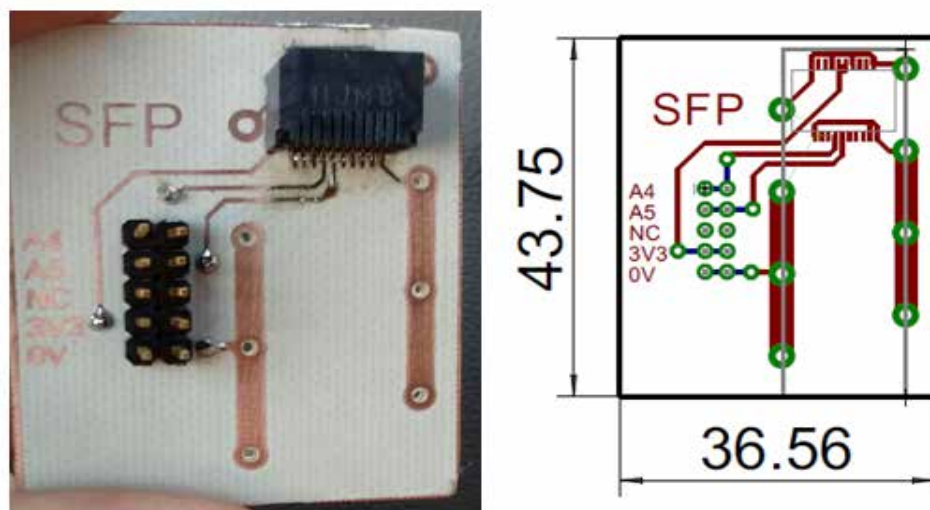


Figura N°48. Físico (izquierda) y Layout (derecha) de la etapa SFP
Fuente: Solórzano, 2017

En el bloque arduino se diseñó un esquema (ver Figura N°49) para comodidad y estética de la propuesta. Básicamente aloja un DIP Socket para el Arduino nano y dos jumper para conectarlo con las otras dos etapas del dispositivo (SFP y Conectividad).

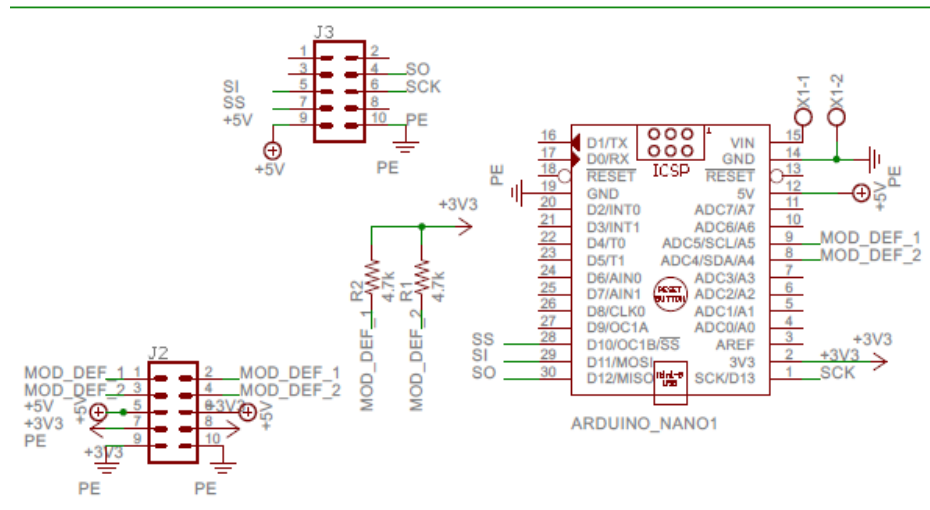


Figura N°49. Esquemático de la etapa Arduino
Fuente: Solórzano, 2017

El arduino nano es el que aloja la programación y por lo tanto el funcionamiento del dispositivo completo. La alimentación se encuentra en esta etapa, puede ser con el puerto micro USB del Arduino nano o con cualquier fuente DC de 5 a 9 voltios y de 0.5 a 1 amperio (esta entrada está marcada con -,+) . El Layout y físico fue diseñado de la siguiente manera (ver Figura N°50).

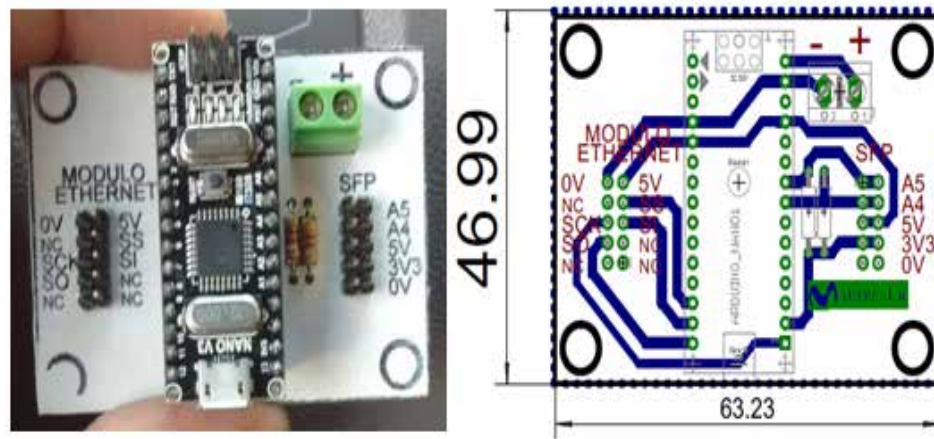


Figura N°50. Físico (izquierda) y Layout (derecha) de la etapa Arduino
Fuente: Solórzano, 2017

En el diseño de una interfaz gráfica para monitorizar el estado de la fibra óptica, el Arduino nano nos presenta la posibilidad de programarlo de dos formas diferentes utilizando el mismo diseño, uno es mediante un Web Server vía HTTP (accediendo a la IP asignada en el dispositivo) y la otra opción sería mediante MQTT (mediante un bróker Mosquitto).

En caso de programar un Web Server en el Arduino nano, se diseñaron 3 recuadros diferentes según el estado de la fibra, donde también se presentan las variables monitorizadas en tiempo real. Se considera una conexión estable cuando la potencia en el RX es satisfactoria, generalmente mayor a -2 dBm, en este caso se presenta un recuadro verde (ver Figura N°51). Si una conexión tiene degradación o es inestable se presenta un recuadro amarillo (ver Figura N°52), esto ocurre cuando la potencia en el RX es menor a la mínima satisfactoria o a un umbral definido por el usuario. Y se considera un “corte de fibra” cuando la potencia óptica en el RX está por debajo del “worst-case o peor-caso” de la sensibilidad de recepción, se presenta un recuadro rojo (ver Figura N°53). El Web Server le brinda simplicidad al proyecto pero no es recomendable, ya que por la poca memoria del arduino nano puede generar problemas de estabilidad en el mismo.

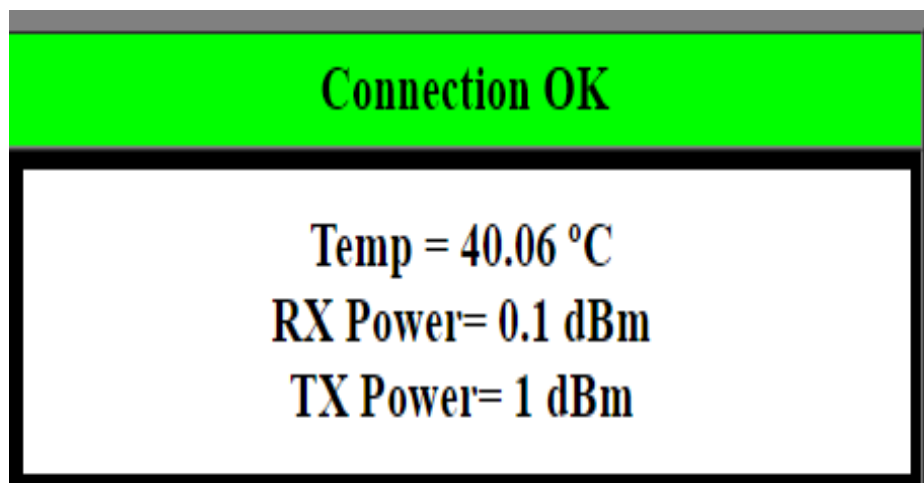


Figura N°51. Buena Conexión en Web Server
Fuente: Solórzano, 2017

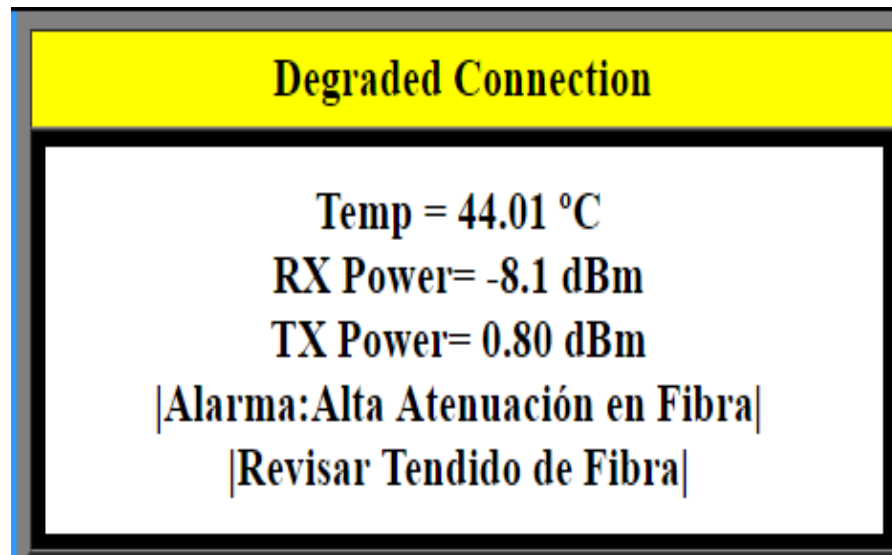


Figura N°52. Conexión Degrada en Web Server
Fuente: Solórzano, 2017

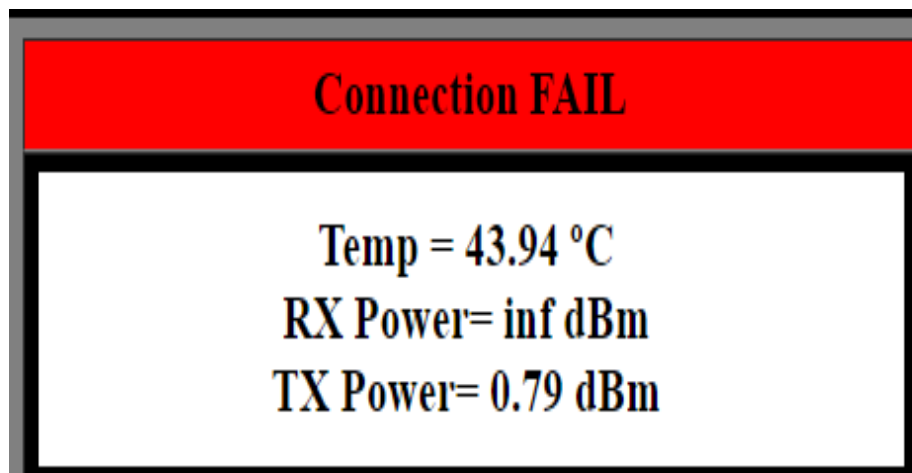


Figura N°53. Falla de Conexión en Web Server
Fuente: Solórzano, 2017

Si se programa el arduino nano para trabajar sobre MQTT basado en un bróker o servidor Mosquitto, se enviarían constantemente datos a 4 “topics” definidos por las variables que estamos enviando, que serán potencia tx, potencia rx, temperatura y estado, donde puede ser vistos por otros clientes en la red suscribiéndose a estos “topics”, utilizando cualquier API web de MQTT en google chrome como MQTT Lens (ver Figura N°54). Trabajar bajo MQTT nos brinda una interfaz gráfica bastante limpia con un diseño robusto capaz de realizar gráficos en el tiempo, hasta enviar alarmas vía SMS o e-mail, pero tiene como desventaja dedicar un servidor para su funcionamiento, esta desventaja se presento como limitación en su uso ya que exigirle a Telefonica Venezolana C.A dedicar una PC como servidor requiere tiempo, tiempo para disponer de ese equipo además de un tercer operador sobre el mismo.



Figura N°54. Interfaz Gráfica con MQTT
Fuente: Solórzano, 2017

Todo lo descrito anteriormente es posible de manera remota gracias a la tercera etapa que denominamos conectividad, donde conectamos la shield W5100 al arduino nano mediante un jumper, este shield nos brinda una interfaz física Ethernet y conectividad a internet bajo el protocolo TCP/IP. Cabe destacar que otros Shield Ethernet en el mercado presentaron fallas en la conectividad del dispositivo, a causa de que las librerías usadas en su programación son bastantes pesadas dejando sin memoria al arduino, y como consecuencia fallas en el mismo.

Con las tres etapas conectadas podemos concretar el diseño del prototipo (ver Figura N°55), obteniendo un dispositivo gratificante y funcional que nos permite monitorizar la red de fibra óptica como una RTU.



Figura N°55. Prototipo de OTDR en Plataforma Arduino
Fuente: Solórzano, 2017

Fase III: Evaluar la factibilidad económica, técnica y operativa de la propuesta.

Para evaluar la factibilidad económica primero se realizó una tabla (ver Tabla N°2) con los costos de los equipos y horas capacitación. Aunque en el diseño del prototipo la mayoría de los componentes fueron reciclados, estos proveniente de equipos fuera de funcionamiento dentro de la empresa Telefónica Venezolana C.A.

Equipo o Componentes	Costo(BsF.)
Arduino Nano	26.000
SFP marca WTD	140.000
Shield Ethernet W5100	60.000
Elaboración de Layouts	30.000
Elaboración de Físicos	60.000
Programación	60.000
Jumpers	10.000
Horas de Estudio y Capacitación(130)	90.000
Fuente de Alimentación	14.500
Accesorios de fibra óptica	100.000
Cable Ethernet	7.000
Costo Total :	597.500

Tabla N°2. Tabla de Costos
Fuente: Solórzano, 2017

Como se dijo anteriormente, la mayoría del hardware utilizado fue reciclado y por consiguiente, se redujeron en un 40% los costos de elaboración (SFP de la empresa, accesorios de fibra óptica y de red, etc.).

Estudiando la tabla elaborada (ver Tabla N°2) y sin incluir el ahorro en los costos, encontramos una propuesta económicamente interesante y factible, tanto para Telefonica Venezolana C.A, como para cualquier pequeña-mediana empresa en el área de fibra óptica. Podemos destacar que un OTDR comercial ronda los BsF. 16.000.000 , casi 27 veces el costo de la propuesta de OTDR en plataforma Arduino.

Operacionalmente la propuesta se adapta fácilmente al operador, como se trabajó bajo un Web Server, con tan solo conectar la fibra a evaluar al SFP y una conexión disponible a la red que pueda ser accesible vía HTTP desde un equipo remoto, se monitorizar el tendido de fibra óptica de manera exitosa. Técnicamente elaborar la propuesta es viable ya que no incluye sumas muy elevadas de inversión y su implementación es adaptable a la mayoría de escenarios que se nos pueden presentar debido a sus requerimientos.

Fase IV: Implementar la monitorización de la red de fibra óptica a través del OTDR en la plataforma Arduino.

Durante esta fase se implementó la monitorización del tendido de fibra óptica, antes de una implementación definitiva en un tendido estatal (en este caso Aragua), se optó por ir escalando escenarios, es decir, desde micro a macro.

Primeramente, el dispositivo se puso en funcionamiento conectándolo directamente a una PC vía Ethernet, donde la fibra óptica a monitorizar, se le hizo un

“loop” y con un atenuador óptico variable se hicieron distintas pruebas que culminaron con éxito. Seguidamente, se hizo nuevamente un “loop” con una fibra más larga (monomodo de aproximadamente 5 km) pero la interfaz Ethernet se conectó a una LAN, obteniendo los mismos resultados positivos en la monitorización remota.

Antes de la colocación del dispositivo en un tendido estatal, se realizó una prueba de fibra óptica pero conectado a una red WAN que era accesible físicamente dentro del Core de MTSO MCY, esto fue sugerido debido a los posibles problemas de compatibilidad que se podían presentar por los distintos equipos intermediarios en la red TCP/IP. Efectivamente se presentaron dificultades en la estabilidad del Web Server que nos brinda la interfaz gráfica en la monitorización remota, aunque estas fueron superadas con unos cambios de configuración en la Shield Ethernet y programación.

Finalmente el dispositivo se implementó en el tendido “MTSO MCY DIR VICTORIA” en el ODF1/P7-P8/F1 C7-C8 de Telefónica Venezolana C.A bajo la supervisión del VP de Tecnología, a través del dispositivo en la plataforma Arduino (ver Figura N°56). Para la conectividad remota se asignó una IP al dispositivo en la red de Aplicativos, y la interfaz Ethernet se conectó a un switch ZTE dentro del CORE de MTSO Maracay.

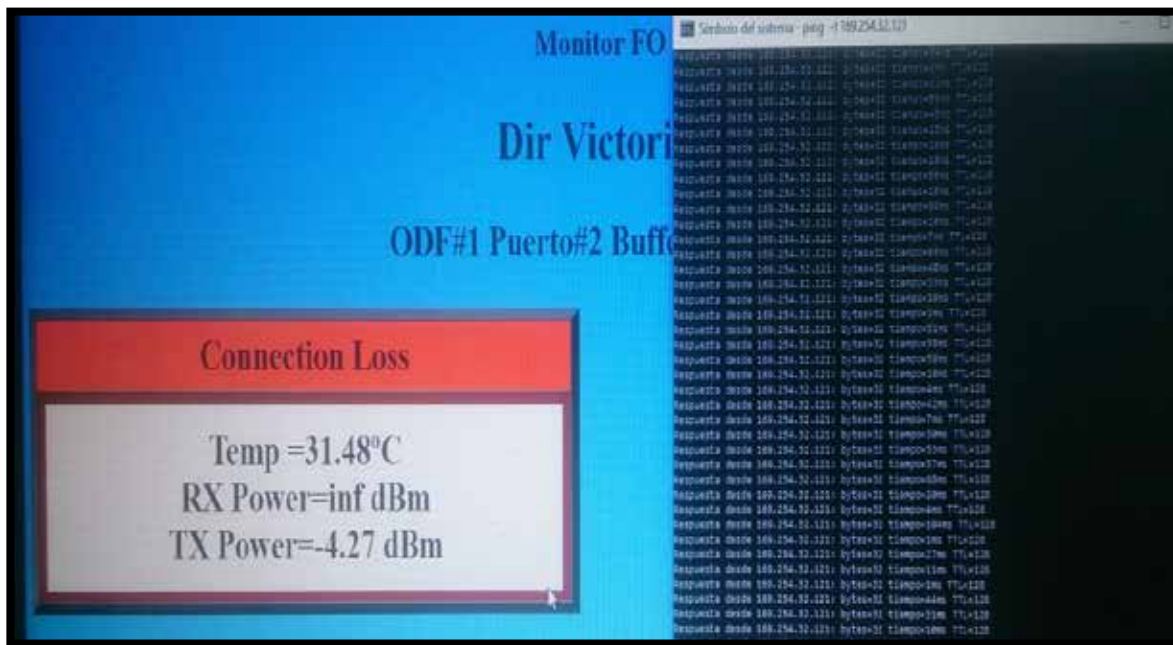


Figura N°56. Implementación del OTDR en Plataforma Arduino
Fuente: Solórzano, 2017

En la implementación se probaron “simulaciones” de un corte en el tendido monitorizado, estas fueron visualizadas mediante el Web Server en varios equipos dentro de MTSO MCY y en el departamento de Aplicativos ubicado en Caracas, como resultado, se verifico de manera exitosa el funcionamiento como RTU de la propuesta, ya que respondió adecuadamente a las fallas inducidas en el tendido de fibra óptica. El equipo se dejó monitorizando de manera fija por un periodo de dos meses para probar su estabilidad en el tiempo, obteniendo un resultado positivo.

Luego de los resultados obtenidos del primer equipo, Telefónica Venezolana C.A aprobó el desarrollo de múltiples equipos con las mismas características, para distribuirlos en los diferentes MTSO de la Región Centro Llano, demostrando el éxito del dispositivo y el interés de la empresa en esta propuesta que continua desarrollando nuevas mejoras.

CONCLUSIONES

Los conocimientos adquiridos a lo largo de esta propuesta de pasantías, concedieron una visión amplia de la fibra óptica en las telecomunicaciones, al exponer los fenómenos por las que se rige y la importancia de las herramientas que se necesitan para que estas redes se encuentren en un estado óptimo, donde la experiencia en el campo de trabajo generada por la misma propuesta y manejo de equipos como las RTU y OTDR, es de gran valor al entregar facultades en esa área de telecomunicaciones.

Como resultado, se concluye que la propuesta de monitorización de la red de fibra óptica en plataforma arduino, brinda una alternativa efectiva para la detección de fallas en el tendido de fibra óptica, pero comprobando que no puede sustituir un OTDR, debido a que las capacidades que este brinda superan ampliamente las obtenidas con el hardware disponible, de hecho, la característica de la monitorización remota asemeja el proyecto a una RTU (Remote Test Unit); Pero el diseño de un OTDR sigue siendo tangible para Telefonica Venezolana C.A gracias a la investigación desarrollada.

En otro contexto, dividiendo el hardware de la propuesta en 3 partes, se logro proporcionar simplicidad y orden al momento del diseño, además de la capacidad de resolver eficazmente los problemas que se puedan presentar en la elaboración, al analizar solo la etapa afectada.

Expuestos los costos que implican el desarrollo de la propuesta y lo que esta ofrece, es donde se encuentra lo factible que es el proyecto. Económicamente es factible encontrar un equipo que cuesta menos del 75% de una RTU y ofreciendo la capacidad de monitorizar tendidos de fibras óptica, esto concede a Telefónica

Venezolana C.A una herramienta útil y de inversión reducida. También al diseñar una interfaz gráfica amigable, se logra un equipo con bajos requerimientos técnicos y de operatividad óptima.

Implementar la propuesta en un escenario real de monitorización, demostró el funcionamiento del mismo, logrando incentivar el interés de la empresa Telefónica Venezolana C.A a seguir invirtiendo en la propuesta para futuras mejoras.

Para Culminar, en Telefónica Venezolana C.A continúan las investigaciones y desarrollo de futura mejoras para esta propuesta, dónde se puede destacar la incorporación de la reflectometría óptica en el dominio del tiempo, que implica desarrollar una nueva circuitería y, adicionalmente, trabajar la conectividad remota completamente con MQTT a causa de su gran potencial.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar el desarrollo de la base teórica ya que esta es la esencia de la propuesta, lo que implica una relación proporcional a el resultado obtenido con este proyecto.

Se desataca la recomendación del reciclaje de componentes o equipos que estén en desuso, debido a que reducir el costo económico, puede cambiar el interés que tenga la empresa en el desarrollo del proyecto de manera positiva o negativa.

Igualmente se recomienda trabajar la propuesta en “etapas”, esto mejora significativamente y facilita el desarrollo de la misma, además, probar el mismo en ambiente controlados antes de su implementación.

Por último, se recomienda para futuros desarrollo explotar el potencial de MQTT, ya que esté puede agregar una cantidad de características innovadoras a la propuesta, aparte de tener un gran apoyo e información de la comunidad del internet de las cosas(IoT) y múltiples plataformas donde puede ser trabajado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

González G. José E. (2013)

. Universidad Politécnica de
Madrid. Madrid, España.

Mendoza C. Duniesky. (2004)

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Santa Clara, Cuba.

Urteaga B. Alexander. (2007)

. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Uría Z. Jimena M. (2011)

Universidad Simón
Bolívar. Distrito Federal, Venezuela.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.

<http://www.conocimientos.com.ve/fibra-optica>. (s.f.).
Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de
<http://www.conocimientos.com.ve/fibra-optica>

Asociación de fibra óptica (The Fiber Optic Association). (s.f.).

Recuperado el 20 de
noviembre de 2016, de <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

Asociación de fibra óptica (The Fiber Optic Association). (s.f.).

Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de
<http://www.thefoa.org/ESP/Prueba.htm>

Asociación de fibra óptica (The Fiber Optic Association). (s.f.).

Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de
<http://www.thefoa.org/ESP/Prueba.htm>

<http://www.lafibraoptica Peru.com/>. (s.f.).

Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de
<http://lafibraoptica Peru.com/fundamentos-de-la-fibra-optica/>

Universidad Tecnológica Nacional. (s.f.).

Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de
<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/Plantel Exterior/IntroduFO2.pdf>

Sumitomo Electric. (s.f.). T

Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de
<https://4donline.ihs.com/images/VipMasterIC/IC/SEIL/SEILS00077/SEILS00077-.pdf?hkey=EF798316E3902B6ED9A73243A3159BB0>

Arduino Chile. (s.f.).

Recuperado el 8 de diciembre de 2016,
de arduino.cl/que-es-arduino/

www.xataka.com. (s.f.).

Recuperado el 8 de diciembre de 2016, de
<https://www.xataka.com/especiales/guia-del-arduinomaniaco-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-arduino>

Gobierno de Canarias. (s.f.).

Recuperado el 8 de diciembre de 2016, de <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/ralvgon/files/2013/05/Caracter%C3%ADsticas-Arduino.pdf>

<http://www.ardumania.es/>. (s.f.).

Recuperado el 8 de diciembre de 2016, de www.ardumania.es/wp-content/uploads/2011/10/Arduino_programing_notebook_ES.pdf

Universidad Politécnica de Valencia. (s.f.).

Recuperado el 8 de diciembre de 2016, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/18228/Memoria.pdf>

www.luisllamas.es. (s.f.).

Recuperado el 8 de diciembre de 2016, de <http://www.luisllamas.es/2016/05/arduino-i2c/f>

http://www.comunidadelectronicos.com. (s.f.).

Recuperado el 8 de diciembre de 2016, de <http://www.luisllamas.es/2016/05/arduino-i2c/f>

<http://internetofthingsagenda.techtarget.com/>. (s.f.). MQTT (MQ Telemetry Transport). Recuperado el 8 de diciembre de 2016, de <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/MQTT-MQ-Telemetry-Transport>