UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN REMOTA DE LOS IED'S DE SUBESTACIÓN MAYAN GOLF DE EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, UTILIZANDO UN ENLACE IP

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDGAR VINICIO VILLATORO VIELMAN
ASESORADO POR EL ING. JOAQUÍN EFRAÍN MEZA GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Edgar Florencio Montúfar Urízar
EXAMINADOR	Ing. Jorge Fernando Álvarez Girón
EXAMINADOR	Ing. Manuel Fernando Barrera Pérez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivònne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN REMOTA DE LOS IED'S DE LA SUBESTACIÓN MAYAN GOLF DE EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, UTILIZANDO UN ENLACE IP

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 12 de agosto 2005.

Edgar Vinicio Villatoro Vielman

Guatemala, 12 de octubre del 2009

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento:

Por este medio le informo que como asesor de la Práctica de Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.) del estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica, **Edgar Vinicio Villatoro Vielman,** procedí a revisar el informe de la práctica de EPS, titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN REMOTA DE LOS IEDs DE SUBESTACIÓN MAYAN GOLF DE EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, UTILIZANDO UN ENLACE IP".**

Cabe señalar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte a nuestra red de automatización.

En tal virtud lo doy por **APROBADO,** solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

Joaquín E. Meza García
Ingeniero Electricista
Col. 4,190

Ing. Joaquín Efraín Meza García
ASESOR.
Colegiado No.4190

Roxana
8/02/10

FACULTAD DE INGENIERIA
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 04 de marzo de 2010

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

Señor Director:

Por este medio me permito manifestarle que he revisado el informe final de la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), titulado: **"IMPLEMENTACION DE GESTION REMOTA DE LOS IEDs DE LA SUBESTACION MAYAN GOLF DE EMPRESA ELECTRICA DE GUATEMALA, UTILIZANDO UN ENLACE IP"**, desarrollado por el estudiante **Edgar Vinicio Villatoro Vielman**, dándole la aprobación respectiva, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECCION ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
FACULTAD DE INGENIERIA

Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería

UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 12 de febrero de 2010.
Ref.EPS.DOC.318.02.10.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Edgar Vinicio Villatoro Vielman** de la Carrera de Ingeniería Electrónica, con carné No. **199616585 ,** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN REMOTA DE LOS IEDs DE LA SUBESTACIÓN MAYAN GOLF DE EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, UTILIZANDO UN ENLACE IP".**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Electrónica

Universidad de San Carlos de Guatemala
SUPERVISOR (Área de EPS)
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

c.c. Archivo
KIER/ra

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería

UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 12 de febrero de 2010.
Ref.EPS.D.120.02.10.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Puente Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN REMOTA DE LOS IEDs DE LA SUBESTACIÓN MAYAN GOLF DE EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, UTILIZANDO UN ENLACE IP"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Edgar Vinicio Villatoro Vielman,** quien fue debidamente asesorado por el Ing. Joaquín Efraín Meza García y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruíz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra

Universidad de San Carlos de Guatemala
DIRECCIÓN
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 47. 2011.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; EDGAR VINICIO VILLATORO VIELMAN titulado: "IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN REMOTA DE LOS IEDs DE LA SUBESTACIÓN MAYAN GOLF DE EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, UTILIZANDO UN ENLACE IP", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECCION ESCUELA
DE INGENIERIA
MECANICA ELECTRICA
FACULTAD DE INGENIERIA

GUATEMALA, 22 DE JULIO 2,011.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 405.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN REMOTA DE LOS IED'S DE SUBESTACIÓN MAYAN GOLF DE EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, UTILIZANDO UN ENLACE IP**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Vinicio Villatoro Vielman,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 17 de octubre de 2011.

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Amigo y compañero, fuente de conocimiento infinito.
A mi madre	Blanca Vielman, que con su esfuerzo y amor me supo guiar por el camino correcto.
A mi padre	Ramiro Villatoro (q.e.p.d.), como un recuerdo a su memoria.
A mi esposa	Rosario, quien ha estado a mi lado y me ha apoyado todos estos días. Te amo.
A mis hijos	Diego y Mariamne, el mejor regalo que Dios pudo darme.
A mis hermanos	Juan José, Rony y Kary, por su apoyo y confianza en el logro de mis objetivos.
A mi familia	Tío Miguel, sobrinos, sobrinas, cuñados y cuñadas. A todos gracias por estar siempre conmigo.
Amigos	Por la incondicional amistad que me brindan en todo lugar y momento.

A mi pueblo

San Antonio Huista, calles de piedra que me vieron crecer.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
cms	Centímetros
dB	Decibeles
dBi	Decibelio isótropo.
IED	Dispositivos electrónicos inteligentes
GHz	Giga hertz
°C	Grados centígrados
h	Hora
kΩ	Kilo ohmios
kV	Kilo voltios
kms	Kilómetros
lb	Libra
Mbps	Mega bits por segundo
MHz	Megahertz
MVA	Megavoltamperes
m	Metros
mA	Miliampere
mseg	Milisegundos
mV	Milivoltios
N	Norte
pF	Picofaradios
dBm	Potencia en decibelios en relación a 1
mW	

VAR	Voltamperioreactivo
V	Voltios
W	Watts

GLOSARIO

ADC	Convertidor analógico digital.
ANSI	Instituto Americano de Normas y Estándares.
AP	Punto de acceso inalámbrico.
Azimuth	Ángulo de orientación medido desde el norte geográfico en sentido de las agujas del reloj.
Backhaul	Es un enlace de interconexión entre redes de datos o redes de telefonía móvil.
Baudio	Número de símbolos transmitidos por segundo en una red análoga.
BH	Módulo Backhaul.
BHM	Módulo *Backhaul*que proporciona la sincronía al enlace.
BHS	Módulo Backhaulque recibe la sincronía de otro módulo.
Broadcast	Transmisión de un paquete que será recibido por todos los dispositivos en una red.

C/I	Relación portadora a interferencia.
CCITT	Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico.
CMM	Unidad de control totalmente de intemperie con *switch* incorporado que suministra alimentación sobre *Ethernet* y sincronía a cada *AP*.
COM	Puerto serie asincrónico generalmente RS232.
COS	Clase de servicio.
CSMA/CD	Acceso múltiple por detección de portadora con detección de colisiones.
CT	Transformador de corriente.
DCE	Equipo terminal de circuito de datos.
DES	Algoritmo o método para cifrar información.
DFS	Selección dinámica de frecuencia.
DHCP	Protocolo de configuración dinámica de servidor.
DNS	Sistema de nombre de dominio.
DSP	Procesador digital de señales.

DTE	Equipo terminal de datos.
ECP	Programa basado en DOS para comunicarse con los relés ABB.
EEPROM	Tipo de memoria no volátil que puede ser programada, borrada y reprogramada eléctricamente.
EIA	Asociación de Industrias Electrónicas.
EIRP	Potencia isotrópica radiada equivalente.
EMI	Interferencia electromagnética.
EPROM	Memoria eléctricamente programable pero que solo se puede borrar mediante exposición a una fuerte luz ultravioleta.
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones.
Firmware	Programa grabado en una memoria no volátil que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo.
Flash	Evolución de las memorias EEPROM que permite que múltiples posiciones de memoria sean escritas o borradas en una misma operación mediante impulsos eléctricos.

FSK	Modulación de frecuencia cuya señal modulante es un flujo de pulsos binarios.
FTP	Protocolo de transferencia de archivos.
Fullduplex	Sistema capaz de mantener una comunicación bidireccional, enviando y recibiendo mensajes de forma simultánea.
Gateway	Puerta de enlace.
Gestión	Acción y efecto de administrar una empresa, proyecto, equipo, etc. Por otra parte administrar consiste en controlar, dirigir, ordenar, organizar, disponer.
Halfduplex	Método o protocolo de envío de información en forma bidireccional pero no simultáneo.
Handshake	Proceso en el que dos máquinas se ponen de acuerdo sobre el formato, velocidad y secuencia que seguirán en el resto de la comunicación.
HMI	Interfase humano máquina.
IANA	Agencia de Asignación de Números de Internet.
ICMP	Protocolo de mensajes de control de Internet.

IEC	Comisión Electrotécnica Internacional.
IED	Dispositivo electrónico inteligente.
IEEE	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos. Asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización.
IEEE 1613	Estándar IEEE donde se detallan los requisitos ambientales y de prueba para equipos de redes de comunicación en subestaciones eléctricas.
IEC 61850	Estándar IEC para el diseño de la automatización de subestaciones eléctricas. Busca la interoperabilidad entre funciones y elementos, y la armonización de las propiedades generales de todo el sistema.
IEC 61850-3	Forma parte del estándar IEC 61850. Establece todos los requerimientos generales para equipos de subestación y comunicación que se instalan en un ambiente hostil.
IEC 62439	Estándar para redes de automatización de alta disponibilidad.
IG	Interruptor de gas.
Interfaz	Conexión física y funcional entre dos aparatos o sistemas independientes.

IP	Protocolo de Internet.
IPV4	Versión 4 del protocolo IP. Usa direcciones de 32 bits.
ISM	Bandas de radiofrecuencia reservadas internacionalmente para uso no comercial en áreas industrial, científica y médica.
IT	Tecnología de información.
LOS	Línea de vista.
MAC	Identificador de 48 bits que corresponde de forma única a cada dispositivo de red.
Master	Maestro.
MMI	Interfase hombre máquina.
MTBF	Promedio del tiempo entre fallos de un sistema.
Null Modem	Método para interconectar dos equipos seriales DTE.
OFDM	Multiplexación por división de frecuencias ortogonales.
OSI	Interconexión de sistemas abiertos.

POE	Alimentación de voltaje a través de *Ethernet*.
PT	Transformador de potencial.
QAM	Modulación de amplitud en cuadratura.
QoS	Calidad de Servicio.
QPSK	Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura.
Recloser	Interruptor que permite recierres automáticos.
RS232	Interfaz de capa física que especifica la distribución y significado de los diferentes pines del conector que se utiliza en los terminales asíncronos.
RS485	Sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias y a través de canales ruidosos.
RSSI	Indicador de fuerza de señal de recepción.
SCADA	Adquisición de datos y control de supervisión.
SCCI	Código estadounidense estándar para el intercambio de información.

SFTP	Cable de par trenzado apantallado y en una funda blindada.
Shield	Apantallado, protegido, blindado.
Slave	Esclavo.
SNMP	Protocolo simple de administración de red.
Socket	Designa un concepto abstracto por el cual dos programas pueden intercambiar cualquier flujo de datos, generalmente de manera fiable y ordenada. Queda definido por una dirección IP, un protocolo de transporte y un número de puerto.
STP	Cable par trenzado apantallado.
TCP	Protocolo de control de transmisión.
TCP/IP	Hace referencia a los dos protocolos más importantes en los que se basa Internet. Protocolo de control de transmisión (TCP) y protocolo de Internet (IP).
TDD	Multiplexaje por división de tiempo.

Telemetría	La telemetría es una tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema.
TG8979	Protocolo propietario de la empresa *Landys&Gyr* hoy parte de Siemens, utilizado en EEGSA para la comunicación SCADA.
Throughput	Es la cantidad real de información que puede ser enviada a través de una conexión o conductor.
Tilt	Inclinación.
Trunk	Designa una conexión de red que transporta múltiples *VLAN* identificadas por etiquetas insertadas en sus paquetes.
Twistedpair	Par de cables delgados trenzados uno alrededor del otro paraminimizar las interferencias provenientes de otros cables.
UDP	Protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas sin que se haya establecido previamente una conexión.
UHF	Banda de frecuencia ultra alta entre los 300 MHz y los 3 GHz.

UTP	Par trenzado no apantallado.
UTR	Unidad terminal remota.
VPN	Red privada virtual.
WinECP	Programa basado en Windows, de interfaz a los relés de protección de ABB.
Yagi	Antena direccional de alto rendimiento, compuesta por una estructura simple de dipolo y elementos parásitos, conocidos como reflector y directores.

RESUMEN

Los Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED), son equipos controlados a través de un procesador central, que han venido a sustituir los antiguos relevadores de las subestaciones eléctricas, mejorando y facilitando en gran medida la operación y mantenimiento de las mismas, ya que poseen características de un computador industrial.

Actualmente, estos dispositivos se encuentran instalados en la mayoría de subestaciones de Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA), siendo su utilización muy limitada, ya que al presentarse un evento, se hace necesario asistir al lugar a descargar información del IED para poder realizar un diagnóstico.

Ante esta situación, surgió la inquietud de realizar un proyecto que permitiera la gestión remota de los IED desde la oficina u otras ubicaciones distantes. Para ello fue necesaria, la implementación de toda una infraestructura IP, que permitiera el acceso a cualquier dispositivo de la subestación a través de un solo enlace de datos, y a la vez, habilitara la interoperabilidad de la red con nuevas tecnologías y aplicaciones.

Llevar a cabo el proyecto implicó una serie de actividades, las cuales se indican a continuación:

- Diagnóstico de la situación actual, estableciendo las características de los equipos instalados en la subestación, tanto de equipos de potencia como de control y automatización, evaluando los métodos de conexión y acceso utilizados y el tipo de enlace de comunicación existente.

- Selección del equipo de comunicación a instalar, a través del cual pudiera transportarse, tanto la comunicación SCADA, como el acceso remoto a los IED y otras aplicaciones IP.

- Determinación de las especificaciones de la red a instalar en la subestación, que permitiera la interconexión de los dispositivos inteligentes. La orientación fue principalmente a una red *Ethernet* ya que es una tecnología estándar del mercado, con la cual se puede habilitar un sin número de aplicaciones adicionales.

- Establecer las interfaces a utilizar en los puertos de los IED, para la conexión con la red LAN de la subestación.

- Selección de los equipos y *software*a utilizar en el punto central, que permita el acceso a los dispositivos remotos.

- Instalación de todos los equipos y pruebas generales de funcionamiento.

OBJETIVOS

General

Diseñar e implementar la gestión de los dispositivos electrónicos inteligentes instalados en la subestación Mayan Golf, mediante un enlace de datos que utilice tecnología de red IP.

Específicos

1. Describir las características y el método de acceso actual a los IED.

2. Implementar un enlace de datos que permita llevar varias aplicaciones de la subestación por el mismo canal.

3. Implementar una red en la subestación con tecnología estándar del mercado.

4. Seleccionar la interfaz más adecuada para la conexión a los IED.

5. Obtener un *software* que permita el acceso remoto a los IED.

6. Implementar la configuración remota de los IED.

7. Habilitar una aplicación adicional, sobre la red IP de gestión de los relevadores.

8. Facilitar el trabajo del personal de subestaciones y protecciones de Empresa Eléctrica de Guatemala.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de compañías eléctricas de distribución, cuando piensan en automatización de su red eléctrica, únicamente se preocupan por obtener señales de telemetría y realizar operaciones de control. Mientras más datos puedan obtener y mientras más puntos puedan controlar se asume que la automatización es mejor.

Lastimosamente ante un evento de falla en la red o un problema de los equipos, es necesario ir a las ubicaciones remotas a conectarse a los relevadores para descargar y analizar lo que ocurrió. Más aún, cuando se requiere realizar algún pequeño cambio en la programación de las unidades de protección, también hay que trasladarse al sitio para ejecutarlos.

Esta siempre ha sido la práctica común, y casi nunca para las compañías eléctricas ha sido prioridad la gestión remota de sus equipos. Contrariamente, la mayoría de empresas de telecomunicaciones toman como algo prioritario, tanto su red de tráfico como su red de gestión. Para dichas empresas es indispensable acceder en todo momento a sus dispositivos, tanto para realizar pequeños cambios como para la resolución de cualquier contingencia.

Ante esto, todas las compañías eléctricas deberían requerir en las licitaciones de sus equipos, que soporten los métodos de gestión adecuados, para permitir el fácil acceso desde cualquier ubicación.

Un aspecto adicional a tomar muy en cuenta, es el enlace de datos para la comunicación con los sitios remotos. Algunos lugares utilizan líneas telefónicas. Pero esto implica que se requiere una línea exclusiva para cada aplicación a transportar. Una para gestión de los IED, otra para el sistema SCADA, etc.

En cambio, si se opta por la tecnología adecuada, en este caso IP, es posible trasportar todas las aplicaciones que se deseen por el mismo canal, a través de diferentes puertos virtuales de transporte, únicamente teniendo cuidado en manejar adecuadamente el ancho de banda.

Para el presente proyecto, lo que se hizo fue implementar un sistema de gestión remota hacia los IED de Empresa Eléctrica de Guatemala, en subestación Mayan Golf. Debido a que dichos IED no cuentan con conexión *Ethernet,* fue necesario utilizar interfaces especiales, dejando la premisa que todos los equipos futuros deben de comprarse con este tipo de puertos. Adicionalmente se diseñó e instaló un enlace IP entre ambos puntos, el cual permite transportar cualquier aplicación requerida.

El fin primordial de este trabajo fue, además de la implementación específica en Mayan Golf, establecer un modelo guía, para la automatización tanto en EEGSA como en cualquier otra compañía eléctrica.

1. GENERALIDADES

Empresa Eléctrica de Guatemala se dedica a la distribución de energía en el área central del país. Para poder brindar un servicio y producto eficiente y de calidad cuenta con instalaciones modernas y una red eléctrica completamente automatizada.

La estabilidad y seguridad del sistema eléctrico, la posibilidad de tener un diagnóstico de lo que ocurre en la red en tiempo real, disminuyendo considerablemente los costos operacionales de un sistema, la disponibilidad de la información y la identificación de posibles fallas en la red eléctrica, son sólo algunos de los beneficios percibidos por la implementación de un sistema de automatización moderno.

Este afán de alta calidad está no sólo promovido por políticas internas de la empresa sino por la continua verificación y control de parte de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, entidad responsable de velar y hacer cumplir la Ley General de Electricidad y sus reglamentos.

1.1. Información general Empresa Eléctrica de Guatemala

Empresa Eléctrica de Guatemala, fundada como sociedad anónima en 1894 para brindar alumbrado público, ha sufrido diversas transformaciones a lo largo del tiempo. En 1922 tomó el nombre que ahora lleva y desde entonces se alimentó de diversas inversiones extranjeras.

De 1972 a 1997 sus acciones pasaron a ser propiedad del Estado de Guatemala, pero en 1998 el 80% de las acciones fue vendido a un grupo de inversionistas constituido por españoles, portugueses y estadounidenses.

Recientemente, en octubre de 2010, el consorcio dueño del 80% de las acciones de la EEGSA bajo la Sociedad Distribución Eléctrica Centroamericana II, acordaron la venta al Grupo EPM, propiedad de la Municipalidad de Medellín, Colombia, de sus operaciones de distribución y comercialización en Guatemala.

1.1.1. Reseña histórica

EEGSA fue fundada en 1894 y constituida como Sociedad Anónima Empresa Eléctrica del Sur.

En 1894 el Gobierno de Guatemala hizo un contrato de concesión de la Empresa por un período de 50 años a *Electric Bond & Share Co*, quienes en 1925 cambiaron la razón social de la empresa y la instituyeron como Empresa Guatemalteca de Electricidad, Inc.

El 22 de mayo de 1972 expiró el contrato-concesión de 1922, y el Gobierno de la República, después de casi dos años de negociaciones compró a *Boise Cascade Corporation* las acciones que representaban el 91,73% del capital de la Empresa

En 1977 por medio del Acuerdo del Ministerio de Economía, la Empresa fue declarada como sociedad de economía mixta cuyas acciones quedaron bajo la custodia del Ministerio de Economía.

Hasta el año de 1996 La Empresa generaba, transportaba y comercializaba energía eléctrica. Sin embargo, en ese año, el Congreso de la República aprobó la Ley General de Electricidad y su Reglamento, el cual además de desmonopolizar el sector eléctrico, impide que una misma compañía realice las tres funciones antes mencionadas. Por lo mismo en 1997 se realizó la venta de los activos de generación cuando la estadounidense *Guatemalan Generating Group* adquirió por 30 millones de dólares las dos plantas generadoras de energía.

En 1998 se realizó la venta de activos de distribución y de transmisión de EEGSA. Sus acciones fueron adquiridas en un 49% por Iberdrola (España), en un 30% por *Tampa Electric Company* (empresa de los EUA) y en un 21% por Electricidad de portugal (portugal). El 20% restante del total quedó en manos del Estado (16%) y de pequeños accionistas. Ese 16% de acciones, serían colocadas en la Bolsa de Valores Nacional en agosto de 1998.

Recientemente, en octubre del 2010, Iberdrola de España, dejó de ser el accionista operador de la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA), tras firmar en Nueva York, un acuerdo de venta del 80% de las acciones de la compañía guatemalteca al Grupo Empresas Públicas de Medellín por 605 millones de dólares.

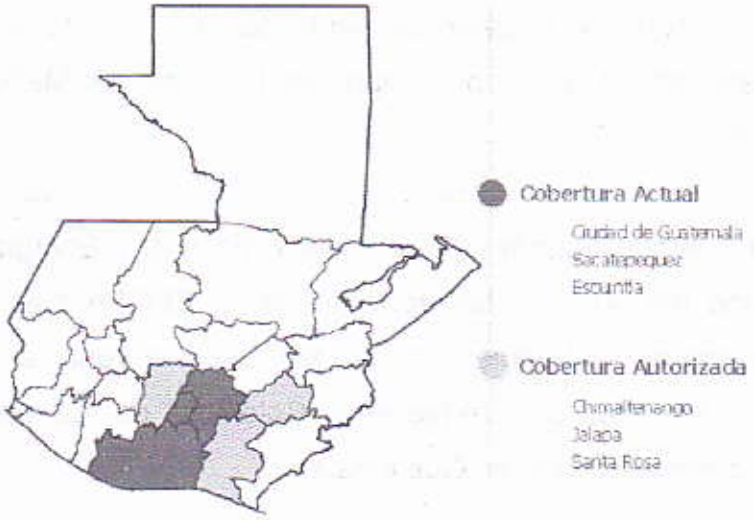
Iberdrola Energía (España), *Teco Energy* (EE.UU) y Energías (portugal), consorcio dueño del 80% de las acciones de la EEGSA bajo la Sociedad Distribución Eléctrica Centroamericana II, acordaron la venta al Grupo EPM, propiedad de la Municipalidad de Medellín, Colombia, de sus operaciones de distribución y comercialización en Guatemala.

1.1.2. Servicios que presta y cobertura

Tras decenas de años de generar energía, EEGSA reorientó sus objetivos para convertirse en una empresa Distribuidora. Por el efecto, es necesario que el distribuidor de energía cuente con un sistema de distribución, definido como el conjunto de líneas y subestaciones de transformación de electricidad, destinadas a efectuar la actividad de distribución y que funcionen a los voltajes que especifique el reglamento.

Las operaciones de distribución de EEGSA sirven un territorio de 6975 kilómetros cuadrados, incluyendo los departamentos de Guatemala, que incluye la capital del país, Ciudad de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla, que son las regiones de Guatemala más pobladas y económicamente activas. El total de clientes de EEGSA asciende a más de 940 mil que comprende una población cercana a 4,1 millones de habitantes.

Figura 1. **Cobertura EEGSA**



Fuente: cobertura EEGSA. Http://www.eegsa.com/cobertura.php (16/04/2009).

1.2. Subestación eléctrica

La energía eléctrica es necesario transportarla desde los puntos de generación, lo cuales regularmente están ubicados en lugares remotos, hasta las áreas de consumo. Para disminuir las pérdidas debidas al transporte de la energía eléctrica a grandes distancias, es necesario elevar el voltaje, pues al incrementarlo la corriente disminuye por el mismo factor, y, debido a que las pérdidas son directamente proporcionales a la corriente es obvio el beneficio obtenido.

Para propósitos de elevar el voltaje en los puntos remotos, o disminuirlo en los sitios de consumo, es necesario construir subestaciónes eléctricas, en las cuales se instalan todos los equipos necesarios para esta función, además de que también permiten reorientar flujos de energía en diferentes direcciones.

1.2.1 Definición

Subestación eléctrica, es un conjunto de dispositivos, que forman parte de un sistema eléctrico de potencia. Sus funciones principales son transformar tensión y derivar circuitos.

La transformación de tensión, es debido a que la energía eléctrica regularmente es generada en lugares distantes, por lo que para ser transportada con un mínimo de pérdidas, se hace necesario elevar la tensión con lo cual la corriente es reducida en un factor similar. Cuando la electricidad llega a los sitios de distribución, es necesario realizar la operación inversa de reducir la tensión a niveles adecuados. Esto nos lleva a dos tipos de subestaciones de transformación, elevadoras y reductoras de tensión.

Las subestaciones utilizadas para derivar circuitos de potencia, son conocidas como subestaciones de *switcheo*. Este tipo de subestaciones son utilizadas para realizar maniobras que permitan cambiar la configuración de la red. Regularmente, la mayoría pueden ser controladas remotamente desde un centro de control.

Empresa Eléctrica de Guatemala, posee subestaciones reductoras de tensión de 69 kV a 13,2 kV. La mayoría también son de *switcheo*. Estamos hablando entonces de subestaciones híbridas.

1.2.2. Equipos

En este inciso se intentan describir, los equipos principales que se instalan en una subestación.

Transformadores de potencia: el transformador es una máquina electromagnética, cuya función principal es cambiar la magnitud de las tensiones eléctricas.

Es el elemento esencial de una subestación de transformación. Se puede considerar formado por tres partes principales. Parte activa, parte pasiva y accesorios.

La parte activa son todos aquellos elementos separados del tanque principal, y está formado por las bobinas y el núcleo magnético. En esencia son las partes responsables de la conversión electromagnética del transformador.

La parte pasiva consiste en el tanque donde se aloja la parte activa. El tanque debe ser hermético, soportar el vacío absoluto sin presentar deformación permanente, proteger eléctrica y mecánicamente el transformador, ofrecer puntos de apoyo para el transporte y la carga del mismo, soportar los enfriadores, bombas de aceite, ventiladores y los accesorios especiales.

A medida que la potencia de diseño de un transformador se hace crecer, el tanque y los radiadores, por si solos, no alcanzan a disipar el calor generado, por lo que en diseños de unidades de alta potencia se hace necesario adicionar enfriadores, a través de los cuales se hace circular aceite forzado por bombas, y se sopla aire sobre los enfriadores, por medio de ventiladores. A este tipo de eliminación térmica se le llama enfriamiento forzado.

Los accesorios de un transformador son un conjunto de partes y dispositivos que auxilian la operación y facilitan las labores de mantenimiento. Entre algunos de estos accesorios destacan, el tanque conservador, las boquillas, el tablero, las válvulas, conectores de tierra y placa de características.

Entre las conexiones, posibles de un transformador podemos mencionar: estrella-estrella, delta-delta, delta-estrella, estrella-delta, T-T, zig-zag. Entre todas estas conexiones las más frecuentemente utilizadas son, delta-estrella para transformadores elevadores de tensión, y estrella-delta para transformadores reductores de tensión.

En EEGSA los niveles de tensión de los transformadores utilizados son 69 kV en el lado primario y 13,2 kV en el lado secundario. Las capacidades en potencia son 10/14 y 15/28 MVA. Este doble valor es debido a que su capacidad es diferente si el sistema de enfriamiento forzado está funcionando o no. La conexión más frecuentemente utilizada es la estrella-delta.

Transformadores de instrumentos: son dispositivos electromagnéticos cuya función principal es reducir a escala los niveles de tensión y corrientes utilizados por la protección, monitoreo y control de la subestación. Regularmente la mayoría de aparatos y equipos que se montan sobre los tableros de la subestación, no están construidos para soportar ni grandes tensiones, ni grandes corrientes.

Debido a esto se dispone de los transformadores de corriente (CT) y transformadores de potencial (PT) los cuales representan a escalas muy reducidas las magnitudes de corriente y tensión respectivamente. Normalmente estos transformadores se construyen con sus secundarios para corrientes de 5 amperes y tensiones de 120 volts.

Pararrayos: son dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por las descargas electroatmosféricas, operación de interruptores o desbalance de sistemas.

Un pararrayo, para ser un dispositivo de protección efectivo, debe comportarse como un aislador mientras la tensión aplicada no exceda de cierto valor predeterminado, y convertirse en un conductor al alcanzar la tensión ese valor y conducir a tierra la onda de corriente producida por la onda de sobretensión.

Interruptores: el interruptor es un dispositivo destinado al cierre y apertura de la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga, en condiciones normales, así como, y esta es su función principal, bajo condiciones de corto circuito. Sirve para insertar o retirar de cualquier circuito energizado máquinas, aparatos, líneas aéreas o cables.

El interruptor es, junto al transformador, el dispositivo más importante de una subestación. Su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se puede tener en un sistema eléctrico de potencia.

La mayoría de interruptores tienen la capacidad de recierre automático, lo cual tiene como fin mejorar la continuidad del servicio de la instalación. Esto debido a que las fallas en una red pueden ser transitorias, semipermanentes y permanentes, siendo posible, en el caso de las dos primeras, restaurarse el servicio una vez que ha cesado la falla. En el tercer caso solo se puede restaurar el servicio, después de la reparación de la zona dañada. Un ejemplo de falla transitoria sería la descarga de un rayo que contornea un aislador sin perforarlo. Para este tipo cuando hay un recierre se acostumbra un espacio de 0.3 segundos. Es más frecuente en las líneas de alta tensión.

Una falla semipermanente puede ser el contacto de una rama de un árbol con un conductor. Esta falla es de mayor duración que el caso anterior y solo se elimina con un recierre automático lento de varios segundos o menos. Es más frecuente en tensiones medias. En el caso de las fallas permanentes, un ejemplo puede ser un cortocircuito en las bobinas de un transformador o dentro de un cable de potencia. El cortocircuito una vez iniciado se establece en forma franca y solo desaparece después de la apertura del interruptor correspondiente.

En el caso de EEGSA, existen dos variantes de interruptor utilizadas, el primero conocido como IG, ya que el medio que utiliza para extinguir el arco es un gas, está instalado del lado de alta tensión (69 kV) y el segundo, instalado para cada circuito de salida de la subestación, en el lado de baja tensión (13,2 kV) conocido como *Recloser*, ya que permiten el recierre del circuito en el caso de una falla transitoria o semipermanente.

Cuchillas: son dispositivos que permiten conectar o desconectar diversas partes de una instalación eléctrica, para efectuar maniobras de operación o bien para darles mantenimiento.

Las cuchillas pueden abrir circuitos bajo la tensión nominal, pero nunca cuando está fluyendo corriente a través de ellas, antes de abrir un juego de cuchillas, siempre deberá abrirse el interruptor correspondiente.

La diferencia entre un juego de cuchillas y un interruptor es que las primeras no pueden abrir un circuito con corriente y el interruptor si puede abrir cualquier tipo de corriente, desde la nominal hasta el cortocircuito. Hay algunos fabricantes de cuchillas, que añaden a la cuchilla una pequeña cámara de arqueo, que le permite abrir solamente bajo los valores nominales de corriente.

Fusibles: son dispositivos de protección eléctrica de una red que hacen las veces de un interruptor, siendo más baratos que estos. Su función es la de interrumpir circuitos cuando se produce en ellos una sobrecorriente, y soportar la tensión transitoria de recuperación que se produce posteriormente.

Reactores: son bobinas que se utilizan para limitar una corriente de cortocircuito y pueden disminuir en esta forma la capacidad interruptiva de un interruptor y por lo tanto su costo; otra función de los reactores es la corrección del factor de potencia en líneas muy largas, cuando circulan corrientes de carga muy bajas, en este caso los reactores se conectan en derivación.

En el caso de las subestaciones los reactores se utilizan principalmente en el neutro del banco de los transformadores, para limitar la corriente de cortocircuito a tierra.

En algunos casos se utilizan también en serie con cada una de las tres fases de un transformador, para limitar la corriente de cortocircuito trifásica.

Bancos de tierras: Consiste en un transformador cuya función principal es conectar a tierra el neutro de un sistema y proporcionar un circuito de retorno a la corriente de cortocircuito de fase a tierra.

Bancos de capacitores: Los capacitores son dispositivos eléctricos formados por dos láminas conductoras, separadas por una lámina dieléctrica y que al aplicar una diferencia de tensión almacenan carga eléctrica.

Una de la aplicaciones principales del capacitor es la de corregir el factor de potencia en líneas de distribución y en instalaciones industriales, aumentando la capacidad de transmisión de las líneas, el aprovechamiento de la capacidad de los transformadores y la regulación del voltaje en los lugares de consumo. Regularmente los capacitores se instalan en grupos llamados bancos. Los bancos de capacitores de alta tensión generalmente se conectan en estrella, con neutro flotante y rara vez con neutro conectado a tierra.

Baterías: se denomina batería a un conjunto de celdas conectadas en serie. La tensión nominal de la batería viene dada por la suma de las tensiones de cada una de las celdas.

Las baterías poseen un electrolito, el cual es el responsable del almacenamiento de carga eléctrica en la batería. Según el tipo de electrolito pueden ser ácidas o alcalinas.

Cargadores de batería: son los dispositivos que se utilizan para cargar y mantener en flotación, con carga permanente, la batería de que se trate. El cargador se conecta en paralelo con la batería.

La batería y el cargador de batería son los elementos responsables de la operación de los dispositivos de la subestación, ante la ausencia de corriente alterna.

1.2.3. Protección de la subestación

Protección de una subestación es un conjunto de sistemas que mantienen vigilancia permanente y cuya función es eliminar o disminuir los daños que puede recibir un equipo eléctrico cuando se presenta una falla. La parte más importante de este sistema son los relevadores que sirven para detectar la falla y que, a su vez, efectúan la desconexión automática de los interruptores cuando se producen sobrecorrientes debidas a cortocircuitos, aislando las partes del sistema que ha fallado.

Las partes principales que forman un sistema de protección eléctrica son, la batería (120 voltios DC), cables de control, interruptores de potencia, transformadores de corriente y de potencial y relevadores. Los primeros cuatro ya fueron descritos en los párrafos anteriores, centraremos nuestra atención en el relevador.

1.2.3.1. Relevadores

Son dispositivos electromagnéticos o electrónicos que protegen los equipos de una instalación eléctrica de los efectos destructivos de una falla, y reducen sus efectos y daños.

Esta es en esencia, la descripción original de un relevador, ya que más adelante se verá, que con los adelantos de la tecnología, este pasó a ser un dispositivo más complejo. Los relevadores son dispositivos que envían a los interruptores considerados una señal de apertura, y se dice que funcionan cuando al energizarse su bobina de disparo cierra sus contactos, disparando los interruptores.

Los relevadores se pueden dividir en tres grupos, de atracción electromagnética, de inducción electromagnética y de estado sólido.

Atracción electromagnética: estos relevadores están formados por una bobina con un núcleo magnético, que en uno de sus extremos tiene un contacto móvil que, al desplazarse junto con el núcleo, cierra el circuito de disparo a través de un contacto fijo.

Dicho de otra forma, son relevadores que operan por atracción electromagnética mediante un solenoide en el tipo embolo o mediante una armadura magnética embisagrada en el tipo bisagra.

Estos relevadores suelen tener derivaciones en la bobina de operación, para permitir el ajuste de la corriente mínima de operación (*pick-up*), que es el valor a partir del cual el relevador empieza a moverse.

Inducción electromagnética: utilizan el principio del motor de inducción. Son motores de inducción, en que el estator tiene bobinas de corriente o de corriente y potencial, y los flujos creados por las corrientes de las bobinas inducen corrientes en un disco (rotor), lo cual crea un par que lo hace girar en oposición a un resorte en espiral, y cierra los contactos del circuito de disparo. Estos relevadores son conocidos como relevadores estáticos.

Están diseñados también con las tres curvas básicas de corriente-tiempo, tiempo inverso, muy inverso y extremadamente inverso.

Estado sólido: es un relevador formado por unidades lógicas de estado sólido que son componentes de baja corriente que trabajan con señales de voltaje de corriente directa. La unidad lógica solo tiene dos estados cero y uno, y generalmente trabaja con una tensión de operación de 20 volts.

Estos relevadores en relación con los electromagnéticos equivalentes son más pequeños, más rápidos, tienen menor carga (*burden*).

1.2.3.2. Relevadores más utilizados en subestaciones

Las protecciones más utilizadas en las subestaciones están basadas en los siguientes relevadores:

Relevadores de sobrecorriente: son los más utilizados en subestaciones y en instalaciones eléctricas industriales, suelen tener un disparo instantáneo y disparo temporizado, con bobina de corriente de 4 a 16 amperes para los de fase y 0,5 a 2 amperes para los de tierra.

Estos relevadores se calibran para que operen con señales de corriente por encima del valor máximo de la corriente nominal del circuito protegido. En condiciones de cortocircuito deben proporcionar una buena coordinación de la secuencia de disparo de los interruptores. Relevadores diferenciales: están formados por tres bobinas, dos de restricción y una de operación, trabajan por diferencia de las corrientes entrantes con las salientes del área protegida.

La operación se produce cuando existe una diferencia entre estas corrientes, lo cual indica que dentro del equipo protegido existe una fuga de corriente.

Relevadores de distancia: se basan en la comparación de la corriente de falla, vista por el relevador, contra la tensión proporcionada por un transformador de potencial, con lo cual se hace posible medir la impedancia de la línea al punto de falla. El elemento de medición es instantáneo o con un retardo que suministra un elemento de tiempo. Normalmente, la impedancia es la medida eléctrica de la distancia, desde la subestación hasta el lugar donde ocurrió la falla.

Estos relevadores tienen gran aplicación en protección de líneas, en donde se requiere la operación selectiva de interruptores en cascada. Relevador direccional: es un relevador que se energiza por medio de dos fuentes independientes. Tiene la habilidad de comparar magnitudes o ángulos de fase y distinguir el sentido de los flujos de corriente.

Relevador de hilo piloto: es en sí un relevador diferencial, adaptado para el caso en que los transformadores extremos de corriente se encuentren muy alejados. En estos relevadores se comparan las corrientes entrantes y salientes de una línea de transmisión y cuando la diferencia es apreciable, la protección envía una orden de apertura a los dos interruptores extremos de la línea.

1.2.4. Medición en la subestación

Se entiende por medición de un sistema eléctrico, y en particular de una subestación, a la operación de un conjunto de aparatos conectados a los secundarios de los transformadores de potencial y de corriente, que miden las magnitudes de los diferentes parámetros eléctricos de las instalaciones de alta y baja tensión, así como los dispositivos auxiliares de la subestación que se trate.

En una subestación es necesario conocer las siguientes magnitudes eléctricas: corriente, tensión, frecuencia, factor de potencia, potencia activa y reactiva, energía activa y reactiva. Para conocer dicha magnitudes, deben instalarse en la subestación los siguientes aparatos: amperímetros, voltímetros, frecuencímetros, medidores de factor de potencia, wáttmetros y vármetros, watthorímetros y varhorímetros. Vea tabla I, números ANSI para relevadores en subestaciones.

Tabla I. **Números ANSI para relevadores en subestaciones**

Número ANSI	Descripción del relevador	Función
21	Distancia-Impedancia de 0,2 a 4,350 ohm	Protección de respaldo en buses remotos de subestaciones adyacentes
21-G	Distancia-Falla a tierra monofásica	Protección de respaldo para fallas de fase a tierra
50	Sobrecorriente instantáneo	Detecta sobrecorrientes de fase
50X1	Sobrecorriente instantáneo	Detecta sobrecorrientes de tierra
51	Sobrecorriente instantáneo y tiempo inverso temporizado 4-16 A	Protección de respaldo de bancos
51-T	Sobrecorriente instantáneo y temporizado 0.5-2 A. Tiempo inverso	Protección de respaldo de falla a tierra en bancos

Continúa Tabla I

62	Relevador de tiempo ajustable de 0,1 a 3 segundos	Retardan el disparo de un *relevador de distancia, para* suministrar la 2ª. zona
63	Detector de gas	Protección primaria o de respaldo para bancos de transformadores
67	Sobrecorriente direccional instantáneo y temporizado 4-16 A. Tiempo inverso	Protección de respaldo en líneas, para fallas entre fases
67-N	Sobrecorriente direccional instantáneo y temporizado 0,5-2 A.	Protección de respaldo en líneas, para fallas fase a tierra
86	Auxiliar de disparo, reposición manual, 16 contactos	Auxiliar para el disparo de las protecciones, primaria y de respaldo
87-T	Diferencial para bancos de transformadores con tres bobinas	Protección primaria para bancos de transformadores
87-B	Diferencial de buses	Protección diferencial de buses de alta velocidad
87-C	Comparación de fases, con canal de *corriente portadora*	Protección primaria para líneas *de transmisión*
87-N	Diferencial de hilo piloto	Protección primaria para líneas de transmisión cortas

Fuente: MARTÍN, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. p. 371.

1.2.4.1. *Sistemas de medición*

El sistema de medición de la subestación puede ser de tres tipos: local, remoto o telemedición y mixto.

Sistema de medición local: este caso es el más usado en las subestaciones operadas manualmente, en ellas todos los aparatos de medición se instalan sobre los tableros correspondientes, dentro del salón de tableros principal; y en caso de subestaciones de gran capacidad dentro de las casetas de tableros. En ambos casos todos los aparatos se encuentran dentro de los límites de la subestación de que se trate.

Sistema de medición remoto: este método se utiliza para transmitir datos de medición de la instalación considerada al centro del control de sistema.

Debido a que el equipo de telecontrol no está diseñado para operar con señales de volts o amperes, se conectan estas señales a transductores que las transforman en mili amperes. Los transductores transforman las señales de corriente alterna de los transformadores de instrumentos, en señales de corriente directa con valor máximo de un miliampere, señales que ya pueden ser manipuladas por el equipo de telemedición que las envía a las unidades de control supervisorio de la unidad terminal remota (UTR). A su vez la UTR envía las señales hasta el centro del control del sistema para su detección.

Los parámetros de telemedición que se acostumbra enviar al centro maestro son los siguientes: corriente de cada alimentador de distribución, tensión en los buses principales, frecuencia en los buses principales, potencia activa y reactiva que fluye en líneas y bancos.

Sistema de medición mixto: este caso es el más utilizado en la subestaciones de gran magnitud que pueden sen controladas manualmente o tele controladas. Como en este tipo de subestaciones las distancias son grandes, es más económico utilizar transductores que convierten las señales de los transformadores de instrumento, a escala, en magnitudes menores de un miliampere de corriente directa, lo que permite utilizar cable más delgado, del tipo telefónico.

Este cable parte del lugar de la medición, y corre a través de los ductos, hasta llegar a la caseta principal de tableros, de donde parte una señal a los tableros propiamente, y otra señal hacia la terminal remota de la subestación,

en donde a través de una línea telefónica o un sistema de radio o microondas, los datos son enviados a la estación central.

Todo este conjunto de dispositivos de telemedición, conformado por los transductores, la unidad UTR, el centro de control, y los medios utilizados para enlazarlos, así como también los dispositivos de telecontrol, es conocido como sistema SCADA.

1.2.5. Control de la subestación

Se entiende por sistema de control de una subestación eléctrica, al conjunto de instalaciones de baja tensión, interconectadas entre si, que son necesarias para efectuar maniobras en forma manual o automática, en las instalaciones de alta y de baja tensión.

1.2.5.1. Tipos de control

El control puede operarse manual o automáticamente y también puede ser realizado en forma local o remota.

Control local: el sistema de control local se utiliza en aquellas subestaciones que cuentan con turnos permanentes de operadores, que vigilan y operan las diferentes instalaciones, haciendo uso de los mecanismos de mando manual, auxiliados por los sistemas automáticos.

El control local también se utiliza en forma mixta, en las subestaciones telecontroladas, para que puedan operarse en forma manual por el personal de mantenimiento.

Control remoto: este sistema se utiliza en subestaciones donde no existe personal de operación permanente y se controlan desde un centro de operación remoto. Solo en casos especiales se operan localmente.

1.2.5.2. Dispositivos y elementos usados en control

Las instalaciones de control comprenden varios elementos, algunos de ellos son los siguientes:

Elementos ejecutadores: estos dispositivos se utilizan para operar, a través de los interruptores y cuchillas, el equipo de alta tensión y el equipo auxiliar necesario. Entre ellos podemos mencionar: interruptores, cuchillas de fases y de tierra, cambiadores automáticos de derivaciones bajo carga.

Dispositivos de control automático: dentro de este grupo se considera el recierre de interruptores, los elementos de sincronización, cambiadores de derivaciones de transformadores, transferencia de alimentadores, transferencia de potenciales.

Dispositivos de alarma: son dispositivos de aviso sonoro, luminoso, o mediante contactos de relés, que operan cuando existen condiciones anormales en el funcionamiento de algún aparato eléctrico de alta tensión, como transformadores, interruptores, etc.

Dispositivos de protección: en este caso se consideran los transformadores de corriente, los transformadores de potencial, relevadores de protección y auxiliares, equipos de comunicación.

Dispositivos de medición: dentro de estos aparatos se consideran los amperímetro, voltímetros, wáttmetros, vármetros, watthorímetros y varhorímetros.

Aparatos registradores: estos aparatos registran la información que se produce como resultado de un disturbio dentro y fuera de la subestación. Dentro de estos podemos mencionar los registradores de eventos y los osciloperturbógrafos.

Dispositivos de mando y señalización: entre ellos están los tableros de control, conmutadores de control, lámparas de señalización, etc.

Cables de control: estos son utilizados para interconectar las distintas partes de las instalaciones de control, relevadores de protección y aparatos de medición, a partir de los transformadores de protección y medición correspondientes.

Tableros: son los soportes de los aparatos de protección, medición, control, alarmas, lámparas de señalización, a través de los cuales se controla toda la instalación de que se trate.

1.3. Sistema SCADA

SCADA es un conjunto de iniciales en inglés que traducidas al español significan adquisición de datos y control de supervisión (*supervisory control and data acquisition*).

Los sistemas SCADA utilizan la computadora y tecnologías de comunicación para automatizar el monitoreo y control de procesos industriales. Estos sistemas son partes integrales de la mayoría de los ambientes industriales complejos o muy geográficamente dispersos ya que pueden recoger la información de una gran cantidad de fuentes muy rápidamente, y la presentan a un operador en una forma amigable. Los sistemas SCADA mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas.

Inicialmente los sistemas SCADA aparecieron el entorno tecnológico era mucho más limitado que el que existe hoy en día sin embargo, actualmente, se está produciendo una convergencia entre los sistemas clásicos de control industrial y las nuevas tecnologías de información. Esta convergencia tiene por objetivo mejorar la eficiencia, el mantenimiento y la capacidad de procesamiento de los sistemas de control industriales.

1.3.1. Generalidades

Los sistemas SCADA son utilizados actualmente en la mayoría de industrias, tanto de electricidad, agua, gas, etc., para monitorear y controlar remotamente los equipos y procesos. En el caso de una empresa de electricidad, el sistema está conformado por una estación central, varias estaciones remotas instaladas en las subestaciones y los medios y equipos utilizados para interconectarlos.

Constantemente la estación central, explora las estaciones remotas e interroga todos los puntos de indicación, como son posiciones de cierre o apertura de interruptores, puntos de alarma, y puntos de telemedición, presentando visualmente en forma continua, a los operadores del sistema, los

datos que se han seleccionado para este fin. Además, los operadores, pueden obtener la presentación visual de otras telemediciones que no requieren supervisión continua.

1.3.2. Estación maestra SCADA

Es el conjunto de equipos y *software* instalado en el punto central del sistema SCADA. Su función es interrogar constantemente todas las estaciones remotas, y presentar gráficamente a los operadores el comportamiento del sistema. Toda condición de alarma que sea detectada se presenta inmediatamente a la atención del operador mediante una indicación luminosa o sonora, a través de *displays*, tableros de alarmas, etc. Los operadores pueden también, por medio de este sistema, operar los equipos remotos; para ello, la estación central interrumpe la adquisición automática de datos, la cual se reanuda automáticamente una vez que realiza y comprueba la orden de control.

Entre los equipos que conforman la estación maestra SCADA están:

Servidores: regularmente son dos, uno que opera como primario y el otro como *host Standby*. El *host standby* es una imagen idéntica al servidor primario, pero únicamente adquiere el control del sistema cuando el primario falla.

Los servidores son los cerebros del sistema, en ellos se almacenan todos los programas necesarios para el funcionamiento del sistema SCADA. Además contienen la base de datos con toda la información de los eventos, alarmas y mediciones recabadas de toda la red eléctrica asociada.

Servidores de comunicación: son los equipos responsables de la comunicación entre la estación maestra y las unidades remotas. Poseen puertos de comunicación, que en la mayoría de sistemas son conocidos como líneas de comunicación, mediante las cuales se agrupan los equipos remotos, dependiendo de las áreas de cobertura de los enlaces o del protocolo de comunicación utilizado. Todos los equipos asociados a una misma línea de comunicación deben hablar el mismo protocolo.

Entre los protocolos más utilizados podemos mencionar: DNP 3.0, TG8979, Modbus, IEC 608070-5-103 y el más reciente el IEC 61850. En EEGSA se utiliza actualmente el protocolo TG8979. Este protocolo fue diseñado por *Landys & Gyr*, empresa estadounidense, hoy propiedad de Siemens.

Workstations: son las máquinas responsables de presentar a los operadores, toda la información de lo que ocurre en el sistema. El número de *Workstation*, regularmente está determinado por el número de operadores simultáneos necesarios para controlar la red eléctrica. Regularmente la mayoría de sistemas SCADA poseen una *Workstation* adicional para supervisión y mantenimiento.

1.3.3. Unidades terminales remotas (UTR)

Como su nombre lo indica, son los equipos instalados en los puntos remotos de un sistema SCADA. Regularmente están conformadas por un módulo central de procesamiento, tarjetas de entradas y salidas y puertos para comunicación con la estación maestra y para configuración local.

Módulo central de procesamiento: está conformado por un procesador, el cual es el cerebro de la UTR coordinando toda su operación, la memoria, en la cual se encuentran instalados todos los programas necesarios para su funcionamiento, registros, donde está almacenada la configuración del sistema y los datos recabados de la subestación, y un bus de datos y direcciones, utilizados para comunicación con los diferentes dispositivos de la unidad.

Tarjetas de entradas analógicas: a través de ellas, se obtiene toda la información de telemetría de la subestación. Regularmente aceptan entradas de corriente DC en el rango de +- 1 mA. Para ello se auxilian de los transductores, los cuales se encargan de convertir las señales de voltaje y corriente de los transformadores de instrumento, a señales compatibles con las tarjetas analógicas.

Tarjetas de entradas digitales: con estas tarjetas se adquiere el estatus digital de los equipos instalados en la subestación. Regularmente manejan únicamente dos estados, abierto-cerrado, conectado-desconectado, alarmado-normal, local-remoto, etc. Cuando un Interruptor de la subestación que normalmente se mantiene cerrado, abre debido a una falla ocurrida, inmediatamente un contacto utilizado para el efecto, indica el cambio a la tarjeta de entradas digitales. Este dato es obtenido por la UTR y trasladado mediante un canal de comunicación a la estación maestra para ser presentado a los operadores del sistema.

Tarjetas de salidas de control: cuando se requiere operar un equipo instalado en la subestación, regularmente para abrir o cerrarlo remotamente, las tarjetas de control son las utilizadas. Estas poseen a su salida relés, ya sea momentáneos o *latch*, los cuales trasladan la señal a los equipos de potencia de la subestación.

Puertos de comunicación: regularmente la mayoría de UTR manejan tres puertos. El primero es el utilizado para su configuración, el segundo para comunicarse con las tarjetas de entradas y salidas y el tercero para comunicación con la estación maestra. Actualmente casi todos son RS232, y en el caso del puerto utilizado para comunicación con la central SCADA, debe tener habilitado un protocolo común a la línea asociada.

1.3.4. Enlaces de comunicación

Comprende todos los equipos utilizados por el sistema SCADA para comunicar la estación maestra con las unidades terminales remotas.

Antiguamente la mayoría de estos enlaces eran a través de líneas telefónicas ó radio analógico. Hoy en día, con el avance de las comunicaciones, existen un sinnúmero de medios para emplearse, se puede hablar de microondas, fibra óptica, radios digitales, satélite, etc. En el caso de los protocolos que son trasladados a través de estos enlaces, la mayoría son seriales, con señalización muy pobre, por lo que muchas veces se hace muy difícil mezclarlos con aplicaciones de tecnología de punta. En el caso de EEGSA, se cuenta con enlaces de radio analógico, línea telefónica, fibra óptica y radio digital. El problema que presentan es que regularmente, a través de ellos solo es llevada la comunicación SCADA, por lo que son subutilizados.

1.4. Dispositivos electrónicos inteligentes

1.4.1. Generalidades

Como podemos observar en las secciones anteriores, todas las subestaciones poseen una gran cantidad de equipos para poder realizar las

funciones de protección, medición y control, tanto local como remoto. Aún así, existen muchas limitaciones para su adecuada operación y mantenimiento, principalmente en estos tiempos con tantos requerimientos de calidad, tanto del gobierno como por la competencia.

En el caso de la protección, hoy en día ya no es suficiente con que los relevadores liberen las fallas. Hoy en día se requieren informaciones precisas de cómo ocurrió, para poder establecer las causas que la provocaron, y de esta manera evitar que se vuelva a presentar. Pero desafortunadamente con los relevadores convencionales presentados anteriormente, esto no es posible. La mayoría solo tienen una bandera que indica que tipo de protección actúo, pero no se tienen datos de corrientes y voltajes en el momento de la falla, mucho menos del comportamiento del sistema instantes antes y después de que esta ocurriera. Esto es en su punto más simple, ya que si requieren registros de oscilografía, diagramas fasoriales, etc., la cosa se complica aún más.

Si nos referimos a la medición, esta es muy pobre, ya que debido a la utilización de transductores, es necesario instalar uno por cada variable que se desee medir, por lo que regularmente solo se obtienen las principales. Además, si deseamos obtener mediciones más complejas, como armónicos, formas de ondas, los transductores ya no son la solución.

En lo referente a la configuración, mantenimiento y control de los equipos de potencia instalados en la subestación, la mayoría solo poseen paneles con botones para sus ajustes de protección y operación, contactos para el control local o remoto, un contador que indica el número de operaciones del dispositivo y solo algunos medidores que indican el voltaje y corriente circulante a través de ellos.

A raíz de esto, y con la rápida evolución de la electrónica y los equipos microprocesados, surgió para las subestaciones un nuevo tipo de equipo, los IED (dispositivos electrónicos inteligentes).

Estos, son dispositivos de protección, medición y control, que haciendo uso de todas las ventajas de los microprocesadores, vinieron a revolucionar las subestaciones, ya que solucionan muchas de las limitaciones que se tenían con los antiguos equipos.

1.4.2. Partes de un IED

El IED, es en su forma básica un mini computador industrial. Está compuesto por CPU, memoria, interfaces de entradas y salidas, procesador de comunicación, interfaz de control de operador, reloj y fuente de alimentación.

1.4.2.1. CPU

CPU es el elemento central del IED responsable del control y procesamiento del equipo. Actualmente algunos están conformados con multiprocesadores diseñados con DSP de 10 MHz y 16 bit y CPU de 16 MHz y 32 bit de la serie 68000.

Algunas características del CPU son las siguientes:

- Lógica operacional
- Lógica programable
- Control de relés de disparo
- Algoritmos de protección
- Administración de registro de fallas

- Selección y localización de tipo de falla y fase
- Máxima potencia
- Tecnología avanzada (larga vida)
- Funcionamiento óptimo dedicado (bajo consumo).

Algunos CPU poseen también internamente microprocesador de comunicaciones local (MMI) y microprocesador de comunicaciones remotas.

El DSP es un procesador de señales digitales, regularmente de 16 bit, que controla las adquisición de todas las señales analógicas y la medición de los parámetros de entrada. También ejecuta todas las iteraciones aritméticas para convertir a digital las señales de entrada.

Entre las características del procesador de señales digitales (DSP) están:

- Procesamiento de señal frontal
- Algoritmos y elementos de medición
- Filtros digitales
- Oscilografías
- Lógica de alta velocidad
- Datos de registro de falla
- Tecnología avanzada (larga vida)
- Funcionamiento óptimo dedicado (bajo consumo).

1.4.2.2. Memoria

Regularmente los IED poseen tres tipos de memoria.

EPROM: memoria eléctricamente programable. Es la responsable del almacenamiento del *firmware* del IED. Regularmente el *firmware* solo se puede variar cambiando los chips. A raíz de esto los IED más recientes vienen con memoria *Flash*, la cual permite hacer actualizaciones a través de *software*.

Firmware es un *software* permanentemente grabado en un chip de computadora. Son códigos especiales parte de un sistema operativo o un lenguaje de computadora.

EEPROM: memoria eléctricamente programable eléctricamente borrable. Es la responsable del almacenamiento de todos los ajustes de programación del IED. La EEPROM se puede variar mediante *software* externo o mediante el panel local que algunos poseen.

RAM: memoria volátil, utilizada por los dispositivos para almacenar información no permanente. Su conservación depende de la presencia de un voltaje de alimentación.

1.4.2.3. Interfaz de entradas y salidas

Están subdivididas en entradas analógicas, entradas digitales y contactos de salida.

Entradas analógicas: estas entradas aceptan generalmente las cuatro señales de corriente y las tres señales de voltaje de los transformadores de instrumento, sin la necesidad de utilizar transductores. Después son convertidas a digital mediante un ADC de 16 bits y procesadas mediante el DSP para obtener una gran variedad de variables.

Entradas digitales: son señales de entrada digital, aisladas ópticamente del voltaje del sistema, utilizadas para obtener el estatus de los equipos de potencia de la subestación. La mayoría de estas señales son procesadas por el CPU utilizando su lógica programable. Según la lógica interna que tenga, algunas de ellas pueden utilizarse para iniciar la captura oscilográfica y el registro de eventos.

Salidas de control: mediante estas salidas, el IED envía señales de control para operar los dispositivos. Algunas de ellas poseen temporizadores incluidos y otras pueden tener salidas auxiliares para alarma y disparo.

La mayoría de estas señales pueden ser lógicamente programables, para ser ejecutadas a partir de la presencia de determinadas señales de entrada, tanto digitales como de medición.

1.4.2.4. Procesadores de comunicación

Los procesadores de comunicación son utilizados para habilitar las interfaces que permitan comunicar el IED con otros equipos tanto dentro como fuera de la subestación. Para ello, es necesario cumplir con ciertos requerimientos, tanto de *hardware* como de *software*.

A nivel de *hardware* se requiere que los equipos a conectar tengan una interfaz física compatible con las características del puerto del IED. RS232, RS485, 10BASET, 10BASEFX, etc.

Así mismo, a nivel *software* se requiere que ambos equipos hablen el mismo protocolo de comunicación, ASCII de 10 *bytes*, DNP 3.0 (IEC870.5), MODBUS®, MODBUS PLUS™, IEC61850.

Regularmente, la mayoría de IED tiene dos tipos básicos de puertos, el primero para acceso serial local o remoto mediante una computadora y el otro para automatización de la subestación e interfaces con un sistema SCADA.

1.4.2.5. Interfaz de control de operador

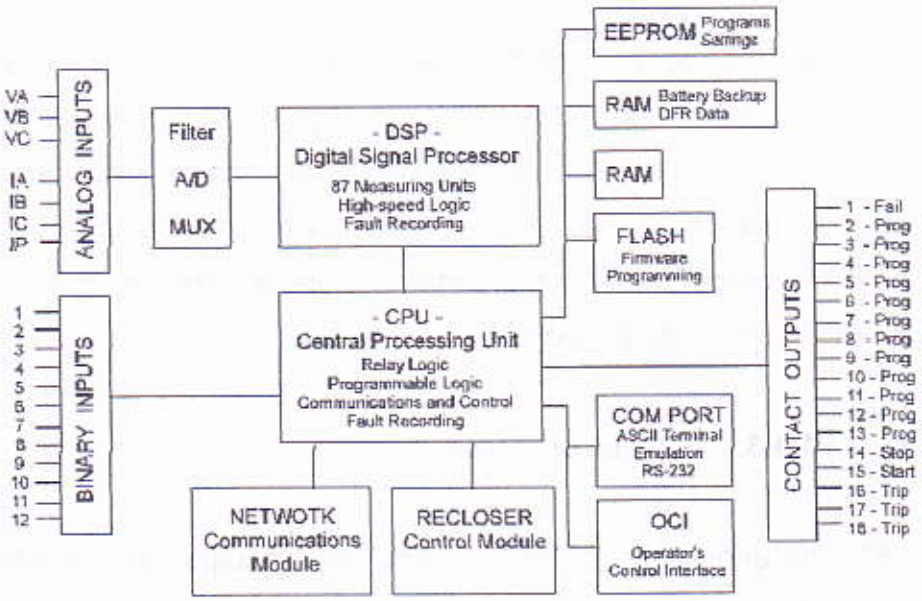
A través de ella, el operador local puede acceder visualmente al estado del IED y controlarlo. Posee botones pulsadores programados mediante *software* que permiten enviar comandos de control, luces indicadoras asociadas mediante un programa a una entrada digital, una bandera interna, la ejecución del comando de un pulsador, etc. Se tiene además la interfaz humano-máquina (HMI) que permite, mediante un display LCD y botones, acceder al estatus y configuración del dispositivo, a través de una serie de menús interactivos. .

1.4.2.6. Reloj

Responsable de la sincronización de todas las tareas del IED. Regularmente este reloj es alimentado por la fuente del dispositivo, pero además tiene el respaldo de una batería interna que permite mantenerlo.

En la figura 2 se presenta el diagrama básico de un IED, este es el TPU2000R fabricado por la compañía ABB.

Figura 2. **Diagrama IED TPU2000R**



Fuente: ABB Inc. Manual de instrucciones TPU2000R. p. 4-2.

1.4.3. Tipos

De acuerdo a la aplicación para la cual son utilizados los IED, podemos subdividirlos en tres tipos distintos, aunque hoy en día la mayoría de los que se encuentran disponibles en el mercado realizan las tres aplicaciones.

1.4.3.1. Medidores electrónicos

Como su nombre lo indica son IED utilizados para realizar funciones de medición, pudiendo leer una gran variedad de parámetros, corrientes, voltajes, potencias, armónicos, energía, etc.

Para ello reciben las señales de voltaje y corriente de transformadores de instrumento con mayor precisión que los utilizados en protecciones.

1.4.3.2. Relevadores microprocesados

Son dispositivos de protección, que vinieron a sustituir los antiguos relevadores, agregando facilidades como el registro y almacenamiento de eventos de falla, oscilografía de señales, diagramas fasoriales, etc. Dependiendo del dispositivo que protegen, así es la clasificación que tienen, relevadores de protección del transformador, relevadores de protección de distribución, relevadores de protección de línea, etc.

1.4.3.3. Controladores

Son IED utilizados para controlar y administrar equipos de potencia de la subestación. A través de ellos se puede monitorear el estado en que se encuentran, registrar las mediciones de corrientes y voltajes circulantes a través de ellos, analizar sus operaciones y eventos, reconfigurarlos, etc. Hay controladores para los interruptores, los reguladores de voltaje, los bancos de capacitores, etc.

2. SITUACIÓN ACTUAL

Los rápidos cambios en la industria eléctrica impulsados por los competitivos niveles de productividad, eficiencia y de calidad de servicio que exige el mercado en la actualidad, requieren de una constante innovación a la hora de resolver la automatización de una subestación eléctrica, lo cual puede significar difíciles desafíos.

Hoy en día a raíz de la publicación de la norma IEC 61850 en 2004, se despertó el interés de las áreas de protecciones y control de las empresas eléctricas, en la implementación de redes *Ethernet* en las subestaciones y se adoptó como la línea a seguir.

Lastimosamente en ninguna de las subestaciones de EEGSA se cuenta con redes *Ethernet*, y mucho menos la implementación de IEC61850. Un punto importante que esta norma no toma en cuenta, pero que a la vez se facilita con la implementación de una red *Ethernet* en la subestación, es la gestión de los equipos, ya que a través de tecnologías IP es posible transportar en un mismo enlace de comunicación, tanto la supervisión y el control, como la gestión de los equipos.

2.1. Generalidades

Actualmente, en la mayoría de subestaciones de Empresa Eléctrica de Guatemala, ya se cuenta con IED, específicamente relevadores para la protección del transformador, relevadores para el control de los reconectadores y relevadores para la protección de líneas.

Lastimosamente, la mayoría de ellos aún no poseen un método de comunicación remota para poder aprovechar todas sus ventajas.

En algunos IED solo se tiene conexión a la UTR, la cual se encarga de extraer unas pocas señales de telemetría. Pero, cuando ocurre algún problema en la subestación y se hace necesario una conexión directa, ya sea para observar los eventos que ocurrieron, analizar la oscilografía ó para reconfigurarlos, la única manera posible es trasladándose físicamente a la subestación para un acceso local. Esto implica costos por el traslado del personal, multas por un mayor retardo en el restablecimiento de la falla y limitaciones en cuanto al mantenimiento de los equipos.

La automatización en EEGSA, está enfocada únicamente a su sistema SCADA, de la marca *Telegyr*. Desde la estación maestra se interroga todas las UTR en las subestaciones, utilizando el protocolo serial asíncrono TG8979. Las interfaces regularmente utilizadas son puertos RS232, con de canales de comunicación analógicos, y debido a las características del protocolo, solamente pueden llevar una aplicación a través de ellos.

Por lo tanto, para la implementación del acceso remoto a los IED, es necesario que se evalúen los canales de comunicación, los protocolos e interfaces requeridas y los equipos involucrados para ello.

El análisis a realizar se enfoca en la subestación Mayan Golf de Empresa Eléctrica de Guatemala, la cual es una subestación transformadora, reductora de tensión.

Mayan Golf está compuesta por 3 circuitos denominados 171, 172 y 173. Posee un transformador con una capacidad de 15/28 MVA y niveles de tensión de 69/13,2 kV.

En el lado de alta, posee un interruptor de gas el cual es utilizado para desenergizar bajo carga el transformador o liberar cualquier falla que pueda dañarlo. También posee transformadores de corriente con una relación de 2000:5, cuchillas seccionadoras, pararrayos, etc.

En el lado de baja, está compuesto por interruptores de distribución, uno por cada circuito, aunque en el caso específico de esta subestación también posee un interruptor principal que abarca todos los circuitos. Después de los interruptores hay reguladores de voltaje para mantener el nivel de tensión dentro de los rangos adecuados. Además hay transformadores de potencial de 8400:120 y transformadores de corriente de 600:5, pararrayos y cuchillas seccionadoras.

2.2. IED en subestación Mayan Golf

En esta subestación se tienen dos tipos de IED, el TPU200R utilizado para la protección del transformador y el DPU2000R para la protección de los interruptores de distribución.

2.2.1. TPU2000R

La Unidad de Protección de Transformadores 2000R (TPU2000R) es un relé basado en microprocesadores que protege transformadores trifásicos de transmisión y distribución de energía, de dos o tres devanados (bobinados).

El TPU2000R, disponible para transformadores de corriente ofrece protección diferencial sensible de alta velocidad para fallas internas de fase y tierra, así como protección de respaldo de sobrecorriente (sobreintensidad) para fallas pasantes. La restricción armónica impide la operación con flujo magnetizante y sobreexcitación.

2.2.1.1. Características

El TPU2000R viene empacado en una caja metálica adecuada para montaje empotrado convencional en panel de bastidor. Debida a la capacidad de sus microprocesadores, ofrece las siguientes funciones de protección, control y monitoreo en un solo paquete integrado.

- Puertos de comunicaciones aislados.
- Ajustes y controles protegidos con contraseña.
- Temperatura de operación, desde -40 °C a +70 °C.
- 32 muestras por ciclo para todas las funciones, incluyendo las de protección, medición y oscilográficas.
- Protección diferencial instantánea y de porcentaje de transformadores trifásicos de dos o tres devanados: 87T/87H.
- Protección de sobrecorriente instantánea y temporizada de fase del devanado 1: 51P-1, 50P-1, 150P-1.
- Protección de sobrecorriente instantánea y temporizada de fase del devanado 2: 51P-2, 50P-2, 150P-2.
- Protección de sobrecorriente instantánea y temporizada de fase del devanado 3: 51P-3, 50P-3, 150P-3.
- Protección de sobrecorriente instantánea y temporizada residual del neutro del devanado 1: 51N-1, 50N-1, 150N-1.

- Protección de sobrecorriente instantánea y temporizada de tierra del devanado 2: 51G-2, 50G-2, 150G-2 (51N-2, 50N-2, 150N-2).
- Protección de sobrecorriente instantánea y temporizada residual del neutro del devanado 3: 51N-3, 50N-3, 150N-3.
- Protección de sobrecorriente instantánea y temporizada de tierra: 51G, 50G, 150G.
- Protección de sobrecorriente temporizada de secuencia negativa del devanado 1: 46-1.
- Protección de sobrecorriente temporizada de secuencia negativa del devanado 2: 46-2.
- Protección de sobrecorriente temporizada de secuencia negativa del devanado 3: 46-3.
- Detectores de nivel para los devanados 1, 2 y 3 para decisiones de disparo de seccionadores/interruptores locales o aguas arriba.
- Medición de corrientes de fase y neutro/tierra de los devanados 1, 2, y 3.
- Medición de corrientes de restricción, corrientes de operación y porcentaje de la 2a., 5a. y todas las armónicas.
- Medición opcional de: voltajes, vatios, VARs, vatios-hora y VARs-hora, factor de potencia y frecuencia.
- Corrientes de demanda y corrientes de demanda pico con registro de tiempo para los devanados 1, 2 ó 3.
- Opcional: vatios y VARs de demanda con impresión de tiempo para los devanados 1, 2 ó 3.
- Registros detallados de fallas diferenciales de los últimos 32 disparos.
- Registros detallados de restricciones armónicas de las últimas 32 restricciones.
- Registros detallados de fallas pasantes de los últimos 32 disparos por sobrecorriente o perturbaciones.

- Registro de operaciones (secuencia de eventos) de las últimas 128 operaciones.
- Ocho entradas binarias, todas programables por el usuario.
- Siete contactos de salida, seis programables por el usuario.
- Tres tablas de ajustes seleccionables: Primario, Alternativo 1 y Alternativo 2.
- Totalización de kiloamperios de fallas pasantes y duración de las fallas en ciclos.
- El reloj con batería de respaldo mantiene la fecha y hora durante las interrupciones de la energía de control.
- Autodiagnóstico continuo de la fuente de alimentación, los elementos de la memoria y los microprocesadores.
- Puerto frontal RS-232 y diversas opciones de puertos de comunicaciones en la parte posterior, como RS-232, RS-485 y Modbus.
- Capacidad opcional de perfil de carga: cuatro corrientes para 40 días a intervalos de 15 minutos.
- Almacenamiento de valores de Vatios, VARs y voltajes de fase con entradas de voltaje opcionales.
- Opcional: curvas de sobrecorriente temporizada y curvas diferenciales de restricción programables por el usuario.
- Opcional: almacenamiento de datos oscilográficos para las últimas ocho fallas
- Soporta múltiples protocolos de comunicación, ASCII de 10 *bytes*, IEC870.5 (DNP 3.0), SPACOM, MODBUS, MODBUS PLUS y PG&E.

2.2.2. DPU2000R

La Unidad de Protección de Distribución 2000R (DPU2000R) es un relé de tecnología avanzada basado en microprocesadores que protege sistemas de

subtransmisión y distribución de energía eléctrica. El DPU2000R, disponible para transformadores de corriente con secundario de 1 ó 5 amperios, utiliza contactos auxiliares 52a (XO) y 52b (XI) de interruptor para las señales de entrada lógica.

El DPU2000R viene empacado en una caja metálica adecuada para montaje empotrado convencional en panel de bastidor.

2.2.2.1. Características

El DPU2000R, por la capacidad que le dan sus microprocesadores, ofrece las siguientes características en un sólo paquete integrado:

- Puertos de comunicaciones aislados, para una excelente comunicación libre de ruidos.
- Ajustes y controles protegidos con contraseña.
- Protección de sobrecorriente instantánea y temporizada de fase: 51P, 50P-1, 50P-2, 50P-3.
- Protección de sobrecorriente instantánea y temporizada de tierra: 51N, 50N-1, 50N-2, 50N-3.
- Protección de sobrecorriente temporizada de secuencia negativa: 46.
- Recierre múltiple: 79.
- Funciones de baja tensión en una y tres fases, y de sobrevoltaje en una fase: 27-1P, 27-3P y 59.
- Medición de: corrientes, voltajes, watts, VARs, watts-horas, VARs-horas, factor de potencia, frecuencia y watts, VARs y corrientes de demanda pico con registro de tiempo.
- Localizador de fallas con estimación de distancia en millas y resistencia de falla.

- Resumen de fallas y registros detallados de fallas de los últimos 32 disparos.
- Registro de operaciones (secuencia de eventos) de las últimas 128 operaciones.
- Ocho entradas binarias programables por el usuario.
- Ocho contactos de salida, seis son programables por el usuario.
- Tres tablas de ajustes seleccionables: Primaria, Alternativa 1 y Alternativa 2.
- Función de arranque de carga fría.
- Se puede implementar fácilmente un esquema de respaldo de interruptor de barra.
- Función de coordinación de secuencia de zonas.
- Totalización del contador de corriente interrumpida y de operaciones del interruptor.
- El reloj con batería de respaldo mantiene fecha y hora durante las interrupciones de la energía de control.
- Autodiagnóstico continuo de la fuente de alimentación, los elementos de la memoria y los microprocesadores.
- Puerto frontal RS-232 y diversas opciones de puertos de comunicaciones en la parte posterior, como RS-232, RS-485 y Modbus.
- Capacidad opcional de perfil de carga: watts, VARs y voltaje para 40, 80 ó 160 días.
- Curvas opcionales de sobrecorriente temporizada programables por el usuario.
- Almacenamiento opcional de datos oscilográficos que captura 64 ciclos de datos de forma de onda de corriente y voltaje.

2.2.3. Puertos de comunicaciones

El TPU y el DPU 2000R ofrecen diversas variaciones de puertos de comunicaciones, tales como un RS-232 de 9 pines, RS-485, *Ethernet*, etc.

Los puertos RS-232 están disponibles en dos configuraciones diferentes, aislados y no aislados. Los puertos aislados ofrecen aislamiento entre el puerto de comunicaciones y el resto del relé.

El puerto COM 1 está configurado únicamente como puerto no aislado. Las unidades que tienen una pantalla de MMI utilizan el puerto RS-232 en el panel frontal como COM 1, lo que desactiva permanentemente el puerto RS-232 marcado COM 1 en la parte posterior de la unidad. Las unidades que no tienen un MMI permiten al usuario seleccionar, mediante ajustes de puentes, ya sea el conector RS-232 frontal o el posterior (marcado COM 1) para que actúe como COM 1.

Todos los puertos RS-232 vienen configurados como DTE.

El puerto COM 2 es de configuración no aislada y el puerto COM 3 es de configuración aislada.

También posee opcionalmente un puerto RS485 con capacidad de comunicaciones aisladas, disponible si se instala la tarjeta opcional de comunicaciones auxiliares. Esta configuración aislada RS-485 ofrece una excelente calidad de las comunicaciones, recomendada para aplicaciones en zonas de alto ruido eléctrico o que requieren cables de conexión de más de 3 metros de longitud.

Entre los protocolos que traen habilitados los puertos tenemos:

Estándar *Ten Byte*: protocolo asíncrono de 10 *bytes* orientado a ASCII, específico para la serie ABB 2000, disponible mediante todos los puertos. Es el protocolo para comunicar los programas como el ECP y el WinECP con el TPU a través del puerto de comunicación frontal del relevador.

INCOM: es un protocolo síncrono propiedad de ABB. Usa los mismos comandos que el *Ten Byte*, pero utiliza un mayor ancho de banda. Solo esta definido para dos rangos de baudios, 9600 y 1200. Es un protocolo y sistema de comunicaciones a 2 hilos.

DNP 3.0 (IEC870-5): es un protocolo estándar para las industrias eléctricas que permite la comunicación entre un servidor y dispositivos esclavos. DNP 3.0 es a protocolo asíncrono orientado a *byte* independiente de la interfaz física del dispositivo. Permite sincronización de tiempo y el reporte de eventos no solicitados. Está disponible mediante el puerto de comunicaciones auxiliares.

SPACOM: protocolo asíncrono orientado a *byte*, específico de ABB, común en Europa. Es una implementación maestro-esclavo implementado en una gran variedad de interfaces físicas. Puede estar disponible mediante el puerto de comunicaciones auxiliares.

MODBUS serial: es un estándar industrial. El protocolo permite a un dispositivo maestro comunicarse con varios dispositivos esclavos. Es independiente de la interfaz física. Tiene dos emulaciones, UTR (asíncrono orientado a *bit*) y ASCII (síncrono orientado a *byte*).

MODBUS TCP/IP: evolución del Modbus serial, en el que se usa *Ethernet* como el mecanismo para transferir paquetes seriales a través de una LAN. Está ganando una gran aceptación y popularidad debido a que varios protocolos y transmisiones de red pueden coexistir sin ningún problema, en un solo cable de red.

MODBUS PLUS: es también un estándar industrial. Permite hasta a 64 dispositivos comunicarse en una sola red usando la técnica *token passing*. 5 redes pueden ser interconectadas para formar una mayor red Modbus Plus. Es un protocolo de alta velocidad (1 Mb/segundo) que usa varias técnicas avanzadas para maximizar el ancho de banda. La interfaz física para Modbus Plus es propietaria y está regulada por el grupo *Schneider*. En adición al puerto estándar RS-232 no aislado delantero o posterior (COM 1) se dispone de las siguientes opciones de puertos de comunicaciones en la parte posterior:

Opción 0: esta opción proporciona comunicaciones con RS-232 por medio del puerto COM 2 no aislado y es adecuada sólo en aplicaciones donde la comunicación a la unidad es local a través de conexión directa a una *PC* o remota a través de un dispositivo de comunicaciones aislante externo, como un convertidor de RS-232 a fibra óptica, que se conecta al relé utilizando un cable corto.

Las opciones 1 a 8 se suministran en una tarjeta de comunicaciones independiente instalada en la unidad. Opción 1: esta opción ofrece comunicaciones con RS-232 por medio del puerto aislado COM 3 para aislamiento e inmunidad transitoria, y debe usarse donde los cables de comunicaciones exceden de 10 pies (3 metros) o no hay seguridad de contar con una tierra común.

En general, las comunicaciones con RS-232 están limitadas a una distancia máxima de 50 pies (15 metros). Los puertos Aux COM y COM 2 están desactivados en esta configuración.

Opción 2: esta opción proporciona comunicaciones con RS-232 por medio del puerto aislado COM 3 y comunicaciones con RS-485 por medio del puerto Aux COM aislado. El puerto auxiliar es una configuración RS-485 aislada que soporta varios protocolos de comunicaciones. Los puertos COM 2 están desactivados en esta configuración.

Opción 3: esta opción ofrece disponibilidad de *INCOM* por medio del puerto *INCOM* en aplicaciones donde se utiliza ya sea la red *Cutler-Hammer INCOM* o la ABB *WRELCOM*. Los puertos COM 2 y COM 3 están desactivados en esta configuración.

Opción 4: esta opción ofrece comunicaciones con RS-485 por medio del puerto Aux COM aislado y disponibilidad de *INCOM* por medio del puerto aislado *INCOM*. En esta configuración, el puerto *INCOM* ofrece la misma funcionalidad que la opción 3. Los puertos COM 2 están desactivados en esta configuración.

Opción 5: esta opción ofrece comunicaciones con RS-485 por medio del puerto aislado Aux COM y es muy recomendable para las aplicaciones que requieren comunicaciones a distancias de hasta 300 pies (100 metros). La ventaja de esta opción respecto al RS-232 es que permite la operación en red de múltiples relés mediante una conexión sencilla de 3 hilos. Los puertos COM 2 y COM 3 están desactivados en esta configuración.

Opción 6: esta opción proporciona un interfaz de alta velocidad con Modbus Plus por medio del puerto COM 3, y comunicaciones con RS-232 por medio del puerto COM 2 no aislado. El puerto Aux COM está desactivado en esta configuración.

Opción 7: esta opción proporciona un interfaz de alta velocidad con Modbus Plus por medio del puerto COM 3 y comunicaciones con RS-485 por medio del puerto Aux COM aislado. El puerto COM 2 está desactivado en esta configuración.

Opción 8: esta opción proporciona comunicaciones con RS-485 duales por medio de los puertos Aux COM y COM 3 (DB9) aislado. El puerto COM 2 está desactivado en esta configuración.

Opción E: esta opción proporciona *Ethernet* con par trenzado de 10/100 Mbps y fibra óptica de 10 Mbps, pero únicamente con el protocolo MODBUS TCP/IP.

2.2.4. Métodos de acceso

Para cambiar ajustes, monitorear actividades de medición y ver registros de operación del TPU y el DPU, se puede hacer mediante dos interfaces: el interfaz hombre-máquina (MMI) y el programa de comunicaciones externo (ECP).

2.2.4.1. Interfaz hombre-máquina (MMI)

El MMI consiste de un visualizador de cristal líquido (LCD) de cuatro filas por veinte caracteres, con iluminación de fondo, y un panel de acceso de seis

teclas. Durante la operación normal, el MMI muestra continuamente cuatro corrientes por cada devanado. Al ocurrir una falla, el MMI muestra las ocho magnitudes de corriente al momento de la falla hasta que se reponen los indicadores. Asimismo, un mensaje *FAULTED CURRENTS* parpadea en la primera línea del visualizador, indicando que ocurrió una falla.

En modelos con entradas de voltaje, el MMI muestra continuamente las corrientes y voltajes del devanado seleccionado. En modelos sin entradas de voltaje, el MMI muestra continuamente las corrientes de ambos devanados. Se puede lograr acceso a los ajustes del relé, la medición y los registros de operaciones y fallas directamente desde el MMI.

2.2.4.2. Programa de comunicaciones externo

El programa de comunicaciones externo (ECP) proporciona comunicaciones de punto a punto con el relé TPU-2000R. Usando el ECP, se pueden programar fácilmente los ajustes para las diversas funciones del TPU-2000R. El ECP es un programa basado en DOS que puede copiarse en el disco duro de la computadora.

2.2.4.3. WinECP

El WinECP es un programa de interfaz a los relés de protección de ABB. El WinECP reside en una PC y se comunica con el relé a través de los puertos de comunicación en serie de la PC. El WinECP opera ya sea en línea (*On-line*) o fuera de línea (*Off-Line*). En el modo fuera de línea, WinECP no se comunica con un relé sino con archivos de datos que podrían haberse guardado desde un relé o en una sesión previa con WinECP.

El WinECP actúa asimismo como puente de comunicación con otros programas del *software* tales como *CurveGen*, la herramienta de análisis oscilográfico y el perfil de carga.

Para usar el WinECP, deberá contar con una PC clase Pentium o mejor, Microsoft Windows 95, Windows 98 o Windows NT y ajuste mínimo de resolución de la pantalla de 800x600.

Cuando se inicia el programa WinECP, la primera pantalla que aparece, permite seleccionar el modo de operación. Se puede escoger si se trabaja fuera de línea (*Off- line*), vía acceso directo (la PC está conectada directamente al relé), o vía acceso remoto (mediante un módem utilizando conexión por discado o *dial-up*).

Fuera de línea: en modo *Off-Line*, se debe seleccionar un archivo de relé (*relay file*) o tipo de relé (*relay type*) para usar información guardada previamente. Si se desea generar una nueva configuración, se selecciona un tipo de relé de la lista y luego *create catalog number* para configurar las especificaciones del número de catálogo.

Acceso directo: si se desea conectar directamente al relé, se selecciona *direct access*. Para ello se debe conocer los parámetros del puerto de comunicación a utilizar. El cable serial que regularmente se requiere es un *Null Modem*.

Acceso remoto: si se quiere conectar con un relé que está fuera del sitio se selecciona *remote access*. Aquí se introduce la información de discado (número de teléfono) para que el módem pueda discar al relé remoto.

Se debe especificar la dirección de la unidad (*unit address*) para el relé del sitio remoto a acceder.

2.2.4.4. Limitaciones

Como se puede observar, la mayor limitación de estos relés microprocesados está en el acceso remoto, ya que requieren un módem y una línea telefónica para la conexión. Esto implica que adicional al canal disponible en las subestaciones para la comunicación SCADA, se requeriría una línea telefónica por cada relé.

Parte del problema está en los protocolos de comunicación que soportan, ya que la mayoría son seriales, y no permiten convivir simultáneamente dos protocolos a través de una misma línea. Además, aunque la mayoría son estándar, regularmente son implementados en forma distinta dependiendo del fabricante de los equipos.

El protocolo MODBUS TCP/IP, es un buen intento, pero aún posee una serie de limitaciones, ya que en esencia es un protocolo serial encapsulado dentro de TCP/IP. EL nuevo protocolo IEC 61850 puede ser la solución a todas estas limitaciones, ya que fue creado utilizando todas las bondades de *Ethernet*, pero lastimosamente, está opción implicaría una migración completa de equipos de comunicación, control y protección en la subestación, lo cual aún no es viable.

Por el momento el encapsulamiento de los protocolos seriales sobre IP parece ser la mejor solución, ya que permite, por el mismo canal de comunicación, trasladar la información SCADA y la gestión remota de los equipos.

Adicionalmente, al migrar el tipo de red de la subestación y los enlaces de comunicación a IP, se está preparado para una implementación futura de IEC61850.

2.3. Red de datos de la subestación

Actualmente la red de datos de la subestación Mayan Golf, está enfocada únicamente al sistema SCADA.

2.3.1. Características

Se tiene implementada una red RS845 a 2 hilos, mediante la cual, la UTR obtiene lecturas de telemetría y estatus de los relés de protección.

Se utiliza el protocolo DNP 3.0, el cual como mencionamos anteriormente es un protocolo maestro-esclavo. La UTR se encuentra configurada como maestra y frecuentemente está interrogando a los relevadores, los cuales son los esclavos, quienes informan acerca de la telemetría y el estatus de los dispositivos de potencia.

Las señales de telemetría que se obtienen son voltajes, corrientes, potencia real trifásica, potencia reactiva trifásica, potencia aparente trifásica, factor de potencia y frecuencia. Los estatus que se requieren son: el estado del interruptor (abierto/cerrado), el estado del recierre (habilitado/deshabilitado), el estado del disparo de tierra (habilitado / deshabilitado) y en algunos casos el tipo de falla.

2.3.2. Equipos

Los equipos que se usan actualmente para la red en la subestación son la UTR, los relevadores y los convertidores RS232-RS485.

La UTR es marca *Telegyr* modelo 5700, y cuenta con un puerto RS232 con el protocolo DNP 3.0 habilitado. Hay instalados 5 relevadores de protección, 1 TPU2000R y 4 DPU2000R, todos traen habilitado el protocolo DNP 3.0 con interfaz RS485 en el puerto de comunicaciones auxiliares.

Para poder conectar la UTR a la red local se utilizan convertidores RS232-RS485.

2.3.3. Limitaciones

Como se puede observar, la red de datos en la subestación, únicamente es para uso del SCADA y debido a las características del puerto y del protocolo DNP 3.0, no puede coexistir otra aplicación a través de esta conexión.

Actualmente, no es posible ningún tipo de conexión remota para el acceso a los relevadores microprocesados.

2.4. Enlace de comunicación al sitio central

Se tiene solo un enlace desde la subestación Mayan Golf a la estación central y es para uso exclusivo del SCADA.

2.4.1. Características

Este enlace está asociado a una línea de comunicación de la maestra SCADA. Es un canal analógico punto-multipunto vía radio, con una velocidad máxima de 600 baudios y ciclos de retardos por cada transmisión de aproximadamente 1 segundo.

El protocolo que utiliza es el TG8979. Se basa en ciclos de *polling*, en el cual el punto central interroga una por una a las UTR asociadas, por lo que los puntos remotos solo transmiten a requerimiento de la maestra. A causa de esto cuando ocurre un evento en la subestación, esta no informa hasta que le toca el turno, por lo que en ocasiones hay retardos de hasta 60 segundos.

Debido a la ubicación geográfica de Mayan Golf, para poder llegar vía radio desde el punto central, se utiliza un sitio de repetición cerca del volcán de Pacaya, conocido como Cerro Chino.

2.4.2. Equipos utilizados

La estación central cuenta con puertos de comunicación RS232 habilitados con el protocolo TG8979 y módem con modulación FSK. En este punto se encuentra además instalada la estación base de radio, la antena de transmisión y todos los equipos adicionales.

En la subestación, la UTR también tiene habilitado un puerto RS232 con protocolo TG8979 y un módem FSK. Hay un radio remoto Motorola de la serie PRO, la antena que en este caso es una Yagi y todos los accesorios.

En el sitio de repetición está instalada una repetidora Kenwood compatible con los otros radios.

2.4.3. Limitaciones

El canal de comunicación que las subestaciones poseen está bastante obsoleto, su lentitud es tal que ni siquiera es suficiente para la aplicación SCADA.

Para permitir un acceso remoto a los relevadores y a la vez mejorar el canal SCADA, es necesario un cambio completo de los equipos de comunicación. Se necesitan radios más veloces, de tecnología digital, con interfaces versátiles para una fácil conectividad.

2.5. Red de datos del sitio central

En la estación central, la única red con la que se cuenta es la red de computadoras de la maestra SCADA.

2.5.1. Características

Es una red de área local *Ethernet*, redundante, con velocidad de 10/100 Mbps con cable UTP categoría 5e.

La redundancia se logra a través de 2 *switches* y que todos los equipos de red cuentan con 2 puertos, uno para cada *switch*.

2.5.2. Equipos utilizados

Se utilizan 2 *switches* cisco de 12 puertos cada uno. Todos los puertos son 10/100BASET, y pueden operar tanto en el modo *half* como en el modo *full duplex*. Todos los equipos de la red están interconectados a través de ellos.

Además se tienen las tarjetas de red de los equipos, que también son 10/100BASET.

2.5.3. Limitaciones

Debido al número de equipos de la maestra SCADA, casi no se tienen puertos libres en los *switches*. Además, dada la importancia de esta red, no es aconsejable recargarla con otras aplicaciones, por lo que si se desea una red para la gestión remota de los IED, es necesario implementar otra, preferiblemente interconectada con la red de corporativa de EEGSA.

3. PROPUESTA DE EQUIPOS Y TECNOLOGÍA A UTILIZAR

Si se desea implementar la gestión remota a los relevadores instalados en la subestación Mayan Golf desde el sitio central, es necesario definir varios aspectos. Las características de la red local a instalar en ambos puntos. El enlace de comunicación ya que como se puede ver en la sección anterior el existente no es factible utilizarlo. Convertidores de interfaz de conexión, debido a que los relés solo poseen puertos seriales.

La decisión deberá estar enfocada en la tendencia actual, que son los protocolos e interfaces de Internet, pero no deberán descuidarse aspectos como las condiciones adversas a las que van a estar sometidos dentro de la subestación (inducciones, interferencias, descargas, humedad, etc.).

Si se analiza un poco, Internet permite la interconexión de equipos de distintos fabricantes alrededor del mundo, las aplicaciones que pueden habilitarse en un solo canal, son muy diversas. A la vez que se está accediendo a una página *WEB*, se puede estar descargado un archivo, administrando un equipo, revisando el correo, etc. La conectividad es simple, una tarjeta de red que se puede conseguir en cualquier venta de computadoras y el cable requerido se puede fabricar en base al estándar o comprarlo ya hecho.

3.1. Red área local

Una red completamente integrada con su sistema automatizado necesita una red local de comunicación para unir todos los IED entre sí.

Los criterios envueltos en la escogencia de la red son diversos y complejos. No existe un estándar universalmente aceptado.

Como opciones para la interconexión de los dispositivos de la subestación se pueden mencionar tres estándares disponibles. El estándar RS-232 C, el RS-485 y las redes *Ethernet* Industriales.

3.1.1. El estándar RS-232C

El RS-232C es un estándar que constituye la tercera revisión de la antigua norma RS-232, propuesta por la EIA (Asociación de Industrias Electrónicas), realizándose posteriormente un versión internacional por el CCITT, conocida como V.24. Las diferencias entre ambas son mínimas, por lo que a veces se habla indistintamente de V.24 y de RS-232C (incluso sin el sufijo C), refiriéndose siempre al mismo estándar.

La norma RS232 describe la conexión en serie entre un aparato terminal de datos (DTE) y una instalación de comunicación de datos (DCE) con sus propiedades eléctricas y mecánicas. Aunque la norma sólo define este tipo de conexión, la interfaz RS232 se ha establecido como estándar general para transmisiones de datos en serie a través de cortas distancias.

3.1.1.1. Señales y conexiones

Las interfaces DTE y DCE se diferencian básicamente en los pines de su conexión. Computadoras, UTR, IED, normalmente están equipados con una configuración DTE. Mientras que módems, radios, presentan configuraciones DCE.

La norma RS232 define un conector SUB-D de 25 pines. Además también se ha impuesto, especialmente en el mundo de las computadoras, el conector SUB-D de 9 pines.

Cada pin puede ser de entrada o de salida, teniendo una función específica cada uno de ellos.

Las señales TXD, DTR y RTS son de salida, mientras que RXD, DSR, CTS y DCD son de entrada. La masa de referencia para todas las señales es SG (tierra de señal). Finalmente, existen otras señales como RI (indicador de llamada) que no son tan utilizadas.

Vea tabla II, donde se muestra la función de los pines RS232.

Tabla II. **Función de pines RS232**

Pin	*Función*
TXD	Transmitir datos
RXD	Recibir datos
DTR	Terminal de Datos Listo
DSR	Equipo de Datos Listo
RTS	Solicitud de Envío
CTS	Libre para Envío
DCD	Detección de portadora

Fuente: elaboración propia.

3.1.1.2. Método físico de transmisión

En la interfaz RS232 se transmiten consecutivamente cada uno de los bits de datos de un signo como estados de tensión a través de una línea de transmisión o de recepción. Un 1 lógico corresponde aquí a un nivel de tensión negativo de -15 a -3V, un 0 lógico por el contrario a un nivel de tensión positivo de +3 a +15V referido a la masa común de señales. El transmisor de datos tiene que generar bajo carga un nivel mínimo de +/- 5 V, mientras que el receptor todavía reconoce como señal válida niveles de +/-3 V. La carga ohmia permitida tiene que ser mayor de 3 kilo ohmios, la carga capacitativa ocasionada por la línea de transmisión está limitada a 2500 pF.

Vea figura 3, se indica la conectividad entre dos equipos RS232 DTE-DCE.

Figura 3. **Conexiones RS232 DTE-DCE**

DTE			DCE	
DB9	DB25		DB9	DB25
-	1	Protective GND	-	1
3	2	TxD →	3	2
2	3	← RxD	2	3
7	4	RTS →	7	4
8	5	← CTS	8	5
6	6	← DSR	6	6
5	7	Signal GND	5	7
1	8	← DCD	1	8
4	20	DTR →	4	20
9	22	← RI	9	22

Fuente: interfaz RS232. Http://www.wut.de/e-8wwww-16-apes-000.php (28/05/2009).

3.1.1.3. Longitud de cable

La distancia alcanzable entre dos aparatos RS232 depende como en todos los métodos de transmisión en serie del cable usado y de la gama de baudios. La RS232C define la distancia máxima de 15 m sin consideración de la velocidad de transmisión. Las versiones más nuevas del estándar RS232 definen la longitud máxima de cable según la capacidad de cable, que no se debe sobrepasar. Seleccionando un cable de baja capacidad (aproximadamente 50pF/m) puede alcanzarse, sin auxiliares adicionales, una distancia de máximo 50m. Junto con la longitud de cable tiene que considerarse siempre la problemática de la diferencia de potencial.

3.1.1.4. Control del flujo de datos

Las interfaces RS232 poseen una multitud de líneas de *Handshake*, que en su totalidad sólo se necesitan para la conexión de un módem con un aparato terminal de datos.

El caso más corriente de conexión entre dos terminales de datos entre sí se puede realizar sin problemas por regla general con un número reducido de líneas de *Handshake*. Las entradas de *Handshake* no necesitadas se ponen en nivel de liberación sencillamente conectando con las salidas propias de *Handshake*.

Las nuevas aplicaciones utilizan cada vez más frecuentemente un *Handshake* de *Software* a través de los signos XON y XOFF. Otra posibilidad reside en renunciar completamente al control clásico de flujo y en lugar de ello trabajar con un protocolo de bloque.

Adicionalmente se realiza aquí un salvamento de los datos mediante sumas de chequeo, que el receptor tiene que controlar y confirmar al transmisor.

El RS-232 define especificaciones mecánicas, eléctricas, funcionales y de procedimientos típicos de un protocolo orientado al enlace físico punto a punto.

3.1.1.5. Limitantes

Como puede verse en el párrafo anterior, el principal inconveniente de la utilización del RS232C es que está orientado específicamente para aplicaciones punto a punto, por lo que para interconectar varios equipos se requerirían enlaces dedicados entre ellos, lo que implica desventajas tanto técnicas como funcionales. Además, se tiene una baja máxima longitud para el cableado, con lo cual únicamente es práctico utilizarlo para conexiones locales o con una interfaz adicional que permita eliminar las limitantes.

3.1.2. El estándar RS-485

La interfaz RS485 ha sido desarrollada (análogamente a la interfaz RS422) para la transmisión en serie de datos de alta velocidad a grandes distancias y encuentra creciente aplicación en el sector industrial. Pero mientras que la RS422 sólo permite la conexión unidireccional de hasta 10 receptores en un transmisor, la RS485 está concebida como sistema bus bidireccional con hasta 32 participantes. Físicamente las dos interfaces sólo se diferencian mínimamente. El bus RS485 puede instalarse tanto como sistema de 2 hilos o de 4 hilos.

Está definido como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias y a través de canales ruidosos, ya que reduce los ruidos que aparecen en los voltajes producidos en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión es un par entrelazado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo. La transmisión diferencial permite múltiples *drivers* dando la posibilidad de una configuración multipunto. Al tratarse de un estándar bastante abierto permite muchas y muy diferentes configuraciones y utilizaciones.

3.1.2.1. Bus de 2 hilos RS485

El bus de 2 hilos RS485 puede tener una longitud máxima de 500 metros. Los equipos se conectan a este cable a través de una línea adaptadora de máximo 5 metros de largo. La ventaja de la técnica de 2 hilos reside esencialmente en la capacidad multi*master*, en donde cualquier participante puede cambiar datos en principio con cualquier otro. El Bus de 2 hilos es básicamente apto sólo para comunicaciones semidúplex. Es decir puesto que sólo hay una vía de transmisión, siempre puede enviar datos un solo dispositivo.

3.1.2.2. Bus de 4 hilos RS485

La técnica de 4 hilos sólo puede ser usada por aplicaciones *Master/Slave*.

3.1.2.3. Método físico de transmisión

Los datos en serie, se transmiten sin relación de masa como diferencia de tensión entre dos líneas correspondientes.

Para cada señal a transmitir existe un par de conductores que se compone de una línea de señales invertida y otra no invertida. La línea invertida se caracteriza por regla general por el índice A o -, mientras que la línea no invertida lleva B o +. El receptor evalúa solamente la diferencia existente entre ambas líneas, de modo que las modalidades comunes de perturbación en la línea de transmisión no falsifican la señal útil. Los transmisores RS485 ponen a disposición bajo carga un nivel de salida de ±2 V entre las dos salidas. Los módulos de recepción reconocen el nivel de ±200 mV como señal válida.

La asignación de tensión de diferencia al estado lógico se define del modo siguiente:

A – B	<	-0.3V	=	*MARK*	=	*OFF*	=	Lógico 1
A – B	>	+0.3V	=	*SPACE*	=	*ON*	=	Lógico 0

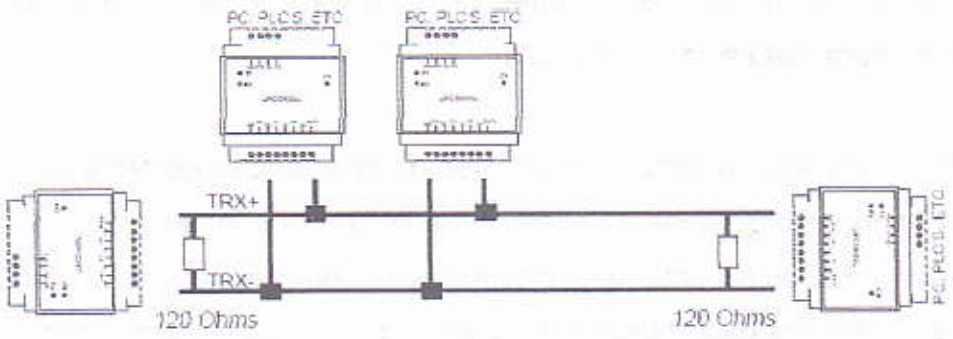
3.1.2.4. Longitud de líneas

Usando un método de transmisión simétrico en combinación con cables de pares de baja capacidad y amortiguación (*twisted pair*) pueden realizarse conexiones muy eficaces a través de una distancia de hasta 500 m con ratios de transmisión al mismo tiempo altas. El uso de un cable *twisted pair* de alta calidad evita por un lado la diafonía entre las señales transmitidas y por el otro reduce adicionalmente al efecto del apantallamiento, la sensibilidad de la instalación de transmisión contra señales perturbadoras entremezcladas.

3.1.2.5. Particularidades

Aunque determinado para grandes distancias, entre las que por regla general son inevitables desplazamientos de potencial, la norma no prescribe

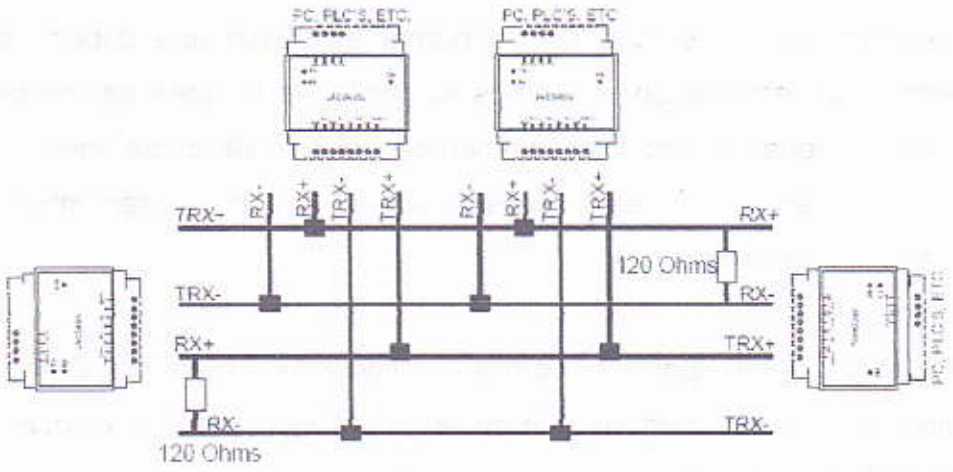
Figura 4. **Conexiones RS485 Half Duplex**



Fuente: conversor serie RS232 - RS485. Http://www.ejanus.com.ar/catalog/pub/131-0560.pdf (18/04/2009).

Vea figura 5, muestra la conectividad a cuatro hilos RS485.

Figura 5. **Conexiones RS485 Full Duplex**



Fuente: conversor serie RS232 - RS485. Http://www.ejanus.com.ar/catalog/pub/131-0560.pdf (18/04/2009)

Supresor de transitorios: en ambientes eléctricamente ruidosos, como es el caso de una subestación eléctrica, la línea RS585 puede verse afectada por picos de tensión transitorios que podrían afectar seriamente al circuito conversor y a las terminales conectada a él. Se debería de disponer de un supresor de transitorios de potencia que aisle los picos evitando daños potenciales.

Conexión de masa: la norma RS485 utiliza transmisores y receptores del tipo diferencial, es decir que no necesitan tener una referencia a masa. La conexión del cable de masa es opcional, pero mejora el apantallamiento contra el ruido, sin embargo, hay que tener ciertas precauciones antes de realizarla.

La unión del cable de masa entre varios nodos de la línea puede generar circulación de corrientes importantes, debidas a los distintos potenciales de tierra que pueden existir entre dichos nodos.

Para solucionar este inconveniente se pueden hacer dos cosas. Conectar el cable de masa a un solo nodo entre cada dos puntos de conexión o conectar el cable de masa a todos los nodos, pero con un resistor en serie de 220 ohms.

3.1.2.6. Limitaciones

A pesar de todas las ventajas evidentes del estándar RS485 para conectar varios equipos en las subestaciones, tiene el inconveniente de que no permite mezclar varios protocolos por el mismo canal, lo cual hace necesaria la instalación de buses RS585 para cada aplicación que se requiera realizar, por ejemplo, medición SCADA de la subestación, red de gestión de los IED, etc.

3.1.3. *Ethernet* industrial

Ethernet industrial es el nombre dado a la utilización del protocolo *Ethernet* en un entorno industrial, para la automatización y control de equipos y procesos.

Ethernet industrial es una versión más robusta de *Ethernet* tradicional. Requiere normas más estrictas para los equipos e implementaciones, ya que están habitualmente en ambientes hostiles (humedad, temperatura, contaminantes) así como cerca de grandes fuentes de interferencia electromagnética. Además deben cumplir con mayores exigencias en cuanto a retardos y disponibilidad. Debido a ello los dispositivos *Ethernet* industriales son mucho más caros que los *Ethernet* tradicionales.

3.1.3.1. *Ethernet*

Ethernet es un estándar de redes de computadoras de área local con acceso al medio por contienda CSMA/CD. El nombre viene del concepto físico de *ether*. *Ethernet* define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

Ethernet sirvió como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3. Usualmente se toman *Ethernet* e IEEE 802.3 como sinónimos, pero se diferencian en uno de los campos de la trama de datos. Las tramas *Ethernet* y IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red.

Ethernet es hoy en día la tecnología más popular y universal para la implementación de redes de área local.

3.1.3.2. Historia del *Ethernet* industrial

El estándar *Ethernet* a 10 Mbps fue publicado por el IEEE (802.3) en 1985 y rápidamente conquistó el terreno de las comunicaciones de área local en el entorno ofimático. En 1993 aparecen los primeros conmutadores *full duplex* y *Fast Ethernet* (100 Mbps) se estandariza en 1995.

En 1999 se publica la especificación abierta de ModBus/TCP. Este protocolo se apoya en TCP a nivel de transporte, IP a nivel de red y *Ethernet* para las capas inferiores. En marzo de 2000 la organización de fabricantes de dispositivos DeviceNet adopta el estándar *Ethernet*/IP. *Ethernet*/IP se apoya no sólo en *Ethernet* sino en TCP-UDP/IP para las capas de red y transporte, aprovechando las ventajas de UDP para transmisiones cortas, repetitivas y rápidas y las de TCP para las transmisiones largas y esporádicas que requieren mayor seguridad. En el año 2004, con la publicación de la norma IEC 61850, se adoptó *Ethernet* como la línea a seguir para la red local en las subestaciones.

3.1.3.2.1. Ventajas iniciales

- La interoperabilidad en las capas 1 y 2 dan a la electrónica de red *Ethernet* un impulso industrial notable.

- Ofrece a los fabricantes soluciones basadas en diferentes protocolos, lo cual implica un acceso a mayores mercados.

- Hace más fácil el mantenimiento a los instaladores y diseñadores.

3.1.3.2.2. Críticas iniciales

- Falta de robustez para el entorno agresivo: los dispositivos *Ethernet* iniciales no estaban preparados para las condiciones del entorno industrial (condensación de agua, vibraciones, grandes variaciones de temperatura, etc.).

- Adecuación a estándares industriales: algunas aplicaciones quedaban excluidas del alcance de los dispositivos *Ethernet (a*plicaciones marinas, ferroviarias, electricidad, zonas con riesgo de explosión, etc.)

- Garantía de suministro en períodos industriales: la tecnología *Ethernet* maduraba por momentos y los ciclos de vida de los productos que ofrecía eran cortísimos en relación con los equipos industriales.

- Requerimientos temporales a medida que se acerca a campo: una característica común a la mayoría de los buses de campo es que disponen de un método de acceso determinista. Esto quiere decir que el nivel de precisión temporal con el que se puede predecir que una trama de datos emitida ahora desde el equipo A va a llegar en el momento X al equipo B es alto. *Ethernet* basado en la electrónica de *hubs* no era demasiado predecible en cuanto a la recepción de datos debido a la presencia de colisiones y tiempos de latencia de la propia electrónica.

- Alimentación de dispositivos finales a través del bus físico: muchos buses de campo permiten ahorrar la instalación de conexiones adicionales para la alimentación de los dispositivos ya que estos se incluyen en el bus de

datos. Esto cobra importancia en plantas con muchos dispositivos repartidos por una superficie grande. Esta opción no estaba disponible en el *Ethernet* de los primeros años.

- Seguridad tanto en electrónica de red como en el dispositivo final: la facilidad de conexión de una red *Ethernet* provoca un contrapunto en el sentido que también es fácil de sabotear.

3.1.3.2.3. Acercamiento actual al entorno industrial

- Evolución física: la evolución física de los dispositivos *Ethernet* ha llegado a un punto en que los diseños tienen una robustez suficiente para tener un funcionamiento adecuado en condiciones duras de entorno.

- MTBF (*Mean time between failures*): gracias al esfuerzo de diseño, el tiempo medio entre fallos de los dispositivos de *Ethernet* industrial es claramente superior al de los equipos *Ethernet* ofimático (típicamente superior a 20 años frente a los 5 habituales de la electrónica de red en empresa).

- Alimentación redundante y con voltajes de control: la nueva electrónica *Ethernet* puede ofrecer entrada redundante de alimentación de forma que los equipos puedan reaccionar frente a un fallo de su fuente de suministro. Esto sin duda aumenta la disponibilidad del sistema. Dado que estos equipos suelen ser montados en armarios de control en campo, facilita su integración el hecho de que dispongan de alimentación en continua o alterna en niveles habituales en dichos armarios.

- Evolución de topologías hacia la alta disponibilidad: el diseño de la red de comunicaciones también influye en la disponibilidad del sistema. Mejorando la electrónica de red mejoramos la disponibilidad de cada uno de sus nodos. La forma en que conectamos los distintos nodos entre sí influye en la disponibilidad del sistema en conjunto. Los enlaces redundantes tradicionales eran gestionados por protocolos de redundancia con tiempos de reacción adecuados para redes empresariales pero no para entornos industriales. En estos últimos años la pérdida de comunicaciones demasiado larga (segundos) o duplicación de tramas puede afectar al buen funcionamiento o sincronismo de los sistemas distribuidos. Los equipos de *Ethernet* industrial ofrecen protocolos de redundancia preparados para reaccionar en tiempos garantizados inferiores a los 500 mseg.

- Requerimientos temporales: el determinismo ha sido un campo de batalla para los departamentos de desarrollo. El paso de redes compartidas (*hubs*) a redes conmutadas (*switches*) así como la tecnología *full duplex* supuso reducir en gran medida la incertidumbre en el comportamiento de la red. Los tiempos de latencia máximos de cada nodo se miden en microsegundos. La definición por parte del IEEE de estándares de calidad de servicio en capa 2 (802.1q y 802.1d) permite reducir aún más la incertidumbre.

- Seguridad de red: la seguridad en las redes *Ethernet* es solventada mediante métodos de encriptación de tráfico, autenticación y estrictas normas de seguridad y accesos.

3.1.3.3. Ventajas de *Ethernet* industrial para subestaciones

Una red de área local *Ethernet* es típicamente muy rápida por lo que la transferencia de las funciones de medición, comandos de control, configuración y datos históricos entre dispositivos inteligentes en sitio sería también rápida.

Su arquitectura reduce la complejidad del cableado requerido entre dispositivos. Más aún, incrementa el ancho de banda disponible de comunicación para realizar actualizaciones y funciones avanzadas tales como conexiones virtuales, transferencia de archivos, etc. *Ethernet* tiene una muy amplia disponibilidad de su hardware y opciones entre una gran cantidad de proveedores, sin mencionar el apoyo del protocolo de red estándar en la industria, soporte multi-estrato y multi-aplicaciones así como calidad y gran cantidad de equipos de prueba.

Algunos otros beneficios menos tangibles de una arquitectura *Ethernet* incluyen la existencia de una base para futuras actualizaciones, acceso a equipos de terceros, y un aumento de inter-operabilidad. Específicamente para la aplicación requerida, que es la gestión remota de los IED de la subestaciones, pero con el agregado de transportar otros servicios a través del mismo canal, *Ethernet* es de las tres la única que lo permite.

3.1.4 Tipo de red LAN seleccionada

Dadas todas las ventajas de *Ethernet*, expuestas anteriormente, sobre comunicaciones seriales RS232 y RS485, así como el hecho de que la norma IEC61850 la ha adoptado para las redes en subestaciones, la seleccionamos como la tecnología a utilizar en este proyecto.

3.1.4.1. Medio físico

El cable de fibra óptica tiene numerosas ventajas para su utilización en una subestación eléctrica, pero las dos principales son inmunidad al ruido y aislamiento eléctrico para protección de los equipos. Además presenta poco peso, baja atenuación para su utilización a grandes distancias, altas transferencias de datos y un gran ancho de banda.

Sin embargo a pesar todas estas ventajas, la fibra óptica tiene el inconveniente que es más costoso y difícil de instalar. Por este motivo, para conexiones dentro de una misma caseta en una subestación, se prefieren pares cobre.

El cable UTP es el más utilizado para las redes LAN. Está compuesto por varios pares trenzados agrupados todos juntos dentro de una funda de protección. La forma trenzada minimiza el ruido (interferencia eléctrica) u otras fuentes de interferencia (motores, relés, transformadores) debido a pares adyacentes. Es adecuado para una red local que tenga pocos nodos, un presupuesto limitado, conectividad simple y un ambiente de operación normal.

El mayor problema de UTP es que es más susceptible a interferencias (señales de una línea que se mezclan con las de otra línea). La única solución para esto es utilizar una protección. El cable STP (par trenzado apantallado) utiliza una funda de cobre que es de mejor calidad y protege mejor que la funda utilizada en el cable UTP. Contiene una cubierta protectora entre los pares y alrededor de ellos. En un cable STP, los hilos de cobre de un par están trenzados en sí mismos, lo que da como resultado un cable STP con excelente protección (en otras palabras, mejor protección contra interferencias). También permite una transmisión más rápida a través de distancias más largas.

También existe el cable SFTP, el cual además de poseer las características de apantallamiento, tiene una cubierta protectora adicional para protección contra rayos ultravioleta y corrosión lo cual lo hace adecuado para aplicaciones industriales.

La limitante en el uso de los pares de cobre, es que presentan una ruta de conexión eléctrica para las corrientes de falla entre los equipos, principalmente si existe un desbalance entre las tierras físicas de los equipos.

Lo norma IEC61850, recomienda utilizar pares de cobre, únicamente si los equipos están instalados en una misma caseta, ahora, si es necesario interconectar algún equipo hacia el patio de la subestación u otra caseta, es recomendable el uso de fibra óptica.

En este caso, todos los relés a conectar están instalados en la misma caseta de control y dadas también las limitaciones económicas del proyecto, se opta por utilizar cable SFTP.

3.1.4.1.1. Consideraciones para cables apantallados

No es recomendable utilizar cables apantallados sin aterrizar en ningún extremo.

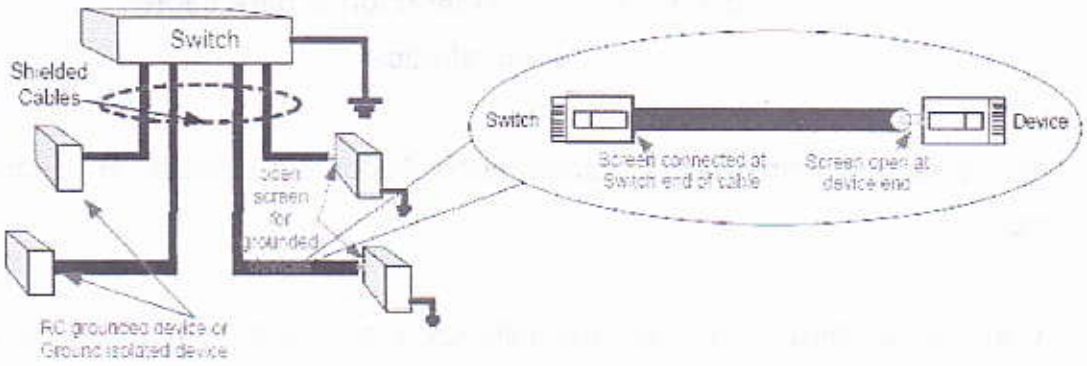
Conectar a tierra los cables apantallados a ambos extremos reduce la radiación electromagnética por el principio de la jaula de Faraday, pero puede introducir *loops* de corrientes cuando los dos puntos finales tienen diferente potencial. La conexión en un solo punto, proporciona protección contra los campos eléctricos y evita los *loops* de corriente.

De acuerdo a las consideraciones anteriores, el blindaje del cable deberá de ser continuo desde el transmisor al receptor. Tendrá que conectarse de acuerdos a los dos métodos siguientes:

Si hay igual potencial en la red de tierra de toda la instalación bajo todas las condiciones de operación, entonces ambos extremos deberán ser aterrizados.

Si no existe el mismo potencial o el sistema de tierras no es de baja impedancia o tiene excesivo ruido, entonces solo un extremo del cable deberá aterrizarse. Preferentemente el dispositivo final deberá quedar con *shield* desconectado antes del conector, ya que algunos equipos tienen aterrizamiento interno. Vea figura 6, donde se muestra la conexión del blindaje a tierra para cables UTP apantallados.

Figura 6. **Conexión blindaje cables apantallados**



Fuente: *IAONA e.V. Industrial Ethernet Planning and Installation Guide*. p. 39.

3.1.4.2. Conectorización

Para la conectorización de los equipos de la red LAN y de acuerdo a los requerimientos de cableado para ambientes industriales, se utilizan conectores *Ethernet* especiales, para aplicaciones de trabajo pesado.

Vea figura 7, indica los diferentes tipos de conectores utilizados en *Ethernet* industrial.

Tabla III. **Conectorización equipo *Ethernet* industrial**

Type	IEC standard	Also recognized by [1]	
M12-4, 4 pole with D-coding	IEC 61076-2-101-A1	ODVA, PNO	
RJ45-IP67 circular bayonet locking	IEC 61076-3-106 (Variant 01)	ODVA	
RJ45-IP67 push-pull locking	IEC 61076-3-106 (Variant 06)	IDA, Interbus-Club	

Fuente: *IAONA e.V. Industrial Ethernet Planning and Installation Guide*. p. 26.

Pero, que es el IP67 que indica el tipo de conector. Un número IP, diferente al término utilizado en Internet, es usado para indicar el grado de protección ambiental de conectores en torno a equipos electrónicos.

Está compuesto de 2 dígitos, el primero se refiere a la protección contra objetos sólidos, y el segundo contra objetos líquidos.

Mientras mayor es el número, mejor es la protección.

Primer dígito:

- 0 – No protección.
- 1 – Protección contra objetos sólidos de hasta 50 mm^3.
- 2 – Protección contra objetos sólidos de hasta 12 mm^3.
- 3 – Protección contra objetos sólidos de hasta 2,5 mm^3.
- 4 – Protección contra objetos sólidos de hasta 1 mm^3.
- 5– Protección contra el polvo (penetración limitada, no contra el depósito perjudicial).
- 6 – Total protección contra el polvo.

Segundo dígito:

- 0 - No Protección.
- 1 - Protección contra la caída vertical de gotas de agua (por ejemplo la condensación).
- 2 - Protección contra rocíos directos de agua con hasta 15 grados desde la vertical.
- 3 - Protección contra rocíos directos de agua con hasta 60 grados desde la vertical.
- 4 - Protección contra el rociado de agua desde todas las direcciones (ingreso limitado permitido).
- 5 - Protección contra baja presión, chorros de agua desde todas las direcciones - ingreso limitado permitido.
- 6 - Protegido contra chorros de baja presión de agua, permite la entrada limitada (por ejemplo, la cubierta del buque).

- 7 - Protegido contra el efecto de la inmersión entre 15 cms y 1 m.
- 8 - Protección contra largos períodos de inmersión bajo presión.

En el caso de los conectores del cuadro anterior, se puede ver que el término IP67 se refiere a un conector con total protección contra el polvo y que puede ser sumergido en agua entre 15 cms y 1 m.

Lastimosamente el costo de este tipo de conectores es mucho mas elevado, y este es un factor limitante en el proyecto, por lo que específicamente se utilizará conectores RJ45 con *shield*.

3.1.4.3. Equipos

Los equipos *Ethernet* para las subestaciones deben ser tan resistentes como los IED conectados a ellos. La LAN de la subestación debe ser una parte integral de las funciones críticas de protección y control del sistema y deben poseer características de alta disponibilidad en tiempo real cuando las condiciones de falla ocurren.

3.1.4.3.1. Especificaciones

En orden de asegurar una alta disponibilidad los *switches Ethernet* deben tener las siguientes características:

- Operación de temperatura a condiciones climáticas extremas, -40 a 85 °C.
- Enfriamiento pasivo, sin ventiladores.
- Fuentes integradas individuales o duales con diferentes voltajes de alimentación DC o AC.
- Puertos de fibra óptica para enlaces de corto y largo alcance.

- Cumplimiento de estándar para *Ethernet* en subestaciones eléctricas IEC 61850-3.
- Norma IEEE 1613 para equipos en subestaciones libre de errores bajo ambientes con interferencias electromagnéticas.
- Cumplimiento de otros estándares para ambientes industriales IEC 61000-6-2 and IEC 61800-3.

Los estándares recomiendan el uso de *switches* administrables con avanzadas características capa 2 y capa 3, entre las que pueden estar:

- Negociación automática de velocidad de puerto y *crossover* automático.
- IEEE 802.3 operación *full duplex* (evita por completo las colisiones).
- IEEE 802.1p QoS (prioridad de los datos en las colas asegurando baja latencia para aplicaciones críticas que lo requieran).
- IEEE 802.1Q *VLAN* (redes virtuales para segmentar el trafico y aplicaciones).
- MSTP 802.1Q-2005 (formalmente 802.1s).
- IEEE 802.1w *rapid spanning tree* (para crear anillos redundantes evitando *loops* infinitos de datos). Aunque hoy en día para disminuir más la latencia se obtienen *switches* con eRSTP (RSTP mejorado).
- IEEE 802.3ad (agregación de enlaces paralelos).
- GMRP para filtrado *multicast*.
- Últimamente también aplica el estándar IEC 62439:2008, utilizado para redes de automatización de alta disponibilidad. Esto se logra estableciendo un juego de protocolos de comunicación para la implementación de diferentes esquemas de redundancia en la subestación.

Hay una gran variedad de arquitecturas de red que ofrecen diferentes niveles de rendimiento, costo y redundancia y que pueden ser alcanzables usando *switches Ethernet* gestionados.

3.1.4.3.2. Selección equipo

En el mercado existe una gran variedad de equipos que cumplen con los estándares para su operación confiable en subestaciones eléctricas.

La marca Ruggedcom, tiene el *switch* modelo RS900G, el cual es un *switch* administrable con 8 puertos 10/100 baseTX y 2 puertos de Fibra Óptica giga bit 1000 baseX. Este *switch* cumple con todos los requerimientos de equipo de red para una subestación eléctrica. Su costo esta aproximadamente en los 2500 dólares.

Sixnet, tiene un *switch* gestionable modelo ET-9MS-1, que cumple con todos los requerimientos para su uso en la subestación pero que no tiene todas las características y ventajas de la marca Ruggedcom. Su costo está aproximadamente en los 1500 dólares.

Cisco, pionera y líder mundial en equipos de red, tiene un *switch* gestionable para uso industrial modelo 2955T-12, con un costo de 1200 dólares. Este *switch*, a nivel de *software* supera en gran medida todos los requerimientos para su uso en aplicaciones eléctricas críticas, pero no cumple completamente con el estándar IEC61850 para uso rudo, por ejemplo soporta un máximo de 65 ºC cuando la norma establece un máximo de 85 ºC. A pesar de esto es un *switch* mucho más económico, con un gran soporte local, por lo que puede ser considerado como una buena opción.

Además, en la mayoría de subestaciones de EEGSA, los equipos de red están instalados dentro de la caseta de control.

Con base a lo anterior, y tomando muy en cuenta el costo de los equipos, por la limitante de presupuesto que se tiene, se seleccionó el *switch* Cisco 2955T, para el proyecto de gestión remota en la subestación Mayan Golf.

Es importante tomar en cuenta que si se desea certificar la automatización de las subestaciones bajo el estándar IEC61850, es necesario que los equipos a utilizar lo cumplan, por lo que en este caso la marca Ruggedcom es la más adecuada, con el inconveniente de un costo mucho mayor.

3.2. Enlace de comunicación

Como se mencionó anteriormente, el enlace existente en la subestación Mayan Golf, es un enlace de radio analógico, el cual no supera los 600 baudios. Dada la lentitud de este enlace y las características técnicas, lo único que se puede transmitir es la comunicación SCADA.

Es necesario habilitar un enlace de comunicación de alta velocidad que pueda transportar, tanto la comunicación SCADA, la gestión de los IED y otra aplicación que fuera necesario.

3.2.1. TCP/IP

El protocolo TCP/IP, responsable de la transmisión de datos para Internet, es hoy por hoy la tecnología que hace posible transmitir varias aplicaciones por el mismo enlace. Diversos programas TCP/IP pueden ejecutarse simultáneamente en Internet.

Por ejemplo, pueden abrirse diferentes navegadores de manera simultánea o navegar por páginas HTML mientras se descarga un archivo de un FTP. Cada uno de estos programas funciona con un protocolo. A veces el equipo debe poder distinguir las diferentes fuentes de datos. Por lo tanto, para facilitar este proceso, a cada una de estas aplicaciones puede serle asignada una dirección única en equipo, codificada en 16 bits, conocida como puerto. Por consiguiente, la combinación de dirección IP + puerto es una dirección única en el mundo denominada *socket*.

De esta manera, la dirección IP sirve para identificar de manera única un equipo en la red mientras que el número de puerto especifica la aplicación a la que se dirigen los datos. Así, cuando el equipo recibe información que va dirigida a un puerto, los datos se envían a la aplicación relacionada. Si se trata de una solicitud enviada a la aplicación, la aplicación se denomina aplicación servidor. Si se trata de una respuesta, entonces hablamos de una aplicación cliente.

El proceso que consiste en poder enviar información desde varias aplicaciones a través de una conexión se denomina multiplexación y el proceso inverso demultiplexación. Estas operaciones se pueden realizar gracias al puerto.

Existen miles de puertos (codificados en 16 bits, es decir que se cuenta con 65536 posibilidades). Es por ello que la IANA (Agencia de Asignación de Números de Internet) desarrolló una aplicación estándar para ayudar con las configuraciones de red.

Los puertos del 0 al 1023 son los puertos conocidos o reservados.

En términos generales, están reservados para procesos del sistema o programas ejecutados por usuarios privilegiados. Sin embargo, un administrador de red puede conectar servicios con puertos de su elección. Los puertos del 1024 al 49151 son los puertos registrados. Los puertos del 49152 al 65535 son los puertos dinámicos y/o privados.

Vea tabla IV, que indica algunos de los puertos más utilizados.

Tabla IV. **Puertos TCP/IP**

Puerto	Servicio ó aplicación
21	FTP
23	*Telnet*
25	SMTP
53	Sistema de nombre de dominio
63	Whois
110	POP3
80	HTTP

Fuente: puertos TCP/IP. Http://es.kioskea.net/contents/internet/port.php3 (25/01/2009).

3.2.2. Tecnología seleccionada

Dadas las características anteriormente expuestas de los enlaces IP, que permiten transportar varias aplicaciones por el mismo canal, es necesario que la tecnología de equipos a escoger vaya orientada en esta línea.

Para ellos se visualizan dos escenarios.

3.2.2.1. Enlace de comunicación subcontratado

Consiste en subcontratar un enlace IP con un proveedor de servicios. En el caso de EEGSA, todos los enlaces se manejan con el proveedor NAVEGA.

Un enlace de 256 kbps con este proveedor ronda por aproximadamente 190 dólares.

Entre las desventajas de subcontratar el enlace están el reducido ancho de banda, lo cual presentaría limitaciones en el futuro cuando se deseara transportar aplicaciones con un requerimiento mayor, como es el caso de video vigilancia.

Adicionalmente, en situaciones críticas, cuando se tienen fallas grandes en la red eléctrica, y es necesario realizar maniobras remotas para restablecer el servicio, ocurre que también el proveedor del enlace de comunicación tiene problemas, ya que la falta de electricidad también les afecta. Además, dado su gran número de clientes, EEGSA no está siempre dentro de su primera prioridad, con lo cual tanto a ellos como a EEGSA se les dificulta restablecer los servicios, por la interdependencia existente.

3.2.2.2. Enlace de comunicación propio

En el área eléctrica, cuando se desea implementar un enlace de comunicación, siempre se buscan equipos que se adapten a la tecnología de automatización existente y que a la vez faciliten la interconexión. Lastimosamente estos proveedores no siempre tienen equipos con la más reciente tecnología.

Lo recomendable es implementar los enlaces basándose en la tecnología y equipos de punta y después adaptar los equipos de la subestación a ellos.

Entre los principales proveedores de tecnología de banda ancha para enlaces están, *Airspan*, Motorola, *Alvarion*, *Redline*. Dentro de estos proveedores, Motorola posee la línea de equipos *Canopy*, los cuales tienen un costo bastante competitivo con relación a otros similares (basándonos en cotizaciones previas realizadas). El modelo del *Backhaul* disponible es el 5700*BH*20, el cual tienen un alcance máximo de 54 kilómetros y proporciona un ancho de banda de 20 Mbps. Opera en la banda ISM de 5725-5850 MHz, proporcionando un *throughput* de 14,0 Mbps y una latencia total de 2,5 mseg, soporta cifrado DES lo que incrementa la seguridad de los datos.

La implementación de un enlace propio *wireless*, posee varias ventajas sobre un enlace subcontratado. El ancho de banda es muy superior al ancho de banda que es factible contratar. Con relación a las contingencias, se tiene un control total sobre su resolución, ya que sería la unidad de comunicaciones de EEGSA la única responsable de resolverlas en el menor tiempo posible, pero más aún, de evitar que estas contingencias ocurran.

Por todo lo anterior se toma la decisión de implementar un enlace de comunicación propio utilizando equipos *Canopy* 5700*BH*20 de Motorola.

3.2.3. Especificaciones equipos

Los equipos *Canopy* a utilizar tienen las siguientes características.

- Descripción: 5,7 GHz *Backhaul*, 20 Mbps
- Número de parte: 5700*BH*20

- Tasa de señalización: 20 Mbps
- LOS con reflectores a ambos lados: 35 millas (56 km)
- *Throughput* agregado: 14,0 Mbps
- Banda de frecuencia: ISM 5725-5850 MHz
- Ancho del canal: 20 MHz
- Espaciamiento entre canales: 5 MHz
- Modulación: FSK
- Método de acceso: TDD
- Relación *carrierlinterference*: C/I < 3 dB
- Sensibilidad nominal del receptor: -79 (dBm)
- Ganancia antena integrada: 7 dBi
- Ganancia plato reflector: 17 dBi
- EIRP 30 (dB)
- Potencia: 1 W
- Potencia DC típica: 0,34 A, a 24 VDC = 8,2 W
- Temperatura: -40 °C a +55 °C
- Velocidad del viento: 190 km/h
- Peso: 1 lb.
- Interfaz de servicios: *Fast Ethernet*
- Cifrado: DES
- Latencia: 2,5 mseg
- Protocolos usados: IPV4, UDP, TCP, ICMP, *Telnet*, HTTP, FTP, SNMP.
- Administración de red: HTTP, *TELNET*, FTP, SNMP
- Versión 2c.

Vea la figura 7, que muestra una imagen de los equipos *Canopy* utilizados.

Figura 7. **Equipo *Canopy* 5700*BH*20**

Fuente: Motorola. *Canopy System Release 8 User Guide*. p. 51.

3.2.4. Componentes del sistema *Canopy*

3.2.4.1. Módulos de enlace punto a punto *Backhaul* (*BH*)

Los módulos *Backhaul* son los dispositivos principales para crear el enlace punto a punto. Como se mencionó anteriormente, se deben de configurar como *timing master* (*BHM*) o como un *timing slave* (*BHS*). El termino *Master-Slave* se refiere a la sincronía que se establece en el enlace. El *Master* es el que tiene la sincronía y se la transfiere al *Slave*.

3.2.4.2. Módulo *CMM Micro*

Es el responsable de proporcionar sincronía a todos equipos de la red *Canopy*.

Para ello se utiliza un receptor GPS que suministra la sincronización. Adicionalmente el *CMM Micro* tiene un *Switch Ethernet* el cual proporciona conexiones *Ethernet* y alimentación ya sea para varios equipos *Backhaul Master* en el lugar o para un *cluster* de *Access Points*.

En el caso de que únicamente se vaya a realizar un enlace punto a punto y no se requiera instalar más equipos, puedo no utilizarse el *CMM Micro*. En este caso es necesario configurar el *Backhaul Master* para que genere internamente su propia sincronía.

3.2.4.3. Antena GPS

Esta antena alimenta el receptor GPS en el *CMM Micro*, lo cual genera pulsos de sincronización precisos en el sistema.

3.2.4.4. Cables

Canopy utiliza para datos y la alimentación cables STP Categoría 5 con conectores RJ45 y para la antena GPS utiliza cable coaxial LMR-200.

3.2.4.5. Reflector

El plato del reflector pasivo 27RD extiende el rango de distancia de un módulo y enfoca el rayo de luz dentro de un ángulo angosto, la porción interna de la antena de un módulo ilumina el plato del reflector pasivo desde una posición compensada.

3.2.4.6. Supresor de sobrecargas (SS)

El equipo 300SS proporciona un trayecto de puesta a tierra para proteger los equipos contra sobrecargas.

3.2.4.7. Fuente POE

Es una fuente de voltaje *power over Ethernet* que es utilizada cuando no se cuenta con un módulo *CMM Micro* y por lo tanto se encarga de insertar el voltaje de alimentación para el equipo a través del mismo cable *Ethernet* de datos.

3.2.5. Método de instalación

Para la instalación de los equipos es necesario configurar en primer lugar los módulos *Backhaul*.

Esto módulos traen de fabrica la dirección IP 169.254.1.1. Se les conecta un cable *Ethernet* recto y a través de una fuente POE se les proporciona alimentación. En el otro extremo de la fuente POE se conecta otro cable *Ethernet* recto hacia una *laptop*.

La *laptop* se configura como con una dirección IP fija en el rango de red 169.254.0.0 para que pueda comunicarse con los módulos *Canopy*.

En la *laptop* y a través de un navegador se accede al *WEB manager* del equipo en la dirección 169.254.1.1. Con este *WEB* se pueden hacer las configuraciones básicas para levantar el enlace punto a punto. Las configuraciones básicas que tienen que realizarse son las siguientes:

- *Timing mode*: se configura el *BH* ya sea como *timing master* o *timing slave*. Como *timing master* el equipo va a ser fuente de sincronía y como *timing slave* el equipo recibirá la sincronía del otro modulo. Cuando se hace algún cambio en *timing* mode, es necesario guardar y reiniciar el equipo, ya que la pantalla de configuración cambia pues se habilitan o deshabilitan algunas funciones.

- *Link speeds*: aquí se especifica el modo y velocidad de la conexión Ethernet del equipo. De fábrica viene con todas las velocidades habilitadas. Se recomienda configurarle una velocidad específica, pero los equipos que se conecten a él deben de estar en el modo auto o con la misma velocidad que se le configuró al equipo.

- *Sync input*: se establece aquí como va a obtener la sincronización el *BH Master*. El *BH Slave* no tiene esta opción ya que recibe la sincronía a través del enlace con el *BH Master*.

La entrada de sincronía se selecciona dentro de las siguientes 3 opciones:

- *Select sync to received signal (power port)*: con esta opción la sincronía entra al equipo por el puerto de alimentación y datos, esto se configura cuando el *BHM* se conecta a un *CMM Micro*, ya que este inserta la sincronía en el mismo cable de datos.

- *Select sync to received signal (timing port)*: con esta opción la sincronía entra al equipo por el *timming port*, esto se configura cuando el *BHM* se conecta a un CMM2 un *AP* u otro *BH Slave* que pueda transferir la sincronía por este puerto.

- *Select generate sync signal*: se configura el *BHM* para generar su propia sincronía, cuando no se tiene una fuente de sincronía dentro del enlace y solo cuando no hay otros *AP* o *BHM* instalados en el mismo punto. Ya que si hay varios equipos *Master* en un mismo lugar, y todos se configuran para generar su propia sincronía, la sincronía entre ellos va a ser diferente, por lo que podrán interferirse entre si.

Todo esto se configura en la ventana de configuración general del equipo.

En la ventana de configuración IP se configura lo siguiente:

- Dirección IP: la cual debe estar dentro del rango de direcciones de la red a utilizar. Se debe configurar también la máscara de subred y el *gateway*. Tomar en cuenta que si se cambia la IP del equipo, en el momento de salvar los cambios y reiniciar es necesario cambiar también la IP de la *laptop* a una del mismo rango de la asignada al equipo, para poder tener conectividad.

En la ventana de configuración de radio se configura lo siguiente:

- *Radio frequency carrier*: establece la frecuencia en la cual el *BHM* va a transmitir. Por default el equipo no trae configurada una. Debe de escogerse la frecuencia más adecuada utilizando el analizador de espectro que el equipo trae, para evitar utilizar una frecuencia con demasiada interferencia.

- *Color code*: especifica un valor entre 0 y 254, para propósitos de diferenciar enlaces, por lo que tanto el *BHM* y el *BHS* deben tener el mismo para que puedan comunicarse. De fábrica vienen con el *color code* de 0.

- *Transmitter output power*: en las bandas libres la potencia de los equipos está regulada para permitir convivir varios usuarios con el mínimo de interferencias entre ellos. Por lo tanto, cuando los equipos son para utilizarse en bandas no licenciadas, es necesario ajustar este parámetro para asegurar cumplir con los estándares y regulaciones, tomando en cuenta también, la ganancia de las antenas y la pérdida de los cables.

Adicionalmente se pueden configurar otros parámetros como el SNMP, seguridad (donde se pueden habilitar los métodos de autenticación y cifrado a utilizar) y diferenciación de servicio para aplicar prioridades de datos.

Un *Backhaul Slave*, se configura de manera idéntica, únicamente se tienen los siguientes cambios:

En la ventana *general*, se configura el modo de arranque del equipo cuando no tiene conexión *Ethernet*. Estos pueden ser:

- *Power up in aim mode*: el *BHS* arranca en modo de alineación, el cual es utilizado para alinear el enlace ya que la portadora se mantiene constante. Cuando el equipo detecta una conexión *Ethernet* automáticamente se resetea a modo de operación.

- *Power up in operational mode*: el *BHS* arranca en modo de operación y se intenta registra con el *BHM*.

Para el *BHS* en la ventana de configuración de radio, se configura diferente al *BHM*, lo siguiente:

- *Custom radio frequency scan selection list*: se especifica la frecuencia que el *BHS* debe escanear para encontrar el *BHM*. Si se seleccionan todas las frecuencias entonces el *BHS* hace un barrido de todo el canal para encontrar la frecuencia del *BHM*, si se selecciona solo una, entonces el escaneo es solo de esa frecuencia.

Cuando los equipos ya están configurados se procede a instalarlos adecuadamente en la torre, siguiendo todas las medidas necesarias de una adecuada instalación. Para la alineación, ya teniendo un perfil del enlace, el equipo cuenta con una página que proporciona valores de RSSI y de calidad de señal (conocido como *jitter*) que permiten facilitar el proceso.

Vea la tabla V, indica los rangos de valores de *jitter* y su interpretación.

Tabla V. **Valores del *jitter***

	Alta Calidad	Calidad Cuestionable	Pobre
Operación 1X	0-4	5-14	15
Operación 2X	0-9	10-14	15

Fuente: elaboración propia.

Hay disponibles también audífonos de alineación que se conectan al puerto RJ11 del equipo y que permiten mediante tonos audibles alinear fácilmente las antenas. Un sonido más continuo se refiere a un alto nivel de señal, y un mayor volumen se refiere a una mejor calidad de señal.

3.2.6. Cálculo del enlace

Para el cálculo del enlace, *Canopy* tiene un *software* que cuenta con todos los parámetros de los equipos, solo se ingresan datos específicos del enlace, con el cual obtenemos el perfil y los resultados esperados.

El *software* es el *PTP Link Estimator v6.00*, herramienta programada en Excel. En este caso se requiere tener un enlace desde el edificio de la Segunda Avenida de EEGSA y la subestación Mayan Golf. Entre estos dos puntos no existe línea vista, por lo que es necesario utilizar un sitio de repetición.

EEGSA cuenta con un punto de repetición por San Vicente Pacaya en el sitio denominado Cerro Chino, por lo que el enlace consistirá en dos tramos, uno de Segunda Avenida a Cerro Chino y el otro de Cerro Chino a Mayan Golf.

Las antenas se instalarán en las estructuras donde están actualmente las antenas de radio analógico.

Vea la tabla VI, donde se indican los datos de las ubicaciones para los enlaces de comunicación.

Tabla VI. **Ubicaciones para enlace de datos**

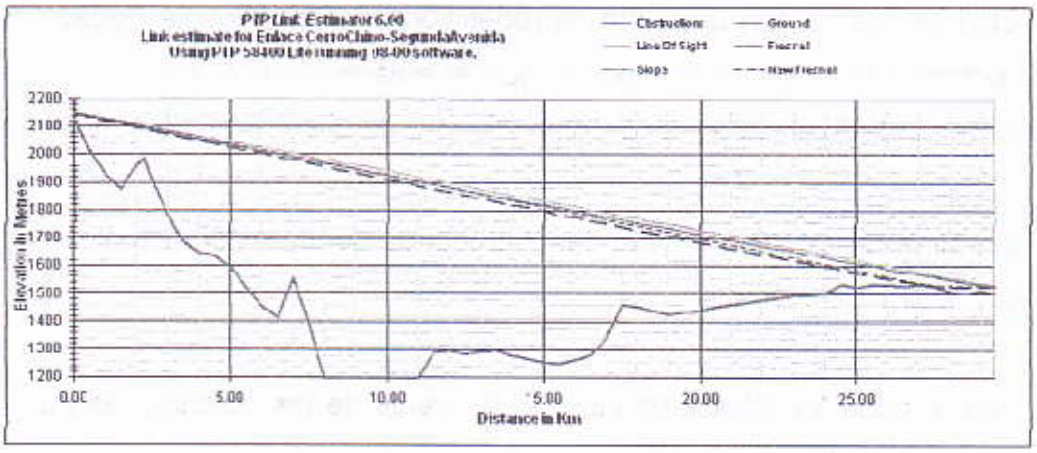
	Alturas (m)	Coordenadas		Altura Antenas	Distancia (km)
Segunda Avenida	1506	14° 38' 27,0" N	90° 31' 05,4" W	24	29,42
Cerro Chino	2125	14° 23' 30,6" N	90° 36' 36,6" W	24	
Cerro Chino	2125	14° 23' 30,6" N	90° 36' 36,6" W	24	12,50
Mayan Golf	1293.1	14° 30' 05,7" N	90° 35' 07,6" W	20	

Fuente: elaboración propia.

Estos datos se ingresan en el *Link Estimator* obteniéndose los perfiles para los dos trayectos.

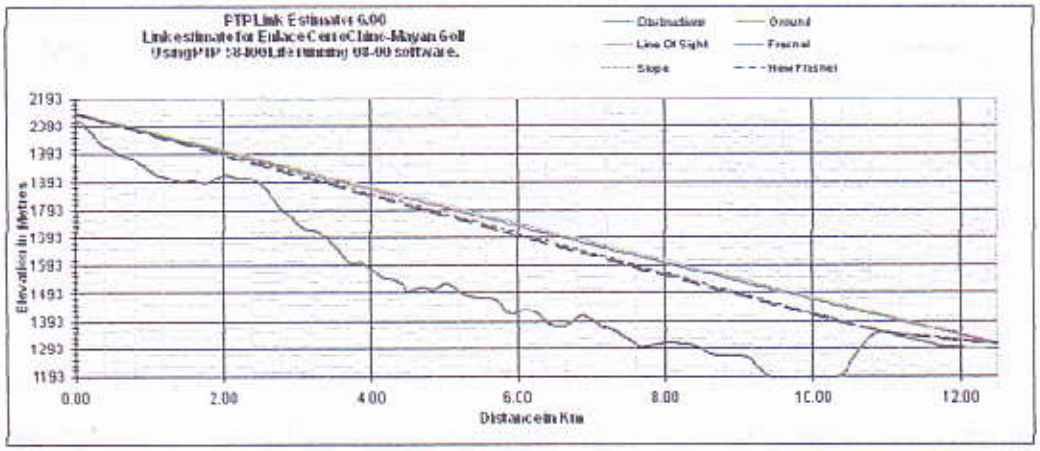
Vea las figuras 8 y 9 que muestran los perfiles de ambos enlaces.

Figura 8. **Perfil del enlace Cerro Chino - segunda avenida**



Fuente: Motorola. *Software PTP Link Estimator.* Versión 6.00.

Figura 9. **Perfil del enlace Cerro Chino - Mayan Golf**



Fuente: Motorola. *Software PTP Link Estimator*. Versión 6.00.

De acuerdo a los perfiles y al hecho de que ambos enlaces no superan los 56 kilómetros máximo, ya que el más grande tiene una distancia de 29 kilómetros se concluye que ambos enlaces son factibles y únicamente queda proceder con la instalación.

3.3. Interfaz para IED

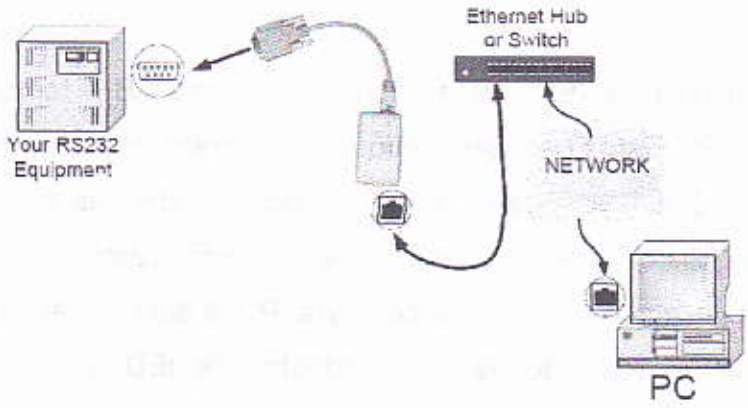
En Mayan Golf los IED que se tiene son marca ABB, tanto DPU 2000R como TPU 2000R. Estos para su configuración tienen un puerto RS232 DTE y para los datos SCADA un puerto RS485 aislado. Todas las subestaciones de EEGSA, tienen IED que se configuran de esta forma, cambiar inmediatamente todos los relés para que soporten acceso vía IP, es algo extremadamente caro y complicado. Lo más adecuado, es adaptar los IED existentes para que puedan gestionarse a través de un enlace IP, y establecer, que a partir de aquí, todos los nuevos equipos deban venir con esta característica para evitar gastos extras y complicaciones por el uso de interfaces.

En el mercado existen interfaces y *software* que se adaptan exactamente a esta necesidad. Son convertidores RS232 a *Ethernet* en el lado del IED, y en el punto remoto, se utiliza un *software* que emula un puerto virtual COM en la computadora. El WinECP interpreta que está conectado directamente a un puerto serie, cuando en realidad lo hace a través de *Ethernet*.

3.3.1. Equipo a utilizar

Se utilizará el convertidor *Netport* modelo AMC232LAN de la marca *Alphamicro*, que tiene un costo aproximado de 90 dólares. *Netport* es un convertidor RS232 a *Ethernet*, que habilita a un equipo que posee un puerto serial de configuración, para ser accesado remotamente a través de cualquier red con tecnología IP. Vea la figura 10, que muestra el uso del convertidor RS232 a *Ethernet*.

Figura 10. ***Netport***



Fuente: *Netport Quick Start Guide.*
Http://www.openxtra.co.uk/sites/openxtra.co.uk/files/download/*Netport*_Quick_Start_Guide_V1.1.pdf (06/04/2009).

El *Netport* tiene un puerto RS232 DTE el cual se conecta al IED, y un puerto *Ethernet* UTP RJ45, el cual se conecta a la LAN de la subestación.

El rango de voltaje de alimentación del convertidor va de 7,5 a 24 Vdc, el cual es un voltaje disponible en la subestación.

3.3.2. *Software* a utilizar

Para el acceso remoto, como se mencionó anteriormente, se utilizará un puerto virtual COM o redirector de puerto serial. Este redirector de puerto serial, crea puentes de dos vías entre una aplicación serie y un puerto específico TCP en una dirección IP específica.

Para ello se requiere instalar, en la computadora desde donde se hará el acceso remoto, el *software* de puerto virtual. Una vez instalado el *software*, se crean automáticamente todos los puertos virtuales requeridos, asociando cada puerto a la dirección IP del convertidor *Ethernet* a serial instalado en el equipo remoto. Adicionalmente se configura el número de puerto TCP a utilizar para transportar la aplicación en la red IP. El convertidor remoto debe tener configurado para recepción de datos, el mismo puerto TCP.

El proceso que se lleva a cabo se describe a continuación.

Cuando se requiere una conexión remota a un IED, utilizando el *software* WinECP. En primer lugar se debe verificar que el *software* redirector de puerto esté instalado en la computadora y los puertos virtuales estén configurados con la dirección IP del convertidor *Ethernet* a serial conectado al IED que se desea acceder.

Se abre el *software* y en la configuración de acceso se selecciona el puerto virtual adecuado. El puerto virtual crea un puente entre este y el convertidor remoto con la dirección IP que tiene configurado dicho puerto.

En el otro extremo, el convertidor IP a serial, al recibir los datos por el puerto *Ethernet*, los pasa al puerto COM, transfiriéndolos al IED conectado a él.

En dirección contraria, el proceso es inverso. El IED responde a través de su puerto serial de configuración, esta información es encapsulada en IP por medio del convertidor el cual la envía de regreso hasta la dirección IP de la computadora que lo interrogó, por el puerto TCP correspondiente. Al llegar el mensaje de respuesta a la PC, esta recibe la información por su puerto *Ethernet* pero el *software* redirector traslada dichos datos al puerto COM virtual correspondiente.

En la PC, los puertos TCP que se deben configurar para encapsular la aplicación van del 3001 al 30XX. Utilizar otros puertos puede provocar que los datos sean corrompidos por otros protocolos o causar una pérdida total. En el convertidor remoto, se deberían de configurar los mismos puertos TCP, pero a causa de un *offset* interno es necesario sumar 11000 al número de puerto. En otras palabras, si los rangos de puerto en la PC van de 3001 a 3099, en el convertidor van de 14001 a 14099 respectivamente.

3.4. Red de datos del sitio central

En el sitio central, lo que se tiene es una pequeña red LAN redundante, utilizada para la estación Maestra SCADA.

El propósito de esta red es comunicar los servidores SCADA (primario y respaldo) con las *Workstations* y los servidores de comunicación. Para asegurar un alto grado de confiabilidad, la red utiliza dos *switches*, formando LAN independientes (A y B). Ambas redes pueden llevar todo el tráfico en ausencia de la otra, pero cuando ambas están presentes se crean un balance para asegurar un mejor rendimiento.

Por razones de seguridad esta red había estado aislada de la red corporativa de EEGSA, lo cual dificultaba demasiado la administración de los equipos. Posteriormente se realizó una interconexión entre ambas redes, utilizando un *router*, pero se limitó el acceso solo a usuarios específicos. Esto facilitó mucho las cosas ya que permitió acceder a los servidores de la Maestra SCADA desde cualquier punto de la red corporativa de EEGSA.

Para el acceso remoto a los IED, utilizando enlaces IP, se considera que lo más adecuado, es instalar una red independiente a la del SCADA, tanto por seguridad, como para evitar afectar el rendimiento de esta última. Los rangos de direcciones IP deben seleccionarse adecuadamente para facilitar una interconexión futura. Es imprescindible también, habilitar esta nueva red, como parte de la red corporativa de EEGSA, para permitir que el acceso a los IED pueda realizarse desde cualquier PC, cuidando siempre aspectos de seguridad.

Por último, actualmente se tiene la capacidad de habilitar conexiones VPN desde el Internet hasta la red corporativa de EEGSA, con lo cual, si se cuenta con los permisos y accesos necesarios, se puede también acceder a los IED desde cualquier punto utilizando una conexión VPN segura.

3.4.1. Equipos

Lo que se necesita inicialmente para la red de datos central es un *switch Ethernet* para la interconexión del equipo de comunicación *Canopy* y la PC local de gestión. Además es necesario interconectar la red a la red corporativa de EEGSA, tanto para extender el área de acceso, como para utilizar los servicios que posee (DHCP, DNS, SNMP, Internet, antivirus corporativo, etc.)

Los servicios y equipos necesarios para una red LAN son muy variados, en este proyecto se implementa solo lo básico, pero es importante mencionar que este es un aspecto que debe de estudiarse y analizarse mucho más profundamente, principalmente en lo que se refiere a seguridad informática.

3.4.2. Especificaciones

Para lograr interoperabilidad con los equipos de red en Mayan Golf, el *switch* central será también Cisco 2955T-12, aunque en un futuro puede reemplazarse por uno de mayor capacidad, y este utilizarse en otra subestación.

4. INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS

Esta última fase comprendió el montaje, instalación y configuración de equipos y redes, adaptación de interfaces, instalación de *software* necesario en las PC correspondientes y pruebas finales para verificar la funcionalidad y desempeño del sistema instalado.

4.1. Instalación equipos sitio central

En el sitio central se instaló un *switch* Cisco 2955T, con varias *VLAN* configuradas para aislar el tráfico entre las diferentes aplicaciones. Adicionalmente se usó un *router* propiedad del departamento de informática de EEGSA, el cual se utilizó como *gateway* para comunicación entre las *VLAN* y además como puente de acceso a la red corporativa. Las configuraciones a este *router* se solicitaron al área correspondiente ya que no se tenían permisos de acceso.

El *switch* cisco 2955T tiene 12 puertos 10/100Base-TX (*slot* 0) y 2 puertos de *uplink* 10/100/1000Base-T (*slot* 1). Los 12 puertos 10/100 Base-TX se utilizaron para todos los dispositivos locales, computadoras, servidores, interfaces, teléfonos, etc. A estos puertos se les asignaron las *VLAN* correspondientes para segmentar el tráfico de la red. Los puertos *uplink* se configuraron en modo *trunking*, uno para conectarse hacia el *router* de acceso a la red corporativa, y el otro hacia el equipo *Canopy*. Se configuraron las siguientes *VLAN*.

VLAN 1 con direcciones en el rango de 172.21.254.0 y máscara 255.255.255.0 es la *VLAN* nativa y se le configuró la dirección IP de todos los *switches* de la red y los equipos *Canopy*. Para el *switch* central la dirección IP es 172.21.254.10 y para el equipo *Canopy* 172.21.254.101. El *gateway*, configurado como una subinterfaz en el *router* es 172.21.254.1.

La *VLAN* 101 con direcciones en el rango de 172.21.1.0 y máscara 255.255.255.0 es la *VLAN* IED y sirve para poder acceder a todos los IED de las subestaciones, en este caso, los IED de la subestación Mayan Golf. El *gateway* configurado como una subinterfaz en el *router* es 172.21.1.1.

En el *switch* central, se usó el puerto 0/1 para esta *VLAN*, por lo que se puede instalar en este puerto una PC de acceso remoto a los IED, aunque como se tiene el *router* es posible configurar la comunicación desde otro punto en la red corporativa.

Adicionalmente se tiene la *VLAN* 102 SCADA en la red 172.21.2.0 máscara 255.255.255.0, *gateway* 172.21.2.1 y puerto 0/2 del *switch*. *VLAN* 103 Video en la red 172.21.3.0 máscara 255.255.255.0, *gateway* 172.21.3.1 y puerto 0/3 del *switch*. *VLAN* 104 Voz en la red 172.21.4.0 máscara 255.255.255.0, *gateway* 172.21.4.1 y puerto 0/4 del *switch*.

Vea la tabla VII, indica un resumen de la distribución de *VLAN* y direcciones IP en el *switch* central.

Tabla VII. **Configuración direcciones IP en *switch* central**

VLAN	**Nombre**	**Dirección de Red**	**Máscara de Subred**	***Gateway***	**Puerto Switch Central**
VLAN 1	Nativa	172.21.254.0	255.255.255.0	172.21.254.1	Puertos sin Tag de *VLAN*
VLAN 101	IED	172.21.1.0	255.255.255.0	172.21.1.1	0/1
VLAN 102	SCADA	172.21.2.0	255.255.255.0	172.21.2.1	0/2
VLAN 103	Video	172.21.3.0	255.255.255.0	172.21.3.1	0/3
VLAN 104	Voz	172.21.4.0	255.255.255.0	172.21.4.1	0/4

Fuente: elaboración propia.

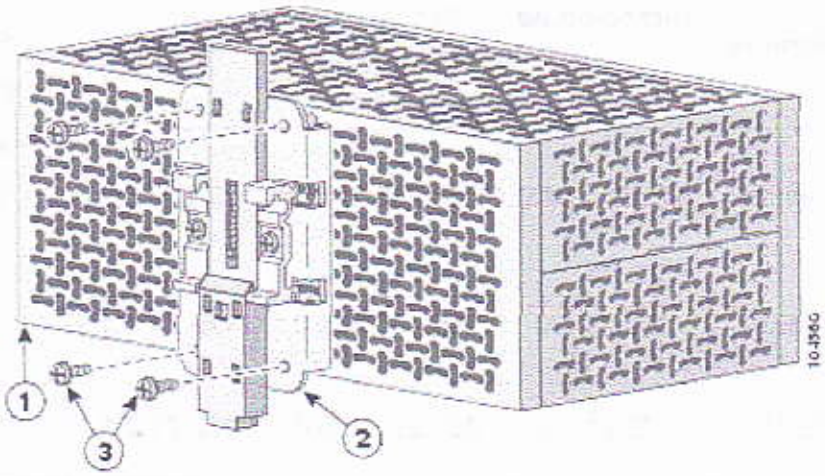
Como se mencionó anteriormente los puertos de *uplink* se configuraron como puertos de *trunking*, el primero 1/1 hacia el *router* y el segundo 1/2 al equipo *Canopy*.

4.1.1. Montaje mecánico

La parte trasera del *Switch* Cisco Catalys 2955 tiene un riel de montaje DIN, el cual posibilita una fácil instalación.

Vea la figura 10, muestra el montaje del *router* Cisco 2955.

Figura 11. **Montaje mecánico *router* Cisco 2955**



Fuente: *Catalyst 2955 Switch Installation Notes.*
Http://www.cisco.com/en/US/docs/*switches*/lan/catalyst2955/hardware/installation/55dinclp.html
(16/04/2009)

Para prevenir un sobrecalentamiento del *switch* es recomendable una distancia mínima de 3 pulgadas entre el *switch* y otro dispositivos, hacia arriba, hacia abajo o hacia los lados.

4.1.2. Configuración

Para la configuración inicial del *switch* se hizo a través del puerto de consola y el puerto COM del ordenador, utilizando hyperterminal de Windows.

Los parámetros configurados para el acceso fueron:

- 9600 baudios
- 8 bits de datos
- Sin paridad
- 1 bit de parada
- Sin control de flujo

4.1.2.1. Asignación de nombre y contraseñas

Para la configuración se inició con la asignación de un nombre exclusivo al *switch* y las contraseñas correspondientes, esto en el modo de configuración global y mediante los siguientes comandos:

```
Switch>enable
Switch#configure terminal
Switch(config)#hostname SW_SEGUNDA
SW_SEGUNDA(config)#enable password 1234
SW_SEGUNDA(config)#enable secret 1234
SW_SEGUNDA(config)#line console 0
SW_SEGUNDA(config-line)#login
SW_SEGUNDA(config-line)#password 1234
SW_SEGUNDA(config)#line vty 0 4
SW_SEGUNDA(config-line)#login
SW_SEGUNDA(config-line)#password 1234
```

4.1.2.2. Asignación de dirección IP

Para configurar la dirección IP se hizo sobre una interfaz de *VLAN*. Por defecto la *VLAN* 1 es *VLAN* nativa del *switch*, al asignar un direccionamiento a la interfaz *VLAN* 1 se puede administrar el dispositivo vía *telnet* o *WEB*.

```
SW_SEGUNDA(config)#interface VLAN 1
SW_SEGUNDA(config-VLAN)#ip address 172.21.254.10 255.255.255.0
SW_SEGUNDA(config-VLAN)#no shutdown
SW_SEGUNDA(config)#ip default-gateway 172.21.254.1
```

4.1.2.3. Configuración de puertos

En este apartado se configuraron los puertos con sus parámetros correspondientes de velocidad que puede ser 10, 100 o auto y el modo *full duplex*, *half duplex* o automático.

```
SW_SEGUNDA(config)#interface FastEthernet 0/1
SW_SEGUNDA(config-if)#speed auto
SW_SEGUNDA(config-if)#duplex auto
```

De esta misma forma se configuraron los otros puertos del *switch*.

4.1.2.4. Configuración de *VLAN*

Se configuró la *VLAN* 101 con el nombre IED ya que es la usada para acceder a los IED de la subestación, y se asignó al puerto 0/1.

```
SW_SEGUNDA#VLAN database
SW_SEGUNDA(VLAN)#VLAN 101 name IED
SW_SEGUNDA(VLAN)#exit
SW_SEGUNDA(config)#interface FastEthernet 0/1
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport access VLAN 101
```

De manera adicional se pueden crear otras *VLAN* para aplicaciones adicionales que quisieran trasladarse por la red. Se configuró la *VLAN* 102 para SCADA con el puerto 0/2. La *VLAN* 103 para Video con el puerto 0/3. La *VLAN* 104 para Voz con el puerto 0/4.

```
SW_SEGUNDA#VLAN database
SW_SEGUNDA(VLAN)#VLAN 102 name SCADA
SW_SEGUNDA(VLAN)#VLAN 103 name Video
SW_SEGUNDA(VLAN)#VLAN 104 name Voz
SW_SEGUNDA(VLAN)#exit
SW_SEGUNDA(config)#interface FastEthernet 0/2
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport access VLAN 102
SW_SEGUNDA(config)#interface FastEthernet 0/3
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport access VLAN 103
SW_SEGUNDA(config)#interface FastEthernet 0/4
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport access VLAN 104
```

4.1.2.5 Habilitación de puertos troncales

Son los puertos de *uplink* que trasladan la información de todas las *VLAN* a las redes correspondientes. En este caso se usaron los puertos 10/100/1000Base-T como puertos de *trunking*. El primero se conectó al *router* y el otro al equipo *Canopy*. La encapsulación utilizada fue 802.1q.

```
SW_SEGUNDA(config)#interface fastEthernet 1/1
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport mode trunk
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport trunk encapsulation Dot1q
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport trunk allowed VLAN 1,101-110
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport trunk native VLAN 1
SW_SEGUNDA(config)#interface FastEthernet 1/2
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport mode trunk
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport trunk encapsulation Dot1q
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport trunk allowed VLAN 1,101-110
SW_SEGUNDA(config-if)#switchport trunk native VLAN 1
```

Como es el objetivo de las *VLAN*, entre ellas no es posible que puedan comunicarse, a menos que haya un *router* que se los permita. Para ello se debe configurar el *router* para que pueda ver las *VLAN* y habilitar su comunicación. La configuración se solicitó al departamento de Informática de EEGSA ya que ellos lo administran.

Las configuraciones solicitadas fueron:

```
Router(config)#interface FastEthernet 0/1
Router(config-if)#no shutdown
Router(config-if)#interface FastEthernet 0/1.1
Router(config-subif)#encapsulation dot1q 101
Router(config-subif)#ip address 172.21.1.1 255.255.255.0
Router(config-if)#interface FastEthernet 0/1.2
Router(config-subif)#encapsulation dot1q 102
Router(config-subif)#ip address 172.21.2.1 255.255.255.0
Router(config-if)#interface FastEthernet 0/1.3
Router(config-subif)#encapsulation dot1q 103
Router(config-subif)#ip address 172.21.3.1 255.255.255.0
Router(config-if)#interface FastEthernet 0/1.4
Router(config-subif)#encapsulation dot1q 104
Router(config-subif)#ip address 172.21.4.1 255.255.255.0
Router(config-if)#interface FastEthernet 0/1.254
Router(config-subif)#encapsulation dot1q 1 Native
Router(config-subif)#ip address 172.21.254.1 255.255.255.0
```

4.1.2.6. Configuración QoS

Adicionalmente se puede configurar el QoS, asignándole una etiqueta de ToS a cada puerto, y las prioridades correspondientes, 0 la menor y 7 la mayor.

```
SW_SEGUNDA(config)#interface fastEthernet 0/1
SW_SEGUNDA(config-if)# mls QOS COS 2
SW_SEGUNDA(config-if)# mls QOS COS override
```

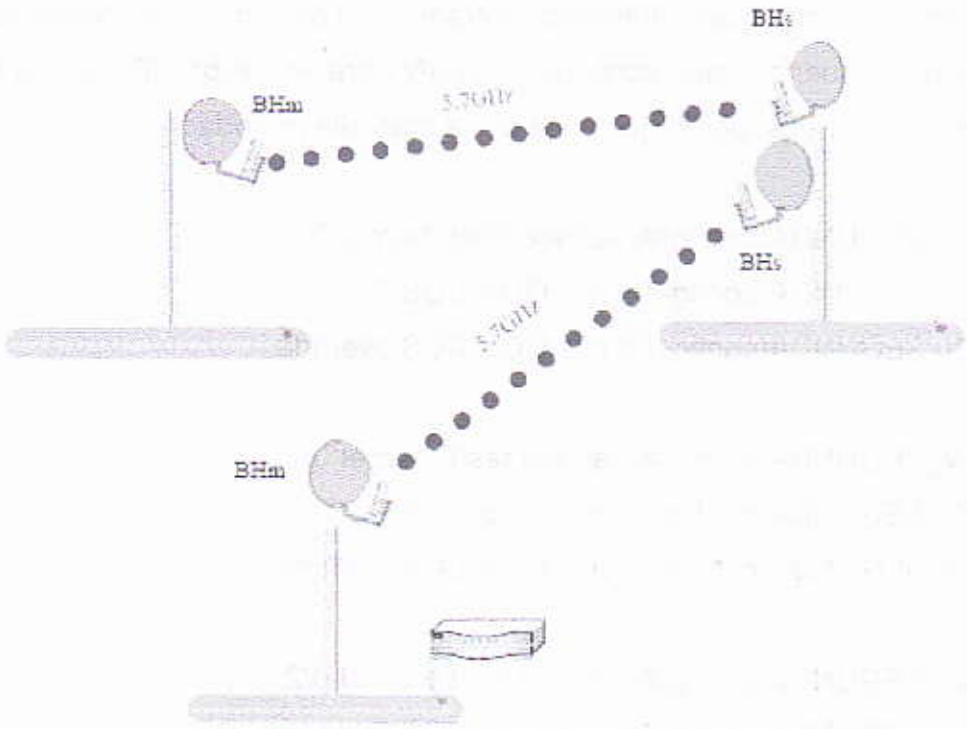
Con esto se configuró el CoS por defecto para la interfaz 1 como 2, sobrescribiendo cualquier marcado entrante. Los otros se configuraron, destacando el puerto 4 que contiene la *VLAN* para voz sobre IP, la cual es la aplicación más crítica, por lo que se le dio la más alta prioridad.

```
SW_SEGUNDA(config)#interface fastEthernet 0/4
SW_SEGUNDA(config-if)# mls QOS COS 7
SW_SEGUNDA(config-if)# mls QOS COS override

SW_SEGUNDA(config)#interface fastEthernet 0/3
SW_SEGUNDA(config-if)# mls QOS COS 6
SW_SEGUNDA(config-if)# mls QOS COS override

SW_SEGUNDA(config)#interface fastEthernet 0/2
SW_SEGUNDA(config-if)# mls QOS COS 5
SW_SEGUNDA(config-if)# mls QOS COS override
```

4.2. Instalación enlace de comunicación

Debido a la ubicación de la subestación Mayan Golf, no fue posible implementar un enlace directo, por lo que se utilizó un punto de repetición. En este caso, y dado que EEGSA cuenta con el sitio Cerro Chino, el enlace se hizo a través de este punto. Vea la figura 12, muestra un diagrama de los enlaces implementados.

Figura 12. **Diagrama de enlaces implementados**



Fuente: Motorola *Canopy*.

Http://www.solutionbox.com.ar/sbox/catalog/images/brands/sheets/193.pdf (25/05/2009).

En el diagrama del enlace puede verse que en la segunda avenida y en Mayan Golf se instalaron módulos *master* (*BHM*), los cuales son los que dan la sincronía. En Cerro Chino se instalaron dos módulos *BHS*. Por cuestiones de costos y dado a que no se tenían más equipos *Canopy* instalados, no se utilizó módulos *CMM Micro* para proporcionar sincronía a través de un GPS sino que la generaron los *BHM*.

4.2.1. Enlace Cerro Chino - Segunda Avenida

Los datos de cada enlace se ingresaron a la herramienta *PTP Link Estimator* de Motorola, especialmente diseñada para cálculos de enlaces *Canopy*. Vea tabla VIII, con datos enlace Cerro Chino – Segunda Avenida.

Tabla VIII. **Enlace Cerro Chino – Segunda Avenida**

Summary	
Link Name	Enlace CerroChino-SegundaAvenida
Customer Name	EEGSA
Link Type	Line of Sight
Link Distance	29,4 Km
Max EIRP	53,9 dBm
Output Power	30 dBm
Free Space Path Loss	-137,0 dB
Total Link Loss	-145,4 dB (*Obstruction and Statistics* 8,4)
RF Frequency Band	*5,8 GHz (5725 to 5,850 GHz)*
Installation Notes	
Bearing to REMOTE from LOCAL	19,7° *from True North*
Bearing to LOCAL from REMOTE	199,7° *from True North*
Predicted Receive Power	-67,6 dBm
Tilt to REMOTE from LOCAL	-1473
Tilt to LOCAL from REMOTE	1473

Fuente: Motorola. *Software PTP Link Estimator*. Versión 6.00.

Vea tabla IX, con datos adicionales para el enlace Cerro Chino – Segunda Avenida.

Tabla IX. **Continuación enlace Cerro Chino – Segunda Avenida**

Local Site	
Site Name	Cerro Chino
Hardware Platform	5700*BH*20
Antenna Gain	24,0 dBi
Antenna Height	24 *Metres AGL*
Local Site Elevation	2125 *Metres AMSL*
Feeder Loss	0,1 dB
Local Site Location	14°23' 30,6" N 90°36' 36,6" W
Remote Site	
Site Name	Segunda Avenida
Hardware Platform	5700*BH*20
Antenna Gain	24,0 dBi
Antenna Height	24 *Metres AGL*
Remote Site Elevation	1506 *Metres AMSL*
Feeder and Conectors Loss	0,1 dB
Remote Site Location	14°38' 27,0" N 90°31' 5,4" W
Link Throughput Availability	
User Throughput Expectation	*Aggregate* 14,0 Mbps
Availability	99,99999%
Outage	0,05 *Minutes/Year*
Link Optimisation	*Optimised for Latency*

Fuente: Motorola. *Software PTP Link Estimator*. Versión 6.00.

En el perfil del enlace se obtuvo un despeje mínimo del haz de 3,2 F1 con lo cual el enlace puede considerarse a línea vista. El perfil puede observarse en la figura 8 del capítulo 3.

Adicionalmente se tiene los detalles del enlace obtenidos a través de la herramienta *Radio Mobile*.

Vea figura 13, estadísticas obtenidas con *Radio Mobile* para el enlace Cerro Chino – Segunda Avenida.

Figura 13. **Estadísticas enlace Cerro Chino – Segunda Avenida**

Fuente: Coudé, Roger. *Software Radio Mobile*. Versión 7.8.7.

4.2.1.1. Configuración de los módulos *Canopy*

Para acceder inicialmente al módulo *Canopy*, fue necesario configurar en una *laptop* la dirección IP 169.254.1.2. Luego conectarse físicamente utilizando un cable *Ethernet* recto y tecleando la IP de fábrica 169.254.1.1 en el Internet Explorer, para acceder al *WEB manager* del equipo.

Para configurar la frecuencia se tenían 22 canales disponibles. Por lo que fue necesario utilizar el analizador de espectro que los equipos tienen para establecer cuál era el más adecuado. El listado total de canales disponibles era 5,735, 5,765, 5,795, 5,825, 5,740, 5,770, 5,800, 5,830, 5,745, 5,775, 5,805, 5,835, 5,750, 5,780, 5,810, 5,840, 5,755, 5,785, 5,815, 5,760, 5,790 y 5,820. En este caso la frecuencia escogida fue 5,780 GHz.

Vea tabla X, con todos los parámetros configurados en los equipos para enlace Cerro Chino - Segunda Avenida.

Tabla X. **Parámetros enlace Cerro Chino – Segunda Avenida**

Ventanas	**Parámetros**	***Canopy* Segunda Avenida**	***Canopy* Cerro Chino**
General	*Timing* mode	*Timing master*	*Timing slave*
	Link speeds	Auto	Auto
	Sync input	*Select generate sync signal*	No aplica
	Power up in AIM mode	No aplica	Deshabilitado
	Power up in operational mode	No Aplica	Habilitado
	2X rate	*Enable*	*Enable*
IP	*IP address*	172.21.254.101	172.21.254.102
	Máscara	255.255.255.0	255.255.255.0
	Gateway	172.21.254.1	172.21.254.1
Radio	*Radio frecuency carrier*	5,780 Ghz	No aplica
	Color code	101	101
	Transmitter output power	1 Watt	1 Watt
	Custom radio frequency scan	No aplica	5,780 GHz

Fuente: elaboración propia.

4.2.1.2. Instalación física

Los módulos *Canopy*, poseen una antena interna, que puede utilizarse para realizar enlaces de corta distancia. En este caso, como la distancia era grande y además requería un grado alto de confiabilidad, fue necesario utilizar platos reflectores a ambos lados del enlace.

Al utilizar el reflector, los módulos *Canopy*, se instalan en el foco, iluminando el reflector pasivo desde una posición *offset*. El tubo de soporte de la antena, provee el ángulo apropiado para compensar este *offset*.

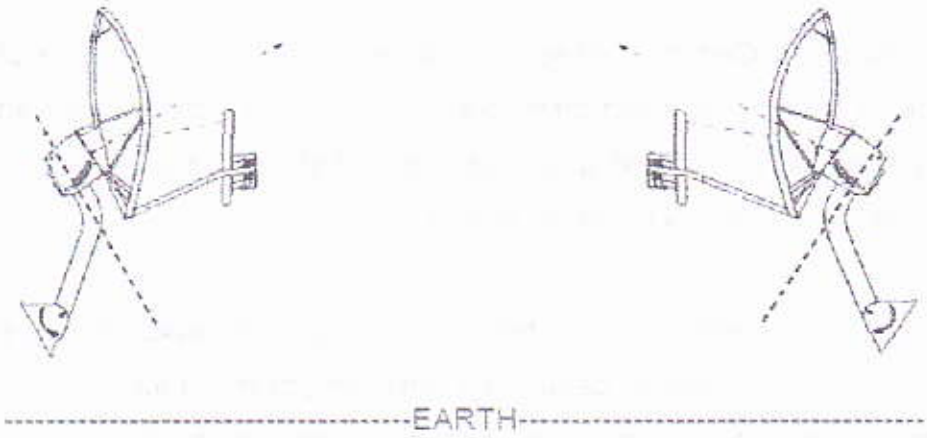
Vea figura 14. Puede observarse que aunque los módulos *Canopy* y el reflector parecen inclinados hacia abajo, en realidad el haz de señal tiene una trayectoria horizontal, por lo que hay que tomar esto muy en cuenta al momento de instalarlos.

Figura 14. **Alineación correcta reflectores *Canopy***

Fuente: Motorola. *Canopy System Release 8 User Guide*. p. 358.

Vea también figura 15. Presenta la instalación incorrecta de los reflectores, donde puede observarse que aunque el reflector y los módulos parecen alineados, en realidad la señal está dirigida hacia arriba.

Figura 15. **Alineación incorrecta reflectores *Canopy***



Fuente: Motorola. *Canopy System Release 8 User Guide*. p. 359.

En el caso específico del enlace entre Cerro Chino y Segunda Avenida, los módulos en ambos puntos están situados a diferente elevación por lo que fue necesario ajustar la inclinación de las antenas. En Cerro Chino el *tilt* fue de -1,5 grados y en Segunda Avenida de +1,5.

4.2.1.3. Instalación del *BH timing master* en Segunda Avenida

En primer lugar fue necesario acceder a la ventana de configuración del *BHM*. En esta ventana, se deshabilitó la opción del equipo para que trabaje a velocidad 2X para facilitar la alineación. Una vez realizado este cambio se reinició el módulo.

Con el equipo preparado para la alineación, se apagaron los módulos para evitar cualquier daño durante la instalación física.

La instalación mecánica consistió en primer lugar en montar el módulo *Canopy* en el reflector pasivo y posteriormente asegurarlo en la torre correspondiente, tratando de ubicarlo en la mejor posición de acuerdo a la dirección del enlace.

Alineación del *BHM* como sigue.

Utilizando una brújula y de acuerdo al *azimuth* estimado, que en este caso es de 199,7 grados N, se alineó lo más exacto posible. Adicionalmente se aplicaron los 1,5 grados de elevación de la antena hacia Cerro Chino.

Cuando los equipos ya se encontraron en la posición requerida, se aseguraron para evitar cualquier movimiento.

Después de esto se conectó el *BHM* al cable *Ethernet* el cual posee tanto la alimentación como la señal de red. Se esperaron aproximadamente 25 segundos para que el equipo arrancara por completo. Al concluir el reinicio estaba listo para la alineación final.

4.2.1.4. Instalando el *BH timing slave* en Cerro Chino

El procedimiento utilizado en la instalación del *BH* de Segunda Avenida fue idéntico al de Cerro Chino, únicamente en el modo de inicio del equipo, se habilitó la opción *Power up in Aim mode* para que cuando el equipo no detecta *link* con un *switch* solo el voltaje de alimentación, se habilita el modo de alineación, que mantiene la portadora constante.

La orientación e inclinación fueron diferentes, 19,7 grados N de *azimuth* y -1,5 grados de elevación.

4.2.1.5. Alineación del enlace

Para la alineación del enlace es necesario realizar dos procedimientos. El primero consiste en ajustar la orientación de las antenas utilizando el tono auxiliar de alineación que poseen los equipos. Y el segundo en revisar el enlace y finalizar la alineación verificando el nivel de recepción, el *jitter*, pruebas del rendimiento del enlace y la cantidad de sesiones y registros.

Para la alineación se usó el tono audible que poseen los equipos. En el *BHS* se configuró el parámetro 2X *rate* a *disable*.

Como accesorio para alineación se utilizó un par de audífonos conectados al puerto RJ11 del *BHS*. Este audio se utilizó como guía para orientar las antenas, tomando en cuenta que un tono alto, indica una mejor potencia de señal (RSSI/dBm) y un volumen alto indica una mayor calidad de la señal (bajo *jitter*).

Concluido esto, fue necesario conectarse nuevamente al equipo y regresar el parámetro 2X *rate* a *enable*. 2X *rate enable* significa que los módulos va a operar a 20 Mbps. Esto hace que a distancias superiores a los 8 kilómetros la alineación sea mucho más complicada ya que la interferencia y la sensibilidad de recepción que se requiere es mayor.

Posteriormente fue necesario verificar el enlace a través de la ventana *General Status* que muestra los niveles power *level* y *jitter*.

La potencia en dBm debía ser maximizada y el *jitter* el menos posible. Por ejemplo si se recibe una señal de -75 dBm y *jitter* de 5 y haciendo un ajuste fino se obtiene un nivel de -78 dBm y un *Jitter* entre 2 y 3, este último ajuste debería de ser preferido, según las siguientes salvedades.

Cuando el enlace está operando a 1X, el *jitter* va de 0 a 15 con un *jitter* aceptable entre 0 y 4. Y cuando el enlace está operando a 2X, el *jitter* también va de 0 a 15 pero el *jitter* aceptable ahora está entre 0 y 9.

Con el ajuste fino se obtuvo un nivel de -66 dBm y un *jitter* de 5, lo cual es bastante bueno a un rango de 2X.

Adicional a esto, fue necesario hacer una prueba de la capacidad del enlace en la pestaña *Tool*, apartado *Link Capacity Test*, configurando la duración a 10 segundos, la longitud del paquete de datos, el número de paquetes a cero y por ultimo iniciar el *test*.

Una vez ejecutada la prueba, si no se obtiene una eficiencia mayor o igual al 90 % para operación 1X, o mayor o igual de 50 a 60 % en 2X se debe de revisar el enlace como sigue:

Si en el *downlink* la eficiencia consistente es de 90 % pero en el *uplink* solo del 40 %, indica que se tiene un problema en la transmisión del *BHS* al *BHM*. Por lo que es necesario investigar una posible interferencia en el *BHM*.

Por el contrario si en el *uplink* la eficiencia consistente es de 90 % pero en el *downlink* solo del 40 %, indica que ahora el inconveniente es en la transmisión del *BHM* al *BHS*. Por lo que es necesario investigar una posible interferencia en el *BHS*.

En el caso específico de este enlace se obtuvo una eficiencia de casi el 100% en ambas direcciones.

La última prueba a ejecutar es, conectados al *BHM* y en la ventana de *Session Status*, se verifica el *session status count* una línea abajo de la *MAC address* del *BHS* que está registrado. Se revisan los valores *session count, reg count* y *re-reg count*.

Si estos valores son bajos y no cambian, por ejemplo 1, 1 y 0, significa que el *BHS* se registró e inició una sesión estable una sola vez, con lo cual se puede considerar la instalación completa.

Por el contrario si estos valores son mayores que 1, 1 y 0 y se incrementan mientras se están monitoreando, es necesario buscar una falla en el enlace.

Se podría revisar el *Jitter*, la instalación de los módulos, la eficiencia del enlace o la búsqueda de fuentes de interferencia u obstrucciones.

Los contadores de sesiones y registro para este enlace se mantuvieron en 1, 1 y 0.

4.2.2. Enlace Cerro Chino – Mayan Golf

Para el enlace entre Cerro Chino y Mayan Golf, el procedimiento de instalación, alineación y pruebas fue idéntico, únicamente cambiaron los parámetro específicos del enlace y su perfil, lo cual implicó que las orientaciones e inclinaciones de las antenas fueran diferentes.

Vea tabla XI, con datos enlace Cerro Chino – Mayan Golf obtenidos con la herramienta *Link Estimator* de Motorola.

Tabla XI. **Enlace Cerro Chino - Mayan Golf**

Summary	
Link Name	Enlace CerroChino-Mayan Golf
Customer Name	EEGSA
Link Type	*Line of Sight*
Link Distance	12,50 Km
Max EIRP	53,9 dBm
Receiver Sensitivity	-79 dbm
Output Power	30 dBm
Free Space Path Loss	-129,6 dB
Total Link Loss	135,2 dB (*Obstruction and Statistics* 5,6)
RF Frequency Band	5,8 GHz (5,725 *to* 5,850 GHz)
Installation Notes	
Bearing to REMOTE from LOCAL	12,3° *from True North*
Bearing to LOCAL from REMOTE	192,3° *from True North*
Predicted Receive Power	-57,4 dBm
Tilt to REMOTE from LOCAL	-3979
Tilt to LOCAL from REMOTE	3979

Fuente: Motorola. *Software PTP Link Estimator*. Versión 6.00

Vea tabla XII, con datos adicionales para el enlace Cerro Chino - Mayan Golf.

Tabla XII. **Continuación enlace Cerro Chino - Mayan Golf**

Local Site	
Site Name	Cerro Chino
Hardware Platform	5700*BH*20
Antenna Gain	24,0 dBi
Antenna Height	24 *Metres AGL*
Local Site Elevation	2125 *Metres AMSL*
Feeder Loss	0,1 dB
Local Site Location	14°23' 30,6" N 90°36' 36,6" W
Remote Site	
Site Name	Mayan Golf
Hardware Platform	5700*BH*20
Antenna Gain	24,0 dBi
Antenna Height	24 *Metres AGL*
Remote Site Elevation	1293,1 *Metres AMSL*
Feeder Loss	0,1 dB
Remote Site Location	14°30' 5,7" N 90°35' 7,6" W
Link Throughput Availability	
User Throughput Expectation	Aggregate 14.0 Mbps
Availability	99,99999%
Outage	0,05 *Minutes/Year*
Link Optimisation	*Optimised for Latency*

Fuente: Motorola. *Software PTP Link Estimator*. Versión 6.00

En el perfil del enlace se obtuvo un despeje mínimo del haz de 8,4F1 con lo cual el enlace puede considerarse a línea vista. El perfil puede observarse en la figura 9 del capítulo 3.

Adicionalmente se tiene los detalles del enlace obtenidos a través de la herramienta *Radio Mobile*.

Vea figura 16, estadísticas obtenidas con *Radio Mobile* para el enlace Cerro Chino – Mayan Golf.

Figura 16. **Estadísticas enlace Cerro Chino - Mayan Golf**

Fuente: Coudé, Roger. *Software Radio Mobile*. Versión 7.8.7.

4.2.2.1. Configuración de los módulos *Canopy*

El procedimiento utilizado en la instalación de los módulos del enlace Cerro Chino - Mayan Golf fue similar al del enlace Cerro Chino - Segunda Avenida.

Para este enlace se seleccionó la frecuencia de 5,810 GHz.

Vea tabla XIII, indica todos los parámetros configurados en los equipos para enlace Cerro Chino – Mayan Golf.

La orientación e inclinación fueron diferentes. En Mayan Golf 192,3 grados N y +4 grados de *tilt*, y en Cerro Chino 12,3 grados N y -4 grados de *tilt*.

Los niveles de señal obtenidos fueron muy buenos con -56 dBm y un *jitter* de 4. Con las pruebas de capacidad y revisión de contador de sesiones se obtuvieron eficiencias de aproximadamente 100 % y los contadores en 1, 1 y 0.

Tabla XIII. **Parámetros enlace Cerro Chino - Mayan Golf**

Ventanas	**Parámetros**	***Canopy* Mayan Golf**	***Canopy* Cerro Chino**
General	*Timing mode*	*Timing master*	*Timing slave*
	Link speeds	Auto	Auto
	Sync input	*Select generate sync signal*	No aplica
	Power up in AIM mode	No aplica	Deshabilitado
	Power up in operational mode	No aplica	Habilitado
	2X *rate*	*Enable*	*Enable*
IP	IP address	172.21.254.103	172.21.254.104
	Máscara	255.255.255.0	255.255.255.0
	Gateway	172.21.254.1	172.21.254.1
Radio	*Radio frecuency carrier*	5,810 Ghz	No aplica
	Color code	101	101
	Transmitter output power	1 Watt	1 Watt
	Custom radio frequency scan	No aplica	5,810 GHz

Fuente: elaboración propia.

4.2.2.2 Instalación equipos de red en Cerro Chino

En el Cerro Chino, únicamente fue necesario instalar un *switch* para interconectar los dos módulos *Canopy*. El *switch* fue también un Cisco 2955T, por lo que el montaje y configuración fue idéntico al del sitio Central. Se le configuró la dirección IP 172.21.254.20. Esta dirección esta asociada a la *VLAN* nativa 172.21.254.0.

Únicamente se utilizaron los dos puertos de *uplink*, uno para el equipo *Canopy* hacia Segunda Avenida y el otro para el equipo *Canopy* hacia Mayan Golf. Estos puertos fueron configurados para permitir *trunking* para todas las *VLAN* a utilizarse en el sistema. Los otros 12 puertos quedaron libres pero pueden ser utilizados para conectar algún dispositivo externo, como una cámara IP de video vigilancia para el mismo sitio o cualquier otra aplicación que se considere necesaria. Adicionalmente todos los puertos pueden soportar la *VLAN* nativa, por lo que si se conecta una *laptop* configurada con una IP dentro de la *VLAN* nativa, se puede gestionar toda la red desde este punto.

Utilizando comandos básicos de Cisco, se configuró el *switch*, iniciando con la asignación de un nombre exclusivo y las contraseñas correspondientes, esto en el modo de configuración global y mediante los siguientes comandos.

```
Switch>enable
Switch#configure terminal
Switch(config)#hostname SW_CERROCHINO
SW_CERROCHINO(config)#enable password 1234
SW_CERROCHINO(config)#enable secret 1234
SW_CERROCHINO(config)#line console 0
SW_CERROCHINO(config-line)#login
```

```
SW_CERROCHINO(config-line)#password 1234
SW_CERROCHINO(config)#line vty 0 4
SW_CERROCHINO(config-line)#login
SW_CERROCHINO(config-line)#password 1234
```

Para configurar la dirección IP se debe hacer sobre una interfaz de *VLAN*. Por defecto la *VLAN* 1 es *VLAN* nativa del *switch*.

```
SW_CERROCHINO(config)#interface VLAN 1
SW_CERROCHINO(config-VLAN)#ip address 172.21.254.20
255.255.255.0
SW_CERROCHINO(config-VLAN)#no shutdown
SW_CERROCHINO(config)#ip default-gateway 172.21.254.1
```

Se habilitaron también los puertos troncales, que trasladarán la información de todas las *VLAN* a los *switch* y *routers* vecinos. En este caso se usaron los 2 puertos 10/100/1000Base-T como puertos de *trunking*, ambos conectados a equipos *Canopy*.

```
SW_CERROCHINO(config)#interface FastEthernet 1/1
SW_CERROCHINO(config-if)#switchport mode trunk
SW_CERROCHINO(config-if)#switchport trunk encapsulation Dot1q
SW_CERROCHINO(config-if)#switchport trunk allowed VLAN 1,101-110
SW_CERROCHINO(config-if)#switchport trunk native VLAN 1
SW_CERROCHINO(config)#interface FastEthernet 1/2
SW_CERROCHINO(config-if)#switchport mode trunk
SW_CERROCHINO(config-if)#switchport trunk encapsulation Dot1q
SW_CERROCHINO(config-if)#switchport trunk allowed VLAN 1,101-110
SW_CERROCHINO(config-if)#switchport trunk native VLAN 1
```

4.3. Instalación equipos en Mayan Golf

En Mayan Golf, adicional al equipo *Canopy* instalado para el enlace hacia Cerro Chino, se instaló el *switch* para la red de datos del sitio y las interfaces necesaria para gestionar los IED.

4.3.1. Red LAN en Mayan Golf

En Mayan Golf, igual que en todos los sitios anteriormente mencionados, se instaló un *switch* Cisco 2955T, con varias *VLAN*.

A este *switch* se le conectaron los siguientes dispositivos. Cinco interfaces para los IED existentes de la subestación. Una interfaz hacia la UTR para la comunicación SCADA. Adicionalmente quedaron disponibles los puertos para una cámara IP y un teléfono IP. En los puertos de *uplink* se conectó al primero el equipo *Canopy* y el otro se dejó libre.

Se usaron 5 puertos para IED, los primeros tres para los DPU2000R de los circuitos 171, 172 y 173, el cuarto para el DPU2000R del interruptor principal y el quinto para el TPU2000R.

Los puertos de *uplink* se utilizaron como puertos de *trunking*, el primero 1/1 hacia el *Canopy* y el segundo 1/2 reservado para un uso futuro como enlace de respaldo.

Vea tabla XIV, indica todos los parámetros configurados al *switch* en Mayan Golf.

Tabla XIV. **Configuración switch Mayan Golf**

VLAN	**Nombre**	**Dirección de red**	**Máscara de subred**	***Gateway***	**Puerto *switch* central**
VLAN 1	Nativa	172.21.254.0	255.255.255.0	172.21.254.1	Puertos sin Tag de *VLAN*
VLAN 101	IED	172.21.1.0	255.255.255.0	172.21.1.1	0/1, 0/2, 0/3, 0/4 y 0/5
VLAN 102	SCADA	172.21.2.0	255.255.255.0	172.21.2.1	0/6
VLAN 103	Video	172.21.3.0	255.255.255.0	172.21.3.1	0/7
VLAN 104	Voz	172.21.4.0	255.255.255.0	172.21.4.1	0/8

Fuente: elaboración propia.

4.3.1.1 Montaje mecánico

Sin duda, uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta fue la realización del cableado. Se tuvo cuidado en realizar las conexiones de *shield* en un solo extremo para evitar que este sirva de *loop* para las corrientes de falla. En general, el montaje mecánico de este equipo fue similar al del *switch* central.

4.3.1.2 Configuración

El *switch* se configuró de manera similar al instalado en Segunda Avenida y Cerro Chino, existiendo unas pequeñas variaciones, específicamente en lo referente a que tiene conectados 5 IED.

```
Switch>enable
Switch#configure terminal
Switch(config)#hostname SW_MAYANGOLF
SW_MAYANGOLF(config)#enable password 1234
SW_MAYANGOLF(config)#enable secret 1234
SW_MAYANGOLF(config)#line console 0
SW_MAYANGOLF(config-line)#login
SW_MAYANGOLF(config-line)#password 1234
SW_MAYANGOLF(config)#line vty 0 4
SW_MAYANGOLF(config-line)#login
SW_MAYANGOLF(config-line)#password 1234
```

Se configuró la dirección IP del *switch* 172.21.254.30 en la *VLAN* 1.

```
SW_MAYANGOLF(config)#interface VLAN 1
SW_MAYANGOLF(config-VLAN)#ip address 172.21.254.30 255.255.255.0
SW_MAYANGOLF(config-VLAN)#no shutdown
SW_MAYANGOLF(config)#ip default-gateway 172.21.254.1
```

Los puertos todos se configuraron en modo auto tanto para la velocidad como para la forma de transmisión.

Se asignaron todas las *VLAN* correspondientes, en este caso la *VLAN* 101 a usarse para los IED, se configuró en los primeros 5 puertos.

```
SW_MAYANGOLF#VLAN database
SW_MAYANGOLF(VLAN)#VLAN 101 name IED
SW_MAYANGOLF(VLAN)#exit

SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/1
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport access VLAN 101
SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/2
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport access VLAN 101
SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/3
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport access VLAN 101
SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/4
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport access VLAN 101
SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/5
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport access VLAN 101
```

De manera adicional se agregaron las otras *VLAN*.

La *VLAN* 102 para SCADA y se le asignó el puerto 0/6.
La *VLAN* 103 para Video y se le asignó el puerto 0/7.
La *VLAN* 104 para Voz y se le asignó el puerto 0/8.

Los puertos de *uplink* se configuraron como puertos de *trunking* utilizando encapsulación 802.1q.

```
SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 1/1
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport mode trunk
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport trunk encapsulation Dot1q
```

```
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport trunk allowed VLAN 1,101-110
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport trunk native VLAN 1

SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 1/2
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport mode trunk
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport trunk encapsulation Dot1q
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport trunk allowed VLAN 1,101-110
SW_MAYANGOLF(config-if)#switchport trunk native VLAN 1
```

Por último se configuró QoS.

```
SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/1
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS 2
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS override
SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/2
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS 2
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS override
SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/3
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS 2
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS override
SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/4
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS 2
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS override
SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/5
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS 2
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS override

SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/6
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS 5
```

```
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS override

SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/7
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS 6
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS override

SW_MAYANGOLF(config)#interface FastEthernet 0/8
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS 7
SW_MAYANGOLF(config-if)# mls QOS COS override
```

4.3.2. Interfaces para IED

Como es el objetivo del proyecto, habilitar la conectividad a los relevadores de la subestación Mayan Golf para permitir que sean gestionados remotamente. La implementación se enfocó en el acceso remoto a los IED, aunque esto no implica que las lecturas SCADA no puedan ser enviadas a través de la red, ya que fue creada una *VLAN* específica para dicha aplicación.

En total se instalaron 5 interfaces. 4 para relevadores DPU2000R y 1 para el TPU2000R.

Se utilizó el convertidor *Netport* modelo AMC232LAN de la marca *Alphamicro*. Este tiene un puerto RS232 DTE el cual se conectó al IED, y un puerto *Ethernet* UTP RJ45, el cual se conectó al puerto correspondiente del *switch* en la subestación.

4.3.2.1. Conexión hacia los IED

Del lado del IED, tanto para el DPU2000R como para el TPU2000R se utilizó el puerto trasero COM3, el cual es aislado con configuración DTE, por lo que para realizar la conexión hacia el *Netport* se usó un cable *Null Modem*, que no es más que un cable cruzado. No se habilitó el control de flujo dado que la interconexión es bastante corta.

Vea tabla XV, muestra la conexión DTE – DTE entre IED y *Netport*.

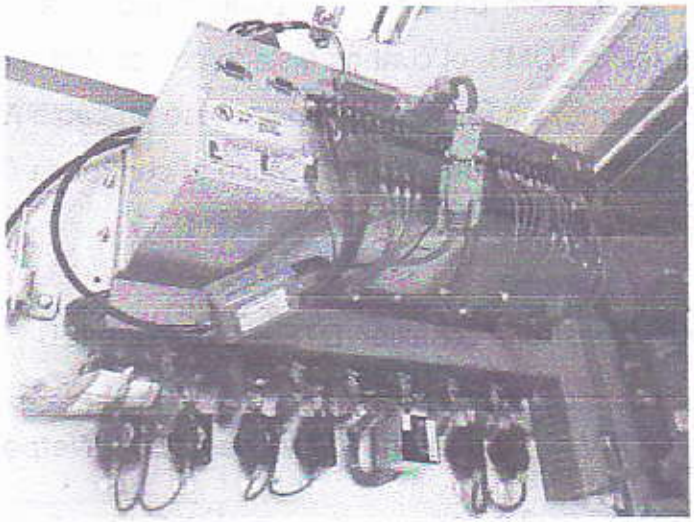
Tabla XIV. **Conexión *Null Modem* IED – *Netport***

IED	*Netport*	Función	
2	3	Rx	Tx
3	2	Tx	Rx
5	5	*Signal ground*	

Fuente: elaboración propia.

Vea figura 17, imagen de conexión realizada entre IED y *Netport*.

Figura 17. **Conexión IED - *Netport***



Fuente: Empresa Eléctrica de Guatemala.

Para permitir la conectividad fue necesario configurar el puerto COM 3 de los IED a través del panel frontal de la siguiente manera:

Set	*PC port*
Serial communications port	com3
Baud rate	9600
Frame rate	N-8-1
Unit address	171
Control de flujo	*none*
Return to menu	

Como se puede observar en dicha configuración cada IED tiene su propia dirección para acceder a él a través del comando *unit address*.

En este caso al DPU del circuito 171, se le configuró la dirección 171, al DPU del 172 la dirección 172 y al DPU del 173 la dirección 173. Para el DPU del interruptor principal, se le configuró la dirección 2 y al TPU la dirección 3.

4.3.2.2. Conexión hacia el *switch*

Del lado del *switch*, se conectaron las 5 interfaces a los primeros 5 puertos, los cuales ya estaban previamente configurados para la *VLAN* 101 que es la que se reservó para la gestión de los IED.

Para la conexión se utilizaron cables de red rectos con conector UTP con *shield* en ambos extremos, pero teniendo cuidado en conectar el *shield* solamente del lado del *switch*. Los puertos se utilizaron de la siguiente manera. Al puerto 1 se conectó la interfaz del circuito 171, al puerto 2 la del circuito 172, al puerto 3 la del circuito 173, al puerto 4 la del interruptor principal y al puerto 5 la del TPU2000R.

4.3.2.3. Configuración de las interfaces

A todas las interfaces fue necesario definirles la dirección IP y el puerto TCP a usarse para transportar la aplicación de gestión remota. También se configuraron los parámetros del puerto serial para interconexión con los IED.

Las direcciones IP se configuraron como sigue, 172.21.1.171 para el circuito 171, 172.21.1.172 para el circuito 172, 172.21.1.173 para el circuito 173, 172.21.1.2 para el interruptor principal y 172.21.1.3 para el TPU2000R. El *gateway* será el 172.21.1.1 con máscara 255.255.255.0. Se usó el puerto TCP 3001, aunque debido al *offset* de 11 000 mencionado anteriormente, en los *Netport* se configuró como 14 001.

El puerto serial se ajustó con parámetros similares a como quedaron configurados los IED, esto es 9600 baudios, número de bits 8, paridad *none*, bits de parada 1 y control de flujo *none*.

Todas las configuraciones se hicieron a través del *software DeviceInstaller* que viene con las unidades.

Vea tabla XVI, que muestra la configuración completa de las interfaces y los IED.

Tabla XVI. **Configuración interconexión *Netport*-IED**

IED		*Netport*		*Switch*
Dispositivo	*Unit address*	IP *address*	TCP *Port*	Puerto
DPU2000R Circuito191	171	172.21.1.171	14001	1
DPU2000R Circuito192	172	172.21.1.172	14001	2
DPU2000R Circuito193	173	172.21.1.173	14001	3
DPU2000R Interruptor Principal	02	172.21.1.2	14001	4
TPU2000R	03	172.21.1.3	14001	5

Fuente: elaboración propia.

4.3.2.4. Acceso a los IED

Para probar el acceso a los IED fue necesario utilizar una *laptop* en el sitio central, la cual se conectó al puerto 12 del *switch*, por defecto en la *VLAN* nativa. Se le asignó la IP 172.21.254.250.

En primer lugar se instalaron dos programas a está *laptop*. Los dos son necesarios para cualquier computadora que requiera gestionar remotamente los IED. El primero es el *ComPortRedirector* y su función es crear un puerto COM virtual en la PC asociado a una dirección IP. El segundo, el *software* propietario del IED, en este caso el WinECP, utilizándose para administrar los relevadores de ABB tales como DPU2000R y TPU2000R. Este *software* se utiliza comúnmente para gestionar localmente los relés, pero ahora, gracias al proyecto, se puede hacer también de forma remota.

4.3.2.4.1. *ComPortRedirector*

El *ComPortRedirector* es un *software* libre que habilita la comunicación hacia y de un dispositivo serial vía un puerto COM virtual configurado en una PC.

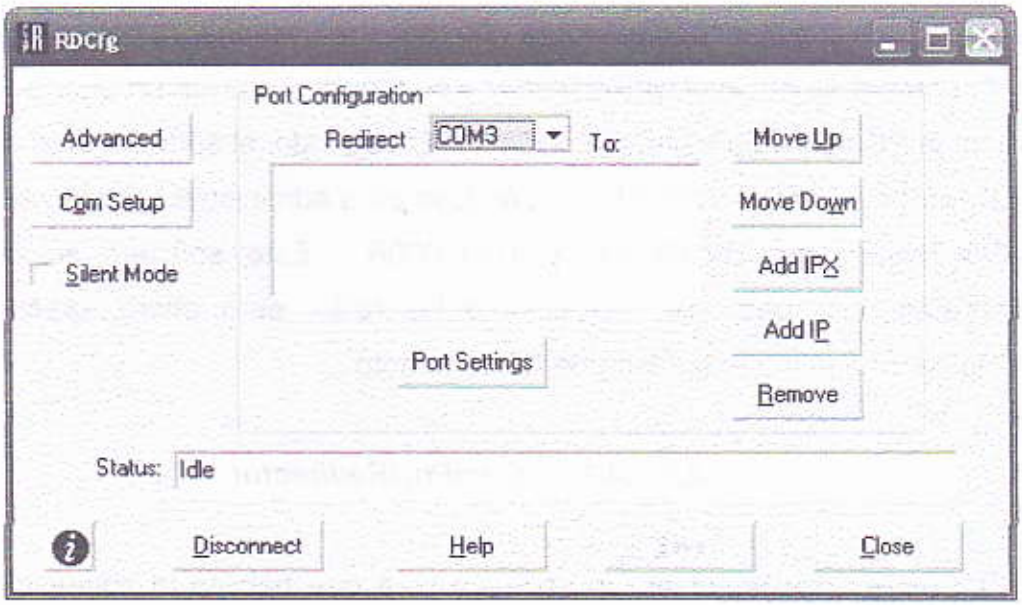
En esencia el *ComPortRedirector* crea un puerto Com virtual, COMx, el cual se conecta, vía TCP/IP y a través de la red, al dispositivo *Netport* u otra interfaz *Ethernet* a serial. Todos los datos pueden ser enviados transparentemente a y desde este puerto COMx.

El proceso necesario para la utilización del *ComPortRedirector* fue el siguiente.

En primer lugar se instaló el *software* en la *laptop* a usar para el acceso remoto a los IED.

Al abrir el programa, presenta la pantalla mostrada en la siguiente figura 18.

Figura 18. **Pantalla principal *ComPortRedirector***

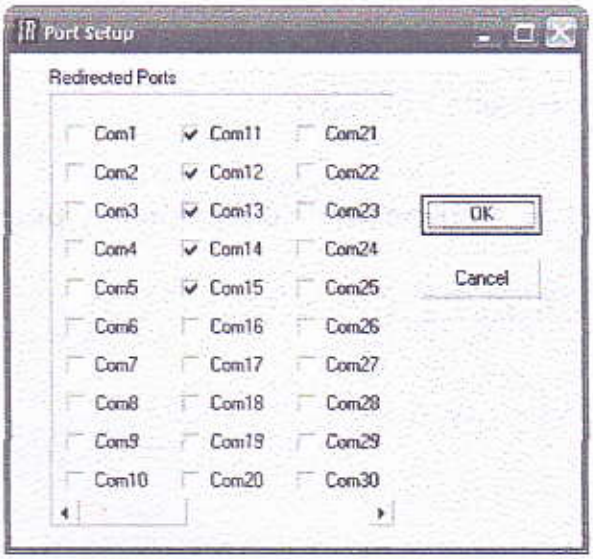


Fuente: Lantronix. *Software ComPortRedirector.* Versión 2.2.

En esta ventana se selecciona el icono Com *Setup* para habilitar los puertos que se van a utilizar como puertos virtuales. En este caso se habilitó el COM11, COM12, COM13, COM14 y COM15.

Tomar en cuenta que los primeros puertos COM regularmente son puertos físicos que están siendo utilizados por el equipo.

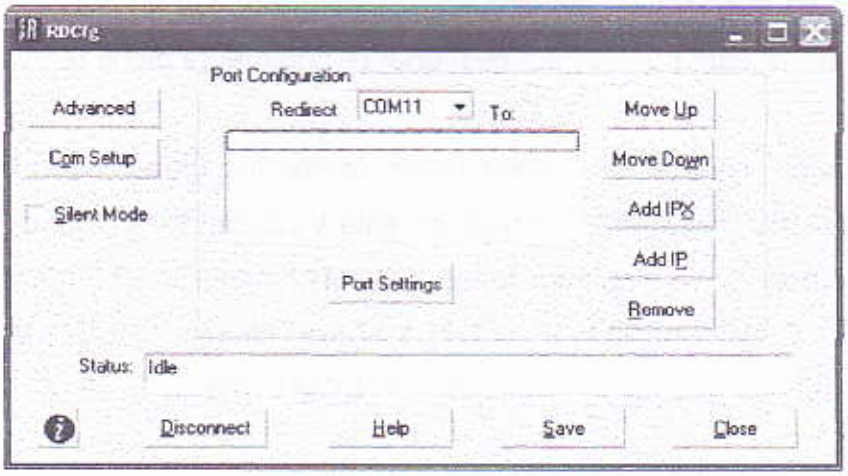
Figura 19. **Habilitación de puertos COM virtuales a utilizar**



Fuente: Lantronix. *Software ComPortRedirector*. Versión 2.2.

Posteriormente, se selecciona en la ventana principal del *software*, el puerto virtual a configurar, se empezó con el COM11.

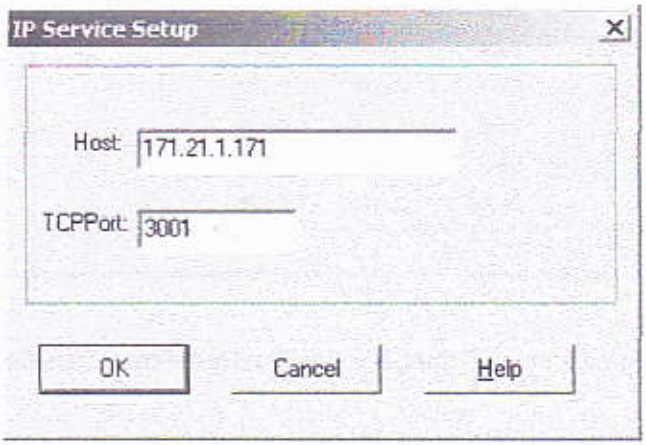
Figura 20. **Selección del puerto virtual a configurar**



Fuente: Lantronix. *Software ComPortRedirector*. Versión 2.2.

Utilizando el comando *AddIP*, en la ventana principal, se configura hacia que IP vamos a direccionar los datos que ingresen a este COM virtual y en que puerto TCP. En este caso el COM11 se direccionó a la IP 172.21.1.171 (IED del circuito 171) con el puerto TCP 3001.

Figura 21. **Asignación de dirección IP y puerto TCP**



Fuente: Lantronix. *Software ComPortRedirector*. Versión 2.2

Concluido esto, se tenía el puerto virtual COM11 redireccionado hacia el DPU2000R en Mayan Golf del circuito 171 con la IP 172.21.1.171. Por lo que se puede utilizar este puerto para gestionar remotamente dicho relevador.

De igual manera se configuraron todos los otros puertos virtuales direccionándolos hasta la IP correspondiente y utilizando el puerto TCP 3001. Estos quedaron de la siguiente forma. COM12 hacia la IP 172.21.1.172 del circuito 172. COM13 hacia la IP 172.21.1.173 del circuito 173. COM14 hacia la IP 172.21.1.2 del interruptor principal. Y COM15 hacia la IP 172.21.1.3 del TPU2000R.

4.3.2.4.2. *WinECP*

WinECP es un programa para gestionar los relés de protección de ABB. WinECP se instala en una PC y se comunica a los relés vía los puertos seriales de esta. WinECP puede operar en modo *offline*, *direct access* y *remote access*.

En el modo *offline* WinECP no se comunica con el relé sino con los archivos de datos que han sido salvados previamente.

En el modo directo, se realiza la conexión al relé a través del puerto serial de la computadora. Aunque hoy en día el *software* viene con la opción para realizar conexiones *Ethernet*, debido a la versión de IED que se tienen en las subestaciones esto aún no es posible.

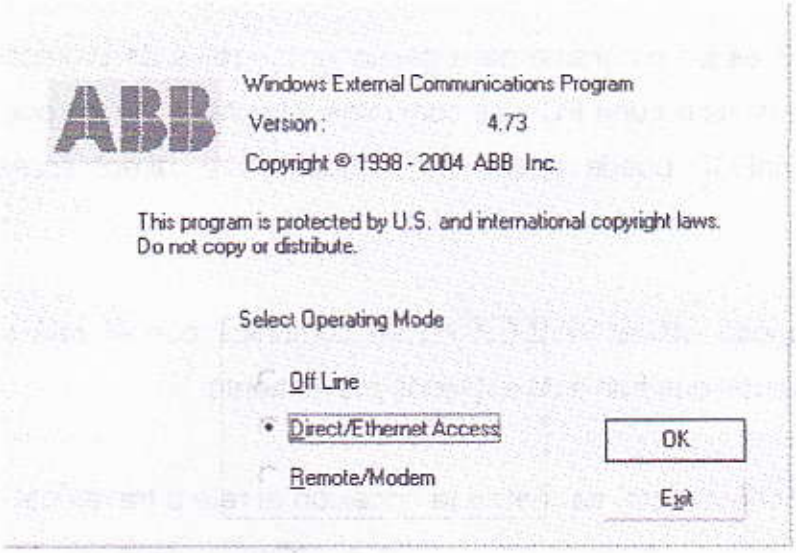
En el modo remoto se pueden gestionar a distancia los IED a través de un módem y una línea telefónica.

La primera ventana que se obtiene al abrir el WinECP es el menú *Select Operating Mode,* donde se selecciona el modo de trabajo *offline*, directo o remoto.

En este caso se seleccionó *direct access* ya que a través del convertidor *Netport* y el *software* redirector se habilita la conexión remota.

Vea la figura 22, que muestra la ventana inicial del *software* WinECP.

Figura 22. **Ventana inicial WinECP**



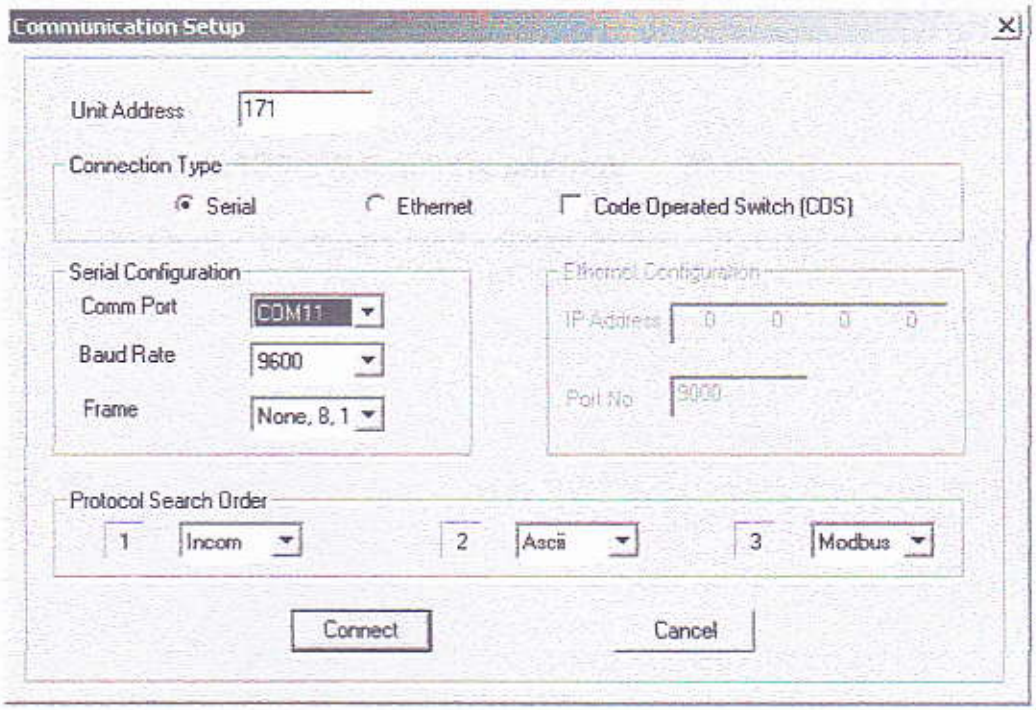
Fuente: ABB Inc. *Software* WinECP. Versión 4.73.

Seleccionado *direct access* abre una nueva ventana donde se configuran los parámetros de conexión.

Para la conexión específica al circuito 171 en Mayan Golf se configuró el acceso de la siguiente forma. *Unit address* 171. Puerto virtual COM11 direccionado a la IP 172.21.1.171. Finalmente se configuró el puerto serial a 9600 baudios, paridad *none*, 8 bits de datos, 1 bit de parada y se pulsa conectar.

Vea la figura 23, muestra la configuración de conexión al IED en el WinECP.

Figura 23. **Configuración de conexión**



Fuente: ABB Inc. *Software* WinECP. Versión 4.73.

Al seleccionar conectar, el *software* intentó conectarse utilizando el puerto virtual COM11, lo que inmediatamente abrió una ventana (véase figura 24) donde el *ComPortRedirector* indica la dirección IP de la interfaz remota a la que está direccionando los datos y el puerto TCP que está utilizando.

Figura 24. **Conexión mediante puerto virtual**

Fuente: ABB Inc. *Software* WinECP. Versión 4.73.

Después de haber establecido la conexión al relé desde un punto remoto, se tuvo acceso a utilizar las funciones del WinECP para gestionar los IED desde la ventana principal, la cual se muestra a continuación.

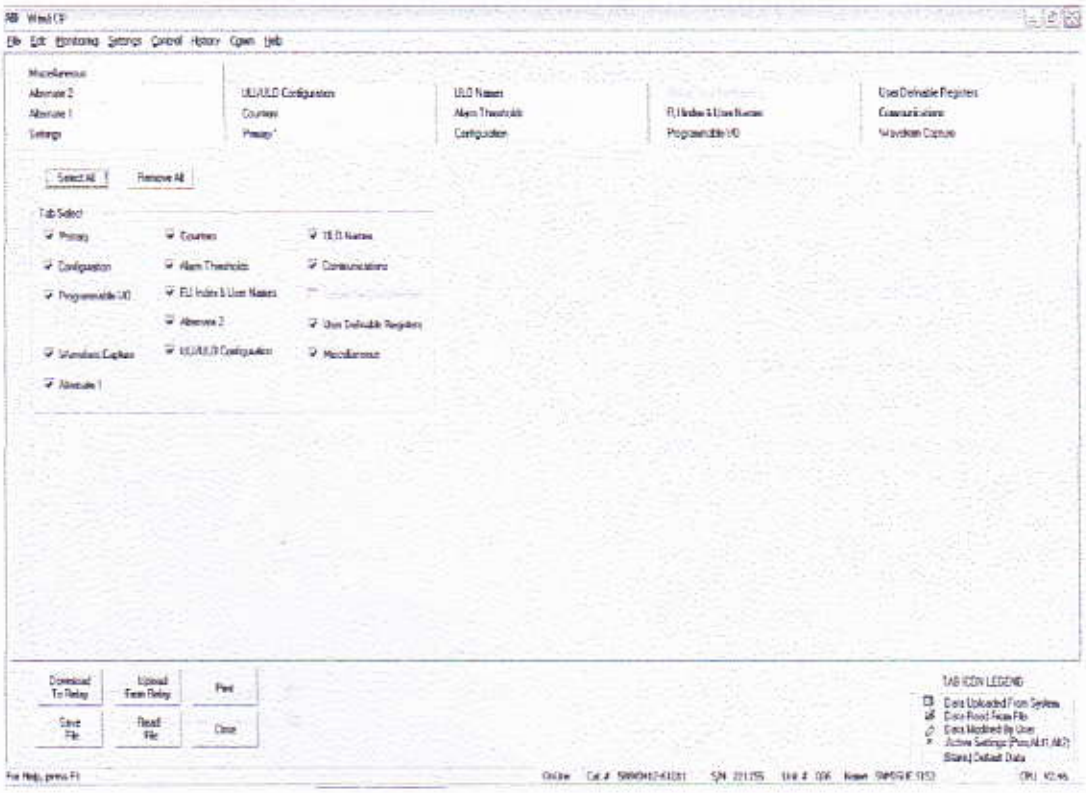
Figura 25. **Ventana principal WinECP**

Fuente: ABB Inc. *Software* WinECP. Versión 4.73.

Para salvar todos los datos del IED a un archivo en el disco duro, en primer lugar se seleccionó la pestaña superior *Settings*. Esto abrió una nueva ventana donde se escogieron los datos a grabar. Una vez hecha la selección, utilizando el icono *Upload Froam Relay* se inició la obtención de datos.

Completada la tarea, se grabó el archivo con la información obtenida.

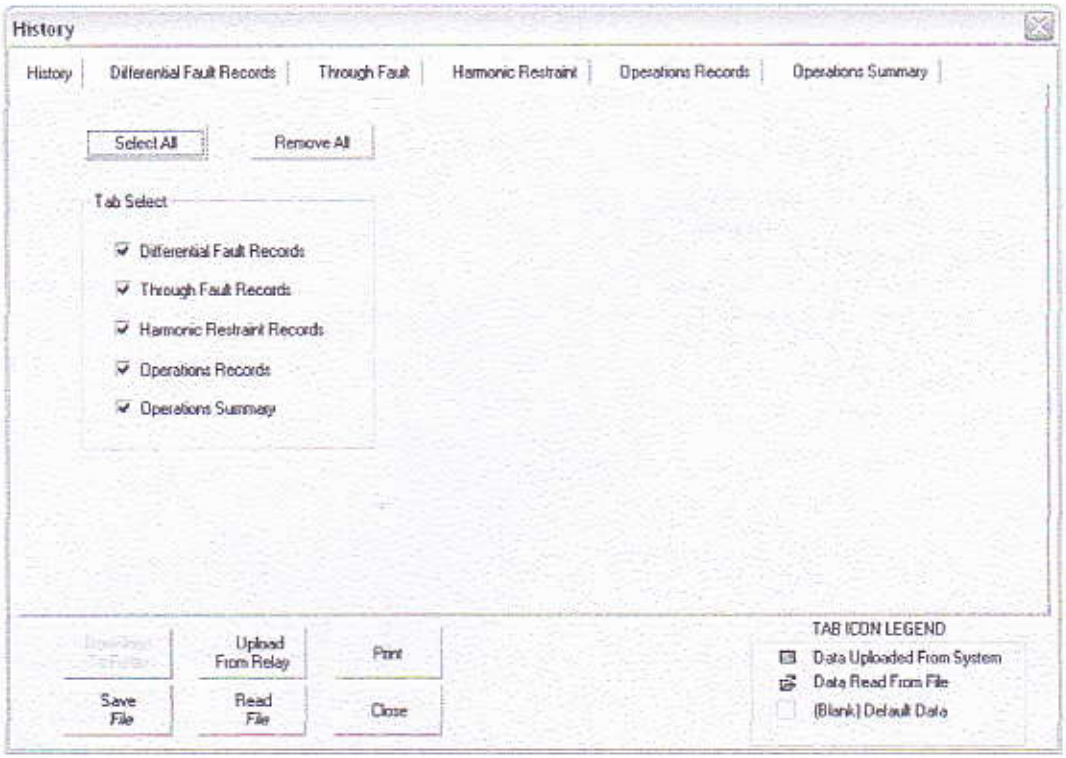
Figura 26. **Ventana *Settings* WinECP**



Fuente: ABB Inc. *Software* WinECP. Versión 4.73.

Para revisar el historial de eventos o fallas en el IED se utilizó la pestaña *History* del menú principal. Similarmente a la ventana *Settings*, aquí se pudo filtrar que información o datos obtener, y darle *click* al icono para obtener dichos datos.

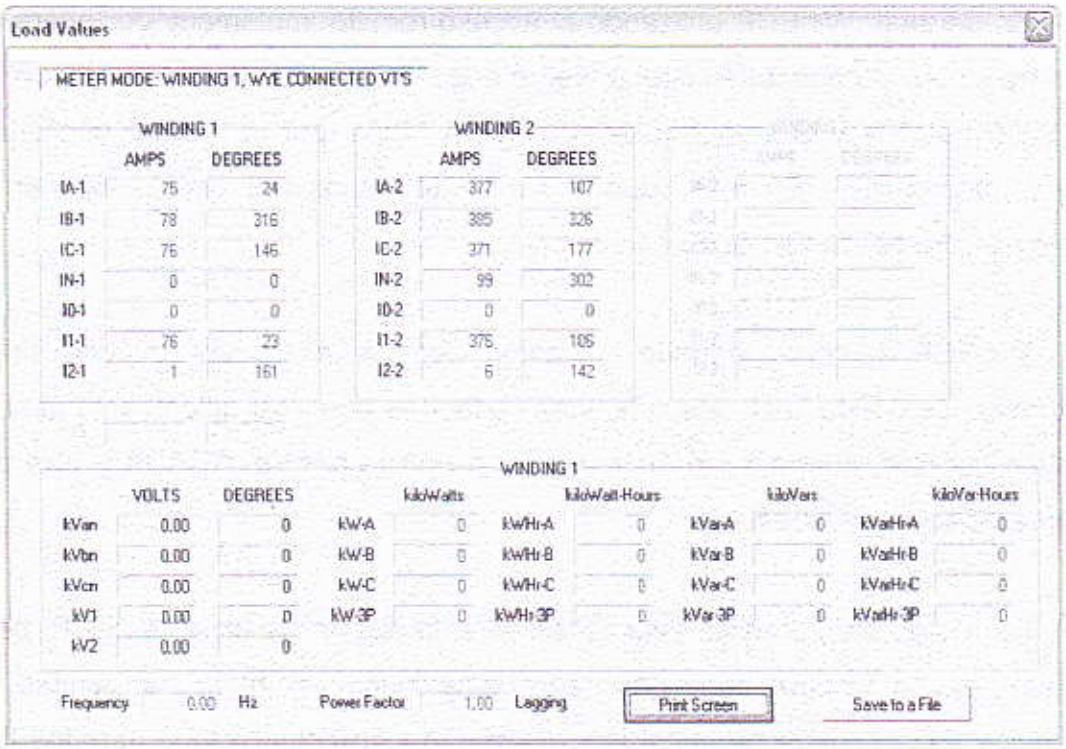
Figura 27. **Ventana *History* WinECP**



Fuente: ABB Inc. *Software* WinECP. Versión 4.73

Adicionalmente dándole *click* a la pestaña *Monitoring* en el menú principal, se pudo obtener en tiempo real, lecturas analógicas de voltaje, corriente, potencia, energía y también el estado de las entradas y salidas digitales.

Figura 28. **Ventana *Monitoring* WinECP**



Fuente: ABB Inc. *Software* WinECP. Versión 4.73

En la pestaña *Control*, se pudo abrir la ventana correspondiente para manipular el *recloser*, esto es abrirlo o cerrarlo, forzar alguna salida digital ó resetear alguna bandera o contador.

Así mismo en el menú *Comm* se pudo ver la configuración y el estado de los puertos de comunicación y realizar las configuraciones necesarias.

4.4 Discusión y pruebas finales

En general, WinECP utilizando el acceso remoto implementado, opera de manera similar a conectarse directamente a los IED, ya que la conexión local es de 9600 baudios y el enlace instalado de 14 Mbps, por lo que no constituye cuello de botella. Es más, queda suficiente capacidad para implementar cualquier otra aplicación que se requiera.

WinECP también permite conexión remota a través de una línea telefónica, pero esto implica que la línea se tendría que usar únicamente para la gestión del relé, aparte seria necesario otro enlace para el SCADA y otro por cada aplicación adicional.

La opción para conexión vía *Ethernet*, está disponible en el WinECP, pero ningún relé de EEGSA tiene habilitada dicha función e implica el cambio de todos los IED. La idea propuesta es utilizar las interfaces *Netport* para los IED existentes y establecer un plan para que todos los equipos nuevos vengan habilitados con dicha funcionalidad.

Como se vio anteriormente, el precio de una interfaz para habilitar en un IED la conectividad *Ethernet* es de solo 90 dólares. Todos los costos adicionales como *switches*, cableado, enlaces de comunicación IP, etc., son inversiones que hay que realizar en cualquier momento para preparar la conectividad de las subestaciones a las nuevas tecnologías.

Específicamente en Mayan Golf, con la nueva red *Ethernet* instalada, es posible transportar un sinnúmero de aplicaciones, teniendo cuidado en manejar adecuadamente el ancho de banda disponible. A modo de prueba, se instaló una cámara IP, monitoreándola desde la Segunda Avenida.

Los resultados fueron excelentes. La calidad y continuidad de las imágenes fue muy buena, se accedió a las diferentes funcionalidades que la cámara proporciona como *zoom*, *pan*, *tilt*, etc.

Adicionalmente, utilizando un convertidor *Ethernet* a serial modelo *Ethernet*Poll, de la marca DecNet, tanto en Mayan Golf como en la Segunda Avenida, se logró transportar la comunicación SCADA de dicha subestación por la misma red.

Una última aplicación probada y utilizada a través de la misma red es la siguiente.

El sistema de radio *UHF* para comunicación SCADA utiliza un repetidor en Cerro Chino. Esto es, mediante un enlace de radio de Segunda Avenida a Cerro Chino se transportan los datos SCADA, los cuales nuevamente son retransmitidos por un repetidor, desde Cerro Chino hasta todas las subestaciones correspondientes. Lo que se hizo fue utilizar 2 convertidores seriales a IP uno en Segunda Avenida y otro en Cerro Chino para trasladar los datos SCADA a través del enlace *Canopy* instalado con el proyecto. En Cerro Chino, se utilizó un módem para conectar el convertidor serial al transmisor de radio *UFH*, el cual a su vez retransmitió la información a las subestaciones.

Con esto, no sólo se logró utilizar menos equipos, sino que se mejoró la calidad y se disminuyó el retardo. En conclusión se puede ver que el proyecto pretendió, no solamente crear un acceso remoto a los IED, sino que plantear el modelo a seguir para la automatización en las empresas eléctricas.

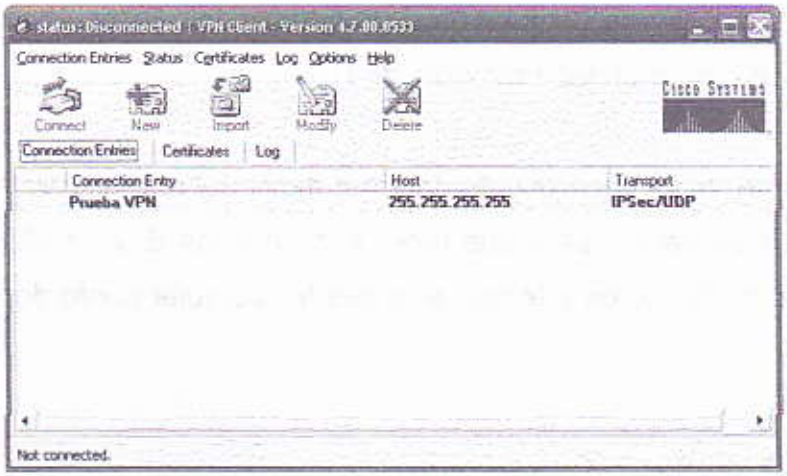
4.4.1. Gestión a los IED desde Internet

En el diseño inicial del sitio central se dejó un *router*, el cual permite, no solo comunicar entre si las diferentes *VLAN*, sino también interconectar la red a la red corporativa de EEGSA. Esto habilitó la gestión de los IED de Mayan Golf, desde cualquier punto en la corporación. Pero esto no es todo, dado que EEGSA cuenta con conexión a Internet con direcciones IP públicas, es posible acceder a la red corporativa y consecuentemente a la red creada para gestionar los IED, desde cualquier punto de Internet, utilizando una conexión *VPN* segura.

En el mercado una de las aplicaciones *VPN* más utilizadas es Cisco *VPN Client*. Lo que se necesita es, en primer lugar, solicitar los permisos correspondientes al departamento de *IT* de EEGSA para que habilite la conexión segura entrante y proporcione los accesos correspondientes. Luego de ello, se necesita instalar el *software* en la *laptop* correspondiente y configurar la *VPN* de acuerdo a los datos proporcionados por *IT*.

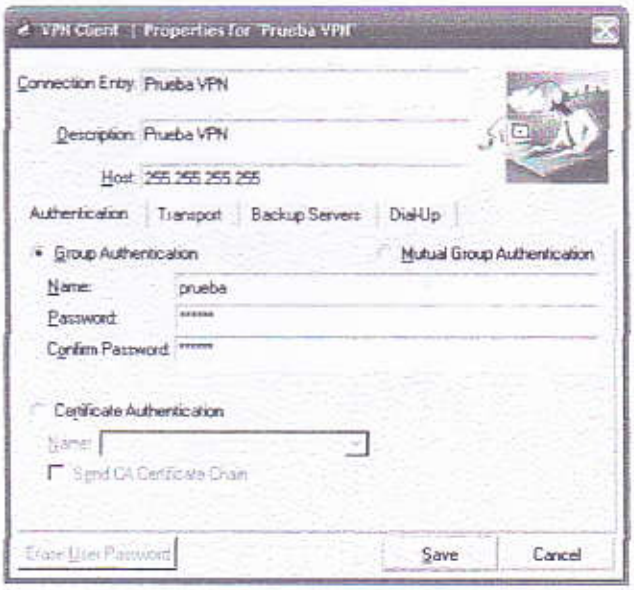
A continuación hay dos imágenes que muestran el *software VPN*. La primera presenta la pantalla principal del programa con la conexión Prueba *VPN* y la segunda un ejemplo de configuración.

Figura 29. **Pantalla principal Cisco *VPN Client***



Fuente: Cisco *Systems*. *Software VPN Client*. Versión 4.7.00.0533

Figura 30. **Pantalla de configuración Cisco *VPN Client***



Fuente: Cisco *Systems*. *Software VPN Client*. Versión 4.7.00.0533.

En esta última ventana se configura el nombre de la conexión, la dirección IP pública de acceso, y, dependiendo del tipo de autenticación se ingresa un nombre de usuario y una contraseña o un certificado. Estos últimos datos los tiene que proporcionar el departamento de *IT*.

Finalmente, si se hace uso del Internet móvil *3G* que actualmente ofrecen las compañías celulares, se puede tener acceso a los IED de Mayan Golf, no solo desde un punto fijo de Internet, sino desde cualquier punto donde se tenga cobertura celular.

CONCLUSIONES

1. Hoy en día es necesario acceder, desde cualquier ubicación en que se encuentre, a todos los equipos y dispositivos de una red automatizada, no sólo para monitorearlos sino también para administrarlos. Este es básicamente el concepto que motivó a realizar el proyecto.

2. Para la automatización de la red, la mayoría de compañías eléctricas de distribución, le restan importancia a la gestión remota de los equipos, únicamente se preocupan por obtener señales de telemetría y realizar operaciones de control. Mientras más datos puedan obtener y puntos controlar se asume que la automatización es mejor.

3. El acceso remoto a los IED, permite hacer cambios en la configuración de estos dispositivos y el diagnóstico de eventos ocurridos en la subestación, desde cualquier lugar que tenga conexión a la red de gestión.

4. La instalación de *Ethernet* industrial en las subestaciones proporciona la interoperabilidad de la red con equipos estándar del mercado.

5. La tecnología IP nos permiten transportar varias aplicaciones a través del mismo canal de datos, representando una ventaja con respecto a las comunicaciones seriales que implican una conexión específica para cada servicio.

6. El enlace de 14 Mbps implementado entre Segunda Avenida y Mayan Golf, es 1458 veces más rápido que una conexión serial tradicional de 9600 baudios. Esto permite transportar no solo la gestión de los IED sino también otras aplicaciones con mucho más consumo de ancho de banda.

RECOMENDACIONES

1. La selección de los equipos y redes a instalar en las subestaciones tiene que estar enfocada en tecnologías de punta, principalmente los protocolos e interfaces de Internet. Para su operación adecuada en ambientes adversos, propios de una subestación eléctrica, estos deben cumplir con los estándares IEC 61850-3 e IEEE 1613.

2. Todas las compañías eléctricas al adquirir nuevos IED deben requerir que estos posean puertos y protocolos que permitan la gestión a través de IP. Esto elimina la necesidad de utilizar convertidores RS232 a *Ethernet* y *software* de adaptación específicos.

3. A primera vista una solución IP para un enlace de datos se ve como una inversión demasiado elevada con relación a un sistema tradicional. Se recomienda cuantificar todos los beneficios adicionales que la tecnología IP ofrece para un sistema de automatización, y sólo cuando estos aspectos hayan sido evaluados, tomar una decisión respecto a la mejor opción en relación costo beneficio.

4. Al utilizar cable UTP apantallado en las subestaciones, si no se tiene la garantía de la calidad de la tierra física, se aconseja que el aterrizamiento del blindaje se realice únicamente en uno de los dos extremos, evitando circuitos para la circulación de corrientes de falla.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABB. *Manual de instrucciones DPU2000R.* USA: ABB, 2002. 238 p.

2. _____. Manual de instrucciones TPU2000R. USA: ABB, 2001. 177 p.

3. _____. Software WinECP. Versión 4.73. 2004.

4. Aplication *note: Com Port Red* [en línea]. Disponible en Web: http://www.eng.usf.edu/~rjguerra/ttyd/redirapp.pdf. [Consulta: 15 de mayo de 2009].

5. *B & B RS232/485 Converter connection to ABB Protective Relays* [en línea]. Disponible en Web:http:*//library*.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/fb5a3162699ad355c1256e51006c9bc8/$File/AN-75A-00.pdf. [Consulta: 22 de marzo de 2009].

6. *Catalyst 2955 switch installation notes* [en línea]. Disponible en Web:http://www.cisco.com/en/US/*docs/switches*/lan/catalyst2955/hard ware/installation/55dinclp.html. [Consulta: 16 de abril de 2009].

7. Cisco *Systems. Catalyst 2950 and Catalyst 2955 switch software configuration guide.* Cisco IOS release 12.1. USA: Cisco Systems, 2006. 698 p.

8. *Cobertura* EEGSA. [en línea]. Disponible en Web:http://www.eegsa.com/cobertura.php. [Consulta: 16 de abril de 2009].

9. *Conversor serie RS232 - RS485* [en línea]. Disponible en Web: http://www.ejanus.com.ar/catalog/pub/131-0560.pdf. [Consulta: 18 de abril de 2009].

10. COUDÉ, *Roger. Software Radio Mobile.* Versión 7.8.7. Enero, 2007. http://www.cplus.org/rmw/english1.html.

11. DÍAS, Pablo. *Soluciones prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos de distribución*. México: McGraw-Hill, 2001. 331 p.

12. Ethernet en la industria [en línea]. Disponible en Web:https://www.icai.es/contenidos/publicaciones/anales_get.php?id=1428. [Consulta: 2 de junio de 2009].

13. Ethernet *in substation automation applications* [en línea]. Disponible en Web: http://www.ruggedcom.com/pdfs/white_papers/*Ethernet*_in_substation_automation_applications.pdf. [Consulta: 18 de mayo de 2009].

14. *Ethernet* to *the Factory 1.2 Design and implementation guide* [en línea]. Disponible en Web: http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Verticals/EttF/EttFbk.pdf. [Consulta: 15 de abril de 2009].

15. *Ethertrak industrial ethernet managed switch* [en línea]. Disponible en Web:http://www.nealsystems.com/pdf/10207/managed_*switches*.pdf. [Consulta: 17 de mayo de 2009].

16. *Grupo EPM reseña histórica EEGSA* [en línea]. Disponible en Web: http://somosgrupoepm.com/NuestrasEmpresas/Energ%C3%ADa/EmpresaEl%C3%A9ctricadeGuatemala.aspx. [Consulta: 22 de mayo de 2011].

17. Historia EEGSA [en línea]. Disponible en Web:http://www.eegsa.com/historia.php. [Consulta: 16 de abril de 2009].

18. *IAONA E.V. Industrial Ethernet Planning and Installation Guide*. Versión 4.0. Alemania: *IAONA E.V.*, 2003. 63 p.

19. Industrial Ethernet [en línea]. Disponible en Web: http://www.cisco.com/*WEB*/strategy/docs/manufacturing/industrial_*Ethernet*.pdf. [Consulta: 16 de abril de 2009].

20. Interfaz RS232 [en línea]. Disponible en Web:http://www.wut.de/e-8wwww-16-apes-000.php. [Consulta: 28 de mayo de 2009].

21. Lantronix. Software ComPortRedirector. Versión 2.2. 2003.

22. MARTÍN, José Raúl. *Diseño de subestaciones eléctricas*. México: McGraw-Hill, 1987. 510 p.

23. Motorola Canopy. [en línea]. Disponible en Web:http://www.solutionbox.com.ar/sbox/catalog/images/brands/sheets/193.pdf. [Consulta: 25 de mayo de 2009].

24. _____. *Canopy system release 8 user guide. USA:* Motorola, 2006. 525 p.

25. _____. *Software PTP link estimator.* Versión 6.00. Septiembre, 2006.

26. *Netport* Ethernet *to RS232 cable adapto* [en línea]. Disponible en Web: http://www.openxtra.co.uk/sites/openxtra.co.uk/files/download/*Netport*_PB_V2_1.pdf. [Consulta: 17 de mayo de 2009].

27. *Netport Quick Start Guide* [en línea]. Disponible en Web: www.penxtra.co.uk/sites/openxtra.co.uk/files/download/*Netport*_Quick_Start_Guide_V1.1.pdf. [Consulta: 6 de abril de 2009].

28. *PTP* Link Estimator *user manual.* USA: Motorola, 2008. 93 p.

29. Puertos *TCP/IP* [en línea]. Disponible en Web: http://es.*kioskea*.net/contents/internet/*Port*.php3. [Consulta: 25 de enero de 2009].

30. Resumen *configuración VLAN* [en línea]. Disponible en Web: www.oocities.org/hilmarz/cisco/resumen_*VLAN*.doc. [Consulta: 5 de abril de 2009].

31. Rugged *switch RS900G* [en línea]. Disponible en Web: www.ruggedcom.com/pdfs/installation_guides/rs900G_installationguide.pdf. [Consulta: 18 de mayo de 2009].

32. SAP historia de éxito Empresa Eléctrica de Guatemala [en línea]. Disponible en Web: http://www.sap.com/mexico/ecosystem/customers/pdf/electirica-guatemala.pdf. [Consulta: 22 de mayo de 2009].

33. SCADA [en línea]. Disponible en Web: http://es.wikipedia.org/wiki/SCADA [Consulta: 20 de febrero de 2009].

34. Schweitzer *Engineering Laboratories. Manual de instrucciones SEL-351R. USA: Schweitzer Engineering Laboratories*, 2007. 606 p.

35. Sistema SCADA [en línea]. Disponible en Web: http://www.monografias.com/trabajos11/sisco/sisco. [Consulta: 23 de mayo de 2009].

36. Sistemas SCADA para subestaciones eléctricas [en línea]. Disponible en Web: http://www.sertiic.cl/documentos/doc.pdf. [Consulta: 23 de mayo de 2009].

37. *Software VPN Client*. Versión 4.7.00.0533. 2005.

38. Tutorial *Radio Mobile* [en línea]. Disponible en Web: http://www.gatv.ssr.upm.es/stelradio/RDCM/adjuntos/material_consulta/Manuales%20del%20programa%20Radio%20Mobile/Manual%20de%20Radio%20Mobile.pdf. [Consulta: 5 de mayo de 2009].