

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**Instituto Costarricense de Electricidad  
ICE**

**“Selección de Plataforma de Comunicación Digital para  
Sistemas de transmisión de Potencia”**

**Informe de Proyecto de graduación para optar por el Grado de Bachiller en  
Ingeniería Electrónica**

**William A. Gutiérrez Sandí.**

**CARTAGO - 2000**

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a mis padres William y Luz María,  
pues ellos fueron quienes forjaron en mí los valores,  
el deseo de lucha y superación y me  
ayudaron a ser quien soy.*

## **AGRADECIMIENTO**

Primero a Dios por darme la salud y fortaleza para haber llevado acabo esta empresa, después a mi familia, mi papá William, mi mamá Luz María a mis hermanos Federico y Francisco con quienes he compartido tristezas y alegrías en esta lucha.

Agradezco sinceramente a mi padrino Sr. Miguel A. Sandí por haberme brindado siempre su consejo y apoyo desinteresado en todo momento, motivándome para triunfar. A mi prima Rosario quien gracias a su ayuda logre cumplir a tiempo con compromisos para realizar este trabajo. A mis tíos Gerardo Sandí y Leandro Gutiérrez quien en momentos difíciles y de gran responsabilidad siempre estuvieron a mi lado.

Además agradezco al señor Bach. Rolando Álvarez quien me brindó su confianza, respeto, motivación y apoyo en todo momento alentándome por cada pequeño logro que juntos conseguíamos. Al señor Ing. Armando Muñoz quien me brindó la confianza para realizar el proyecto en este departamento.

Al personal del Proceso de Explotación Central, de quienes lindas muestras de apoyo recibí, a Marjorie, Noemi, Ing. Alejandro Mata y todos los que allí laboran.

A mi profesor asesor Ing. Faustino Montes de Oca quien me ha orientado y colaborado en el desarrollo de los objetivos planteados. Al grupo docente de la Escuela de Ingeniería Electrónica por transmitir sus conocimientos y ayudar a forjarme profesionalmente.

A la señora Licda. María Félix Murillo quien siempre tuvo la paciencia y comprensión para tratar de motivarnos en las labores estudiantiles y personales.

Con cariño a todos mis compañeros de las residencias estudiantiles y doña Ana con quienes todos estos años he compartido triunfos y decepciones y quienes hemos sido como una familia.

A todas aquellas personas que de una u otra manera siempre me brindaron su cariño, respeto, apoyo y motivación para no desfallecer en esta lucha; a todos muchas gracias.

## INDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>19</b>
1.1	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	19
1.1.1	<i>Creación del Instituto Costarricense de Electricidad.....</i>	<i>19</i>
1.1.2	<i>Historia de la industria eléctrica en Costa Rica.....</i>	<i>20</i>
1.1.3	<i>Descripción del departamento donde se realizará el proyecto de graduación.....</i>	<i>23</i>
1.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y SU IMPORTANCIA .....	28
1.3	OBJETIVOS .....	32
1.3.1	<i>Objetivo General.....</i>	<i>32</i>
1.3.2	<i>Objetivos Específicos .....</i>	<i>32</i>
<b>2</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>34</b>
2.1	ANTECEDENTES.....	34
2.2	ESTUDIO DEL PROBLEMA A RESOLVER.....	35
2.2.1	<i>Problema por resolver .....</i>	<i>35</i>
2.2.2	<i>Ambiente donde se desarrollará el proyecto.....</i>	<i>35</i>
2.2.2.1	<i>Sistema eléctrico de potencia.....</i>	<i>35</i>
2.2.2.2	<i>La subestación .....</i>	<i>36</i>
2.2.3	<i>Requerimientos particulares de los elementos integrantes de los sistemas de protección.....</i>	<i>37</i>

2.2.3.1	Transformadores de corriente .....	38
2.2.3.2	Transformadores de potencial.....	39
2.2.3.3	Interruptores.....	41
2.2.4	<i>Otros aspectos asociados a la protección de la red de transmisión .....</i>	<i>41</i>
2.2.4.1	Configuración de barras.....	41
2.2.4.2	Interruptores.....	42
2.2.4.3	Duplicidad de elementos.....	42
2.2.4.4	Protección contra sobrevoltaje.....	43
2.2.4.5	Relevadores auxiliares de disparo y bloqueo .....	43
2.2.4.6	Teledisparo .....	43
2.2.5	<i>Sistemas especiales de protección.....</i>	<i>44</i>
2.2.5.1	Localización de fallas .....	44
2.2.5.2	Registro oscilográfico .....	44
2.2.6	<i>Sistemas de comunicación.....</i>	<i>45</i>
2.3	ASPECTOS TÉCNICOS .....	46
2.4	REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA .....	46
2.5	SOLUCIÓN PROPUESTA .....	47
<b>3</b>	<b>PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>52</b>
3.1	LISTA DE ACTIVIDADES A REALIZADAS.....	52
<b>4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS OPCIONES QUE EL MERCADO OFRECE EN EQUIPO</b>	

<b>TERMINAL Y MEDIO DE TRANSMISIÓN.....</b>	<b>56</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN Y ACCESORIOS .....	56
4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MULTIPLEXORES DE TECNOLOGÍA SDH.....	59
<b>5 MATERIAL TÉCNICO PARA CAPACITACIÓN DEL PERSONAL .....</b>	<b>63</b>
5.1 MANUALES ELABORADOS .....	63
5.1.1 <i>Manual 1</i> .....	65
5.1.2 <i>Manual 2</i> .....	65
5.1.3 <i>Manual 3</i> .....	66
5.1.4 <i>Manual 4</i> .....	68
5.1.5 <i>Manual 5</i> .....	70
5.1.6 <i>Manual 6</i> .....	70
5.1.7 <i>Manual 7</i> .....	71
5.1.8 <i>Manual 8</i> .....	72
5.1.9 <i>Manual 9</i> .....	72
5.1.10 <i>Manual 10</i> .....	74
5.2 LIBROS RECOMENDADOS .....	75
<b>6 ESPECIFICACIONES DE MEDIO DE TRANSMISIÓN Y EQUIPOS DE OPERACIÓN. 77</b>	
6.1 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN Y ACCESORIOS .....	79
6.1.1 <i>Características generales</i> .....	79

6.1.1.1	Generalidades .....	79
6.1.1.2	Fibras .....	80
6.1.1.2.1	Especificaciones de la fibra .....	80
6.1.1.2.2	Recubrimiento primario.....	81
6.1.1.2.3	Doblado de las fibras – fibras recubiertas.....	81
6.1.1.2.4	Marcado de las fibras.....	81
6.1.1.3	Diseño del cable.....	84
6.1.1.3.1	General .....	84
6.1.1.3.2	Compuesto de relleno .....	85
6.1.1.3.3	Capa conductora.....	85
6.1.1.4	Requerimientos de transmisión.....	86
6.1.1.4.1	Diámetro del campo modal.....	86
6.1.1.4.2	Atenuación.....	86
6.1.1.4.3	Longitud de onda de corte .....	86
6.1.1.4.4	Dispersión.....	87
6.1.1.5	Requerimientos eléctricos.....	87
6.1.1.5.1	Corriente de corto circuito.....	87
6.1.1.5.2	Impacto de rayo .....	88
6.1.1.6	Características mecánicas .....	89
6.1.1.6.1	General .....	89

6.1.1.6.2	Doblado del cable .....	89
6.1.1.6.3	Temperatura.....	89
6.1.1.7	Herrajes.....	89
6.1.1.7.1	General .....	89
6.1.1.7.2	Requerimientos mecánicos.....	90
6.1.1.7.3	Requerimientos eléctricos.....	92
6.1.1.8	Pruebas de tipo.....	92
6.1.1.8.1	Fibras.....	93
6.1.1.8.2	Cable.....	93
6.1.1.8.3	Herrajes .....	96
6.1.1.9	Pruebas a muestras.....	97
6.1.1.9.1	General .....	97
6.1.1.9.2	Prueba cíclica de temperatura.....	99
6.1.1.10	Aprobación de tipo.....	100
6.1.1.10.1	Generalidades .....	100
6.1.1.10.2	Documentación.....	100
6.1.1.11	Envío.....	104
6.1.1.11.1	Pruebas de envío.....	105

6.1.2 *Especificaciones técnicas particulares OPGW. (conductor para hilo de tierra al tipo DOTTEREL)* 105

6.1.2.1	Características eléctricas .....	105
6.1.2.2	Características mecánicas .....	106
6.1.2.3	Tablas de flechado .....	106
6.1.2.4	Longitud del cable en los carretes .....	106
6.1.3	<i>Otros servicios y materiales</i> .....	106
6.1.3.1	Supervisión de la instalación .....	106
6.1.3.2	Curso de capacitación en la instalación del cable .....	107
6.1.3.3	Curso de capacitación en empalmes y pruebas a las fibras ópticas .....	108
6.1.3.4	Equipo y herramientas necesarias para realización de los empalmes y pruebas .....	109
6.2	ESPECIFICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA USADAS PARA LA TELEPROTECCIÓN. ....	109
6.2.1	<i>Normas aplicables</i> .....	109
6.2.2	<i>Características de las fibras</i> .....	110
6.2.2.1	Fibra monomodo estándar .....	110
6.2.2.2	Especificaciones de la fibra .....	110
6.2.2.3	Recubrimiento primario .....	111
6.2.2.4	Doblado de las fibras – fibras recubiertas .....	111
6.2.2.5	Marcado de las fibras .....	111
6.2.2.6	Diámetro del campo modal .....	112
6.2.2.7	Atenuación .....	112
6.2.2.8	Atenuación en el intervalo de longitud de onda .....	113

6.2.2.8.1	Atenuación en el intervalo de longitud de onda 1285 – 1330 nm.....	113
6.2.2.8.2	Atenuación en el intervalo de longitud de onda 1530 – 1570 nm.....	113
6.2.2.9	Longitud de onda de corte.....	113
6.2.2.10	Dispersión.....	113
6.2.3	<i>Pruebas a realizar sobre la fibra</i> .....	114
6.2.3.1	Pruebas de tensión .....	114
6.2.3.2	Prueba de longitud de onda de corte .....	114
6.2.3.3	Prueba del revestimiento primario .....	114
6.2.3.4	Doblado .....	114
6.2.4	<i>Pruebas a muestras</i> .....	115
6.2.4.1	General .....	115
6.2.4.2	Prueba cíclica de temperatura .....	116
6.3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA EQUIPO TERMINAL DE PROTECCIONES. ....	117
6.3.1	<i>Terminología</i> .....	117
6.3.2	<i>Transmisor / receptor de línea óptico</i> .....	118
6.3.3	<i>Interfaces de señales</i> .....	119
6.3.4	<i>Multiplexor flexible</i> .....	119
6.3.5	<i>Distribuidor óptico</i> .....	120
6.3.6	<i>Requisitos indispensables</i> .....	121

6.3.7	<i>Otros servicios y materiales</i> .....	121
6.3.7.1	Supervisión de la instalación .....	121
6.3.7.2	Curso de capacitación en la instalación de los equipos terminales .....	122
6.3.7.3	Equipo y herramientas necesarias para realización de los empalmes y pruebas .....	123
<b>7</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	<b>125</b>
7.1	EXPLICACIÓN DEL DISEÑO .....	125
7.2	ALCANCES Y RESULTADOS .....	128
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>132</b>
8.1	CONCLUSIONES .....	132
8.2	RECOMENDACIONES .....	133
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>136</b>
<b>10</b>	<b>APÉNDICES</b> .....	<b>139</b>
10.1	SIGLAS COMUNES UTILIZADAS EN EL DOCUMENTO .....	139
10.2	NORMATIVA INTERNACIONAL .....	140
10.3	PORTADA DE LOS DIFERENTES MANUALES CONFECCIONADOS .....	148
<b>11</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>160</b>
11.1	DISTINTOS PROVEEDORES DE CABLE OPGW .....	160
11.2	I.C.E. GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	161
11.2.1	<i>PLANTAS HIDROELÉCTRICAS</i> .....	<i>161</i>

<i>11.2.2 PLANTAS TÉRMICAS</i> .....	<i>163</i>
<i>11.2.3 PLANTAS GEOTERMOELÉCTRICAS</i> .....	<i>164</i>
<i>11.2.4 PLANTAS MENORES</i> .....	<i>165</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Organigrama General de la Corporación ICE .....	27
Figura 1.2	Organigrama General del Proceso de Explotación Central .....	28
Figura 1.3	Diagrama simplificado de la futura red de subestaciones eléctricas .....	32
Figura 2.1	Diagrama simplificado de los equipos en una subestación .....	49
Figura 4.1	Estructura de construcción de un cable OPGW.....	57

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 4.1	Comparación de especificaciones técnicas de equipos de multiplexación SDH.....	58
Tabla 5.1	Listado de manuales confeccionados .....	62
Tabla 6.1	Listado de especificaciones .....	78
Tabla 6.2	Código de colores de alojamiento de 8 hilos.....	79
Tabla 6.3	Código de colores de alojamiento de 48 hilos.....	79
Tabla 6.4	Parámetros de comportamiento del cable.....	84
Tabla 6.5	Rangos de temperatura .....	85
Tabla 6.6	Código de colores de alojamiento para fibra de teleprotección de 12 hilos .....	105

## Resumen

El desarrollo de las comunicaciones eléctricas ha permitido que las labores sean realizadas en forma más automatizada, ahorrando tiempo y dinero a las compañías.

En el presente trabajo se describen los requerimientos técnicos necesarios para poder implementar una plataforma de comunicación digital. Tres temas fundamentales se plantean en él.

El primero es referente al medio de transmisión, el cual es cable OPGW un conductor eléctrico que en su interior contiene cables de fibras ópticas y su exterior es el hilo guarda que protege las líneas de alta tensión que transportan el fluido eléctrico de una subestación a otra. En el interior del documento se plantean las especificaciones técnicas que debe cumplir dicho medio.

El segundo tema es referente a los equipos terminales y demás accesorios. En los apartados relacionados con el tema se comparan diferentes equipos presentes en el mercado y se especifican también las características que deben de cumplir los dispositivos.

Finalmente se realiza un resumen de cada uno de los manuales elaborados para la capacitación del personal del área sobre temas de telecomunicaciones y telemática.

Palabras claves: **OPGW, Multiplexor, TN-1U, WaveStar™, Subestación, Interfaces**

## Summary

The development of the electrical communications let's the tasks be done in a more automated way, saving time and money to the companies.

In this document, the technical requirements to implement a digital communications platform are described. Three fundamental topics are covered.

The first one is regarding the transmission media, which is OPGW cable, and electrical conductor that contains fiber optic cables in its interior, and its exterior is the guard fiber that protects the high voltage lines that transport the electrical flow from a substation to another. In the interior of the document are showed the technical specifications that this media must comply.

The second topic is regarding the terminal equipment and other accessories. In the chapters related with the topic, different equipment available in market are compared, and also the characteristics that the devices must comply with are specified.

Finally, there is a summary of each one of the manuals developed for people training purposes, about topics related to telecommunications.

Keywords: **OPGW, Multiplexor, TN-1U, WaveStar™, Substation, Interfaces**

**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUCCIÓN**

# **1 Introducción.**

## **1.1 Descripción de la empresa.**

### **1.1.1 Creación del Instituto Costarricense de Electricidad**

El Instituto Costarricense de Electricidad (I.C.E.) fue creado el 8 de abril de 1949, mediante el Decreto Ley número 449, como resultado de una larga lucha librada por varias generaciones de costarricenses en procura de una solución definitiva al problema de la escasez de energía y en apego de la soberanía nacional en el campo de explotación de los recursos hidroeléctricos del país.

El I.C.E. se creó como institución autónoma encargada del desarrollo de las fuentes productoras de energía eléctrica del país mediante la construcción y puesta en servicio de más plantas de energía hidroeléctrica, con sus correspondientes redes de distribución.

Solucionar el problema de escasez de energía eléctrica del país, mediante la construcción y puesta en servicio de más plantas de energía hidroeléctrica, con sus correspondientes redes de distribución.

Promover el desarrollo del país mediante el uso de la energía eléctrica, como fuente de fuerza motriz.

Procurar la utilización racional de los recursos naturales y terminar con su explotación destructiva e indiscriminada.

Conservar y defender los recursos hidráulicos del país, mediante la protección de las cuencas, las fuentes, los causes de los ríos y las corrientes de agua.

Hacer de sus procedimientos técnicos, administrativos y financieros, modelos de eficiencia capaces de garantizar el buen funcionamiento del Instituto y que sirvan de norma para otras actividades costarricenses.

Cabe mencionar, que el I.C.E. no absorbió a la empresa extranjera desde un principio; ambos sistemas coexistieron hasta 1967. Pero es claro que a partir de la creación del I.C.E. con la puesta en operación de sus plantas generadoras de energía, el país pudo dirigir su desarrollo eléctrico de acuerdo con sus propias necesidades sociales y económicas.

### **1.1.2 Historia de la industria eléctrica en Costa Rica**

Según la información suministrada por el folleto titulado I.C.E., 4Ed. San José, Costa Rica, I.C.E., 1997, pág 2-16. La primera planta generadora de electricidad instalada en nuestro país fue la planta hidroeléctrica de Aranjuez, que se ubicó en San José y la construyó el costarricense Ing. Manuel Víctor Dengo Bertora, quien fue ayudado por el guatemalteco don Luis Batres Díaz Granados.

Esta planta entra en servicio el 9 de agosto de 1884; apenas dos años después de haberse inaugurado la primera planta hidroeléctrica del mundo, en Nueva York, Estados Unidos. La planta de Aranjuez, tuvo una capacidad de potencia de 50 kilovatios (kW) y se utilizó para el primer servicio de alumbrado público incandescente de la ciudad capital. El funcionario obtuvo buenos resultados, lo que motivo la construcción de tres plantas hidroeléctricas: una sobre el río Torres, con una potencia de 200 kW; otra en Río Segundo de Alajuela, con una capacidad de potencia de 100 kW y la tercera en Porrosati de Santa Bárbara de Heredia con una potencia de 400 kW.

En 1900, el empresario norteamericano Minor C. Keith, quién había financiado algunas de las plantas mencionadas, instaló la empresa The Costa Rica Electric Light and Traction Company, que puso en servicio la planta hidroeléctrica Brasil en 1912, con una capacidad de potencia de 1000 kW. Un año antes, don Felipe J. Alvarado fundó la Compañía Nacional de Electricidad, que construyó la planta Belén, con 2500 kW de potencia. En 1912 y 1922, las dos empresas realizaron ampliación en ambas plantas por un total de 1400 kW.

En 1922 surgió una tercer empresa, la Compañía Nacional Hidroeléctrica S.A, la cual levantó sobre el río Virilla la planta Eléctrica, con una capacidad de potencia de 2720 kW.

El esfuerzo de estas compañías permitió incrementar la capacidad generadora de electricidad del país. Sin embargo, sus accionistas no tenían el capital suficiente para implementar un programa de construcción que satisficiera el acelerado crecimiento de la demanda de energía eléctrica en aquel momento. Desde 1928 las actividades de estas tres empresas fueron controladas por la American Foreign Power Company Incorporated, subsidiaria de la Electric Bond and Share Company (EBASCO), pues esta compró la mayor parte de las acciones.

Se efectuó así un monopolio de la industria eléctrica en costa Rica, interesado principalmente en obtener dividendos y no en buscar soluciones para los problemas energéticos del país. Sin embargo, algunos costarricenses, identificados con las tendencias mundiales orientadas hacia la explotación de los sistemas eléctricos nacionales en beneficio de los pueblos, tomaron conciencia del riesgo que ese monopolio significaba para la economía y la soberanía

nacional; entonces, decidieron organizarse para “vigilar y denunciar públicamente las maniobras” de esta y otras compañías extranjeras, cuyas acciones lesionaban los intereses nacionales. Con este propósito, crearon en 1927 la Liga Cívica, organización apolítica que aglutinó a importantes personalidades de la época.

Uno de los logros más significativos de la Liga Cívica, fue la creación en 1928, del Servicio Nacional de Electricidad (SNE), entidad estatal a la que se le encomendó como función primordial, la nacionalización de la industria eléctrica mediante la adquisición, construcción, operación y mantenimiento de las plantas eléctricas.

Diversas razones políticas y económicas impidieron la realización de las tareas asignadas al SNE, de modo que el problema eléctrico se prolongó hasta la década de los cuarenta.

En 1941, el Presidente de la República de entonces, Dr. Rafael Ángel Calderón Guardia, estableció un nuevo contrato con las compañías eléctricas, en el cual se planteó la interconexión del sistema, el compromiso de construir más plantas eléctricas, mejorar el servicio existente y otorgar al Estado la potestad de comprar, en un futuro, las propiedades de la Compañía mediante el pago al contado de su valor justo. Esto no fue realidad sino hasta años más tarde.

Los problemas causados por el deficiente servicio eléctrico continuaron hasta que, en 1945, un grupo de ciudadanos formó la Asociación Nacional para la Defensa del Consumidor Eléctrico. Algunos miembros de este grupo participaron en la construcción de la planta hidroeléctrica de Carrillos de Poás. Esta planta fue levantada por iniciativa de la Municipalidad de Poás y el pueblo de Heredia, para demostrar que el país estaba en capacidad de construir plantas eléctricas propias y enfrentar el problema energético. Siempre en procura de una solución al

problema energético, el 2 de diciembre de 1948, un grupo de ingenieros eléctricos y civiles presentaron, ante la Junta Directiva del Banco Nacional, un documento denominado “ Plan general de electrificación de Costa Rica”. El documento analizó la crítica situación energética del país y planteó propuestas para salir de la crisis y estimular el desarrollo económico del país.

Dada la trascendencia de la iniciativa, la directiva la remitió para que fuera estudiada por el Gobierno de la República. Su consecuencia: en 1949 se crea el Instituto Costarricense de Electricidad.

### **1.1.3 Descripción del departamento donde se realizará el proyecto de graduación.**

El proyecto se realizó en el departamento conocido como área de Protección y medición el cuál cuenta con la siguiente estructura:

#### **Proceso de Explotación Central.**

A cargo del Ing. Armando Muñoz Gómez, labora para ICE en dicha dependencia, dicho ingeniero es graduado del Instituto Tecnológico de Costa Rica, de la escuela de Ingeniería en Mantenimiento Industrial. Esta dependencia pertenece a la corporación ICE, a la empresa ICELEC, a la subdivisión del Ice conocida como Unidad Estratégica de Negocios de transporte eléctrico (UEN de transporte eléctrico).

A lo interno del Proceso de Explotación Central la subdivisión es la siguiente. Se subdivide en cuatro áreas, a saber:

1. Área de Protección y medición.

En dicha área es posible especificar otras subdivisiones por unidades regionales de funcionamiento.

- ◆ Unidad regional de San Miguel.
- ◆ Unidad de Colima.
- ◆ Unidad de La Caja.
- ◆ Unidad del Coco. A esta pertenece la de ubicada en Ciudad Quesada.

2. Área de Alta Tensión.

3. Área de Líneas de Transmisión.

4. Área de Medición Civil.

Es en el área de protección y medición, en la unidad de Colima donde se desarrolló el proyecto. El personal que labora en dicha dependencia (área de protección y medición) esta constituido por 19 personas, en el área de protección y medición específicamente laboran 2 ingenieros eléctricos y un bachiller en administración de empresas y el grupo de técnicos.

El sitio donde se llevó acabo la practica supervisada cuenta con todos los recursos básicos para el desarrollo normal del proyecto por parte del estudiante, entiéndase por recursos como lo es teléfono, conexión a Internet, fotocopidora, impresora, servicio de comedor con subvención, escritorio, computadora, etc.

El proyecto se desarrolló específicamente en el área de Protección y medición bajo la supervisión del señor Bach. Rolando Álvarez Mejía y bajo el apoyo de los funcionarios que laboran en ésta área.

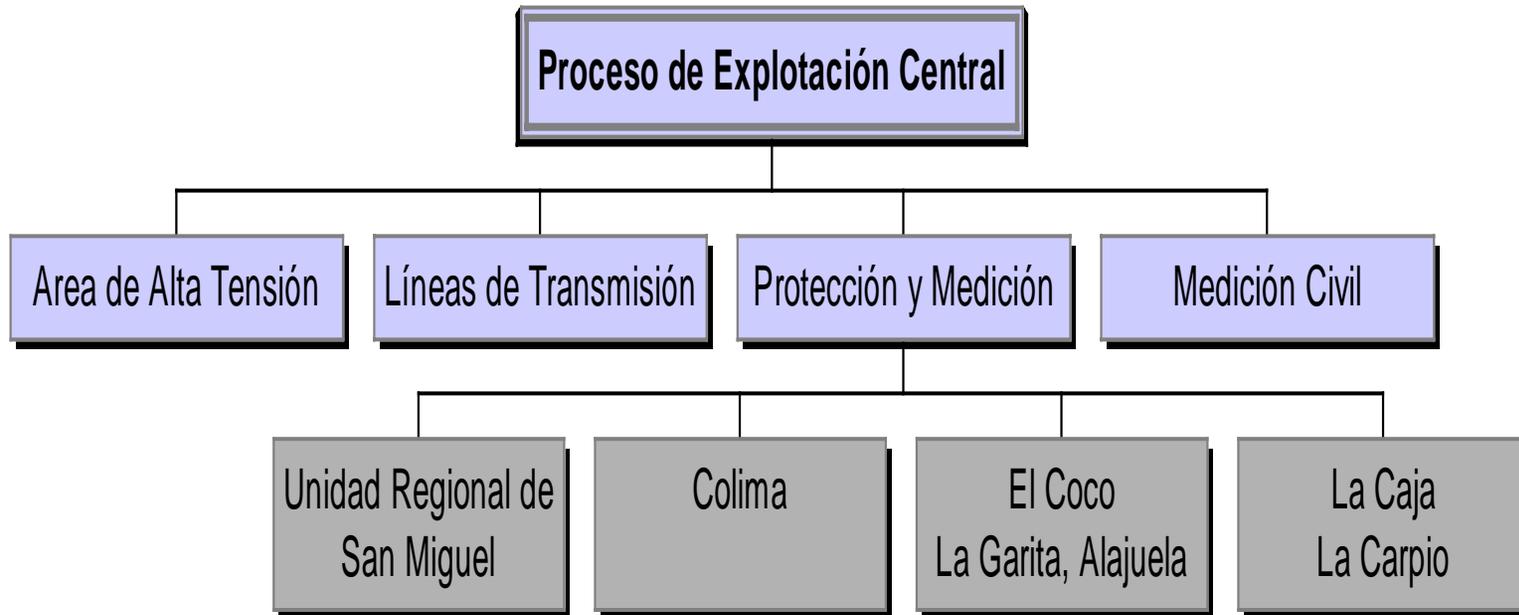
# INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD



Microsoft Power Point

Figura 1.1 Organigrama General de la Corporación ICE.

# Organigrama del Proceso de Explotación Central



Microsoft Power Point

Figura 1.2 Organigrama General del Proceso de Explotación Central.

## **1.2 Definición del problema y su importancia**

El problema a resolver consiste en que no se cuenta con un sistema de comunicación adecuado para monitoreo remoto de los sistemas de protección ubicados en las subestaciones eléctricas, entiéndase por éste que no se ha instalado un medio físico en forma permanente para la supervisión del estado de las protecciones en forma automática.

El proyecto se desarrolla por etapas, se seleccionan dos subestaciones y entrelazan estableciendo comunicación una con la otra; se busca en forma global entrelazar todas las subestaciones eléctricas en el ámbito del área central del país o mejor dicho en la zona de acción del proceso de explotación central y con esto formar una gran red la cual permita monitorear los enlaces entre las diferentes subestaciones utilizando diferentes rutas de acceso, esto análogamente a como opera una red de computadoras.

Actualmente, el sistema de monitoreo del funcionamiento de las protecciones se realiza manualmente, cuando se produce una falla el personal técnico del área de protección y medición se traslada a la subestación y con la ayuda de una computadora portátil y el empleo software especializado llevan a cabo la recopilación de datos para evaluarlos y determinar cual fue la causa que ocasionó que la protección se activará. Por tal motivo se desea implementar un sistema autónomo, con equipos propios de monitoreo y comunicación remota para equipos de protección.

El punto medular del problema consiste en que los nuevos equipos de protección para los transformadores de las subestaciones son fabricados con la capacidad de establecer comunicación remota, lo cual facilita la detección de fallas, valoración de causas de falla, rapidez en el restablecimiento y puesta en

operación cuando han sufrido averías eléctricas, u otros. Por ello, en este momento, se busca desarrollar un proyecto interdepartamental para poder desarrollar un sistema o plataforma de comunicación que permita la comunicación de los equipos.

No obstante, el problema no se limita solo a los puntos mencionados anteriormente, sino que además en el área de protección y medición se presenta un problema de conocimiento técnico. Los funcionarios del área pertenecen al sector de energía, las funciones de la UEN a la que pertenecen es transportar energía de las subestaciones en las plantas generadoras a las subestaciones ubicadas en los centros urbanos y como este proyecto involucra conocimientos en las áreas de telecomunicaciones y electrónica los técnicos del área en cuestión desconoce acerca de terminología, funcionamiento, y principios y fundamentos referentes al área de comunicaciones eléctricas y enlaces en red.

Es importante también definir la prioridad del proyecto para el área de protección y medición y la forma en que los efectos del proyecto repercuten en altos beneficios para él ICE. Beneficios como lo es el poseer sistemas de monitoreo de fallas lo cual ayudaría a detectar y solucionar las averías en líneas más rápidamente.

En lo respecta al área de protección y medición se citan a continuación en forma esquematizada algunos de los beneficios directos que se obtendrían:

- ◆ Confiabilidad del sistema de transmisión y recepción de energía.
- ◆ Selectividad porque el sistema escogería la ruta óptima.
- ◆ Menos trabajo en planillas.

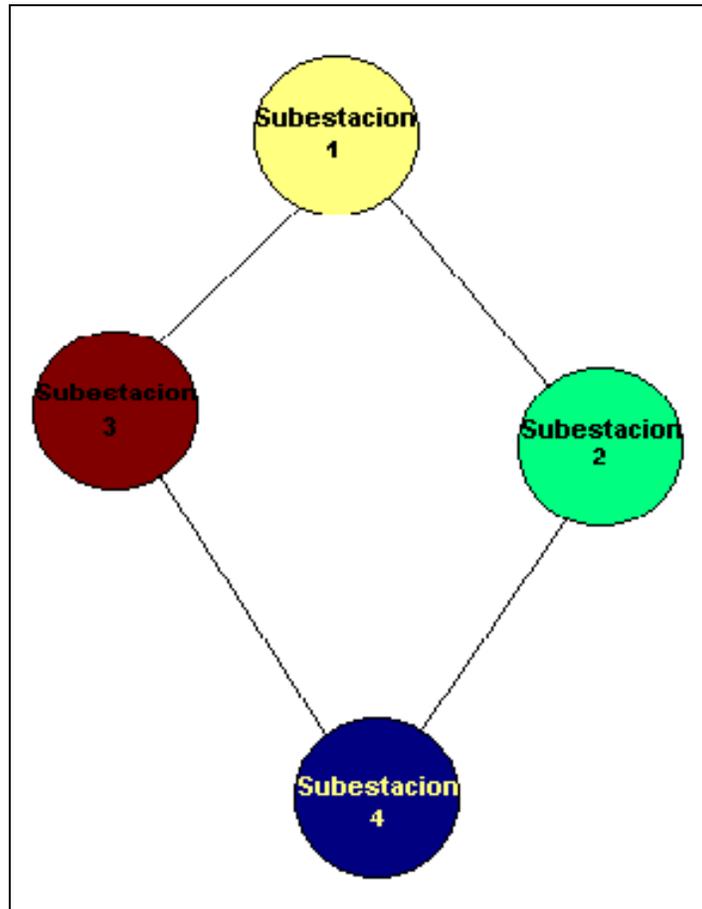
- ◆ Análisis estadístico de las fallas y su origen, para desarrollar planes de mantenimiento preventivo o cambio a nuevos equipos de ser necesario.

Dada la magnitud del proyecto los beneficios esperan verse a mediano plano, los beneficios se esperan visualizar de acuerdo a progreso del equipo técnico a cargo y de la disposición de girar recursos por parte de instancias superiores.

Con relación a la necesidad de poner en marcha el proyecto el área de protección y medición lo considera de alta prioridad. Además de muy rentable pues la inversión se cubriría con la cantidad de tiempo y dinero que se invierte actualmente para solucionar dicho problema.

A continuación en la figura 3 es posible observar un esquema de como se visualiza la interconexión entre las subestaciones. Cuando dentro de cada uno de los círculos se observa "*Subestación 1, Subestación 2;... Subestación n-1, Subestación n*", entiéndase por esto el nombre de las diferentes subestaciones tales como:

- ◆ La Caja.
- ◆ Sabanilla
- ◆ Colima
- ◆ Etc.



Microsoft Power Point

**Figura 1.3** Diagrama simplificado de la futura red de subestaciones eléctricas.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

- ◆ Seleccionar una plataforma de comunicación adecuada para que sea posible el trabajo en los Sistemas de Transmisión de Potencia.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- I. Investigar acerca de medios físicos o canales para la comunicación de equipos en los sistemas de protección en subestaciones.
- II. Recomendar el medio físico adecuado para la comunicación de sistemas de protección en subestaciones.
- III. Enumerar los requerimientos técnicos del medio para poder crear una plataforma de comunicación.
- IV. Investigar acerca de equipos SDH para sistemas de multiplexación de señales para comunicación de sistemas de protección.
- V. Enumerar los requerimientos técnicos de los equipos de multiplexación para poder crear una plataforma de comunicación.
- VI. Investigar acerca de la normativa internacional para poder desarrollar la plataforma de comunicación.
- VII. Crear de manuales de capacitación para el personal técnico que está a cargo de manejo y mantenimiento de equipos, sobre temas relacionados con la plataforma a desarrollar y desconocidos para ellos.

**CAPÍTULO 2**  
**ANTECEDENTES**

## **2 Antecedentes**

### **2.1 Antecedentes**

Actualmente la revisión, mantenimiento y corrección de los equipos de protección que se encuentran instalados en las subestaciones eléctricas se realiza en forma manual. Cuando ocurre una avería el personal técnico del área se dirige a la subestación localiza el transformador el tipo de avería y procede a realizar la reparación correspondiente.

El problema no cuenta con antecedentes de una solución automatizada es sería totalmente nuevo la supervisión, mantenimiento, revisión y corrección de los equipos en forma remota.

Un aspecto importante a recalcar en este apartado es el hecho que las funciones del área de protección y medición no son las relacionadas a las comunicaciones eléctricas sino a la calibración y estado de operación de los equipos de protección para dispositivos de potencia en las subestaciones eléctricas que debe de supervisar el Proceso de Explotación Central.

Sin embargo dada la necesidad de tener autonomía con relación a la comunicación entre los equipos de las subestaciones nace un problema del cual se había hablado mucho durante varias años a nivel del Proceso de Explotación Central y del ICE en general.

Por ello, como hasta en este momento se decide buscar una solución a la problemática, no existe parámetro o punto de partida. No obstante, todo lo que se hará será nuevo y por su parte quedará de referencia para proseguir con mejoras en lo referente a comunicación remota en sistemas de protección y subestaciones para esta dependencia (área de protección y medición).

## **2.2 Estudio del problema a resolver**

### **2.2.1 Problema por resolver**

La empresa necesita que se le resuelva un problema, el cual consiste en definir las especificaciones técnicas para una plataforma de comunicación para los equipos de protección instalados en las subestaciones eléctricas.

Es además importante conocer cual es el ambiente en el que se desarrolla el proyecto, ósea la subestación eléctrica. Con esto se hace referencia a los elementos que van hacer interrogados como lo son las protecciones.

### **2.2.2 Ambiente donde se desarrollará el proyecto**

#### **2.2.2.1 Sistema eléctrico de potencia**

Sistema encargado de brindar la energía eléctrica necesaria para alimentar incondicionalmente a sus consumidores.

El objetivo primordial de cualquier sistema de potencia es básicamente generar, transmitir y distribuir la potencia eléctrica, con un máximo de disponibilidad y un mínimo de pérdida, tomando en cuenta regularmente otros aspectos importantes como lo es seguridad, desarrollo, etc.

#### **2.2.2.2 La subestación**

Los generadores de la Planta producen la corriente eléctrica a relativamente bajo voltaje, esto haría imposible que el servicio en los centros de consumo, fuese de buena calidad.

Por tal motivo, es necesario utilizar la subestación, que cuenta con otra serie de equipo que permiten regular dicho servicio.

La subestación se instala contiguo o cerca de la Planta generadora y en ella se encuentran los siguientes equipos:

- ◆ Transformadores de potencia: se usan para elevar el voltaje al nivel adecuado de transmisión.
- ◆ Disyuntores: Sirven para interruptor el paso de la corriente.
- ◆ Seleccionadores: Empleados para aislar sectores de consumo.
- ◆ Transformadores de medición de corriente y voltaje.

- ◆ Aisladores de paso: Sostienen las partes energizadas y aíslan los cables de unión entre los distintos equipos.
- ◆ Pararrayos: Para la protección de los equipos contra las descargas atmosféricas (rayos).
- ◆ La malla a tierra: Es un enrejado subterráneo de cables que descargan los voltajes inducidos en las estructuras.
- ◆ Hilos - guarda: Es una malla aérea de protección para evitar la caída de las descargas atmosféricas directamente sobre los equipos de la subestación.

### **2.2.3 Requerimientos particulares de los elementos integrantes de los sistemas de protección**

Se preferirán los relevadores digitales, debido a su confiabilidad, multifuncionalidad, capacidad de comunicación, bajos requerimientos de mantenimiento y bajo costo.

Los relevadores digitales por instalar en el S.N.I, deben tener funciones de protección, medición y supervisión, puertos de comunicación serial (al menos uno), capacidad de autodiagnóstico y disponibilidad de grupos de ajustes.

Se recomienda evitar la diversidad excesiva de marcas y modelos de relevadores. Con esto se contribuye con que el personal de protecciones conozca profundamente los relevadores; esto repercute favorable en la confiabilidad de la protección.

### **2.2.3.1 Transformadores de corriente**

Deben cumplir con los requerimientos de los esquemas de protección de que forman parte en cuanto a exactitud y saturación. Se recomienda que todos los transformadores de corriente asociados a una barra, sean de la misma clase.

Cada esquema de protección de un elemento, debe recibir la señal de corriente desde núcleos y devanados independientes de los transformadores de corriente. Los instrumentos de medición deben también disponer de un núcleo y devanado dedicados.

Los transformadores de corriente de elementos críticos y semicríticos tendrán como mínimo cuatro núcleos (y devanados secundarios), tres de protección y uno de medición.

Los transformadores de corriente de elementos no críticos, tendrán como mínimo tres núcleos (y devanados), dos de protección y uno de medición.

Los transformadores de corriente se instalarán en el lado del interruptor correspondiente a la línea, transformador o reactor, no en el lado de la barra, excepto en las barras de configuración de interruptor y medio. En las configuraciones de doble barra con configuración de interruptor y medio. En las

configuraciones de doble barra con interruptor de enlace, se colocarán transformadores de corriente a ambos lados del interruptor de enlace. Excepcionalmente se admitirá también, utilizar transformadores de corriente conectados a un solo lado del interruptor de enlace. En las configuraciones de barra simple con barra auxiliar, se colocará un conjunto de transformadores de corriente entre el interruptor de reserva y la barra auxiliar.

La distancia entre transformadores de corriente e interruptores debe ser mínima, para reducir la probabilidad de cortocircuitos en esa sección.

Las cuchillas de derivación o de transferencia (si existe) deben instalarse en el lado de barras del transformador de corriente.

Se evitará en lo posible la utilización de transformadores de corriente auxiliares en los sistemas de protección.

La corriente nominal secundaria de los transformadores de corriente será 1 A.

### **2.2.3.2 Transformadores de potencial**

Podrán ser inductivos o capacitivos (divisores capacitivos de potencia). Cada esquema de protección de un elemento debe recibir la señal de potencial desde devanados independientes de los transformadores de potencial. Es recomendable que los instrumentos de medición dispongan también de un devanado dedicado; pero se admitirá alimentar un esquema de protección y el sistema de medición, desde un mismo devanado. Los transformadores de potencial tendrán como mínimo, dos devanados secundarios en elementos críticos y semicríticos, y un devanado secundario en elementos no críticos. Si se dispone de transformadores de potencial en barras y líneas, cada uno de ellos podrá tener

un solo devanado secundario, aunque se trate de elementos críticos. En este caso, uno de los esquemas de protección primaria de cada línea, se alimentará desde el transformador de potencial de la línea y el otro esquema se alimentará del transformador de potencial de la barra.

Debe instalarse un transformador de potencial por fase, en cada sección de barras de la red de transmisión (esto equivale a un conjunto de transformadores de potencial en barras simples y dos conjuntos en barras dobles con interruptor de enlace y en barras con configuración del interruptor y medio).

Las líneas críticas y semicríticas deben tener transformadores de potencial. Estos se instalarán preferiblemente al lado línea de los transformadores de corriente.

Se evitará en lo posible, la utilización de transformadores de potencial auxiliares en los sistemas de protección.

Cuando por excepción se utilice un mismo devanado secundario de un transformador de potencial para alimentar más de un dispositivo de protección o medición, deben instalarse conductores independientes desde el devanado secundario protegidos por fusibles.

El voltaje nominal secundario de los transformadores de potencial será de 57,74 V, que equivale a 100 V, entre fases en la conexión estrella.

### **2.2.3.3 Interruptores**

Los interruptores de las líneas críticas y semicríticas deben permitir el cierre y la apertura monopolar y tripolar. Los restantes interruptores pueden ser de cierre y apertura tripolar solamente.

Los interruptores de los elementos críticos y semicríticos deben tener dos bobinas de disparo independientes por polo y una bobina de disparo para el mando manual.

El tiempo de operación de interruptores, debe ser no mayor que 4 ciclos (69 MS); en los elementos críticos y semicríticos (se recomienda interruptores de 2 ciclos en los elementos críticos). Los interruptores de los elementos no críticos, pueden tener tiempos de operación de hasta 8 ciclos (138 MS).

Cada polo de interruptor debe tener contactos auxiliares indicativos de su posición.

## **2.2.4 Otros aspectos asociados a la protección de la red de transmisión**

### **2.2.4.1 Configuración de barras**

Se recomiendan estudiar las configuraciones de barras para utilizar en la red de transmisión del S.N.I. Debe evitarse utilizar configuraciones simples en barras críticas y semicríticas. En estos casos, se recomienda utilizar configuraciones de interruptor y medio (preferiblemente en barras críticas) y de doble barra con interruptor de enlace (preferiblemente en barras semicríticas). En

las actuales subestaciones críticas y semicríticas que tienen configuraciones de barra simple con barra auxiliar y que presentan limitaciones de espacio, se recomienda estudiar la factibilidad de convertir la barra auxiliar en barra de operación y de utilizar el interruptor de reserva como enlace, para conformar una configuración de doble barra, con interruptor de enlace.

#### **2.2.4.2 Interruptores**

Se recomienda realizar una evaluación de los interruptores instalados en elementos críticos y semicríticos de la red de transmisión, en cuanto a sus tiempos de operación. Muchos de los interruptores del S.N.I, no cumplen con el requerimiento de tiempo de eliminación de fallas de 100 ms.

#### **2.2.4.3 Duplicidad de elementos**

En los sistemas de eliminación de fallas de los elementos críticos y semicríticos deben asegurarse, de que los esquemas de protección tengan el mínimo de elementos en común. Esto implica: información de diferentes devanados secundarios de los transformadores de corriente y potencia.

- ◆ Alimentación desde baterías independientes.
- ◆ Actuación sobre distintas bobinas de disparo de los interruptores.

En los elementos semicríticos se admitirá por excepción, que los esquemas de protección compartan el mismo devanado secundario de los transformadores de potencia y la misma batería; pero ambos casos deben utilizar circuitos independientes protegidos por fusibles.

#### **2.2.4.4 Protección contra sobrevoltaje**

Se recomienda evaluar la necesidad de instalar protecciones sobrevoltaje de la red de transmisión del S.N.I; en particular, deben estudiarse los casos de las líneas de carga o las cercanas a las plantas generadoras.

#### **2.2.4.5 Relevadores auxiliares de disparo y bloqueo**

Se recomienda la utilización de relevadores auxiliares de disparo y bloqueo, en aquellos esquemas de protección en que un mismo relevador debe iniciar el disparo de varios interruptores. Casos típicos son las protecciones de barras, transformadores y líneas conectadas a barras con configuración de interruptor y medio. Debe evaluarse en cada caso, el tipo de reposición que debe tener el relevador (manual o eléctrica).

#### **2.2.4.6 Teledisparo**

Se recomienda estudiar la necesidad de teledisparo en la red de transmisión. Una aplicación típica (aparte de las relaciones con la protección piloto) es la protección de respaldo de fallo de interruptor, en configuraciones de barras de interruptor y medio.

## **2.2.5 Sistemas especiales de protección**

Se recomienda realizar un estudio sobre los sistemas especiales de protección (controles discretos suplementarios) requeridos en la red de transmisión; además del sistema de desconexión de carga por baja frecuencia en el uso actualmente. En particular, deben evaluarse las protecciones separadas (disparo internacional de pérdida de sincronismo), los sistemas de disparo automático de generadores y líneas y la desconexión de carga por bajo voltaje, entre otros.

### **2.2.5.1 Localización de fallas**

Se recomienda disponer de medios de localización de fallas en las líneas de transmisión, en especial en las líneas críticas y semicríticas de mayores longitudes o difícil acceso. Pueden utilizarse para este fin, las funciones de localización de fallas disponibles en los relevadores digitales. En líneas de doble circuito es necesario suministrar al localizador de fallas la información de la corriente de secuencia cero, de la línea adyacente.

### **2.2.5.2 Registro oscilográfico**

Se recomienda disponer de registro oscilográfico (independiente del de los relevadores digitales) en los elementos críticos y semicríticos del sistema. Los registradores de fallas deben tener puertos de comunicación serial para facilitar el acceso remoto a la información. Los registradores deben tener un mínimo de elementos en común, con las protecciones cuyo comportamiento supervisan.

## **2.2.6 Sistemas de comunicación**

Se requiere dos sistemas de comunicación de las líneas críticas y semicríticas; en las líneas se admitirá por excepción, tener un solo sistema de comunicación.

Los sistemas de comunicación deben cumplir con los requerimientos de velocidad de transmisión correspondientes a la protección piloto a que están destinados.

Pueden utilizarse los siguientes canales de comunicación: onda portadora, microonda y fibra óptica.

Los canales de comunicación deben mantener su funcionalidad, aún durante cortocircuitos y durante la propia línea de transmisión.

Cuando se utilizan los sistemas de comunicación independientes en un mismo sistema de eliminación de fallas, los equipos asociados a ambos sistemas deben alimentarse desde baterías diferentes, o tener al menos circuitos de alimentación independiente. Los equipos de comunicación que son parte de un esquema de protección, se alimentarán desde la misma batería o circuito de distribución que esté.

Cuando los canales de comunicación requieran elementos repetidores, no instalados en la subestación, estos tendrán alimentación de corriente directa. Se evitará que existan elementos comunes en los repetidores de dos canales de comunicación, asociados a un mismo sistema de eliminación de fallas.

### **2.3 Aspectos técnicos**

El sistema estará constituido de tres partes fundamentales uno el medio de transmisión, el cual se determinó será fibra óptica debido a que presenta mayores beneficios con respecto a los otros medios. Beneficios como menor mantenimiento, mayor disponibilidad para transporte de información, costo accesible.

El segundo elemento es el equipo terminal de multiplexación, transmisión, recepción el cual permita la interrogación remota de las protecciones. Son cuatro los tipos de protecciones utilizados para la protección de los equipos, estas son sobrecorriente, impedancia, diferencial, frecuencia.

De estas se implementará el sistema de comunicación remoto inicialmente para las protecciones de impedancia y diferencial, donde se comunica al equipo de multiplexación con dichas protecciones y éste (el multiplexador) se interconectará con equipos similares en diferentes subestaciones.

El tercero de los elementos involucrados en forma directa son los equipos de protección los cuales se encuentran en las subestaciones instalados en los transformadores y es por medio de ellos que se asegura un fluido estable de energía para ser usado por parte de los costarricenses.

### **2.4 Requerimientos de la empresa**

Como se mencionó en el apartado anterior, el área de protección y medición necesita especificar las características técnicas que debe poseer la plataforma de comunicación que empleará para la comunicación de los equipos terminales de protección.

Es posible enumerar los requerimientos, y citar tres puntos como medulares para el desarrollo de mismo.

Especificación de las características técnicas, para la selección del medio o canal para el transporte de información.

Especificación de las características técnicas, para la selección del equipo de multiplexaje de señales tanto de transmisión como de recepción.

Desarrollo de material técnico – didáctico, dado el desconocimiento técnico que presenta el personal del área en cuanto a los temas relacionados con las comunicaciones eléctricas y telemática.

## **2.5 Solución propuesta**

El proyecto global que desea implementar el Instituto Costarricense de Electricidad es de gran magnitud. La parte del problema que se debió solucionar es referente a la recomendación y especificación de la tecnología y equipo, medio de comunicación, equipo de transmisión – recepción (multiplexación de señales) para sistemas de protección y medición. Esto se realizó mediante la creación de las hojas de especificación técnicas las cuales se utilizarán para la generación de un documento para el respectivo cartel de licitación pública.

Además, dado que el personal técnico del área pertenece al sector de energía y el proyecto en cuestión es referente a las comunicaciones digitales, esto ocasiona un problema de conocimiento a quienes allí laboran. Por tal razón la solución de este aspecto se orientó al desarrollo de material técnico – didáctico de los temas de comunicaciones y telemática. Su contenido se asignó guardando relación directa con el medio de transmisión y el equipo de multiplexación de señales seleccionado.

En el proceso de selección e investigación fue necesario recurrir a las herramientas tecnológicas presentes en la compañía y tradicionales las cuales han permitido recabar información, herramientas tales como las que se citan a continuación:

Uso del Internet: con el fin de visitar las diferentes páginas web donde los fabricantes colocan sus equipos.

La visita a las bibliotecas públicas, de instituciones de enseñanza superior, así como de empresas que sean útiles y se encuentren a disposición del público.

La consulta a agentes de las diferentes casas productoras de los equipos y tecnologías investigadas.

La consulta en las bases de datos del área (área de protección y medición) en que se realiza el trabajo, con el fin de evaluar en caso de existir material la utilidad técnica del mismo.

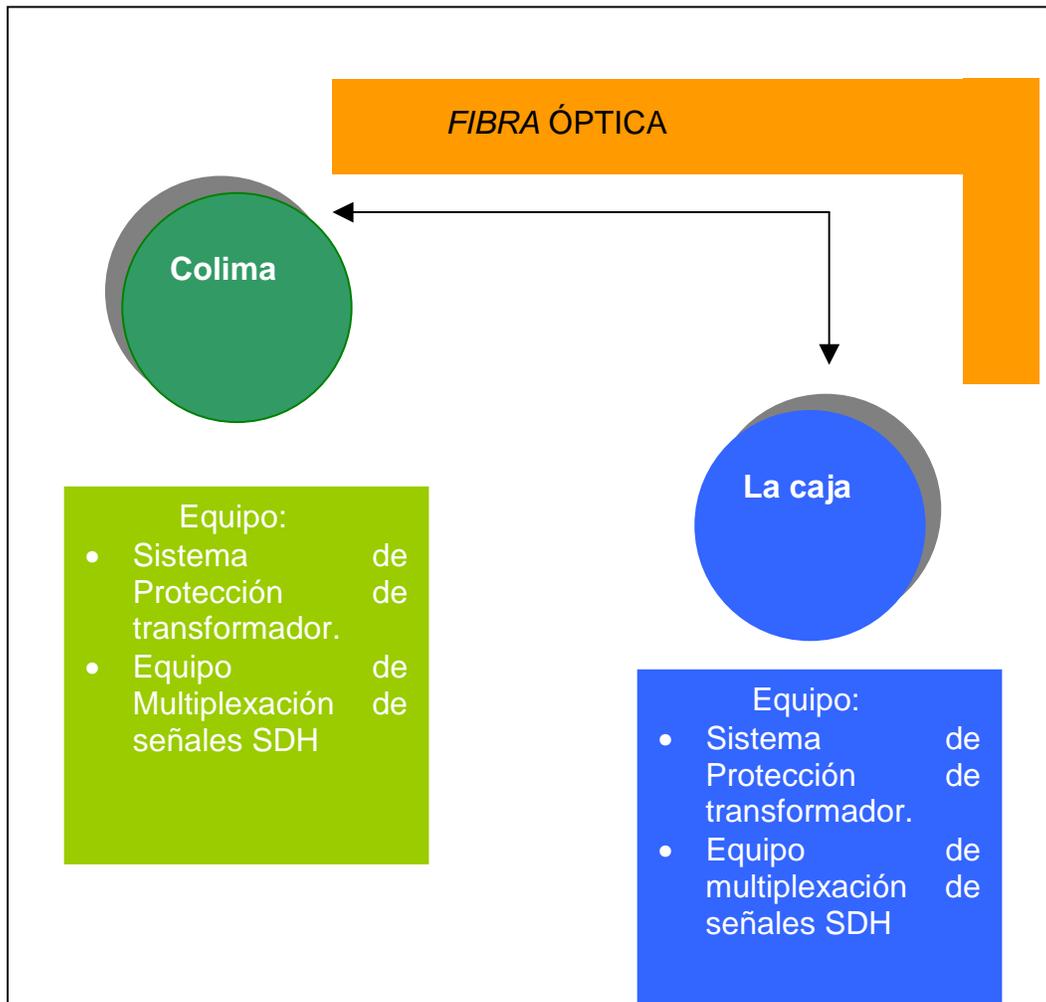
Uso del fax, correo electrónico, etc; esto para envío y recepción de documentos, manuales, hojas de especificaciones ente otros.

Otros que se consideren necesarios con forme se avance en esta etapa.

Definidas las especificaciones técnicas es necesario comunicar a la instancia superior cual es el equipo necesario, buscando que sea posible el proceso de tramite para su compra o en caso de estar adquirido ya se facilite sus manuales.

Además, en lo concerniente al desarrollo del material técnico – didáctico, en el capítulo de cinco se dará mayor información acerca del contenido y formato de los mismos.

En la figura 2.1 es posible observar algunos de los equipos básicos necesarios para intercomunicar las subestaciones.



Microsoft Word

**Figura 2.1** Diagrama simplificado de los equipos en una subestación.

## **CAPÍTULO 3**

### **PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

### **3 Procedimiento metodológico**

#### **3.1 Lista de actividades a realizadas**

Para el desarrollo del proyecto fue necesario realizar diversas labores, a continuación se explica la forma en que cada una de ellas fue llevada a cabo:

Se investigó acerca de la normativa internacional por ejemplo la relacionada con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, sus siglas en inglés ITU), es necesario conocerla pues a la hora de especificar las características del medio de transmisión y equipo terminal estas deben ajustarse a las disposiciones internacionales. Para ello se debió consultar en libros de la ITU, su pagina web, así documentos de la IEEE y otras instancias que rigen los estándares de las telecomunicaciones en el mundo. Al final de esta investigación se generó un documento con la normativa internacional necesaria para el desarrollo del proyecto, éste es posible consultarlo en la sección de apéndices.

Se procedió entonces a la investigación, comparación de información, selección del material apropiado y elaboración de diferentes manuales cuyo contenido debe de suplir el vacío de conocimientos teóricos del personal del área de protección y medición en lo referente al medio de transmisión y equipo terminal que en etapas posteriores se instale.

Por lo cual, se investigó acerca de fuentes de material didáctico para la confección de un manual de fibra óptica. En este proceso se consulto material elaborado por en la escuela de ingeniería en electrónica del ITCR, por profesores como Julio Vargas, Nestor Hernández. Además diferentes fuentes bibliográficas de las cuales si se desean sus nombres puede hacerlo en el apartado de bibliografía de este documento. Luego, se comparó las distintas fuentes bibliográficas y se

seleccionó el material adecuado para la elaboración del manual. Finalmente se confeccionó el manual “Fundamentos de fibra óptica”.

Siguiente el mismo esquema de investigación, comparación de material, selección del material apropiado y recopilación o elaboración de un manual según el caso, se generan otros documentos con los nombres de:

- ◆ Cable de fibra óptica submarina, una vista rápida al cable maya.
- ◆ Fundamentos de Redes, Red Digital de Servicios Integrados (ISDN).
- ◆ Fundamentos de Señales, Multiplexación y Transmisión de Señales Analógicas.
- ◆ Fundamentos de Microondas y Sistemas de radioenlaces.
- ◆ Comunicaciones Digitales, Generación y Transmisión de Señales.
- ◆ Automatas Programables.
- ◆ Principios de Multiplexación.
- ◆ Terminología de Teleinformática.

Sin embargo, el material didáctico mencionado anteriormente no solucionó del todo el problema, por lo tanto bajo el mismo esquema de investigación, comparación y selección se recomendó la adquisición de libros acerca de potencia eléctrica, electrónica de potencia y principios de circuitos eléctricos para la biblioteca del Área de Protección y Medición.

Finalizada la etapa de adquisición de conocimientos teóricos para tener una comprensión del vocabulario utilizado con relación a la fibra óptica y equipos de tecnología SDH, inicia la etapa de caracterizar y especificar los requerimientos del medio de transmisión y equipo terminal.

Se investigó acerca de las características de la fibra óptica para teleprotecciones, la cual debe cumplir la función de conectar el equipo terminal SDH, con la protección eléctrica instalada en el transformador de la subestación. Seguidamente se investigó acerca de proveedores que ofreciesen éste producto. Con la información necesaria recopilada se confecciona el documento de especificaciones técnicas solicitado por la empresa.

También, se debió investigar acerca de que es el cable OPGW, quienes son los proveedores, buscar y comparar las características del cable OPGW, para con ésta información poder preparar la guía de especificaciones del cable OPGW el cual será el medio de transmisión.

Finalizado el trabajo relacionado con la selección del medio y preparación de las guías de especificaciones técnicas, se prosiguió a la revisión de información acerca de SDH y SONET de la IEEE. La finalidad de esta actividad fue conocer y el vocabulario de la tecnología SDH.

Además, se consulto el material técnico de Lucent Technologies, se describió las características del equipo WaveStar™, de igual manera se procedió con el material técnico de Nortel Network. Conociendo lo que el mercado ofrece y lo que la empresa necesita se confeccionó la guía de especificaciones técnicas del equipo de multiplexación y equipos terminales.

## **CAPÍTULO 4**

### **DESCRIPCIÓN DE LAS OPCIONES QUE EL MERCADO OFRECE EN EQUIPO TERMINAL Y MEDIO DE TRANSMISIÓN**

## **4 Descripción de las opciones que el mercado ofrece en equipo terminal y medio de transmisión.**

En este capítulo se procede a describir las características que los fabricantes ofrecen en sus productos. Se mencionan los aspectos técnicos que son relevantes de los equipos para la generación de la guía de especificaciones así como las ventajas o utilidades para las industrias dedicadas a procesos relacionados con el transporte eléctrico y se comparan características funcionales de equipos de distintos proveedores.

Sin embargo es hasta en el capítulo 6 en donde se encuentran las guías de especificaciones técnicas, las cuales utilizan la información de esta sección para posteriormente redactar un documento que se empleará en una licitación pública.

### **4.1 Características del medio de transmisión y accesorios**

El medio de transmisión designado es un hilo guarda OPGW, además es necesario la utilización de herrajes y otros accesorios.

El cable OPGW está constituido por un elemento resistente central de fibra de vidrio al cual se circunscriben para este tipo 4 tubos holgados de material termoplástico cada uno de estos tubos deben cumplir con una secuencia de colores para saber cual es el primero, segundo, etc; ésta secuencia es azul, naranja, verde, café. Es importante mencionar que el orden de color asignado a los tubos conductores es igual al orden asignado a los hilos conductores. En la tabla 6.2 es posible observar la secuencia para ocho hilos que sería igual que para ocho tubos holgados.

Dentro de cada tubo se transportan doce hilos con una secuencia de distribución como la observada en la tabla 6.3. El cable cuenta después con cintas plásticas sobre el núcleo óptico, una cubierta interior plástica, hiladuras de aramida y una cubierta exterior plástica.

El cable debe cumplir requerimientos de doblados de las fibras, características mecánicas, recubrimientos, atenuación y otras. Dichas características es posible encontrarlas en la sección 6.1.

De las hojas de diferentes protocolos de prueba para ventanas de 1310 y 1550 nm para cable OPGW es posible obtener datos importantes. Estos protocolos son utilizados para determinar la atenuación de cada uno de los hilos que son transportados dentro de los conductores del cable. Los protocolos se realizan a diferentes distancias porque en el momento de realizarse la compra del cable OPGW el comprador debe ser preciso en la distancia solicitada pues si después desea alterar la longitud del mismo alterará la correspondiente atenuación (la atenuación es independiente para cada hilo de fibra óptica del conductor).

En la figura 4.1 se puede observar cada una de las partes que constituyen una fibra de cable OPGW.



HP SCAN Figura 4.1 Estructura de construcción de un cable OPGW.

## 4.2 Características de los multiplexores de tecnología SDH

Se describen algunos equipos de multiplexación presentes en el mercado como lo son el WaveStar™ de Lucent Technologies y el TN – 1U de Nortel Networks Corporation.

**Tabla 4.1** Comparación de especificaciones técnicas de equipos de multiplexación SDH.

Característica	Requerimiento	TN - 1U	WaveStar
Sitios de implementación	Trabajo en subestaciones (zonas electromagnéticamente hostiles)	Sí	Sí
Canales de transmisión	Transmitir / recibir 4 señales	Sí	Sí
Tiempo de transmisión de las señales	Tiempo de protección menor a 5 ms	3 ms	4 ms
Interfaz de comunicación serie, óptica para cortas distancias o V.24	Velocidad mayor 19 Kbps	4 señales a 9. Kb/s y 2 señales 19.2 Kb/s	No
Impedancia	75 ohm (transmisión de voz y vídeo)	75 ó 120 ohm	75 ohm
Capacidad	30 canales	60 canales de voz	30 canales
Tributarios	E1	4 de 2.048 Mbits	2 Mbits, 34 Mbit/s, 45 Mbit/s
Transmisión de datos Nx 64	Interfaz V.35/ V.11	N= 1- 12	No

Chasis	Altura (H) Ancho (L) Profundidad (P)	H=178 mm L= 483 mm P= 260 mm	H= 300 mm L= 240 mm P= 70 mm
Configuraciones	Tipos	Punto – punto, inserción/ extracción lineal, anillo ó anillos múltiples	Punto / punto, anillo
Ambientes donde aplicada	Tipos	Industriales	Comerciales, resindeciales, CPE
Peso	Kilogramos	2.3 Kg	2.5 Kg
Consumo energético	Watts	10 W	25 W
Aplicaciones Ethernet	Tipo	Transmisión datos, voz, vídeo	Transmisión datos, voz, vídeo

El mercado ofrece los dos multiplexores caracterizados anteriormente. Para poder compararlos ha sido necesario tomar una lista de características que debe de cumplir el dispositivo de multiplexaje por seleccionar.

En las secciones 6.3.3 y 6.3.4 se enumeran los requerimientos en cuento a las características de las interfaces de las señales de transmisión y el multiplexor. Algunos de dichos requerimientos han sido colocados en la tabla 4.1 con la finalidad de poder comparar dichos aparatos.

Por ejemplo la característica de transmisión de señales, donde se requiere que el tiempo de protección el cual consiste en la conmutación de los contactores para proteger el dispositivo debe ser de 5 ms. El producto TN-1U ofrece un tiempo de 3 ms y el otro de 4 ms. Ambos cumplen el requerimiento pero el primero proporciona un tiempo menor, por lo tanto más seguridad debido a que su respuesta es más rápida.

Otro punto de comparación es la potencia consumida por el dispositivo. El WaveStar™ consume una potencia menor a 25 W y el TN –1U una de 10 W, con lo que se tiene que el primero consume 2.5 veces la potencia que utiliza el TN – 1U por lo tanto este último proporciona a la compañía un gran ahorro energético, si se toma como referencia el consumo que demandaría el WaveStar™.

Las características estructurales (chasis) de los dispositivos, presentan al WaveStar™ como más voluminoso, sin embargo el tamaño del dispositivo no es de gran importancia puesto que no se colocará dentro de ningún transformador por lo tanto ambos dispositivos cumplen el requerimiento.

Así entonces, si se continúa comparando una a una las características de la tabla 4.1 se nota que de acuerdo a las necesidades presentes, el equipo que se ajusta con mayor facilidad a las especificaciones es el de Nortel Networks. Sin embargo, debe hacerse la aclaración que como el ICE es una institución pública y sus compras se hacen por licitación pública será acreedor a la venta la compañía que reúna todas las especificaciones técnicas así como administrativas impuestas para tal fin. No obstante, en este apartado se realiza una comparación técnica con respecto a las necesidades y es el producto TN – 1U el que cumple con la mayor cantidad de las mismas.

## **CAPÍTULO 5**

### **RESUMEN DEL MATERIAL TÉCNICO ELABORADO PARA LA CAPACITACIÓN DEL PERSONAL**

## **5 Material técnico para capacitación del personal**

### **5.1 Manuales elaborados**

Consiste en la generación de manuales técnico – didáctico. Estos fueron obtenidos en unos casos por medio de la elaboración y en otros de recopilación y compilación de información.

A continuación en la tabla 5.1 se citará el nombre de los existentes, su procedencia y después se comentará rápidamente su contenido.

**Tabla 5.1** Listado de manuales confeccionados.

<b>Manual</b>	<b>Nombre del manual</b>	<b>Medio de elaboración</b>
1	Normas Internacionales	Elaborado
2	Fundamentos de Fibra Óptica	Elaborado
3	Cable de fibra óptica submarina, una vista rápida al cable maya	Recopilado y compilado
4	Fundamentos de Redes, Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)	Recopilado y compilado
5	Fundamentos de Señales, Multiplexación y Transmisión de Señales Analógicas	Recopilado y compilado
6	Fundamentos de Microondas y Sistemas de radioenlaces	Elaborado
7	Principios de Multiplexación	Elaborado
8	Comunicaciones Digitales, Generación y Transmisión de Señales	Recopilado y compilado
9	Autómatas Programables: Controladores Lógicos Programables	Recopilado y compilado
10	Terminología de Teleinformática	Elaborado

### **5.1.1 Manual 1**

El manual 1 "Normativa Internacional Requerida para: Desarrollo de una Plataforma de Comunicación Digital en Subestaciones Eléctricas", trata las normas de distintas organizaciones internacionales de como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el Instituto Americano de Ingeniería, el Instituto Nacional de Standares Americanos (ANSI) y otros, las cuales deben de considerar para la selección de los equipos terminales y el medio de comunicación.

Todo equipo que se ofrezca por parte de un proveedor o fabricante debe de cumplir con la mencionada normativa. Dicho manual se usará como guía para cuando se seleccionen los dispositivos e implemente el sistema. Esto hará que sea posible con los requerimientos internacionales y garantizar un servicio de mayor calidad cuando el proyecto este finalizado y el sistema en operación.

### **5.1.2 Manual 2**

El manual 2 "Principios de Fibra Óptica" es referente a los Fundamentos de Fibra Óptica. Su contenido abarca aspectos introductorios como que es fibra óptica, su origen y evolución. Después empieza a profundizar en aspectos puntuales como los fundamentos de la fibra óptica: óptica de fibras, espectros de emisión de luz, acople de luz, transmisión y atenuación, ancho de banda y dispersión, modulación, multiplexaje y verificación de señales en sistemas. Conocidos los aspectos teóricos fundamentales se orienta al lector hacia el conocimiento de los tipos de fibras y el cableado donde se tocan temas como: requerimientos funcionales, proceso de fabricación de la fibra óptica, tipos de fibra, requerimientos de diseño de cables de fibra óptica, estructura de los cables de

fibra óptica. Una vez expuestos los fundamentos, características se ofrecen las ventajas y desventajas de la fibra óptica, las características mecánicas, los acoples, empales entre otros puntos. Dicho manual cuenta con una sección de apéndices donde incluyen otros temas referentes a las fibras ópticas.

### **5.1.3 Manual 3**

El manual 3 “Cable de fibra óptica submarina, una vista rápida al cable maya”, este recopila información actual acerca de los nuevos enlaces utilizando fibra óptica por debajo de la superficie y para ser más concretos de los mares y océanos. Los temas que se desarrollan en él son:

1. Historia de cables submarinos.
  - 1.1. Actuales.
  - 1.2. Futuros.
2. Proyectos internacionales de Costa Rica.
  - 2.1. Proyecto Panamericano.
  - 2.2. Columbus I y II.
  - 2.3. Maya I
  - 2.4. Oxígeno.
3. Proyectos de cables Submarinos.
  - 3.1. Tipo privado.
  - 3.2. Tipo consorcio

- 3.3. Otros.
- 4. Consideraciones básicas de diseño.
  - 4.1. Conectividad.
  - 4.2. Arquitectura de la Red.
  - 4.3. Capacidad.
  - 4.4. Tecnología.
- 5. Sistema satelital vrs sistema óptico submarino.
  - 5.1. Conectividad.
  - 5.2. Alcance.
  - 5.3. Capacidad.
  - 5.4. Costo de construcción.
  - 5.5. Costo de operación.
  - 5.6. Otros de temas más.
- 6. Generalidades del Sistema de Maya I.
  - 6.1. Actividades.
  - 6.2. Socios.
  - 6.3. Configuraciones.
  - 6.4. Etc.

Este manual es de gran importancia cuando se visualiza el hecho de que una de las expectativas del área con la puesta en marcha del sistema es la venta de servicios en el futuro, esta puede ser para entidades externas al ICE u otras UEN.

Lo anterior es porque del ancho de banda asignado al nuevo sistema un porcentaje será para el Proceso de Explotación Central, Área de protección y medición, otro para la UEN de transporte a quien pertenece el Proceso de Explotación como se mencionó en el capítulo primero, y otro se destinará para venta de servicios.

Dado que el nuevo sistema está previsto para el transporte de grandes cantidades de información, voz, vídeo y otros, sería una entrada de ingresos considerable para sus precursores. Es sin embargo importante recalcar que los equipos que se espera instalar inicialmente son para operación exclusiva del área de protección y medición y para la venta de servicios es necesario instalar otros equipos de la misma tecnología pero para las nuevas funciones requeridas.

#### **5.1.4 Manual 4**

El manual 4 "Fundamentos de Redes, Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)", este se diseño, recopilo y compilo pensando en que el nuevo sistema será una gran red. Cómo sé a mencionado ya en varias ocasiones el personal técnico no poseen conocimientos en el área de la telemática y es esto comprensible pues no es su campo de trabajo, ni de instrucción académica formal. Por tal motivo crea una necesidad real de insuficiencia de conocimiento la cual se espera pueda ser solventada con este texto.

Este compendio de ideas desarrolla el tema de las redes digitales de servicios integrados conocidos como RDSI y en inglés sus siglas son ISDN. Sus principales centrales son:

- ◆ Introducción a la transmisión de datos actual.
- ◆ Por qué Red Digital de Servicios Integrados.
- ◆ Estructura de la RDSI (ISDN), banda estrecha.
- ◆ Interfaces de acceso para RDSI.
- ◆ La RDSI y el modelo OSI.
- ◆ Implementación y evolución de la RDSI.
- ◆ Concepto de la RDSI, banda ancha y nuevas tecnologías para la transmisión de datos.
- ◆ Tecnologías Sonet, SDH.
- ◆ Servicios de RDSI, banda ancha.
- ◆ Tecnología ATM (transferencia asíncrona).
- ◆ Protocolos y nodos de ATM.

Aunque el temario es extenso, el texto es concreto en él se desarrollan muchos de los temas por medio de tablas, gráficos de relación, figuras principalmente.

### **5.1.5 Manual 5**

El manual 5 “Fundamentos de Señales, Multiplexación y Transmisión de Señales Analógicas”, recopila los principales conceptos para el procesamiento, transmisión, recepción de señales en forma analógica. Los puntos de mayor relevancia que se desarrollan son un capítulo introductorio acerca de que es modulación. Seguido de este se hace una Introducción a la modulación y multiplexado de señales, para formar una idea acerca de posibles formas de transmisión siempre sobre un mismo canal.

Después se desarrollan distintas formas de modulación analógica, las herramientas teóricas que permiten por ejemplo el funcionamiento de la radio, ósea se habla de modulación de Amplitud (AM), modulación de Frecuencia (FM), modulación de Fase (PM) y modulación de Impulsos. En estos se engloban los métodos más comunes de modulación.

Como siguiente punto en el texto se cita los métodos de demodulación, los cuales permiten obtener una señal de información que se encuentra en la señal de recibida donde vienen la portadora y la envolvente.

En la sección final de apéndices se muestran casos de aplicación, así como un tema muy importante para el personal para quien es dirigido el manual, como lo es un apéndice de simbología y tablas y por el cual le será posible la lectura y comprensión de diagramas sobre el tema.

### **5.1.6 Manual 6**

El manual 6 “Fundamentos de Microondas y Sistemas de Radioenlaces” trata sobre el tema de las microondas y sistemas de radioenlaces. Este fue desarrollado pues en el proceso de investigación para determinar el medio de

comunicación una de las opciones que se manejaron fue ésta. Sin embargo, este medio no será utilizado por el momento como sistema de apoyo, tal vez en el futuro. El texto desarrolla los siguientes temas: se introduce el concepto de microondas, sus características, el espectro de microondas, la naturaleza de una onda electromagnética para iniciar. Seguidamente desarrolla el tema de antenas pues son por medio de estas que son irradiadas las ondas electromagnéticas.

Conocido el fundamento teórico de cómo es posible la transmisión de información se desarrolla el segundo punto fuerte del texto como lo son los enlaces tanto analógicos como digitales, así como las características propias de cada uno. Se le enseña al lector como debe de visualizar la estructura de un radioenlace en forma general. Para finalizar se instruye acerca de cual es la asignación de frecuencias para radioenlaces analógicos y radioenlaces digitales, así como los problemas técnicos que presentan dichos radioenlaces.

#### **5.1.7 Manual 7**

El manual 7 “Principios de Multiplexación” trata tres temas fundamentales circuitos combinatorios, multiplexores y demultiplexores. En el apartado referente a los circuitos combinatorios se explican los principios de los multiplexores y demultiplexores, también los detectores de error a la hora de transmitir información.

Después, explica la multiplexación de señales digitales, su jerarquía, las condiciones necesarias para la transmisión; toca el tema de aplicaciones con multiplexores. En lo referente a los demultiplexores se describen aspectos semejantes a los descritos en los multiplexores.

Además, existe en la sección de apéndices un capítulo acerca de la multicanalización la cual es de gran interés porque existen equipos terminales para multiplexado de señales que podrían utilizarse para comunicación de protecciones.

### **5.1.8 Manual 8**

El manual 8 “COMUNICACIONES DIGITALES Generación y Transmisión de Señales”, este se desarrollo sobre cuatro puntos muy importantes y actuales de las comunicaciones como lo son las comunicaciones digitales, comunicaciones de datos, los protocolos de comunicación de datos y transmisión digital de señales. Este es un trabajo recopilado.

### **5.1.9 Manual 9**

El manual 9 “AUTOMATAS PROGRAMABLES Controladores Lógicos Programables (PLC´s)”, su desarrollo es sobre cuatro temas principales.

El primero es acerca de los conceptos básicos en el se tratan cuestiones como el autómata programable industrial, los principios de funcionamiento de autómata, sistemas de numeración, códigos de numeración, conceptos de registros, álgebra de Boole entre otros.

Como segundo punto de interés se analiza los componentes del autómata. Es una de las secciones más importantes, porque es aquí donde el lector puede aprender la estructura interna de un PLC. Se hace mención a la unidad central de procesamiento, sistema de entradas y salidas, los controladores, las salidas y entradas remotas, las herramientas de equipo de programación y periféricos, los puertos de comunicación y otros componentes del hardware del dispositivo con lo que el lector si posee un conocimiento técnico previo del equipo podrá tener una visión más detallada del equipo.

El tercer punto desarrollado es lo referente a los elementos de programación entendiéndose por esto los conjuntos de instrucciones del autómata, lenguajes de programación, algunos ejemplos, etc.

Finalmente se trata el tema las aplicaciones de un autómata programable, su configuración, puesta a punto fiabilidad y otros aspectos relacionados con elementos con su funcionamiento en la industria.

Aunque los PLC son de dispositivos de implementación directa en este proyecto en específico, para el área de protección y medición, es de gran importancia el hecho de que su personal conozca el principio de operación, la estructura, los elementos para operarlo y distintas aplicaciones que se pueden obtener de los PLC. La razón que fundamenta lo anterior, es que en gran cantidad de procesos de control de subestaciones se encuentran bajo su supervisión y son PLC los encargados de controlar dichos, por tal razón es necesaria una herramienta didáctica genérica como el manual 9 que brinda los conocimientos generales sin recaer en la operación de un equipo de una marca en específico.

### **5.1.10 Manual 10**

El manual 10 “Terminología de Teleinformática”, este contiene los términos y expresiones que más frecuentemente se emplean en el campo de la Teleinformática, la mayoría de las definiciones se han extraído de las publicaciones pertenecientes al ITU – T, simplificando en algunos casos las mismas.

Asimismo, también se han incorporado términos provenientes de otras obras editadas en idioma inglés, español, alemán, francés y portugués, como así también, de folletos técnicos de los fabricantes de equipos para Teleinformática.

Se hace uso de términos tanto en español como inglés. Esto porque es necesario el uso del idioma inglés para algunas palabras, cuya traducción, aunque posible, carecería de sentido práctico, dado el uso exclusivo que se hace de la palabra original. En otros casos se han traducido algunas expresiones, pero pueden ser buscadas en el glosario en su idioma original y el mismo dirigirá la respuesta hacia donde se ha efectuado la traducción.

Además, el manual contiene otra sección que se refiere a todas las siglas de uso común en el campo de las comunicaciones, telecomunicaciones, sistemas implementados con SONET y SDH, teleinformática y otras áreas que contienen relación las mencionadas.

## 5.2 Libros recomendados

Además, sé ha hecho la recomendación de bibliografía referente a los temas de comunicaciones y telemática útil para la instrucción del personal sobre estos nuevos temas. La lista bibliográfica es la siguiente:

Pujolle, Guy. **Telemática**. 1 ed. Madrid, España: Paraninfo, 1985.

Glisis Savo y Branka Vucetic. **Spread Spectrum CDMA Systems For Wireless Communication**. Boston, EUA: Artech House Publishers, 1997.

Jardón Aguilar H y Roberto Linares. **Sistemas de Comunicaciones por Fibras ópticas**. México D.F., México: Alfaomega, 1995.

Mariño Acebal, José et al. **Tratamiento digital de la Señal: Una introducción experimental**. 2 ed. México D.F., México: Alfaomega, 1999.

H. F. G. Gwyther. **Potencia Eléctrica y Electrónica de Potencia** 2 ed. México D.F., México: Alfaomega, 1993.

Syed A. Nasar, PH.D. **Sistemas Eléctricos de Potencia**. México D.F., México: McGraw - Hill, 1991.

Siller, Jr. Y Mansoor Shafi. **SONET y SDH, A Sourcebook of Synchronous Networking**. Curtis A. New York, IEEE Communication Magazine, 1996.

## **CAPÍTULO 6**

### **ESPECIFICACIONES DE MEDIO DE TRANSMISIÓN Y EQUIPOS TERMINALES DE OPERACIÓN**

## **6 Especificaciones de medio de transmisión y equipos de operación**

En este capítulo se presenta la guía de especificaciones técnicas para el medio de transmisión y equipo terminal.

En cuanto al medio de transmisión del conductor OPGW se definen características de las fibras, recubrimientos, doblados, además marcado de las mismas con lo cual es posible identificar el número de hilo óptico del respectivo conductor al que pertenece.

Se brindan los datos de requisitos de transmisión donde se define la atenuación de la señal y esta atenuación varía de acuerdo a la longitud del conductor, las longitudes de onda de corte y dispersión.

Es necesario también estipular los requerimientos eléctricos pues recuérdese que el conductor no solo transmite información sino protege a las líneas de alta tensión de anomalías en el transporte del fluido eléctrico. Aquí se revisan aspectos como corrientes para corto circuito, impacto de rayo, rangos de temperatura y otros.

El cable se instala entre las torres de alta tensión, entre una planta generadora y una subestación o entre dos subestaciones. Por lo tanto debe de estar sujeto. Para ello se utilizan los herrajes dispositivos de deben cumplir con una serie de características mecánicas y eléctricas que se citan en el apartado 6.1.1.7.

Una vez que los fabricantes conocen los requisitos que deben cumplir sus productos es necesario que los certifiquen. Para ello tanto al conductor como los accesorios para sujetarlo deben de cumplir una serie de pruebas las cuales brindarán el respaldo para la adquisición del producto. Algunas de ellas son pruebas de tensión a herrajes, de suspensión, prueba de doblado al conductor, de corriente de falla, de impacto de rayos, etc.

La segunda guía de especificaciones elaborada corresponde a la del cable de fibra óptica para teleprotecciones.

En esta al igual que en el anterior se realizan las pruebas de doblado, recubrimiento, etiquetado, atenuación y dispersión. Para la implementación de éste no es necesario accesorios adicionales pues su conexión será de la teleprotección al equipo terminal.

Sin embargo, si debe realizar una serie de prueba para garantizar su producto, estas se encuentran en el apartado 6.2.3 y algunas de ellas son: prueba de tensión, prueba de revestimiento, doblado, etc.

Finalmente, se generó la tercer guía referente al equipo terminal de teleprotecciones. En el apartado 6.3 se especifican las características de los transmisores y receptores ópticos, interfaces de señales, equipo de multiplexación y el distribuidor óptico. Para esos equipos no se solicitan pruebas pero si que cumplan con estándares internacionales fijados por organizaciones como la ITU.

En cada una de las tres guías de especificaciones uno de los apartados corresponde a otros servicios y materiales. Este apartado corresponde a que los oferentes deben además suministrar al comprador en este caso el ICE, capacitación al personal que manejará estos productos con el fin de evitar daños en los dispositivos por desconocimiento.

En el apartado se solicita entrenamiento con productos idénticos a los que instalarán, trabajo de práctica si es necesario algún equipo especial para su instalación.

## **6.1 Características del medio de transmisión y accesorios**

### **6.1.1 Características generales**

El medio de transmisión es un hilo guarda OPGW del tipo Dotterel, herrajes y otros accesorios.

#### **6.1.1.1 Generalidades**

El cable debe de tener una vida de al menos 30 años.

El cable deberá contener un mínimo de 48 fibras y se recomienda un máximo de 96. El número de requerido se indicará en las especificaciones técnicas particulares.

El cable debe cumplir con los requerimientos especificados en IEC 793 y IEC 794, clase B o ITU – T Rec. G.652.

### 6.1.1.2 Fibras

El oferente debe de suministrar información general para las fibras ópticas que utilizará. El fabricante debe indicar si utiliza cualquier subcontratista en la fabricación de las fibras.

#### 6.1.1.2.1 Especificaciones de la fibra

Las fibras deben cumplir con las especificaciones geométricas dadas en la recomendación G. 652 que se establecen a continuación:

**Tabla 6.1** Listado de especificaciones

Descripción	Valores
Diámetro del campo modal. Peterman II (a 1300 nm)	$9.3 \pm 0.5 \mu\text{m}$
Error de concetricidad campo modal/ revestimiento	$\leq 0.8 \mu\text{m}$
No – circularidad del campo modal	6 %
Diámetro del revestimiento	$125 \pm 2 \mu\text{m}$
No – circularidad del revestimiento	$\leq 2\%$
Diámetro de revestimiento contra UV	$245 \pm 10 \mu\text{m}$

El oferente debe presentar un gráfico mostrando el perfil del índice típico de refracción de la fibra.

Deben suministrarse los resultados de pruebas de tensión y dar el factor de corrosión por el esfuerzo y el gráfico típico de variables de carga por tensión y probabilidad de ruptura.

#### **6.1.1.2.2 Recubrimiento primario**

Las fibras deben tener un recubrimiento de acrílico resistente a la radiación ultravioleta (UV).

#### **6.1.1.2.3 Doblado de las fibras – fibras recubiertas**

El diámetro de doblado permanente mínimo permitido para las fibras recubiertas deberá ser menor o igual a 60  $\mu\text{m}$ .

#### **6.1.1.2.4 Marcado de las fibras**

Las fibras y los alojamientos de fibra deben tener un código de colores para su fácil identificación y localización en cualquiera de los dos extremos del cable.

El código de colores del alojamiento debe cumplir con la norma EIA/TIA 598, y estar de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 6.2** Código de colores de alojamiento de 8 hilos

<b>Alojamiento</b>	<b>Color</b>	<b>Alojamiento</b>	<b>Color</b>
1	Azul	5	Gris
2	Naranja	6	Blanco
3	Verde	7	Rojo
4	Café	8	Negro

El código de colores de cada fibra dentro del alojamiento debe cumplir con la norma EIA/TIA – 598, y cumplir con la siguiente tabla:

**Tabla 6.3** Código de colores de alojamiento 48 hilos

<b>Alojamiento</b>	<b>Color</b>	<b>Alojamiento</b>	<b>Color</b>
1	Azul	25	Azul
2	Naranja	26	Naranja
3	Verde	27	Verde
4	Café	28	Café
5	Gris	29	Gris
6	Blanco	30	Blanco
7	Rojo	31	Rojo
8	Negro	32	Negro
9	Amarillo	33	Amarillo
10	Violeta	34	Violeta
11	Rosado	35	Rosado
12	Verde claro	36	Verde claro
13	Azul	37	Azul
14	Naranja	38	Naranja
15	Verde	39	Verde
16	Café	40	Café
17	Gris	41	Gris
18	Blanco	42	Blanco

19	Rojo	43	Rojo
20	Negro	44	Negro
21	Amarillo	45	Amarillo
22	Violeta	46	Violeta
23	Rosado	47	Rosado
24	Verde claro	48	Verde claro

Se distribuyen en tubo apretado de doce fibras cada uno. El primer grupo se encontrará en cable azul (1 -12), el segundo grupo en el cable naranja (13-24), el tercer grupo en el cable verde (25-36) y el cuarto grupo en el cable café (37-48).

El pigmento de los colores debe ser compatible con todos los demás materiales que conforman el cable, ser estable en color, es decir, el color no debe desvanecerse al limpiarse para ser utilizado, y no ser susceptible a migración.

### **6.1.1.3 Diseño del cable**

#### **6.1.1.3.1 General**

El cable debe estar diseñado para funcionar en líneas de alta tensión de 138 KV y 230 KV.

El cable debe ser longitudinalmente sellado contra agua.

Las fibras deben estar contenidas dentro de tubos holgados rellenos de compuestos. El núcleo del cable debe estar conformado por un espaciador central de aluminio ranurado helicoidalmente, donde cada ranura contiene un tubo holgado. Las capas conductoras deben garantizar la protección mecánica del núcleo.

#### **6.1.1.3.2 Compuesto de relleno**

1. El compuesto de relleno no debe afectar el color del recubrimiento primario.
2. El compuesto de relleno debe ser removible fácilmente del recubrimiento primario.
3. El compuesto de relleno debe ser no tóxico, sin olor y no afecta la piel.
4. El compuesto de relleno debe ser resistente al agua.

#### **6.1.1.3.3 Capa conductora**

Deben utilizarse hilos de acero aluminizado para la constitución del cable. Los hilos deben estar de acuerdo con las especificaciones IEC 1232 e IEC 104.

Cuando se usen hilos de aluminio para aumentar la conductividad los hilos deberán cumplir con IEC 889. Las capas conductoras externas del cable deben estar dispuestas hacia la derecha.

#### **6.1.1.4 Requerimientos de transmisión**

##### **6.1.1.4.1 Diámetro del campo modal**

El diámetro del campo modal debe cumplir con los datos en la subapartado.

##### **6.1.1.4.2 Atenuación**

###### **6.1.1.4.2.1 Atenuación en el intervalo de longitud de onda 1285 – 1330 nm.**

El coeficiente de atenuación medido sobre una longitud dada del cable debe ser como máximo 0.40 dB/Km, como valor medio de todas las fibras y no deberá exceder el límite máximo de 0.45 dB/Km, para la fibra individual.

###### **6.1.1.4.2.2 Atenuación en el intervalo de longitud de onda 1530 – 1570 nm**

El coeficiente de atenuación medido sobre una longitud dada del cable debe ser como máximo de 0.25 dB/Km, como valor medio de todas las fibras y no deberá exceder el máximo de 0.30 dB/Km, para una fibra individual.

##### **6.1.1.4.3 Longitud de onda de corte**

La longitud de onda de corte en el cable debe ser siempre menor a 1280 nm.

#### **6.1.1.4.4 Dispersión**

La longitud de onda de dispersión cero en una longitud dada (coeficiente de dispersión cromática) del cable suministrado debe estar entre 1300 – 1322 nm. El coeficiente de dispersión deberá ser como máximo 3.5 ps / (nmKm) y el máximo gradiente de cero dispersión deberá ser 0.095 ps (nm<sup>2</sup>Km).

A 1550 nm el coeficiente de dispersión deberá ser como máximo 20 ps (nmKm).

#### **6.1.1.5 Requerimientos eléctricos**

##### **6.1.1.5.1 Corriente de corto circuito**

El cable debe soportar sin daño la elevación de temperatura asociada con la corriente de falla que fluye por hilo de guarda. La corriente de cortocircuito debe ser calculada como valor r.m.s. para un segundo de duración, de modo que para una temperatura ambiental inicial de 30 °C no se produzca daño permanente en las fibras ni en el recubrimiento.

La capacidad de corriente de cortocircuito requerida se indicará en las especificaciones técnicas particulares.

### 6.1.1.5.2 Impacto de rayo

El cable debe soportar sin daño la elevación de temperatura y otros efectos asociados con el impacto de un rayo en el hilo de tierra. Los parámetros de comportamiento específicos se dan a continuación.

**Tabla 6.4** Parámetros de comportamiento del cable

Componente	Parámetro	Valor	Tolerancia
Impacto inicial	Corriente pico	200 KA	± 10 %
	Integral de acción	2 (KA) <sup>2</sup> s	± 10 %
	Longitud del pulso	< 500 μs	
	Tiempo de elevación	< 25 μs	
Corriente Intermedia	Amplitud media	2 KA	± 10 %
	Longitud del pulso	< 5μs	
	Transferencia de carga	10 C	± 10 %
	Amplitud	200 – 800 A	
	Duración	250–1000 ms	
	Transferencia de carga	200 C	± 10 %
Reimpacto	Amplitud pico	100 KA	± 10 %
	Integral de acción	0.25 (KA) <sup>2</sup> s	± 10 %
	Longitud de pulso	< 500 μs	

## 6.1.1.6 Características mecánicas

### 6.1.1.6.1 General

Las características mecánicas del Diámetro, peso y RTS se indicarán en las especificaciones particulares. Las fibras no deben tener cambio de atenuación para cargas similares a las de un conductor equivalente al indicado en las especificaciones técnicas y temperaturas del punto 6.1.1.6.3.

### 6.1.1.6.2 Doblado del cable

El radio de doblado mínimo del cable permitido debe ser menos de 15 veces el diámetro exterior.

### 6.1.1.6.3 Temperatura

Se debe aplicar los siguientes rangos de temperatura:

**Tabla 6.5** Rangos de temperatura

Descripción	Valores (°C)
Durante transporte y almacenamiento	-40 → +70
Durante el funcionamiento	0 → +60
Durante la instalación	0 → +40

## 6.1.1.7 Herrajes

### 6.1.1.7.1 General

El cable óptico y los herrajes son un sistema. Los herrajes deben ser

compatibles con el cable para asegurar que el sistema sobrevivirá en el medio de operación por el tiempo de vida para el cual fue diseñado.

El herraje debe soportar cargas sin causar daño al cable, tanto mecánicamente como ópticamente, durante el tiempo de vida de diseño.

Todos los accesorios y herrajes incluidos en el sistema deben ser adecuados para treinta o más años de vida operacional en un medio ambiente de alto voltaje y deben ser aprobados por el ICE antes de que se inicie su instalación.

Todos los accesorios y herrajes deben estar diseñados de acuerdo con los últimos estándares de IEC o estándares equivalentes.

Se deben incluir varillas preformadas en el caso de los herrajes de suspensión. El suministro debe incluir los conectores necesarios para interconectar el OPGW a la estructura mediante un conductor de cobre o aluminio calibre 4/0 AWG. Este cable debe ser de tipo extraflexible de manera que no se someta al OPGW a esfuerzos mecánicos adicionales.

#### **6.1.1.7.2 Requerimientos mecánicos**

Los siguientes requerimientos de comportamiento general deben cumplirse para los herrajes del OPGW. Los herrajes deben ser capaces de cumplir estos requisitos sin afectar la señal óptica.

#### **6.1.1.7.2.1 Herrajes de suspensión**

1. Deben soportar una carga del 40% de la tensión nominal de ruptura (RTS) del OPGW a un ángulo de desvío de 30°, sin que ocurra deformación de la grapa.
2. La grapa debe soportar la fuerza de los tornillos de grapado sin experimentar deformación permanente.
3. La fuerza de grapado debe ser de al menos 112 KN a un torque de 60 Nm
4. Los pernos de grapado y las roscas deben soportar una carga de tensión axial de 67 KN sin presentar falla.

#### **6.1.1.7.2.2 Herrajes para tensión**

1. Deben soportar sin que ocurra deformación, una tensión igual al 61% de la tensión nominal de ruptura (RTS) del OPGW, y luego soportar sin que ocurra ruptura, una tensión igual a la de ruptura del OPGW.
2. El OPGW instalado en la grapa de tensión debe de soportar una carga del 90% de la tensión de ruptura del OPGW, sin que ocurra deslizamiento, grietas ni roturas en ninguno de los hilos.

### **6.1.1.7.3 Requerimientos eléctricos**

#### **6.1.1.7.3.1 Herrajes de suspensión**

1. Deben soportar las corrientes de corto circuito dadas en la apartado de requerimientos eléctricos (6.1.1.5.1). La corriente de cortocircuito debe tener un valor de impulso de al menos 2.3 veces el valor r.m.s.

#### **6.1.1.7.3.2 Herrajes para tensión**

1. Deben soportar las corrientes de corto circuito dadas en la apartado de requerimientos eléctricos (6.1.1.5.1), sin embargo, la corriente máxima de cortocircuito debe ser 20 KA. La corriente de cortocircuito debe tener un valor de impulso de al menos 2.3 veces el valor r.m.s.

### **6.1.1.8 Pruebas de tipo**

Las pruebas deben realizarse de acuerdo con las especificaciones. La prueba debe hacerse de tal manera que el procedimiento de prueba o el equipo de prueba no afecte los resultados.

El cable incluyendo todos los herrajes debe resultar sin daños después de la prueba y funcionar de acuerdo con las especificaciones.

### **6.1.1.8.1 Fibras**

#### **6.1.1.8.1.1 Longitud de onda de corte**

La longitud de onda de corte del modo de segundo orden ( $LP_{11}$ ) debe estar en el rango de 1150 – 1330 nm medido en 2 metros de fibra según el método de prueba de referencia (RTM).

#### **6.1.1.8.1.2 Prueba del revestimiento primario**

El revestimiento primario debe ser sometido a prueba por un tiempo mayor a 1 segundo con un esfuerzo de mínimo 1%. Debe especificarse el esfuerzo aplicado.

#### **6.1.1.8.1.3 Doblado**

Se deben arrollar suavemente 100 vueltas de fibra recubierta en un cilindro de 75 mm de diámetro. El incremento de la pérdida debe ser menor 0.05 dB a 1550 nm de longitud de onda.

### **6.1.1.8.2 Cable**

#### **6.1.1.8.2.1 Sellado longitudinal contra agua (water tightness)**

El cable debe tener sellado longitudinalmente contra de acuerdo con la especificación IEC 794-1-F5.

#### **6.1.1.8.2.2 Comportamiento bajo tensión**

La tensión permitida durante la instalación en la gama de temperatura de 0° a + 40°C debe especificarse. El método de medida se indica en IEC794-1-E1.

#### **6.1.1.8.2.3 Máxima resistencia a tensión**

La máxima resistencia a tensión antes de que las fibras se comiencen a elongar debe ser especificada. Debe obtenerse un gráfico de carga versus atenuación. El método de medida está indicado en IEC 794-1-E1.

#### **6.1.1.8.2.4 Prueba de tensión con herraje de suspensión**

Debe llevarse a cabo una prueba de tensión del OPGW con un herraje de suspensión instalado. La prueba debe hacerse en una máquina de tensión con el conjunto de suspensión soportando el máximo ángulo de desvío de diseño. Se debe incluir una descripción de la forma como se hizo la prueba, ángulo máximo y una tabla que muestre la tensión del cable contra la atenuación óptica.

#### **6.1.1.8.2.5 Prueba de tensión con herraje de tensión**

Se debe llevar a cabo una prueba de tensión del OPGW con un herraje de tensión instalado. La prueba debe ser hecha en una máquina de tensado. Debe obtenerse una descripción de cómo se hace la prueba, ángulo máximo y una tabla mostrando la tensión del cable contra la atenuación óptica.

#### **6.1.1.8.2.6 Resistencia de prensado**

La prueba de resistencia a prensado debe ser hecha de acuerdo con IEC 794-1-E3.

La resistencia máxima a prensado debe ser declarada. La variación permitida en atenuación de las fibras deberá ser un máximo 0.1 dB a 1310 y 1550 nm.

#### **6.1.1.8.2.7 Pruebas con poleas**

Deben llevarse pruebas con poleas. Deben suministrarse un diagrama de cómo se llevó a cabo la prueba, tensión del cable, diámetro de la polea, ángulos y número de pases sobre la polea.

**Requerimiento:** Después de esta prueba las fibras deben resultar sin daño y funcionar de acuerdo con la especificación.

#### **6.1.1.8.2.8 Corriente de falla**

Debe hacerse una prueba de temperatura. Debe presentarse en un diagrama el aumento en atenuación en las fibras como función de la temperatura del cable hasta la temperatura que alcance el cable cuando éste conduciendo al corriente de falla de diseño.

**Requerimiento:** la atenuación de las fibras debe ser reversible cuando la temperatura regresa al ámbito de funcionamiento. El cable debe estar si daños y trabajar de acuerdo con la especificación.

#### **6.1.1.8.2.9 Impacto de rayos**

Debe examinarse cómo responde el cable a impactos de rayos (impulso). Deben suministrarse pruebas y resultados.

#### **6.1.1.8.3 Herrajes**

##### **6.1.1.8.3.1 General**

A menos que en un caso específico se indique de otra manera, las pruebas establecidas en las apartados 6.1.1.8.3.2 – 6.1.1.8.3.4 deben hacerse en tres muestras, y de manera que el procedimiento seguido y el equipo empleado no afecten los resultados.

Los resultados obtenidos deben registrarse e incluirse dentro de la documentación.

##### **6.1.1.8.3.2 Galvanizado**

Las pruebas se harán de acuerdo con la norma ISO 2178. De acuerdo al tamaño de la pieza, se deben hacer tres (3) a diez (10) mediciones en cada una. Estas mediciones deben estar uniforme y aleatoriamente distribuidas sobre toda la superficie.

El espesor mínimo y medio del recubrimiento debe cumplir lo establecido para galvanizado en caliente de acuerdo a la norma ASTM A 123.

#### **6.1.1.8.3.3 Fuerza de grapado**

La fuerza medida debe exceder el valor especificado en los apartados 6.1.1.7.2.

#### **6.1.1.8.3.4 Carga de ruptura**

Después de realizar la prueba descrita en el apartado 6.1.1.8.2.5, se debe incrementar la carga hasta que el herraje falle.

La carga a la cual ocurre la ruptura debe exceder la tensión de ruptura del OPGW.

#### **6.1.1.9 Pruebas a muestras**

##### **6.1.1.9.1 General**

Las muestras deben ser seleccionadas aleatoriamente del lote de envío. El ICE tiene derecho de hacer la selección.

Las muestras las deben suministrar el fabricante y deben agregarse al lote sin ningún cargo para el ICE.

Las muestras se deben someter a pruebas según los apartados correspondientes.

El fabricante debe informar al ICE con suficiente antelación a la fecha en que se ejecutarán las pruebas a muestras.

El reporte de las pruebas debe archivarlo el fabricante y tenerlo disponible para el ICE si lo solicita.

En caso de que las muestras no satisfagan las pruebas, se debe aplicar el procedimiento descrito a continuación.

Si falla una (1) muestra o parte de ella, se tomará una muestra igual al doble de la cantidad tomada originalmente para repetir las pruebas. El procedimiento comprende la repetición de la prueba en que falló la muestra, precedida por las que se considere influenciaron en los resultados de la prueba original.

Si dos (2) o más muestras fallan o si ocurre cualquier falla al realizar el procedimiento descrito en el párrafo anterior, se considera que el lote total no cumple con esta especificación y deben ser retiradas por el fabricante.

En caso de que la causa de la falla se haya identificado claramente, por el fabricante puede eliminar del lote los elementos que tengan este defecto. Una vez que se han retirado los elementos defectuosos, se somete el resto del lote a pruebas.

Para esto se debe enviar una muestra de tres veces la cantidad original. El procedimiento comprende la repetición de la prueba en que falló la muestra precedida por las que se considere influenciaron en los resultados de la prueba original. Si ocurre alguna falla se considera que todo el lote incumple con esta especificación.

#### **6.1.1.9.2 Prueba cíclica de temperatura**

Debe hacerse una prueba de temperatura de acuerdo con la especificación IEC 794 – F1. Deberá confirmarse que el cable y la fibra óptica funcionan de acuerdo con la especificación de temperatura dada en la apartado 6.1.1.6.3.

El resultado debe ser presentado en un diagrama de muestra la atenuación contra temperatura para todas las fibras del cable, individualmente para 1310 nm y 1550 nm.

La longitud de prueba del cable debe ser como mínimo de 1000 m arrollado libremente sobre un carrete.

El número de ciclos diferentes temperaturas y el tiempo de cada medida a cada temperatura deben indicarse.

Los requerimientos de prueba de temperatura son:

- ◆ Intervalo de temperatura: -40 °C a + 60°C
- ◆ Variación máxima de temperatura: 0.10 dB/Km

## **6.1.1.10 Aprobación de tipo**

### **6.1.1.10.1 Generalidades**

El OPGW de acuerdo con esta especificación debe ser aprobado por el ICE antes de su envío. Para la aprobación el fabricante deberá verificar el OPGW en todos los aspectos cumple con los requerimientos de estas especificaciones. El fabricante debe suministrar la documentación especificada.

La aprobación de los planos no relevará al fabricante de su responsabilidad de asegurarse de que el cable cumple con los requisitos especificados.

Todos los documentos deben estar escritos en español o en inglés.

Si el fabricante después de la aprobación hace cualquier cambio en relación con su documentación dada de acuerdo a las especificaciones del punto 6.1.1.8, el ICE deberá ser informado para un re-examen.

### **6.1.1.10.2 Documentación**

#### **6.1.1.10.2.1 Plano de ensamblaje**

El plano de ensamblaje deberá estar de acuerdo con la norma ISO – 5455 que muestra la sección del cable. En este dibujo debe darse lo siguiente para el cable:

- ◆ Tipo
  
- ◆ Sección transversal y trenzado

- ◆ Diámetro externo
- ◆ Diámetro de doblado mínimo permitido
- ◆ Módulo de elasticidad
  - Número de fibras/tubos
  - Peso por unidad de longitud
  - Resistencia
  - Carga ruptura
  - Carga máxima permitida que no haya cambiado en atenuación
  - Máxima carga EDS permitida

#### **6.1.1.10.2.2 Subfabricante**

Indicar si se utiliza cualquier subfabricante de fibras.

#### **6.1.1.10.2.3 Datos de las fibras**

Hojas de datos con los datos geométricos, físicos y ópticos sobre las fibras, junto con un gráfico mostrando el índice de refracción típico de las fibras.

#### **6.1.1.10.2.4 Doblado de fibras, fibras recubiertas**

El diámetro mínimo de doblado permanente debe ser declarado.

#### **6.1.1.10.2.5 Marcado de las fibras**

Descripción del número de tubos amortiguadores, número de fibras en cada tubo, códigos de color y el estándar de marcado.

#### **6.1.1.10.2.6 Diseño del cable**

Descripción acerca del funcionamiento en líneas de alta tensión.

#### **6.1.1.10.2.7 Compuesto de relleno del cable**

Descripción acerca del tipo de relleno y el ámbito de temperatura en el cual da protección completa a las fibras.

#### **6.1.1.10.2.8 Cubierta interna y/o tubos amortiguadores del cable**

Descripción acerca del tipo de cubierta y/o el material de los tubos amortiguadores.

#### **6.1.1.10.2.9 Atenuación del cable**

La atenuación debe ser indicada y debe suministrarse un gráfico que muestre la variación espectral típica de ésta.

#### **6.1.1.10.2.10 Longitud de onda de corte del cable**

Debe de establecerse.

#### **6.1.1.10.2.11 Dispersión total del cable**

Debe declararse.

#### **6.1.1.10.2.12 Corriente de cortocircuito del cable**

Debe declararse.

#### **6.1.1.10.2.13 Impacto de rayo en el cable**

Debe declararse.

#### **6.1.1.10.2.14 Temperatura del cable**

Descripción del intervalo de temperatura permitido.

#### **6.1.1.10.2.15 Herrajes**

Descripción de los datos de transmisión, eléctricos y mecánicos de los herrajes. Dibujos de todos los herrajes y accesorios, tales como montaje para suspensión, montaje para tensión, varillas de armadura, amortiguadores, etc.

#### **6.1.1.10.2.16 Especificaciones de materiales**

Descripción del material incluido.

#### **6.1.1.10.2.17 Descripción**

Descripción del proceso de fabricación.

#### **6.1.1.10.2.18 Sistemas de calidad**

Sistemas de calidad de acuerdo con ISO 9001, 9002 ó 9003.

#### **6.1.1.10.2.19 Instrucciones de instalación**

Instrucciones de instalación en español o inglés con las ilustraciones necesarias.

#### **6.1.1.10.2.20 Reporte de pruebas de tipo.**

El reporte de las pruebas deberá ser hecho de acuerdo con la apartado 6.1.1.9.

#### **6.1.1.11 Envío**

Las fibras deben estar trenzadas de tal modo que si el cable es manejado de acuerdo con los requerimientos durante el transporte, almacenamiento, manejo e instalación las fibras no deben dañarse y trabajar de acuerdo con lo especificado.

La longitud de cable en cada tambor deberá ser el mínimo acordado con una tolerancia entre 0% y 5%.

Cada rollo debe estar marcado con su longitud de cable en metros. El peso del cable más el del carrete no debe ser superior a 3000 Kg. El diámetro externo del carrete debe ser menor a 1900 mm y el agujero interno debe ser de 80 mm.

#### **6.1.1.11.1 Pruebas de envío**

El fabricante deberá llevar a cabo el control de calidad y mantener registros de los resultados de las pruebas.

Las siguientes medidas deben ser hechas en todas las fibras:

- ◆ Atenuación 1300 nm.
- ◆ Atenuación 1550 nm.
- ◆ Longitud de onda de cero dispersión 1300 nm.
- ◆ Pendiente de cero dispersión.
- ◆ Coeficiente de dispersión 1550 nm.

#### **6.1.2 Especificaciones técnicas particulares OPGW. (conductor para hilo de tierra al tipo DOTTEREL)**

##### **6.1.2.1 Características eléctricas**

Corriente de Falla ( $KA^2 \text{ sec}$ ).

### **6.1.2.2 Características mecánicas**

- ◆ Diámetro (mm): 15.42
- ◆ RTS (Kgf): 7200
- ◆ Peso (Kg/Km): 654

### **6.1.2.3 Tablas de flechado**

Una vez adjudicada la licitación el ICE suministrará los datos necesarios para que el fabricante entregue las tablas de flechado de los diferentes tramos a instalar.

### **6.1.2.4 Longitud del cable en los carretes**

Una vez adjudicada la licitación el ICE indicará la cantidad de cable que se debe suministrar en cada carrete.

## **6.1.3 Otros servicios y materiales**

### **6.1.3.1 Supervisión de la instalación**

El oferente deberá cotizar la visita de un supervisor debidamente calificado para los trabajos de instalación, tendido y empalmes de la fibra óptica.

La cotización deberá incluir el costo de la supervisión, los gastos de pasajes, viáticos y otros conceptos.

La duración máxima de esta debe ser de 2 semanas.

El costo de esta supervisión no debe ser tomada en cuenta para la comparación de ofertas. ICE se reserva el derecho de adjudicar o no esta supervisión.

#### **6.1.3.2 Curso de capacitación en la instalación del cable**

Un curso de entrenamiento en fábrica para cuatro ingenieros o técnicos del ICE sobre los conceptos básicos necesarios para la instalación del cable de hilo guarda OPGW (únicamente el costo del curso, por lo que no se deberán cotizar los gastos de pasajes, viáticos y otros conceptos).

Este curso deberá tener énfasis en los aspectos de tendido del cable, herramientas convencionales y especiales, debiendo cubrir también todos los temas necesarios con respecto a los cuidados necesarios para la protección y manejo de la fibra óptica.

El curso deberá tener un adecuado balance teórico – práctico, para lo cual el oferente deberá proponer un temario que garantice que los participantes alcanzarán los objetivos que se plantean en este curso.

Las prácticas deben llevarse a cabo en equipos idénticos a los ofrecidos.

El costo de este curso no será tomado en cuenta para la comparación de ofertas. ICE se reserva el derecho de adjudicación o no de este curso.

### **6.1.3.3 Curso de capacitación en empalmes y pruebas a las fibras ópticas**

Un curso de entrenamiento en fábrica para cuatro ingenieros o técnicos del ICE sobre la realización de empalmes y pruebas de las fibras ópticas (únicamente el costo del curso, por lo que no se deberán cotizar los gastos de pasajes, viáticos, y otros conceptos).

Este curso deberá tener énfasis en la realización de empalmes de la fibras, las pruebas especificadas en el punto 6.1.1.8.1 los equipos a utilizar para la realización de los empalmes, debiendo cubrir también todos los temas necesarios con respecto a los cuidados necesarios para la protección y manejo de la fibra óptica.

El curso deberá tener un adecuado balance teórico – práctico, para lo cual el oferente deberá proponer un temario que garantice que los participantes alcanzarán los objetivos que se plantean en este curso.

Las prácticas deben llevarse a cabo en equipos idénticos a los ofrecidos.

El costo de este curso no será tomado en cuenta para la comparación de ofertas. ICE se reserva el derecho de adjudicación o no de este curso.

#### **6.1.3.4 Equipo y herramientas necesarias para realización de los empalmes y pruebas**

El oferente deberá cotizar cualquier instrumento, equipo o herramienta adicional que considere necesario tanto para el tendido de los cables de hilo guarda OPGW, como para la realización de empalmes y pruebas, explicando la necesidad de su utilización. El ICE se reserva el derecho de adjudicar o no estos equipos adicionales. El costo de cualquier equipo adicional, NO será tomado en cuenta para la comparación de ofertas.

El ICE se reserva el derecho de adjudicar parcialmente, totalmente o de no adjudicar este lote de instrumentos si la oferta no conviene a sus intereses.

### **6.2 Especificación de la fibra óptica usadas para la teleprotección.**

#### **6.2.1 Normas aplicables**

IEC 793-1 Optical fibres – Part 1: Generic specification

IEC 793-2 Optical fibres – Part 2: Product specification

ISO 5455 Technical drawings – Scales

ITU – T G.652 Chacarateristics of a single – mode optical fibre cable

## **6.2.2 Características de las fibras**

### **6.2.2.1 Fibra monomodo estándar**

La especificación es válida para +23°C a menos que otra temperatura sea especialmente mencionada. Se puede especificar un mínimo de 12 fibras, y un máximo de 96 fibras. El número de fibras requerido se indicará en las especificaciones técnicas particulares.

La fibra debe cumplir con los requerimientos específicos en IEC 793 y 794, clase B o ITU – T Rec. G.652. Las definiciones en esta especificación son de acuerdo con la recomendación ITU – T Rec. G.652.

El oferente debe de suministrar información general para las fibras ópticas que utilizará. El fabricante debe indicar también si utiliza cualquier subcontratista en la fabricación de las fibras.

### **6.2.2.2 Especificaciones de la fibra**

La fibra debe cumplir con las especificaciones geométricas dadas en la recomendación ITU – T G.652 que se establece a continuación:

- ◆ Diámetro de campo modal, Peterman II (a 1300 nm):  $9.3 \pm 0.5 \mu\text{m}$
- ◆ Error de conectividad campo modal/revestimiento:  $< 0.8 \mu\text{m}$
- ◆ Diámetro del revestimiento:  $125 \pm 2 \mu\text{m}$

- ◆ No – circularidad del revestimiento: < 2 %
- ◆ Recubrimiento primario contra UV 245:  $\pm 10 \mu\text{m}$

### **6.2.2.3 Recubrimiento primario**

Las fibras deben tener un recubrimiento de acrílico resistente a la radiación ultravioleta (UV).

### **6.2.2.4 Doblado de las fibras – fibras recubiertas**

El diámetro de doblado permanente mínimo permitido para las fibras recubiertas deberá ser menor o igual a 60 mm.

### **6.2.2.5 Marcado de las fibras**

Este apartado cumple con las mismas especificaciones de marcado que las establecidas en el apartado 6.1.1.2.4, por lo tanto para un tubo holgado del conductor que contenga ocho hilos en su interior la distribución es la misma que la mostrada en la tabla 6.2.

El código de colores de cada fibra dentro del alojamiento debe cumplir con la norma EIA/TIA – 598, y cumplir con la siguiente tabla:

**Tabla 6.6** Código de colores de alojamiento para fibra de teleprotección de 12 hilos

<b>Alojamiento</b>	<b>Color</b>	<b>Alojamiento</b>	<b>Color</b>
1	Azul	7	Rojo
2	Naranja	8	Negro
3	Verde	9	Amarillo
4	Café	10	Violeta
5	Gris	11	Rosado
6	Blanco	12	Verde claro

El pigmento de los colores debe ser compatible con todos los demás materiales que conforman el cable, ser estable en color, es decir, el color no debe desvanecerse al limpiarse para ser utilizado, y no ser susceptible a migración.

#### **6.2.2.6 Diámetro del campo modal**

El diámetro del campo modal debe cumplir con los datos dados en la subapartado.

#### **6.2.2.7 Atenuación**

## **6.2.2.8 Atenuación en el intervalo de longitud de onda**

### **6.2.2.8.1 Atenuación en el intervalo de longitud de onda 1285 – 1330 nm**

El coeficiente de atenuación medido sobre una longitud dada del cable debe ser como máximo 0.38 dB/Km, como valor medio de todas las fibras y no deberá exceder el límite máximo de 0.40 dB/Km, para la fibra individual.

### **6.2.2.8.2 Atenuación en el intervalo de longitud de onda 1530 – 1570 nm**

El coeficiente de atenuación medido sobre una longitud dada del cable debe ser como máximo de 0.23 dB/Km, como valor medio de todas las fibras y no deberá exceder el valor máximo de 0.25 dB/Km, para una fibra individual.

## **6.2.2.9 Longitud de onda de corte**

La longitud de onda de corte en el cable debe ser siempre menor a 1280 nm.

## **6.2.2.10 Dispersión**

La longitud de onda de dispersión cero en una longitud dada (coeficiente de dispersión cromática) del cable suministrado debe estar entre 1300 – 1322 nm. El coeficiente de dispersión deberá ser 0.095 ps (nm<sup>2</sup>Km).

A 1550 nm el coeficiente de dispersión deberá ser como máximo 18 ps / (nmKm).

## **6.2.3 Pruebas a realizar sobre la fibra**

### **6.2.3.1 Pruebas de tensión**

Se debe ejecutar una prueba de tensión. Se debe obtener el factor de corrosión por el esfuerzo y el gráfico típico de variables de carga por tensión y probabilidad de falla.

### **6.2.3.2 Prueba de longitud de onda de corte**

La longitud de onda de corte del modo de segundo orden ( $LP_{11}$ ) debe estar en el rango de 1150 – 1330 nm medido en 2 metros de fibra según el método de prueba de referencia (RTM).

### **6.2.3.3 Prueba del revestimiento primario**

El revestimiento primario debe ser sometido a prueba por un tiempo mayor a 1 segundo con un esfuerzo de mínimo 1%. Debe especificarse el esfuerzo aplicado.

### **6.2.3.4 Doblado**

Se deben arrollar suavemente 100 vueltas de fibra recubierta en un cilindro de 75 mm de diámetro. El incremento de la pérdida debe ser menor 0.05 dB a 1550 nm de longitud de onda.

## **6.2.4 Pruebas a muestras**

### **6.2.4.1 General**

Las muestras deben ser seleccionadas aleatoriamente del lote de envío. El ICE tiene derecho de hacer la selección.

Las muestras las deben suministrar el fabricante y deben agregarse al lote sin ningún cargo para el ICE.

Las muestras se deben someter a pruebas según los apartados correspondientes.

El fabricante debe informar al ICE con suficiente antelación a la fecha en que se ejecutarán las pruebas a muestras.

El reporte de las pruebas debe archivarlo el fabricante y tenerlo disponible para el ICE si lo solicita.

En caso de que las muestras no satisfagan las pruebas, se debe aplicar el procedimiento descrito a continuación.

Si falla una (1) muestra o parte de ella, se tomará una muestra igual al doble de la cantidad tomada originalmente para repetir las pruebas. El procedimiento comprende la repetición de la prueba en que falló la muestra, precedida por las que se considere influenciaron en los resultados de la prueba original.

Si dos (2) o más muestras fallan o si ocurre cualquier falla al realizar el procedimiento descrito en el párrafo anterior, se considera que el lote total no cumple con esta especificación y deben ser retiradas por el fabricante.

En caso de que la causa de la falla se haya identificado claramente, por el fabricante puede eliminar del lote los elementos que tengan este defecto. Una vez que se han retirado los elementos defectuosos, se somete el resto del lote a pruebas.

Para esto se debe enviar una muestra de tres veces la cantidad original. El procedimiento comprende la repetición de la prueba en que falló la muestra precedida por las que se considere influenciaron en los resultados de la prueba original. Si ocurre alguna falla se considera que todo el lote incumple con esta especificación.

#### **6.2.4.2 Prueba cíclica de temperatura**

Debe hacerse una prueba de temperatura de acuerdo con la especificación IEC 794 – F1. Deberá confirmarse que el cable y la fibra óptica funcionan de acuerdo con la especificación de temperatura establecida para la aplicación.

El resultado debe ser presentado en un diagrama de muestra la atenuación contra temperatura para todas las fibras del cable, individualmente para 1310 nm y 1550 nm.

La longitud de prueba del cable debe ser como mínimo de 1000 m arrollado libremente sobre un carrete.

El número de ciclos diferentes temperaturas y el tiempo de cada medida a cada temperatura deben indicarse.

Los requerimientos de prueba de temperatura son:

- ◆ Intervalo de temperatura: -40 °C a + 60°C
- ◆ Variación máxima de temperatura: 0.10 dB/Km

En la sección de anexos se presentan diferentes pruebas realizadas a una fibra óptica de 24 y 48 hilos para determinar su atenuación, estas son conocidas como pruebas de protocolo. Además, se anexa un documento con el nombre “MÉTODO DE TENDIDO: Cables de fibra óptica en forma autoportante”, el cual especifica los requerimientos necesarios para la instalación de una fibra óptica de este tipo.

### **6.3 Especificaciones técnicas generales para equipo terminal de protecciones.**

#### **6.3.1 Terminología.**

- ◆ **Señales de protección:**

Son las señales provenientes de los contactores relés y dirigidas a bobinas de relés con potencial de 125 VCD. Las cuales deben de ser transmitidas de un extremo a otro de una línea de transmisión eléctrica con la máxima confiabilidad y en el menor tiempo posible, ya que el propósito de dichas señales es provocar y en el menor tiempo posible, ya que el propósito de dichas señales es provocar o evitar la desconexión de la misma.

### **6.3.2 Transmisor / receptor de línea óptico.**

El equipo debe de reunir una serie de especificaciones que se enumeran a continuación:

1. Para ser usada con fibras ópticas monomodo.
2. Velocidad de transmisión de 8 Mbps o superior.
3. Debe de recibir al menos 4 tributarios de 2 Mbps que cumplan con al norma ITU G. 703.
4. El canal de servicio con teléfono.
5. Los elementos de transmisión y recepción deben tener un ajuste automático de ganancia, de modo que los equipos puedan operar en distancias muy pequeñas (1 Km), así como en largas distancias (hasta 100 Km). El oferente debe de aportar todos los elementos para cumplir con este punto.
6. Se debe de indicar la vida útil de los elementos de transmisión y recepción.
7. Debe poseer una interfase para aceptar una señal de reloj, y transmitirla a demás equipos de la red.
8. Debe de sincronizarse por medio de una señal externa así como por una señal recuperada de la red.
9. Parametrizable por medio de una computadora personal, tanto localmente como remotamente por medio de interfaces de gestión de red. El oferente debe incluirse una computadora portátil para la parametrización local, una

computadora estacionaria para la gestión de la red y todos los programas de (software) para la para la parametrización y gestión de la red.

### **6.3.3 Interfaces de señales.**

1. Capaz de transmitir 4 señales de protección y recibir 4 señales de protección de 125 VDC.
2. El tiempo de transmisión de las señales de protección debe ser inferior a 5 milisegundos.
3. Prueba de bucle programable para todas las señales de protección.
4. Debe integrar una interface de comunicación serie que puede ser V.24 u óptica para cortas distancias, con una velocidad de al menos 19,2 Kbps, destinadas a comunicar protecciones diferenciales de línea digitales.
5. Esta interface para señales de protección debe conectarse directamente al Transmisor / Receptor de línea óptico y eludir la jerarquía multiplexora utilizando canales superpuestos para brindar la mayor disponibilidad a estas señales.

### **6.3.4 Multiplexor flexible**

1. Interfaz troncal eléctrica de 2048 kbps  $\pm$  50 ppm. Impedancia 75 ohms desbalanceada (CCITT G.703.6 ó ITU – T Rec. G.703), para conectarse al Transmisor / Receptor de línea óptico.
2. Capacidad de al menos 30 canales.

3. Posibilidad de Insertar y extraer canales individuales (drop/insert).
4. Interfaz de usuario para transmisión de datos síncrona y asíncrona de 600 a 19200 bps con interfase V.24.
5. Interfaz de usuario para transmisión de datos Nx64 Kbps con interfase V.35/V.11
6. Interfaz de usuario para transmisión de datos G.703.1 codireccional.
7. Con capacidad de alojar al menos 48 fibras ópticas con conectores FC/PC.
8. Abrazaderas para sujetar al menos cuatro cables de fibra óptica.
9. Bandejas para alojar el exceso de fibra óptica.
- 10.El oferente debe incluir al menos 100 "Pig Tail" monomodo con conector FC/PC.
- 11.El oferente debe incluir al menos 100 cordones (patch cords) con conectores FC/PC.

### **6.3.5 Distribuidor óptico**

El distribuidor óptico debe de reunir una serie de especificaciones que se enumeran a continuación:

1. Con capacidad de alojar al menos 48 fibras ópticas con conectores FC/PC.
2. Abrazaderas para sujetar al menos cuatro cables de fibra óptica.

3. Banderas para alojar el exceso de fibra óptica.
4. El oferente debe incluir al menos 100 "Pig Tail" monomodo con conectores FC/PC.
5. El oferente debe incluir al menos 100 cordones (patch cords) con conectores FC/PC.

#### **6.3.6 Requisitos indispensables**

1. El equipo debe estar diseñado para operar en ambientes de alta interferencia electromagnética como el de las subestaciones eléctricas de potencia.
2. Las entradas y salidas, incluyendo la alimentación auxiliar, deben tener un aislamiento para soportar sobrevoltajes transitorios a tierra del menos 2 kv.
3. Se preferirán aquellos equipos que ofrezcan ventajas para ser usados en sistemas de protección
4. Alimentación auxiliar de 125 VCD.

#### **6.3.7 Otros servicios y materiales**

##### **6.3.7.1 Supervisión de la instalación**

El oferente deberá cotizar la visita de un supervisor debidamente calificado para los trabajos de instalación, y puesta en marcha de los equipos terminales (multiplexor, distribuidor óptico, etc).

La cotización deberá incluir el costo de la supervisión, los gastos de pasajes, viáticos y otros conceptos.

La duración máxima de esta debe ser de 2 semanas.

El costo de esta supervisión no debe ser tomada en cuenta para la comparación de ofertas. ICE se reserva el derecho de adjudicar o no esta supervisión.

#### **6.3.7.2 Curso de capacitación en la instalación de los equipos terminales**

Un curso de entrenamiento en fábrica para cuatro ingenieros o técnicos del ICE sobre los conceptos básicos necesarios para la supervisión e instalación de los equipos terminales (únicamente el costo del curso, por lo que no se deberán cotizar los gastos de pasajes, viáticos y otros conceptos).

Este curso deberá tener énfasis en las herramientas convencionales y especiales, debiendo cubrir también todos los temas necesarios con respecto a los cuidados necesarios para la protección y manejo de los equipos terminales.

El curso deberá tener un adecuado balance teórico – práctico, para lo cual el oferente deberá proponer un temario que garantice que los participantes alcanzarán los objetivos que se plantean en este curso.

Las prácticas deben llevarse a cabo en equipos idénticos a los ofrecidos.

El costo de este curso no será tomado en cuenta para la comparación de ofertas. ICE se reserva el derecho de adjudicación o no de este curso.

### **6.3.7.3 Equipo y herramientas necesarias para realización de los empalmes y pruebas**

El oferente deberá cotizar cualquier instrumento, equipo o herramienta adicional que considere necesario para la realización de las pruebas y entrenamiento del personal a capacitar, explicando la necesidad de su utilización. El ICE se reserva el derecho de adjudicar o no estos equipos adicionales. El costo de cualquier equipo adicional, no será tomado en cuenta para la comparación de ofertas.

El ICE se reserva el derecho de adjudicar parcialmente, totalmente o de no adjudicar este lote de instrumentos si la oferta no conviene a sus intereses.

**CAPÍTULO 7**

**ANÁLISIS Y RESULTADOS**

## **7 Análisis y resultados**

### **7.1 Explicación del diseño**

Como se mencionó anteriormente el proyecto consta de tres partes fundamentales,

1. La selección y especificación del medio de transmisión (OPGW).
2. El perfil o características del equipo de transmisión, recepción y multiplexación de las señales.
3. El desarrollo de material técnico – didáctico para la preparación de los miembros del área acerca de temas de comunicaciones y telemática, los cuales se ven involucrados en el proyecto y son nuevos para ellos.

El punto 1 es referente al tipo de medio que se empleará para la transmisión y recepción de las señales, las opciones que se consideraron para implementar fueron inicialmente tres.

La primera opción la transmisión por microondas en estaciones remotas un sistema como el sistema SCADA, el Centro de Control de Energía una dependencia del ICE presenta un sistema de similar este tipo mediante radioenlaces.

La segunda fue la transmisión por Carrier que consiste de un LCP de una función específica la cual es la transmisión de señales a través de las líneas de alta tensión. Estos presentan la facilidad transmitir a diversas frecuencias por lo tanto se pueden tener varios canales de transmisión en el mismo medio. Sin embargo es sensible a las condiciones ambientales.

La tercera de las opciones consideradas y la más fuerte fue el OPGW el cual contiene dentro del fibra óptica, esto por la capacidad, versatilidad y confiabilidad del medio de transmisión. Además la facilidad de instalación, esto debido a que es posible incrustar la fibra óptica dentro del hilo guardia de las líneas de alta tensión, lo que permite que no sea necesario instalar equipo como bases para sostener la fibra y que esta pueda operar. Sin embargo para el cable OPGW si es necesario el uso de herrajes y accesorios para sujetarlos a las torres de alta tensión.

En cuanto a las características técnicas que debe de presentar el medio (fibra óptica), la capacidad, el tipo, etc; Es posible encontrar todos estos datos técnicos en la sección 6.1. allí se detalla cada uno de los requerimientos del medio para la transmisión de información.

El segundo objetivo principal consistió en generar las especificaciones del equipo terminal. Lo primero fue definir sobre que tecnología se desarrollará el sistema. La tecnología del multiplexor será SDH (jerarquía digital sincrónica) existen dos equipos cuyas características se ajustan a los requerimientos de la normativa internacional. Estos son el TN – 1U de Nortel Networks Corporation, y WaveStar™ de la Lucent Technologies Corporation.

Los dispositivos deben de conectarse por medio de fibra óptica a las protecciones eléctricas que se encuentran en los transformadores ubicados en las subestaciones eléctricas. El enlace entre el equipo de protecciones y el de multiplexación es realizado por el cable de fibra óptica seleccionado para tal aplicación y sus especificaciones se encuentran en el apartado 6.2.

En el mismo capítulo seis, se brindan las especificaciones de los herrajes, acoples, accesorios y demás dispositivos necesarios para la instalación del equipo terminal. Al igual que con el medio, dichos elementos deben cumplir la normativa de las distintas instancias internacionales para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema.

El restante punto por analizar es el punto 3. Es punto de interés para el departamento la creación de una biblioteca propia con material adecuado a las necesidades del área. Por ello se procedió a la elaboración de material técnico – didáctico como lo son los diez manuales elaborados.

Estos reúnen información básica sobre los temas de comunicaciones eléctricas, informática, teleinformática, normativa internacional relacionada con la fibra óptica y la tecnología SDH, conocimientos que permitirán al personal del área un mejor desarrollo del sistema y sobre todo de su mantenimiento pues, en ellos se pone de manifiesto el fundamento teórico sobre el actual es posible la utilización de estas tecnologías.

Además, se realizó la selección de libros de temas relacionados con anteriores, para detalle sobre el nombre y contenidos de estos y de los manuales elaborados puede remitirse al capítulo cinco donde se desarrollan ampliamente.

## **7.2 Alcances y resultados**

Los alcances obtenidos son satisfactorios, con relación a los objetivos planteados el desarrollo y cumplimiento de éstos se realizó en forma normal. En la sección 1.3.2 donde se encuentran enumerados los objetivos específicos es posible afirmar que cada uno de ellos fue concluido satisfactoriamente.

Es necesario analizar objetivo por objetivo para verificar que las metas inicialmente propuestas se alcanzaron.

El primer objetivo consistió en investigar acerca de medios físicos o canales para la comunicación de equipos en los sistemas de protección en subestaciones. Se pensó en el uso de microondas, carrier y cable OPGW el cual es cable de hilo guarda con cable de fibra óptica incrustado dentro de él. Dado que se desarrollan proyectos semejantes por parte de otras áreas y buscando la mayor empatía entre los sistemas así como la eficiencia y seguridad se recomendó la utilización del cable OPGW y con ello se cumplió con el segundo objetivo específico recomendar o seleccionar el medio físico adecuado para la comunicación de sistemas de protección en subestaciones y al elaborar la lista de especificaciones técnicas del medio se cumplió con el objetivo tres enumerar los requerimientos técnicos del medio para poder crear una plataforma de comunicación.

Como una segunda parte se procedió a investigar acerca de equipo terminal, en el capítulo seis se realiza la elaboración de la lista de características que deben cumplir los mismos, y en el capítulo cuatro la comparación de equipos presentes en el mercado que satisfacen las características requeridas. Con lo anterior se alcanzaron satisfactoriamente los objetivos cuatro y cinco: investigar acerca de equipos SDH para sistemas de multiplexación de señales para comunicación de sistemas de protección y enumerar los requerimientos técnicos de los equipos de multiplexación para poder crear una plataforma de comunicación.

La tercera parte del proyecto y la más provechosa para el Área de Protección y Medición consistió en la elaboración de material técnico – didáctico, diez manuales que satisfacen las necesidades del personal del área principalmente los técnicos pues, son ellos quienes tratarán con los nuevos equipos y tecnologías. Los manuales se diseñaron pensando en quienes los utilizarían, su nivel académico y el fin de los mismos. Al concluir la elaboración de los manuales se concluyó con los objetivos seis y siete.

Por lo anterior, queda plasmado que los objetivos propuestos se cumplieron satisfactoriamente y en su totalidad. Adicionalmente se realizó el estudio, análisis de requerimientos, elaboración del material didáctico y diseño del programa y cronograma de un curso de reforzamiento de matemática general para el personal del “Proceso de Explotación Central”, instancia superior a la del departamento donde se desarrolló el proyecto.

En cuanto al plan inicial de trabajo (cronograma de actividades) éste tuvo que variarse, esto debido a que fue necesario conocer el fundamento teórico, con el fin instruirse acerca de temas que son nuevos para poder analizar, caracterizar y especificar con criterio técnico cuáles son las necesidades.

Otra situación que motivó la variación fue el hecho que una de las actividades a realizar en fechas posteriores era la elaboración de manuales, por comodidad, se decidió investigar y elaborar simultáneamente con lo cual se optimizan recursos y tiempo.

## **CAPÍTULO 8**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **8 Conclusiones y recomendaciones**

### **8.1 Conclusiones**

1. La implementación de un sistema de comunicación remoto permite al área mejor recursos tanto de personal como de presupuesto, así como un servicio de mayor calidad a los clientes, pues la interrogación remota de los equipos reduce su tiempo de reparación en caso de averías.
2. El conductor OPGW quien en su interior contiene la fibra óptica es el medio con las características más recomendables para el proyecto, esto por sus características estructurales, su tiempo de aprovechamiento de al menos 30 años, así como la resistencia a las condiciones físicas y ambientales donde operará (enlace de subestaciones eléctricas), su capacidad y velocidad para transportar información; y cuando se piensa en aprovechamiento comercial, la venta de servicios por concepto de alquilar de anchos de banda a empresas u otras dependencias que así lo soliciten.
3. La utilización de tecnología SDH para los equipos terminales de multiplexación, comunicación y monitoreo entre subestaciones eléctricas es adecuada, esto porque dichos aparatos permiten la transmisión y recepción tanto de datos, vídeo y voz dada la capacidad de su ancho de banda y con ello es posible el aprovechamiento de estos en varias operaciones como alquiler de anchos de banda a empresas, conexión en etapa futura de algunos pares de líneas al cable maya y otras.

4. La formación técnico – académica que se le proporciona al personal del área por medio de los manuales confeccionados, brindará un mayor aprovechamiento del recurso humano, lo anterior porque al impartir capacitación al personal disminuirá la posibilidad de daño de los equipos por desconocimiento y también se hará de su conocimiento las precauciones que con dichos dispositivos debe tenerse.

## **8.2 Recomendaciones**

1. El sistema se diseñó pensando en tener rápido acceso a las protecciones, varias rutas de acceso a una misma subestación, pero el mismo no posee ningún sistema redundante de apoyo para en caso de averías en más una ruta poder realizar la consulta de estado al equipo terminal. Lo anterior se refiere a que si en determinado momento la ruta principal y la alterna de comunicación de una subestación fallan y salen de operación ósea se dañan, no existe ninguna otra opción (otra ruta de consulta) para comunicarse y chequear el estado de las protecciones más que la presencia física de la cuadrilla de mantenimiento. Por tal razón se recomienda un sistema auxiliar el cual podría considerarse como un sistema paralelo que opera con el principal (conexión de anillo de SDH) para en caso de fallo del principal el otro entrase a funcionar.

2. Una segunda recomendación es referida a los manuales técnico – didáctico los cuales son elaborados con el objetivo de impartir cursos al personal del área ya sea por el ingeniero encargado o por un profesional externo al departamento, esto con el fin evitar que se causen daños en dispositivos por desconocimiento de los conceptos teóricos y se conozca las precauciones que con los dispositivos de tecnología SDH debe tenerse.
  
3. Es importante a la hora de seleccionar al fabricante o proveedor de los equipos terminales solicitar que dicha compañía debe de facilitar un curso teórico – práctico acerca del manejo y programación de los mismos. Esto porque los equipos de trabajo tienen un alto costo económico y es necesario que el personal que los pondrá en marcha cuente con un adecuado adiestramiento, lo anterior para evitar daños en los dispositivos por falta de precauciones motivadas por ignorancia.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## 9 Bibliografía

- Pujolle, Guy      **Telemática**. 1 ed. Madrid, España: Paraninfo, 1985.
- Connor, F.R.      **Modulación**. 1 ed. Barcelona, España: Labor S.A., 1975.  
(Temas de Telecomunicación).
- Gupta, K. C.      **Microondas**. 1 ed. México D.F., México: Limusa S.A., 1983.
- Young, Victor J.      **Las Microondas**. 2 ed. Bilbao, España: Urmo, 1970.
- Glisis Savo y Branka Vucetic      **Spread Spectrum CDMA Systems For  
Wireless Communication**. Boston, EUA: Artech House Publishers, 1997.
- Jardón Aguilar H y Roberto Linares      **Sistemas de Comunicaciones por  
Fibras ópticas**. México D.F., México: Alfaomega, 1995.
- Mariño Acebal, José et al.      **Tratamiento digital de la Señal: Una  
introducción experimental**. 2 ed. México D.F., México: Alfaomega, 1999.
- Berkowitz, Bernard      **Microondas Básicas**. Buenos Aires, Argentina: Bell  
S.A., 1976.
- Stremmler F.G.      **Introducción a los Sistemas de Comunicación**. 3 ed.  
México D.F., México: Addison Wesley Longman Iberoamericana, 1993.
- Clay, R.      **Teoría de Comunicación**. Cartago: R. Clay. 1981.
- Méndez, Luis P.      **Fundamentos de Sistemas Digitales**. Cartago: Luis P.  
Méndez B. 1996.

Tocci, Ronald J. **Sistemas Digitales: Principios y Aplicaciones.** 6 ed. México D.F., México: Prentice - Hall Hispanoamericana, 1996.

Pérez M.; Rodríguez A. Y Rodríguez M. **Access 97.** México D.F., México: Mc Graw Hill, 1997.

Caballero, José M. **Redes de Banda Ancha.** Barcelona, España: Alfaomega Grupo Editor S.A., 1998.

Hernández, Nestor **Enlaces por Fibra Optica.** Cartago: N. Hernández H. 1997.

Alfaro, Roberto **FIBRA OPTICA: Elementos de Interconexión y dispositivos optoelectrónicos.** Cartago: R. Alfaro B.. 1998.

Vargas, Julio **Enlaces por Microonda y Enlace por Satélite.** Cartago: J. Vargas S. 1994.

Vargas, Julio **Transmisión de Datos Vía Satélite.** Cartago: J. Vargas S. 1993.

Vargas, Julio **Transmisión de Datos Vía Satélite.** 2 ed. Cartago: J. Vargas S. 1993.

Japan International Cooperation Agency and Nippon Telegraph and Telephone Corporation **Transmisión Digital por Microondas.** 1991.

Altuve Ferrer, Hector Jorge **Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia.** Monterrey, México: H. Altuve F. 1992.

Suárez Durall, Elkin. **Controladores Lógicos Programables.** Tesis. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 1993.

## APÉNDICES

## 10 Apéndices

### 10.1 Siglas comunes utilizadas en el documento

1. **OPGW:** Optical Power Ground Wire.
2. **SDH:** Synchronous Digital Hierarchy.
3. **ANSI:** American National Standards Institute.
4. **EIA:** Engineering Institute of America.
5. **TIA:** Telecommunication Institute American.
6. **ITU – T:** International Telecommunications Union - Telephony.
7. **ETS:** European Telecommunication Standard.
8. **IEC:** International Electrotechnical Commission.
9. **ISO:** International Organization of Standarization.
10. **ASTM:** American Society for Testing and Materials.

## **10.2 Normativa internacional**

### **1. NORMAS INTERNACIONALES**

Las normas internacionales son disposiciones generadas por distintas instituciones a nivel mundial, las cuales buscan estandarizar las formas en que se realizan todas aquellas actividades relacionadas en este caso con las telecomunicaciones.

Existen varias organizaciones como la ANSI, EIA, TIA, ITU, ISO, etc, las cuales establecen parámetros de referencia para que toda aquella compañía que desee respaldar su trabajo con el visto bueno de las mencionadas instituciones, debe cumplir con las disposiciones que ellas establecen.

En el área de las telecomunicaciones es el ITU, la organización que fija los principales parámetros desde el punto de vista técnico de los equipos y diseño de enlaces. En lo referente a la productividad las disposiciones las presentan otras organizaciones con la ISO por ejemplo.

A continuación se enumeran la normativa que debe cumplir los equipos ofrecidos, así como las normas existentes para el diseño de enlaces, esto si el ICE desea realizar el debido proceso de acreditación del proyecto una vez puesto en marcha.

## **1.1 American National Standards Institute / Engineering Institute of America / Telecommunication Institute American ( ANSI / EIA / TIA ).**

ANSI / EIA / TIA 232 –E -1991      Interface between data terminal equipment and data circuit – terminating employing serial binary data interchange.

## **1.2 International Telecommunications Union - Telephony ( ITU – T ).**

1. ITU – T Rec. G.652      Characteristics of single mode optical fibre cable.
2. ITU – T Rec. G.653      Characteristics of a dispersion – shifted single mode fibre cable.
3. ITU – T Rec. G.654      Characteristics of a 1550 nm wavelength loss – minimised single – mode optical fibre cable.
4. ITU – T Rec. G.703      Physical electrical characteristics of hierarchical digital interfaces.
5. ITU – T Rec. G.707      Network node for the Synchronous Digital Hierarchy.
6. ITU – T Rec. G.712      Performance characteristics of PCM channels between 4 – wire interfaces at voice frequencies.

7. ITU – T Rec. G.713 Performance characteristics of PCM channels between 2 – wire interfaces at voice frequencies.
8. ITU – T Rec. G.751 Digital multiplex equipment operating at the third order bit rate 34 368 kbit/s and the fourth order bit rate of 139 264 kbit/s and using positive justification.
9. ITU – T Rec. G.782 Types and general characteristics of synchronous digital hierarchy multiplexing equipment.
10. ITU – T Rec. G.783 Characteristics of synchronous digital hierarchy multiplexing equipment.
11. ITU – T Rec. G.803 Architecture of transport networks based on the SDH.
12. ITU – T Rec. G.813 Timing characteristics of slave clocks suitable for operation of SDH equipment.
13. ITU – T Rec. G.821 Error performance of international digital connection forming part of an integrated service digital network.
14. ITU – T Rec. G.823 The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 Kbit/s hierarchy.

15. ITU – T Rec. G.825      The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH).
16. ITU – T Rec. G.826      Error performance parameters and objectives for international, constant bit – rate path: at or above the primary rate.
17. ITU – T Rec. G.841      Types and characteristics of SDH networks protection architecture.
18. ITU – T Rec. G.842      Interworking of SDH networks protection architecture.
19. ITU – T Rec. G.957      Optical interfaces for equipment and systems relating for which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH).
20. ITU – T Rec. G.958      Digital line systems based on the synchronous digital hierarchy for use on optical fibre cables.
21. ITU – T Draft              Optical interfaces for multi channel systems with optical amplifiers, draft.

Rec. G. Mcs

22. ITU – T Rec. V.11      Electrical characteristics for balanced double – current interchange circuits for general use with integrated interchange circuits for general use with integrated circuits equipment in the field of data communication.
23. ITU – T Rec. V.24      List of definition for interchange circuits between data terminal equipment (DTE) and data circuit – terminating equipment (DCE).

### **1.3 European Telecommunication Standard ( ETS ).**

1. ETS 300 119 – 1      Equipment engineering (EE); European Telecommunication standard for equipment practice Part 1: Introduction and terminology.
2. ETS 300 119 – 2      Equipment engineering (EE); European Telecommunication standard for equipment practice Part 2: Engineering requirements for racks and cabinets.
3. ETS 300 019 – 1 – 1      Equipment engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment; Part 1 – 1: Classification of environmental conditions; Storage.

4. ETS 300 019 – 1 – 2 Equipment engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment; Part 1 – 2: Classification of environmental conditions; Transportation.
5. ETS 300 019 – 1 – 3 Equipment engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment; Part 1 – 1: Classification of environmental conditions; Stationary use at weather protected locations.

#### **1.4 International Electrotechnical Commission ( IEC ).**

1. IEC 801 – 1 Electromagnetic compatibility for industrial process measurement and control equipment, Part 1: General Introduction.
2. IEC 801 – 2 Electromagnetic compatibility for industrial process measurement and control equipment, Part 2: Method of evaluating susceptibility to electrostatic discharge.
3. IEC 801 – 3 Electromagnetic compatibility for industrial process measurement and control equipment, Part 3: Method of evaluating susceptibility to radiated electromagnetic energy.

- |    |              |  |
|----|--------------|--|
| 4. | IEC 801 – 4  | Electrical fast – transient / burst requirement.   |
| 5. | IEC 801 – 5  | Surge Immunity requirement.  |
| 6. | IEC 801 – 6  | Conductor Immunity requirement.  |
| 7. | IEC 8802 – 3 | Information processing systems – Local area networks Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA / CD) access method and physical layer specifications. |
| 8. | IEC 793-1    | Optical fibres – Part 1: Generic specification   |
| 9. | IEC 793-2    | Optical fibres – Part 2: Product specification   |

### **1.5 International Organization of Standardization ( ISO ).**

- |    |          |  |
|----|----------|--|
| 1. | ISO 2178 | Non – magnetic coatings on magnetic substrates – Measurement of coating thickness – magnetic method. |
| 2. | ISO 5455 | Technical drawings – Scales  |
| 3. | ISO 9000 | Quality management and quality assurance standards – Guidelines for selection and use.               |

4. ISO 9001                      Quality systems – Model for quality assurance in design / development, production, installation and servicing.
  
5. ISO 9002                      Quality systems – Model for quality assurance in production and installation.
  
6. ISO 9003                      Quality systems – Model for quality assurance in final inspection and test.

#### **1.6 American Society for Testing and Materials ( ASTM ).**

1. ASTM A 123                      Specification for Zinc (Hot – Dip Galvanized) coatings on Iron and Steel Products.

## **2. Fuentes de información.**

### **2.1 Centro de Información y Documentación en Electricidad (CIDE).**

### **2.2 Centro de Información en Telecomunicaciones (CIET).**

Estas instancias se encargan de brindar los servicios de libros, revistas, servicios de bibliotecología en general para los sectores de energía y telecomunicaciones.

### **10.3 Portada de los diferentes manuales confeccionados**

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD**

**UEN TRANSPORTE ELÉCTRICO  
PROCESO DE EXPLOTACIÓN CENTRAL  
ÁREA DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN**

***Normativa Internacional Requerida para:***

***“Desarrollo de una Plataforma de  
Comunicación Digital en Subestaciones  
Eléctricas”***

***Manual 1.***

**ELABORADO POR: William A. Gutiérrez S.**

**Noviembre, 2000  
Tibás, San José**

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD**

**UEN TRANSPORTE ELÉCTRICO  
PROCESO DE EXPLOTACIÓN CENTRAL  
ÁREA DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN**

***Fundamentos de Fibra Óptica***

***Manual 2.***

**ELABORADO POR: William A. Gutiérrez S.**

**Setiembre, 2000  
Tibás, San José**

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD**

**UEN TRANSPORTE ELÉCTRICO  
PROCESO DE EXPLOTACIÓN CENTRAL  
ÁREA DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN**

***Cable de fibra óptica submarina,  
una vista rápida al cable maya***

***Manual 3.***

**RECOPIADO Y**

**COMPILADO POR: William A. Gutiérrez S.**

**Setiembre, 2000**

**Tibás, San José**

**Á**

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD**

**UEN TRANSPORTE ELÉCTRICO  
PROCESO DE EXPLOTACIÓN CENTRAL  
ÁREA DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN**

***Fundamentos de Redes  
Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)***

***Manual 4.***

**RECOPIADO Y**

**COMPILADO POR: William A. Gutiérrez S.**

**Setiembre, 2000**

**Tibás, San José**

**INSTITUTO COSTARRICENSE  
DE ELECTRICIDAD**

**UEN TRANSPORTE ELÉCTRICO  
PROCESO DE EXPLOTACIÓN CENTRAL  
ÁREA DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN**

***Fundamentos de Señales, Multiplexación y  
Transmisión de Señales Analógicas***

***Manual 5.***

**RECOPIADO Y**

**COMPILADO POR: William A. Gutiérrez S.**

**Setiembre, 2000**

**Tibás, San José**

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD**

**UEN TRANSPORTE ELÉCTRICO  
PROCESO DE EXPLOTACIÓN CENTRAL  
ÁREA DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN**

***Fundamentos de Microondas y Sistemas de  
Radioenlaces***

***Manual 6.***

**ELABORADO POR: William A. Gutiérrez S.**

**Setiembre, 2000  
Tibás, San José**

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD**

**UEN TRANSPORTE ELÉCTRICO  
PROCESO DE EXPLOTACIÓN CENTRAL  
ÁREA DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN**

***Principios de Multiplexación***

***Manual 7.***

**ELABORADO POR: William A. Gutiérrez S.**

**Setiembre, 2000  
Tibás, San José**

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD**

**UEN TRANSPORTE ELÉCTRICO  
PROCESO DE EXPLOTACIÓN CENTRAL  
ÁREA DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN**

***Comunicaciones Digitales, Generación y  
Transmisión de Señales***

***Manual 8.***

**RECOPIADO Y**

**COMPILADO POR: William A. Gutiérrez S.**

**Setiembre, 2000**

**Tibás, San José**

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD**

**UEN TRANSPORTE ELÉCTRICO  
PROCESO DE EXPLOTACIÓN CENTRAL  
ÁREA DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN**

***Autómatas Programables,  
Controladores Lógicos Programables***

***Manual 9.***

**RECOPIADO Y**

**COMPILADO POR: William A. Gutiérrez S.**

**Setiembre, 2000**

**Tibás, San José**

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD**

**UEN TRANSPORTE ELÉCTRICO  
PROCESO DE EXPLOTACIÓN CENTRAL  
ÁREA DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN**

***TERMINOLOGÍA DE  
TELEINFORMÁTICA***

***Manual 10.***

**ELABORADO POR: William A. Gutiérrez S.**

**Noviembre, 2000  
Tibás, San José**

## **ANEXOS**

## **11 Anexos**

### **11.1 Distintos proveedores de cable OPGW**

1. ALCATEL
2. Biccsural
3. Siemens
4. Focas
5. Sistemas de Potencia de Centroamérica (SPC)
6. VETSA
7. NK Cables
8. ITF, INC, representaciones G.M.G. SA
9. Pirelli
10. Consorcio Marinter SA

## **11.2 I.C.E. GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Cuando el I.C.E inició sus funciones, la capacidad para generar energía eléctrica en todo el territorio nacional era de 36637 kilovatios; insuficiente para satisfacer la creciente demanda de aquel momento. La solución definitiva a dicho problema la brindó el I.C.E., mediante la construcción planificada de plantas generadoras de electricidad de gran capacidad.

### **11.2.1 PLANTAS HIDROELÉCTRICAS**

Este tipo de plantas utiliza la energía potencial del agua, para convertirla en energía eléctrica.

En 1958, entró en operación el primer gran proyecto hidroeléctrico desarrollado por el I.C.E., la planta hidroeléctrica La Garita. Se ubica en Alajuela, y que aprovecha las aguas del Río Grande de San Ramón, con una capacidad total instalada de 30.000 kW.

La construcción de la planta La Garita, es testimonio de un admirable esfuerzo nacional que debe llegar de satisfacción a los costarricenses.

En agosto de 1963, el I.C.E. puso en servicio su segunda planta hidroeléctrica de gran potencia, Río Macho; ubicada en la provincia de Cartago, la cual utiliza afluentes del río Reventazón. Y su capacidad inicial fue de 30.000 kW.

En mayo de 1966 entró en operaciones la primera unidad de la planta hidroeléctrica Cachí, con 32.000 kW de potencia, la cual se duplicó un año después, con la instalación de la segunda unidad, completándose así la I etapa.

Esta planta, ubicada en la provincia de Cartago, utiliza las aguas del caudaloso río Reventazón y es la primera en su género en Centroamérica. Además, posee atractivos turísticos que constituyen beneficios adicionales para la zona.

En 1972 se concluyó el proyecto hidroeléctrico Tapantí, el cual permitió incrementar en 60.000 Kw la potencia instalada en la planta Río Macho, aprovechando los ríos Grande de Tapantí, Porras, Humo y Villegas. Entre 1976 y 1978 se realizaron nuevas ampliaciones. La planta Río Macho aumentó su capacidad de 90.000 kW a 120.000 kW y la planta Cachí de 64.000 kW a 100.800 kW.

Uno de los proyectos hidroeléctricos que transformó notoriamente las condiciones sociales y geográficas de la zona de Guanacaste, es la planta hidroeléctrica Arenal.

Requería de la construcción de un embalse, para lo cual fue necesario reubicar las poblaciones de Tronadora y Arenal; proceso único en la historia del país y que tuvo gran éxito.

Esta planta, inaugurada el 9 de diciembre de 1979, posee una potencia de 157.398 kW y aprovecha las aguas del embalse Arenal, el cual capta los caudales de los ríos Arenal, Aguas Gatas, Caño Negro, Chiquito y otros de menor importancia.

El 20 de marzo de 1982, entró en operación la planta hidroeléctrica Corobicí, que aprovecha las mismas aguas empleadas en Arenal, más un pequeño aporte del río Santa Rosa. Su potencia, de 174.012 kW, la convierte en la de mayor capacidad instalada en el Sistema Nacional Interconectado.

En el segundo semestre en 1987, entró en funcionamiento la planta hidroeléctrica Ventanas – Garita, en la provincia de Alajuela. Cuenta con una potencia de 95.850 kW y aprovecha las aguas de los ríos Virilla y Ciruelas.

Un proyecto importante en el I.C.E. fue la reconstrucción de la antigua planta hidroeléctrica Nagata, que desde 1909 utiliza las aguas del río Barranca, en Alajuela. Esta planta, fue reinagurada en 1990, con el nombre de planta Alberto Echandi y posee una potencia de 4.696 kW.

En 1992 se inauguró la planta hidroeléctrica Sandillal, que posee 32.000 kW potencia y es el tercer aprovechamiento de las aguas del embalse Arenal.

En 1995 se inauguró la planta hidroeléctrica Toro I, con una capacidad de 23.300 kW.

### **11.2.2 PLANTAS TÉRMICAS**

Estas plantas aprovechan la energía química del combustible para producir energía eléctrica. En Costa Rica utilizan diesel o búnker.

La primera planta térmica construida por el I.C.E. fue la de Colima, en Tibás. Entró en servicio en 1956 con un potencial de 12.000 kW, que se amplió en 1962 a 19.540 kW. Esta planta solucionó el problema energético de Costa Rica en las zonas más densamente pobladas.

En julio de 1973, el I.C.E. le compró a la Compañía Nacional de Fuerza y Luz la planta térmica San Antonio, la cual fue construida en 1954, con una potencia para generar 10.000 kW. Luego, en 1973, se construyó San Antonio II, con potencia para 38.100 kW.

En Puntarenas, en 1974, se inauguró la planta térmica Barranca con capacidad de 41.600 kW y en 1979, la planta térmica de Puerto Jiménez con 11.015 kW de potencia. Ante el crecimiento de la demanda de energía eléctrica en el país se requirió de unidades térmicas de mayor potencia para alimentar la Zona Atlántica. Así nació la idea de construir la planta térmica de Moín, que entró en servicio en 1977, con capacidad para 32.000 kW.

En 1991 se amplió la potencia en Moín a 120.000 kW, por cuanto era necesario disponer de capacidades de reserva en el sistema eléctrico, a fin de hacer frente a las emergencias ocasionadas por salidas imprevistas de otras plantas generadoras en años muy secos.

Respecto de todas estas unidades térmicas, es importante destacar que son plantas de reservas del Sistema Nacional Interconectado, el cual, generalmente, funciona con plantas hidroeléctricas.

### **11.2.3 PLANTAS GEOTERMOELÉCTRICAS**

Las plantas geotermoeléctricas son las que utilizan la energía almacenada bajo la superficie de la tierra para generar electricidad.

En Costa Rica, los estudios geotérmicos surgen como una solución ante la crisis energética de los años 1973-1974, pues experiencias en otros países demostraron que el costo de la energía geotérmica es 50 por ciento más económica que el de plantas térmicas. Es decir, pueden reemplazar a las plantas térmicas convencionales que utilizan combustibles derivados del petróleo; también complementar a la energía hidroeléctrica durante los períodos secos.

Fue así como, en 1974, el I.C.E. inicia sus estudios para un posible proyecto geotérmico, los cuales determinaron que la zona más apropiada, estaba sobre las faldas del volcán Miravalles, en la provincia de Guanacaste.

En 1987 empieza la construcción del proyecto geotérmico Miravalles I. Finalmente, la planta se inauguró en 1994, con una potencia para generar 55.000 kW.

#### **11.2.4 PLANTAS MENORES**

Son aquellas plantas hidroeléctricas del I.C.E. de otras empresas y cogeneración, cuya potencia es menor a los 30.000 kW.

El I.C.E. posee cuatro plantas hidroeléctricas menores: una en Alajuela llamada Cacao, que tiene una potencia de 672 kW y tres en San Ramón de la Unión, Cartago: los Lotes, con 355 kW de potencia; Avance, con 240 kW y Puerto Escondido, con 184 kW.