



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

**ENLACE DE FIBRA ÓPTICA PARA AUTOMATIZAR EL BANCO
IV 230/69/13.8 KV, 195 MVA DE GUATE SUR**

Byron Eduardo Maldonado Salazar

Asesorado por el Ing. José Guillermo Bedoya

Guatemala, febrero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ENLACE DE FIBRA ÓPTICA PARA AUTOMATIZAR EL BANCO IV 230/69/
13.8 KV, 195 MVA DE GUATE SUR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BYRON EDUARDO MALDONADO SALAZAR
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ GUILLERMO BEDOYA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, FEBRERO 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Veliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ENLACE DE FIBRA ÓPTICA PARA AUTOMATIZAR EL BANCO IV 230/69/ 13.8 KV, 195 MVA DE GUATE SUR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica, con fecha septiembre de 2009.

Byron Eduardo Maldonado Salazar

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, septiembre de 2010

**Coordinador del Área de Potencia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Presente.**

Señor Coordinador:

Atentamente le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado: **"ENLACE DE FIBRA ÓPTICA PARA AUTOMATIZAR EL BANCO IV, 230/69/13.8 KV 195 MVA DE GUATE SUR"**, desarrollado por el señor Byron Eduardo Maldonado Salazar con carné 200313282, encontrando que es satisfactorio, ya que su contenido cumple con los objetivos propuestos, por lo que procedo por este medio a su aprobación.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo, como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,


Ing. José Guillermo Bellova Barrios
Colegiado 48467
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 38. 2011.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; BYRON EDUARDO MALDONADO SALAZAR titulado: "ENLACE DE FIBRA ÓPTICA PARA AUTOMATIZAR EL BANCO IV, 230/69/13.8 KV 195 MVA DE GUATE SUR", procede a la autorización del mismo.

Una firma manuscrita en tinta negra, que parece ser "Guillermo Antonio Puente Romero", escrita sobre una línea horizontal.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

GUATEMALA, 19 DE MAYO 2011.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Ref. EIME 22. 2011
Guatemala, 28 de MAYO 2011.

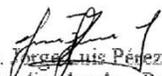
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"ENLACE DE FIBRA ÓPTICA PARA AUTOMATIZAR EL BANCO
IV, 230/69/13.8 KV, 195 MVA DE GUATE SUR", del estudiante
Byron Eduardo Maldonado Salazar, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
Coordinador de Potencia

JLPR/sro

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 053 .2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ENLACE DE FIBRA ÓPTICA PARA AUTOMATIZAR EL BANCO IV 230/69/13.8 KV, 195 MVA DE GUATE SUR**, presentado por el estudiante universitario **Byron Eduardo Maldonado Salazar**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 2 de febrero de 2012.



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por otorgarme muchas bendiciones y prosperidad en mi vida, además de la sensatez para vivirla.
Mis padres	Por su apoyo incondicional, esfuerzo, amor y entrega, siendo ejemplo de vida, mi gratitud eterna.
Mis hermanas	Por su tolerancia y ayuda a lo largo de mi carrera.
Mis compañeros	Por ser parte de mi formación profesional, estando presentes en los momentos de lucha para alcanzar los objetivos académicos.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi núcleo familiar

Un agradecimiento muy especial a mis padres Nemesio Maldonado y Blanca Luz Salazar, a mis hermanas Leslie, Viviana y Karen por darme su apoyo a lo largo de mi preparación académica y el ánimo de seguir adelante

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. BAHÍA DE TRANSFORMACIÓN	
1.1. Generalidades	1
1.2. Subestación eléctrica	2
1.3. Diagramas unifilares de subestaciones	2
1.4. Aparatos de maniobra y corte	4
1.4.1. Seccionadores	5
1.4.2. Interruptores	5
1.5. Equipos de protección y medida	5
1.5.1. Pararrayos	6
1.5.2. Transformadores de medida y protección	6
1.5.2.1. Transformador de corriente	7
1.5.2.2. Transformador de potencial	7
1.5.2.3. Relevadores de protección	7
1.6. Transformador de potencia	8
1.6.1. Componentes del transformador de potencia	9
1.6.2. <i>Bushing</i> primario	9
1.6.3. <i>Bushing</i> secundario	9
1.6.4. Cuba	9

1.6.5.	Depósito de expansión	10
1.6.6.	Indicador de nivel de aceite	10
1.6.7.	Relevador Bucholz	10
1.6.8.	Desecador	10
1.6.9.	Termostato	10
1.6.10.	Regulador de tensión	11
1.6.11.	Placa característica	11
1.6.12.	Grifo de llenado	11
1.6.13.	Radiadores de refrigeración	11
1.6.14.	Cambiador de <i>Taps</i>	11
1.7.	Tableros de medición, control y protección	12
1.7.1.	Tipos de tableros	13
1.7.2.	Tableros de un solo frente	13
1.7.3.	Tableros de doble frente o dúplex	14
1.7.4.	Tableros separados para mando y protección	14
1.7.5.	Tableros tipo mosaico	15
1.7.6.	Tablero mímico	15
1.7.7.	Detalles en tableros de control	16
1.7.8.	Detalles en tableros de protección	17
1.7.9.	Habilitación de los tableros de protección, control y medición	19
1.8.	Niveles de control de la subestación	21
1.8.1.	Nivel de equipo	22
1.8.2.	Nivel de bahía	22
1.8.3.	Nivel de subestación	23
1.8.4.	Nivel de SCADA del centro de operación	23
1.9.	Requerimientos técnicos particulares de niveles de control en Guatemala Sur	24
1.10.	Sistemas auxiliares	26

1.10.1.	Sistemas auxiliares para el Banco IV en la caseta de control	28
2.	OPERACIÓN DEL SISTEMA	31
2.1.	Topología de conexión	31
2.2.	Unidad terminal remota	34
2.2.1.	Equipamiento en la unidad terminal remota	36
2.2.2.	Repuestos y equipos de prueba	38
2.2.3.	Especificaciones técnicas	42
2.2.4.	Operación de la unidad terminal remota	44
2.2.5.	<i>Software</i> de la unidad terminal remota	47
3.	TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS	51
3.1.	Conceptos generales	51
3.2.	Arquitectura del sistema de automatización	51
3.2.1.	Protocolos de comunicación en subestaciones eléctricas	56
3.2.1.1.	Protocolo de comunicación Modbus	56
3.2.1.2.	Protocolo de comunicación RS232	62
3.2.1.3.	Protocolo de comunicación DNP3	67
3.2.1.4.	Protocolo de comunicación IEC101	74
3.2.1.4.1.	Diferencias entre protocolo de comunicación IEC101 y DNP3	76
3.2.1.5.	Protocolo de comunicación TCP/IP	77
3.3.	Protocolo específico para la automatización del banco IV en Guate Sur	80
3.4.	Tipos de sistemas de transmisión de datos	81

3.5.	Automatización para señales de entrada y salida	83
3.5.1.	Características de equipo concentrador de señales	83
3.5.1.1.	Diversidad de señales	83
3.5.1.2.	Vías múltiples de acceso	86
3.5.1.3.	Sincronización de reloj	87
3.5.1.3.1.	Sincronización horaria para el banco de transformación IV	88
3.5.1.3.2.	Receptor, antena y accesorios para la sincronización de tiempo	88
3.5.1.4.	Capacidad de almacenamiento de memoria interna	89
3.5.1.5.	Capacidad de entradas y salidas opcionales	89
3.5.1.6.	Capacidad de módulos opcionales	90
3.5.1.7.	Sincronización a fibra óptica	90
3.6.	Elementos de interface	90
3.7.	Especificaciones de los enlaces de fibra óptica	93
3.8.	Servicios auxiliares requeridos para el enlace	94
3.9.	Selección de un convertidor	95
3.10.	Especificaciones requeridas para el convertidor de medios	96
4.	CONDUCTOR DE FIBRA ÓPTICA	99
4.1.	Conceptos generales de fibra óptica	99
4.2.	Forma de la fibra óptica	100
4.3.	Cables ópticos	101
4.3.1.	Arreglos de fibra óptica	103
4.4.	Parámetros de la fibra óptica	104

4.5.	Tipos de la fibra óptica	108
4.5.1.	Fibra monomodo	108
4.5.2.	Fibra multimodo de índice gradiente gradual	109
4.5.3.	Fibra multimodo de índice escalonado	109
4.6.	Elementos de interface	111
4.6.1.	Acopladores	112
4.6.2.	Conectores	112
4.6.2.1.	Conectores <i>Straight Tip</i> ST	112
4.6.2.2.	Conectores <i>Square</i> SC	114
4.6.2.3.	Conectores <i>FC Fiber Connector</i>	115
4.6.2.4.	Conectores <i>Lucent</i> LC	116
4.6.2.5.	Pérdidas en los conectores	119
4.6.2.6.	El pulido de las ferrules	120
4.6.3.	Conversores a fibra óptica	121
4.6.4.	Panel de fibra óptica	122
4.7.	Sistema de seguridad para la fibra óptica	124
4.8.	Instalación de la fibra óptica	124
4.8.1.	Especificaciones para la instalación de fibra óptica	125
4.8.2.	Cantidad de líneas de fibra óptica	126
4.8.3.	Especificación técnica de materiales menores	127
4.9.	Ventajas y desventajas del uso de la fibra óptica en subestaciones eléctricas	127
4.9.1.	Ventajas de uso de la fibra óptica	127
4.9.2.	Desventajas de la fibra óptica	128
5.	SISTEMA SCADA	129
5.1.	Conceptos básicos del sistema SCADA	129
5.2.	Funciones principales del sistema de mando	132
5.3.	Transmisión de la información	133

5.4.	Comunicación entre dispositivos	135
5.5.	Elementos del sistema de mando	136
5.6.	Período de escaneo	139
5.7.	Dispositivos de campo y cableado	140
5.8.	Pruebas funcionales, parametrización y desempeño	144
CONCLUSIONES		147
RECOMENDACIONES		149
BIBLIOGRAFÍA		151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Equipos de una subestación eléctrica	4
2. Transformador de potencia	12
3. Niveles de control de una subestación	24
4. Topología de conexión	31
5. Arquitectura interna de la RTU	42
6. Arquitectura del sistema de automatización	52
7. Topología de red	55
8. Conector DB9	64
9. Modelo de integración de datos	85
10. Conector V-Pin para fibra óptica	93
11. Configuración interna de un <i>Transceiver</i>	95
12. Configuración de la fibra óptica	102
13. Atenuación contra longitud de onda. 3 ventanas comunes	107
14. Núcleos de los tipos de fibra óptica	110
15. Conector ST	113
16. Conector SC	114
17. Conector FC	116
18. Conector LC	117
19. Diferentes tecnologías de pulido	120
20. Esquema de conexión de equipos e interfaces de comunicación	136
21. Esquema de elementos de un sistema SCADA	137
22. Esquema de conexionado para el MTU y el RTU	138
23. Corte de un conductor flexible	141

TABLAS

I.	Estructura del prefijo de Modbus/TCP	60
II.	Estructura de mensajes en Modbus/TCP	61
III.	Entradas y salidas de interface DB-9 y DB-25	64
IV.	Trama de datos DNP3	71
V.	Formatos de trama IEC 101	76
VI.	Capas del protocolo TCP/IP	78
VII.	<i>Transceivers</i> y aplicaciones	92
VIII.	Tipos de fibra óptica y sus características	111
IX.	Pérdida en los conectores	119

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
I/O	Entrada/Salida (del inglés <i>Input/Output</i>)
DCE	Equipo de comunicación de datos (del inglés <i>Data Transfer Communications Equipment</i>)
Kbps	Kilo <i>bits</i> por segundo
kV	Kilo voltio
MT	Media Tensión
mW	Mili <i>watt</i>
nm	Nanómetros
IP	Protocolo de internet (del inglés <i>Internet Protocol</i>)
IRIG-B	Rango de inter grupo instrumental B, es la norma del sector para sincronización horaria por GPS (del inglés <i>Inter-range instrumentation group</i>)
86T	Relevador de disparo general
50BF	Relevador de sobre corriente

GLOSARIO

AC	Confirmación de tramas recibidas (del inglés <i>Acknowledgement</i>)
Arco Eléctrico	Derivación de la corriente entre dos puntos a distinta tensión
AT	Alta Tensión
AWG	Calibre de alambre americano (del inglés <i>American Wire Gauge</i>)
BC	Código binario decimal (del inglés <i>Binary Coded Decimal</i>)
<i>Bushing</i>	Dispositivo de acople entre los conectores de un transformador y el conductor
CA	Corriente alterna
CATV	Televisión por cable (del inglés <i>Community Antenna Television</i>)
CD	Corriente directa
COS	Centro de Operación del Sistema

CRC	Chequeo de Redundancia Cíclica
CT	Transformador de Corriente (del inglés <i>Current Transformer</i>)
dBm	Nivel de potencia en decibeles en relación a un nivel de referencia de 1 mW
DCE	Equipo de comunicación de datos (del inglés <i>Data Transfer Communications Equipment</i>)
DCS	Sistema de control distribuido (del inglés <i>Distributed Control System</i>)
Devanado	Hilo de cobre aislado que, arrollado en forma conveniente, forma parte del circuito de algunos aparatos eléctricos
Diagrama unifilar	Representan todas las partes que componen a un sistema de potencia de modo gráfico, tomando en cuenta las conexiones que hay entre ellos, para lograr así la forma una visualización completa del sistema de forma sencilla
DNP	Protocolo de distribución de red (acrónimo del inglés <i>Distributed Network Protocol</i>)
DTE	Equipos terminales de datos (del inglés <i>Data Terminal Equipments</i>)

EIA	Asociación de Industrias Electrónicas (del inglés <i>Electronic Industries Alliance</i>)
EMI	Inducción electromagnética
ETCEE	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica
<i>Firmware</i>	<i>Software</i> interno de la RTU (unidad de terminal remota). Consiste en módulos de <i>software</i> que residen en tarjetas o chips tipo <i>flash</i> instalados directamente en la RTU, normalmente en la unidad central de proceso, y que mediante herramientas instaladas en un <i>PC MS Windows</i> compatible se realiza su transferencia y sustitución, por medio de archivos provistos por los oferentes de los equipos
FTP	Protocolo de transferencia de archivos (del inglés <i>File Transfer Protocol</i>)
<i>Gateway</i>	Un <i>gateway</i> (puerta de enlace) es un dispositivo, con frecuencia un ordenador, que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación
GPR	Subida de potencial de tierra (del inglés <i>Ground Potential Rise</i>)

GPS	Sistema Global de Posicionamiento (del inglés <i>Global Positioning System</i>)
GSM	Sistema global para comunicaciones móviles (del francés <i>Groupe Spécial Mobile</i>)
IEC	Comité de electrotecnia internacional (del inglés <i>International Electro-technical Commission</i>)
IED	Dispositivo Electrónico Inteligente (del inglés <i>Intelligent Electronic Device</i>)
IHM	Interface hombre máquina, permite la intervención de personal especializado en diferentes modos de operación del sistema
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
Interoperabilidad	Es la condición mediante la cual sistemas heterogéneos pueden intercambiar procesos o datos
LC	Conector Lucent (creado por la empresa Lucent de donde se deriva su nombre del inglés <i>Lucent Connector</i>)
Modbus	Protocolo de comunicación basado en la arquitectura de maestro esclavo
MTU	Unidad terminal maestra (del inglés <i>Master Terminal Unit</i>)

NACK	Confirmación negativa de trama recibida (del inglés <i>Negative Acknowledgement</i>)
PLC	Controlador lógico programable (del inglés <i>Programmable Logic Controller</i>)
PLC virtual	Es un módulo de <i>software</i> que está disponible en las unidades terminales remotas. Consiste en una o más secciones de programas escritos en alguno de los lenguajes del estándar IEC 61131-3 y se ejecutan periódicamente en una banda de tiempo dentro de una RTU, simulando ser un PLC real
PSTN	Red conmutada de telefonía pública (del inglés <i>public switched telephone network</i>)
Protocolos	Son mecanismos de comunicación entre equipos que operan en áreas de automatización industrial, sistemas de potencia y sistemas de control automático. Permiten enlazar sistemas distantes mediante enlaces seriales o redes de área local o de área amplia. Están normalizados por estándares de la IEEE, IEC o son propiedad de las compañías que desarrollan equipos para las áreas indicadas anteriormente
PT	Transformador de potencial (del inglés <i>Potencial Transformer</i>)

Relevador	Dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico
RTU	Unidad terminal remota del inglés <i>Remote Terminal Unit</i> , es un dispositivo instalado en una ubicación remota el cual recoge datos de diferentes sistemas y en diferentes protocolos, y luego los envía a un equipo de visualización o manipulación de dicha información
RX	Recepción
SC	Ajustar y Conectar (del inglés <i>Set and Connect</i>)
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> , término que describe el conjunto de funciones de Adquisición de Datos y Control Supervisor
SE	Subestación Eléctrica
SEL	Laboratorios de ingeniería Schweitzer (<i>Schweitzer Engineering Laboratories</i>)
SER	Grabador de Eventos Secuenciales (por sus siglas en inglés <i>sequential event recorder</i>)
SNMP	Protocolo simple de administración de red (del inglés <i>Simple Network Management Protocol</i>)

SOE	Secuencia de eventos (del inglés <i>Sequence of Events</i>)
ST	Punta Recta (del inglés <i>Straight Tip</i>)
TCP	Protocolo control de transmisión (del inglés <i>Transmission Control Protocol</i>)
Telnet	Telecomunicación de red (del inglés <i>Telecommunication Network</i>)
<i>Transceiver</i>	Dispositivo que realiza funciones tanto de transmisión como de recepción, utilizando componentes de circuito comunes para ambas funciones en diferentes tecnologías
TX	Transmisión
UART	Transmisor Receptor Asíncrono Universal (del inglés <i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>)
UCP	Unidad de control de posición (del inglés <i>Position Control Unit</i>)
UDP	Protocolo de datagramas de usuario (del inglés <i>User Datagram Protocol</i>)
UPS	Sistema de alimentación ininterrumpida (del inglés <i>Uninterruptible Power Supply</i>)

RESUMEN

El presente trabajo consiste en mostrar las disposiciones técnicas para la implementación de la automatización del Banco IV 230kV/69kV/13.8kV 195 MVA de la Subestación Guatemala Sur, que se fundamenta en el programa de Mejoramiento de la Infraestructura Eléctrica de las Subestaciones de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica y el Instituto Nacional de Electrificación ETCEE-INDE.

Se presentan las características de los elementos requeridos para la automatización del banco de transformación, cuya función será llevar los datos de medición, control y protección hacia el sistema SCADA.

Se describen los elementos más importantes de una subestación eléctrica, también del transformador de potencia del cual se detallan sus elementos principales, se toma en cuenta las especificaciones de los tableros de protección, control y medición, e igualmente se describen los niveles de control para la subestación eléctrica.

Más adelante se describe la forma para automatizar el Banco IV de la subestación tomando los datos de la bahía de transformación y concentrándolas en la RTU que se ubicará en una caseta de control para luego transmitir los datos de medidas, control y protección por el medio de transmisión de fibra óptica, por lo que se especifican las características de los dispositivos que pueden utilizarse para el efecto, brindando detalles para elementos como la RTU, la fibra óptica, conectores, protocolos de comunicación y especificaciones generales de materiales.

Luego resaltamos la importancia del sistema SCADA describiendo los conceptos básicos del mismo, las funciones principales del sistema, como se realiza la transmisión de información, las comunicaciones entre los dispositivos y finalmente las pruebas de funcionalidad y parametrización para la evaluación del desempeño del sistema.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio que permita un enlace de comunicación a través de fibra óptica entre la sala de mando de la subestación Guatemala Sur y la cabina de mando local de la unidad IV que comprende al transformador trifásico 230/69/13.8kV y sus diversos equipos de protección, medición y control.

Específicos

1. Proponer las actividades que permitan efectuar la integración de las funciones de control, protección y medición de la bahía del transformador trifásico.
2. Completar los niveles de operación a nivel de *hardware* en la jerarquía de mando de la subestación.
3. Determinar los elementos necesarios para la composición del enlace entre la sala de mando de la subestación y la estación de mando local del transformador.
4. Detallar las características de los posibles elementos necesarios para el proyecto.

5. Realizar el estudio pertinente que garantice la correcta instalación y operación de los nuevos elementos requeridos para la implementación del proyecto.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las subestaciones eléctricas en el territorio nacional están siendo modernizadas, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías, además de las necesidades de cumplir con nuevos requerimientos producto del crecimiento en la demanda de energía eléctrica de nuestro país.

Para la protección y el control de los equipos se requieren de diferentes sistemas eléctricos y electrónicos que en su constante uso se ha podido observar que brindan una operación confiable para los equipos, por lo que cada día se trata de integrar estos elementos a los sistemas más modernos de automatización.

La velocidad de la comunicación es de suma importancia en las subestaciones eléctricas, para que operaciones de medición, control y protección se realicen de forma eficiente. Es por ello que se ha visto la necesidad de encontrar sistemas eficaces en la transmisión y visualización de datos que actúen en todo el sistema en tiempo real y una sincronización vía GPS o satelital con la ventaja de obtener los parámetros requeridos en una forma rápida y para tal efecto se ha comprobado que los elementos que cumplen estas necesidades son los dispositivos electrónicos y tecnologías como la fibra óptica.

En el presente trabajo se analizan los elementos y requerimientos que pueden aplicarse para la automatización del banco de transformación cuya base principal es la vigilancia, control de este dispositivo y todos los que de él se derivan, para la ampliación de la obra electromecánica del banco IV de transformación 230/69/13.8 kV 195 MVA del INDE.

La Subestación Eléctrica Guatemala Sur se ubicada en el km 14,5 carretera al pacífico a San José Villanueva a través de un proyecto de automatización a base de fibra óptica.

Se contempla para ello la construcción de una caseta de control en el que se instalará una RTU que integrará las señales del banco de transformación y de este punto utilizando un *transceiver* se enviarán las señales a través de fibra óptica hacia la MTU de la subestación para completar la implementación de la automatización de este banco de transformación.

1. BAHÍA DE TRANSFORMACIÓN

1.1. Generalidades

En el presente trabajo se desea proveer información suficiente para la obra electromecánica del Banco IV de la Subestación Guatemala Sur, consistente en diseño, suministro, instalación y pruebas destinadas a satisfacer las necesidades del Programa de Mejoramiento de la Infraestructura Eléctrica de las Subestaciones de la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica en adelante ETCEE del Instituto Nacional de Electrificación INDE.

El lugar en donde a futuro se desarrollará la obra es la Subestación Eléctrica Guatemala Sur, ubicada en el km 14,5 carretera al pacífico a San José Villanueva.

El Instituto Nacional de Electrificación INDE; es una entidad estatal, autónoma y descentralizada, la cual goza de autonomía funcional, patrimonio propio y personalidad jurídica.

El Instituto Nacional de Electrificación (INDE), fue creado el 27 de mayo de 1959 mediante el Decreto de Ley 1959. El objetivo de su fundación se encaminó a dar solución pronta y eficaz a la escasez de energía eléctrica en el país, así como mantener la energía disponible a efecto de satisfacer la demanda normal e impulsar el desarrollo de nuevas industrias, incrementar el consumo doméstico y el uso de la electricidad en las áreas rurales.

1.2. Subestación eléctrica

Una subestación eléctrica es aquella instalación compuesta por los adecuados elementos de mando, corte, medida, regulación, transformación, protección y cuya misión es la de reducir, aumentar, coleccionar o distribuir los valores de tensión.

Las subestaciones se pueden denominar, de acuerdo con el tipo de función que desarrollan, en tres grupos:

- Subestaciones vareadoras de tensión
- Subestaciones de maniobra o seccionadoras de circuito
- Subestaciones mixtas (mezcla de las dos anteriores)

De acuerdo con la potencia y tensión que manejan las subestaciones, estas se pueden agrupar en:

- Subestaciones de transmisión
- Subestaciones de distribución

1.3. Diagramas unifilares de subestaciones

El diagrama unifilar de una subestación eléctrica es el resultado de conectar en forma simbólica y a través de un solo hilo todo el equipo mayor que forma parte de la instalación, considerando la secuencia de operación de cada uno de los circuitos. El diseño de una instalación eléctrica tiene su origen en el diagrama unifilar correspondiente, que resulta del estudio de las necesidades de carga de la zona en el presente y con proyección a un futuro de mediano plazo.

Los criterios que se utilizan para seleccionar el diagrama unifilar más adecuado y económico de una instalación son los siguientes:

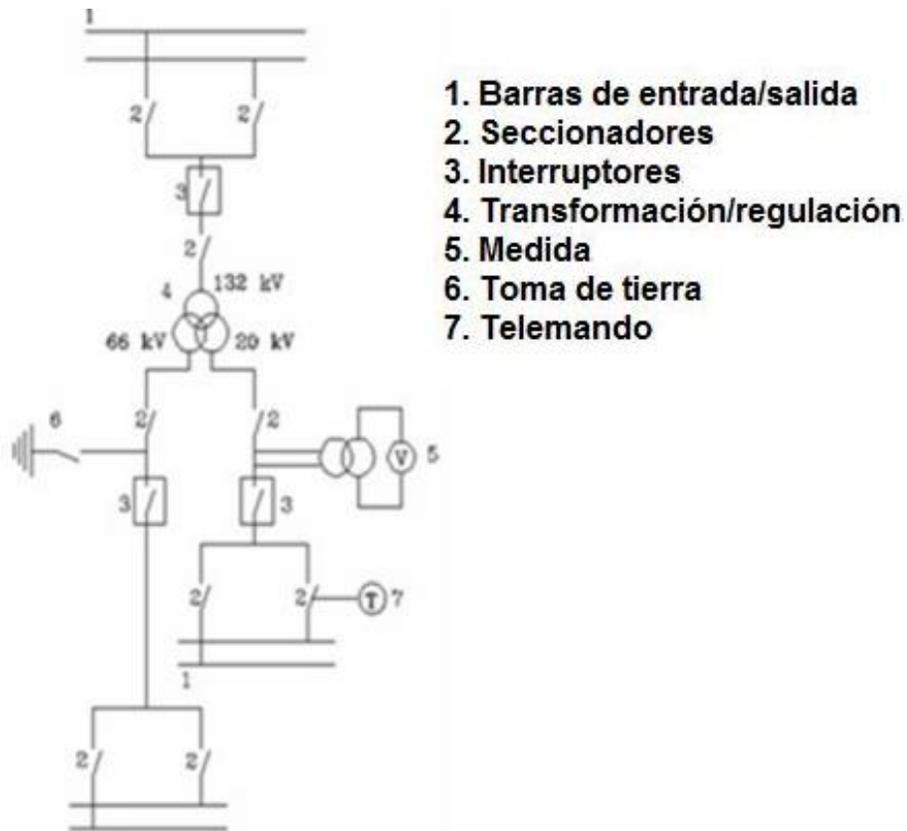
- Continuidad de servicio
- Versatilidad de operación
- Facilidad de mantenimiento
- Cantidad y costo del equipo eléctrico

Dentro de los equipos más importantes en las subestaciones eléctricas podemos mencionar:

- Entrada-salida: barras de reparto de intensidad
- Protección: relevadores de protección, pararrayos y autoválvulas
- Corte: seccionadores e interruptores
- Medida: transformadores y equipos de medida
- Regulación: reguladores de tensión
- Mando: cuadros de mando directo y telemando

En la figura 1 se muestra una representación de los equipos principales de una subestación utilizando un diagrama unifilar.

Figura 1. Equipos de una subestación eléctrica



Fuente: TOSATADO, Marcos. Estaciones y subestaciones transformadoras. Cap. 4. p. 10.

1.4. Aparatos de maniobra y corte

Su función es la de permitir un servicio continuo y aislar eléctricamente partes del sistema que, por diferentes motivos, deban quedar libres de tensión. En las estaciones y subestaciones transformadoras nos encontraremos con los siguientes aparatos que realizan funciones de corte y maniobra.

1.4.1. Seccionadores

Se usan para cortar tramos del circuito de forma visible. Para poder realizar la maniobra necesitan estar libres de carga, es decir, en el momento de la apertura no debe circular corriente alguna a través de él. Algunos modelos permiten la apertura a tensión nominal sin corriente.

1.4.2. Interruptores

Estos dispositivos son capaces de soportar grandes corrientes de cortocircuito durante un período determinado de tiempo, esto les permite realizar la maniobra con carga. Pueden accionarse de forma manual y su apertura no es visible.

Al igual que los interruptores de operación manual, también existen los interruptores automáticos, realizan la labor de maniobra en condiciones de carga. En realidad estos son los usados habitualmente y no los interruptores manuales, ya que estos actúan automáticamente en caso de anomalía eléctrica. Para este accionamiento automático se ayudan de unos aparatos llamados relevadores de protección. Deben incorporar un sistema de extinción del arco eléctrico para su correcto funcionamiento.

1.5. Equipos de protección y medida

Los aparatos de protección y medida son aquellos que tienen por misión tomar los valores oportunos de la instalación, registrarlos y compararlos con otros valores de referencia y actuar sobre la aparamenta de protección en caso de que esto fuera necesario.

La aparamenta de protección de las subestaciones y estaciones transformadoras, está compuesta, además, de los ya mencionados, por los elementos que a continuación se describen.

1.5.1. Pararrayos

Son los encargados de absorber las sobretensiones que pudieran producirse por inclemencias atmosféricas como puede ser la caída de un rayo. De esta manera evitan que sean los aisladores los elementos que reciban estas sobretensiones, ya que esto ocasionaría grandes desperfectos en el aislamiento. Deben conectarse por un extremo a la línea que se quiere proteger y por el otro a la red de tierra. Para su dimensionamiento se deberá tener en cuenta que, para que una auto-válvula comience a actuar, entre sus extremos debe superarse una tensión de referencia superior al valor nominal, por consiguiente el valor nominal de tensión debe ser igual a la tensión nominal de la línea a la que se encuentre conectado, con ello nos aseguramos que el pararrayos no drenará energía en condiciones normales de operación.

1.5.2. Transformadores de medida y protección

Su misión es la de reducir los valores nominales de tensión e intensidad para que puedan ser utilizados por aparatos de medida (voltímetros y amperímetros) y aparatos de protección (relevadores). Estos elementos cumplen una segunda función, que es la de evitar que en los elementos que vayan a ser manipulados por personas aparezcan valores elevados de tensión e intensidad.

1.5.2.1. Transformadores de corriente

En estos transformadores, la intensidad primaria y la secundaria guardan una proporción, siendo ésta igual a la relación de transformación característica del tipo transformador. Se utilizan cuando es necesario conocer la corriente de línea. En este caso se intercala entre una de las fases el bobinado primario de tal manera que éste queda conectado en serie a la fase y al secundario se conecta el aparato de medida. Constructivamente son diferentes a los de tensión.

1.5.2.2. Transformadores de potencial

Su relación de transformación está dada por los valores de tensión en bornes del arrollamiento con relación a la tensión aparecida entre los extremos del bobinado secundario. Son empleados para el acoplamiento de voltímetros, siendo su tensión primaria la propia de línea. Dependiendo de las necesidades surgidas en cada momento, pueden disponer de varios arrollamientos secundarios.

1.5.2.3. Relevadores de protección

Los relevadores son pequeños mecanismo que funcionan a baja tensión y cuya función es actuar sobre una serie de contactos cuando entre sus extremos aparece una tensión determinada, una corriente, un nivel de temperatura u otra unidad según su forma de operación.

En las estaciones y subestaciones transformadoras, se utilizan para actuar sobre interruptores de potencia, siempre que desde el equipo correspondiente llegue esa orden, la cual se produce cuando en el aparato de medida aparece un valor distinto a una serie de valores de referencia.

1.6. Transformador de potencia

Un transformador de potencia es aquel que maneja grandes magnitudes de voltio amperios VA, los cuales se expresan en kVA (kilo voltio amperios) o en MVA (mega voltio amperios).

Usualmente se considera un transformador de potencia cuando su capacidad es de un valor a partir de: 500 kVA, 750 kVA, 1 000 kVA, 1 250 kVA o 1,25 MVA, hasta potencias del orden de 500 MVA monofásicos y de 650 MVA trifásicos. Estos últimos operan en niveles de voltaje de 500 kV, 525 kV y superiores. Generalmente estos transformadores están instalados en subestaciones para la distribución de la energía eléctrica. Efectuando la tarea intermediadora entre las grandes centrales de generación y los usuarios domiciliarios o industriales; que consiste en reducir los altos niveles de voltaje con el cual es transmitida la energía a magnitudes de voltaje inferiores, que permiten derivar circuitos a los usuarios en medias o bajas tensiones.

También se da una aplicación similar, en las grandes centrales de generación, donde los transformadores de potencia elevan los niveles de voltaje de la energía generada, a magnitudes de voltaje superiores, con el objeto de transportar la energía eléctrica en las líneas de transmisión.

Otros transformadores de potencia realizan una función dedicada o cautiva, cuando alimentan un solo equipo exclusivamente. Por ejemplo, en una industria pesada, un transformador toma energía a nivel de 34 500 voltios y la transforma a 4 160 voltios para alimentar sus equipos.

1.6.1. Componentes del transformador de potencia

Básicamente está constituido por muchos componentes, los principales son los devanados, que cumplen la función principal de transformar los niveles de voltaje a valores deseados y muchos dispositivos más, que se utilizan para mantener el transformador en buenas condiciones, tales como: tanque de expansión, aceite, medidores, indicadores, sistemas de alarmas y otros.

1.6.2. *Bushing* primario

Conectan el bobinado primario del transformador con la red eléctrica de entrada a la estación o subestación transformadora.

1.6.3. *Bushing* secundario

Conectan el bobinado secundario del transformador con la red eléctrica de salida a la estación o subestación transformadora.

1.6.4. Cuba

Es un depósito que contiene el líquido refrigerante (aceite) y en el cual se sumergen los bobinados y el núcleo metálico del transformador.

1.6.5. Depósito de expansión

Sirve de cámara de expansión del aceite, ante las variaciones de volumen que sufre este debido a la temperatura de operación.

1.6.6. Indicador de nivel de aceite

Permite observar desde el exterior el nivel de aceite del transformador.

1.6.7. Relevador Buchholz

Este relevador de protección reacciona cuando ocurre una anomalía interna en el transformador, enviando una señal de apertura a los dispositivos de protección.

1.6.8. Desecador

Su misión es secar el aire que entra en el transformador como consecuencia de la disminución del nivel de aceite.

1.6.9. Termostato

Mide la temperatura interna del transformador y emite alarmas en caso de que esta no sea la normal.

1.6.10. Regulador de tensión

Permite adaptar la tensión del transformador para llevarla a las necesidades del consumo. Esta acción solo es posible si el bobinado secundario está preparado para ello.

1.6.11. Placa característica

En ella se recogen las características más importantes del transformador, para que se pueda disponer de ellas en caso fuera necesario conocerlas.

1.6.12. Grifo de llenado

Permite introducir líquido refrigerante en la cuba del transformador a través de un sistema de apertura y cerrado seguro.

1.6.13. Radiadores de refrigeración

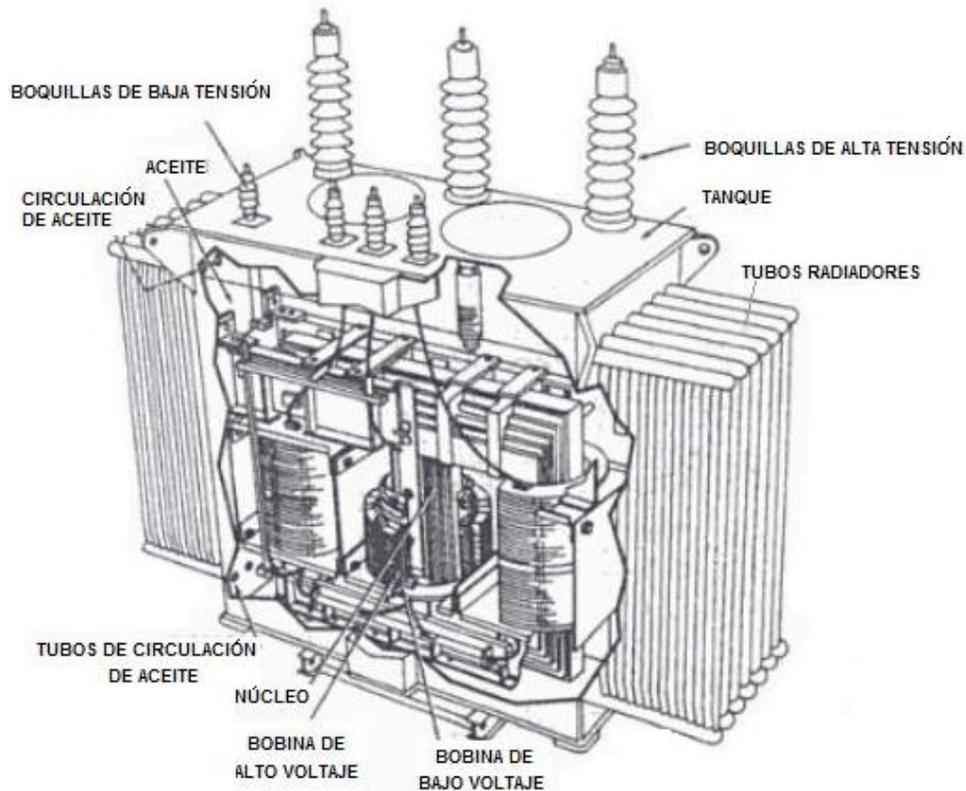
Su misión es disipar el calor que se pueda producir en las carcassas del transformador y evitar así que el aceite se caliente en exceso.

1.6.14. Cambiador de Taps

Permite un cambio de la relación de vueltas del transformador a través de una serie de arreglos en los devanados.

Algunas de las partes del un transformador de potencia se muestran en la figura 2.

Figura 2. Transformador de potencia



Fuente: TOSATADO, Mario. Estaciones y Subestaciones Transformadoras. Cap. 4. p. 22.

1.7. Tableros de medición, control y protección

Es necesario mencionarlos ya que con base a lo descrito se deben dimensionar para ubicarlos en su posición, como para un tablero principal o casetas auxiliares, según la capacidad de la subestación y a partir del edificio de tableros trazar en la planta principal las rutas de los conductores.

Los tableros de una subestación son una serie de dispositivos que tienen por objeto soportar los aparatos de control, medición y protección, bus mímico, los indicadores luminosos y las alarmas.

Los tableros pueden fabricarse con lámina de 3 mm de grueso, o bien con sistemas de plástico reforzado. Se montan sobre bases formadas por acero estructural tipo canal, que van ancladas en la base de concreto del salón de tableros.

1.7.1. Tipos de tableros

Dependiendo de la función que desarrollan y del tamaño de la subestación, se utilizan diferentes tipos de tableros, como se indica a continuación.

1.7.2. Tableros de un solo frente

Son de tipo vertical, que se utilizan en subestaciones pequeñas, aprovechando el mismo frente para montar la protección, la medición y el control. Son los de mayor uso en subestaciones. En la parte media inferior se fijan los relevadores, más abajo se fijan las cuchillas de prueba y las tablillas de conexión de los cables que llegan al tablero desde el exterior, arriba de los relevadores se montan los conmutadores y señalización, en la parte alta del tablero se montan los aparatos de medida.

La colocación de los relevadores deberá cumplir con lo siguiente:

- Todos los relevadores con bandera de alarma de operación deberán fijarse en el frente del tablero.

- Los relevadores que no tienen bandera se instalarán, de ser posible, sobrepuestos en la cara posterior del tablero.
- La colocación de los relevadores debe hacerse en tal forma, que ningún elemento interfiera la maniobra de conectar el alambrado a sus bornes.
- Se deben respetar ciertos espacios mínimos entre cajas de relevadores y se dejarán los espacios necesarios para los ductos del cableado.

1.7.3. Tablero de doble frente o dúplex

Con este nombre se designa a los tableros de tipo vertical que tienen dos frentes opuestos, con un pasillo al centro, techo y puertas en los extremos de los pasillos, se pueden utilizar en subestaciones de tamaño mediano. En estos tableros se acostumbra instalar, en el frente principal, los dispositivos de control, de medición, la señalización y el bus mímico, mientras que en la parte posterior se montan los diferentes relevadores de la protección.

1.7.4. Tableros separados para mando y protección

Se usan en subestaciones grandes y muy grandes, en donde debido a la complejidad de las protecciones, los relevadores no cabrían si se usaran los tipos anteriores de tableros.

En un tablero, fácilmente visible y accesible al operador, se instalan los elementos de control, los aparatos de medición, los indicadores luminosos, de maniobras y el bus mímico.

1.7.5. Tableros tipo mosaico

Este tipo de arreglo con elementos modulares, formados por cuadros, se utiliza en tableros de frente vertical o de tipo consola, que se instalan generalmente en subestaciones operadas a control remoto, donde los relevadores se fijan en tableros separados.

1.7.6. Tablero mímico

El bus mímico es la representación sobre el conjunto de tableros o sobre la consola, de los diagramas unifilares utilizados en las áreas de una subestación que utilizan tensiones diferentes.

Los tableros mímicos centralizan las medidas de las diferentes magnitudes eléctricas, el mando de los diferentes equipos, señalización de posiciones de los diferentes equipos y centralizador de las alarmas. Pueden incluir las protecciones.

Las diferentes medidas pueden resumirse en:

- Amperímetros
- Amperímetros máxímetros
- Voltímetros
- Watímetro
- Varmetro
- Cosenofímetro
- Frecuencímetro
- Medidor de energía activa y reactiva

Entre otras funciones están: las de señalización para la posición de seccionadores y disyuntores; mando de disyuntores (apertura y cierre); panel de alarmas y centralización de las diferentes alarmas que se presentan en la instalación.

Por ejemplo:

- Protecciones del transformador (Buchholz, sobre temperatura, nivel de aceite)
- Actuación de protecciones (Sobre corriente, diferencial, sobretensión)
- Falta de servicios auxiliares de corriente continua
- Falta de servicios auxiliares de corriente alterna

1.7.7. Detalles en tableros de control

Los cuadros de alarma, en caso de utilizarse, se instalan en la parte superior de uno de los tableros, a continuación y hacia abajo, se instalan los aparatos de medición indicadores.

Se acostumbra instalar los conmutadores dentro de una franja situada entre 80 y 160 cm de altura. El bus mímico es la representación sobre el conjunto de frentes de tableros, o sobre la consola, de los diagramas unifilares utilizados en las áreas de una subestación que utilizan tensiones diferentes.

El bus en sí es una tira de material plástico de 3 mm de grueso, por 10 mm de ancho, que se pega al tablero, formando continuidad con los conmutadores de las cuchillas e interruptores, de tal manera que un operador tenga a la vista y comprenda con facilidad las maniobras que va a efectuar.

El bus mímico se utiliza con diferentes colores de acuerdo con la tensión que controla el grupo de tableros. Los colores que más se acostumbran de acuerdo con las tensiones, son los siguientes:

kV del área	color del bus	kV del área	color de bus
6,6	verde	69	naranja
13,8	negro	85	rojo
23,0	blanco	230	amarillo
34,5	café	400	azul

1.7.8. Detalles en tableros de protección

En cuanto a las tablillas o módulos de conexión, se pueden agrupar formando columnas, con un máximo de 30 tablillas de 24 conexiones de cada una. Las columnas se fijan en posición vertical, tomando en cuenta que la tablilla inferior nunca se debe fijar a una altura menor de 10 cm del suelo. Las tablillas están formadas por material aislante de tipo termoplástico, en el cual están embebidos los bornes terminales.

Las distancias mínimas entre partes de tableros, se rigen, de la orilla del tablero a la orilla de la perforación, 4 cm. De la orilla del tablero al centro de la columna de conexión, 11,5 cm. Entre columnas de cuchillas, 16 cm. Entre columnas de tablillas de conexión, 16 cm. Entre las orillas de las perforaciones, para fijar los aparatos, 5 cm.

Para los conductores, que son los encargados de interconectar los dispositivos montados en los tableros, como recomendaciones generales para estos cableados de protección, medición y control en los tableros se indica lo siguiente:

En los tableros se acostumbra usar alambre calibre 12 AWG para las partes fijas, y cable flexible también calibre 12 para partes móviles. Para las alarmas, señales y registradores, se usa calibre 18 AWG. El forro de todos los casos es de PVC, para 90° C y 600 volts.

Se debe procurar que todo el alambrado de los tableros, entre las tablillas y los aparatos sea visible, para lo cual conviene que se utilicen conductores con forros de colores variados.

En un mismo cable de varios conductores se deben agrupar señales similares, es decir, separando los cables por funciones y así se usará un cable para corriente directa, un cable para corriente alterna, un cable para los transformadores de corriente de la protección primaria, otro para las señales de corriente de la protección de respaldo, otro para los secundarios de la protección de buses, uno más para los secundarios de la medición, cables para secundarios de los transformadores de potencial, cables para las señales de control y disparos y cables para señalización y alarmas.

De acuerdo con la lógica de operación de la protección, conviene desarrollar los diagramas de interconexión de los contactos de los relevadores, separando los circuitos de corriente directa de la protección primaria de los circuitos de respaldo, e incluyendo los relevadores auxiliares necesarios para la ejecución de las maniobras de los interruptores.

Se deben efectuar los diagramas de control manual y remoto, incluyendo los bloques, señalización y alarmas que se indiquen en la lógica de operación.

Conviene relacionar todos los diagramas en un solo plano o en planos independientes, teniendo cuidado de ser congruentes en todo lo referente a símbolos y leyendas.

El calibre del conductor que conecta los tableros a la red de tierra es por lo general número 6 AWG.

1.7.9. Habilitación de los tableros de protección, control y medición

Se habilitaron cuatro tableros de protección, control y medición para la operación del banco IV de transformación.

Siguiendo los planes operativos de ETCEE se requiere que en el sistema de control, medición y protección se integre a las instalaciones de ETCEE a través de fibra óptica y se utilice la menor cantidad posible de cable.

En caso de que los tableros no sean completamente compatibles con el sistema de control actual de la subestación Guatemala Sur, es responsabilidad de los ejecutores del proyecto velar porque se modifiquen los tableros para que los mismos se acoplen al sistema de control actual, incluyendo la modificación de planos.

El servicio debe considerar la conexión del equipo primario con los tableros de conexión, para lo cual se usarán conductores calibre 8 AWG cobre de varios hilos (no sólido) del equipo primario para la caseta y calibre 10 AWG cobre varios hilos (no sólido), dentro del armario para las corrientes y voltajes. Los demás conductores para control podrán ser calibre 14 AWG de cobre varios hilos (no sólido).

El cableado se hará únicamente del equipo primario al tablero sin cofre de zona intermedia. Sin embargo, los transformadores de potencial sí llevarán termomagnéticos, por lo que en caso de no poder colocarse en la caja de conexiones del transformador de potencial se permitirá colocar un cofre de zona lo más cercano a los transformadores de potencial.

Se requiere que se diseñen los cableados necesarios de tal forma que los interruptores permitan el disparo de las protecciones eléctricas y propias del transformador cuando este se encuentre con el conmutador en posición local y en posición remota.

La ubicación de los tableros será indicada por ETCEE-INDE.

Los tableros deben ser anclados de forma correcta al piso de la caseta que se construirá en la subestación, de tal forma que el mismo quede fijo y que en caso de movimientos sísmicos o cualquier tipo de movimiento no pueda desprenderse.

Los planos proporcionados para la habilitación de los tableros son la base para que el contratista estime el trabajo necesario a ejecutar (es responsabilidad del contratista la solicitud de los mismos), por lo que es obligación del contratista conectar todas aquellas señales que sean indicadas en los planos y aquellas que sean necesarias dentro de los requerimientos de ETCEE.

1.8. Niveles de control de la subestación

Para la operación del banco IV de la subestación Guate Sur se debe considerar la jerarquía de cuatro niveles de mando que existe, la cual es la siguiente:

- Mando Local en el equipo
- Mando Local en la caseta
- Mando Remoto en la Sala de Mando (para este caso Mímico)
- Mando Remoto vía SCADA

La arquitectura funcional de la automatización debe ser establecida tomando en cuenta estos niveles jerárquicos.

1.8.1. Nivel de equipo

Considerado como el nivel cero en la figura 3 (pág. 24), en este nivel, el comando del equipo se hace en modo local con las botoneras disponibles en los gabinetes de comando de cada equipo primario (interruptor, seccionador, transformadores). En este nivel la selección de operación en modo local o remoto se realiza con llaves selectoras propias de cada equipo.

1.8.2. Nivel de bahía

Es el mando local en la caseta considerado como el nivel uno. El equipamiento instalado en este nivel consiste en unidades de control de posición, las cuales estarán físicamente ubicadas lo más cerca posible de los equipos primarios.

En este nivel el comando de los equipos asociados a una posición se hace en modo local desde un módulo mímico que debe ser parte del equipo de control de la unidad de base de la subestación.

En este nivel la selección de operación en modo unidad de control de posición o en modo sistema, se realiza con un selector que debe ser parte de la unidad de control de posición y otras funciones.

1.8.3. Nivel de subestación

En la sala de mando este es considerado como el nivel 2. En este nivel se encuentra la unidad de control de la subestación, encargada de realizar funciones de comando, automatismo, registro de eventos, comunicaciones con el centro de operación del sistema, entre otras. Un elemento importante en este nivel es la interfaz hombre-máquina (IHM), que permite la intervención de personal especializado en diferentes modos de operación del sistema.

El control se realiza en forma local en la subestación desde la IHM, al estar el sistema digital para automatización de subestaciones en el modo subestación. Para operar desde este nivel, los selectores Local-Remoto de cada equipo deben estar en Remoto y selector UCP-SISTEMA debe estar en modo SISTEMA.

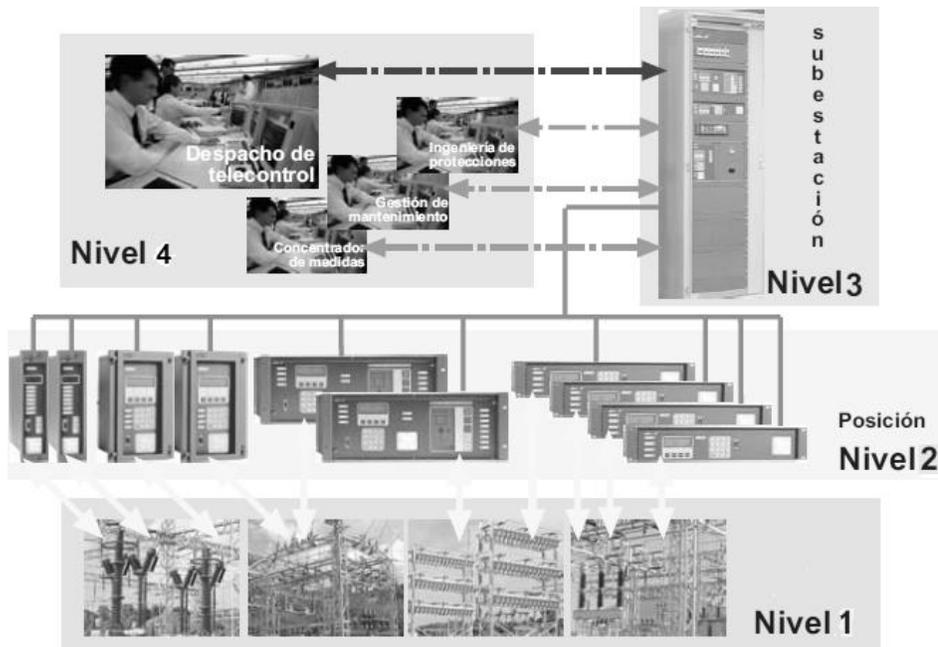
1.8.4. Nivel de SCADA del centro de operación

El control se realiza en forma remota desde el Centro de Operación del Sistema (COS del SCADA), al estar el sistema digital en el modo COS.

El sistema SCADA se profundiza en el capítulo 5 del presente trabajo.

En la siguiente página se muestra la figura 3, para visualizar y diferenciar los niveles de control en una subestación eléctrica.

Figura 3. Niveles de control en una subestación



Fuente: COBELO, Fernando. Sistema integrado de subestación. p. 3.

1.9. Requerimientos técnicos particulares de niveles de control en Guatemala Sur

Todos los niveles de operación deberán operar en las mismas condiciones, con enclavamientos con la subestación y entre los equipos de campo, se debe poder sincronizar con la misma filosofía del sistema actual de cierres sincronizados (no es suficiente solo con verificar las condiciones de cierre, el sistema debe cerrar cuando se alcancen las condiciones de sincronismo).

Solamente en mando local del interruptor se puede cerrar sin necesidad de verificar la sincronización. Sin embargo, la presencia de los elementos 86T, 50BF, 86B o seccionador de puesta a tierra sí impedirán el cierre. Para los mandos locales de los demás equipos sí debe existir un bloqueo por enclavamientos. El cierre vía SCADA deberá ser sincronizado.

Deben estar activos todos los enclavamientos relacionados con el banco de transformación e interactuando con la subestación (acoplamiento principalmente); sin embargo, los interruptores no podrán tener ningún enclavamiento o condición para abrir. Para cerrar la cuchilla de puesta a tierra, las condiciones de sincronismos y la operación de los elementos 86T, 50BF o 86B pueden impedir el cierre. En caso que el tablero opere de forma diferente debe ser adecuado a lo requerido en estos términos de referencia.

Las características del mímico deben ser similares al actual, de similar material para que se integre completamente y con conmutadores de giro y con falsa posición, no es indispensable que sean de girar y pulsar, no se aceptan botones para los mandos ni cintas adhesivas para el dibujo unifilar o en sustitución de los conmutadores. Entre la caseta y la sala de mando existen aproximadamente 265 m.

Para la operación del nivel tres de mando, es indispensable que se adicione al mímico existente en sala de mando, las figuras y conmutadores necesarios para la operación remota del transformador, en las mismas condiciones que las actuales y con material similar. Estas señales de mando y señalización del equipo del campo serán cableadas con cobre, utilizando la menor cantidad de cables, para señalar interruptor y seccionadores, utilizando el mismo cable que es necesario para la sincronización y la menor cantidad de cables (12 AWG cobre).

Además debe de aprovecharse la utilización de un común para + 125 VDC y un común para -125 VDC por lo que de requerirse se deberán colocar contactares replicadores de señales. Es responsabilidad de la empresa ejecutora del proyecto; el diseño, construcción pruebas de este control, así como suministrar planos de las conexiones.

Los conmutadores deberán ser de doble movimiento para accionamiento.

Los conmutadores deberán tener indicación de falsa posición mediante luminiscencia, de preferencia mediante emisor de luz tipo LED.

1.10. Sistemas auxiliares

Los sistemas auxiliares describen las facilidades de las instalaciones de fuerza, los cables de interconexión y el equipo de protección contra incendio que tiene la mayoría de las subestaciones, estos sistemas incluyen lo siguiente:

- El sistema auxiliar en corriente alterna (A.C) de la subestación
- El sistema de servicio en corriente directa de la subestación
- El sistema de cables de fuerza y control
- El sistema de protección contra incendio

Dentro de los elementos más importantes del sistema auxiliar están las baterías instaladas en la subestación, que tienen como función principal almacenar la energía que se utiliza en el disparo de los interruptores, por lo que deben estar en óptimas condiciones de funcionamiento.

Las baterías de 120 VCD se utilizan para energizar:

- Protecciones
- Lámparas piloto
- Registradores de eventos
- Circuito de transferencia
- Sistema contra incendio
- Osciloperturbografo
- Alarmas
- Alumbrado de emergencia
- Gabinete de equipo de onda portadora
- Control de los interruptores de alta y baja tensión

Otros elementos importantes son los rectificadores, que permiten mantener la carga de la batería al nivel de operación que se requiera. Estos elementos regulan la tensión de flotación de la batería y alimentan los dispositivos que trabajan con corriente directa.

Para cada batería se utilizan dos cargadores, uno como sustituto del otro. Los cargadores se instalan en un cuarto cercano al de baterías, para protegerlos de los gases que estas desprenden y evitar la posibilidad de una explosión

La capacidad de los cargadores debe soportar la carga de flotación a tensión constante y, al mismo tiempo, suministrar el consumo de la carga permanente.

Cuando el cargador esté suministrando la carga completa y simultáneamente aparezca un pico de carga extra, la batería suministrará la diferencia de carga.

1.10.1. Sistemas auxiliares para el Banco IV en la caseta de control

La alimentación del tablero debe ser llevada desde los servicios auxiliares de CA y CD de la sala de rectificadores siguiendo las características de alimentación de las casetas actuales. Los conductores deben ser dimensionados por la empresa que ejecute el proyecto, considerando la distancia de la sala de rectificadores hasta la nueva caseta aproximadamente de 265 metros, para contemplar la caída de tensión.

Los voltajes requeridos en la nueva caseta son: 120/240 VAC y 125 VDC.

Para el diseño de la capacidad de las barras y número de polos del tablero de corriente alterna se debe considerar:

- La carga de los ventiladores del banco de transformación y el de reserva
- La carga de la unidad de aire acondicionado de la caseta
- Iluminación interior y exterior de la caseta
- Iluminación exterior de la ampliación
- Cargas para los equipos de dos nuevos campos de salida de línea
- Carga de los interruptores de potencia 230kV y 69kV
- Seccionadores 230kV y 69kV
- Carga de los tableros de cambiador de derivación de cada transformador

Los tableros de CA y CD deberán ser para sobreponer. Los suministra el contratista y se requiere que los termomagnéticos puedan utilizarse en CA y CD.

Los termomagnéticos principales para instalarse en los tableros de CA y CD en la sala de rectificadores, deben tener las mismas especificaciones que los existentes.

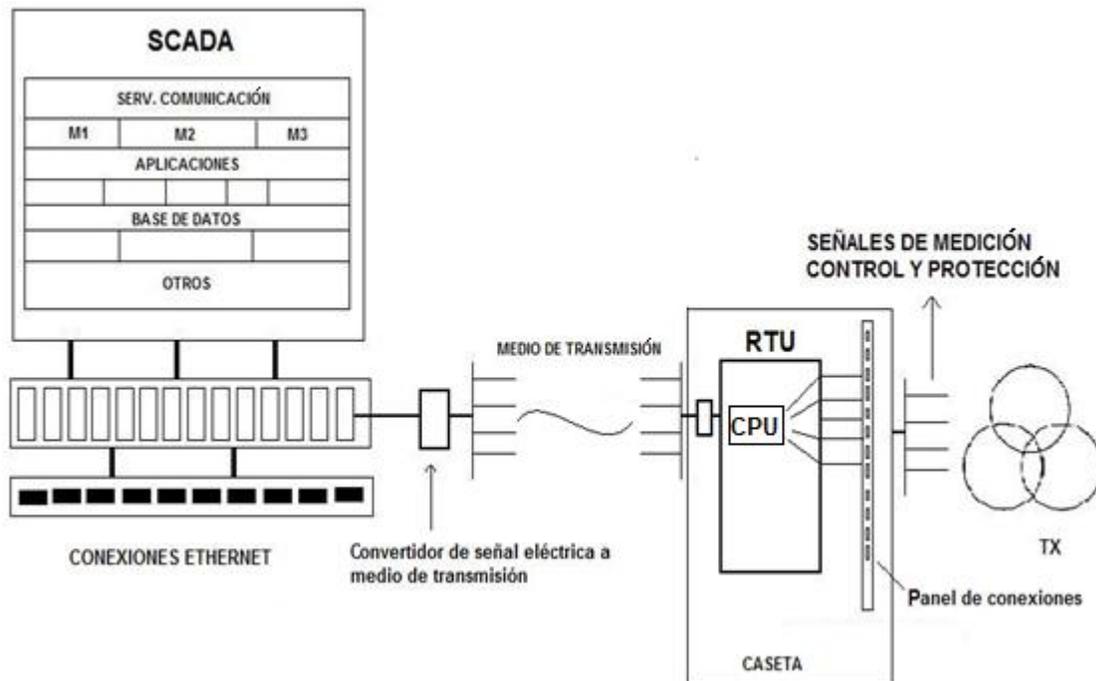
Para el diseño de la capacidad de las barras y número de polos del tablero de CD se debe considerar: cargas para los equipos de dos nuevos campos de salida de línea, carga de los interruptores de potencia 230kV y 69kV, seccionadores, señalizaciones, banco de transformación, alarmas, tableros de protección, control y medición.

2. OPERACIÓN DEL SISTEMA

2.1. Topología de conexión

El desarrollo del proyecto se basa en el esquema que se muestra en la figura 4, en la que se aprecia que las señales de los equipos en la bahía de transformación se llevan a una caseta donde se integran a través de una RTU (concepto definido en el glosario de este documento).

Figura 4. Topología de conexión



Fuente: CABALLEROS, Héctor. Jefe de SCADA (Entrevista octubre 2010).

Todas las señales desde y hacia los sistemas de control, medición y protección del transformador se concentran en los módulos de entrada y salida de la unidad terminal remota RTU (definido en el glosario), marca Telegyr.

Cuenta con una unidad central de proceso CPU, que deberá ser considerada para la capacidad del transformador y su disponibilidad de crecimiento, y ubicada en la caseta de control a construirse en el patio de transformación. Luego de ello deberán realizarse las conexiones de *transceivers* en el CPU de la RTU para transformar la señal eléctrica en una señal de fibra óptica, pasando por un conector de fibra *straight tip*, ST (el cual se define en la sección 4.6.2.1 del presente trabajo) o el que se adapte al *transceiver* para su posterior conexión a una fibra de 16 hilos, certificada y probada, que puede ser fibra monomodo si es un tramo largo o multimodo para tramos cortos. En el caso de la subestación Guate Sur se debe considerar un tramo aproximado de 265 m.

En adelante la fibra óptica en su contraparte llegará a un panel de conexiones *patch panel* para salir con un cable de conexión *patch cord* y su posterior conexión con un *transceiver* que lleve las señales de fibra óptica a señal eléctrica en protocolo IEC101 (el cual se describe en la sección 3.2.1.4 del presente documento) para la conexión a los paneles de concentración de señales y alcanzar a la unidad maestra (MTU) que está directamente conectada al sistema de Adquisición de Datos y Control Supervisor en adelante SCADA, utilizando el protocolo DNP3 (el cual se define en la sección 3.2.1.3).

En este punto será el personal correspondiente quien configure las señales para la manipulación de datos de medición, alarmas, mandos de control y protección para su visualización en el sistema SCADA el cual se define la sección 5.1 de este trabajo.

La unidad terminal remota RTU será suministrada para el telecontrol y monitoreo remoto del transformador. La recolección de datos digitales de alarmas y posiciones, se hará por medio de la terminal remota, los cuales supervisarán el estado de todas las señales disponibles en el tablero y de todas aquellas que son esenciales para la supervisión remota de la caseta como las alarmas de alimentación, fallo de comunicaciones, indicación de alarma local y otras.

Para la ejecución de mandos vía SCADA (ver sección 5.1) se requiere que estos se ejecuten en la caseta mediante la terminal remota RTU, los cuales para el caso de cierre del interruptor, deberán cumplir con las condiciones de sincronismos del sistema de sincronización actual, así como todos aquellos enclavamientos eléctricos o mecánicos del equipo.

La sincronización del nuevo transformador debe integrarse al sistema actual de la subestación Guatemala Sur, adicionando la capacidad de poder trabajar vía SCADA. Esta última condición será verificada con equipo de prueba para poder aceptarla. En caso no sea posible conectarla al sistema actual, solo se aceptará una función equivalente de sincronización, no se permite únicamente el cierre verificando el sincronismo. La operación del sistema debe permitir el cierre automático de los interruptores (que el sistema espere un tiempo prudencial para permitir el cierre luego de recibida la orden), no se permite solamente el cierre verificado.

Las alarmas deben ser programadas totalmente como parte de las señales digitales y reportadas a la terminal remota para su explotación remota, queda a discreción de la unidad encargada del sistema SCADA su despliegue en este último. Sin embargo, es importante señalar en el tablero mímico ubicado en el centro de control existente la actuación de cualquier anomalía en la caseta mediante una única alarma y así provocar la activación de algún medio auditivo actual o adicional para alerta de los operadores, esta alarma puede ser adicionada al cuadro de alarmas actual de protecciones si hay disponibilidad en el mismo.

La terminal remota instalada en la nueva caseta operará como esclava de la terminal remota principal de la subestación. La conexión se hará utilizando fibra óptica, se requiere los accesorios necesarios para su operación y configurar ambas terminales remotas para que reporten al SCADA lo requerido por la División de Control. También será requerida la programación, ajustes y pruebas para la operación completa del sistema de la totalidad de alarmas, mandos, señales analógicas y digitales en ambas terminales remotas, la existente y la que ETCEE suministrará.

2.2. Unidad terminal remota

Las unidades de terminales remotas recolectan información directamente de los sensores, medidores y equipamiento de campo. Normalmente, están localizadas cerca de los procesos monitoreados y transfieren información a los sistemas de control; están diseñadas para operar en forma segura en ambientes hostiles, protegidas de la erosión, humedad, polvo y de otros contaminantes atmosféricos. Algunas aplicaciones requieren terminales remotas redundantes que permiten la continuidad del servicio, aun cuando las unidades primarias dejen de funcionar.

Estos dispositivos admiten y procesan información análoga y digital, transmitiendo toda esta información a una Estación de Monitoreo Central. Los servicios de comunicación más comunes son Serie, Ethernet TCP/IP y módem; soportan protocolos estándares como Modbus, Modbus TCP, IEC 60870-5-101/103/104 y DNP3, y medios de transmisión tales como PSTN, GSM y Radio.

Estos servicios, medios y protocolos permiten que la información pueda ser transmitida desde una RTU a otra RTU; desde una RTU a un PLC (controlador lógico programable, del inglés *Programmable Logic Controller*) y/o SCADA; desde un PLC y/o SCADA a una RTU; desde una RTU a un operador de mantenimiento; desde un SCADA a un operador de mantenimiento; desde un operador de mantenimiento a una RTU y a un SCADA, etc.

Una característica relevante de una terminal remota debe ser su capacidad para almacenar y respaldar un alto número de eventos, sobre 50 000, con estampa de tiempo, comúnmente llamado SOE (del inglés *Sequence of Events*). Para esta sincronización, se debe considerar una conexión a GPS (Sistema Global de Posicionamiento del inglés *Global Positioning System*).

Estos dispositivos se diferencian de los Controladores Lógicos Programables (PLC) en que son más apropiados para el desarrollo de telemetría en largas distancias geográficas, generalmente a través de medios de transmisión inalámbrica (GSM del francés *Groupe Spécial Mobile*, Radio). En cambio, los controladores programables son más aptos para control de área local (plantas industriales, líneas de producción, etc.), donde el sistema utiliza medios físicos para el monitoreo.

2.2.1. Equipamiento en la terminal remota

La terminal remota deberá contar con un procesador de 32 *bits* como su unidad lógica básica o según se considere y sus respectivos módulos de alimentación de corriente directa de 125 voltios CD.

Además, los puertos de comunicación necesarios, entre ellos puertos de red 10/100 Base T(Ethernet) para la comunicación por medio de los protocolos IEC 60870-5-101, DNP, Modbus, puertos serial RS232, para las conexiones de señales, todos los protocolos configurables tanto en sus versiones de esclavo como de maestro, permitiendo un mínimo de dos conexiones para el sistema SCADA para que permita la redundancia en la transmisión de datos, además de la conexión con unidades terminales remotas y dispositivos electrónicos inteligentes IED (del inglés *Intelligent Electronic Device*).

Las funciones de administración, configuración y diagnóstico remoto de la terminal remota deberá poder realizarse por estos puertos.

Cualquiera de los puertos LAN *red* de área local, o LAN (del inglés *Local Area Network*) deberá permitir como mínimo las conexiones lógicas de simulaciones de cualquier combinación de los protocolos mencionados. Esto significa que al menos los dispositivos podrán simultáneamente adquirir o entregar datos a la terminal remota por cada conexión LAN disponible.

En cuanto a los módulos de comunicación seriales, deberán ser configurables utilizando interfaces RS232 o bien RS485, para la comunicación hacia el SCADA soportando la conexión de un conector *transceivers* para su transmisión vía fibra óptica o bien a una terminal remota esclava y con dispositivos electrónicos inteligentes, utilizando los protocolos IEC 6087-5-101, DNP3.0 o Modbus en sus versiones maestro esclavo, según corresponda.

Optativamente se puede asignar un puerto serial para la interrogación y configuración de la terminal remota, ya sea en forma local o remota.

Podría incluirse módulos de medición para recibir entradas de AC directamente desde transformadores de corriente y de potencial, obviamente se deberá incluir los módulos de entradas analógicas de CD necesarios para procesar todas las señales.

Se requiere además los módulos de salidas analógicas de CD necesarios para procesar señales de este tipo, deberán procesar señales de contadores de impulsos de energía, señales de indicación simple y señales de indicación doble.

Deberá contar con los módulos de salidas digitales necesarios para comandos dobles de control.

Un gabinete con las dimensiones que permitan el espacio suficiente para la instalación con sus borneras y debidamente alambrado.

Además, el *software* necesario para toda la terminal remota.

Los módulos de *hardware* que sean necesarios para soportar los protocolos de comunicación, controladores lógicos programables virtuales, programación y configuración.

Deberá incluirse todas las licencias de *software* necesario para la configuración y diagnóstico de las terminales remotas y sus protocolos de comunicación descritos anteriormente, la documentación para todo el *software*, componentes de *hardware* y diseño y construcción de la RTU.

2.2.2. Repuestos y equipos de prueba

Los repuestos y equipos de prueba son necesarios para las labores de mantenimiento correctivo y preventivo del equipo, cuyas cantidades se basen en índices de mantenimiento, para un período de reparación/reposición de un tiempo aceptable. También debe incluir cualquier equipo recomendado para realizar pruebas y simulación de señales a la terminal remota, incluyendo *software*, que contribuya a realizar las labores de mantenimiento. El INDE claro esta podrá reservarse el derecho de adquirir o no estos repuestos y equipos en forma total o parcial.

El diseño de las RTU debe estar fundamentado en el criterio de modularidad y todos los módulos deben estar etiquetados de manera consistente con la documentación suministrada por el proveedor, para facilitar su reconocimiento. En esta mejora las tarjetas de entradas analógicas, de salidas analógicas, de entradas digitales y de salidas digitales y los medidores de variables eléctricas RMS podrían ser cada uno de ellos módulos independientes.

Todos los módulos que componen las RTU deben estar en proceso continuo de producción y ser del modelo más reciente, garantizándose repuestos por un período mínimo de 5 años, o en su defecto el reemplazo de componentes por nuevos modelos manteniendo compatibilidad completa “hacia atrás”, garantizando que cada nuevo componente será compatible con el ofertado y tendrá la posibilidad de ser adquirido como repuesto original por un período de tiempo en años a partir de la fecha de su publicación como reemplazo.

El diseño de la RTU debe ser a prueba de fallas para prevenir que ejecuten acciones falsas de control y que transmitan datos erróneos debido a:

- Errores de los canales de comunicaciones
- Durante el encendido o apagado de la misma
- Durante la inserción o el retiro de alguno de sus módulos del estante *rack* correspondiente

La terminal remota deberá tener la capacidad de funcionar como dispositivo esclavo de dos o más SCADA o RTU, como dispositivo maestro de otras RTU para contemplar diseños futuros, esclavas o dispositivos electrónicos inteligentes (EID), además de adquirir señales por medio de módulos de entrada/salida y actuar sobre entradas o salidas analógicas o digitales reales.

La RTU debería tener la capacidad de adquirir y procesar señales analógicas y digitales por medio de módulos de entrada y de módulos de salida. Sus módulos de entrada y de salida pueden estar conectados a un bus interno de datos o a una red de datos interna como la que se está diseñando a través de fibra óptica.

La terminal remota debe funcionar bajo el principio de dispositivo maestro, capaz de integrar la información recibida desde otras terminales remotas y/o desde dispositivos electrónicos inteligentes, conectados por varias interfaces seriales RS232 configurables, así como por conexiones lógicas por medio de redes de área local. Para desempeñar esta función de dispositivo maestro, la terminal remota deberá soportar los siguientes protocolos como mínimo: IEC 60870-5-101 (TCP/IP), DNP3.0 serial, DNP3.0 sobre TCP/IP, IEC 61850 (TCP/IP), Modbus RTU (serial) y Modbus sobre TCP/IP. Es deseable, pero no obligatorio, el soporte de protocolos profibus, devicenet y Modbus ascii, en forma nativa o por ampliación del *software (firmware)* del procesador central de la terminal remota y por módulos de *hardware* cuando sea necesario.

El proveedor debe entregar una herramienta de configuración para definir los protocolos que serán usados en cada puerto serie, así como los protocolos simultáneos que serán accesibles por los enlaces de red de área local LAN. Además, esa herramienta debe permitir la configuración de las señales de entrada/salida para cada protocolo de comunicación, sin importar que sean adquiridas por medio de dispositivos esclavos o por medio de módulos de entrada/salida de la terminal remota.

La herramienta de configuración debe ser *software* especializado que se ejecute en una computadora personal separada, en el cual se ingresan los parámetros de configuración. No sería aceptable unidades terminales remotas donde la configuración requiere de la edición, compilación y/o inserción del código fuente del programa embebido en la terminal remota o se realice por modificación de código fuente en lenguajes IEC-61131-3, o lenguajes de alto nivel como pascal, java o c/c++.

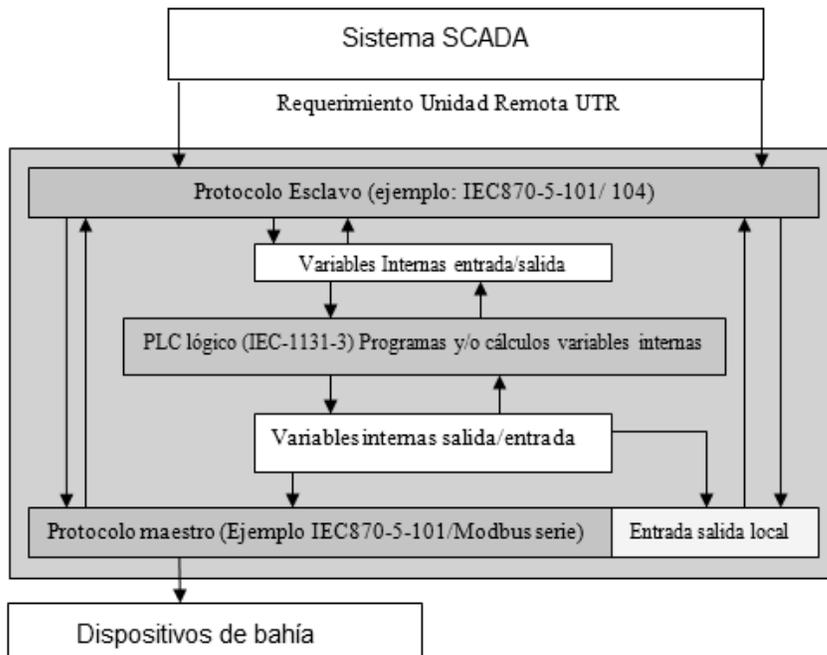
Los componentes eléctricos y electrónicos de la terminal remota deberá satisfacer los requisitos de protección, aislamiento e inmunidad a la interferencia electromagnética, radiación de disturbios y descarga electrostática que establecen las normas IEC 60255-5 o ANSI/IEEE 37.90, IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-3, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-6, IEC 61000-4-8, IEC 61000-4-12, o normativas equivalentes sobre estos temas que estén homologadas por el INDE.

La terminal remota se debe construir con materiales que no sean susceptibles al crecimiento de hongos y a la corrosión. Las superficies metálicas que no sean de acero inoxidable o que no estén galvanizadas, deben estar protegidas contra la corrosión utilizando pintura anticorrosiva.

Además deberá cumplir un período de garantía que iniciará una vez que se emita la aceptación final y será válida por un período que definan las partes.

La unidad remota internamente deberá permitir las configuraciones ilustradas en la figura número 5, ubicada en la siguiente página.

Figura 5. **Arquitectura interna de la RTU**



Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad. Unidades terminales remotas. p. 20.

2.2.3. Especificaciones técnicas

La terminal remota debe cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

- Módulos de procesamiento, utilizando como mínimo un procesador de 32 *bits* como su unidad lógica.
- Módulos de entrada y módulos de salida. Un módulo de entrada o un módulo de salida es una unidad modular independiente y procesa únicamente un tipo de señales ya sea analógicas o digitales.

- Debe existir forma de señalar remotamente la falta de alimentación de energía eléctrica en la nueva caseta.
- Dos módulos independientes de fuente de alimentación con un voltaje de entrada de 125 VCD a manera de redundancia.
- Adicionalmente puede contar con módulos de comunicaciones independientes o estos pueden estar integrados en el módulo de procesamiento.

La terminal remota podría tener módulos de procesamiento y módulos de alimentación para contar con redundancia. En ambos casos un módulo podría realizar normalmente la función principal y el otro se mantendría realizando la función de respaldo en línea. Cuando fallara el módulo que realiza la función principal, el módulo de respaldo automáticamente pasará a desempeñar dicha función, hasta que el módulo afectado sea restablecido. Se aceptaría que los módulos compartan la carga, siempre y cuando uno solo de ellos tenga la capacidad para realizar individualmente la función completa en caso de fallas del otro módulo, esto incluye también al procesador con la función PLC virtual (concepto definido en el glosario de este documento).

Sería positivo que se tuviera redundancia con las fuentes de alimentación y que ambas tuvieran la capacidad para soportar la máxima expansión de la terminal remota y su ámbito de voltaje, para la operación normal será de hasta un más menos porcentual del valor nominal.

2.2.4. Operación de la unidad terminal remota

En cuanto a la función del procesador o los procesadores centrales, que cubren el procesamiento del controlador lógico programable virtual, la descripción de operación es la siguiente:

En el caso de que el procesador central realice todas las funciones, este deberá ser capaz de realizar la administración de la terminal remota. En el caso que se utilicen dos procesadores, la carga de procesamiento y del controlador lógico programable (PLC), podrá estar distribuida entre ambos procesadores, permitiéndose que ambos realicen las dos tareas, considerando que la redundancia requiere un segundo par de procesadores en modo de espera (*stand by*).

Será posible configurar únicamente la parte de la unidad terminal remota para establecer un modelo entrada- salida que depende únicamente de las características de los protocolos de comunicación implicados y que no requerirá la participación directa de las funciones del control lógico programable.

De esta manera será posible establecer una conexión a una terminal remota maestra MT (del inglés *Master Terminal Unit*) y con una o más RTU y dispositivos esclavos, únicamente mediante la configuración específica de los protocolos participantes en sus respectivos puertos.

La unidad terminal remota deberá tener la capacidad necesaria de programación para el controlador lógico programable y la suficiente memoria para ejecutar programas que permitan redirigir comandos de control provenientes de un sistema SCADA, hacia salidas locales o hacia cualquiera de los puertos de salida de otras RTU que se adapten como esclavas en el futuro, con que se comunicaría y/o hacia otros dispositivos esclavos, así como para modificar los formatos de datos para establecer la compatibilidad e interoperabilidad de los protocolos.

La RTU tendrá la capacidad de adquirir señales de entradas analógicas y digitales. También tendrá la capacidad de proporcionar señales de salidas analógicas y digitales. Estos tipos de señales pueden ser adquiridas directamente desde módulos de entrada y módulos de salida locales a la RTU, también desde otras RTU que operen como esclavas y desde dispositivos electrónicos inteligentes (que operen como esclavos de la RTU).

La RTU tendrá la capacidad de adquirir señales binarias de 2, 4, 6 y 8 décadas en formato código binario decimal (BCD del inglés *Binary Coded Decimal*) por medio de entradas digitales y transmitir las hacia el sistema maestro con formato BCD, de medición analógica o el que especifique el personal del INDE, en concordancia con las posibilidades de los protocolos de comunicación y su interoperabilidad. La unidad de transmisión remota tendrá la capacidad de reportar los valores de las entradas analógicas al sistema maestro (SCADA) por excepción. Cuando reciban una interrogación (*polling*), los equipos incluidos reportarán todos los valores analógicos que hayan cambiado violando los límites de una banda muerta programable, a partir del último valor que fue exitosamente reportado al sistema maestro. La banda muerta se especificará para cada punto individualmente y utilizando el *software* de configuración.

La RTU deberá tener la capacidad de reportar los valores de las entradas digitales al sistema maestro (SCADA). Cuando reciban una interrogación (*polling*), la RTU reportará solamente los valores de las entradas digitales que hayan cambiado desde la interrogación anterior, esto en el caso que sea la forma deseada por los sistemas ya presentes en la subestación.

La RTU deberá tener la capacidad de reportar todas las señales configuradas (analógicas y digitales) cuando reciban un comando de interrogación general desde el sistema maestro (SCADA), o cuando se recupere la comunicación con el sistema maestro, luego de una interrupción si en algún momento se perdiera.

La RTU dispondrá de capacidad para transmitir las señales con los códigos de calidad correspondientes, de acuerdo con lo establecido en cada protocolo de comunicación.

La RTU contará con la capacidad de procesar y emitir las señales de salida para la ejecución de los comandos de control iniciados por el sistema maestro (SCADA). Todas las operaciones de control remoto deberán seguir el procedimiento de seleccionar y verificar antes de operar. Además la selección del comando será cancelada automáticamente siguiendo la finalización de la acción de control por *timeout* cuando aplique y será requerida una nueva selección del comando para cada acción de control subsecuente. Todo lo anterior tiene como excepción las salidas de control del tipo subir/bajar. En estas acciones el punto de control se mantendrá seleccionado por un período ajustable, de manera que no se requerirá una nueva selección para las acciones subsecuentes de control. El temporizador de recibo de comando debe ser ajustable entre 1 y 60 segundos.

La memoria (*buffer*) para el almacenamiento de eventos deberá soportar el almacenamiento y transmisión de como mínimo de 400 eventos (cambios de datos).

2.2.5. Software de la unidad terminal remota

El término *software* que es utilizado en este trabajo debe entenderse como todo el desarrollo de programas ejecutables utilizados para el funcionamiento, configuración y diagnóstico de la unidad terminal remota, incluyendo la implementación de *software* propio de la RTU por medio de microinstrucciones (*firmware*). Se deberá suministrar la documentación completa y comprensiva para todo el *software* que sea utilizado para configurar y gestionar la RTU y para la programación de las funciones de PLC virtual.

Se deberá tener todo el *software* que sea necesario para la configuración, parametrización y depuración de las funciones nativas de la RTU, el cual se debe utilizar para desarrollar los diferentes proyectos de aplicación de la RTU en el campo y debe contemplar la configuración de todos los protocolos de comunicación solicitados. En este, se debe poder definir el *hardware*, sus entradas y salidas, los protocolos por puerto de comunicación y el detalle de la relación entrada-salida contra cada protocolo. Todo esto sin necesidad de programación del módulo PLC virtual.

Todos los formatos de programación deben tener la capacidad de manipular tanto los datos, como sus códigos de calidad. Las entradas y salidas de estos módulos, serán compartidas con las de otros módulos de la RTU. Para cada protocolo de comunicación soportado en la RTU, se deberán aportar las librerías de acceso a los diferentes mensajes y formatos de datos, así como la posibilidad de descomponer cada formato en representaciones más sencillas, capaces de ser manipuladas por segmentos de programa. Por ejemplo se deben manipular comandos de regulación IEC 60870-5-101 tanto como elementos de regulación, así como sus sub-partes de manera que dicho comando pueda ser analizado y subejecutado localmente o en una RTU esclava.

Se deberá tener todo el *software* e interfaces necesarios para la actualización de los programas internos (*firmware*) requeridos por cualquiera de los módulos instalados en todas las RTU entregadas, con soporte de actualizaciones durante el periodo de garantía. El *firmware* de la RTU puede ser almacenado en una tarjeta de memoria del tipo *flash* preferiblemente removible, para facilitar su actualización y corrección, por personal técnico de mantenimiento del INDE.

El *firmware* de la RTU puede realizar rearranques automáticos de la RTU, luego de una restauración de la tensión de alimentación, errores de paridad de memoria, fallas de *hardware* y por instrucciones ejecutadas por los encargados de mantenimiento (solicitud manual). Se deberá inicializar la RTU y comenzar la ejecución de las funciones de la RTU sin necesidad de intervención del centro de control de energía. Todos los rearranques serán reportados al sistema maestro.

Es necesario que el *software* de la RTU permita que las siguientes funciones sean realizadas remotamente por medio de una red LAN o WAN propiedad del INDE:

- Mantenimiento del *software* y de base de datos de la RTU
- Diagnóstico de la unidad terminal remota
- Configuración de los parámetros de la unidad terminal remota y de las funciones lógicas programables

El *software* de la RTU deberá también soportar una interfaz hombre-máquina de fácil manejo, que permita a un operador autorizado ejecutar la función de mantenimiento de la RTU. El *software* puede incluir una ventana de ayuda interactiva de acuerdo al contexto de trabajo, que muestre la información relevante relacionada. El sistema operativo sobre el que se ejecutará el *software* de configuración y diagnóstico puede ser de la familia *Windows* (compatible con *Windows xp* profesional como mínimo, *Windows server 2003*), o la plataforma de sistema operativo que especifique el INDE.

3. TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

3.1. Conceptos generales

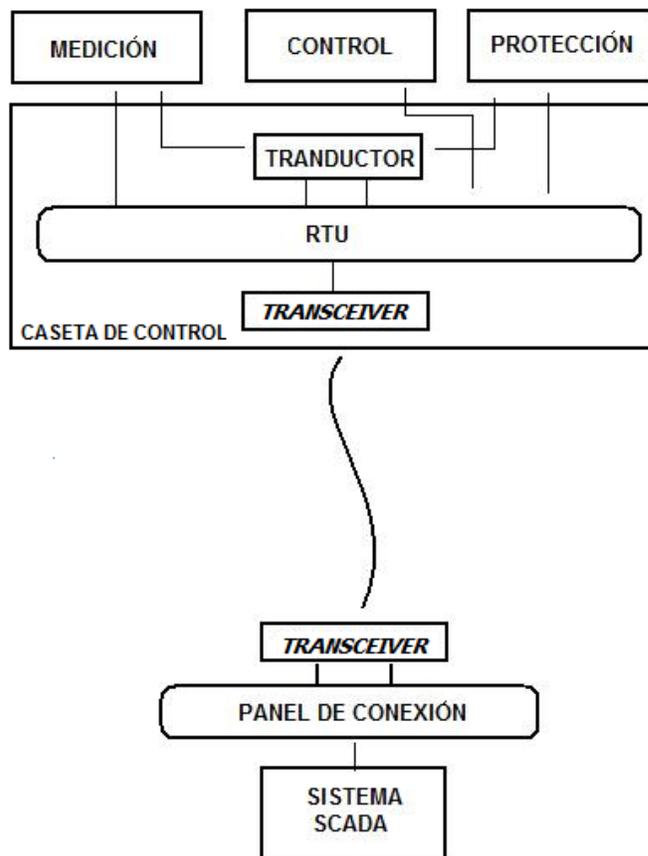
En las subestaciones eléctricas el monitoreo y la administración de los equipos se da a través de los protocolos de comunicación y los equipos de automatización destinados para este fin. Esto involucra la gestión de equipos de medición, protección y otros, por lo que toma importancia el papel que juega la comunicación entre estos dispositivos y sus características eléctricas considerando que en las subestaciones los niveles de energía son elevados. La fibra óptica cobra mayor importancia por su inmunidad a los efectos eléctricos que se derivan de los altos niveles de voltaje que se manejan en estos sitios, permitiendo así la transmisión de datos en forma segura y convirtiéndose actualmente en la tecnología más aplicada en los sistemas de gestión y monitoreo por las ventajas que presenta ante las otras tecnologías.

3.2. Arquitectura del sistema de automatización

Como en todo caso la comunicación implica el envío de un mensaje de un emisor hacia un receptor, en el caso de las subestaciones eléctricas, hablamos de equipos que están operando en tiempo real y que envían datos hacia una estación central, como un tablero de control, en donde se puede monitorear y en función del equipo, enviar instrucciones para su operación. En este proceso se hace uso de los protocolos de comunicación y los IHM, que nos ayudan a visualizar los mensajes transmitidos por los equipos.

En una subestación eléctrica la automatización necesaria para administrar equipos inicia desde el ingreso de datos a nivel de dispositivos, que pueden ser equipos de medición y/o control, luego puede pasar a un proceso alternativo en la que la automatización permita una respuesta hacia los datos generados, o bien llegar hasta una sala de mandos donde un operador tome las decisiones que considera adecuadas. El proceso en la automatización del banco IV de transformación sería como lo muestra la figura 6.

Figura 6. **Arquitectura del sistema de automatización**



Fuente: CABALLEROS, Héctor. Jefe de SCADA Entrevista (octubre 2010).

Las señales analógicas deben ser tomadas del multimedidor del tablero e integrada a la RTU en protocolo DNP 3.0.

Dentro del contexto a considerar en el transporte de datos se encuentra la atenuación de la señal que es producto de las características implícitas en el material utilizado como canal de transmisión y que generan pérdida en el nivel de energía a una tasa directamente proporcional a la distancia de transmisión, esto evidentemente tiene repercusiones cuando los datos deben ser emitidos desde puntos muy distantes.

Otra característica es el ruido, que es producto de las señales radioeléctricas de diversa procedencia que el medio de información capta. Todo esto es relativo a la transmisión de información vía cobre. En cuanto a la fibra óptica, que se expone más adelante, se tiene inmunidad a este tipo fenómenos.

Para el sistema de automatización también se deben considerar características que permitan la versatilidad de operación del sistema autómatas, dentro de estas se pueden mencionar la interoperabilidad. En cuanto a la comunicación, el sistema debe tener la posibilidad de conectar equipos de diferentes fabricantes sin comprometer su desempeño global y sin la necesidad de desarrollos de *software*, debe tener flexibilidad y disponibilidad, garantizando flexibilidad en la instalación del sistema, el mantenimiento deberá realizarse sin necesidad de desactivar el sistema.

En caso de avería, el funcionamiento de la red de comunicación no debe ser afectado, debiendo esta situación ser automáticamente señalizada y solventada por un sistema de redundancia.

De igual modo una avería en la red de comunicación no debe condicionar el funcionamiento de los distintos dispositivos que integran el conjunto de emisores y receptores de señales, debiendo estos continuar funcionando de forma autónoma.

La posibilidad de expansión debe considerarse para la adición de nuevos módulos de *hardware*, que además no debe implicar la substitución de *software* de comunicación, debiendo esta operación originar solamente la incorporación de un punto de adquisición de datos o en su momento una dirección IP, si lo requiere, con el sistema en línea.

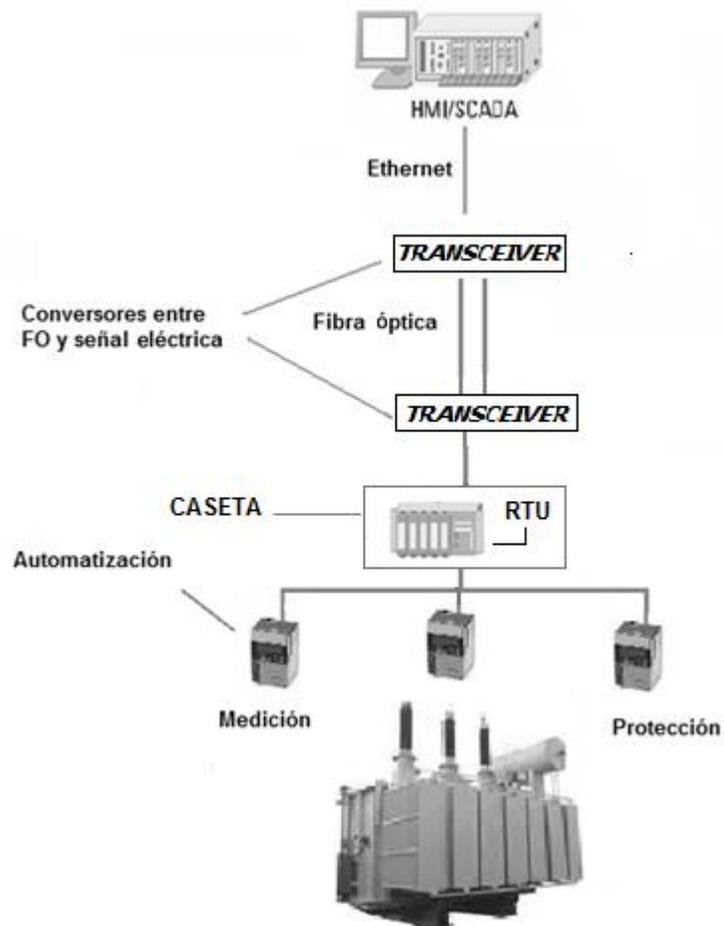
En cuanto a la seguridad debe garantizar a través de sus características en todos los niveles de la subestación una alta confiabilidad, y principalmente debe ser tolerante a fallas, detección de señales de errores en la capa física, mecanismos para verificación de la integridad de la información, prontitud, refresco, consistencia de los datos en el tiempo y sin error en el destino de los mismos. Además, confiabilidad en las transferencias de información y señales de mando y un monitoreo continuo de los errores y de los niveles de desempeño.

El medio de transmisión, en este caso la instalación de la fibra óptica deberá presentar las siguientes características:

- Inmunidad a interferencias electromagnéticas, punto solventado gracias a la inmunidad de la fibra óptica a estos fenómenos
- Robustez, garantizándola a través de un sistema confiable y redundante
- Resistencia mecánica y térmica
- Protección contra la humedad

En cuanto al esquema de red, el cual se ilustra en la figura 7, muestra una RTU la cual será de marca Telegyr, que concentra los sistemas de medición control y protección, luego los transmitirá vía fibra óptica, convirtiendo la señal eléctrica a través de un *transceiver*, que conecta con las fibras de 50µm y luego una conexión al sistema SCADA.

Figura 7. Topología de red



Fuente: National Instrument.

3.2.1. Protocolos de comunicación en subestaciones eléctricas

Actualmente se tienen varios protocolos de comunicación en subestaciones eléctricas o para sistemas de control de facilidades eléctricas, estos son: IEC 61850, el cual integra equipos que están obsoletos y es el protocolo más nuevo; el DNP 3.0 y otros que mencionaremos más adelante. Además, se encuentran dentro de la disciplina de electricidad, protocolos específicos como equipos en Modbus RTU, este es un protocolo enfocado solo a áreas de proceso y no para el fin de subestaciones.

3.2.1.1. Protocolos de comunicación Modbus

El protocolo Modbus es empleado principalmente para procesos industriales. Aunque es utilizado en subestaciones no es muy recomendable su uso debido a que es un protocolo que no incorpora la estampa de tiempo en la trama de los mensajes. En este caso el SCADA asigna dicha estampa de tiempo; sin embargo, no es muy precisa porque depende de la velocidad de transmisión del medio.

Modbus/TCP es un protocolo de comunicación diseñado para permitir a equipo industrial tal como Controladores Lógicos Programables (PLC), computadores, motores, sensores, y otros tipos de dispositivos de entrada/salida, para comunicarse sobre una red. Modbus/TCP fue introducido por *Schneider Automation* como una variante de la familia Modbus ampliamente usada, los protocolos de comunicaciones simples y abiertas, destinadas para la supervisión y el control de equipo de automatización. Específicamente, el protocolo cubre el uso de mensajes Modbus en un entorno *intranet* o *internet* usando los protocolos TCP/IP8.

La especificación Modbus/TCP define un estándar interoperable en el campo de la automatización industrial, el cual es simple de implementar para cualquier dispositivo que soporta conectores TCP/IP.

Modbus es un protocolo de comunicación sin estado, es decir, cada solicitud del maestro es tratada independientemente por el esclavo y es considerada una nueva solicitud no relacionada a las anteriores. De esta forma se originan las transacciones de datos altamente resistentes a rupturas debido a ruido y además requiriendo mínima información de recuperación para ser mantenida la transacción en cualquiera de los dos terminales.

Las operaciones de programación del otro lado, esperan una comunicación orientada a la conexión, es decir, las máquinas de origen y de destino establecen un canal de comunicaciones antes de transferir datos. Este tipo de operaciones son implementadas de diferentes maneras por las diversas variantes de Modbus (Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus PLUS).

Todas las solicitudes y respuestas Modbus están diseñadas en tal forma que el receptor puede verificar que un mensaje está completo. Para códigos de función donde la solicitud y respuesta son una longitud fija, el código de función solo es suficiente. Para códigos de función llevando una cantidad variable de datos en la solicitud o respuesta, la porción de datos estará precedida por un campo que representa el número de *bytes* que siguen.

Cuando Modbus es llevado sobre TCP, información de longitud se adiciona en el prefijo (o encabezado) para permitir al receptor reconocer los límites del mensaje, igual si el mensaje ha sido dividido en múltiples paquetes para la transmisión. La existencia de reglas de longitud implícita o explícita, y el uso de un código de chequeo de error CRC-3213 (sobre Ethernet) resulta en una probabilidad muy pequeña de corrupción no detectada sobre un mensaje de solicitud o respuesta.

Algunas de las ventajas del protocolo Modbus son:

- Es escalable en complejidad. Un dispositivo el cual tiene solo un propósito simple necesita solo implementar uno o dos tipos de mensajes.
- Es simple para administrar y expandir. No se requiere usar herramientas de configuración compleja cuando se añade una nueva estación a una red Modbus/TCP.
- No es necesario equipo o *software* propietario de algún vendedor. Cualquier sistema computador o microprocesador con una pila de protocolos TCP/IP puede usar Modbus /TCP.
- Puede ser usado para comunicar con una gran base instalada de dispositivos Modbus, usando productos de conversión los cuales no requieren configuración.

- Es de muy alto desempeño, limitado típicamente por la capacidad del sistema operativo del computador para comunicarse. Altas tasas de transmisión son fáciles de lograr sobre una estación única, y cualquier red puede ser construida para lograr tiempos de respuesta garantizados en el rango de los milisegundos.

Dentro de la estructura de este protocolo podemos describir que la forma general de encapsulación de una solicitud o respuesta Modbus cuando es llevada sobre una red Modbus/TCP. Es importante anotar que la estructura del cuerpo de la solicitud y respuesta, desde el código de función hasta el fin de la porción de datos, tiene exactamente la misma disposición y significado como en las otras variantes Modbus, tal como:

Modbus serial codificación ASCII

Modbus serial codificación RTU

Modbus *plus*

Todas las solicitudes son enviadas vía TCP sobre el puerto registrado 502. Las solicitudes normalmente son enviadas en forma *half duplex* sobre una conexión dada. Es decir, no hay beneficio en enviar solicitudes adicionales sobre una única conexión mientras una respuesta está pendiente. Sin embargo, los dispositivos que desean obtener altas tasas de transferencia pueden establecer múltiples conexiones TCP al mismo destino.

El campo dirección esclavo de Modbus es reemplazado por un *byte* identificador de unidad el cual puede ser usado para comunicar a través de dispositivos tales como puentes y *gateway*, los cuales usan una dirección IP única para soportar múltiples unidades terminales independientes.

Los mensajes de solicitud y respuesta en Modbus/TCP poseen un prefijo o encabezado compuesto por seis *bytes* como se aprecia en la tabla I.

Tabla I. **Estructura del prefijo de Modbus/TCP**

ref	ref	00	00	00	len
-----	-----	----	----	----	-----

Fuente: RUÍZ OLAYA, Andrés Felipe. Implementación de una red Modbus/TCP. p. 15.

El *ref* representa los dos *bytes* del campo referencia de transacción, un número que no tiene valor en el servidor pero son copiados literalmente desde la solicitud a la respuesta a conveniencia del cliente. Este campo se utiliza para que un cliente Modbus/TCP pueda establecer simultáneamente múltiples conexiones con diferentes servidores y pueda identificar cada una de las transacciones.

El tercer y cuarto campo del prefijo representa el identificador de protocolo, un número el cual debe ser establecido a cero.

El *len* especifica el número de *bytes* que siguen. La longitud es una cantidad de dos *bytes*, pero el *byte* alto se establece a cero ya que los mensajes son más pequeños que 256.

De esta forma, un mensaje Modbus/TCP completo posee una estructura como se muestra en la tabla II.

Tabla II. Estructura de mensajes en Modbus/TCP

Posición del <i>byte</i>	Significado
<i>Byte 0</i>	Identificador de transacción. Copiado por el servidor normalmente 0
<i>Byte 1</i>	Identificador de transacción. Copiado por el servidor normalmente 0.
<i>Byte 2</i>	Identificador de protocolo = 0
<i>Byte 3</i>	Identificador de protocolo = 0
<i>Byte 4</i>	Campo de longitud (<i>byte</i> alto) = 0. Ya que los mensajes son menores a 256.
<i>Byte 5</i>	Campo de longitud (<i>byte</i> bajo), número de <i>bytes</i> siguientes.
<i>Byte 6</i>	Indicador de unidad (previamente dirección esclavo).
<i>Byte 7</i>	Código de función Modbus.
<i>Byte 8 y más</i>	Los datos necesarios.

Fuente: RUÍZ OLAYA, Andrés Felipe. Implementación de una red Modbus/TCP. p. 16.

No existe una especificación precisa acerca del tiempo de respuesta requerida para una transacción sobre Modbus o Modbus/TCP.

Esto es debido a que se espera que Modbus/TCP sea usado en la más amplia variedad posible de situaciones de comunicación, desde sistemas I/O esperando temporización en milisegundos, a enlaces de radio de larga distancia con retardos de varios segundos.

En general, los dispositivos tales como PLC responderán a solicitudes ingresantes en un tiempo *scan*, el cual típicamente varía entre 20 y 200 msg.

Desde la perspectiva del cliente, ese tiempo de respuesta debe ser extendido por los retardos de transporte a través de la red, a un tiempo de respuesta razonable.

Tales retardos pueden ser de milisegundos para un Ethernet conmutado, a cientos de milisegundos para una conexión de red de área amplia (WAN).

3.2.1.2. Protocolo de comunicación RS232

El puerto serie RS-232C, presente en algunas computadoras, es la forma más comúnmente usada para realizar transmisiones de datos. El RS-232C es un estándar que constituye la tercera revisión de la antigua norma RS-232, propuesta por la EIA (Asociación de Industrias Electrónicas), realizándose posteriormente un versión internacional por el CCITT, conocida como V.24. Las diferencias entre ambas son mínimas, por lo que a veces se habla indistintamente de V.24 y de RS-232C (incluso sin el sufijo "C"), refiriéndose siempre al mismo estándar.

El puerto serie RS-232C consiste en un conector tipo DB-25 de 25 pines, aunque es normal encontrar la versión de 9 pines DB-9, más barato e incluso más extendido para cierto tipo de periféricos (como el ratón).

En cualquier caso, las computadoras no suelen emplear más de 9 pines en el conector DB-25. Las señales con las que trabaja este puerto serie son digitales, de +12V (0 lógico) y -12V (1 lógico), para la entrada y salida de datos, y a la inversa en las señales de control. El estado de reposo en la entrada y salida de datos es -12V. Dependiendo de la velocidad de transmisión empleada, es posible tener cables de hasta 15 metros.

Cada pin puede ser de entrada o de salida, teniendo una función específica cada uno de ellos. Las más importantes son:

Pin/ Función

TXD	(Transmitir datos)
RXD	(Recibir datos)
DTR	(Terminal de datos listo)
DSR	(Equipo de datos listo)
RTS	(Solicitud de envío)
CTS	(Libre para envío)
DCD	(Detección de portadora)

En la siguiente página, la tabla III resume que las señales TXD, DTR y RTS son de salida, mientras que RXD, DSR, CTS y DCD son de entrada. La masa de referencia para todas las señales es SG (Tierra de señal). Finalmente, existen otras señales como RI (Indicador de llamada), y otras poco comunes que no se explican en este capítulo por rebasar el alcance del mismo. En la figura 8, se muestra la constitución física de una interface serial DB9.

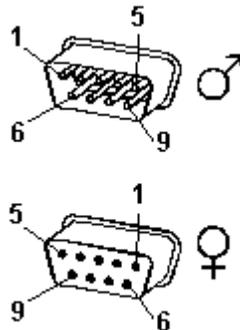
Tabla III. Entradas y salidas de interface DB-9 y DB-25

Número	de Pin	Señal	Descripción	E/S
En DB-25	En DB-9			
1	1	-	Masa chasis	-
2	3	TxD	Transmit Data	S
3	2	RxD	Receive Data	E
4	7	RTS	Request To Send	S
5	8	CTS	Clear To Send	E
6	6	DSR	Data Set Ready	E
7	5	SG	Signal Ground	-
8	1	CD/DCD	(Data) Carrier Detect	E
15	-	TxC(*)	Transmit Clock	S
17	-	RxC(*)	Receive Clock	E
20	4	DTR	Data Terminal Ready	S
22	9	RI	Ring Indicator	E
24	-	RTxC(*)	Transmit/Receive Clock	S

(*) = Normalmente no conectados en el DB-25

Fuente: Ronald Mijaíl Dueñas. El estándar RS232 y V24.

Figura 8. Conector DB9



Fuente: Ingrid Campos. <http://cableserialmth.blogspot.com/> [ref. febrero 2010]

El ordenador controla el puerto serie mediante un circuito integrado específico, llamado UART (del inglés Transmisor-Receptor-Asíncrono Universal). Normalmente se utilizan los siguientes modelos de este chip: 8250 (bastante antiguo, con fallos, solo llega a 9 600 baudios), 16450 (versión corregida del 8250, llega hasta 115 200 baudios) y 16550A (con *buffers* de E/S). A partir de la gama Pentium, la circuitería UART de las placas base son todas de alta velocidad, es decir UART 16550A. De hecho, la mayoría de los módems conectables a puerto serial necesitan dicho tipo de UART, incluso algunos juegos para jugar en red a través del puerto serial necesitan de este tipo de puerto serial. Por eso hay veces que un 486 no se comunica con la suficiente velocidad con un PC Pentium.

Para controlar al puerto serial, la CPU emplea direcciones de puertos de E/S y líneas de interrupción. En el AT-286 se eligieron las direcciones 3F8h (o 0x3f8) e IRQ 4 para el COM1, y 2F8h e IRQ 3 para el COM2. El estándar de la computadora llega hasta aquí, por lo que al añadir posteriormente otros puertos serie, se eligieron las direcciones 3E8 y 2E8 para COM3-COM4, pero las IRQ no están especificadas. Cada usuario debe elegir las de acuerdo a las que tenga libres o el uso que vaya a hacer de los puertos serie (por ejemplo, no importa compartir una misma IRQ en 2 puertos siempre que no se usen conjuntamente, ya que en caso contrario puede haber problemas). Es por ello que últimamente, con el auge de las comunicaciones, los fabricantes de PC incluyan un puerto especial PS/2 para el ratón, dejando así libre un puerto serial.

Mediante los puertos de entrada y salida se pueden intercambiar datos, mientras que las IRQ producen una interrupción para indicar a la CPU que ha ocurrido un evento (por ejemplo, que ha llegado un dato, o que ha cambiado el estado de algunas señales de entrada).

La CPU (del inglés *central processing unit*) debe responder a estas interrupciones lo más rápido posible, para que dé tiempo a recoger el dato antes de que el siguiente lo sobrescriba. Sin embargo, las UART 16550A incluyen unos *buffers* de tipo FIFO, dos de 16 *bytes* (para recepción y transmisión), donde se pueden guardar varios datos antes de que la CPU los recoja. Esto también disminuye el número de interrupciones por segundo generadas por el puerto serial.

El RS-232 puede transmitir los datos en grupos de 5, 6, 7 u 8 *bits*, a unas velocidades determinadas (normalmente, 9 600 *bits* por segundo o más). Después de la transmisión de los datos, le sigue un *bit* opcional de paridad (indica si el número de *bits* transmitidos es par o impar, para detectar fallos), y después 1 ó 2 *bits* de *Stop*. Normalmente, el protocolo utilizado es 8N1 (que significa, 8 *bits* de datos, sin paridad y con 1 *bit* de *Stop*).

Una vez que ha comenzado la transmisión de un dato, los *bits* tienen que llegar uno detrás de otro a una velocidad constante y en determinados instantes de tiempo. Por eso se dice que el puerto RS-232 es asíncrono por carácter y síncrono por *bit*. Los pines que portan los datos son RXD y TXD. Los demás pines se encargan de otros trabajos: DTR indica que la computadora está encendida, DSR que el aparato conectado a dicho puerto está encendido, RTS que la computadora puede recibir datos (porque no está ocupado), CTS que el aparato conectado puede recibir datos y DCD detecta que existe una comunicación, presencia de datos.

Tanto el aparato a conectar como la computadora (o el programa terminal) tienen que usar el mismo protocolo serie para comunicarse entre sí. Puesto que el estándar RS-232 no permite indicar en qué modo se está trabajando, es el usuario quien tiene que decidirlo y configurar ambas partes.

Como ya se ha visto, los parámetros que hay que configurar son: protocolo serie (8N1), velocidad del puerto serial, y protocolo de control de flujo. Este último puede ser por *hardware* o bien por *software* (XON/XOFF, el cual no es muy recomendable ya que no se pueden realizar transferencias binarias). La velocidad del puerto serial no tiene por qué ser la misma que la de transmisión de los datos, de hecho debe ser superior. Por ejemplo, para transmisiones de 1 200 baudios es recomendable usar 9 600, y para 9 600 baudios se pueden usar 38 400 (o 19 200).

En el formato 8N1 el receptor indica al emisor que puede enviarle datos activando la salida RTS. El emisor envía un *bit* de START (nivel alto) antes de los datos y un *bit* de STOP (nivel bajo) al final de estos.

3.2.1.3. Protocolo de comunicación DNP3

El DNP 3.0 es un protocolo desarrollado en los Estados Unidos muy parecido al Modbus con la ventaja que este sí incorpora mensajes con estampa de tiempo, este tipo de protocolo puede ser implementado sobre un bus serial o sobre TCP.

DNP3 (acrónimo del inglés *Distributed Network Protocol*, en su versión 3) es un protocolo industrial para comunicaciones entre equipos inteligentes (IED) y estaciones controladores, componentes de sistemas SCADA. Es un protocolo ampliamente utilizado en el sector eléctrico, de gran difusión en los Estados Unidos, Canadá y menor presencia en Europa donde el uso de alternativas como IEC-60870 101 e IEC-60870 104 gozan de mayor popularidad.

Aunque el protocolo fue desarrollado con base en requisitos de gran fiabilidad, no se prestó demasiada importancia a los aspectos de seguridad relacionada con los ataques de *hackers* u otros mal intencionados que pudiesen interferir en el correcto comportamiento de las comunicaciones entre los diversos sistemas de control. Esto supuso un importante error de diseño.

Debido a que el protocolo puede utilizar los niveles de transporte y enlace proporcionados por TCP/IP, gran parte del problema de añadir un Sistema de Autenticación Seguro quedaba resuelto.

DNP3 es actualmente compatible con las especificaciones de seguridad IEC 62351-5.

Cabe destacar además que el protocolo DNP3 se menciona en el estándar IEEE 1379-2000, el cual recomienda un conjunto de prácticas para la implementación de enlaces de comunicación entre maestros SCADA - RTU/IED. Este estándar no sólo incluye cifrado, sino toda una serie de prácticas que mejoran la seguridad frente a métodos intrusivos conocidos.

El protocolo DNP3 presenta importantes funcionalidades que lo hacen más robusto, eficiente y compatible que otros protocolos más antiguos, tales como Modbus, con la contrapartida de resultar un protocolo mucho más complejo.

DNP3 es un protocolo de tres capas o niveles, según el modelo OSI: nivel de enlace (*Data Link Layer*), Nivel de Aplicación (*Application Layer*) y un tercer nivel de Transporte (*Transport Layer*) que realmente no cumple con todas las especificaciones del modelo OSI y por lo cual se suele denominar pseudo-nivel de Transporte. Por este motivo suele referirse a él como un protocolo de dos capas o niveles.

El formato de trama utilizado está basado en el FT3 es definido como un bloque de encabezado en las especificaciones IEC 60870-5 (es una redefinición de este formato, no una implementación idéntica), y hace uso del Chequeo de Redundancia Cíclica (CRC) para la detección de errores.

La estructuración en capas o niveles, sigue el siguiente esquema:

- Los mensajes a nivel de aplicación son denominados fragmentos
- El tamaño máximo de un fragmento está establecido en 2 048 *bytes*
- Los mensajes a nivel de transporte son denominados segmentos
- Los mensajes a nivel de enlace son denominados tramas
- El tamaño máximo de una trama DNP3 es de 292 *bytes*

Cuando se transmiten datos, éstos sufren las siguientes transformaciones al pasar por las diferentes capas:

- El nivel de transporte se encarga de adaptar los fragmentos para poder encapsularlos en tramas (nivel de enlace), para lo cual, secciona el mensaje del nivel de aplicación si es necesario y les agrega la cabecera de transporte, formando de este modo los segmentos.

- En el nivel de enlace, los segmentos recibidos del nivel de transporte son empaquetados en tramas, para lo cual se les añade a éstos una cabecera de enlace y, además, cada 16 *bytes* un CRC (del inglés *central processing unit*) de 2 *bytes*.
- Los datos se encapsulan en fragmentos a nivel de aplicación.

Cuando se reciben datos, las transformaciones se suceden de la siguiente forma:

- El nivel de enlace se encarga de extraer de las tramas recibidas los Segmentos que son pasados al nivel de transporte.
- El nivel de transporte lee la cabecera de los segmentos recibidos del nivel de enlace y con la información obtenida extrae y compone los fragmentos que serán pasados al nivel de aplicación.
- En el nivel de aplicación los fragmentos son analizados y los datos son procesados según el modelo de objetos definido por las especificaciones del estándar.

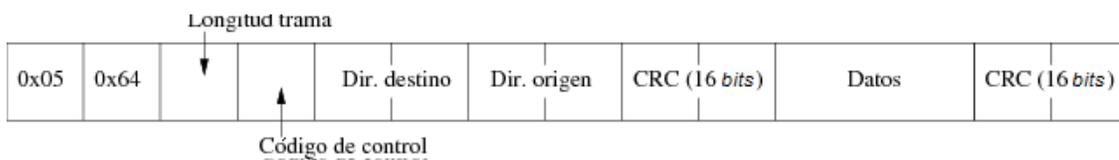
Los mensajes DNP3 a nivel de enlace se encuentran en bloques de no más de 292 *bytes* denominados tramas. El formato de trama es similar al FT3, si bien presenta ciertas diferencias.

Una trama DNP3 consta de tres bloques bien diferenciados; cabecera DNP3: son los diez primeros *bytes* de la trama y está constituida por los siguientes campos:

- 2 *bytes* de inicio (*start bytes*), cuyo valor es fijo. 0x05 (valor en hexadecimal) para el primero y 0x64 para el segundo
- 1 *byte* con el tamaño de la trama. Este valor no tiene en cuenta ni la cabecera, ni los CRC
- 1 *byte* con el código de control, que permite fijar los servicios del nivel de enlace, el sentido del flujo, etc
- 2 *bytes* con la dirección de destino, codificada en *big-endian*
- 2 *bytes* con la dirección de origen, codificada en *big-endian*
- 2 *bytes* de CRC

Como se ve en la tabla IV en los datos tenemos que cada 16 *bytes*, así como al final de la trama, se encontrarán 2 *bytes* de CRC.

Tabla IV. **Trama de datos DNP3**



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/DNP3>. [ref. marzo 2010]

El nivel de enlace en DNP es balanceado, de modo que tanto la estación controladora como la controlada tienen responsabilidad tanto en los envíos de los datos como en la gestión (establecimiento y liberación) del nivel de enlace (fuera del alcance de las especificaciones del protocolo).

El empleo de doble direccionamiento (dirección de origen y dirección de destino) se debe a la funcionalidad que proporciona DNP3 basado en funcionamiento por excepción.

De tal modo las comunicaciones no son iniciadas únicamente por la estación controladora, enviando preguntas a las estaciones controladas, sino que además estas últimas pueden iniciar una conversación dependiendo de la alteración de determinada información configurada en ella para ser reportada en estas condiciones. A este tipo de mensajes, en los cuales la estación controlada transmite los eventos de determinados objetos configurados en ella, se les denomina "respuestas no solicitadas".

El nivel de enlace proporciona una serie de servicios para la gestión de la comunicación entre las estaciones, tales como la petición o envío con o sin confirmación, las confirmaciones de tramas recibidas, las confirmaciones negativas, el *reset* de enlace (*Reset Link*) o el chequeo del estado del enlace (*Link Status*).

El nivel de transporte es el encargado de permitir mensajes únicos estructurados tanto en múltiples tramas como en múltiples fragmentos. Esta es una de las características diferenciadoras de DNP3 frente a otros protocolos de comunicación industriales del mismo ámbito, tales como IEC 60870 y permite el concepto de mensajes de tamaño ilimitado.

A continuación se describirá el funcionamiento de este nivel, dependiendo del sentido del flujo de los datos dentro de la estructura de capas del protocolo.

Datos transmitidos desde el nivel de aplicación hacia el nivel de enlace. El nivel de aplicación pasa los fragmentos al nivel de transporte y este se encarga de cortarlos y agregarles al principio la cabecera de transporte, la cual ocupa un *byte* y contiene el número de secuencia que identifica el segmento dentro del fragmento. El tamaño de los fragmentos ha de ser tal, que una vez agregadas las cabeceras del nivel de enlace (diez *bytes*) y los correspondientes CRC, el tamaño total no exceda los 292 *bytes* máximos permitidos para una trama.

En el caso de los datos transmitidos desde el nivel de aplicación hacia el nivel de enlace, el nivel de transporte se encarga de recomponer los fragmentos del nivel de aplicación a partir de los segmentos que le proporciona el nivel de enlace. Para ello, recurre a las cabeceras de transporte y al número de secuencia que identifica la posición de cada segmento dentro del fragmento.

El nivel de aplicación se encarga de procesar los fragmentos que le pasa el nivel de transporte y obtener la información de control y monitorización en ellos encapsulados atendiendo al modelo de datos.

Entre los servicios que proporciona este nivel, se encuentran la escritura y lectura de valores, la congelación de contadores y la selección y ejecución de mandos. El código de función es el que permite indicar qué operación debe realizarse en este nivel.

Las estaciones controladas disponen de la posibilidad de informar a la estación controladora de diferentes aspectos relacionados con este nivel gracias a dos *bytes* denominados indicaciones internas (*Internal Indications*). La estación controlada puede servirse de estas indicaciones para informar acerca de la presencia de eventos de clase 1, clase 2 o clase 3, de la necesidad de ser sincronizada o de la presencia de anomalías en la configuración.

DNP3 es un conjunto de protocolos de comunicación utilizados entre los componentes de los sistemas de automatización de procesos. Su uso principal es en los servicios públicos como electricidad de las empresas. En concreto, se ha desarrollado para facilitar las comunicaciones entre los distintos tipos de adquisición de datos y equipos de control. Desempeña un papel crucial en los sistemas SCADA, donde es utilizado por las estaciones SCADA RTU Maestro, y artefactos explosivos improvisados. Se utiliza sobre todo para las comunicaciones entre una estación principal y RTU o IED.

3.2.1.4. Protocolo de comunicación IEC 101

Los protocolos IEC 60870-5-101 y IEC 60870-5-104 se usan principalmente para comunicación de una subestación hacia un centro de control remoto, todavía se siguen utilizando y depende en gran medida del perfil del protocolo en cada equipo.

También existen protocolos propietarios como el SPA, LON, etc. sin embargo están orientados al manejo específico de elementos pertenecientes a una misma marca.

El estándar más nuevo y de mejor desempeño que está orientado a integrar la mayor cantidad de dispositivos es el IEC61850-8-1, hasta el momento el desarrollo de productos que cumplan con este estándar no ha sido muy grande, sin embargo se asume que todas las subestaciones futuras deberán ser desarrolladas de acuerdo a dicho estándar.

Una ventaja grande de este estándar es el manejo de redes ethernet, gestión de protecciones sobre la misma red de control y que desde sus inicios fue desarrollado específicamente para su uso en subestaciones.

Generalmente para los sistemas de energía se utiliza el protocolo IEC 104 para el centro telecontrol y el protocolo IEC 101 para la interacción con las remotas de campo.

En una transmisión no balanceada se tiene:

- Una estación primaria inicia todas las transmisiones de mensajes
- Implica funcionamiento bajo *polling*. Se interroga periódicamente a las Unidades Remotas. Las unidades terminales remotas solo pueden transmitir cuando son interrogadas.

En una transmisión balanceada:

- Cualquier estación es primaria y secundaria a la vez y puede iniciar una transmisión de mensajes.
- Permite que las unidades terminales remotas generen respuestas espontáneas. Permite que parte de la información se transmita espontáneamente y otra por *polling*.

La tabla V muestra los formatos de trama del protocolo IEC101.

Tabla V. **Formatos de trama IEC 101**

Formato de trama	Tipo	Distancia de Hamming	Longitud máxima	Características
FT1.1	Asíncrono	2	128	Por octeto: 1 <i>bit</i> Start 8 <i>bits</i> Datos 1 <i>bit</i> Paridad
FT1.2	Asíncrono	4	255	Como FT1.1 más un <i>checksum</i> de 8 <i>bits</i> por trama.
FT2	Síncrono	4	255	Hasta 15 octetos de datos más un CRC de 8 <i>bits</i> .
FT3	Síncrono	6	255	Hasta 16 octetos de datos más un CRC de 16 <i>bits</i>

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/IEC_60870-5-101. [ref. abril 2010]

3.2.1.4.1. Diferencias entre protocolo de comunicación IEC 101 y DNP3

IEC 101 tiene 3 capas. Ellas son la capa física, capa de enlace y la capa de aplicación. DNP3 tiene 4 capas. Además de las mismas 3 capas como 101, hay una capa de transporte.

IEC 101 está diseñado para el telecontrol. Hay muchas funciones de aplicación en las que se puede utilizar en tareas de telecontrol. Su eficacia y fiabilidad son lo suficientemente buenas para llevar a cabo su demanda.

IEC101 es un protocolo estándar internacional para el control del sistema eléctrico, de control para sistemas de energía eléctrica. Este utiliza el estándar de interfaz serie asíncrono de tele-control de canales entre DTE y DCE. El estándar es adecuado para múltiples configuraciones como la de punto a punto, estrella, multipunto y otros.

Además la diferencia básica está en que el DNP envía datos de gran tamaño y la información será enviada en el dominio en una sola ráfaga. Mientras que en la CEI 101 los datos serán enviados en paquetes pequeños con mucha frecuencia. Otra diferencia es que DNP requiere menos ancho de banda en comparación con la norma IEC 101 para la misma información. Además DNP se apoya tanto de comunicación serial y TCP/IP, mientras IEC 101 solo serie.

3.2.1.5. Protocolo de comunicación TCP/IP

El nombre TCP/IP proviene de dos protocolos importantes de la familia, el *Transmission Control Protocol* (TCP) y el *Internet Protocol* (IP). Todos juntos llegan a ser más de 100 protocolos diferentes.

El TCP/IP es la base del *internet* que sirve para enlazar computadoras que utilizan diferentes sistemas operativos, incluyendo PC, minicomputadoras y computadoras centrales sobre redes de área local y área extensa.

TCP/IP fue desarrollado y demostrado por primera vez en 1972 por el departamento de defensa de los Estados Unidos, ejecutándolo en el ARPANET una red de área extensa del departamento de defensa.

El protocolo TCP/IP tiene que estar a un nivel superior al tipo de red empleado y funcionar de forma transparente y a un nivel inferior a los programas de aplicación (páginas *WEB*, correo electrónico) particulares de cada sistema operativo. Todo esto nos sugiere el siguiente modelo mostrado en la tabla VI de referencia:

Tabla VI. **Capas del protocolo TCP/IP**

Capa de aplicación (HTTP, SMTP, FTP, TELNET...)
Capa de transporte (UDP, TCP)
Capa de red (IP)
Capa de acceso a la red (Ethernet, <i>Token Ring</i> ...)
Capa física (cable coaxial, par trenzado...)

Fuente: COMER E., Douglas. Redes globales de información con *Internet* y TCP/IP. p. 5.

El nivel más bajo es la capa física. Aquí nos referimos al medio físico por el cual se transmite la información. Generalmente será un cable aunque no se descarta cualquier otro medio de transmisión como ondas o enlaces vía satélite.

La capa de acceso a la red determina la manera en que las computadoras envían y reciben la información a través del soporte físico proporcionado por la capa anterior. Es decir, una vez que tenemos un cable, ¿cómo se transmite la información por ese cable? ¿Cuándo puede una estación transmitir? ¿Tiene que esperar algún turno o transmite sin más? Pues bien, son todas estas cuestiones las que se resuelve esta capa

Las dos capas anteriores quedan a un nivel inferior del protocolo TCP/IP, es decir, no forman parte de este protocolo. La capa de red define la forma en que un mensaje se transmite a través de distintos tipos de redes hasta llegar a su destino. El principal protocolo de esta capa es el IP, aunque también se encuentran a este nivel los protocolos ARP, ICMP e IGMP. Esta capa proporciona el direccionamiento IP y determina la ruta óptima a través de los encaminadores (*routers*) que debe seguir un paquete desde el origen al destino.

La capa de transporte (protocolos TCP y UDP) ya no se preocupa de la ruta que siguen los mensajes hasta llegar a su destino. Sencillamente, considera que la comunicación extremo a extremo está establecida y la utiliza. Además añade la noción de puertos, como se verá más adelante.

Una vez que se tiene establecida la comunicación desde el origen al destino nos queda lo más importante, ¿qué se puede transmitir? La capa de aplicación proporciona los distintos servicios de *internet*: correo electrónico, páginas *Web*, FTP, TELNET.

La forma de operar del protocolo TCP/IP es que transfiere datos mediante el ensamblaje de bloques de datos en paquetes. Cada paquete comienza con una cabecera que contiene información de control, tal como la dirección del destino, seguido de los datos. Cuando se envía un archivo por la red TCP/IP, su contenido se envía utilizando una serie de paquetes diferentes. El *internet protocol* (IP), un protocolo de la capa de red, permite a las aplicaciones ejecutarse transparentemente sobre redes interconectadas. Cuando se utiliza IP, no es necesario conocer que *hardware* se utiliza, por tanto ésta corre en una red de área local.

El *Transmission Control Protocol* (TCP); un protocolo de la capa de transporte, asegura que los datos sean entregados, que lo que se recibe, sea lo que se pretendía enviar y que los paquetes que sean recibidos en el orden en que fueron enviados. TCP terminará una conexión si ocurre un error que haga la transmisión imposible.

3.3. Protocolo específico para la automatización del banco IV en Guate Sur

Para poder explotar completamente la información y control del sistema, se requiere que se instale fibra óptica de la caseta 5 a la sala de relevadores, para la explotación de las protecciones, mediciones y del protocolo DNP 3.0 serial o Ethernet.

Los relevadores de protección deben ser integrados al concentrador SEL 2032 que se encuentra en la caseta de las líneas Guatemala Norte y Este. Esta conexión debe hacerse con fibra óptica y realizar los empalmes o fusiones de fibra óptica que venga de la caseta nueva y se dirija a la sala de relevadores.

Al realizar la obra electromecánica se deberá considerar dentro de sus costos y actividades de instalación, la conexión y suministro de convertidores de medios, necesarios para la operación de la red de datos en protocolo propietario y en DNP 3.0. Como se especifica posteriormente estos convertidores tienen que ser alimentados de la red de 125 VDC para permitir su operación continua.

El medidor de energía debe ser conectado a la RTU que se instalará en la caseta del banco de transformación número IV y la señal de datos de medición de calidad de energía debe ser llevada a la sala de relevadores.

3.4. Tipos de sistemas de transmisión de datos

Con el fin de minimizar el tiempo invertido en la subsanación de averías, hace años que las estaciones y subestaciones transformadoras cuentan con sistemas de comunicación muy eficaces.

Estos sistemas se ponen en funcionamiento cuando alguno de los equipos de protección de la estación o subestación transformadora actúa.

Su misión es la de comunicar al servicio técnico que en ese momento ocurre alguna anomalía en una de las instalaciones, indicándole, en la mayoría de las ocasiones con mucha precisión, en que parte de la subestación o estación transformadora se encuentra la avería.

Dependiendo del método empleado para transmitir la información, se diferencian cuatro tipos de sistemas de transmisión, los cuales se describen a continuación:

Comunicación por hilo telefónico, la transmisión se realiza mediante pares telefónicos. El inconveniente del empleo de este sistema es que, al necesitar la contratación de una compañía telefónica que nos preste el servicio, esta podría poner restricciones a la hora de disponer de la infraestructura necesaria o de la señal de ruido que se pueda introducir en la red telefónica.

Comunicación por micro-ondas, este sistema utiliza ondas de radio a muy alta frecuencia. El uso de estas ondas presenta dos grandes inconvenientes:

Debe existir suficiente espacio en el espectro radiofónico para que pueda ser usado por esta señal.

En ocasiones es necesario construir estaciones repetidoras para salvar largas distancias, además de contar con gran altura en el terreno.

Comunicación por ondas portadoras, este sistema también llamado de corrientes portadoras, utiliza las propias líneas de distribución eléctrica para transmitir la información.

Para su correcto funcionamiento se deben incluir en el sistema una serie de aparatos:

Transmisor/receptor: tiene la doble misión de crear la señal y lanzarla hacia la red y de recibirla y reproducirla.

Divisor de frecuencias: separa la señal de ondas portadoras de la propia señal eléctrica.

Comunicaciones a través de fibra óptica, este es un sistema que se está consolidando debido a las múltiples ventajas que presenta, principalmente el volumen de datos que es capaz de transportar y la elevada velocidad a la que puede llegar a hacerlo.

Se recomienda que el cable de fibra óptica realice el mismo camino que la red de alta tensión. Para que esto se cumpla, existe la posibilidad de que el cable de fibra óptica cumpla las labores de cable de guarda (cable que protege a las líneas de descargas eléctricas atmosféricas) y cable de datos, o en el caso de existir ya cable de guarda, se tiene la opción de adosar el cable de fibra óptica a él.

3.5. Automatización para señales de entrada y salida

Ya que en los equipos de una subestación pueden existir diversidad de protocolos y señales provenientes de los equipos de medición y control, se requiere un equipo o un sistema que logre integrar estas señales para trabajarlas de forma homogénea y ser llevados a la sala de control.

Más adelante se desarrolla el modelo sugerido para la implementación de un sistema que cumpla con los objetivos trazados.

3.5.1. Características de equipo concentrador de señales

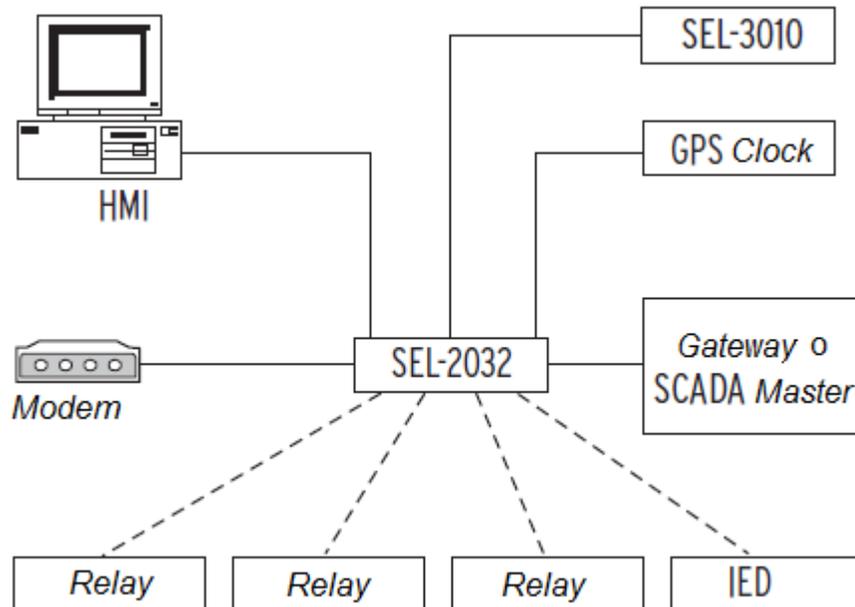
3.5.1.1. Diversidad de señales

Por la diversidad de equipos con los que cuenta un transformador de potencia derivado de los accesorios de medición y protección, se tienen diversos tipos de señales que pueden ser digitales o analógicas. Estas señales procedentes de sensores y transductores son tomadas y llevadas a un equipo que puede ser un relevadores, el cual está ajustado para generar acciones que ayudan a operar y/o monitorear unidades.

Esto obliga a tener un punto donde se concentren las señales y llevarlas a un gestor general o un sistema SCADA. Para el propósito requerido se puede hacer mención de equipos integradores de algunas marcas que realizan la función de concentrar las señales que provienen directamente del transformador o inclusive de equipos que estén actuando como esclavos. Se debe tener un sistema que integre y dé solidez a los equipos colectando los datos que provienen de IED, procesos y múltiples dispositivos como SCADA masters, RTU, PLC HMI y proporcionar un punto para la ingeniería y mantenimiento.

Dentro de los equipos que cumplen con estas características y son dispositivos muy utilizados en la actualidad en la automatización de subestaciones eléctricas se pueden mencionar a las unidades SEL, específicamente el SEL 2032 el cual ofrece una solución completa para la integración de una estación. Como lo muestra la figura 9, el SEL 2032 logra proporcionar datos al sistema SCADA, HMI local de datos, ingeniería de acceso y el tiempo de sincronización. Todo esto basado en la integración de múltiples usos y llevado a una sola función de redes.

Figura 9. **Modelo de integración de datos**



Fuente: SEL-2032 DATA SHEET. p. 3.

De lo anterior vemos la característica fundamental de este dispositivo de unificar las señales de diversos equipos para llevarlos hacia un servidor, este es el modelo que permite la conexión a través de fibra óptica y, además es el equipo a utilizar para el sistema de protección del banco IV, 230/69/13.8 kV de la subestación Guatemala Sur.

Describiendo un poco el modelo basado en la tecnología de SEL, tenemos la opción de coleccionar y dar formato a los datos para un sistema SCADA. Con ajustes simples se puede individualmente configurar los puertos para definir la forma de adquisición de datos y almacenar estos atributos.

Algo importante es la propiedad de interrogar automáticamente a los dispositivos instalados para la adquisición de datos, esto permitirá proveer de manera uniforme, en una sola interface de datos hacia el dispositivo SCADA o similares. De esta cuenta el *software* SCADA no necesita estar conectado específicamente a cada IED.

3.5.1.2. Vías múltiples de acceso

Otro requerimiento importante es la función de manejar datos a través de múltiples vías, ya que nos interesan los datos que provienen de diferentes formas. Por ejemplo un sistema operador puede hacer medición y datos de contacto a cada 5 ó 10 segundos, un sistema de protección suele cubrir el ajuste de relevadores y analizar completamente un evento de falla. Estas características son cumplidas por la RTU y que es la que al final cumplirá la función de coleccionar todas las señales del banco de transformación IV.

A diferencia de dispositivos convencionales el integrador de señales puede soportar comunicación entre todos los puertos activos de forma simultánea en velocidades de hasta 19 200 bps, dependiendo de la configuración del puerto en el caso de comunicación serial.

Esto significa que es posible comunicarse a nivel local con una conexión IED al mismo tiempo que otra persona puede comunicarse de forma remota a otro acceso del integrador, esto permite diversas aplicaciones avanzadas para recopilar, almacenar y distribuir información, proporcionando un flujo ininterrumpido de información de todos los IED.

La utilización de un procesador de información elimina la necesidad de separar la arquitectura de red de la subestación, además de reducir los costos de redes, ya que se evitan los dispositivos de interfaz que se exigiría para cada uno de los IED. La inclusión de Modbus y DNP apoya y facilita la integración con sistemas que soportan estos protocolos, la capacidad para agregar tarjetas de protocolo permite además el uso de redes de alta velocidad y la elección del protocolo para cambiar en el futuro con impacto de *hardware* mínimo.

3.5.1.3. Sincronización de reloj

Algo que quizá pase desapercibido pero que no deja de ser importante es la sincronización de tiempo. Para el enlace de fibra óptica del banco IV de Guatemala Sur es de suma importancia contar con la sincronización, ya que esta es una de las subestaciones más importantes del Sistema Nacional Interconectado debido a que colecta la mayor parte de la energía generada en el país, y los eventos que ocurran en la red deben ser registrados en forma precisa. Una RTU o un equipo SEL, debe presentar la capacidad de sincronizar el reloj y, además, trasladar la sincronización a los dispositivos tales como relevadores, que acepten una demodulada IRIG-B de la señal de tiempo. La señal demodulada IRIG-B se genera en el SEL de una modulación externa o una fuente demodulada, como un GPS por satélite o un receptor de reloj.

Si no hay ninguna fuente disponible de IRIG-B la señal demodulada de tiempo se genera en el propio SEL. Una opción le permite a este dispositivo seleccionar el comando externo de la señal IRIG-B, o la red para establecer el reloj de su sistema. En cuanto a los requerimientos para el proyecto del banco IV de la Subestación Guatemala Sur se indica en la sección 3.5.1.3.1, el requerimiento específico para este equipo.

3.5.1.3.1. Sincronización horaria para el banco de transformación IV

Para la unidad transformadora y los equipos derivados de esta, se deberá realizar el suministro e instalación de un módulo de alta precisión para sincronizar en tiempo real todos los equipos con GPS, (de calidad necesaria para hacer mediciones de sincrofasores). En el caso de los equipos que no se puedan sincronizar directamente, serán sincronizados por medio del protocolo de comunicaciones DNP 3.0.

3.5.1.3.2. Receptor, antena y accesorios para la sincronización de tiempo

Estas son algunas diferencias que se desean en el sistema de sincronización por GPS.

- Recepción del tiempo de sincronización vía satélite (GPS) con salida hacia un bus de tiempo y distribución a todos y cada uno de los elementos del sistema, por lo cual éstos deberán contar con el puerto adecuado para recibir la señal correspondiente.

- El sistema de sincronía debe incluir la programación para ajuste automático del uso horario, así como los cambios de estación (horario de verano), así como las siguientes características:
 - Antena y receptor GPS para sincronización de tiempo
 - Exactitud en tiempo ± 100 nanosegundos
 - Modo de operación dinámica
 - IRIG-B AM BNC
 - IRIG-B TTL BNC
 - Capacidad para conectar varios equipos con conector BNC
 - Señales IRIG-B Moduladas y remoduladas
 - Fuente de alimentación en 125 VDC
 - Puerto serie RS-232 bidireccional
 - Señal de alta exactitud para permitir operar PMU de acuerdo a la C37.118

3.5.1.4. Capacidad de almacenamiento en memoria interna

Se debe contar con la capacidad de almacenar información para cada una de las funciones como alarmas, reporte de eventos, perfiles de carga, que deberá almacenarse en una memoria de archivo no volátil.

3.5.1.5. Capacidad de entradas y salidas opcionales

Un sistema opcional I/O, consiste en contactos programables de entradas y salidas que deberán estar disponibles para monitoreo, control y grabador de eventos secuenciales. Esto permite el ingreso de la mayor cantidad de señales y su capacidad de expansión.

3.5.1.6. Capacidad de módulos opcionales

El equipo a instalar para integración de señales deberá ser un dispositivo de preferencia modular para permitir la capacidad de adaptar nuevos equipos sin necesidad de cambiar los ya existentes, además de permitir el crecimiento con módulos de comunicación. Por ejemplo el, equipo *Schweitzer Engineering Laboratories* posee dos *slots* de tarjeta para comunicación, cada tarjeta con 64 puntos de entradas para control y 64 puntos de control para salida.

3.5.1.7. Sincronización a fibra óptica

Dado que el objetivo es contar con una automatización en la que se maneje como medio de transmisión de datos la fibra óptica, el equipo concentrador de señales deberá contar con puertos ópticos para facilitar la opción de conectar los *patch cord*, o bien un puerto al que se le pueda conectar un transductor de señal eléctrica a una señal óptica.

3.6. Elementos de interface

Como hemos visto las señales tomadas a nivel de equipo en una bahía de transformación son en todos los casos de magnitud eléctrica, luego son integradas según nuestro modelo de operación, en un equipo cuyo trabajo es concentrar estas señales y con ello logramos agruparlas, para luego continuar con nuestro objetivo de enviar los datos a través de fibra óptica. Por lo que es necesario que utilicemos un opto acoplador cuya función sea convertir las señales eléctricas en señales ópticas a donde podamos conectar nuestro *patch cord*.

Para ser congruentes con el modelo propuesto y al contar con una salida de RS232 del equipo SEL 2032 o de la RTU, nuestro requerimiento es ahora el utilizar un convertidor RS232 a fibra óptica.

Para este fin se propone la utilización del dispositivo SEL 2812MT, el cual es un *transceiver* opto acoplador entre los sistemas RS232 a fibra óptica. Este dispositivo provee aislamiento a un aumento dañino de potencias de tierra, previene la inducción de ruido y elimina bucles de tierra en la señal, elimina las interferencias eléctricas haciendo posible la seguridad del equipo, robustez y fiabilidad. Estos *transceivers* son adecuados para su uso en condiciones duras del medio ambiente de las subestaciones eléctricas.

Dentro de otras características del SEL 2812MT tenemos; una fácil aplicación, SEL de fibra óptica son productos fáciles de instalar, el conector es un DB-9 y no requiere montaje especial. Su puerto de fibra óptica recibe la energía del dispositivo a través del conector, por lo que no requiere fuente de energía adicional o un cableado de poder.

En cuanto a la seguridad de operación se cuenta con un aislamiento de voltajes inducidos, derivados de la subida de potencial de tierra y de inducción electromagnética, comúnmente causado por el control de cables. En cuanto al rango de operación los modelos de receptor están disponibles para aplicaciones que van desde 1 metro a 110 kilómetros, para su uso en fibra monomodo o fibra multimodo.

La tabla VII resume las características técnicas de los modelos de *transceivers* de SEL con la propiedad de conversión a señales de fibra óptica.

Tabla VII. **Transceivers y aplicaciones**

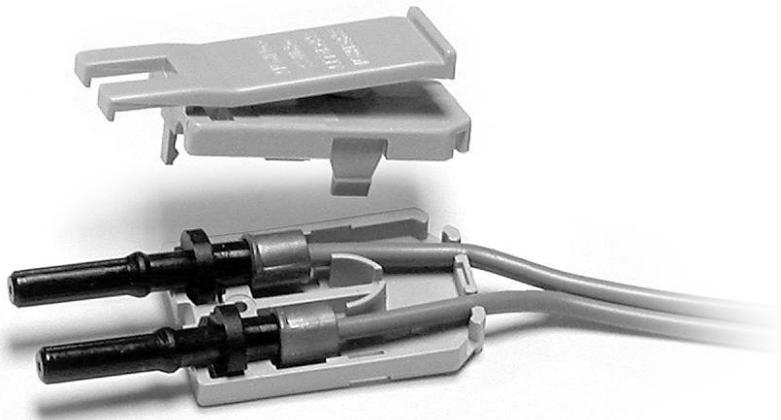
Característica	SEL-2800	SEL-2810	SEL-2812	SEL-2814	SEL-2815	SEL-2829	SEL-2830	SEL-2831
Longitud de onda	650 nm	650 nm	850 nm	850 nm	850 nm	1300 nm	1300 nm	1550 nm
Conector óptico	V-Pin	V-Pin	ST	ST	ST	ST	ST	ST
Tipo de fibra	Multimodo	Multimodo	Multimodo	Multimodo	Multimodo	Mono modo	Mono modo	Mono modo
Nivel de enlace	9 dB	9 dB	16 dB	16 dB	41 dB	14 dB	40 dB	40 dB
Potencia de Tx	-30 dBm	-30 dBm	-13 dBm	-13 dBm	-10dBm	-36 dBm	-10 dBm	-10 dBm
Seguridad mínima de RX	-39 dBm	-39 dBm	-29 dBm	-29 dBm	-51 dBm	-50 dBm	-50 dBm	-50 dBm
Tamaño de fibra	200µm	200µm	50-200 µm	50-200 µm	50-200 µm	9-10 µm	9-10 µm	9-10 µm
Distancia máxima	500 m	500 m	4Km-1.2Km	4Km-1.2Km	15Km-6Km	23 Km	80 Km	110 Km
Velocidad de datos	0-40 Kbps	0-20 Kbps	0-115 Kbps	0-115 Kbps	0-40Kbps	0-40 Kbps	0-40Kbps	0-40Kbps
Código de tiempo	Ninguno	IRIG-B	IRIG-B	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno

Fuente: *Fiber-Optic Transceivers and Applications*. p. 2.

La figura 10 muestra un conector V-Pin. En algunas aplicaciones existe la preocupación de que el retén del conector V-pin no es suficientemente fuerte como para mantener la conexión de fibra.

Cuando este es el caso, se utiliza el *kit* de enganche que se muestra en la figura 10 (número de parte SEL 9210). El *kit* proporciona un cerrojo adicional que se conecta directamente a los componentes ópticos.

Figura 10. **Conector V-Pin para fibra óptica**



Fuentes: *Fiber Optic Products and Applications*. SEL. p. 13.

3.7. Especificaciones de los enlaces de fibra óptica

La fibra óptica podrá ser instalada con fibra de 50 ó 62,5 micrones. Es importante garantizar la correcta operación entre el equipo y la fibra, por lo que debe seguir los siguientes lineamientos

- Para fibra de 50 y 62,5 micrones se utilizarán terminaciones ST (de inglés *Straight Tip*) y todo el equipo asociado deberá ser compatible con esta opción.

- En caso de requerir empalmes o de llevar más de un par de hilos de cable por tramo, será requisito indispensable instalar en un gabinete adecuado para esta función, una caja de distribución con las condiciones necesarias de seguridad y confiabilidad, que todo equipo de control debe llevar (atornillado, limpieza, rotulación y terminaciones según especificaciones para la transmisión de datos).

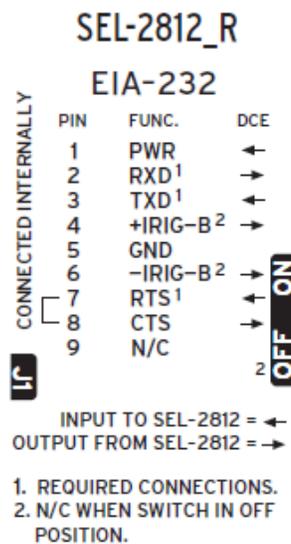
3.8. Servicios auxiliares requeridos para el enlace

Dentro de los diversos componentes ópticos transceptores de fibra óptica se cuenta con requerimientos como la energía, un panel de conexión, además se debe conocer que para algunos modelos se puede hacer uso de pines y líneas de control como fuente de energía. Dentro de las especificaciones técnicas por ejemplo, para un SEL2800 se tiene:

- La tensión de servicio es del rango de 3.6 15VCC
- Consumo de corriente típica es de 15mA
- Pin 1 +3,6 a +9 V
- 7 \pm 3,6 a \pm 15 (DCE)

La figura 11 muestra la configuración interna del *transceivers* así como nombre de señales de entrada y salida.

Figura 11. **Configuración interna de un *Transceiver***



Fuentes: SEL. *Fiber-Optic Products and Applications*. p.14.

3.9. Selección de un convertidor

- Instalar convertidores de medios para la explotación de datos por medio de la red de fibra óptica a los equipos.
- Los convertidores de medios no podrán operar con corriente alterna, lo harán en 125 V DC, de tal forma que ante una falla de AC, el sistema continúe operando. No se acepta la utilización de UPS.
- Los convertidores de medios permitidos son Serial a Fibra, de Fibra a Ethernet, de Serial a Ethernet, Ethernet a Fibra.
- Estos convertidores deberán estar sujetos y de preferencia en conexión directa a los equipos o montados sobre riel din de 35 mm o sobre tablero.

- Deben ser atornillados
- Tanto los accesorios y convertidores deben estar configurados y alimentados de tal forma que una falla general de AC no interrumpa su operación.

3.10. Especificaciones requeridas para el convertidor de medios

- Los *transceivers* deben ser tipo macho o hembra según se requiera en cada uno de los enlaces y compatible con cada uno de los equipos que conecte.
- Deben ser capaces de enviar datos seriales hasta quinientos (500) metros usando fibra óptica multimodo con conectadores ST.
- La velocidad de datos que debe usar es de cero (0) hasta cuarenta mil (40 000) *bits* por segundo, si no transmite código de tiempo IRIG-B.
- Capacidad de transmisión de señal demodulada del código de tiempo IRIG-B para los relevadores compatibles con esta función (indispensable, para todos los que tienen esta función).
- Deben transmitir luz visible de seiscientos cincuenta nanómetros (650 nm).
- La velocidad de datos que debe usar es de cero (0) hasta veinte mil (20 000) *bits* por segundo para un cable dúplex serial con hasta quinientos (500) metros de longitud de fibra óptica multimodo.
- Autoalimentados de los relevadores del tablero de protección instalados en estas subestaciones, para los restantes se deberá suministrar el accesorio de alimentación en corriente directa en caso no puedan alimentarse de los relevadores o equipos al convertidor de medios.
- Accesorio para la conexión de código de tiempo IRIG-B del *transceiver* al relevador.

- Los *transceiver* deben ser de instalación directa a los puertos del integrador y relevadores, por lo que no se requieren montajes en el panel o conexiones intermedias.
- Estas especificaciones aplican solamente para relevadores SEL, para otros equipos, el requisito es que no se debe utilizar alimentación AC.
- Para ambientes industriales.

4. CONDUCTOR DE FIBRA ÓPTICA

4.1. Conceptos generales de fibra óptica

La fibra óptica es un medio fino que transmite luz, en forma de filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos cuyo es sumamente delgado. Fabricadas a alta temperatura con base en silicio, su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite las desviaciones. Entre sus principales características se puede mencionar que son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio frecuencia. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductivo y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión.

Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda, sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución entre otros. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay problemas debido a los cortos circuitos. Tienen un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal; de esta forma es considerable el ahorro en volumen en relación con los cables.

Con un cable de seis fibras se puede transportar la señal de más de cinco mil canales o líneas principales, mientras que se requiere de 10 000 pares de cable de cobre convencional para brindar servicio a ese mismo número de usuarios, con la desventaja que este último medio ocupa un gran espacio en los ductos y requiere de grandes volúmenes de material, lo que también eleva los costos.

Comparado con el sistema convencional de cables de cobre donde la atenuación de sus señales es de tal magnitud que requieren de repetidores cada dos kilómetros para regenerar la transmisión, en el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 70 km, sin que haya necesidad de recurrir a repetidores, lo que también hace más económico y de fácil mantenimiento este material.

4.2. Forma de la fibra óptica

Es un filamento de vidrio sumamente delgado y flexible (de 2 a 125 micrones) capaz de conducir rayos ópticos. Las fibras ópticas poseen capacidades de transmisión enormes, del orden de miles de millones de *bits* por segundo. Se utilizan varias clases de vidrios y plásticos para su construcción. Una fibra es un conductor óptico de forma cilíndrica que consta del núcleo, una cubierta exterior (*jaquet*) que absorbe los rayos ópticos y sirve para proteger al conductor del medio ambiente así como darle resistencia mecánica.

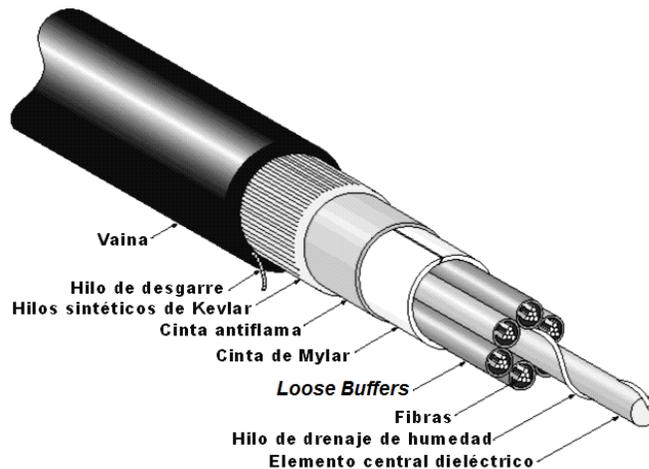
Además, y a diferencia de los pulsos electrónicos, los impulsos luminosos no son afectados por interferencias causadas por la radiación aleatoria del ambiente. Todo lo anterior permitirá que en el futuro las compañías dedicadas a los servicios de datos y automatización reemplacen finalmente los cables de cobre de sus estaciones centrales e instalaciones industriales con fibras ópticas.

4.3. Cables ópticos

Para poder utilizar fibras ópticas en forma práctica, estas deben ser protegidas contra esfuerzos mecánicos, humedad y otros factores que afecten su desempeño. Para ello se les proporciona una estructura protectora, formando así, lo que se conoce como cable óptico. Dicha estructura de cables ópticos variará dependiendo si el cable será instalado en ductos subterráneos, enterrado directamente, suspendido en postes, sumergido en agua o en otras alternativas que se tengan.

El propósito básico de la construcción del cable de fibra óptica es el mismo; mantener estables la transmisión y en las propiedades de la rigidez mecánica durante el proceso de manufactura, instalación y operación. Las propiedades esenciales en el diseño del cable son la flexibilidad, identificación de fibra, resistencia al fuego y atenuación estable. La figura 12 ilustra la configuración de un cable de fibra óptica.

Figura 12. Configuración de la fibra óptica



Fuente: José Osorio Gonzales. Transmisión de Datos (en línea) <http://jose-osorio-gonzales.blogspot.es/>. [ref. marzo 2010]

Los parámetros para formar un cable especial son:

- Esfuerzo máximo permitido en la fibra durante su fabricación, instalación y servicio. Determina la fuerza mínima de ruptura de la fibra y la fuerza requerida para el miembro de tensión.
- Fuerza lateral dinámica y estática máxima ejercida sobre la fibra, para determinar la configuración del cable y el límite de tolerancia de micro curvaturas.
- Flexibilidad
- Rango de temperatura y medio ambiente en donde el cable va a operar, paralela elección del tipo de materiales a utilizar tomando en cuenta su coeficiente de expansión térmica y su cambio de dimensiones en presencia de agua.

4.3.1. Arreglos de fibra óptica

Dentro de los diversos tipos de cables los más comunes son los conductores de fibra que contienen dos, cuatro, doce, dieciséis, veinticuatro y treinta y seis fibras. Otros arreglos con mayor número de fibras tienen diversas aplicaciones que van enfocadas al transporte de datos inclusive en forma transcontinental.

En cuanto a los colores de la fibra las normas internacionales han determinado los colores de la fibra óptica. Por ejemplo, la norma ANSI/EIA/TIA 598A, dispone el ordenamiento de los colores para cada hilo de la fibra óptica de la siguiente manera:

azul	cable 1	naranja	cable 2
verde	cable 3	marrón	cable 4
gris	cable 5	blanco	cable 6
rojo	cable 7	negro	cable 8
amarillo	cable 9	violeta	cable 10
rosa	cable 11	agua	cable 12

Para la cobertura exterior se determinaron los siguientes colores y usos:

- Naranja Multimodo
- Amarillo Monomodo
- Verde o Azul LS0H o LSZH (coberturas libres de halógenos)

Si bien todos los cables se pueden empalmar, el cable UTP (del inglés: *Unshielded Twisted Pair*, par trenzado no blindado), por ejemplo, empalmado no se puede certificar ni está incluido en las normas. En cambio si se contempla *el empalme de fibra óptica*, hay dos tipos: el empalme mecánico y el empalme por fusión.

Los empalmes mecánicos son fabricados por 3M y AMP, se utilizan en trabajos de campo, son muy simples de utilizar y tienen influencia directa en el costo y en los niveles de atenuación.

Los empalmes por fusión deben realizarse con el horno de fusión o “fusionadora”, un equipo que pocos pueden tener por su alto costo, que permite realizar empalmes de muy baja atenuación, permitiendo pérdidas de nivel en alrededor de 0,01 decibeles. Se da por aceptable un empalme cuando la fusionadora indica una pérdida de 0,06 decibeles como máximo en el empalme.

4.4. Parámetros de una fibra óptica

Entre los parámetros de la fibra se encuentran los estructurales y de transmisión, que establecen las condiciones en las que se puede realizar la transmisión de información.

Dentro de los parámetros definidos como estructurales se encuentra:

- El perfil de índice de refracción
- El diámetro del núcleo
- La apertura numérica
- Longitud de onda de corte

En cuanto a los parámetros de transmisión se tiene:

- Atenuación
- Ancho de banda
- Inmunidad a las interferencias
- Ventana de transmisión

El uso de medios transparentes para la propagación de ondas electromagnéticas en forma de luz hace que la fibra óptica no necesite voltaje ni corriente, esto lo convierte en un medio de comunicación 100% inmune a todo tipo de interferencias electromagnéticas a su alrededor y, por lo tanto, es un medio de comunicación altamente confiable y seguro. Este es uno de los principales factores que motivaron su uso en las milicias ya que para poder obtener información de ella hay que provocarle un daño, daño que podría detectarse fácilmente con equipo especializado. Esto no sucede con el cobre, donde basta con dejar el conductor al descubierto.

El hecho de no necesitar corrientes ni voltaje hace que la fibra óptica sea idónea para aplicaciones en donde se requiere de una probabilidad nula de provocar chispas, como el transportar la información a través de medios explosivos.

Otro aspecto importante de la fibra óptica es que existen opciones para la selección de la longitud de onda a la cual se desea transmitir la señal, la transmisión de información a través de fibras ópticas se realiza mediante la modulación (variación) de un haz de luz invisible al ojo humano, que en el espectro se sitúa por debajo del infra-rojo.

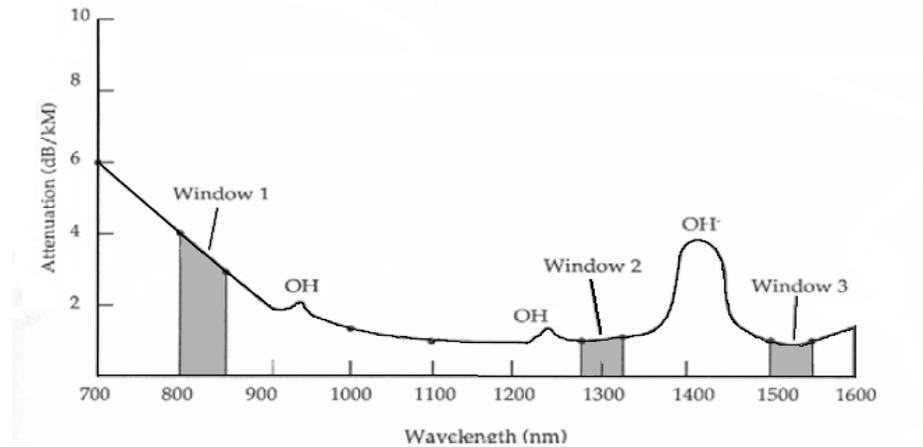
Si bien es invisible al ojo humano, hay que evitar mirar directamente y de frente una fibra a la cual se le esté inyectando luz, puesto que puede dañar gravemente la visión.

Las fibras ópticas presentan una menor atenuación (pérdida) en ciertas porciones del espectro lumínico, las cuales se denominan ventanas y corresponden a las siguientes longitudes de onda (λ), expresadas en nanómetros:

Primera ventana	800 a 900 nm	$\lambda_{\text{utilizada}} = 850\text{nm}$
Segunda ventana	1 250 a 1 350 nm	$\lambda_{\text{utilizada}} = 1 310\text{nm}$
Tercera ventana	1 500 a 1 600 nm	$\lambda_{\text{utilizada}} = 1 550\text{nm}$

En la figura 13 se puede apreciar la atenuación contra la longitud de onda y las ventanas de transmisión de la fibra óptica.

Figura 13. **Atenuación contra longitud de onda. 3 ventanas comunes**



Fuente: ALONSO ÁLVAREZ, Juan Pablo. Caracterización de fibras ópticas en el dominio del tiempo y de la frecuencia mediante el OTDR y MATLAB. Cap. 4. p. 14

La pérdida por transmisión o atenuación de la fibra, es una de sus características más importantes. Ya que es el factor determinante para calcular el tipo de fibra a utilizar, el tipo de transmisor, receptor y la distancia entre repetidoras si fuera necesario.

A medida que las ondas de luz viajan a través de la fibra éstas pierden parte de su energía debido a las imperfecciones en la misma. Estas pérdidas son medidas en decibeles por kilómetro. Una pérdida de 3 dB/km., por ejemplo, representa una reducción de la mitad del poder óptico en una distancia de 1km, y de sentido común mientras más grande la atenuación, menos luz llega al detector y menor será la distancia que se tiene entre cada repetidora.

4.5. Tipos de fibra óptica

Dependiendo del tipo de propagación de la señal luminosa en el interior de la fibra, estas se clasifican en los siguientes grupos:

4.5.1. Fibra monomodo

Potencialmente, esta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los 100GHz/km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar. En esta fibra sólo pueden ser transmitidos los rayos que tiene una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de "monomodo" (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único). Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8 mm.

Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo, ya que sus pequeñas dimensiones implican un manejo delicado y entrañan dificultades de conexión que aún persisten.

4.5.2. Fibra multimodo de índice gradiente gradual

Las fibras multimodo de índice gradiente gradual tienen una banda de paso que llega hasta los 500MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta. Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra. Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

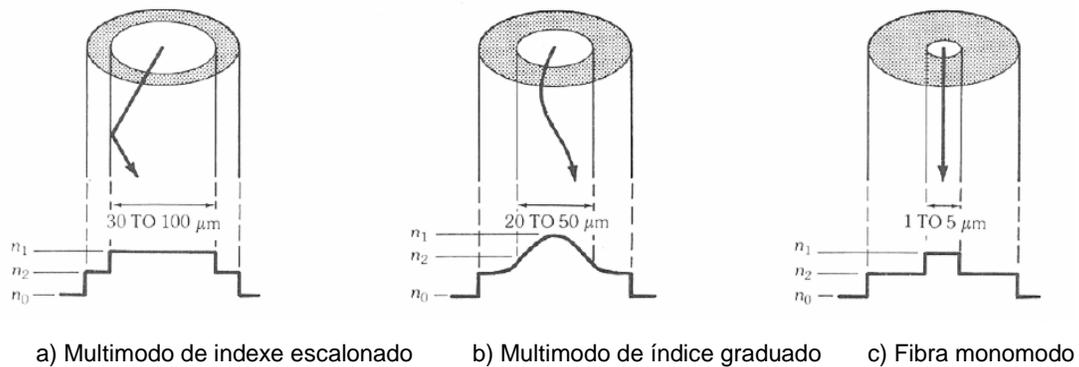
La fibra multimodo de índice de gradiente gradual de tamaño 62,5/125 mm (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) está normalizado, pero se pueden encontrar otros tipos de fibras como multimodo de índice escalonado 100/140 mm.

4.5.3. Fibra multimodo de índice escalonado

Las fibras multimodo de índice escalonado están fabricadas a base de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico, con una atenuación de 100 dB/km. Tienen una banda de paso que llega hasta los 40 MHz por kilómetro. En estas fibras, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación brutal del índice, de ahí su nombre de índice escalonado.

La figura 14 muestra las diferencias entre cada uno de los tipos de fibra y la forma de propagación del haz de luz dentro del núcleo de la misma.

Figura 14. Núcleos de los tipos de fibra óptica



Fuente: ALONSO ÁLVAREZ, Juan Pablo. Caracterización de fibras ópticas en el dominio del tiempo y de la frecuencia mediante el OTDR y MATLAB. Cap. 4. p. 13

La ventaja de la fibra multimodo frente a la mono-modo es que puede ser acoplada más eficientemente ya sea a laser multimodales y fuentes incoherentes, así como a láseres mono modales. Tiene mucho más tolerancia hacia la alineación del acoplamiento, ya que son muchos los modos, es decir, requieren menor precisión. La ventaja que ofrece la fibra mono-modo frente a la multimodo es muy evidente, soporta largas distancias sin repetidoras y con gran ancho de banda debido a la poca atenuación que surge, lo que las hace ideales para aplicaciones de gran cantidad de datos.

A continuación se muestra la tabla VIII, la cual resume las características de los tipos de fibra óptica.

Tabla VIII. **Tipos de fibra óptica y sus características**

CARACTERÍSTICAS	FIBRAS MULTIMODO		FIBRAS MONOMODO
	ÍNDICE ESCALONADO	ÍNDICE GRADUAL	
Diámetro del núcleo	$100\mu\text{m} < \varnothing < 600\mu\text{m}$	$50\mu\text{m} < \varnothing < 100\mu\text{m}$	$8\mu\text{m} < \varnothing < 10\mu\text{m}$
Diámetro de cubierta	$140\mu\text{m} < \varnothing < 1000\mu\text{m}$	$25\mu\text{m} < \varnothing < 150\mu\text{m}$	150 μm
Índice del núcleo	constante	-	creciente decreciente
Banda de paso	20 a 10 MHz/Km	200 a 1200 MHz/Km	>10 GHz/ Km
0,85 μm	8 a 20 dB/Km		
1,3 μm		2,5 a 4 a 20 dB/Km	0,3 a 0,5 dB/Km
1,5 μm		0,6 a 1,5 dB/Km	0,15 a 0,3 dB/Km

Fuente: ALONSO ÁLVAREZ, Juan Pablo. Caracterización de fibras ópticas en el dominio del tiempo y de la frecuencia mediante el OTDR y MATLAB. Cap. 5. p. 10.

4.6. Elementos de interface

Son los dispositivos utilizados para la interconexión entre los equipos de fibra óptica, a continuación se desglosa una descripción de los mismos.

4.6.1. Acopladores

Un acoplador es básicamente la transición mecánica necesaria para poder dar continuidad al paso de luz del extremo conectorizado de un cable de fibra óptica a otro o bien a un dispositivo transductor o a una red Ethernet que a su vez puede pertenecer a sistema SCADA. Pueden ser provistos también acopladores de tipo híbridos, que permiten acoplar dos diseños distintos de conector, uno de cada lado, condicionado a la coincidencia del perfil del pulido.

4.6.2. Conectores

Son dispositivos que se utilizan para hacer conexiones entre el cable de fibra y los puntos de distribución de la misma.

4.6.2.1. Conectores *Straight Tip* ST

Entre los conectores o también llamados *patch cord*, más utilizados en los sistemas de fibra óptica son los conectores ST y SC (conector cuadrado, del inglés *square connector*).

El ST (punta recta del inglés *Straight Tip*) es un conector de fibra óptica que utiliza un enchufe con un cierre de medio giro.

Están entre los conectores de fibra óptica más utilizados en aplicaciones de redes. Tal como los muestra la figura 15, son de forma cilíndrica con acoplamiento de giro de bloqueo de 2,5 mm. Se utilizan tanto para aplicaciones de corta distancia y la coordinación de larga distancia.

El conector ST el cual se aprecia en la figura 15 tiene un oleaje de bayoneta y una virola cilíndrica largos para sujetar la fibra. Estos son de resorte, por lo que uno tiene que estar seguro de que están correctamente fijadas. Sin esfuerzo puede conectarse o desconectarse a causa de su diseño flexible.

Figura 15. **Conector ST**



Fuente: BATES REGIS, J. *Optical Switching and Networking Handbook*. p. 10.

El conector ST (*Straight Tip*) es un conector similar al SC (*square connector*), pero requiere un giro del conector para su inserción, de modo similar a los conectores coaxiales se usa en redes de edificios y en sistemas de seguridad.

4.6.2.2. Conectores *Square* SC

El conector SC (*Square Connector*) es un conector de inserción directa que suele utilizarse en conmutadores Ethernet de tipo Giga *bit*.

Los conectores SC son elementos situados en los extremos de las fibras ópticas, es el más popular tanto en redes LAN como en redes de transporte como operaciones de telefonía y CATV entre otras.

Existen versiones simples y dobles codificadas por colores según prestaciones conforme a reglamentación internacional. La forma de este conector se puede apreciar en la figura 16.

Figura 16. **Conector SC**



Fuente: www.tech-faq.com. *SC Connectors*. [ref. marzo 2010]

Un conector SC tiene un beneficio en la capacidad de dúplex introducido en apoyo para enviar / recibir los canales.

Estos conectores son de uso común para aplicaciones de red más modernos. El SC es un complemento en el conector que se utiliza ampliamente en sistemas de un solo modo para su eficacia notable.

Son baratos, sin problemas y robusto. Los conectores SC dan un posicionamiento preciso a través de sus terminales de cerámica. El acople del conector se da con un simple empuje - tracción de movimiento y que se tecléa. Disponen de un manguito de 2,5 mm y de protección moldeadas. Es característico en comparación a conectores SC, y son conocidos para 1 000 ciclos de apareamiento y tienen una pérdida de inserción de 0,25 dB.

4.6.2.3. Conectores FC *Fiber Connector*

Se usan en la transmisión de datos de alta densidad y en las telecomunicaciones.

El FC es un conector de fibra óptica con un cuerpo roscado que fue diseñado para su uso en ambientes de alta vibración. Es ampliamente utilizado tanto con monomodo y fibra multimodo.

Este punto final de la fibra se implanta en un casquillo de 2,5 mm hecho de acero de óxido de circonio de cerámica o de acero inoxidable. La punta es entonces diseñada para crear una superficie redondeada, llamada "contacto físico". Este perfil de la superficie significa que cuando las fibras están conectadas se ponen en contacto sólo en sus núcleos, lo que permite la conducción con poca pérdida. Las fibras son de resorte para administrar el poder que el enchufe aplica en el soporte. La figura 17 muestra la forma de un conector FC.

Figura 17. **Conector FC**



Fuente: *FC Connectors* en www.tech-faq.com. [ref. abril 2010]

4.6.2.4. **Conectores *Lucent* LC**

Lucent Technologies desarrolló por primera vez el conector LC, por lo que su nombre significa Conectores *Lucent* LC del inglés *Lucent Connector*, tiene una forma pequeña y se asemeja a un conector SC.

El conector LC el cual se muestra en la figura 18, se ha normalizado como FOCIS 10 (conector de fibra óptica *Intermateability Standards*) en EIA/TIA-604-10. Como lo muestra la figura 18, el conector LC hace uso de la férula de 1,25 mm, la mitad de la dimensión de la férula ST, o bien, se trata de un conector regular férula de cerámica. El LC se somete a un rendimiento excelente y tiene una gran preferencia para la transmisión de modo único.

Figura 18. **Conector LC**



Fuente: MATESANZ, Miguel Ángel, Conectores para fibra óptica. p. 33.

Características de los conectores LC

- La mitad de la dimensión de los conectores regulares
- *Push & pull* mecanismo como conectores RJ
- Único conjunto de diseño de polarizado
- Cumple con los estándares de la industria
- Clips desmontable para simplex, así como conectores de doble cara

Se facilitan las cosas para los movimientos, adiciones y modificaciones, por lo tanto ayuda en el ahorro de gastos por sustituciones.

El diseño en un solo conjunto mejora la resistencia del conector y cumple con los requisitos de carga lateral de los conectores estándar de 2,5 mm. Los *jumpers* LC están equipados con pinzas desmontables lo que facilita la rectificación de errores de polaridad durante la terminación de conexión o de simple impresión a doble cara en el campo.

Las aplicaciones de los conectores LC son las redes de telecomunicaciones, redes de área local, redes de procesamiento de datos, televisión por cable, fibra a la casa y los locales de distribución.

Se recomienda el conector SC pues este mantiene la polaridad. La posición correspondiente a los dos conectores del SC en su adaptador, se denominan como A y B. Esto ayuda a mantener la polaridad correcta en el sistema de cableado y permite al adaptador a implementar polaridad inversa acertada de pares entre los conectores.

Identificación: conectores y adaptadores multimodo se representan por el color marfil. Conectores y adaptadores monomodo se representan por el color azul.

Para la terminación de una fibra óptica es necesario utilizar conectores o empalmar colas *Pigtails* (cables armados con conector) por medio de fusión. En el tema de conectorización, se encuentran distintos tipos de conectores dependiendo el uso y la normativa mundial usada.

4.6.2.5. Pérdidas en los conectores

Como todos los elementos de contacto en la unión de una fibra con los dispositivos, provoca una caída de la energía que luego se transmite, aunque para nuestro tema hay que considerar que la distancia que ocupa la fibra de la automatización cubre una trayectoria relativamente corta y que por lo tanto las pérdidas más sobresalientes en la transmisión de datos recaerán en los conectores. A continuación se muestra una tabla comparativa que muestra la caída de potencia en los diferentes tipos de *patch cord*.

En la tabla IX se resumen el nivel de pérdida de potencia para los conectores más utilizados.

Tabla IX. Pérdida en los conectores

Conectores	Acoplamiento	Tipo de fibra	Pérdidas en conectores dB
ST	Bayoneta	SM Y MM	0,30 SM – 0,40 MM
LC	<i>Push Pull</i>	SM Y MM	0,20 SM – 0,50 MM
FC/PC	Guía +Rosca	SM Y MM	0,20 SM – 0,15 MM
SC	<i>Push Pull</i>	SM Y MM	0,20 SM – 0,15 MM

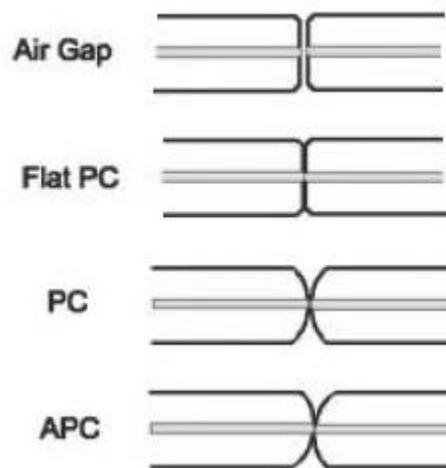
Fuente: elaboración propia.

4.6.2.6. El pulido de las ferrules

El ferrule del conector consiste en una pieza de precisión que asegura el correcto encaramiento de las fibras en una conexión. Entre los materiales típicos que se utilizan en la construcción de ferrules se encuentran: zirconio, metales, plásticos y vidrios.

El acabado de las ferrules de los conectores ópticos se realiza aplicando diversas tecnologías de pulido, denominadas habitualmente como “pulidos”. Entre ellos podemos mencionar los *NON CONTACT NC* en el que existe un separamiento entre ferrules, los de contacto físico que se subdividen en: *PC (physical contact)*, *SPC (Super Physical Contact)*, *UPC (Ultra Physical Contact)* y los *(Angled Physical Contact) APC*. En la figura 19 se muestra una imagen de los distintos tipos de ferrules.

Figura 19. Diferentes tecnologías de pulido



Fuente: MATESANZ, Miguel Ángel. Conectores para fibra óptica. p. 45.

En los modelos iniciales de ferrule no fija, que podía girar dentro de los acopladores, se preveía un espacio libre entre sus extremos (cámara de aire o Air Gap) para evitar marcas o desperfectos como consecuencia de estos movimientos.

Al contar los ST y FC con ferrules de posición fija, se procede a montar conectores de tipo PC (*Physical Contact*) para minimizar la atenuación, normalmente de pulido plano para fibra MM (multimodo) y esférico para SM (monomodo del inglés *single mode*).

Al aparecer en el mercado los sistemas de alta sensibilidad a la reflexión de señal (CATV o sistemas Telecom de alta velocidad), y con el fin de maximizar las pérdidas de retorno, se perfeccionan los sistemas de pulido, desarrollando las tecnologías SPC y UPC (con pérdidas de retorno > 45 dB y >55 dB respectivamente), mejorando los sistemas de pulido y APC (> 65 dB) que consiste en dotar al extremo esférico de la ferrule de un ángulo de 8° que desviará al revestimiento todas aquellas reflexiones que no coincidan con el modo principal.

4.6.3. Conversores a fibra óptica

Los conversores de medios y dispositivos de interface proporcionan acceso a fibras ópticas desde puntos Ethernet o serial. Se utilizan para distribuir enlaces de fibra operando a alta velocidad, pueden ser o no gestionados. Cuando son gestionados el administrador tiene la capacidad de supervisar de forma remota el estado de la red, configurar parámetros de *hardware*, generar informes de estadísticas y recibir distintas alarmas especificadas por el usuario. Las funciones de gestión pueden incluir compatibilidad con operaciones, administración y mantenimiento.

4.6.4. Panel de fibra óptica

Los paneles de fibra óptica también son conocidos como tableros de distribución de fibra. La función del *patch panel* es dar por terminado el cable de fibra óptica y facilitar el acceso a fibras individuales del cable de conexión cruzada. El panel de conexión de fibra puede utilizar cables de conexión de fibra de conexión cruzada, conectarse a equipos de comunicaciones de fibra óptica o para prueba de las fibras individuales en el cable de fibra.

Se desea para una gestión de cables más limpia, que exista la posibilidad de utilizar un cable de fibra con bandeja, para almacenar y administrar cuidadosamente excesiva longitud del cable de fibra.

Las fibras ópticas de estaciones de trabajo o de armarios de cableado de otros, finalizan en cajas de terminación. Las cajas de terminación deben proporcionar un punto de revisión para un pequeño número de conexiones, pero instalaciones más grandes tienen un lugar de conectores separados que sirven los cables de fibra entrante y saliente.

Un panel de conexión de fibra consiste de una serie de adaptadores SC dúplex, adaptadores híbridos, o *Small Form Factor* (SFF). Si la instalación completa, incluida la fibra óptica de los centros, los repetidores, o adaptadores de red, utiliza el mismo tipo de conectores de fibra óptica, la matriz puede ser de adaptadores compatibles o enchufes.

Para convertir entre los tipos de conectores de fibra, necesita un adaptador o un cable híbrido de conversión.

Un adaptador híbrido es un acoplador pasivo que une dos tipos de conectores diferentes, mientras que un cable de conversión, simplemente tiene un tipo de conector en un extremo y el otro tipo en el extremo opuesto.

Los paneles de conexión de fibra proporcionan una manera conveniente para reorganizar las conexiones del cable de fibra y de los circuitos. Un panel de conexión simple es un marco de metal que contiene los bujes en el que los conectores de cable de fibra óptica conectan a cada lado. Un lado del panel tiene una conexión fija, lo que significa que los cables de fibra no están destinados a ser desconectados. En el otro lado del panel, los cables de fibra pueden ser conectados y desconectados para organizar los circuitos según sea necesario.

En cada extremo de un enlace de FO se encuentran los distribuidores en donde se empalma cada fibra a un punto de distribución, conectorizado, denominado *PIGTAIL*. Estos están numerados y se conectan a uno de los extremos de un acoplador fijado al gabinete, a donde luego se conectarán los *jumpers* de los equipos de transmisión o de los medidores.

Poseen tapas atornilladas para tapar los conectores y, además, unos *cassettes* o bandejas donde residen los empalmes y la reserva.

Tienen además borneras de sujeción para los elementos de tracción del cable o boquillas cónicas para sujetarlo.

Van atornillados en rieles arriba y abajo en el "vertical", o en un *rack*.

4.7. Sistema de seguridad para la fibra óptica

Es necesario que cada técnico o instalador conozca a fondo y se adhiera a las pautas de seguridad definidas por su compañía o cualquier pauta fijada por el fabricante o autoridad local o nacional que sea aplicable y las normas que se establezcan para el proyecto, esto en cuanto a la instalación. Para la fibra en sí, viene cubierta por su sistema que la protege del medio en el cual se instala.

4.8. Instalación de la fibra óptica

En términos generales primero se planea la red, se proyecta, se desarrolla y finalmente se implementa.

Las actividades de instalación se encuentran bajo las normas que se establecen para cumplir con los estándares de las instalaciones en las subestaciones eléctricas además de las sugeridas para las instalaciones de fibra, por ejemplo los siguientes estándares están enfocados a funciones relacionadas con la instalación de fibra:

ESTANDAR ANSI/TIA/EIA-568-B.3-1

ANSI/ICEA S-83-596-1994

ANSI/ICEA S-87-640-2000

ANSI/TIA/EIA-526-7-1998

ANSI/TIA/EIA-526-14-A-1998

ANSI/TIA/EIA-568B.1

ANSI/TIA/EIA-598-A-1995

ANSI/TIA/EIA-604-3-1997

ANSI/TIA/EIA-606-1993

4.8.1. Especificaciones para la instalación de fibra óptica

Se requiere suministro, instalación y enlace de fibra óptica, en la forma que se describe a continuación.

Se debe realizar la conexión de los accesorios terminales de cada par de fibras y suministrar los accesorios necesarios para la conexión de los convertidores de medios.

La instalación se debe realizar empleando accesorios de montaje para instalación en la orilla de la canaleta para reducir el riesgo de daño. La misma deberá ir entubada en PVC para su protección de roedores, no debe quedar al fondo de la canaleta.

La fibra óptica deberá ser tendida en la canaleta existente de la subestación, en caso se considere necesario se podrá ampliar la canaleta.

Deben tomarse las medidas de seguridad industrial, manteniendo la canaleta cubierta y señalizando adecuadamente para evitar accidentes del personal.

No se aceptará fibra óptica con empalmes o cajas de registro intermedias, las cajas solo podrán estar en las casetas o sala de mando.

La instalación deberá ser de primera calidad, sujetando la fibra óptica en paneles para evitar el movimiento innecesario, la sujeción puede ser efectuada con cincho plástico o medio similar, pero no con cinta adhesiva o similar. Los convertidores de medios y demás módulos para convertir las señales de fibra deberán ser atornillados a los tableros, cajas o *racks*.

Se deberá colocar tramos de fibra óptica con la suficiente holgura para evitar que la fibra quede tensada.

El hilo de transmisión y el receptor debe ser identificable por medio de colores. Es indispensable identificar las fibras en cada caseta y entregar un plano con la correspondencia.

Se pueden suministrar los tramos cortados de fábrica o ser cortados de forma local. Para ambos casos se deberá utilizar el equipo y terminación adecuada para asegurar la calidad y durabilidad de la conexión. En el caso de trabajos efectuados en fábrica, se puede aceptar la garantía del fabricante siempre que este sea reconocido a nivel mundial. Para trabajos locales se deberá certificar cada enlace.

En cada caseta y en la sala de relés se debe instalar una caja apropiada para poder conectar las fibras ópticas que se utilizarán, las cuales deben ser conectorizadas.

4.8.2. Cantidad de líneas de fibra óptica

Se requiere el suministro, instalación y conexión del enlace de fibra óptica la cual deberá estar constituida por un cable que será de 16 fibras, las cuales deberán ser conectorizadas, probadas y certificadas para su operación.

4.8.3. Especificación técnica de materiales menores

Deberá considerarse el costo de los materiales menores que serán empleados en la instalación de los equipos, tales como cable de control, cable de conexión, terminales, cinta de aislar, identificadores de cableados y otros.

Los materiales deberán cumplir con los siguientes requerimientos

- a. Debe ser de marca de reconocido prestigio a nivel mundial
- b. Deberá contar con certificado de fabricación ISO 9001

4.9. Ventajas y desventajas del uso de la fibra óptica en subestaciones eléctricas

Como todo dispositivo la fibra óptica aplicada en cualquier campo incluyendo el de automatización, presenta un conjunto de ventajas y desventajas, las cuales se describen en las siguientes líneas.

4.9.1. Ventajas del uso de la fibra óptica

Dentro de las múltiples ventajas de la utilización de la fibra óptica en las subestaciones eléctricas están:

- Mayor capacidad debido al ancho de banda disponible en frecuencias ópticas.
- Inmunidad a las transmisiones cruzadas entre cables, causadas por inducción magnética.
- Inmunidad a interferencia estática a las fuentes de ruido

- Resistencia a extremos ambientales. Son menos afectadas por líquidos corrosivos, gases y variaciones de temperatura.
- La seguridad en cuanto a instalación y mantenimiento. Las fibras de vidrio y los plásticos no son conductores de electricidad, se pueden usar cerca de líquidos y gases volátiles.
- Presenta dimensiones más reducidas que los medios pre-existentes
- Posee compatibilidad con sistemas digitales
- Fácil de instalar
- Tiempos de respuesta mínimos en la reparación de daños

4.9.2. Desventajas de la fibra óptica

A pesar de las ventajas antes mencionadas, la fibra óptica presenta una serie de desventajas, siendo las más relevantes las siguientes:

- La alta fragilidad de las fibras
- Necesidad de usar transmisores y receptores más caros
- Los empalmes entre fibras son difíciles de realizar, especialmente en el campo, lo que dificulta las reparaciones en caso de ruptura del cable.
- La necesidad de efectuar, entre muchos casos, procesos de conversión eléctrica-óptica, que implica la generación de un costo adicional.

5. SISTEMA SCADA

5.1. Conceptos básicos del sistema SCADA

Los sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) son aplicaciones de *software*, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos.

Se trata de una aplicación de *software*, especialmente diseñada para funcionar sobre computadoras en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento y otros.

Cada uno de los ítems de SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de datos) involucran muchos subsistemas; por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado, otra forma podría ser que una computadora realice la adquisición vía un *hardware* especializado y luego esa información la transmita hacia un equipo de radio vía puerto serial, y así existen muchas otras alternativas.

Las tareas de supervisión y control generalmente están más relacionadas con el *software* SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc. Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el *software* brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

Generalmente se vincula el *software* al uso de una computadora o de un PLC, la acción de control es realizada por los controladores de campo, pero la comunicación del sistema con el operador es necesariamente vía computadora. Sin embargo, el operador puede gobernar el proceso en un momento dado si es necesario.

Un *software* SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de las señales de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.

- Ejecución de programas que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómata, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

Existen diversos tipos de sistemas SCADA dependiendo del fabricante y sobre todo de la finalidad con que se va a hacer uso del sistema, por ello antes de decidir cuál es el más adecuado hay que tener presente si cumple o no ciertos requisitos básicos:

- Todo sistema debe tener arquitectura abierta, es decir, debe permitir su crecimiento y expansión, así como deben poder adecuarse a las necesidades futuras del proceso y de la planta.
- La programación e instalación no debe presentar mayor dificultad, debe contar con interfaces gráficas que muestren un esquema básico y real del proceso.
- Deben permitir la adquisición de datos de todo equipo, así como la comunicación a nivel interno y externo (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de *hardware*, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables para el usuario.

5.2. Funciones principales del sistema de mando

- Supervisión remota de instalaciones y equipos: permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.
- Control remoto de instalaciones y equipos: mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual.
- Además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.
- Procesamiento de datos: el conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada y comparada con datos anteriores y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.
- Visualización gráfica dinámica: el sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.
- Generación de reportes: el sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.

- Representación de señales de alarma: a través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.
- Almacenamiento de información histórica: se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente. El tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.
- Programación de eventos: está referido a la posibilidad de escribir subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas y activación de tareas automáticas.

5.3. Transmisión de la información

Los sistemas SCADA necesitan comunicarse vía red, puertos GPIB, telefónica o satélite. Es necesario contar con computadoras remotas que realicen el envío de datos hacia una computadora central, está a su vez será parte de un centro de control y gestión de información.

Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere un medio de comunicación. Existen diversos medios que pueden ser cableados (cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico) o no cableados (microondas, ondas de radio y comunicación satelital).

Cada fabricante de equipos para sistemas SCADA emplean diferentes protocolos de comunicación y no existe un estándar para la estructura de los mensajes, sin embargo existen estándares internacionales que regulan el diseño de las interfaces de comunicación entre los equipos del sistema SCADA y equipos de transmisión de datos.

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y procedimientos que permite a las unidades remotas y central, el intercambio de información. Los sistemas SCADA hacen uso de los protocolos de las redes industriales.

La comunicación entre los dispositivos generalmente se realiza utilizando dos medios físicos: cable tendido, en la forma de fibra óptica o cable eléctrico o bien radio. En cualquiera de los casos se requiere un *MODEM*, el cual modula y demodula la señal.

Algunos sistemas grandes usan una combinación de radio y líneas telefónicas para su comunicación. Debido a que la información que se transmite sobre un sistema SCADA debería ser pequeña, generalmente la velocidad de transmisión del *modem* suele ser pequeña, muchas veces 300 bps (*bits* de información por segundo) es suficiente.

Pocos sistemas SCADA, excepto en aplicaciones eléctricas, suelen sobrepasar los 2 400 bps, esto permite que se pueda usar las líneas telefónicas convencionales, al no superar el ancho de banda físico del cable.

5.4. Comunicación entre dispositivos

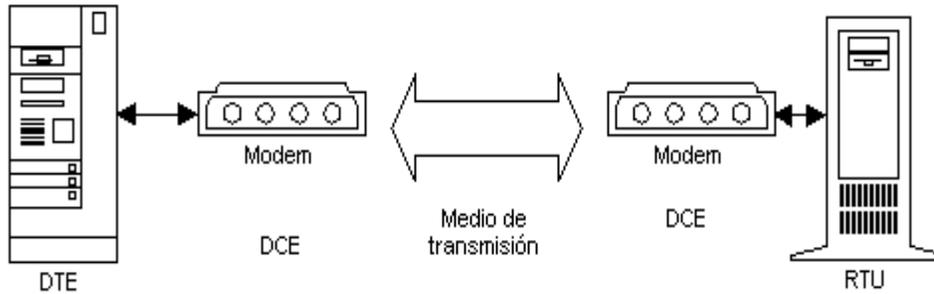
En una comunicación deben existir necesariamente tres elementos:

- Un medio de transmisión, sobre el cual se envían los mensajes
- Un equipo emisor que puede ser el MTU (*Master Terminal Unit*)
- Un equipo receptor que se puede asociar a los RTU

En telecomunicaciones, el MTU y el RTU son también llamados Equipos Terminales de Datos (DTE, *Data Terminal Equipments*). Cada uno de ellos tiene la habilidad de generar una señal que contiene la información a ser enviada. Asimismo, tienen la habilidad para descifrar la señal recibida y extraer la información, pero carecen de una interfaz con el medio de comunicación.

Los módems, llamados también Equipo de Comunicación de Datos (*DCE, Data Communication Equipments*), son capaces de recibir la información de los DTE, hacer los cambios necesarios en la forma de la información y enviarla por el medio de comunicación hacia el otro DCE, el cual recibe la información y la vuelve a transformar para que pueda ser leído por el DTE. La figura 20 muestra la conexión de los equipos con las interfaces para el medio de comunicación.

Figura 20. **Esquema de conexión de equipos e interfaces de comunicación**



Fuente: MENDIBURU DÍAZ, Henry. Sistemas SCADA. p. 4.

5.5. Elementos del sistema de mando

Un sistema SCADA está conformado por:

Interfaz Operador Máquina: es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta. Permite la interacción del ser humano con los medios tecnológicos implementados.

Unidad Central (MTU): conocido como Unidad Maestra. Ejecuta las acciones de mando (programadas) con base en los valores actuales de las variables medidas.

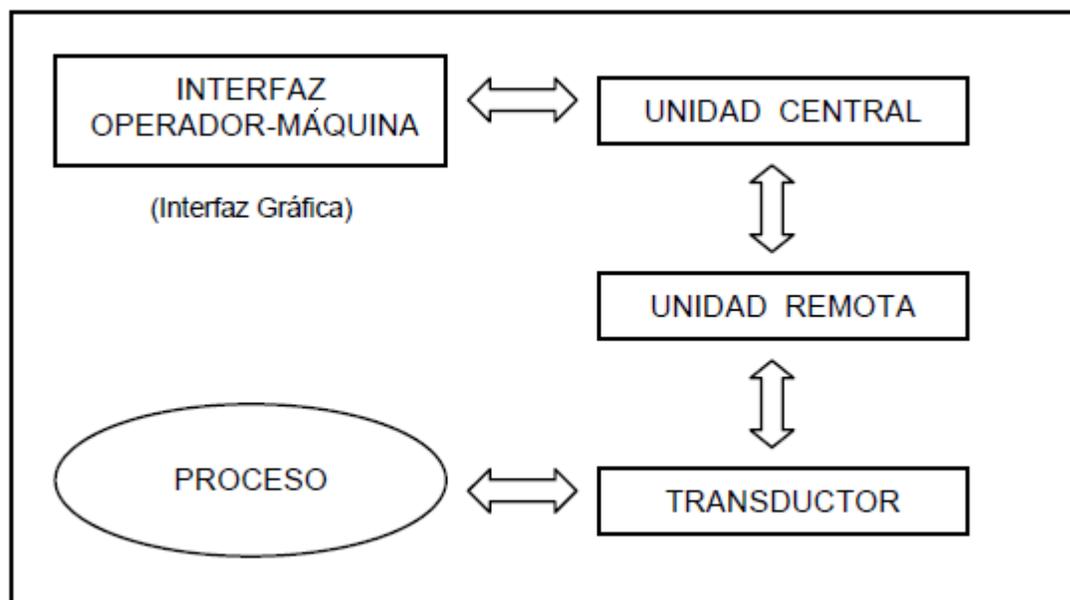
La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.). También se encarga del almacenamiento y proceso ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Unidad Terminal Remota (RTU): lo constituye todo elemento que envía algún tipo de información a la unidad central. Es parte del proceso productivo y necesariamente se encuentra ubicada en la planta.

Sistema de Comunicaciones: se encarga de la transferencia de información del punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación.

Transductores: son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa). Su calibración es muy importante para que no haya problema con la confusión de valores de los datos. En la figura 21 se muestra el esquema del sistema SCADA.

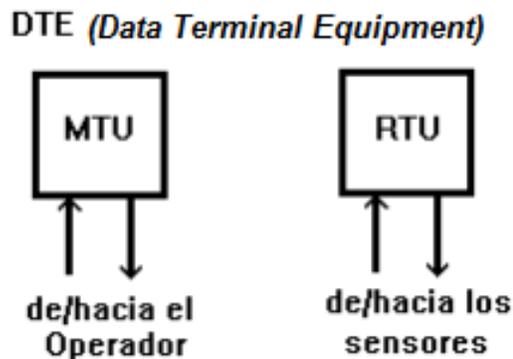
Figura 21. **Esquema de los elementos de un sistema SCADA**



Fuente: MENDIBURU DÍAZ, Henry. Sistemas SCADA. p. 5.

En la figura 22 se observa un esquema referente a las conexiones del MTU operador y del RTU con los dispositivos de campo (sensores, actuadores).

Figura 22. **Esquema del conexionado para el MTU y el RTU**



Fuente: MENDIBURU DÍAZ, Henry. Sistemas SCADA. p. 5.

La RTU es un sistema que cuenta con un microprocesador e interfaces de entrada y salida tanto analógicas como digitales, que permiten tomar la información del proceso provista por los dispositivos de instrumentación y control en una localidad remota y, utilizando técnicas de transmisión de datos, enviarla al sistema central.

Un sistema puede contener varios RTU, siendo capaz de captar un mensaje direccionado hacia él, decodificando lo actuado, respondiendo si es necesario y esperar por un nuevo mensaje.

La MTU, bajo un *software* de control, permite la adquisición de la *data* a través de todas las RTU ubicadas remotamente y brinda la capacidad de ejecutar comandos de control remoto cuando es requerido por el operador.

Normalmente el MTU cuenta con equipos auxiliares como impresoras y memorias de almacenamiento, las cuales son también parte del conjunto MTU.

En muchos casos el MTU debe enviar información a otros sistemas o computadoras. Estas conexiones pueden ser directas y dedicadas o en la forma de una red LAN.

La conexión entre la RTU y los dispositivos de campo es muchas veces realizado vía conductor eléctrico. Usualmente el RTU provee la potencia para los actuadores y sensores y algunas veces éstos vienen con un equipo de soporte ante falla en la alimentación de energía (UPS, *uninterruptible power supply*).

La *data* adquirida por la MTU se presenta a través de una interfaz gráfica en forma comprensible y utilizable y más aun esta información puede ser impresa en un reporte.

5.6. Período de escaneo

Uno de los aspectos importantes que debe ser considerado, es el tiempo de escaneo de los RTU por el MTU, que se define como el tiempo que demora el MTU en realizar una comunicación con cada uno y todos los RTU del sistema. Uno de los factores que determina el tiempo de escaneo es el número de RTU, en general a mayor número de RTU mayor el tiempo de escaneo. Un segundo factor a ser considerado es la cantidad de datos a ser transmitido el cual puede variar entre un par de estados a cientos de estados lo cual incrementa el tiempo de escaneo.

Otro factor importante es el número de *bits* por segundo que puede soportar el medio de transmisión el cual determina el material del medio y el tipo de modulación.

Así como el MTU busca y encuentra cada RTU, el RTU busca y encuentra cada sensor y actuador a los cuales está conectado. Esta búsqueda se realiza a mucha mayor velocidad del MTU hacia los RTU.

5.7. Dispositivos de campo y cableado

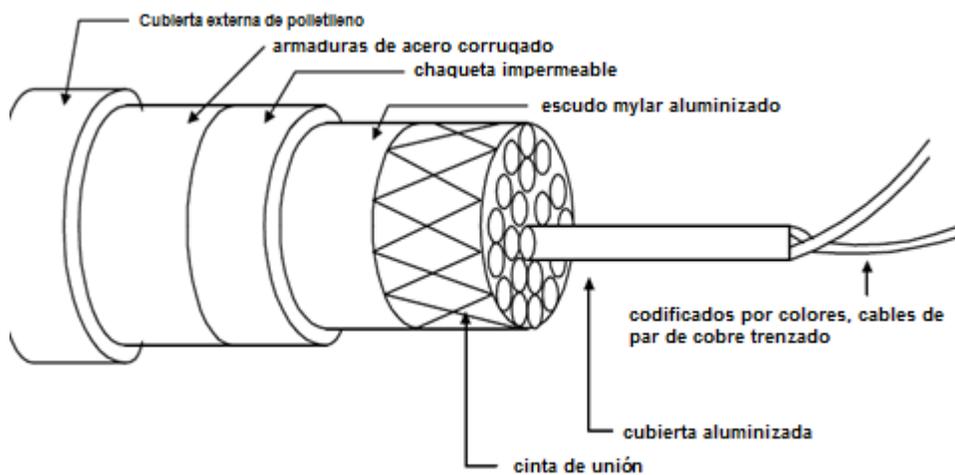
Los dispositivos de campo con los que se dispone en un sistema SCADA son de diversos tipos y en cada uno de ellos existen parámetros de selección, desde el rango de trabajo, precisión, dimensiones, precio, etc., los cuales hacen que cada sistema sea un caso particular aunque todos ellos tienen siempre características comunes.

Otro punto importante es que un sensor cuya lectura puede ser leída directamente por el operador humano, generalmente cuesta menos que un sensor cuya lectura debe ser leído por un RTU, esto es sencillamente por el sistema de acondicionamiento que debe ser usado.

Aún más, un costo adicional debe ser incorporado por el cableado de los equipos hacia el RTU. Alambre de cobre es usado generalmente, porque las señales son generalmente de bajo voltaje. En muchas aplicaciones, un blindaje debe ser adicionado sobre el hilo de cobre para prevenir interferencia electromagnética o ruido sobre la señal.

Esto generalmente se manifiesta como un recubrimiento de PVC flexible sobre los conductores. Un corte de un cable típico de fibra óptica se observa en la figura 23.

Figura 23. Corte de un conductor flexible



Fuente: MENDIBURU DÍAZ, Henry. Sistemas SCADA. p. 8.

Generalmente los dispositivos de campo no suelen tener borneras suficientes como para poder realizar todos los empalmes necesarios para el funcionamiento del sistema, deben utilizarse cajas de paso o cajas terminales donde se pueden realizar las uniones de los puntos que se desean empalmar.

Muchas veces los cables deben llegar al RTU y salir de él, en ese caso siempre se tiene un tablero de conexiones cerca al equipo que puede incluir pequeños elementos de mando y supervisión como *displays*, pulsadores, *leds* indicadores e inclusive albergar otros dispositivos como fuentes y dispositivos de protección y control auxiliar.

Todos estos dispositivos deben estar debidamente documentados. Esto se realiza mediante planos y manuales de instrucciones. Además todas las licencias, *software* y protocolos de operación deben ser adjuntados.

El costo de los trabajos de ingeniería puede llegar a representar el 50% del costo total del proyecto a diferencia de proyectos no automatizados donde puede llegar a 10% o 15%.

Los requerimientos de mantenimiento para un sistema SCADA no son muy diferentes de los requerimientos de mantenimiento de otra alta tecnología de sistemas de control. Los equipos de comunicación, módems, radio y *drivers* de protocolo no son la excepción. Calibración, validación y servicio de estos equipos requieren equipo especial y entrenamiento de personal calificado. Este tipo de servicio suele ser muy especializado y uno debe prever este tipo de gastos de mantenimiento.

Los sensores y actuadores generalmente tienen un comportamiento en donde su eficiencia va disminuyendo con respecto al tiempo debido a efectos de desgaste y condiciones ambientales.

En conclusión el mantenimiento de ésta clase de sistemas suele depender de la magnitud del proyecto pero en general se debe brindar un mantenimiento general regular una o dos veces al año mínimo, donde se verifiquen los parámetros de calibración, se realicen pruebas dinámicas y estáticas a los equipos y se observe el estado físico de los mismos.

A continuación se muestra una lista de algunos programas SCADA y su fabricante:

- Aimax Design Instruments S. A.
- CUBE Orsi España S. A.
- FIX Intellection
- Lookout National Instruments
- Monitor Pro Schneider Electric
- SCADA In Touch LOGITEK
- SYSMAC SCS Omron
- Scatt Graph 5000 ABB
- WinCC Siemens
- Coros LS-B/Win Siemens
- CIRNET CIRCUTOR S.A.
- FIXDMACS Omron-Intellution
- RS-VIEW32 Rockwell
- GENESIS32 Iconics

5.8 Pruebas funcionales, parametrización y desempeño

El objetivo de estas pruebas es evaluar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de la obra. Se deberán realizar pruebas con la entidad ejecutora del proyecto para verificar la buena operación del área de control, verificando el cumplimiento de los requisitos como la interoperabilidad para los protocolos IEC 60870-5-101 y DNP 3.0 sobre TCP/IP, además de chequear la precisión para los módulos de entradas analógicas y los módulos de medición y la operación utilizando las funciones para redirigir consignas desde un sistema máster SCADA hacia los sistemas que se requiera.

Se deben tener los ajustes de protección de los relevadores, se programará y pondrá en servicio mediante la ejecución de pruebas,

Se debe efectuar diferentes pruebas operativas y maniobras a los equipos primarios por medio del tablero de protección, control y medición, en sus cuatro niveles de operación, llevando un control detallado de la ejecución del resultado, verificando enclavamientos y operaciones tales como los disparos de los relevadores y protecciones propias del transformador.

El personal de subestaciones procederá a efectuar pruebas de apertura y cierre de seccionadores e interruptores, arranque de ventiladores, de todo lo relacionado con el tablero, de los resultados de estas pruebas se harán peticiones específicas al contratista que deberán ser atendidas tan pronto como sea posible y previo a la energización del transformador.

Programar la RTU, relevadores, medidores o cualquier equipo relacionado para transmitir alarmas, posiciones, medidas y estado de cada campo a la unidad terminal remota de la subestación.

Programar el integrador de comunicaciones para interrogar los relevadores de protección.

CONCLUSIONES

1. La fibra óptica en la actualidad juega un papel importante dentro de la rama de las comunicaciones y enlaces de datos, debido que en ocasiones es más barata que un sistema satelital e incluso que un sistema inalámbrico para determinado tipo de información que se desea enviar.
2. Las características de la fibra óptica permiten aplicaciones de las que actualmente están siendo explotadas en el área de alta tensión, como la inmunidad que este medio presenta a la inducción electromagnética que sufren el medio convencional de cobre y además brinda propiedades que permiten el aumento de las capacidades y velocidades de transmisión de datos. Es por ello que la fibra óptica va a la vanguardia en el mundo de las comunicaciones, ya que se podrá tener todo tipo de comunicación desde cualquier parte de donde nos encontremos.
3. Es importante hacer saber que la automatización de las subestaciones eléctricas produce una respuesta inmediata a las condiciones de falla, ya que un sistema bien diseñado permite la versatilidad de operación e inclusive mejora la capacidad de mantenimiento además de ser una solución que da respuesta a las necesidades en las que se dan eventos repentinos de la red.

4. La automatización es un proceso preciso, en el que surgen situaciones inesperadas, y por ello ha de organizarse de manera flexible: deben clarificarse las fases e ir evaluando el proceso, aspectos que resultan muy importantes para hacer las correcciones oportunas y obtener soluciones que puedan servir para futuros proyectos.
5. El sistema de automatización presenta las ventajas de los programas que utilizan un *hardware* y *software* capaz de soportar interfaces de diferentes tipos y los protocolos que actualmente se utilizan en la subestación, además la capacidad de integrarse al sistema SCADA y una mayor ergonomía para el usuario.
6. La interconexión de todas las sedes permite crear un modelo mecanizado para atención del sistema eléctrico partiendo de un modelo integral de gestión institucional, que nos es muy útil, sin sobrecarga de tiempo ni de trabajo.
7. Los sistemas para el enlace de fibra mencionados presentan ventajas desde el punto de vista de su simplicidad en el uso de *software* y *hardware* además de mantenimiento y escalabilidad en los sistemas existentes en la subestación Guatemala Sur.

RECOMENDACIONES

1. La pérdida de señal debe ser adecuada a la pérdida esperada en la instalación de la fibra óptica y las características dinámicas deben cumplir los requisitos establecidos por el ancho de banda de la red en la transmisión de datos.
2. Deben ajustarse los niveles de potencia en la transmisión de la señal para prevenir la atenuación así como la saturación en la recepción.
3. Es importante que se realicen las pruebas de continuidad utilizando una fuente de luz o también llamados probadores de continuidad visual, que consiste en un sencillo instrumento que emite luz a través de la fibra y su resultado se recoge en el extremo de la misma, permitiendo medir la diferencia entre la luz emitida y la recibida.
4. La contaminación en los conectores de fibra puede producirse por la presencia de polvo, grasas o geles. En el aire flotan partículas diminutas cargadas de electricidad estática y polvo que pueden posarse en las terminaciones no protegidas. Es frecuente el error de dar por sentado que los conectores del cable están limpios cuando se extraen de las bolsas selladas, por lo que es apropiado que cada terminal de fibra sea limpiada, utilizando disolventes que ayudan a evitar cargas estáticas y la atracción del polvo, además de establecer un mantenimiento preventivo adecuado.

5. Todo el personal que realice labores de instalación del sistema de control con tecnología de RTU, fibra óptica, sistema SCADA y otros involucrados en la instalación, debe estar debidamente entrenado para minimizar el riesgo de cometer errores de configuración que puedan traer como consecuencia la indisponibilidad del sistema de supervisión.

6. Es trascendente la participación del personal del INDE en el mantenimiento, el diseño, pruebas y puesta en servicio de los sistemas a instalarse velando por el cumplimiento de las normas y seguridad industrial para el efecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. CABALLEROS, Héctor. *Entrevista*. San José Villa Nueva, Guatemala. Subestación Guate-Sur INDE, agosto 2010.
2. COLE, Barry. *An introduction to IEC 60870-5-101, a standard for telecontrol of Electric Power Transmission Systems, using Internet Communication Services* [en línea]. Texinfo GBC Report 011-2 [Florida, USA] Enero 2003. [ref. febrero 2010] Disponible en Web: <http://www.trianglemicroworks.com/>.
3. CONTRERAS, C. Carlos; HERNÁNDEZ R., Elicio. *Sistemas de Control en Subestaciones de Alta Tensión del Control Convencional al Control Numérico* [en línea]. Mayo 2008. [ref. noviembre 2009] Disponible en Web: <http://code.google.com/p/proyecto-nr/downloads/list>.
4. Enersis. *Especificación técnica: sistema digital Automatización de Subestaciones* [en línea]. Rev. 0. Brasil: Gerencia de procesos técnicos. Mayo 2002. [ref. abril 2009] Disponible en Web: https://www.coelce.com.br/media/46409/coelce_normas_corporativas_20060620_323.pdf.
5. Euroamericana. *Fibra óptica* [en línea]. Vega Baja, Puerto Rico. Febrero 2004. [ref. enero 2009] Disponible en Web: http://usuarios.lycos.es/fibra_Optica/comparacion.htm.

6. GÁMEZ, Norman. *Entrevista*. San José Villa Nueva, Guatemala. Subestación Guate-Sur INDE, agosto 2010.
7. GE Power Management. *Substation Automation UR applications 1 Course*. Ver. 2.2. USA: GE Power Management, 2000. 78 p.
8. INDE. Licitación TDR ECTE_E0354_OElectromecanicaBanco5GS, V01, agosto 2009.
9. Instituto Costarricense de Electricidad. *Unidades terminales remotas para Centro Nacional de Control de Energía*. San José: IEC, 2010. 89 p.
10. MARAL, G. *VSAT Network*. New York: John Wiley & Sons, 2003. 122 p.
11. MARTÍN, José Raúl. *Diseño de subestaciones eléctricas*. 2a ed. México: UNAM, 2000. 545 p. ISBN 968-36-8303-7.