

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



DESCRIPCIÓN DEL CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA AMPLIACION DE UNA BAHÍA DE SUBESTACIÓN

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR

PAVEL JOHNATAN SANCHEZ YALLICO

**PROMOCIÓN
2008- II**

**LIMA – PERÚ
2013**

DESCRIPCIÓN DEL CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA AMPLIACIÓN DE UNA BAHÍA DE SUBESTACIÓN

Agradezco a mis padres, Mariano y Yolanda, mis hermanos Adela y Fernando, a mis abuelos José y Hortencia. Baso la consecuencia de cada uno de mis actos en ellos.

SUMARIO

El presente informe tiene como objetivo principal mostrar el modelo de integración a través del protocolo de comunicaciones IEC 61850, del cual se desarrollará los conceptos teóricos fundamentados en la norma desarrollada por la Comisión Electrotécnica Internacional.

Se pretende mostrar los aplicativos de la norma IEC 61850 en la integración por comunicaciones de los componentes o IED's de una bahía, mostrando en estas los niveles de comunicación de autoridad y mando en el sistema de control y monitoreo de una Subestación.

Asimismo se describirá sobre la arquitectura de control y comunicación de la Línea las Flores 220kV – Subestación Chilca, propiedad de la empresa ISA – REP, la cual integrará su data a través del protocolo descrito hacia un Controlador de Subestación SICAM PAS. Finalmente, se pretende mostrar el comportamiento del sistema de Automatización de dicha subestación en base a la arquitectura de control y comunicación para la Línea Las Flores.

ÍNDICE

PRÓLOGO

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES.....2

1.1 Introducción2

1.2 Reseña Histórica.....2

CAPÍTULO II

MARCO CONCEPTUAL 4

2.1 Protocolo IEC 61850 4

2.1.1 Introducción 4

2.1.2 Estructura Normativa del IEC 61850 4

2.1.3 Modelo de Datos y Servicios..... 9

2.2 Protocolo Ethernet 17

2.2.1 Switch 19

2.2.2 Secuencia de Eventos RSTP 20

2.2.3 Conformación de la red en cascada 20

2.2.4 Detección de una falla en la red y su cicatrización 20

2.2.5 Restablecimiento de la red 21

2.2.6 Desempeño del proceso RSTP 22

2.3 TCP/IP, UDP/IP 23

2.3.1 Introducción 23

2.3.2 IP (Internet Protocol)..... 23

2.3.3 TCP(Trasmision Control Protocolo) y UDP (User Datagram Protocol) 23

2.4 MMS (Manufacturing Message Specification) 24

2.5 SNTP 25

2.5.1 Introducción 25

2.5.2 Arquitectura 26

2.5.3 Implementación..... 26

2.5.4 Formato de datos 27

2.5.5 Formato del mensaje SNTP 28

2.5.6 Secuencia de Eventos 30

2.5.7	Reloj local	35
2.5.8	Precisión y Propagación de errores	35
2.5.9	Configuración.....	37
2.6	Clasificación OSI.....	37
2.3.1	Capas OSI	38

CAPÍTULO III

APLICACIÓN EN LA AUTOMATIZACIÓN LINEA LAS FLORES DE LA SUBESTACIÓN CHILCA REP EN 220kV

3.1	Introducción	46
3.2	Descripción del Sistema por niveles de integración.....	46
3.2.1	Nivel 0 Celdas de línea Las Flores 220kV	47
3.2.2	Nivel 1 Equipos Siprotec 4	50
3.2.3	Nivel 2	54
3.3	Arquitectura del Sistema de Control y Comunicación.....	58

CONCLUSIONES

ANEXOS: LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

BIBLIOGRAFIA

PRÓLOGO

El protocolo IEC 61850 "*Communication networks and systems in substation*" surge como una alternativa de solución al problema de automatización de Subestaciones, tales demandas han exigido que constantemente el sector eléctrico se encuentre en la búsqueda de nuevas tecnologías y estándares que faciliten o sirvan de guía para las empresas eléctricas en la implementación de sistemas de control, protección, supervisión y medida mucho más flexibles y confiables.

Este informe enfoca su aplicación al uso del protocolo IEC 61850 para la automatización de la ampliación de una bahía en la Subestación Chilca 220kV, se hará comentario de las principales bases de este protocolo, de los objetivos trazados para el orden jerárquico de control sobre esta subestación y los principales objetivos de estos trabajos para cumplir con los requerimientos de la demanda en cuanto a calidad del servicio, flexibilidad, confiabilidad y fácil operación.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Introducción

Los Sistemas Eléctricos de Subestaciones han evolucionado en el tiempo desde una supervisión, control y monitoreo convencional, hasta sistemas automatizados flexibles y confiables.

Estos sistemas automatizados de subestaciones (SAS) han permitido interconectar diferentes equipos de control, protección y medida a través de diferentes protocolos de comunicaciones los cuales han venido evolucionando hasta llegar al protocolo IEC 61850, cuya aplicación permite la interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas por su interfaz abierta.

IEC 61850 permitió de manera confiable y mucho más rápida, transmitir la información recolectada de los diferentes equipos de patio de una subestación (Interruptores, Seccionadores, Transformadores de Corriente y Tensión) y los equipos de protección y medida hacia elementos de mayor jerarquía (RTU's) y Centros de Control de Subestaciones.

Al surgir el estándar IEC 61850, que es el protocolo de comunicación que permite el intercambio de datos entre los diferentes dispositivos electrónicos inteligentes (en adelante, IED's) que intervienen en la automatización de subestaciones, se distribuye las funciones de automatización entre los diferentes IED's, dicha distribución exige el intercambio de datos a través de la red de comunicación. Ethernet que es la tecnología seleccionada por IEC 61850 para la red de área local (LAN).

En el presente informe se trata de explicar la aplicación de la norma IEC 61850 en la automatización de una subestación eléctrica, la cual forma parte del Sistema Interconectado Nacional Peruano.

1.2 Reseña histórica

En los años 90s existían en Europa y USA movimientos paralelos. Mientras la IEC en Europa establecía una norma para las interfaces de los nuevos "dispositivos electrónicos inteligentes" o IEDs (Se trataba de la norma T103 para la interfaz de comunicación de equipos de protección), en los Estados Unidos, el Electric Power Research Institute (EPRI) trabajaba en un proyecto denominado "Utility Communications Architecture" o

UCA para desarrollar una infraestructura común de comunicaciones. La primera norma establecida bajo el concepto de UCA en 1999 fue la norma IEC 60870-6 TASE.2 (ICCP) para la conexión abierta entre centros de control.

En 1995 reconoció la IEC la necesidad de crear una norma general para las redes de comunicación y sistemas en las subestaciones, y creó con ese fin varios grupos de trabajo, conformado por expertos de distintos países y con experiencias tanto en los protocolos IEC 60870 como con UCA. Al mismo tiempo que la IEC trabajaba en este proyecto, la EPRI, desarrollaba el proyecto UCA 2.0 para la definición de las comunicaciones dentro de la subestación. Con el fin de hacer accesible el proyecto UCA 2.0 a un público más grande, la EPRI resolvió publicar el proyecto como un "Reporte Técnico", para no competir en contra de los propósitos de la IEC y se acordó por parte de la IEC y la EPRI, el generar en conjunto una norma de aceptación mundial, la denominaron IEC 61850.

CAPÍTULO II

MARCO CONCEPTUAL

2.1 Protocolo IEC 61850

2.1.1 Introducción

La norma IEC 61850 (*Communication Networks and Systems in Substations*) es un estándar mundial para Sistemas y redes de comunicación en subestaciones el cual fue desarrollado por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Esta norma tiene como características la interoperabilidad, por basarse en interfaces abiertas de comunicación entre diferentes operadores o marcas, permitiendo con esto la integración de forma estándar de equipos de diferentes fabricantes; caracterizada también por el uso de la comunicación por Ethernet, reduciendo el uso del cableado y el aumento de la velocidad de transmisión de datos; esta norma presenta la característica de estabilidad en el tiempo preparada para incorporar nuevas funciones que a la fecha no han sido desarrolladas permitiendo incorporar actualizaciones tecnológicas en el área de las comunicaciones.

En resumen las características más relevantes del estándar IEC 61850 son:

Interoperabilidad. El estándar proporciona la interoperabilidad de dos o más equipos electrónicos inteligentes (IED's intelligent electronic devices) de distintos fabricantes para intercambiar información entre ellos.

Libre configuración. El estándar soporta distintas filosofías y permite la libre asignación de funciones.

Estabilidad a largo plazo. El estándar funciona sobre una red LAN (Local Area Network) de conexión óptica o eléctrica (o mixta), es decir hoy en día Ethernet con velocidad de transmisión de datos de 100 MBit/s, aunque en el apartado 8 de la norma se prevee futuros mapeados que se desarrollan en el mercado.

Comunicación vertical (cliente-servidor). El estándar proporciona la comunicación cliente-servidor, especialmente entre las bahías de las unidades IEDs y el nivel de estación.

Comunicación horizontal (Bahía-Bahía). El estándar proporciona la comunicación ente distintas bahías, mensajes GOOSE.

2.1.2 Estructura normativa del IEC 61850

La estructura normativa del IEC 61850 es aplicado bajo el criterio de división siguiente:

El estándar IEC 61850 se encuentra dividido en 10 capítulos, los cuales llevan como título: “Communications networks and systems in substation” o “Redes de comunicación y sistemas en las subestaciones”.

Está formada por un conjunto de documentos que se estructuran de la siguiente forma (Fig. 2.1):

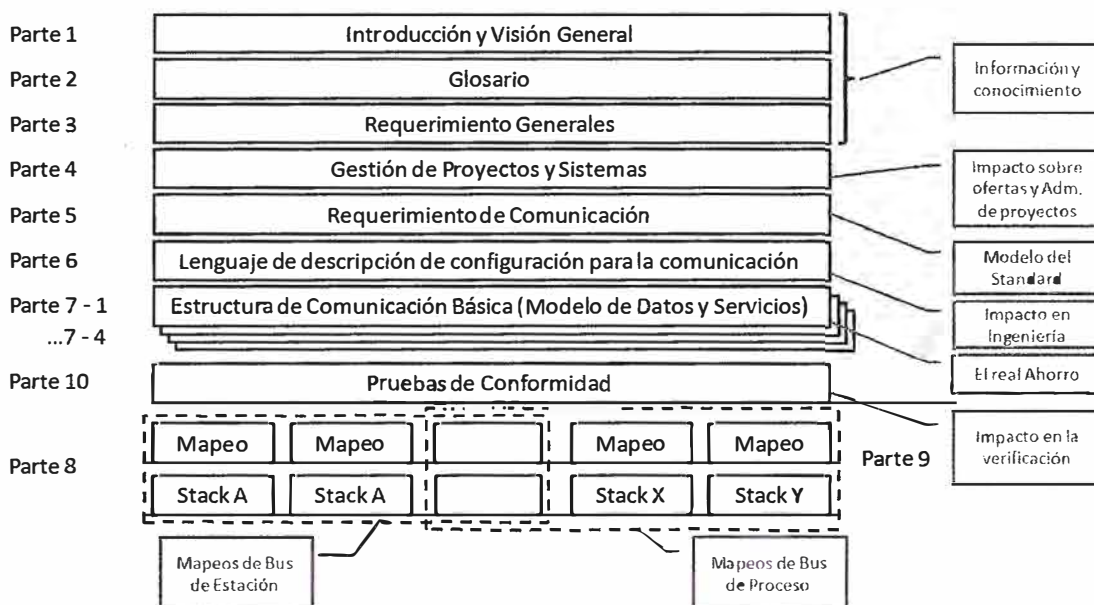


Fig. 2.1 Estructura de la norma IEC 61850

A manera de dar un alcance de la descripción de estos capítulos, estos se pueden resumir de la siguiente manera:

a) Parte 1: Introducción y Visión General

En este, se define la comunicación entre los equipos IED's en la subestación, y los requisitos del sistema, se trata de la introducción y descripción general del estándar IEC 61850.

b) Parte 2: Glosario

Esta parte describe las abreviaciones y términos utilizados en el contexto de los sistemas de automatización de subestaciones, los cuales aparecerán en las distintas partes del estándar.

c) Parte 3: Requerimientos Generales

Las especificaciones de esta parte recogen los requisitos generales de la red de comunicación, centrándose en los requisitos de calidad (Fiabilidad, mantenimiento, disponibilidad, portabilidad y seguridad), condiciones ambientales y servicios auxiliares, así como de recomendaciones sobre la importancia de exigencias específicas de otras normas y datos específicos.

d) Parte 4: Gestión de Sistemas y Proyectos

Esta parte del estándar es aplicable a los sistemas de automatización de subestaciones. Define la comunicación entre las unidades IEDs de las subestaciones y los requisitos relacionados con el sistema.

Las especificaciones de esta parte pertenecen a la gestión del sistema y del proyecto con respecto a:

El proceso de ingeniería (Clasificación de parámetros, herramientas y documentación)

El ciclo de vida de todo el sistema y sus IEDs (Versiones del producto, discontinuación, soporte tras la discontinuación).

La garantía de calidad que comienza con la etapa de desarrollo y termina con la interrupción y desmantelamiento del SAS y su IEDS (Responsabilidades, equipo de pruebas, pruebas tipo, pruebas de sistema, aceptación en fábrica, aceptación en campo). En esta parte también se describen los requisitos del proceso y de la gestión del proyecto, así como las herramientas de apoyo para la ingeniería y pruebas.

e) Parte 5: Requisitos de las comunicaciones

Las especificaciones de esta parte se refieren a los requisitos de comunicación de las funciones, que se realizan en el sistema de automatización de la subestación y en los modelos de los distintos dispositivos. Todas las funciones y sus requisitos de comunicación están identificadas.

La descripción de las funciones no se realiza con fines de estandarizar las mismas, sino para identificar los requisitos de comunicación entre los servicios técnicos y la subestación, y los requisitos de comunicación entre las unidades IEDs dentro de las subestaciones. El objetivo principal es la interoperabilidad en todas las interacciones.

f) Parte 6: Lenguaje de Configuración de Subestaciones

Esta parte del IEC 61850 especifica el formato de archivo para: describir la comunicación relacionada con las configuraciones de los dispositivos IED y sus parámetros, la configuración del sistema de comunicaciones, la estructura (funciones) de la aparamenta así como las relaciones entre ellas. El objetivo principal de este apartado es el intercambio de las descripciones de los IED, y el intercambio de las descripciones del sistema de automatización de la subestación, entre las herramientas de ingeniería de distintos fabricantes de una forma compatible.

El lenguaje que se define en este apartado se llama de Substation Configuration description Language (SCL). Se utiliza para describir la configuración de los IEDs y el sistema de comunicación de acuerdo con IEC 61850-5 y IEC 61850-7-x. Esto supone una descripción formal de la relación existente entre el sistema de automatización y la subestación (Aparamenta). A nivel de aplicación, se describe la topología de la

aparar y la relación entre la estructura de la subestación con las funciones SAS (nodos lógicos) configuradas en los IEDs.

g) Parte 7:

Parte 7.1: Modelos y Principios

Esta parte del estándar introduce los métodos de modelado, los principios de comunicación, y los modelos de la información que se utilizarán en las partes IEC 61850-7-x. El principal objetivo es proporcionar, desde un punto de vista conceptual, la ayuda para entender los conceptos de modelado básicos y métodos de descripción.

Parte 7.2: Servicios de comunicación abstractos (ACSI)

Este documento forma parte de un conjunto de especificaciones que detalla una Arquitectura de comunicación de las subestaciones.

En este apartado los principales conceptos que aparecen en la norma IEC 61850 son: Descripción del interfaz ACSI, Abstract Communication Service Interface, Especificación de los servicios de comunicación abstractos, Modelo de la estructura de base de datos del equipo.

Parte 7.3: Clases de datos comunes

En esta parte se especifica los tipos de atributos y clases de datos comunes relacionadas con las aplicaciones dentro de las subestación. En particular especifica:

- ✓ Clases de datos comunes para la información de estado.
- ✓ Clases de datos comunes para la información de medidas.
- ✓ Clases de datos comunes para la información de estado controlable.
- ✓ Clases de datos comunes para los ajustes de estados.
- ✓ Clases de datos comunes para ajustes analógicos.
- ✓ Tipos de atributo utilizados en estas clases de datos comunes.
- ✓ Este estándar internacional es aplicable a la descripción de los modelos de dispositivos y funciones, para los equipos de la subestación y los equipos de alimentación.

Parte 7.4: Clases compatibles de nodos lógicos y datos.

Esta parte especifica el modelado de equipos y funciones, relacionados con las aplicaciones existentes dentro de las subestaciones. En particular, especifica los nombres de los nodos lógicos y los nombres de los datos, para la comunicación entre IEDs. Esto incluye la relación entre Nodos Lógicos y Datos.

Los nombres de los nodos lógicos y de los datos, definidos en este documento son parte del modelo introducido en el apartado IEC 61850-7-1 y definidos en el IEC 61850-7-2. Estos nombres se utilizan para construir la jerarquía de los objetos aplicables a las comunicaciones entre los equipos IEDs en la subestación y los equipos de alimentación.

Para evitar extensiones privadas e incompatibles, en este apartado la norma especifica reglas sobre el nombramiento de los nodos lógicos y clases de datos, para los casos múltiples y las extensiones privadas.

h) Parte 8: Aplicación para el bus de estación

Este documento es parte de un conjunto de especificaciones que detallan la arquitectura de comunicaciones en el entorno de las subestaciones.

El mapeado, que propone esta norma, permite el intercambio de información, sobre redes de área local ISO/IEC 8802-3, Por lo tanto las comunicaciones no quedan restringidas a redes LAN.

Se trata en este apartado es especificar un método para intercambiar datos de tiempo crítico y de tiempo no crítico, a través de redes de área local, mapeando ACSI a MMS y a los marcos ISO/IEC 8802-3.

Los servicios y el protocolo MMS se especifican para operar sobre los perfiles de comunicación ISO y TCP. El empleo de este protocolo MMS permite tener provisiones para soportar tanto arquitecturas centralizadas como distribuidas. Este estándar incluye el intercambio de: datos en tiempo real, operaciones de control, y la notificación de informes.

Esta parte también especifica el mapeado de los objetos y los servicios ACSI (Abstract Communication Service Interface, IEC 61850-7-2) a MMS (Manufacturing Message Specification, ISO 9506) y a los formatos ISO/IEC 8802-3.

i) Parte 9: Aplicación para el bus de proceso.

El apartado IEC 61850-9-1 especifica el mapeado de servicios, para la comunicación entre los niveles de bahía y proceso, al mismo tiempo que especifica el mapeado en un puerto serie unidireccional punto a punto de acuerdo con la norma IEC 60044-8. Concretamente esta parte de la norma define el mapeado para la transmisión de valores muestreados, de acuerdo con la definición dada en IEC 61850-7-2. Todo esto se aplica a las comunicaciones entre las unidades de medida fiscal de los transformadores de tensión (EVT) o intensidad (ECT), y los equipos de bahía como son los relés de protección. En la siguiente figura se muestra un esquema de este interfaz En este apartado se recoge la definición del concepto SCSM, the Specific Communication Service Mapping, para la transmisión de valores muestreados según la especificación IEC 61850-7-2. La intención de este documento es complementar la norma IEC 61850-9-1, para incluir un mapeado completo de los valores de transmisión.

j) Parte 10: Pruebas de conformidad

Este apartado de la norma, pertenece al conjunto de especificaciones que detallan las arquitecturas de comunicación. En este documento se define:

Los métodos para las pruebas de conformidad de los dispositivos utilizados en los sistemas de automatización de subestaciones.

Los datos que deben ser medidos dentro de los equipos, de acuerdo con los requisitos definidos en IEC 61850-5.

2.1.3 Modelo de Datos y Servicios

Los datos (la información) en una subestación no ha de cambiar en el tiempo en una subestación, pero si lo hará la tecnología de la comunicación, por lo tanto a manera general la norma a partir de las funciones de control de la subestación crea unos objetos o modelos de datos, los cuales se interconectan entre si mediante servicios de comunicación que luego son relacionados (mapeados) en la plataforma de protocolo de comunicación utilizada.

En la norma se definen una serie de conceptos que forman el modelo. Siguiendo dicho modo la estructura de las unidades IED quedaría según se muestra en la Fig. 2.2.

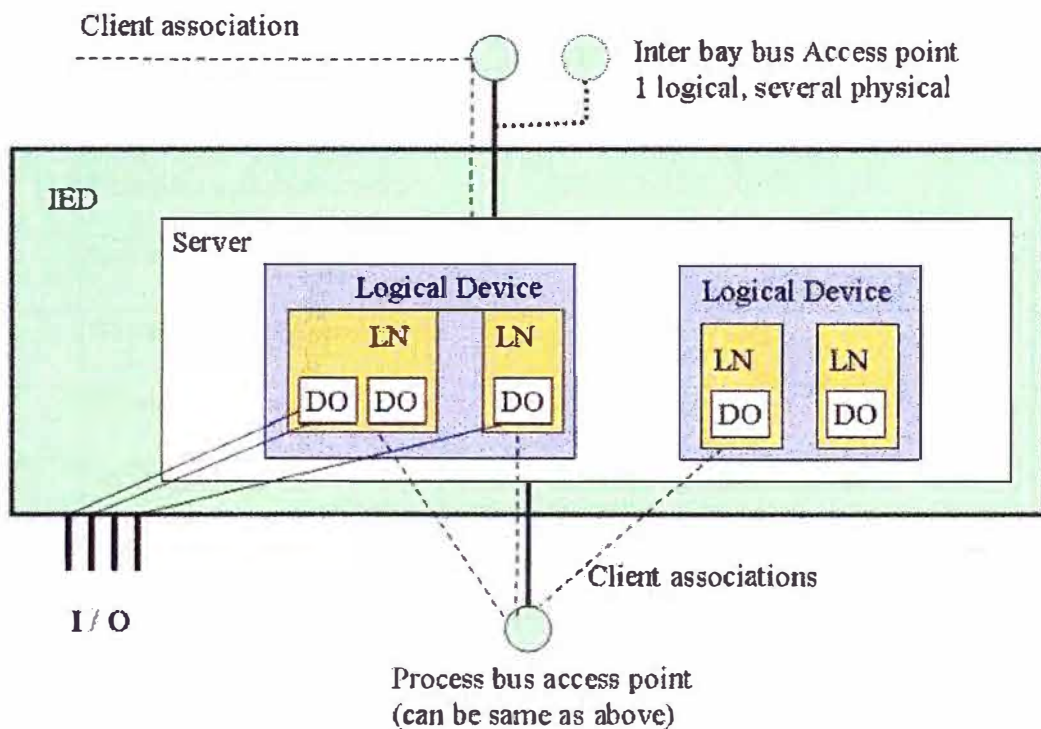


Fig. 2.2 Descripción del Modelo de Datos

a) Nodo Lógico

Como concepto principal la norma define una serie de interfaces estándar a través de las cuales fluyen los datos. Estas interfaces se denominan Nodos Lógicos. Un Nodo Lógico puede ser visto como la ventana hacia el mundo exterior de una función. La norma define los nodos, no las funciones.

Con la estructura de nodos planteada en la norma se pueden especificar nuevos nodos lógicos para incorporar nuevas funciones creadas por los fabricantes. En la versión actual

de la norma existen 90 nodos descritos. En la Tabla 2.1 se detallan los indicadores, grupos y funciones de los nodos lógicos.

Tabla 2.1 Descripción de los Nodos Lógicos

Indicador	Grupo de Nodos Lógicos	Funciones	Cant.
L	Nodos Lógicos del Sistema		3
P	Funciones de Protección	PTOC, PIOC, PDIS, PDIF, etc	28
R	Funciones relacionadas con Protecciones	RREC, RSYN, etc	10
C	Control Supervisado	CSWI, CILO, CALH, CPOW	5
G	Funciones Genéricas	GGIO, GAPC, GSAL	3
I	Interfase y Archivo	IHMI, ITCI, IARC, ITMI	4
A	Control Automático	ATCC, ANCR, ARCO, AVCO	4
M	Medidores y Medidas	MMXU, MMTR, MHAI, MSQI	8
S	Sensores y Monitorización	SIMG, SARC, SPDC	4
X	Aparellaje	XCBR, XSWI	2
T	Transformadores de Medida	TCTR, TVTR	2
Y	Transformadores de Potencia	YPTR, YLTC, YEFN, YPSH	4
Z	Otros Equipos	ZBAT, ZGEN, ZMOT, etc	15

La normatividad para los nodos especifica los datos que entran y salen, así como la configuración del nodo.

La Fig. 2.3 muestra el concepto de un nodo lógico, así como la función que cumple, con los datos de entrada, salida y de configuración.

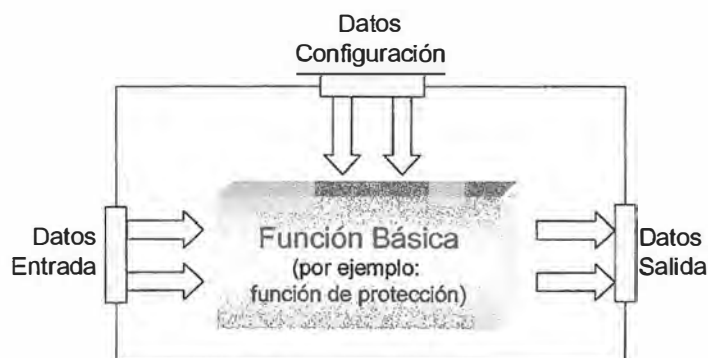


Fig. 2.3 Concepto de un Nodo Lógico

La Fig. 2.4 muestra la estructura de datos de un nodo lógico.

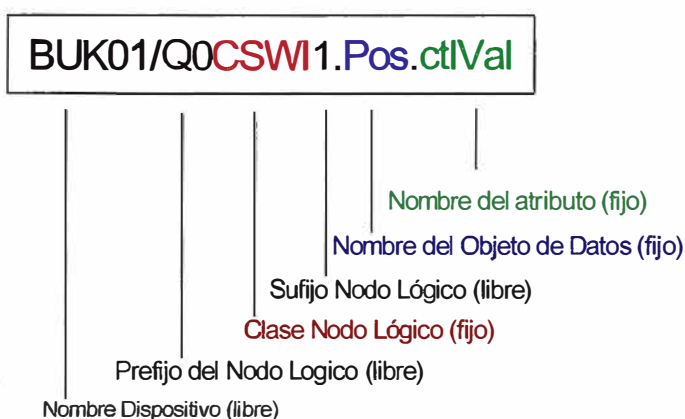


Fig. 2.4 Estructura de datos en un Nodo Lógico

Los datos relacionados con un nodo tienen la siguiente estructura según la Fig. 2.5.:

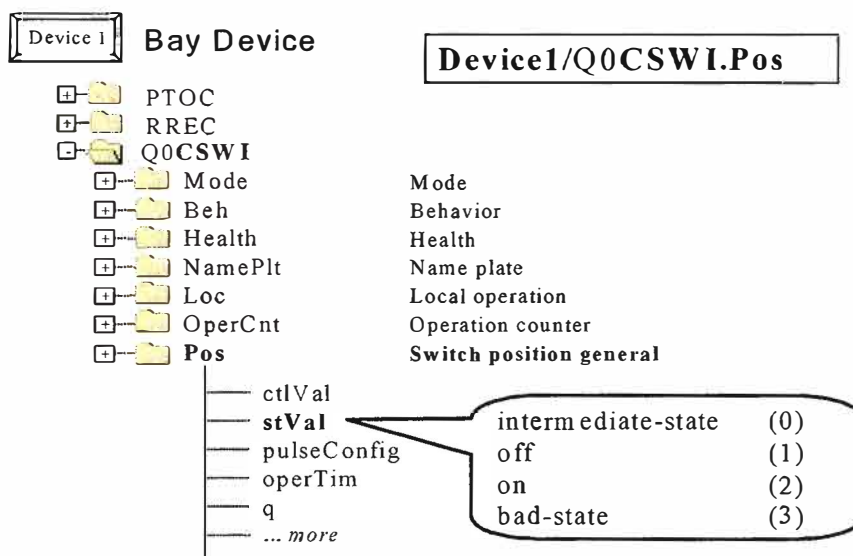


Fig. 2.5 Modelamiento de un Nodo Lógico

A continuación la Fig. 2.6 muestra el modelamiento de un nodo lógico.

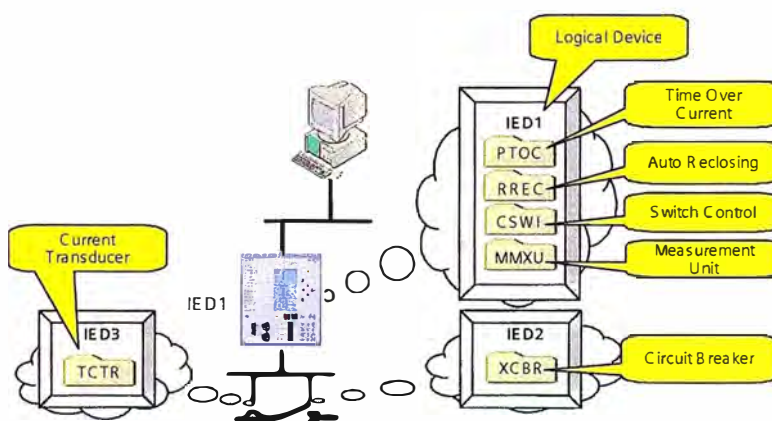


Fig. 2.6 Ejemplo de modelamiento de una IED en Nodos Lógicos

Cada IED dependiendo de su funcionalidad contiene uno o más nodos. La comunicación entre dos IEDs se traduce como la comunicación entre nodos de cada IED.

b) Bus

Para poder tener acceso a todos los componentes (IEDs) del sistema de control de la subestación, sin necesidad de Gateways y a través de protocolos de comunicación estándar se utiliza la tecnología de comunicaciones Ethernet. Con esta tecnología se logra tener un bus a lo largo de toda la subestación de donde se puede tener acceso a la información y con la flexibilidad requerida para permitir la conexión de equipos con diferentes funciones, fabricantes y versiones. Ethernet utiliza una arquitectura cliente / servidor (Fig. 2.7), donde los IEDs funcionan como servidores en la medida que poseen la información del proceso y se la entregan a cualquier cliente que la solicite (por ejemplo otros IEDs) y como clientes en la medida que solicitan datos a algún servidor (otro IED que posea información).

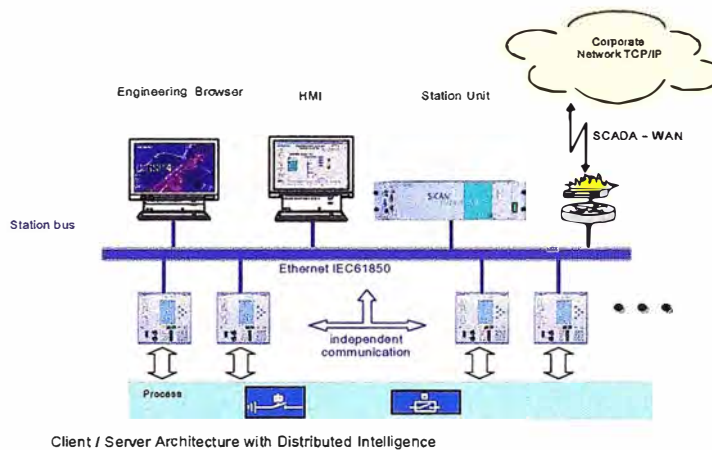


Fig. 2.7 Arquitectura cliente servidor con IEDs

c) Intercambio de Datos

Los datos que se manejan en la red pueden dividirse en los siguientes grupos principales:

Datos de operación de la subestación: Dentro de este grupo de datos se tiene la información relacionada con el estado de los equipos, alarmas y señales de control. Esta información se encuentra normalizada y maneja un nivel intermedio de prioridad en el flujo de información en el sistema.

Datos de gestión y/o configuración de la subestación: Dentro de este grupo se contemplan los datos de configuración y ajuste de los IEDs, así como la transferencia de archivos. Esta clase de datos posee una prioridad baja en el flujo de información en el sistema.

Datos de proceso: Dentro de este grupo se incluye la información de medida y las señales de disparo y enclavamientos. Señales de medida, serían por ejemplo los valores digitales que transmitirían los CTs y PTs conectados a la red a partir de las variables análogas medidas del sistema de potencia. Estos datos tienen que estar disponibles muy rápidamente para los demás equipos sobre la red por lo tanto tiene prioridad alta en el

flujo de información del sistema. Señales de disparo y enclavamientos, son señales que requieren de una alta disponibilidad y velocidad (del orden de unos pocos milisegundos), por lo tanto estas señales no pueden ser retrasados por el flujo de otros datos sobre la red y tienen un manejo prioritario en la red.

d) Servicios

La transmisión de los datos antes mencionados de nodo lógico a nodo lógico se hace a través de servicios de comunicación definidos por la norma. Dentro de estos servicios se tiene por ejemplo:

- Leer valores
- Escribir Valores
- Transferencia rápida de eventos (GOOSE)
- Sincronización de tiempo
- Transferencia de archivos
- etc.

Con el fin de hacer factible la norma también en el futuro cuando habrá nuevas tecnologías de comunicación, la norma define en un capítulo (Data and Service Model 7) de forma general estos servicios. En otros capítulos (Mapping to Real Communication Networks 8 y 9) se establecen adicionalmente los parámetros para hacer los enlaces con la capa inferior de protocolo existentes hoy en día (Ethernet, TCP/IP, UDP/IP, SNTP y MMS), según la Fig. 2.8

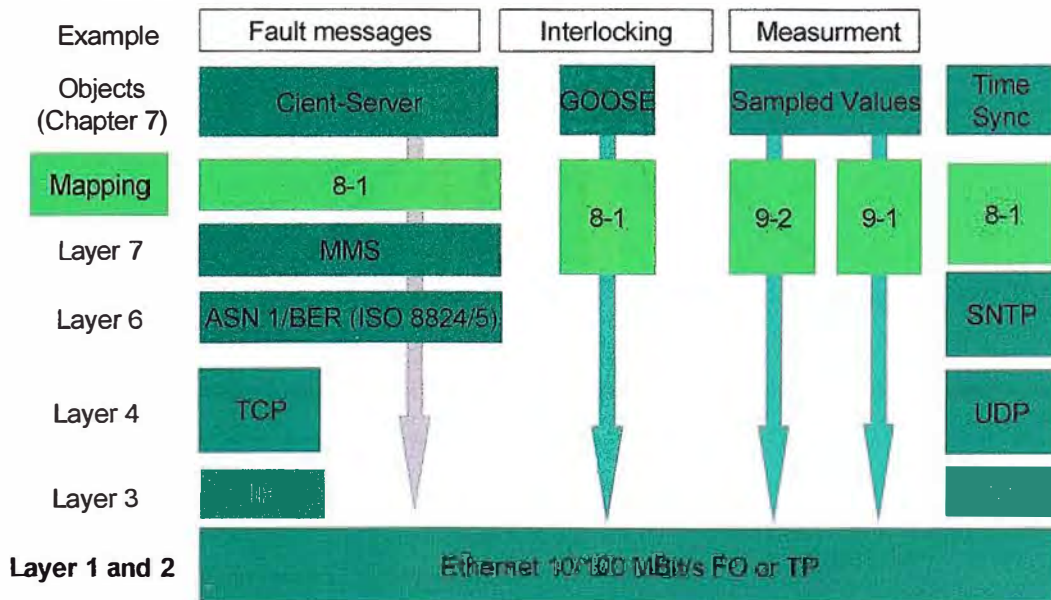


Fig. 2.8 Modelo OSI: capas en la IEC61850

Dentro de los servicios de comunicación, la norma describe para la transmisión rápida de eventos el servicio GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*). Este es un servicio que utiliza la posibilidad de enviar a través de la red mensajes con un bit de

prioridad, definido en la norma IEEE 802.1q de Ethernet, para transmitir información que requiera de mucha velocidad. Normalmente la información requerida para enclavamientos y señales de disparo es enviada con el servicio GOOSE (Fig. 2.9).

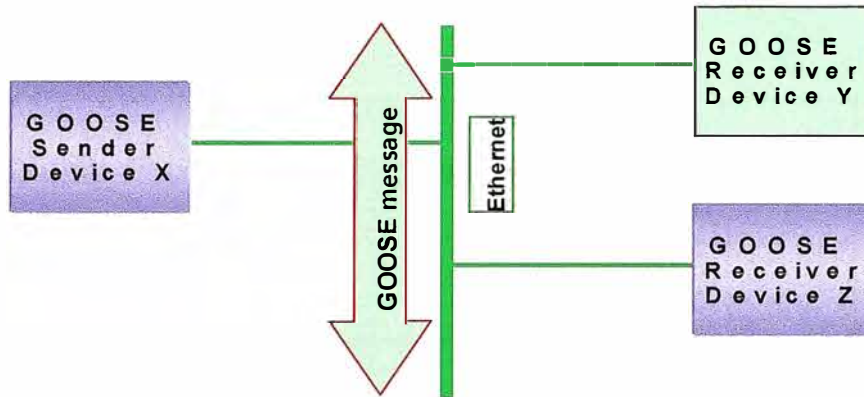
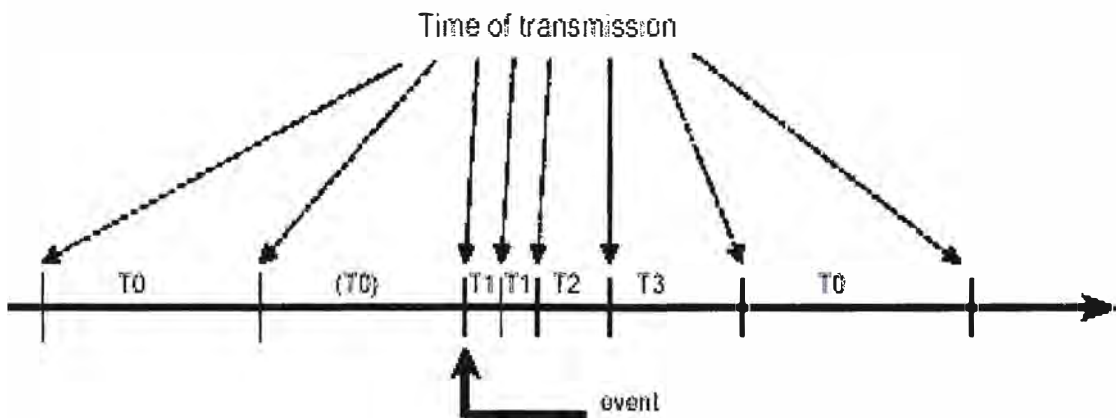


Fig. 2.9 Principio de funcionamiento del servicio GOOSE

Los mensajes del servicio GOOSE son del tipo multicast, es decir son transmitidos a la red en general, y solo los equipos que estén suscritos para recibir el mensaje lo podrán tomar de la red.

Como la transmisión es del tipo multicast es decir no hay posibilidades de un mensaje de acuso de recibo del telegrama, se requiere de un mecanismo de repetición del mensaje para asegurar la transmisión segura del telegrama. Este mecanismo consiste en estar enviando repetidamente el mensaje GOOSE. En estado estable el mensaje se envía cada cierto tiempo T_0 , pero ante un evento, el intervalo de transmisión se acorta, y es progresivamente aumentado hasta llegar nuevamente a T_0 , (Según Fig. 2.10).



- T_0 retransmission in stable conditions(no event for a long time).
- (T_0) retransmission in stable conditions may be shortened by an event.
- T_1 shortest retransmission time after the event.
- $T_2, 3$ retransmission times until achieving the stable conditions time.

Fig. 2.10 Transmisión del mensaje GOOSE

El mensaje GOOSE, es enlazado (mapeado) directamente sobre Ethernet y el mensaje es identificado con un bit de prioridad. Al llegar a un switch en la red, éste identifica el bit de prioridad y pone el telegrama GOOSE de primero en la cola de envíos según Fig. 2.11.

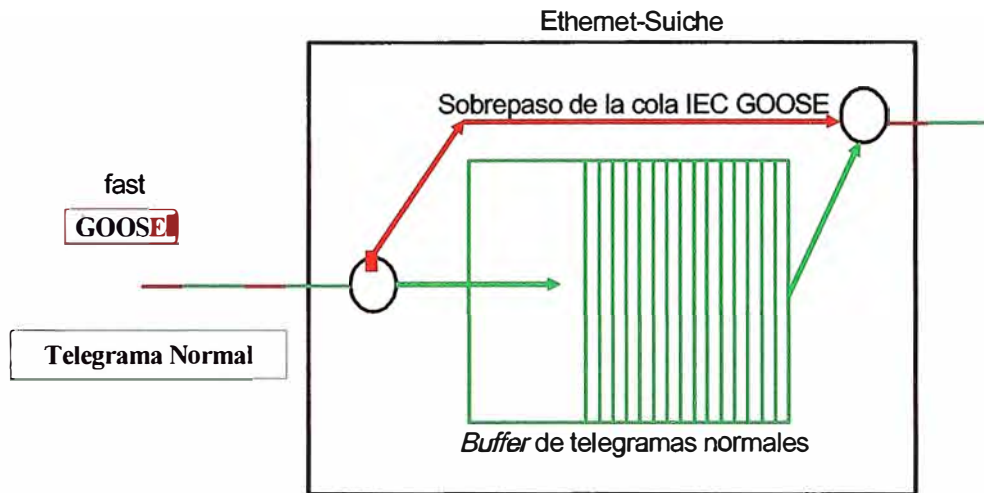


Fig. 2.11 Prioridad del mensaje GOOSE en un switch Ethernet

Para explicar el proceso del flujo de datos bajo el esquema IEC61850, se tiene el siguiente ejemplo, desde la IHM de la subestación se envía un comando de abrir el interruptor, asociado a este interruptor se encuentra un IED. Los pasos del proceso son:

La IHM envía un mensaje al nodo CSWI del IED de seleccionar el interruptor.

CSWI verifica a través del IED que el interruptor esté disponible y apto para el comando.

Si el interruptor está listo, CSWI envía un mensaje de retro aviso positivo.

La IHM envía a CSWI la orden de abrir el interruptor.

El IED verifica que los enclavamientos estén dados.

Si las condiciones están dadas, CSWI envía al nodo XCBR del interruptor la orden de abrir.

El mecanismo del interruptor se activa

XCBR del interruptor envía a CSWI un retro aviso positivo.

CSWI envía a la IHM un retro aviso positivo.

El interruptor pasa por el estado intermedio

El estado intermedio es enviado al nodo CSWI

El interruptor llega a la posición abierto

El estado abierto es enviado al nodo CSWI

El estado abierto es enviado a la IHM

El nodo CSWI le informa a la IHM que el comando ha finalizado

XCBR desactiva el mecanismo del interruptor

La información de la posición del interruptor es enviada a la IHM utilizando los servicios de comunicación de reporte de eventos y es enviada a la red en modo *multicasting* utilizando el servicio GOOSE para actualizar la información de enclavamientos. Los IEDs que estén matriculados para recibir este mensaje GOOSE, harán caso al mensaje y lo procesarán, ver el ejemplo para el cierre de un interruptor según la Fig. 2.12.

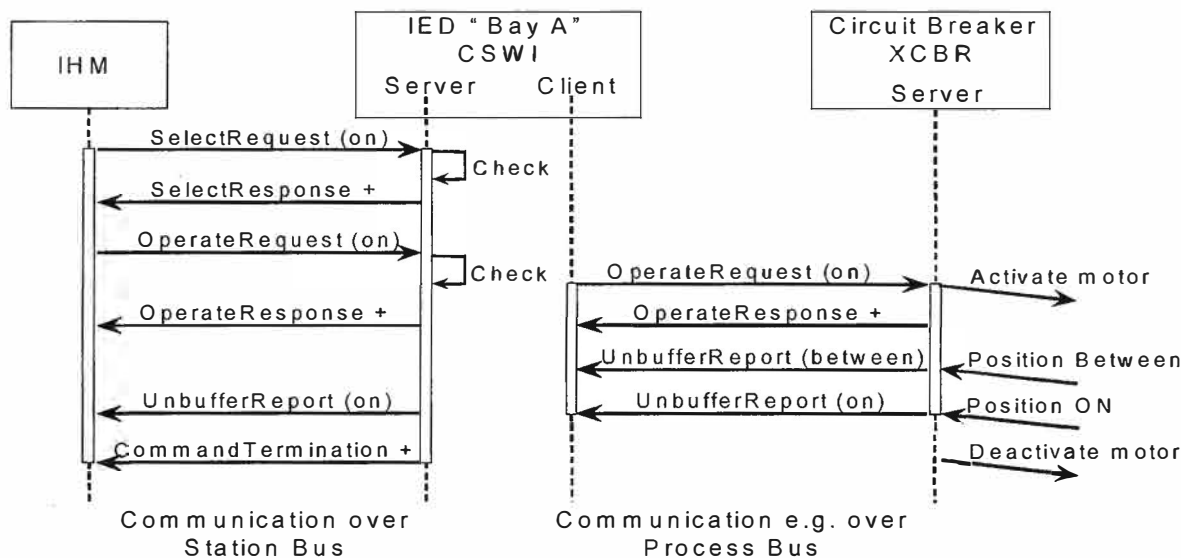


Fig. 2.12 Secuencia de operación para el cierre de un interruptor

e) Lenguaje para la Descripción de la Configuración de la Subestación

La norma especifica un lenguaje para la descripción de la configuración del sistema y de los IEDs de la red. Mediante este formato se logra el intercambio de archivos de configuración para todos los componentes del sistema sin importar el fabricante. La norma utiliza como lenguaje el XML (Extensible Markup Language). El proceso de ingeniería para la configuración de un sistema se puede resumir de la siguiente manera:

Ingeniería a nivel de IEDs

Cada fabricante de IEDs conforme a la norma debe poseer en formato estándar (XML) un archivo con la descripción típica del dispositivo en lo que respecta a las características principales y la estructura de datos (nodos lógicos) que ofrece el equipo, con esta información y mediante la utilización de un herramienta (software) de configuración de IEDs (propietario de cada fabricante) se crea un archivo en formato estándar (XML) con la información específica de los equipos que se van a configurar en el sistema. Este archivo se denomina ICD (*IED Configuration Description*)

Ingeniería a nivel de Subestación

Mediante la utilización de una herramienta (software) de configuración del sistema (software propietario) se crea la parametrización completa de la red de información de la subestación. Esta herramienta utiliza la información contenida en cada archivo ICD de los IEDs que van a integrarse en la red y genera la parametrización completa de la red de

información del sistema. Se configura por ejemplo, los datos que van a compartir los distintos IEDs, las condiciones y características de la red, etc. Esta parametrización es almacenada en un archivo de configuración en formato estándar (XML) denominado SCD (*Substation Configuration Description*)

Configuración de IEDs

Con la información de la parametrización de la red de comunicaciones contenida en el archivo SCD, son configurados cada IED mediante la herramienta específica de configuración de cada equipo, según la ingeniería de procesos acorde al IEC 61850 (Fig. 2.13). De la información contenida en el SCD se puede saber que datos va a entregar y recibir cada IED.

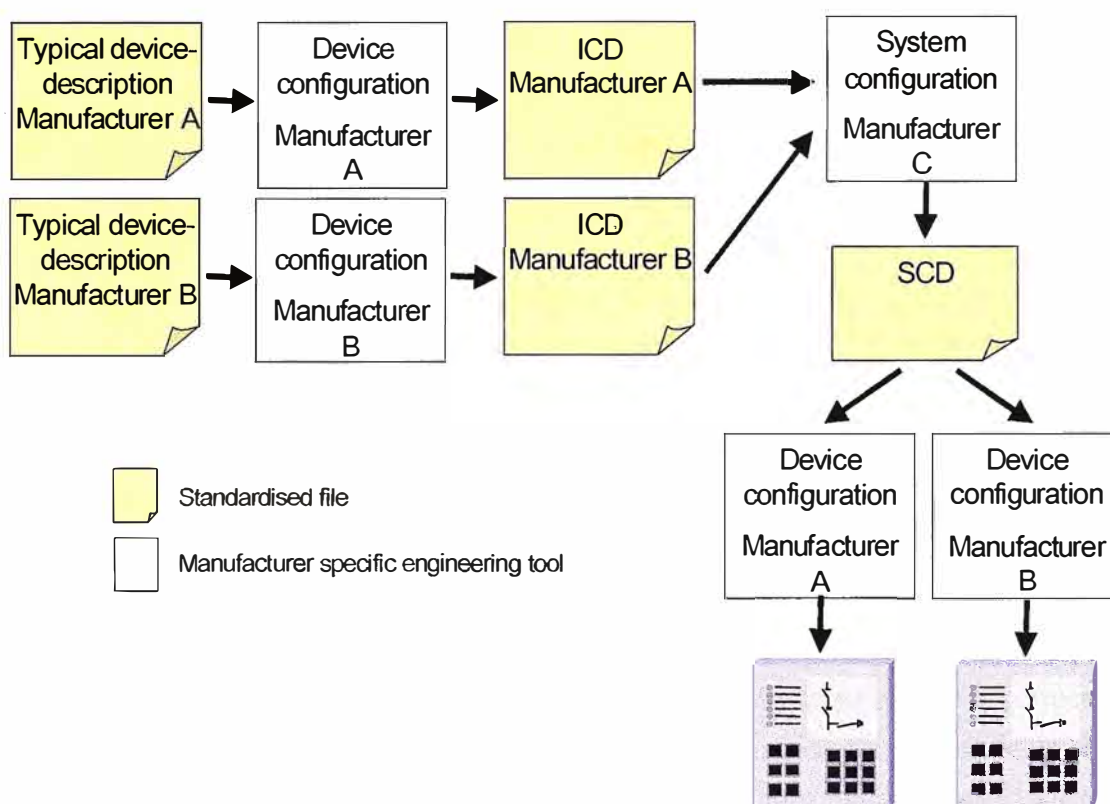


Fig. 2.13 Ingeniería de procesos acorde a la IEC61850

2.2 Protocolo Ethernet

Se trata de un protocolo de transmisión de datos, el cual en los últimos años se ha convertido en la tecnología que domina la tecnología LAN (Local Área Network), y en la que más dinero se ha estado invertido.

Desde 1985 se dispone del estándar IEEE 802.3, el cual dispone de una gran variedad de protocolos estándares para los niveles 1 y 2 del modelo OSI (capa física y capa de enlace de datos).

El protocolo Ethernet sólo se define hasta la capa de transporte (nivel 4 del modelo OSI). Sobre las siguientes capas (TCP/IP) podemos "mezclar otros tipos de protocolos" como

pueden ser: Modbus TCP, IEC6087-5-104, SPA TCP, http, ftp, etc., A continuación la Fig. 2.14 muestra un posible ejemplo.

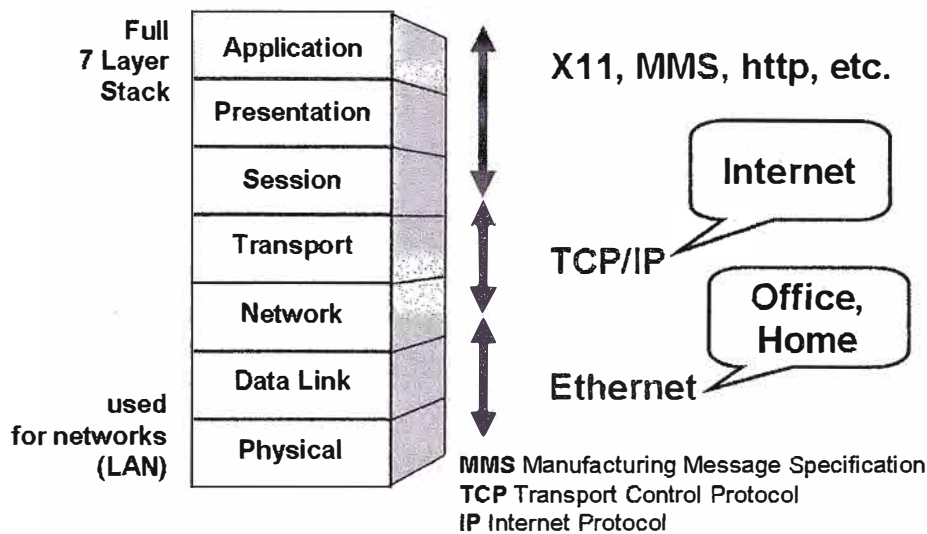


Fig. 2.14 Protocolo ETHERNET (TCP/IP)

El algoritmo que utiliza este tipo de redes Ethernet, como ya se ha dicho anteriormente, es CSMA/CD. Si una estación necesita transmitir lo primero que tiene que hacer es comprobar que ninguna otra está ya transmitiendo (CARRIER SENSE). El medio de comunicación es un cable, por lo tanto, permite el acceso de múltiples estaciones que pueden y transmitir y recibir utilizando mismo cable (MULTIPLE ACCES).

Para detectar errores se dispone de una estación "que escucha" mientras se está transmitiendo los datos. Las colisiones características de este tipo de protocolos se causan cuando dos nodos/ adaptadores intentan transmitir al mismo tiempo un mensaje, estos adaptadores detectan la colisión basándose en diferencias de voltaje, y transmiten una señal de atasco a toda la red para asegurarse que todas las estaciones conectadas a la red sepan que ha existido una colisión. Posteriormente todas las subestaciones estarán un tiempo aleatorio en estado "backoff". El orden de magnitud de los tiempos de transmisión y detención es de microsegundos.

La estructura que utilizan estas redes Ethernet es la arquitectura en estrella, por la cual todos los equipos IED están conectado ente si, de esta forma cuando un mensaje se transmite se distribuye al resto de equipos. Este tipo de conexión tiene importantes problemas en el tema de las colisiones, ya que de esta forma todos los mensajes que se transmitan pueden ocasionar algún tipo de colisiones. La tecnología CSMA/CD utilizada en los sistemas Ethernet originales hacía imposible el determinismo, pero con la aparición del switch Ethernet las cosas han cambiado. El switch conecta todos los equipos, utilizando estructura en estrella, pero ahora cada paquete que se envía a un switch se almacena y se retransmite al puerto de destino correcto. Si ese puerto está

ocupado, el switch espera, por lo que no se producen colisiones ni retransmisiones. El único problema es la espera en cola que puede producirse.

Dentro de las ventajas de la tecnología Ethernet, se encuentran:

Velocidades de transmisión de 10 Mbps y 100 Mbps y velocidades en desarrollo que van desde 1 Gbps hasta 10 Gbps.

Soporta diferentes medios de transmisión dependiendo de los requerimientos (Fibra óptica, cobre y redes inalámbricas).

Redes redundantes con arquitecturas tolerantes a las fallas.

Manejo de mensajes con niveles de prioridad para tareas de control en tiempo real.

Redes virtuales para seguridad del sistema y aislamiento de determinado tráfico de datos.

Operación full-duplex determinística sin colisiones (switchs ethernet)

Ethernet es la tecnología de redes más utilizada en el mundo con lo que se pueden realizar conexiones del tipo LAN (Local Area Network), MAN (Metropolitan Area Network) y WAN (Wide Area Network). Algunos especialistas inclusive dicen "Ethernet es el nuevo RS232 para el control de procesos".

2.2.1 Switchs

El switch Ethernet (De acuerdo a la representación esquemática Fig. 2.15) es el equipo de enlace principal en la red de comunicaciones, su trabajo consiste en remitir telegramas entre sus puertos. El switch lee el mensaje que entra por un puerto y determina la dirección MAC del equipo destino de dicho mensaje y lo remite al puerto donde se encuentra el equipo con la MAC respectiva. Los switchs van creando dinámicamente una base de datos con las direcciones MAC asociadas a cada puerto. Cuando llega un mensaje que posee una dirección MAC que el switch no conoce, este retransmite el mensaje por todos sus puertos y espera la respuesta del MAC respectivo para actualizar su base de datos de direcciones.

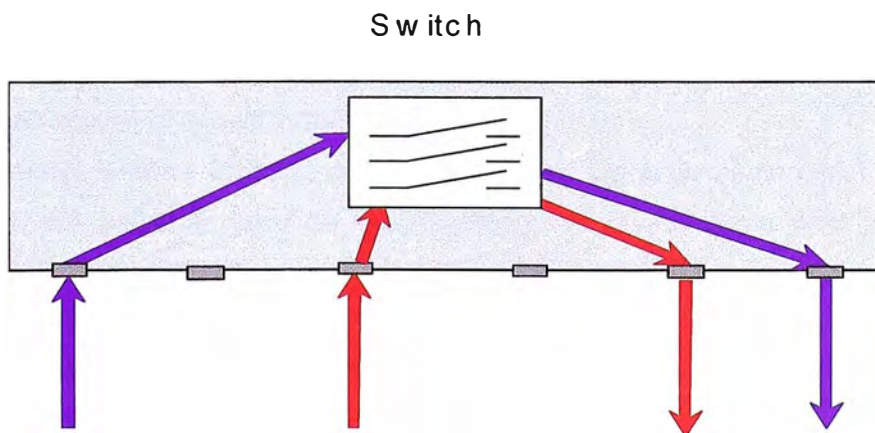


Fig. 2.15 Representación esquemática de un Switch

2.2.2 Secuencia de eventos RSTP

A continuación se presentará la secuencia de eventos del protocolo RSTP para conformar la red en cascada, la detección y cicatrización de una falla en el anillo y el establecimiento de la red ante la desaparición de la falla. La Fig. 2.16 presenta un ejemplo de anillo conformado por nueve switches.

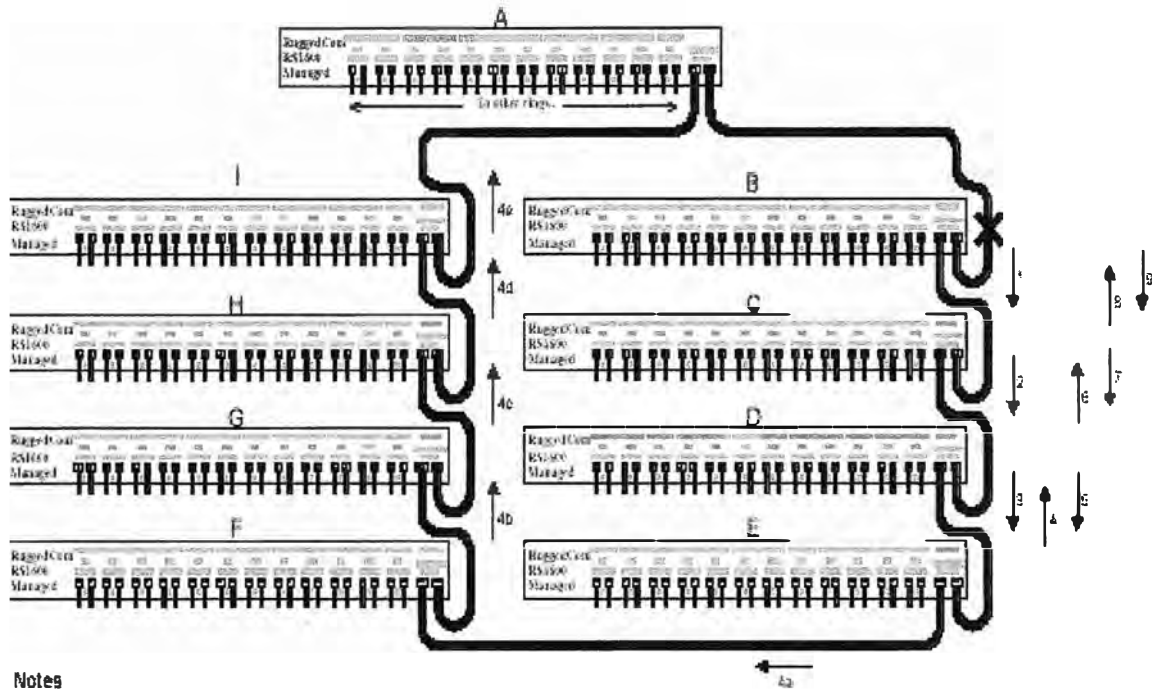


Fig. 2.16: Switches en anillo

2.2.3 Conformación de la red en cascada

Se selecciona el switch que se encuentre en el centro del flujo de datos como switch principal, para el presente ejemplo se selecciona el switch A.

Luego que cada switch identificara los puertos que van a participar activamente en la red, los activa en modo de aprendizaje. Los puertos que fueron configurados como frontera entran inmediatamente a transmitir mensajes en la red.

El switch durante la etapa de aprendizaje determina los puertos principales en los switches (los puertos que apuntan hacia el switch A) y asigna a los restantes puertos activos el identificador de puertos designados.

El puerto del switch E recibe durante la etapa de aprendizaje un mejor mensaje del puerto del switch F, pero no lo suficientemente bueno como para convencer al switch F, que cambie este puerto a principal. El switch E bloquea el puerto hacia el switch F, abriendo en este punto el loop de la red.

2.2.4 Detección de una falla en la red y su cicatrización.

Partiendo de la topología de la red conformada en la secuencia de eventos antes descrita, sucede una falla en el tramo AB.

El switch B identifica la falla en el tramo y propaga la información al switch C sobre la existencia de nuevo switch principal (el mismo), ya que por la topología de la red en cascada él no ve al switch A. (1).

El switch C propaga la información al switch D que hay un nuevo switch principal. (2)

El switch D propaga la información al switch E que hay un nuevo switch principal. (3)

El switch E sabe por la conexión con el switch F que el switch A todavía está activo y hace caso omiso a la propuesta de un nuevo switch principal. El switch E envía una propuesta al switch D de cambio de rol del puerto que los comunica. (4)

El switch E desbloquea el puerto hacia F (4a) y transmite hacia los switches F, G, H e I, el mensaje de cambio de topología. (4b, 4c, 4d, 4e)

El switch D acepta el cambio propuesto por el switch E, traslada el puerto principal hacia E y bloquea el puerto hacia C. (5)

El switch D le propone al switch C que modifique el rol del puerto que los comunica. (6)

El switch C acepta el cambio propuesto por el switch D y traslado el puerto principal hacia D, bloquea el puerto hacia B. (7)

El switch C le propone al switch B que modifique el rol del puerto que los comunica. (8)

El switch B acepta el cambio propuesto por el switch C y traslado el puerto principal hacia C, bloquea el puerto hacia A. (9)

2.2.5 Restablecimiento de la red

Ante la desaparición de la falla en el tramo AB, se reconfigura la red dado que aparecen caminos de menor "costo" hacia el switch principal.

Tan pronto la conexión AB se restablece, el switch A transmite una propuesta de cambio de rol al puerto del switch B.

El switch B acepta la propuesta y desbloquea el enlace con A, transmite hacia los switches A-F un mensaje de cambio de topología, traslada el puerto principal hacia A y bloquea el enlace con el switch C.

Los switches A-F reciben el mensaje de cambio de topología y transmiten los mensajes recibidos hacia ambos lados del anillo.

El switch B envía una propuesta de cambio de rol hacia el switch C.

El switch C acepta la propuesta y traslada el puerto principal hacia B, bloquea el enlace hacia D.

El switch C envía una propuesta hacia el switch D.

El switch D acepta la propuesta y traslada el puerto principal hacia C, bloquea el enlace hacia el switch E

El switch D envía una propuesta al switch E.

El switch E acepta la propuesta y traslada el puerto principal hacia D, bloquea el enlace hacia F.

El switch E envía una propuesta hacia el switch F.

El switch F ve que la ruta hacia el switch A tiene un menor costo a través del puerto que tiene actualmente como principal (hacia el switch G) y no acepta la propuesta del switch E. El bloqueo en el enlace E y F se mantiene.

2.2.6 Desempeño del proceso RSTP

Cada paso en el proceso toma un tipo de análisis del mensaje y de transmisión del mensaje de configuración. La suma de estos tiempos es de alrededor de 3 ms para redes con velocidades de 100 Mbps.

Para la detección de la falla y su cicatrización el sistema del ejemplo tuvo que realizar 9 procesos de análisis y transmisión de mensajes por lo que el tiempo total que tomó el sistema para subsanar la falla fue de 27ms.

El diámetro de switches RSTP de una red, determina el número máximo de switches que hay desde un extremo de la red hasta el otro. El tamaño del anillo debe ser el mismo que el diámetro de switches RSTP para optimizar las latencias en la red. Mensajes de configuración del protocolo RSTP que tardan mucho en propagarse de lado a lado de la red debido al tamaño de ésta, pueden hacer que el sistema se vuelva inestable.

La norma RSTP define un parámetro denominado *Max Age Time* que especifica el tiempo que un mensaje de configuración permanece válido en la red. Este parámetro puede tomar los valores entre 6 y 40 segundos.

Por otro lado cada vez que un mensaje de configuración RSTP pasa por un switch, este incrementa en un segundo el valor de antigüedad del mensaje de configuración (valor pesimista especificado por la norma, los valores típicos son del orden de los 3ms). Cuando este valor llega al valor especificado en el parámetro, el siguiente switch que lea el mensaje lo eliminará inmediatamente. Por lo anterior existe una relación entre el diámetro de switches y el parámetro Max Age Time, según Ecuación (2.1)

$$\text{Diámetro de switches RSTP} = \text{Max Age Time} \dots\dots\dots(2.1)$$

Los switches Ruggedcom utilizados en el proyecto, debido a sus características de alto desempeño, hacen un incremento en el valor de antigüedad del mensaje de configuración en cada switch de 1/4 segundo, según Ecuación (2.2).

$$\text{Diámetro de switches RSTP} = 4 * \text{Max Age Time (para switches Ruggedcom)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Bajo este criterio la cantidad máxima de switches (Ruggedcom) en un anillo es de 80, sin embargo en la práctica se recomienda que cada switch en un anillo tenga un nivel de prioridad diferente, por lo que la cantidad de switches en un anillo optimizado está dada por la cantidad de niveles de prioridad de switches que permite el protocolo RSTP, lo que limita la red a 31 switches.

2.3 TCP/IP, UDP/IP

2.3.1 Introducción

En los capítulos (Mapping to Real Communication Networks 8 y 9) de la norma IEC61850 se establecen los parámetros para hacer los enlaces entre los modelos de servicios definidos en la norma con la capa inferior de protocolo existentes hoy en día (Ethernet, TCP/IP, UDP/IP, SNMP y MMS). Ver Fig. 2.17 Servicio de Protocolos.

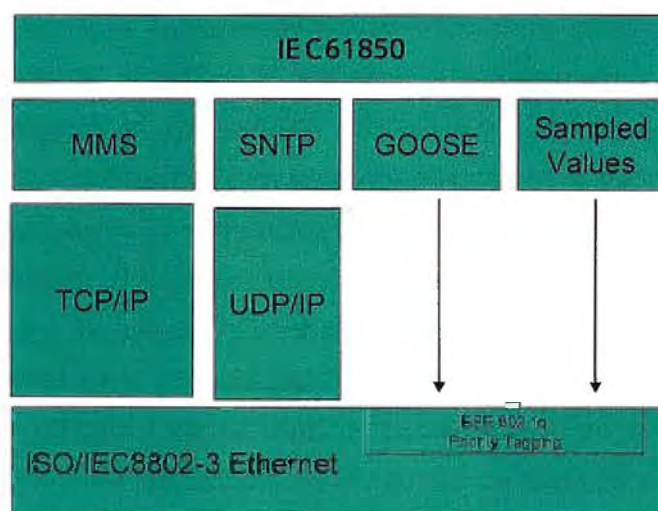


Fig. 2.17: Servicios en los Protocolos de comunicaciones

2.3.2 IP (Internet Protocol)

Este protocolo representa la capa 3 dentro del modelo OSI (*Network Layer*). La capa de red determina la ruta física que debe seguir un telegrama. El protocolo usado para esta capa es el IP, el cual mediante una asignación de direcciones de 32 bits con una estructura dividida en 4 octetos, identifica un equipo específico dentro de muchas redes. Dependiendo de la estructura de las redes locales (LAN) se utiliza una clase de direcciones IP (A, B, C o D).

Con el fin de crear una relación entre las direcciones IP utilizadas en esta capa con las direcciones MAC que utiliza el protocolo Ethernet (capa 2 y 1), se utilizan los protocolos ARP, y RARP, mediante los cuales los equipos de la red crean una tabla relacional, con información que relaciona para una dirección IP específica la dirección MAC respectiva (caso del ARP), y viceversa, para cada dirección MAC relaciona la dirección IP específica (caso del RARP).

2.3.3 TCP (Transmisión Control Protocolo) y UDP (User Datagram Protocol)

La capa 4 o de transporte (*Transport Layer*) es la responsable de asegurar que un mensaje es transferido completamente y sin errores hasta el otro extremo. Así mismo esta capa es la interfaz entre las capas superiores del modelo OSI (capas orientadas a aplicaciones) y las capas inferiores (capas relacionadas con la red). TCP y UDP son protocolos específicos de esta capa.

TCP es utilizado cuando se requiere de una alta confiabilidad en la transmisión de los mensajes. Este protocolo divide el mensaje en paquetes y los envía a las capas inferiores para su transmisión. El protocolo TCP, define dentro de su estructura de datos unos campos para determinar la recepción exitosa de los paquetes. Hasta tanto el receptor no haya notificado al emisor de la recepción exitosa de un tren de paquetes, el emisor no envía nuevos paquetes y por el contrario reenvía los paquetes que no fueron recibidos. El tamaño del tren de paquetes enviados se ajusta dinámicamente durante la transmisión y depende de los resultados de calidad de la recepción determinados por el protocolo TCP. UDP es utilizado cuando se requiere de una conexión rápida de mensajes que no necesitan una alta confiabilidad. El protocolo no utiliza campos para la verificación de la recepción de los paquetes y no tiene rutinas para el reenvío de paquetes. Los paquetes que no llegan al receptor se pierden. Un ejemplo de aplicación de este protocolo es la transmisión de señales de video por la red, donde se requiere velocidad en la transmisión del mensaje para poder tener una imagen con movimientos reales y donde la pérdida de un paquete no es significativo (se ve como un pequeño salto en la imagen), o como los mensajes de sincronización de tiempo SNTP, donde se requiere de tiempos cortos de latencia del mensaje, y si el paquete no llega al receptor, este espera hasta la próxima solicitud de sincronización utilizando mientras tanto su reloj interno como referencia.

2.4 MMS (Manufacturing Message Specification)

Es un sistema de transmisión de telegramas normalizado para el intercambio de datos, en tiempo real, e información de control remoto entre equipos de red y/o computadores, diseñado para alcanzar un gran nivel de interoperabilidad. Los servicios proporcionados son genéricos y por lo tanto apropiados para gran cantidad de equipos, aplicaciones e industrias.

MMS es una norma internacional (ISO 9506) desarrollada y mantenida por el comité técnico No.184 (TC184) de la organización internacional de la normalización ISO. Consta de 2 o más partes. Las partes 1 y 2 conforman el núcleo del MMS siendo la parte 1 la especificación del servicio y la parte 2 la especificación del protocolo. La especificación del servicio incluye la definición del VDM (virtual Manufacturing Device), los servicios o mensajes intercambiados entre los nodos de una red, los atributos y parámetros asociados con el VDM y los servicios. La especificación del protocolo define las reglas de

comunicación tales como la secuencia de mensajes a través de la red, el formato (empaquetamiento) de los mensajes y la interacción de la capa MMS con las demás capas del modelo OSI.

La principal característica del MMS es el modelo VDM. Este modelo especifica cómo los equipos MMS, también llamados servidores, se comportan desde el punto de vista de un cliente MMS externo.

Para ello define los objetos (p.e. variables) que están contenidas en los servidores, los servicios que el cliente puede usar para acceder y manipular dichos objetos (p.e. escribir o leer una variable) y el comportamiento del servidor cuando recibe las peticiones de estos servicios de parte de un cliente. En el MMS las aplicaciones o equipos pueden desempeñar funciones de cliente y servidor simultáneamente.

MMS soporta gran cantidad de enlaces de comunicación entre los cuales se cuentan Ethernet, Token Bus, RS-232C, OSI, TCP/IP, y puede ser conectado a muchos más tipos de sistemas usando puentes, enrutadores y gateways.

2.5 SNTP

2.5.1 Introducción

En este numeral se describe el protocolo de tiempo utilizado en el sistema de automatización de la subestación, para la sincronización de tiempo de los relés, controladores de campo, controladores de subestación y las estaciones de trabajo (IHM) a través de la red Industrial Ethernet local en la subestación. El protocolo SNTP provee los mecanismos para sincronizar y coordinar la distribución del tiempo en la red basado en un diseño de "tiempo retornable" el cual depende únicamente de las mediciones de las compensaciones (*offset*) de los relojes y no requiere de transmisiones fidedignas de mensajes. En principio el SNTP sincroniza el tiempo hasta con una precisión del orden de los nanosegundos, la cual depende sin embargo de la precisión del hardware de los relojes locales (estabilidad del reloj). Por lo anterior el protocolo incluye provisiones para especificar las características y estimar el error del reloj local y del servidor de tiempo con el cual se está sincronizando y provisiones para ajustar el tiempo y frecuencia del reloj lógico (software) como resultado de las correcciones determinadas por el SNTP.

En el modelo SNTP una fuente primaria de referencia sincronizada con respecto a un estándar nacional o internacional, por ejemplo GPS o DCF77, actúa como servidor de tiempo y se encarga de responder a las solicitudes de sincronización emitidas por los clientes conectados en la red.

A lo largo de este numeral, se utilizará la siguiente terminología: la *estabilidad* de un reloj es que tan bien puede éste mantener una frecuencia constante, la *exactitud* es que tan bien se compara su frecuencia y tiempo con respecto a un estándar y la *precisión* es que

tan precisas se pueden mantener estas cantidades dentro de un sistema de sincronización. La *compensación* u *offset* entre dos relojes es la diferencia de tiempo entre ellos, y el *esviaje* o *skew* es la diferencia en la frecuencia (primera derivada de la compensación con respecto al tiempo) entre ellos.

El protocolo SNTP está diseñado para producir tres productos: compensación del reloj (*clock offset*), retraso del viaje de ida y vuelta de un mensaje (roundtrip delay) y la dispersión, todos estos referidos con respecto a un reloj de referencia o servidor de tiempo seleccionado. *Clock offset* representa la cantidad en que debe ser ajustado el reloj local para que corresponda con el reloj de referencia. *Roundtrip delay* es el tiempo en que tarda en ir un mensaje desde el cliente hasta un servidor más el tiempo en que tarda en regresar el mensaje desde el servidor hasta el cliente. Dispersión representa el error máximo del reloj local con respecto al reloj de referencia.

La sincronización de un reloj requiere por su naturaleza varios períodos y múltiples comparaciones para obtener un sistema de tiempo exacto. Se requieren varias mediciones para obtener el esviaje de un oscilador y por lo tanto mantener el tiempo local dentro del margen de exactitud requerido, para el presente proyecto la exactitud de los relojes locales será de un milisegundo. La exactitud lograda es directamente proporcional al tiempo que se toma lograrla.

2.5.2 Arquitectura

En lo que sería el más común ejemplo de un modelo cliente/servidor un cliente SNTP (relé, controlador de campo, estación de trabajo o controlador de subestación) envía un mensaje a un servidor y procesa su respuesta. El servidor por su lado, recibe el mensaje de un cliente, sobrescribe y recalcula algunos campos del mensaje y lo reenvía al cliente respectivo inmediatamente. La información dentro del mensaje SNTP de respuesta del servidor le permite al cliente determinar el tiempo del servidor con respecto al tiempo local y por lo tanto hacer el ajuste acorde. Adicionalmente el mensaje incluye información para calcular la exactitud (error) y confiabilidad del tiempo.

2.5.3 Implementación

El modelo de implementación del protocolo incluye tres procesos que comparten una misma base de datos. El proceso de transmisión en los clientes se ejecuta de forma independiente para cada cliente, donde cada uno envía un mensaje (solicitud) al servidor con la estampa de tiempo local de cuando éste mensaje fue enviado. La tasa de envío de mensajes de sincronización (solicitudes) es determinada por la exactitud que se requiere en el reloj local. En el servidor el proceso de transmisión se ejecuta inmediatamente a la llegada de un mensaje de solicitud de un cliente y genera una respuesta al cliente que la solicitó.

El proceso de recepción, recibe el mensaje SNTP devuelto por el servidor. Con la información contenida en el mensaje, el cliente puede calcular y almacenar la información correspondiente al *offset* entre el reloj local y el del servidor, así como otra información útil para determinar el error. El mensaje es sometido a pruebas de validez para descartar mensajes que no sean relevantes para ese período de sincronización.

El proceso de actualización es iniciado a la llegada de un mensaje (proceso de recepción), el cual procesa el *offset* obtenido de varias observaciones.

Adicional a los tres procesos anteriores se tiene el proceso del reloj local, el cual a partir de las señales del reloj de hardware interno y de los datos de *offset* producidos por el proceso de actualización, se encarga de crear un reloj virtual de alta precisión y exactitud, que es corregido periódicamente por el proceso de actualización del protocolo SNTP.

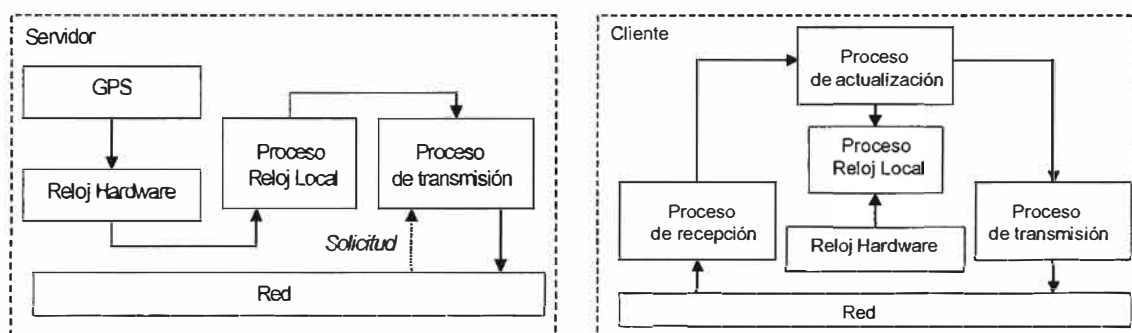


Fig. 2.18: Sincronización de tiempo a través de protocolo SNTP

2.5.4 Formato de datos

La estampa del tiempo representa el dato principal del protocolo y está representado por un número sin signo de 64 bits, dado en segundos relativos a la hora 0 del 1 de enero de 1900. La parte entera del número está dada por los primeros 32 bits y la fracción está dada por los últimos 32 bits. La precisión de esta representación es de aproximadamente 200 picosegundos. El contador de segundos se llenará en algún instante en el año 2036. Pasada esta fecha se requerirá de una señalización adicional (era) para identificar los segundos relativos al año 1900 (primera era) y los relativos al año 2036 (segunda era) y subsiguientes intervalos de 136 años.

La estampa de tiempo se genera a partir de la copia del valor actual del reloj local transformada en el formato SNTP en el momento que se genera un evento significativo, como por ejemplo, la llegada de un mensaje o la transmisión de un mensaje. Con el fin de obtener la máxima exactitud, es importante que esta estampación se haga lo más próximo al hardware o software que genera el evento. En los casos en que no existe una estampa de tiempo para un evento, por ejemplo, cuando el reloj local es rearrancado o el protocolo SNTP es arrancado por primera vez, se define como tiempo indefinido y se representa con ceros en los 64 bits.

2.5.5 Formato del mensaje SNTP

El mensaje SNTP posee los estos campos, los cuales se describen y enumeran de la siguiente manera

Leap Indicador: Código de dos bits que indica una advertencia de salto de un segundo a ser adicionado o eliminado en el último minuto del presente día. Adicionalmente indica si el reloj no está sincronizado. Ver Tabla 2.2

Tabla 2.2

Valor	Significado
0	no hay alarma
1	último minuto tiene 61 segundos
2	último minuto tiene 59 segundos
3	reloj no sincronizado

SNTP Version: Entero de 3 bits que identifica la versión del protocolo SNTP que está utilizando cada elemento de la red. Para el proyecto se está utilizando la versión 4 del protocolo. Ver Tabla 2.3

Mode o Modo: Entero de 3 bits que identifica el modo de operación del equipo.

Tabla 2.3

Valor	Significado
0	Reservado
1	simétrico activo
2	simétrico pasivo
3	Cliente
4	Servidor
5	Broadcast
6	Reservado
7	Reservado

Para la arquitectura utilizada en el proyecto, el cliente pone en el mensaje de solicitud (proceso de transmisión) un valor de 3 (cliente) y el servidor pone en este campo en su respuesta al cliente un valor de 4 (servidor).

Stratum: Entero de ocho bits sin signo que identifica el nivel jerárquico del reloj local en la estructura de la red. Ver Tabla 2.4

Tabla 2.4

Valor	Significado
0	no especificado o no disponible
1	referencia primaria (servidor de tiempo)

	GPS)
2-15	referencias secundarias (vía SNTP)
16-255	Reservado

Este campo representa la ubicación del reloj local en la red de sincronización. Cada equipo de un nivel (*stratum*) inferior puede ser servidor de sincronización para equipos de *stratum* superior. El reloj maestro de sincronización HOPF SNTP-Server está ubicado en *stratum* 1 y los relés, controladores de campo, controladores de subestación, estaciones de trabajo, están ubicados en *stratum* 2.

Poll Interval: Entero con signo de ocho bits que determina el intervalo de tiempo dado en segundos a la potencia de dos, entre dos órdenes sucesivas de transmisión (solicitudes) de mensajes de un cliente. Para la presente aplicación se utilizará el intervalo dado por los valores entre 6 (64 segundos) y 10 (1024 segundos). Los clientes irán ajustando este valor dentro del intervalo anteriormente citado dependiendo de los requerimientos de exactitud solicitados.

Precision: Entero con signo de ocho bits que determina la precisión del reloj local dado en segundos a la potencia de dos. Para relojes con osciladores de cristal de 1000 Hz (1ms) tienen en este campo un valor de -9. Este valor se determina como el negativo del número de bits significativos a la derecha del punto decimal del formato de tiempo SNTP que puede entregar el reloj local.

Root Delay: Número de 32 bits con signo, con el punto de fracción entre los bits 15 y 16 que identifica en segundos el tiempo de ida y regreso (*roundtrip delay*) que toma un mensaje ir desde el equipo local hasta la referencia primaria y regreso.

Root Dispersion: Número de 32 bits sin signo, con el punto de fracción entre los bits 15 y 16 que identifica en segundos el error nominal del reloj local con respecto a la referencia primaria.

Reference Clock Identifier: Cadena ASCII de cuatro caracteres que identifica el tipo de la referencia primaria. Para la presente aplicación el tipo de referencia primaria utilizada es el sistema GPS.

Reference Timestamp o Estampa de tiempo de referencia: Tiempo dado en formato SNTP en el que fue establecido o corregido el reloj local.

Originate Timestamp o Estampa de tiempo de origen: Tiempo dado en formato SNTP en el que fue enviado el mensaje de solicitud del cliente.

Receive Timestamp o Estampa de tiempo de recibo: Tiempo dado en formato SNTP en el que fue recibido en el servidor el mensaje de solicitud del cliente.

Transmit Timestamp o Estampa de tiempo de transmisión: Tiempo dado en formato SNTP en el que fue enviado el mensaje de respuesta del servidor hacia el cliente.

Authenticator (Opcional, no utilizado en la presente aplicación): Cuando se utiliza el esquema de autenticación del protocolo NTP, este campo representa la llave de identificación.

Parámetros del Protocolo

Los siguientes son los parámetros (constantes) definidos en el archivo de configuración del protocolo como referencias para el sistema:

MAXDISPERSE es el valor máximo de dispersión definido para el sistema.

MAXPOLL es el valor máximo que puede tomar la variable del sistema *Poll Interval*.

MINPOLL es el valor mínimo que puede tomar la variable del sistema *Poll Interval*.

MAXSKEW es el desvío máximo definido para el sistema.

MAXAGE es el tiempo máximo durante el que se considera que el tiempo del servidor es válido después de su última actualización.

SHIFT es el tamaño del registro de memoria utilizado por el proceso de filtro de reloj.

2.5.6 Secuencia de eventos

a) Transmisión

En un cliente cuando expira el contador de transmisión se ejecuta el proceso de transmisión, en el cual, el cliente crea y envía un mensaje (solicitud) en modo 3 (cliente) al servidor de tiempo de la red.

Cada cliente posee de forma independiente un contador de transmisión usado para controlar el intervalo entre órdenes de transmisión de mensajes. El valor del contador disminuye en intervalos de un segundo hasta llegar al valor cero, en este instante se desencadena una orden de transmisión por parte del cliente. Después de este evento el contador es renovado con el valor establecido en el campo *Poll Interval* del mensaje.

El propósito del mensaje transmitido es solicitarle al servidor que envíe un mensaje con las estampas de tiempo requeridas y demás información relacionada con la exactitud del sistema, para que el cliente pueda iniciar el proceso de actualización del reloj local. Dado lo anterior para esta solicitud la mayor parte de los campos del mensaje son irrelevantes y el cliente les adjudica el valor cero, a excepción de los campos:

- Leap interval: 0 (no alarmas)
- Versión: 4
- Mode: 3 (cliente)
- Poll interval: el proceso arranca con un valor de 6 (64 segundos) y es ajustado por los algoritmos del sistema dependiendo de los requerimientos de exactitud del sistema hasta un valor de 10 (1024 segundos)
- Estampa de tiempo de transmisión: donde el cliente copia el valor actual del reloj local en el momento en que este mensaje es transmitido.

El mensaje del cliente es recibido por el servidor, quien generará inmediatamente una respuesta al cliente. Algunos de los campos del mensaje de respuesta son copia del mensaje de solicitud y otros tienen información relacionada con el reloj local del servidor. El mensaje de respuesta es diligenciado de la siguiente forma:

- **Leap interval:** 0 (si el reloj maestro tiene una buena recepción de satélites y está siendo sincronizado vía GPS o 3 en caso dado que el reloj maestro no se encuentre sincronizado)
- **versión:** 4
- **modo 4** (servidor)
- **stratum:** 1 (referencia primaria o 0 en caso dado que el reloj maestro no se encuentre sincronizado)
- **poll interval:** copia el valor exacto de este campo del mensaje de solicitud del cliente
- **precision:** -20 (representa el valor de precisión del servidor de SNTP marca HOPF utilizado en este proyecto, el cual tiene una precisión de +/- 300 ns)
- **root delay:** 0 (ya que el servidor es la fuente primaria de referencia)
- **root dispersión:** 0,0001 (el cual representa el error máximo esperado del reloj local del servidor de SNTP marca HOPF utilizado en este proyecto. Este equipo tiene una estabilidad en el cuarzo de 0,1 ppm lo que implica en el máximo intervalo de "polling" posible (1024 segundos) un error de 0,0001024 segundos)

Los campos correspondientes a las estampas de tiempo son diligenciados de la siguiente forma, si el servidor no está sincronizado todos los campos toman el valor cero de lo contrario:

- Estampa de tiempo de referencia: se registra el tiempo de la última actualización del reloj local del servidor.
- Estampa de tiempo de origen: se copia de forma exacta el valor del campo de estampa de tiempo de transmisión del mensaje de solicitud enviado por el cliente, es importante que la copia sea exacta ya que el protocolo utiliza esto para filtrar repeticiones del mensaje causados en la red.
- Estampa de tiempo de recibo: donde el servidor copia el valor actual del reloj local en el momento en que llegó el mensaje de solicitud de cliente.
- Estampa de tiempo de transmisión: donde el servidor copia el valor actual del reloj local en el momento en que este mensaje es transmitido.

b) Recepción Cliente

Cuando el cliente recibe el mensaje de respuesta del servidor (el cliente lo identifica por tener el mensaje el modo 4), como primera medida realiza una verificación de la

relevancia del mensaje, ejecutando unos algoritmos de filtrado que someten al mensaje a 8 pruebas. Si estas pruebas son válidas el cliente determina una estampa de tiempo denominada estampa de destino, equivalente al valor del reloj en formato SNTP del instante en que el cliente recibe la respuesta del servidor. Junto con esta estampa de tiempo y la información contenida en la respuesta enviado por el servidor, el cliente posee la información requerida para calcular los tres productos principales para arrancar posteriormente el proceso de actualización del reloj local. El cliente calcula la compensación del reloj (*clock offset*), retraso del viaje de ida y vuelta del mensaje (*roundtrip delay*) y la dispersión, todos estos referidos con respecto al reloj de referencia primario del servidor. Ver Fig. 2.19.

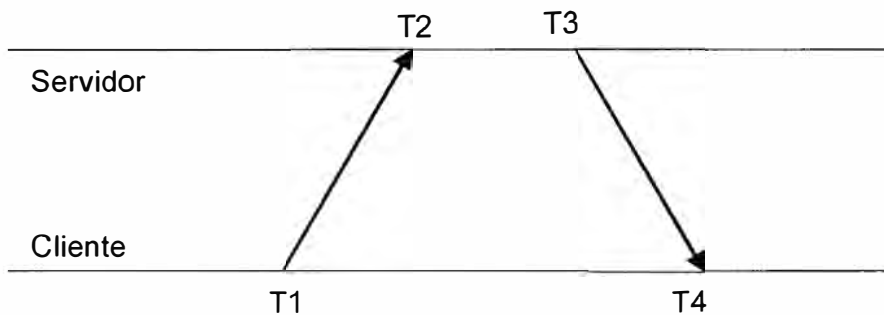


Fig. 2.19 Retardos en el envío y recepción de mensajes de sincronización

Para los cálculos anteriores, el cliente utiliza los siguientes tiempos incluidos en el telegrama según la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Generación Tiempos

Tiempo	ID	Generada por
Estampa de tiempo de origen	T1	tiempo del envío de la solicitud del cliente
Estampa de tiempo de recibo	T2	tiempo del recibo de la solicitud en el servidor
Estampa de tiempo de transmisión	T3	tiempo de envío de la respuesta en el servidor
Estampa de tiempo de destino	T4	tiempo de recibo de la respuesta en el cliente

Mediante las ocho pruebas a que es sometido el mensaje el cliente verifica la calidad del equipo de referencia primario y la validez de los datos enviados. Las pruebas del 5 al 8 pretenden verificar la validez de la información general de la fuente primaria de referencia de donde procede el mensaje (información del encabezado), si todas estas 4 pruebas son aprobadas, el cliente puede confiar en el equipo de referencia primario, e incrementar en su base de datos la variable correspondiente al contador de mensajes confiables recibidos de ese servidor de tiempo específico.

Las pruebas 1 al 4 a que es sometido el mensaje, pretenden verificar la validez de la información (información para sincronización) de las estampas del tiempo del mensaje. Si estas cuatro pruebas son aprobadas y adicionalmente el equipo de referencia primario es confiable (pruebas 5 al 8 aprobadas también) el cliente ejecuta la función de actualización de su reloj local con la información proporcionada por el mensaje.

La prueba 1 verifica que el tiempo T3 (tiempo de envío de la respuesta en el servidor) no sea igual a la de un mensaje anterior ya que esto significaría que el mensaje que llegó es una repetición del mensaje anterior y no corresponde a la respuesta de una nueva solicitud hecha por el cliente.

La prueba 2 verifica que el tiempo T1 (tiempo del envío de la solicitud del cliente) sea exactamente igual a la estampa de tiempo de transmisión de la última solicitud hecha por el cliente, ya que esto implicaría que el mensaje recibido es la respuesta a esta solicitud y garantiza que no sea una respuesta a una solicitud desactualizada.

La prueba 3 requiere que los tiempos T1 y T2 sean distintos de cero, ya que esto significaría que ninguno de los dos relojes (local y de la referencia primaria) están sincronizados.

Con la información contenida en el mensaje el cliente calcula los siguientes productos con respecto a la fuente primaria:

El *roundtrip delay* está definido por la Ecuación (2.3):

$$\delta = (T4 - T1) - (T3 - T2) \dots\dots\dots(2.3)$$

El *offset* está definido por la Ecuación (2.4):

$$\theta = \frac{(T2 - T1) + (T3 - T4)}{2} \dots\dots\dots(2.4)$$

La dispersión está definida por la Ecuación (2.5):

$$\varepsilon = E + \varphi(T4 - T1) \dots\dots\dots(2.5)$$

Donde E es la precisión del reloj local del servidor y φ es la *esviaje* o *skew* definida para el sistema, según la Ecuación (2.6), esta variable φ se expresa como la división propuesta.

$$\varphi = \frac{(MAXSKEW)}{(MAXAGE)} \dots\dots\dots(2.6)$$

La prueba 4 verifica que el *roundtrip delay* y la *dispersión* estén dentro de unos valores razonables definidos por el parámetro MAXDISPERSE.

La prueba 5 aplica únicamente si se está utilizando un esquema de autenticación del protocolo NTP, y verifica que la llave de identificación del servidor contenida en el mensaje sea válida. (No aplica para el presente proyecto).

La prueba 6 requiere que el reloj del servidor de tiempo esté sincronizado y que no haya pasado más de un tiempo especificado (MAXAGE) desde su última actualización.

La prueba 7 asegura que el cliente no se está sincronizando con un servidor de *stratum* superior.

La prueba 8 requiere que la *dispersión* del servidor de tiempo esté dentro de unos valores razonables definidos por MAXDISPERSE.

Cuando un servidor es identificado como confiable (pruebas del 5 al 8) el cliente incrementa en su base de datos la variable correspondiente al contador de mensajes confiables recibidos de ese servidor de tiempo específico. Si dentro del intervalo definido por dos envíos consecutivos de solicitud por parte de un cliente (Poll Interval) el contador de mensajes confiables es incrementado por lo menos una vez, y esta operación se repite ocho veces, el valor de la variable Poll Interval del cliente es incrementada una unidad (hasta MAXPOLL), de lo contrario es reducida una unidad (hasta MINPOLL).

c) Actualización reloj local del cliente

Este proceso se ejecuta cuando el cliente determina que el servidor de quien recibió la respuesta a su solicitud de sincronización es confiable (pruebas 5 al 8 superadas) y adicionalmente la información de la respuesta es válida (pruebas 1 al 4 superadas). El proceso de actualización ejecuta el subproceso de filtrado de la información del mensaje (selección de la mejor tripleta de medidas de *offset*, *delay* y *dispersión* obtenidas en los últimos mensajes) para entregarle estos valores al proceso de reloj local.

El subproceso de filtrado de la información del mensaje, denominado dentro del protocolo SNTP como filtro del reloj, utiliza un registro de memoria donde se almacenan tantas tripletas de la forma (*offset*, *delay* y *dispersión*) como estén definidas en el parámetro del sistema denominada SHIFT. Este registro de memoria está inicializado en todas sus posiciones por la tripleta dada por los valores de:

Offset: $\theta=0$

Delay: $\delta=0$

Dispersión: $\varepsilon= \text{MAXDISPERSE}$

Cuando se ejecuta el proceso de actualización del reloj, se corre el registro en la medida en que son introducidos en un extremo los valores de *offset*, *delay* y *dispersión* calculados del mensaje nuevo y son descartados los valores de la tripleta del otro extremo. Adicionalmente son actualizados en las tripletas viejas el valor de *dispersión*, en la medida en que se le suma al valor de dispersión archivado el error causado por el *esviaje*. La siguiente Ecuación 2.7 muestra el valor de la dispersión archivada por la diferencia de tiempos establecido en la Tabla 2.5

$$\varepsilon = \varepsilon + \varphi(T4 - T1) \dots\dots\dots 2.7$$

Donde ε es la dispersión archivada y φ es la rata de *esviaje* o *skew* definida para el sistema.

Con el procedimiento anterior se “castigan” las tripletas viejas del registro.

El proceso de filtrado calcula un valor característico de cada tripleta denominado distancia definida por la Ecuación (2.8):

$$\lambda = \varepsilon + \frac{\delta}{2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Este valor relaciona el *delay* del mensaje con la *dispersión* característica de cada tripleta.

El filtro selecciona la tripleta dentro del registro con la menor distancia y toma sus valores (*offset*, *delay* y *dispersión*) cómo los valores definitivos que le debe entregar al proceso del reloj local.

2.5.7 Reloj Local

Con el fin de tener localmente un reloj de alta precisión y exactitud (+/- 1 ms), se crea un reloj virtual en cada servidor y cliente, el cual a partir del reloj de hardware local conformado principalmente por un oscilador quien determina la estabilidad y componentes de software encargados de corregir el tiempo aparente y la frecuencia en respuesta a las periódicas actualizaciones calculadas por el protocolo SNTP. Dependiendo de la magnitud de la corrección necesaria para llevar al reloj local a un *offset* de cero, se hace una corrección escalonada del tiempo, donde se corrige el tiempo aparente por el valor completo del *offset* o se hace una corrección gradual en donde se hacen pequeñas correcciones del tiempo aparente hasta llegar al valor *offset* de cero.

El reloj local para el presente proyecto es el GPS M300.

2.5.8 Precisión y Propagación de errores

a) Errores en la estampa de tiempo

La definición estándar de segundo dada por la descomposición de un átomo de cesium-133 tiene una granularidad de aproximadamente 1.1×10^{-10} , y la resolución obtenida del formato de tiempo utilizado en el protocolo SNTP es de 2.3×10^{-10} por lo que el error introducido por la conversión del tiempo a formato SNTP puede ser despreciado. Sin embargo al crear la estampa de tiempo tanto el servidor como el cliente introducen un error en los valores de la estampa de tiempo en la medida en que sus relojes locales no alcanzan la granularidad establecida en el protocolo SNTP. Este error está definido por la precisión de los relojes locales.

b) Errores en las mediciones

En el protocolo SNTP, el *offset* y el *delay* son determinados a partir de la medición de los tiempos T1, T2, T3 y T4 definidos anteriormente en éste documento, estas medidas adicionalmente a los errores inherentes a la precisión del reloj (conforme a los descrito

anteriormente) poseen un error debido a la estabilidad del reloj local, debida a las variaciones en la frecuencia de los relojes.

El protocolo SNTP provee un campo (*dispersión*) para establecer el valor máximo del error causado por los efectos anteriormente descritos. Esta información es utilizada por el proceso de reloj local para minimizar los efectos de estos errores haciendo los ajustes respectivos del reloj local virtual.

c) Errores en la red

Normalmente los errores debidos a los retrasos en las redes predominan. En general no es posible representar estos retrasos en un modelo sencillo, ya que el tráfico en las redes se comporta muchas veces de forma caótica, sin embargo es posible determinar el rango dentro del cual se encuentra la medida real.

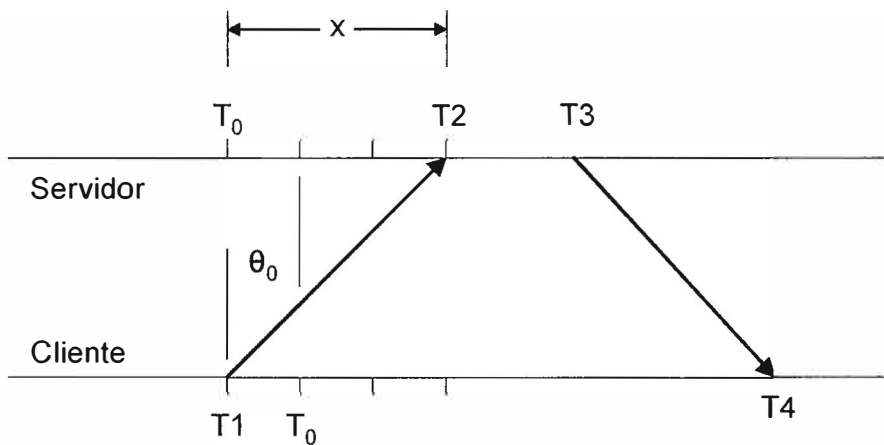


Fig. 52: Cálculos de los retardos en los mensajes de sincronización

Según la Fig. 52, si se define $a=T2-T1$ y que $b=T3-T4$, se obtiene la Ecuación (2.9), la cual viene expresada por:

$$\theta = \frac{a+b}{2} \text{ y que } \delta = a-b \dots\dots\dots(2.9)$$

Si θ_0 es el verdadero *offset*, y x es el verdadero *delay*, se tiene que $\theta_0+x=a$ y dado que x tiene que ser mayor que cero, se tiene que $\theta_0 \leq a$, de forma similar se obtiene que $b \leq \theta_0$

Usando lo anterior se llega a la conclusión que θ_0 está limitada de acuerdo a la Ecuación (2.10).

$$\theta - \frac{\delta}{2} \leq \theta_0 \leq \theta + \frac{\delta}{2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Lo que significa que con menores retrasos en la red y con retrasos simétricos en la ida y regreso del mensaje, se obtienen valores más próximos al *offset* real.

El protocolo SNTP minimiza los efectos de este error al utilizar el proceso de filtro de reloj para seleccionar el mejor valor de *offset*. Por lo anterior se requiere de varios períodos y múltiples comparaciones para obtener un sistema de tiempo exacto (Fig. 51).

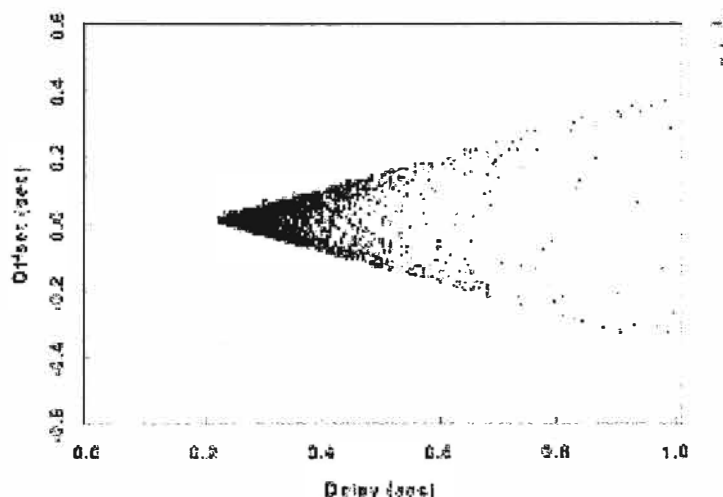


Fig. 51: Representación estadística de la sincronización continua de una IED

2.5.9 Configuración

La configuración inicial del SNTP en el servidor y los clientes está contenida en un archivo de texto, que puede ser modificada con un editor estándar de texto. Normalmente se espera que los clientes y servidores de SNTP operen sin necesidad de ajustes, salvo la especificación de la dirección IP y máscara de subred que les ha sido asignada. Este dato es introducido en el archivo de configuración de cada cliente y servidor.

Otros datos que incluyen el archivo de configuración son los parámetros:

MAXDISPERSE = 0,01 segundos

MAXPOLL = 10 (1024 segundos)

MINPOLL = 6 (60 segundos)

MAXSKEW = 1 segundo

MAXAGE = 86,400 segundos

SHIFT = 8

2.6 CLASIFICACIÓN OSI

La mejor manera de enviar un mensaje es hacerlo de forma directa, sin ningún tipo de conversión entre el emisor y receptor. Hoy en día, para la comunicación en las subestaciones, existe una gran cantidad de protocolos. Por este motivo se están utilizando protocolos de conversión para que los dispositivos que funcionan en distintos protocolos puedan comunicarse. Sin embargo estos protocolos pueden ser los causantes de errores en los mensajes e incluso introducir importantes retrasos. El gran número de protocolos existentes ha originado una gran inversión en desarrollo por parte de los fabricantes al igual que en la operación y mantenimiento por parte de los usuarios.

Los protocolos en el campo eléctrico deben de cumplir dos características principales:

Deben de ser deterministas: El máximo tiempo que transcurre desde que aparece un evento hasta que el operador recibe este mensaje debe estar determinado.

Debe de utilizar fechado de eventos: Todas las unidades están sincronizadas y cada una envía su evento con fecha para poder determinar el orden real en que ocurrieron.

A finales de la década de los setenta, la Organización Internacional para la Normalización (ISO) empezó a desarrollar un modelo conceptual para la conexión en red al que bautizó con el nombre de *Open Systems Interconnection Reference Model* o Modelo de Referencia de Interconexiones de Sistemas Abiertos. En los entornos de trabajo con redes se le conoce más comúnmente como el modelo OSI. En 1984, este modelo pasó a ser el estándar internacional para las comunicaciones en red al ofrecer un marco de trabajo conceptual que permitía explicar el modo en que los datos se desplazaban dentro de una red.

Se trata de un modelo el cual plantea la comunicación en 7 niveles distintos (según la Tabla 2.6). Cada nivel trata un aspecto específico de la comunicación proporcionando una interfaz al nivel superior.

Tabla 2.6 Niveles OSI

NIVEL	NOMBRE	CATEGORÍA
Capa 7	Nivel de aplicación	Aplicación
Capa 6	Nivel de presentación	
Capa 5	Nivel de sesión	
Capa 4	Nivel de transporte	
Capa 3	Nivel de red	Transporte de datos
Capa 2	Nivel de enlace de datos	
Capa 1	Nivel físico	

A su vez, esos 7 niveles se pueden subdividir en dos categorías (Según Tabla 2.6), las capas superiores y las capas inferiores. Las 4 capas superiores trabajan con problemas particulares a las aplicaciones, y las 3 capas inferiores se encargan de los problemas pertinentes al transporte de los datos.

2.6.1 Capas OSI

Las capas del modelo OSI describen el proceso de transmisión de los datos dentro de una red. Las dos únicas capas del modelo con las que, de hecho, interactúa el usuarios con la primera capa, la capa Física, y la última capa, la capa de Aplicación.

La capa física abarca los aspectos físicos de la red (es decir, los cables, hubs y el resto de dispositivos que conforman el entorno físico de la red).

La capa de aplicación proporciona la interfaz que utiliza el usuario en su ordenador para enviar mensajes de correo electrónico o ubicar un archivo en la red.

Cuando los datos abandonan la capa de aplicación (la capa insertará un encabezado de capa de aplicación en el paquete de datos), éstos pasan por las restantes capas del modelo OSI. Cada capa proporcionará servicios específicos relacionados con el enlace de comunicación que debe establecerse, o bien formateará los datos de una determinada forma.

Al margen de la función específica que tenga asignada cada capa, todas adjuntan un encabezado (los encabezados vienen representados por cuadritos en la siguiente figura) a los datos. Puesto que la capa física está integrada por dispositivos de hardware (un cable, por ejemplo) nunca añade un encabezado a los datos.

Los datos llegan así a la capa física (el entorno tangible de la red, como los cables de par trenzado y *hubs*) del destinatario, desplazándose por el entorno físico de la red hasta alcanzar su destino final.

Los datos se reciben en la capa física del receptor y pasan a subir por la pila OSI. A medida que los datos van pasando por cada una de las capas, el encabezado pertinente se va suprimiendo de los datos. Cuando los datos finalmente alcanzan la capa de aplicación, el destinatario puede utilizar los datos (Fig. 2.16)

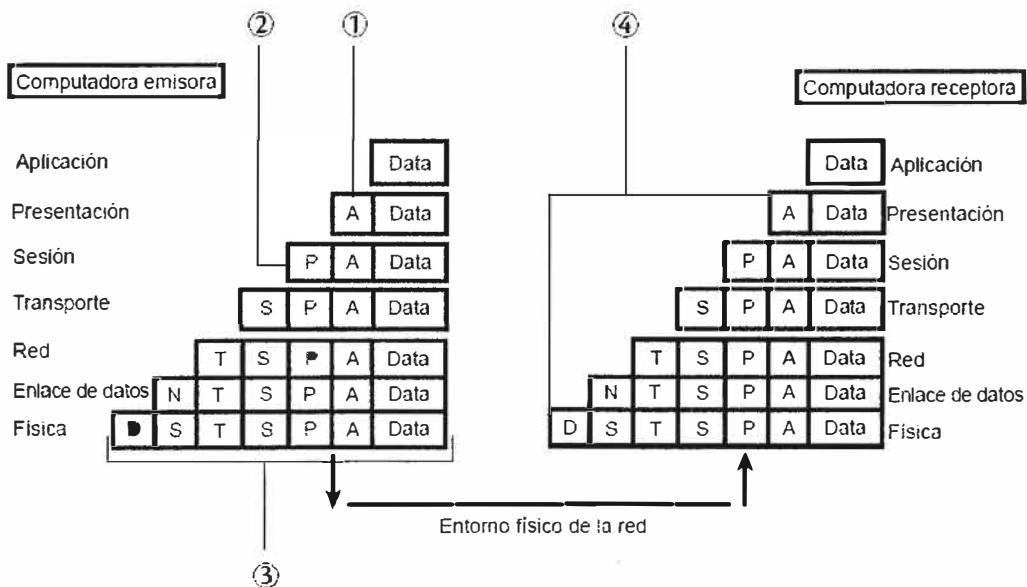


Fig. 2.16 Transmisión Capas OSI

1. Encabezado de la capa de aplicación.
2. Encabezado de la capa de presentación.
3. Paquetes con todos los encabezados de las capas OSI.
4. Los encabezados se van suprimiendo a medida que los datos suben por la capa OSI.

a) Nivel 1- Físico

La Capa Física del modelo de referencia OSI es la que se encarga de las conexiones físicas hacia la red, tanto en lo que se refiere al medio físico (medios guiados: cable coaxial, cable de par trenzado, fibra óptica y otros tipos de cables; medios no guiados: radio, infrarrojos, microondas, láser y otras redes inalámbricas); características del medio (p.e. tipo de cable o calidad del mismo; tipo de conectores normalizados o en su caso tipo de antena; etc.) y la forma en la que se transmite la información (codificación de señal, niveles de tensión/intensidad de corriente eléctrica, modulación, tasa binaria, etc.)

Es la encargada de convertir las tramas procedente de la capa de enlace de datos en una secuencia única de bits que puede transmitirse por el entorno física. Se ocupa de las propiedades físicas y características eléctricas de los diversos componentes; de la velocidad de transmisión, si ésta es uni o bidireccional (símplex, dúplex o full-dúplex). También de aspectos mecánicos de las conexiones y terminales, incluyendo la interpretación de las señales eléctricas/electromagnéticas.

Sus principales funciones se pueden resumir como:

- Definir el medio o medios físicos por los que va a viajar la comunicación: cable de pares trenzados (o no, como en RS232/EIA232), coaxial, guías de onda, aire, fibra óptica.
- Definir las características materiales (componentes y conectores mecánicos) y eléctricas (niveles de tensión) que se van a usar en la transmisión de los datos por los medios físicos.
- Definir las características funcionales de la interfaz (establecimiento, mantenimiento y liberación del enlace físico).
- Transmitir el flujo de bits a través del medio.
- Manejar las señales eléctricas/electromagnéticas
- Especificar cables, conectores y componentes de interfaz con el medio de transmisión, polos en un enchufe, etc.
- Garantizar la conexión (aunque no la fiabilidad de ésta).

El nivel físico recibe una trama binaria que debe convertir a una señal eléctrica, electro magnético, óptica u otra dependiendo del medio, de tal forma que a pesar de la degradación que pueda sufrir en el medio de transmisión vuelva a ser interpretable correctamente en el receptor.

En el caso más sencillo el medio es directamente digital, como en el caso de las fibras ópticas, dado que por ellas se transmiten pulsos de luz.

Cuando el medio no es digital hay que codificar la señal, en los casos más sencillos la codificación puede ser por pulsos de tensión (PCM o *Pulse Code Modulation*)

(por ejemplo 5 V para los "unos" y 0 V para los "ceros"), es lo que se llaman codificación unipolar RZ. Otros medios se codifican mediante presencia o ausencia de corriente. En general estas codificaciones son muy simples y no usan bien la capacidad de medio. Cuando se quiere sacar más partido al medio se usan técnicas de modulación más complejas, y suelen ser muy dependientes de las características del medio concreto. En los casos más complejos, como suelen ser las comunicaciones inalámbricas, se pueden dar modulaciones muy sofisticadas, este es el caso de los estándares Wi-Fi, con técnicas de modulación complejas de espectro ensanchado. Indirectamente el tipo de conexión que se haga en la capa física puede influir en el diseño de la capa de Enlace. Atendiendo al número de equipos que comparten un medio hay dos posibilidades:

Conexiones punto a punto: que se establecen entre dos equipos y que no admiten ser compartidas por terceros.

Conexiones multipunto: en las que dos o más equipos pueden usar el medio. Así por ejemplo la fibra óptica no permite fácilmente conexiones multipunto, y por el contrario las conexiones inalámbricas son inherentemente multipunto. Hay topologías como el anillo, que permiten conectar muchas máquinas a partir de una serie de conexiones punto a punto.

A la hora de diseñar una red hay equipos adicionales que pueden funcionar a nivel físico, se trata de los repetidores, en esencia se trata de equipos que amplifican la señal, pudiendo también regenerarla. En las redes Ethernet con la opción de cableado de par trenzado (la más común hoy por hoy) se emplean unos equipos de interconexión llamados concentradores (repetidores en las redes 10Base-2) más conocidos por su nombre en inglés (hubs) que convierten una topología física en estrella en un bus lógico y que actúan exclusivamente a nivel físico, a diferencia de los conmutadores (switches) que actúan a nivel de enlace.

b) Nivel 2- Enlace

Cuando los paquetes de datos llegan a la capa de enlace de datos, éstos pasan a ubicarse en tramas (unidades de datos), que vienen definidas por la arquitectura de red que se está utilizando (como Ethernet, Token Ring, etc). La capa de enlace de datos se encarga de desplazar los datos por el enlace físico de comunicación hasta el nodo receptor, e identifica cada ordenador incluida en la red de acuerdo con su dirección de hardware, que viene codificada en la NIC.

La información de encabezamiento se añade a cada trama que contenga las direcciones de envío y recepción. La capa de enlace de datos también se asegura de que las tramas enviadas por el enlace físico se reciben sin error alguno. Por ello, los

protocolos que operan en esta capa adjuntarán un chequeo de Redundancia Cíclica (*Cyclical Redundancy Check* o CRC) al final de cada trama. El CRC es básicamente un valor que se calcula tanto en el emisor como en el receptor. Si los dos valores CRC coinciden, significa que la trama se recibió correcta e íntegramente, y no sufrió error alguno durante su transferencia.

El tipo de trama que genera la capa de enlace de datos depende de la arquitectura de red que se esté utilizando, como Ethernet, Token Ring. Esta trama se compone básicamente de un encabezado que la describe, de los datos que incluye, y de la información referente a la capa de enlace de datos (como los Puntos de Acceso al Servicio de Destino, *Destination Service Access Points*, y Puntos de Acceso al Servicio, *Service Access Points*),

La especificación IEE 802 divide la capa de enlace de datos en dos subcapas, el Control Lógico del Enlace (*Logical Link Control*, LLC) y el Control de Acceso al Medio (*Media Access Control*, MAC)

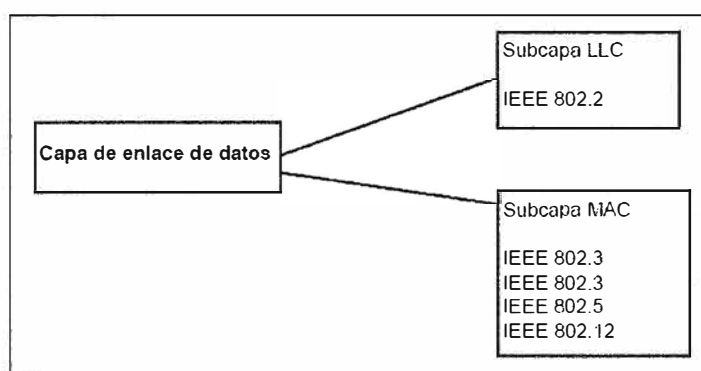


Fig. 2.17 Sub-capas de datos de enlace

La subcapa de Control de Acceso al Medio determina la forma en que los ordenadores se comunican dentro de la red, y cómo y dónde un ordenador puede acceder al entorno físico de la red y enviar datos. La especificación 802 divide a su vez la subcapa MAC en una serie de categorías (que no son más que formas de acceder al entorno físico de la red, según la Fig. 2.17), directamente relacionadas con la arquitectura específica de la red.

c) Nivel 3 Red:

La capa de red encamina los paquetes además de ocuparse de entregarlos. La determinación de la ruta que deben seguir los datos se produce en esta capa, lo mismo que el intercambio efectivo de los mismos dentro de dicha ruta. Esta capa es donde las direcciones lógicas (como las direcciones IP de un ordenador de red) pasan a convertirse en direcciones físicas (las direcciones de hardware de la NIC, la Tarjeta de Interfaz para Red, para ese ordenador específico).

d) Nivel 4 Transporte:

Proporciona el transporte fiable de los datos garantizando el envío de paquetes, controlando el formato, orden de salida y llegada de los paquetes, independiente del hardware.

La capa de transporte se encarga de controlar el flujo de datos entre los nodos que establecen una comunicación; los datos no sólo deben entregarse sin errores, sino además en la secuencia que proceda. La capa de transporte se ocupa también de evaluar el tamaño de los paquetes con el fin de que éstos tengan el tamaño requerido por las capas inferiores del conjunto de protocolos. El tamaño de los paquetes lo dicta la arquitectura de la red que se utilice.

La comunicación también se establece entre dos nodos (emisor y receptor) del mismo nivel; la aceptación por parte del nodo receptor se recibe cuando el nodo emisor ha enviado el número acordado de paquetes. Por ejemplo, el nodo emisor puede enviar de un solo golpe tres paquetes al nodo receptor y después recibir la aceptación por parte del nodo receptor. El emisor puede entonces volver a enviar otros tres paquetes de datos de una sola vez.

Esta comunicación en la capa de transporte resulta muy útil cuando el emisor manda demasiados datos al receptor. En este caso, el nodo receptor tomará todos los datos que pueda aceptar de una sola vez y pasará a enviar una señal de “ocupado” si se envían más datos. Una vez que el receptor haya procesado los datos y esté listo para recibir más paquetes, enviará al emisor un mensaje de “luz verde” para que envíe los restantes.

e) Nivel 5 Sesión:

La capa de sesión es la encargada de establecer el enlace de comunicación o sesión entre las entidades emisoras y receptoras. Esta capa también gestiona la sesión que se establece entre ambos nodos y comprende: establecimiento, mantenimiento y finalización de las sesiones, manejando nombres y direcciones de red.

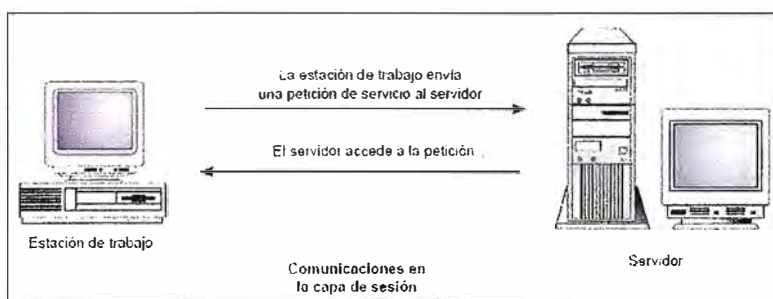


Fig. 2.18 Comunicación en la capa de sesión

Una vez establecida la sesión entre los nodos participantes (Fig. 2.18), la capa de sesión pasa a encargarse de ubicar puntos de control en la secuencia de datos. De esta forma,

se proporciona cierta tolerancia a fallos dentro de la sesión de comunicación. Si una sesión falla y se pierde la comunicación entre los nodos, cuando después se restablezca la sesión solo tendrán que volver a enviarse los datos situados detrás del último punto de control recibido. Así se evita el tener que enviar de nuevo todos los paquetes que incluía la sesión.

Los protocolos que operan en la capa de sesión pueden proporcionar dos tipos distintos de enfoques para que los datos vayan de emisor al receptor: la comunicación orientada a la conexión y la comunicación sin conexión.

Los protocolos orientados a la conexión que operan en la capa de sesión proporcionan un entorno donde los nodos conectados se ponen de acuerdo sobre los parámetros relativos a la creación de los puntos de control en los datos, mantienen un diálogo durante la transferencia de los mismos, y después terminan de forma simultánea la sesión de transferencia.

Los protocolos orientados a la conexión operan de forma parecida a una llamada telefónica: en este caso, la sesión se establece llamando a la persona con la que se desea hablar. La persona que llama y la que se encuentra al otro lado del teléfono mantiene una conexión directa. Y, cuando la conversación termina, ambos se ponen de acuerdo para dar por terminada la sesión y cuelgan el teléfono a la par.

El funcionamiento de los protocolos sin conexión se parece más bien a un sistema de correo regular. Proporciona las direcciones pertinentes para el envío de los paquetes y éstos pasan a enviarse como si se echaran a un buzón de correos. Se supone que la dirección que incluyen permitirá que los paquetes lleguen a su destino, sin necesidad de un permiso previo del receptor.

f) Nivel 6 Presentación:

La capa de presentación puede considerarse el traductor del modelo OSI. Esta capa toma los paquetes (la creación del paquete para la transmisión de los datos por la red empieza en realidad en la capa de aplicación) de la capa de aplicación y los convierte a un formato genérico que pueden leer todos los ordenadores, compatibilizando ficheros, impresoras, plotters, etc. Por ejemplo, los datos escritos en caracteres ASCII se convertirán a un formato más básico y genérico, si corresponde

La capa de presentación también se encarga de cifrar los datos (si así lo requiere la aplicación utilizada en la capa de aplicación) así como de comprimirlos para reducir su tamaño. El paquete que crea la capa de presentación contiene los datos prácticamente con el formato con el que viajarán por las restantes capas de la pila OSI (aunque las capas siguientes irán añadiendo elementos al paquete, lo cual puede dividir los datos en paquetes más pequeños).

g) Nivel 7 Aplicación:

La capa de aplicación proporciona la interfaz y servicios que soportan las aplicaciones de usuario. También se encarga de ofrecer acceso general a la red. Esta capa suministra las herramientas que el usuario, de hecho ve. También ofrece los servicios de red relacionados con estas aplicaciones de usuario, como la gestión de mensajes, la transferencia de archivos y las consultas a bases de datos. La capa de aplicación suministra cada uno de estos servicios a los distintos programas de aplicación con los que cuenta el usuario en su ordenador. Entre los servicios de intercambio de información que gestiona la capa de aplicación se entra la Web, los servicios de correo electrónico (como el protocolo Simple de Transferencia de Correo, comúnmente conocido como SMTP- *Simple Mail Transfer Protocol*- incluido en TCP/P), así como aplicaciones especiales de bases de datos cliente/servidor.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN EN LA AUTOMATIZACIÓN LÍNEA LAS FLORES DE LA SUBESTACIÓN CHILCA REP EN 220 kV

3.1 Introducción

El propietario actual de la Subestación Chilca es la empresa ISA – REP, la cual es una empresa privada de procedencia Colombiana, la cual cuenta con planes de expansión en dicha subestación ubicada en el distrito de Chilca, provincia de Cañete, ubicado en el departamento de Lima.

La subestación Chilca REP es la actualmente la subestación de mayor importancia en el país contando esta con dos niveles de tensión en 220kV y 500kV. Dicha subestación se encuentra conectada al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) a través de múltiples líneas de transmisión, de las cuales, para el interés del presente informe estaremos tratando sobre la Línea Las Flores L-2111

El control y monitoreo de esta subestación, se efectúa a través de cuatro niveles de control jerárquicos, los cuales se describirán en el ítem 3.2. Esta integración de comunicación a través del protocolo IEC 61850, hacia los niveles superiores, describe en principio los equipos involucrados de control y protección de nivel 1 a integrarse al Controlador de Subestación SICAM PAS, describirá también el análisis de funcionamiento de los equipos de nivel 2 manejados por un sistema redundante de IHM's. La data recopilada a través de la SICAM PAS será también enviada al Centro de Control de ISA-REP (Nivel 3), ubicados en la Subestación San Juan – Lima y la Subestación Socabaya – Arequipa.

El protocolo IEC 61850 es aplicado a los equipos de nivel 1 y 2 de la marca Siemens, manejando en estas configuraciones redundantes en comunicación, para garantizar con esto el control permanente de cualquier bahía de subestación, ante cualquier evento de falla.

3.2 Descripción del sistema por niveles de integración

El Sistema de control y automatización en la subestación Chilca (aplicado al sistema de control de la Línea las Flores 220kV) está dividido de acuerdo a la organización por Niveles.

La Fig. 3.1 muestra los niveles Jerárquicos de control para el caso de una Subestación.

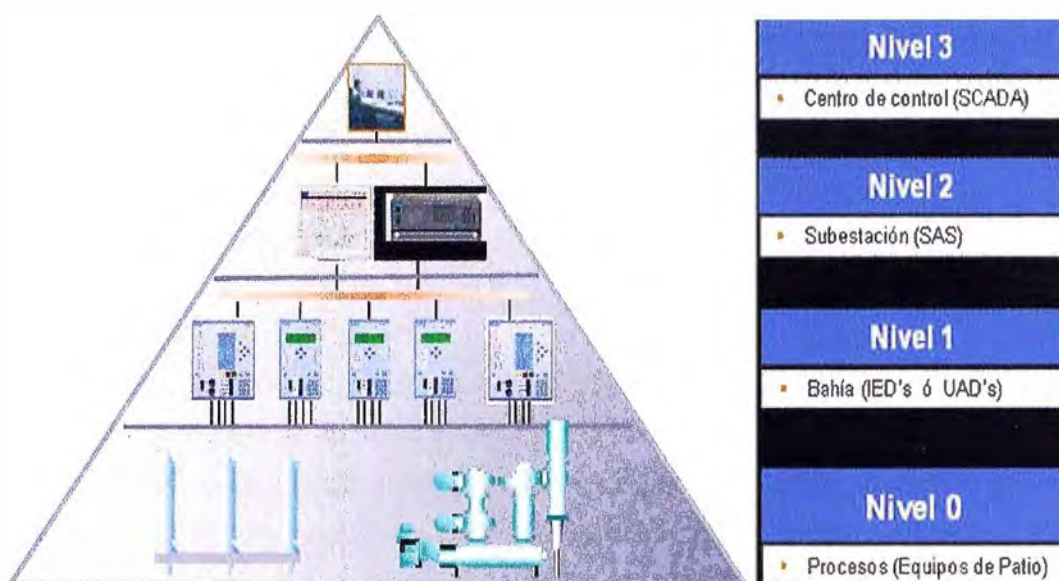


Fig. 3.1: Sistema Jerárquico de control

El sistema de control y monitoreo está basado en el Nivel 1 y 2, en tecnología Siemens. El sistema de automatización de SIEMENS está basado en el sistema SICAM PAS (Concentrador de Subestación) y las IHM's (SICAM PAS CC) para el Nivel 2 y el sistema SIPROTEC 4 para el Nivel 1, los cuales conforman un sistema modular y abierto, donde las tareas específicas de control y protección de sistemas de potencia son realizadas por sistemas numéricos programables e integradas en el mundo de la tecnología de las comunicaciones IT. El sistema cumple con las tareas de:

- Adquisición y distribución de la información en tiempo real.
- Señalización local (Nivel 1 y Nivel 2) y remota (Nivel 3).
- Supervisión.
- Automatización.
- Control local y remoto.
- Control con enclavamientos.
- Control bajo secuencias de mando.
- Conexión centralizada mediante protocolos estándar (configuración Maestro/Esclavo) con equipos de protección, controladores de campo y estaciones esclavas.
- Conexión descentralizada mediante protocolos estándar (configuración Cliente/Servidor) con equipos de protección y controladores de campo.
- Registro y archivo de la información del proceso.
- Integración a otros sistemas mediante la plataforma OPC (Sistema abierto).

Cada uno de los sistemas jerárquicos de control serán descritos a continuación:

3.2.1 Nivel 0 - Celdas de líneas Las Flores 220 kV

Actualmente la bahía de Línea Las Flores L-2111, está conformado por los siguientes equipos de patio de Nivel 0:

- a. Seccionador de línea trifásico con cuchilla de puesta a tierra
- b. Interruptor de potencia, mando motorizado
- c. Seccionador de barra A
- d. Seccionador de barra B
- e. Seccionador de Transferencia

La disposición de estos equipos se muestran en la Fig. 3.2, la cual muestra la configuración de Nivel 0 de la Línea las Flores L-2111.

Estos equipos de patio cumplen con el orden jerárquico de control dispuesto en la Fig. 3.1, el control de mando se efectuará siempre que los selectores de nivel se encuentren el Local, si el selector de nivel se encontrase en Remoto, cada mando de cierre o apertura no contará con el positivo necesario para realizar dicha acción.

Los equipos de patio contarán con enclavamientos cableados propios del Nivel 0, los cuales serán la base para los enclavamientos de Nivel 1, efectuado por los controladores.

Estos equipos mantienen una diferencia entre la lógica de Nivel 0 y Nivel 1.

- Los mandos de Nivel 0 solo estarán presentes si los selectores de Nivel 0 se encuentran en Local.
- Los mandos de Nivel 0 serán efectuados a nivel de mantenimiento.
- Los mandos de Nivel 0 no son efectuados para efectos de energización sobre las bahías (propio de la lógica de REP)
- Los mandos de Nivel 0 (Cierre) sobre el Interruptor serán efectuados solo si los seccionadores de barra se encuentran abiertos (para evitar energización)
- Los mandos de Nivel 0, permiten mando de cierre y apertura sobre el seccionador de tierra. Se entiende que el proceso de aterramiento es un proceso propio de un sistema de mantenimiento de Nivel 0.
- Los mandos de Nivel 1 solo estarán presentes si los selectores de Nivel 0 se encuentran en Remoto.
- Los mandos de Nivel 1 solo estarán presentes si los selectores de Nivel 1 se encuentran en Local
- Los mandos de Nivel 1 permiten la energización de dicha bahía.
- Los mandos de nivel 1, no permiten mando de cierre y apertura sobre el seccionador de tierra.
- Los mandos de Nivel 1 de bahía las Flores cuentan con mando de respaldo sobre el propio tablero el cual es un mando de cierre/apertura dirigido solo al interruptor de dicha bahía.

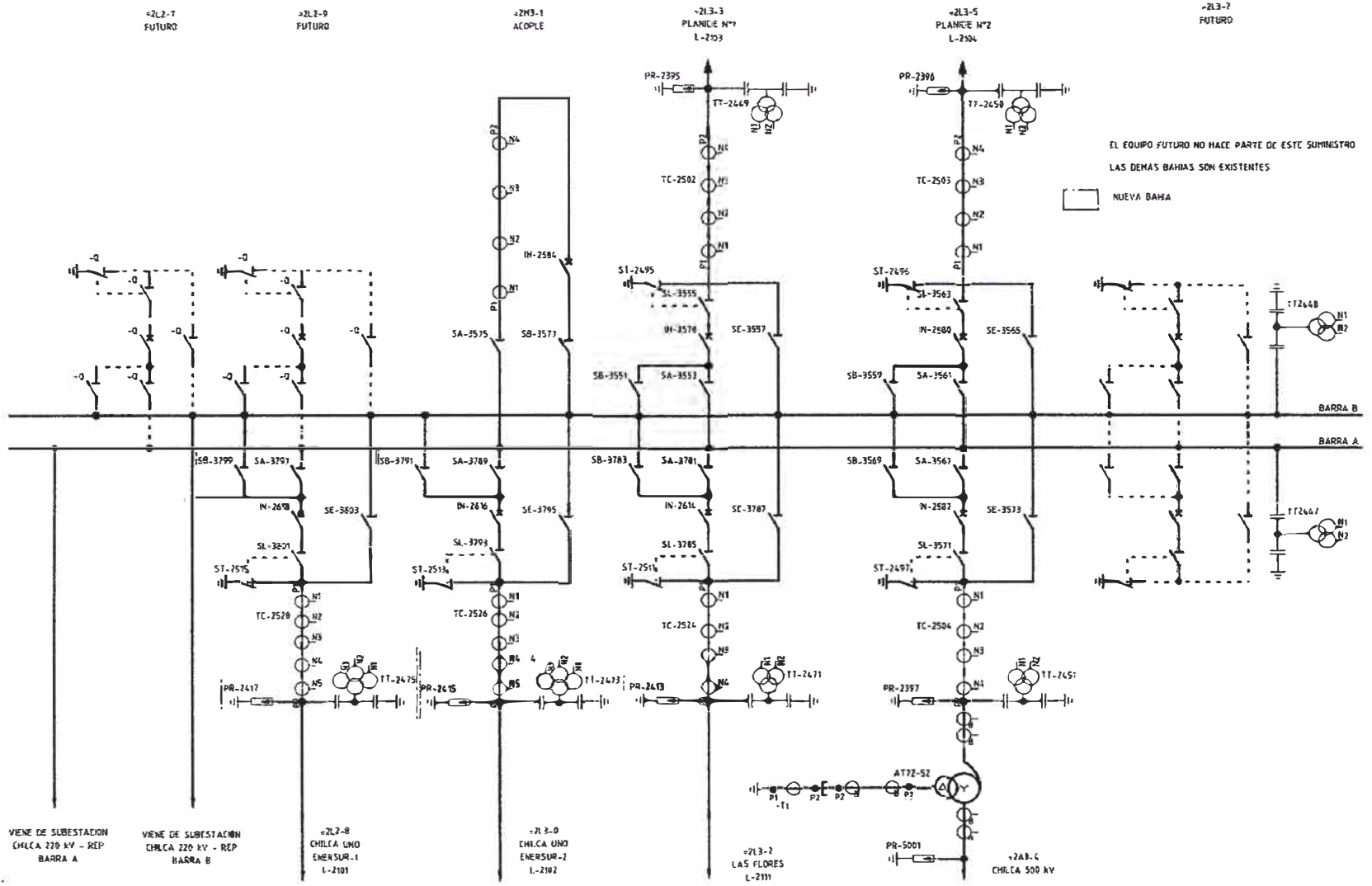


Fig. 3.2: Disposición de equipos de patio de Nivel 0 Línea Las Flores L-2111

3.2.2 Nivel 1 – Equipos Siprotec 4

Los equipos de nivel 1, de control y protección para la Línea las Flores L-2111 están conformados por los siguientes IED's, según la Arquitectura de Control y Comunicación del Item 3.2.4.

- Equipo de Control de bahía Nivel 1: 6MD 664, SIPROTEC 4
- Equipo de Protección Principal Nivel 1: 7SA61, SIPROTEC 4
- Equipo de Protección Respaldo Nivel 1: 7SA61, SIPROTEC 4
- Equipo de Control SSAA Nivel 1: 6MD 663, SIPROTEC 4

Los equipos SIPROTEC 4 pertenecen a la serie de equipos numéricos innovadores de SIEMENS, con tecnología de punta, especialmente diseñados para la protección y el control de los sistemas de media y alta tensión en el área de generación, transmisión y distribución de energía. El software de manejo de estos equipos es el Digsig 4.84 (Versión actualizada), la cual es la encargada entre otras cosas de la configuración del GOOSE de comunicación, el mapeo de entradas y salidas, la configuración de lógicas en el CFC, la configuración en anillo para cada IED, etc.

El procesamiento de señales, totalmente numérico, ofrece alta precisión y consistencia a largo plazo para las medidas y un manejo confiable de armónicos y transitorios. Las técnicas internas de filtrado digital y estabilización dinámica de los valores medidos aseguran un alto grado de seguridad en la determinación de las respuestas de protección. Asimismo, los errores de los equipos son reconocidos e indicados rápidamente gracias a las rutinas de autosupervisión.

Los equipos SIPROTEC 4 (Ver Fig. 3.3), pueden ser seleccionados con funciones de protección y control de forma separada o de forma integrada de acuerdo con la filosofía de protección y control a implementar en cada nivel de tensión dentro de la subestación. De esta forma se tienen las siguientes opciones de equipos SIPROTEC 4:

- Funciones de protección y control en equipos independientes.
- Equipos de protección que proveen la capacidad de controlar el interruptor de un campo, por medio de una interfaz gráfica.
- Equipos de protección y control de varios equipos de maniobra por campo integrados en una sola unidad.

Todos los equipos SIPROTEC son iguales en sus características generales como son:

Uniformidad en el diseño.

- Uniformidad en la estructura de hardware.
- Un mismo software.
- Uniformidad en el método de conexionado.

Se diferencian dependiendo de las aplicaciones según:

- Principio de protección (Distancia, Diferencial, Sobrecorriente, etc.)
- Elemento a proteger (Línea, Transformador, Generador, Motor)
- Tipo de montaje.
- Bloques de funciones estándar para tareas individuales tales como recierre automático, comparación de señales, localizador de fallas, registrador de fallas, etc.

Dependiendo de las funciones y del número de salidas y entradas requeridas, los equipos de control y protección son suministrados en cajas con anchos de 1/6, 1/3, 1/2, y 1/1 del sistema de 19" pulgadas, con despliegue de cristal líquido de cuatro líneas o con mímico del campo incluido, cuatro teclas funcionales frontales libremente programables, 7 ó 14 LED's libremente programables, dos LED's que indican el estado del equipos y selectores de dos posiciones con llave para el manejo del funcionamiento interno del equipo. La disposición general de los equipos se muestra en la Fig. 3.3.

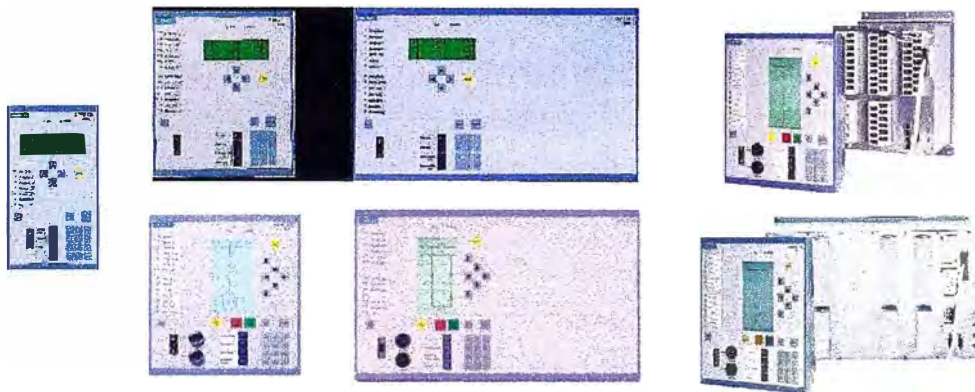


Fig. 3.3: Diversos equipos de la familia SIPROTEC 4

Los equipos poseen de forma estándar dos interfaces:

- Interfaz frontal: para acceder mediante un computador con el software DIGSI 4.84 y realizar una parametrización local.
- Interfaz posterior: para la conexión a un sistema de sincronización de tiempo mediante señal IRIG-B o DCF77.

Opcionalmente, los equipos cuentan con una o varias interfaces de servicio y una interfaz de sistema totalmente independientes entre sí.

- Las interfaces de Servicio: Sirven para interconectar los equipos con sistemas de gestión de protecciones, equipos de teleprotección, unidades externas para lectura de temperatura, unidades externas de medidas análogas de 0-20 mA u otros equipos de control.
- Las Interfaces del Sistema: Sirven para interconectar los equipos a un sistema de control y supervisión mediante un protocolo definido de comunicaciones, dentro de cuya gama se tienen disponibles los protocolos:

- ✓ IEC 60870-5-101
- ✓ IEC 60870-5-103
- ✓ IEC 60870-5-104
- ✓ IEC 61850
- ✓ Profibus FMS
- ✓ Profibus DP
- ✓ DNP3.0
- ✓ Modbus RTU

Las interfaces de servicio y sistema adicionalmente son seleccionables entre:

Eléctricas: Tipo RS232, RS485, Ethernet 100BaseTX

Ópticas: Tipo monomodo, multimodo o Ethernet 100BaseFX.

Los equipos de protección y control de nivel 1 para la Línea las Flores L-2111, operan sobre la base de principios numéricos de medida. Los valores análogos de medida de corriente y voltaje se desacoplan galvánicamente de los circuitos secundarios de la subestación mediante transductores de entrada. Después de un filtrado análogo, se lleva a cabo el muestreo y la conversión análoga – digital. El muestreo es, dependiendo de los distintos principios de funcionamiento, entre 12 y 20 muestras por período. En ciertos equipos se ajusta continuamente el tiempo de muestreo dependiendo de la frecuencia del sistema.

El principio de funcionamiento se basa en algoritmos de cálculo que utilizan las muestras de medidas análogas de corriente y voltaje. La existencia real de una falla se confirma mediante cálculos secuenciales previa a las reacciones o respuesta del equipo.

El comando de disparo se transfiere del procesador al relé de comando utilizando un canal de control dual.

El concepto de equipo numérico ofrece una variedad de ventajas, especialmente relacionadas con el alto nivel de seguridad, disponibilidad y uso amigable, tales como:

- Alta precisión en las medidas. La utilización de algoritmos adaptivos producen resultados precisos inclusive en condiciones problemáticas.
- Seguridad contra sobre y sub funcionamiento.
- El sistema integrado de auto evaluación comprende las siguientes áreas:
- Entradas análogas.
- Sistema de microprocesador.
- Relés de comando.

Con este concepto se reduce el peligro de un mal funcionamiento del equipo debido a un error no detectado, con respecto a los sistemas convencionales. Adicionalmente, los servicios de mantenimiento cíclico y preventivo se han convertido en obsoletos.

Los equipos numéricos están en la capacidad de manejar múltiples funciones adicionales propias de otros equipos, que anteriormente y en conjunto eran necesarias para un programa completo de protección y control. Un dispositivo numérico de protección compacto, por ejemplo, puede reemplazar un número determinado de dispositivos convencionales. De acuerdo con esto, en el caso de equipos complejos, las funciones de operación se pueden activar o desactivar por medio de rutinas de configuración. Es posible maniobrar los contactos de entrada ó las alarmas lógicas internas hacia los LEDs o hacia relés de alarma o relés de comando.

El Software de manejo de los equipos SIPROTEC 4 es el DIGSI 4.84, para configuración de equipos de control y protección de Nivel 1 Siemens.

Desde este programa se configuran las entradas y salidas de estos IEDs, los despliegues de los mismos (en caso de tenerlos), los enclavamientos a ser tenidos en cuenta desde la operación de nivel 1, las secuencias, se activan/desactivan las funciones de protección disponibles, etc. La conexión del DIGSI a los IED y controladores de campo se puede realizar de las siguientes maneras:

En forma local, mediante conexión serial directa entre un computador con DIGSI y el puerto frontal del relé de protección o controlador de campo.

- En forma local centralizada, mediante el computador de gestión local instalado en la red LAN de la subestación.
- En forma remota, a través del sistema de gestión remoto. (Enlace remoto con el computador local de gestión de la subestación, a través del servicio Remote Desktop de Windows XP)

La norma IEC61850 define unos procedimientos y un formato de archivos para la parametrización de los controladores de campo e IEDs, y poder así asegurar la interoperabilidad de equipos de diferentes fabricantes sobre una misma red. El software DIGSI cumple con este esquema de programación y genera los archivos estandarizados (ICD, SCD y CID) en formato (XML) según lo solicitado por la norma, estos archivos serán los encargados de recoger la data del Nivel 1 (Señales digitales, analógicas, comandos, etc) y llevarla a través de una importación hasta la Simatic PC BOX 627, la cual recogerá esta data a través del Software SICAM PAS (el cual se detalla en el ítem 3.2.2 para el nivel 2).

El módulo Device Configuration del DIGSI lee los archivos con la descripción típica de los IEDs y controladores de campo. Para los equipos SIPROTEC 4, estos archivos se toman de la librería incluida en el DIGSI. Para equipos de otros fabricantes, se toman los archivos de descripción típica en formato XML proporcionado por el fabricante del equipo. La siguiente Figura (Fig. 3.4) muestra la configuración de los IED's a través del Digsig4.

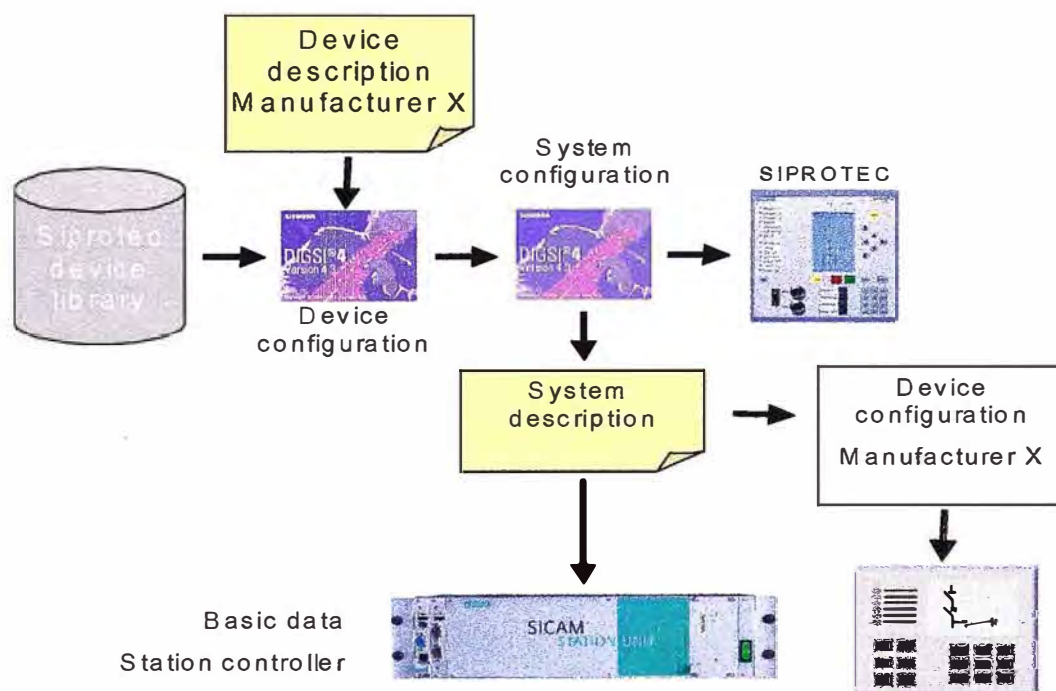


Fig. 3.4: Configuración de IEDs a través de DIGSI4

El módulo Device Configuration permite crear los ajustes particulares sobre cada equipo SIPROTEC 4, (para los equipos de otros fabricantes, este módulo solo configura las opciones de datos que el IED va a compartir o leer de la red IEC61850, la programación de las funciones específicas del equipo deben ser parametrizadas con el software del fabricante). El módulo Device Configurator crea los archivos ICD (IED Configuration Description) los cuales contienen los datos específicos de cada IED que participa en la red. Este archivo es leído por la aplicación de configuración de sistema, para el caso SIEMENS, esta aplicación está formada por un módulo del DIGSI denominado System Configurator. Esta aplicación crea los parámetros completos de comunicación del sistema y genera un archivo en formato estándar (XML) denominado SCD (System Configuration Description) este archivo es requerido por las aplicaciones de cada fabricante para cargar los ajustes de conectividad a cada IED. En el caso SIEMENS, el software DIGSI toma este archivo automáticamente y descarga los ajustes a los IEDs y Controladores de Campo. El sistema SICAM PAS toma el archivo SCD para cargar y configurar la base de datos del sistema de forma directa.

3.2.3 Nivel 2

Los equipos de nivel 2, del control y monitoreo de subestación están conformados por los siguientes equipos, según la Arquitectura de Control y Comunicación del Item 3.2.4.

- (02) Equipos Controlador de Subestación Nivel 2: Station Unit SIMATIC PC BOX, configurados de manera redundante, basado en el software SICAM PAS
- (02) Equipos IHM Nivel 2: Basado en el software SICAM PAS CC, es la Interfaz

Hombre Máquina.

- Switch Ruggedcom: Equipos encargados de crear los enlaces de datos en la red Ethernet.

El sistema de control de Nivel 2 para la S.E. Chilca está basado en el sistema de automatización SICAM PAS conformado por el software SICAM PAS “Full Server” como base de datos relacional en tiempo real e interfaz de datos. La configuración redundante planteada para este nivel de control tiene en cada SICAM SU la aplicación DSI, la cual se encarga de solicitar la información del proceso a los servidores de datos (controladores de campo y relés) y de distribuir esta información a las demás interfaces de comunicaciones (por ejemplo, Centro de Control, Estación de Operación UI, aplicación de Automatismos, etc.) Por otro lado se tiene la aplicación Sybase SQL, la cual representa la base de datos relacional del sistema, y es donde se “relaciona” la configuración del sistema y los datos del proceso que entrega la aplicación DSI. Bajo este esquema cada SICAM SU funciona como un cliente independiente en la red LAN de la subestación.

El software SICAM PAS CC es la interfaz de usuario y base de datos histórica del sistema. Este software se tiene instalado en dos computadores para tener un esquema redundante en la base de datos histórica y la aplicación de interfaz de usuario de Nivel 2.

La red LAN de subestación está montada sobre una plataforma Ethernet conformada por switchs RUGGEDCOM, sobre esta red van los servicios de IEC61850, SNTP para sincronización de tiempo y enlaces seriales virtuales para la conexión en IEC870-5-101 al centro de control REP (previa conexión con el equipo de Onda Portadora) y para la gestión en DIGSI. Como servidor de tiempo integrado en la red LAN de la subestación se tiene un reloj maestro con funciones de Servidor SNTP. Para la gestión centralizada y como gateway para la gestión remota se tiene una estación local de gestión integrada a la red LAN de la subestación.

- **Station Unit**

La Station Unit está basada en un computador industrial de la serie SIMATIC PC BOX de SIEMENS, el cual está diseñado para trabajar en ambientes pesados (temperaturas de hasta 55°C) sin necesidad de utilizar ventiladores. Ver Fig. 3.5

El módulo de la CPU utiliza un procesador INTEL Core2Duo 1.66 GHz, RAM de 2Gb, 2 discos duros SATA de 80Gb en arreglo RAID1, Combo CD-ROM/RW/DVD, dos interfaces Ethernet 10/100 MBit/s, 4 puertos USB 2.0, 1 puerto serial, 1 interfaz DVI.

Cuenta con una lectora de DVD, culer de ventilación diseñado para el trabajo en ambientes pesados a la temperatura.

Diseñado para trabajar con hasta dos redes distintas de comunicación a través de sus dos interfaces Ethernet.



Fig. 3.5: Station Unit SIMATIC PC BOX

- **Switch Ruggedcom**

Los switches son los equipos encargados de crear los enlaces de datos en la red Ethernet (Fig. 3.6)



Fig. 3.6: Switch Ruggedcom

El software de manejo de las STATION UNIT es la SICAM PAS el cual está basado en una base de datos relacional en tiempo real, denominada Sybase SQL, en la cual está contenida la configuración, las propiedades, la arquitectura y los enlaces del sistema de control. Para crear las interfaces de proceso de la base de datos, el SICAM PAS cuenta con los módulos o servicios de aplicación, por ejemplo: servicios de comunicaciones, para crear la interfaz con los proceso de adquisición y transmisión de datos (Módulo de IEC61850, Módulo de OPC Server, Módulo IEC 10, etc.); servicios de automatización, para crear la interfaz con los procesos de automatismo del sistema (módulo de CFC). Sobre la base de datos corre un motor que distribuye los datos entre ésta y los módulos de proceso. Este motor corre como un servicio propio del sistema operacional Windows XP y por lo tanto siempre está activo (a menos que manualmente se apague). Este sistema de distribución de datos se denomina DSI.

Adicional a los módulos o servicios de proceso el sistema SICAM PAS utiliza los módulos de interfaz con el usuario para las labores de configuración, gestión y visualización de la base de datos, por ejemplo: el módulos UI-Configurator, que permite la configuración de la base de datos; el módulo UI-Operation, que permite prender o apagar los servicios de

proceso; el módulo Value-Viewer, que permite ver en tiempo real el flujo de datos de cada servicio de proceso y el módulo Feature Enable, que permite habilitar o deshabilitar los servicios de proceso. La siguiente figura (Fig 3.7) resume el proceso descrito.

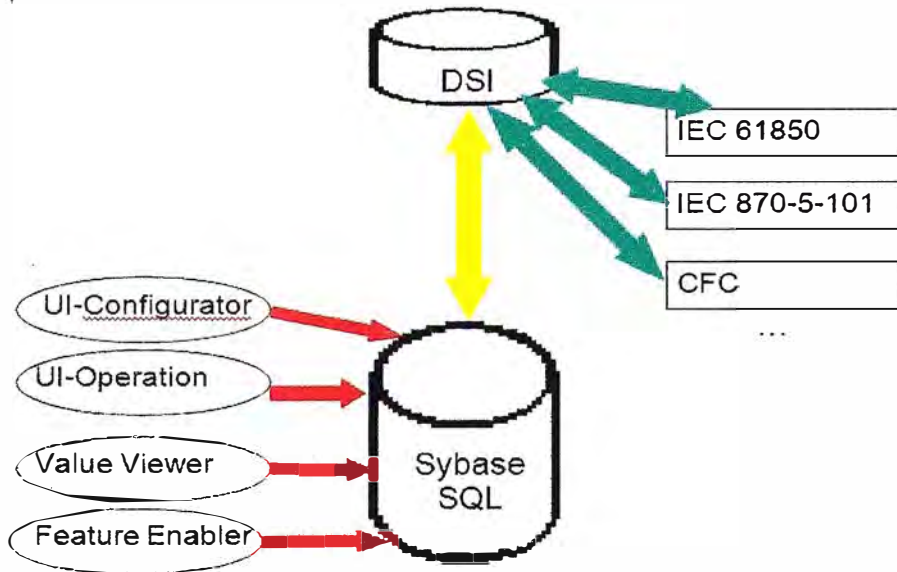


Fig. 3.7: Módulos del Software SICAM PAS

El software de manejo de las IHM's es el SICAM PAS CC, el cual lleva a cabo las tareas de manejador de base de datos, manejador de despliegues gráficos y programa de aplicación para la interfaz de usuario de Nivel 2 con tareas específicas como:

- Ejecución de comandos utilizando el principio de “seleccionar antes de operar”.
- Ejecución de secuencias automáticas.
- Manejo de alarmas.
- Manejo de eventos.
- Generación de reportes.

El software viene en dos versiones: Runtime y Configuración. En el proyecto de la S.E. Azángaro se suministran dos paquetes en versiones Runtime para ser instalados en las estaciones de operación IU de Nivel 2, e independientemente una licencia adicional de configuración.

La comunicación con el sistema SICAM PAS se hace vía Ethernet utilizando el protocolo TCP/IP.

SICAM PAS CC utiliza como plataforma de operación el software de visualización SIMATIC WinCC el cual ofrece una plataforma estándar para las funciones de representación gráfica de despliegues, manejo de mensajes, archivo y registro de información. Los componentes SICAM PAS CC complementan el sistema para su aplicación específica en el área de sistemas de automatización de sistemas de potencia eléctricos.

bahías hacia la línea Las Flores L2111 presentamos la disposición de los equipos de patio de dicha bahía según la Fig. 3.9.

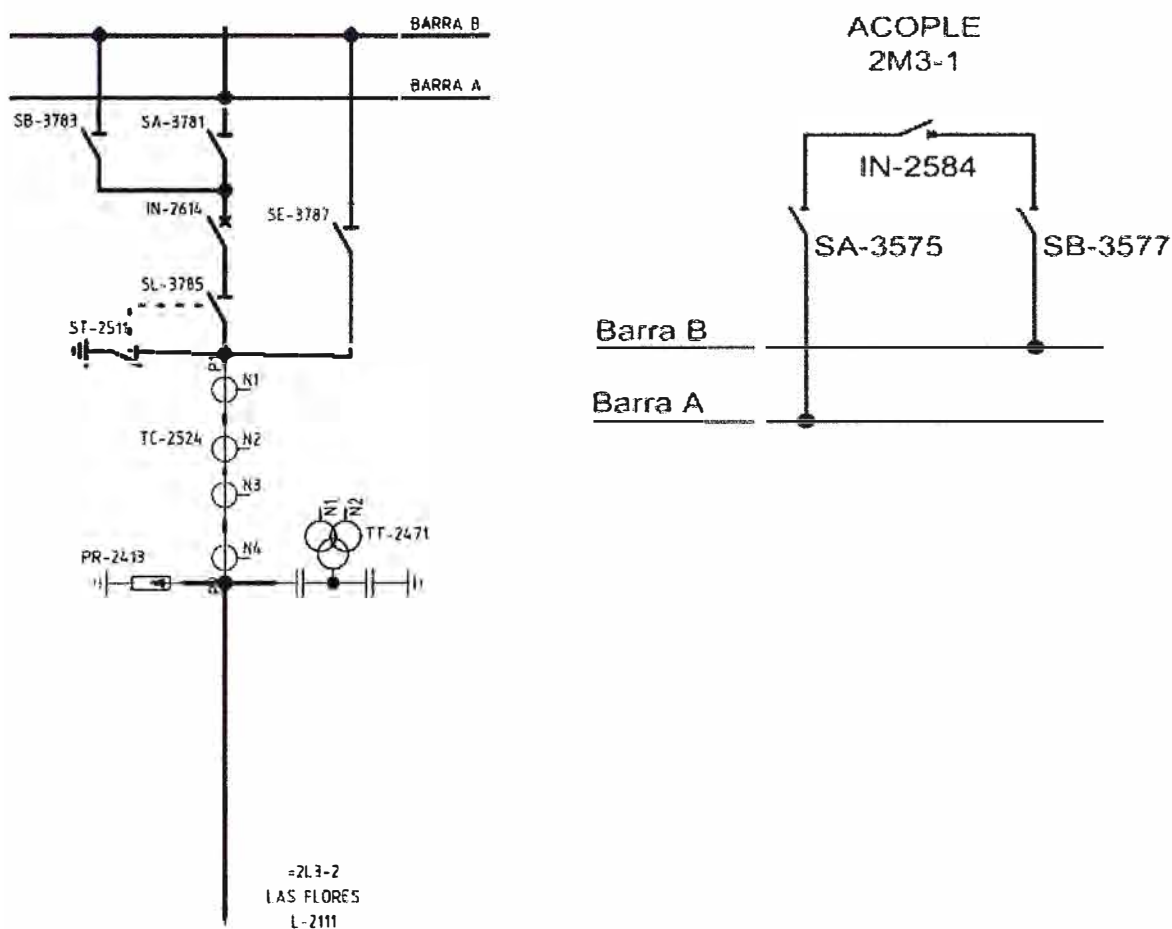


Fig. 3.9: Disposición de los equipos de patio Línea Las Flores L2111 y Bahía de Acople. Línea Las Flores L2111, es una bahía en doble barra en 220kV, posee como principales equipos de patio: a los siguientes equipos los cuales se observan en la Fig. 3.9.

- (01) Seccionador de Barra A - SA
- (01) Seccionador de Barra B - SB
- (01) Interruptor - IN
- (01) Seccionador de Línea - SL
- (01) Seccionador de Tierra - ST
- (01) Seccionador de Transferencia – SE

La operación y maniobra de la energización de la Bahía Las Flores L2111 está a cargo de la empresa ISA-REP, el cual basa su estrategia o secuencia de maniobras de estos equipos en el Diagrama de Principio entregado por la empresa Siemens SAC, las cuales resumimos a continuación:

- "Conectar Circuito a la barra A".
- "Conectar Circuito a la barra B".

- "Desconectar Circuito de la barra A".
- "Desconectar Circuito de la barra B".
- "Cambiar circuito de la barra A a la barra B": Fig. 3.10
- "Cambiar circuito de la barra A a la barra B": Fig. 3.11
- "Energizar un campo en modo de transferencia": Fig. 3.12
- "Desenergizar un campo en modo de transferencia": Fig. 3.13
- "Transferir un campo": Fig. 3.14
- "Devolver un campo de transferencia a barra A": Fig. 3.15

Las maniobras de cambio de barras (Fig. 3.10 y Fig. 3.11) responden a un cambio de alimentación de la bahía sin que este afecte la condición de Energización de la Línea Las Flores L-2111. La Línea energizada (Seccionador de Barra y Línea e Interruptor) deberá por alguna condición requerir el cambio de barra para lo cual se deberá garantizar que la bahía de Acople se encuentre completamente cerrada, garantizando con esto que tanto la Barra A como la Barra B se encuentren energizados en 220kV..

SECUENCIA DE MANIOBRAS:"CAMBIAR CIRCUITO DE LA BARRA A A LA BARRA B"

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	PASO 8	FIN
CONDICIONES INICIALES	CERRAR	CERRAR	CERRAR	CERRAR	ABRIR	ABRIR	ABRIR	ABRIR	CONDICIONES FINALES
IN-XXXX CERRADO									IN-XXXX CERRADO
SA-XXXX CERRADO					SA-XXXX				SA-XXXX ABIERTO
SB-XXXX ABIERTO				SB-XXXX					SB-XXXX CERRADO
SE-XXXX ABIERTO									SE-XXXX ABIERTO
SL-XXXX CERRADO									SL-XXXX CERRADO
ST-XXX ABIERTO									ST-XXX ABIERTO
IN-2584 ABIERTO (ACOPLE)			IN-2584			IN-2584			IN-2584 ABIERTO (ACOPLE)
SA-3575 ABIERTO (ACOPLE)	SA-3575							SA-3575	SA-3575 ABIERTO (ACOPLE)
SB-3577 ABIERTO (ACOPLE)		SB-3577					SB-3577		SB-3577 ABIERTO (ACOPLE)

Fig. 3.10 Cambio de circuito de la Barra A a la Barra B, se plantea condición para ejecución como bahía de acople cerrado.

SECUENCIA DE MANIOBRAS:"CAMBIAR CIRCUITO DE LA BARRA B A LA BARRA A"

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	PASO 8	FIN
CONDICIONES INICIALES	CERRAR	CERRAR	CERRAR	CERRAR	ABRIR	ABRIR	ABRIR	ABRIR	CONDICIONES FINALES
IN-XXXX CERRADO									IN-XXXX CERRADO
SA-XXXX ABIERTO				SA-XXXX					SA-XXXX CERRADO
SB-XXXX CERRADO					SB-XXXX				SB-XXXX ABIERTO
SE-XXXX ABIERTO									SE-XXXX ABIERTO
SL-XXXX CERRADO									SL-XXXX CERRADO
ST-XXX ABIERTO									ST-XXX ABIERTO
IN-2584 ABIERTO (ACOPLE)			IN-2584			IN-2584			IN-2584 ABIERTO (ACOPLE)
SA-3575 ABIERTO (ACOPLE)	SA-3575							SA-3575	SA-3575 ABIERTO (ACOPLE)
SB-3577 ABIERTO (ACOPLE)		SB-3577					SB-3577		SB-3577 ABIERTO (ACOPLE)

Fig. 3.11 Cambio de circuito de la Barra B a la Barra A, se plantea condición para ejecución como bahía de acople cerrado.

Para maniobras de transferencia (Fig. 3.12, Fig. 3.13, Fig. 3.14 y Fig. 3.15) se deberá garantizar que ninguno de los otros campos de las demás bahías se encuentren energizados a través de la Barra B, se deberá garantizar la disponibilidad plena de la Bahía de Acople a la cual se derivarán los disparos de la Línea las Flores.

SECUENCIA DE MANIOBRAS: "ENERGIZAR UN CAMPO EN MODO DE TRANSFERENCIA"

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	FIN
CONDICIONES INICIALES	CERRAR	CERRAR	CERRAR	CERRAR	CONDICIONES FINALES
IN-XXXX ABIERTO					IN-XXXX ABIERTO
SA-XXXX ABIERTO					SA-XXXX ABIERTO
SB-XXXX ABIERTO					SB-XXXX ABIERTO
SE-XXXX ABIERTO	SE-XXXX				SE-XXXX CERRADO
SL-XXXX ABIERTO					SL-XXXX ABIERTO
ST-XXX ABIERTO					ST-XXX ABIERTO
IN-2584 ABIERTO (ACOPLE)				IN-2584	IN-2584 CERRADO (ACOPLE)
SA-3575 ABIERTO (ACOPLE)		SA-3575			SA-3575 CERRADO (ACOPLE)
SB-3577 ABIERTO (ACOPLE)			SB-3577		SB-3577 CERRADO (ACOPLE)
SE-XXXX TODOS LOS CAMPOS ABIERTOS					SE-XXXX OTROS CAMPOS ABIERTOS
TODOS LOS CAMPOS CONECTADOS A BARRA A					LOS OTROS CAMPOS CONECTADOS A BARRA A

Fig. 3.12 "Energizar un campo en modo de transferencia":

SECUENCIA DE MANIOBRAS: "DESENERGIZAR UN CAMPO EN TRANSFERENCIA"

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	FIN
CONDICIONES INICIALES	ABRIR	ABRIR	ABRIR	ABRIR	CONDICIONES FINALES
IN-XXXX ABIERTO					IN-XXXX ABIERTO
SA-XXXX ABIERTO					SA-XXXX ABIERTO
SB-XXXX ABIERTO					SB-XXXX ABIERTO
SE-XXXX CERRADO				SE-XXXX	SE-XXXX ABIERTO
SL-XXXX ABIERTO					SL-XXXX ABIERTO
ST-XXX ABIERTO					ST-XXX ABIERTO
IN-2584 CERRADO (ACOPLE)	IN-2584				IN-2584 ABIERTO (ACOPLE)
SA-3575 CERRADO (ACOPLE)			SA-3575		SA-3575 ABIERTO (ACOPLE)
SB-3577 CERRADO (ACOPLE)		SB-3577			SB-3577 ABIERTO (ACOPLE)
SE-XXXX OTROS CAMPOS ABIERTOS					SE-XXXX TODOS LOS CAMPOS ABIERTOS
LOS OTROS CAMPOS CONECTADOS A BARRA A					TODOS LOS CAMPOS CONECTADOS A BARRA A

Fig. 3.13 "Desenergizar un campo en modo de transferencia":

SECUENCIA DE MANIOBRAS: "TRANSFERIR UN CAMPO"

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	PASO 8	PASO 9	FIN
CONDICIONES INICIALES	CERRAR	CERRAR	CERRAR	CERRAR	ABRIR	CERRAR	ABRIR	ABRIR	ABRIR	CONDICIONES FINALES
IN-XXXX CERRADO							IN-XXXX			IN-XXXX ABIERTO
SA-XXXX CERRADO					SA-XXXX					SA-XXXX ABIERTO
SB-XXXX ABIERTO				SB-XXXX					SB-XXXX	SB-XXXX ABIERTO
SE-XXXX ABIERTO						SE-XXXX				SE-XXXX CERRADO
SL-XXXX CERRADO								SL-XXXX		SL-XXXX ABIERTO
ST-XXX ABIERTO										ST-XXX ABIERTO
IN-2584 ABIERTO (ACOPLE)			IN-2584							IN-2584 CERRADO (ACOPLE)
SA-3575 ABIERTO (ACOPLE)	SA-3575									SA-3575 CERRADO (ACOPLE)
SB-3577 ABIERTO (ACOPLE)		SB-3577								SB-3577 CERRADO (ACOPLE)
SE-XXXX TODOS LOS CAMPOS ABIERTOS										SE-XXXX OTROS CAMPOS ABIERTOS
TODOS LOS CAMPOS CONECTADOS A BARRA A										LOS OTROS CAMPOS CONECTADOS A BARRA A

Fig. 3.13 "Transferir un campo"

SECUENCIA DE MANIOBRAS: "DEVOLVER UN CAMPO DE TRANSFERENCIA A BARRA A"

INICIO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	PASO 8	PASO 9	FIN
CONDICIONES INICIALES	CERRAR	CERRAR	CERRAR	ABRIR	CERRAR	ABRIR	ABRIR	ABRIR	ABRIR	CONDICIONES FINALES
IN-XXXX ABIERTO			IN-XXXX							IN-XXXX CERRADO
SA-XXXX ABIERTO					SA-XXXX					SA-XXXX CERRADO
SB-XXXX ABIERTO	SB-XXXX					SB-XXXX				SB-XXXX ABIERTO
SE-XXXX CERRADO				SE-XXXX						SE-XXXX ABIERTO
SL-XXXX ABIERTO		SL-XXXX								SL-XXXX CERRADO
ST-XXX ABIERTO										ST-XXX ABIERTO
IN-2584 CERRADO (ACOPLE)							IN-2584			IN-2584 ABIERTO (ACOPLE)
SA-3575 CERRADO (ACOPLE)								SA-3575		SA-3575 ABIERTO (ACOPLE)
SB-3577 CERRADO (ACOPLE)								SB-3577		SB-3577 ABIERTO (ACOPLE)
SE-XXXX OTROS CAMPOS ABIERTOS										SE-XXXX TODOS LOS CAMPOS ABIERTOS
LOS OTROS CAMPOS CONECTADOS A BARRA A										TODOS LOS CAMPOS CONECTADOS A BARRA A

Fig. 3.14 "Devolver un campo de transferencia a barra A":

De las 10 secuencias de maniobra, se seleccionaron 6 secuencias de maniobra directamente relacionadas al intercambio de señales por GOOSE de comunicación, las cuales se resumen en dos actividades de maniobra: "Cambio de Barra" y "Transferencia de Campo"

- Cambio de Barra

La condición de Cambio de Barra implica pasar de la Barra A a la Barra B o viceversa sin afectar con esta maniobra, la energización de dicha bahía. Para ello, como condiciones de maniobra (Según Tabla 3.1), se requiere la posición de la bahía de Acople Cerrado (Según la Fig. 3.9); esta posición (Abierta o Cerrada), del Interruptor y los Seccionadores de Barra A y B, es transmitida desde el Controlador de Nivel 1 de la Bahía de Acople a través del GOOSE de Comunicación hacia los demás controladores de Nivel 1 de todas las bahías (Fig. 3.15), de control de cada una de las Líneas existentes (Incluyendo Línea Las Flores L-2111).

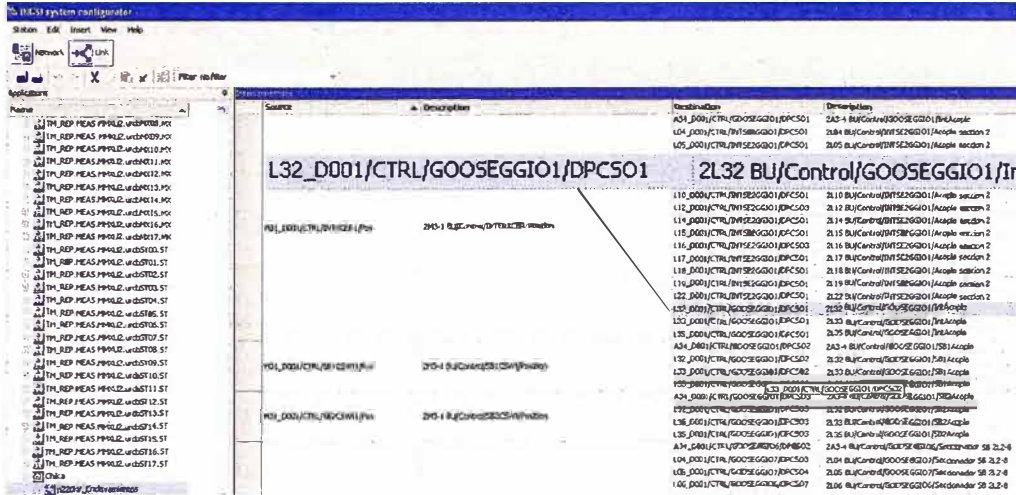


Fig. 3.15 Configuración Software Digi GOOSE de Comunicación desde Controlador de Acople (Posición IN, SA y SB) al Controlador de Línea Las Flores

- **Transferencia de Campo**

La condición de Transferencia de Campo implica conservar la energización de la bahía a pesar que el Interruptor de su propio campo pueda entrar en mantenimiento, la transferencia se logra efectuando un puente físico en el Interruptor de dicha bahía y verificando que ninguno de los campos de las demás bahías se encuentren energizados a través de la Barra B (SB Abiertos) y la verificación que ninguno de los campos de las demás bahías se encuentren transferidos.

La posición de los Seccionadores de Barra B y de Transferencia de los otros campos es transmitido a través del GOOSE de Comunicación (Fig. 3.16) desde cada uno de los controladores de Nivel 1 de las demás bahías o Líneas al controlador de Nivel 1 de la Bahía las Flores L-2111.



Fig. 3.16 Configuración Software Digi GOOSE de Comunicación desde otros Controladores (Posición SB y SE) al Controlador de Línea Las Flores

b) Para el Nivel 2

Este nivel cuenta con dos Simati PC BOX `(RTU`s), configurados de manera redundante, estos equipos son configurados a través del Software SICAM PAS el cual es el encargado de recopilar la data de nivel 1 a través del protocolo IEC 61850 y derivarlo a los Centros de Control a través del protocolo IEC 60870-5-101 y a las IHM's de Nivel 1. Es el equipo de mayor importancia para la configuración de nivel 2 el cual como se mencionó se encuentra configurado de manera redundante con un servicio de Maestro-Seguidor entre ambas PC BOX. La redundancia entre las PC BOX se maneja determinando un equipo principal el cual se definirá como el maestro y ante una falla de este es el seguidor el cual tomará el control total de la Subestación (Fig. 3.17).

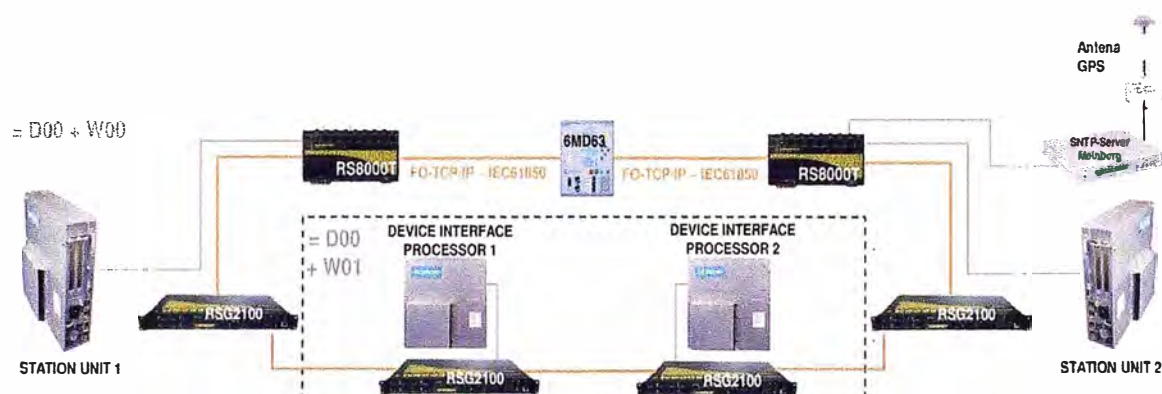


Fig. 3.17 Nivel 2 controlado por dos unidades en redundancia (SIMATIC PC BOX)

El sistema de Nivel 2 y 1 es sincronizado por un equipo GPS Meinberg M300 (Fig. 3.17), el cual a través del protocolo SNTP garantiza la estampa de tiempo para el sistema.

La red utiliza un anillo en fibra óptica principal o backbone al cual están conectados cinco switches backbone: cuatro con interfaces eléctricas y ópticas (RSG2100), dos con interfaces eléctricas y ópticas (RS8000T) y un RS400 con interfaces eléctricas y ópticas. Estos Switch's son definidos por un camino de prioridad, configurados estos para la elección de un solo camino de comunicación por el cual se crearán los enlaces de datos entre el Nivel 1 y Nivel 2 (Fig. 3.17)

Cómo ya se describió anteriormente la formación de loops en el tráfico de datos se evita mediante la utilización del protocolo RSTP, el cual a partir de la red redundante configura una red lógica de transmisión en cascada y ante la falla de un camino reconfigura en el orden de milisegundos la red para obtener una nueva red en cascada que permita suplir el camino fallado.

Los datos de la SICAM PAS son transmitidos hacia las IHM's de Nivel 2 (Redundantes, según la Fig. 3.8) en los cuales se visualizarán las pantallas de supervisión de Alarmas y Eventos, posición y mandos de los equipos de patio, arquitectura de la red de control, tendencias de las potencias activas y reactivas, etc, según las siguientes figuras.

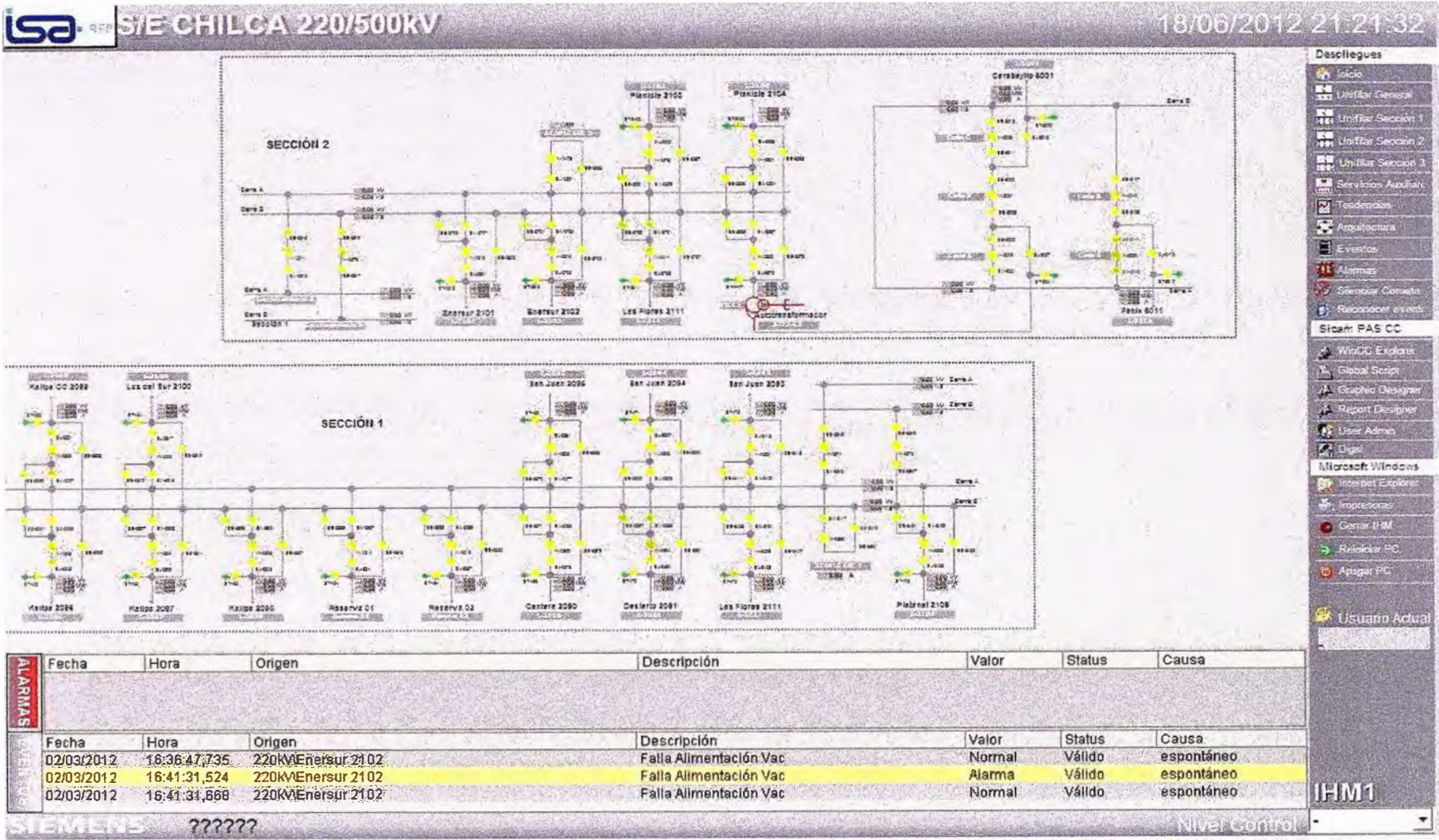


Fig. 3.12 Diagrama Unifilar General SE Chilca REP

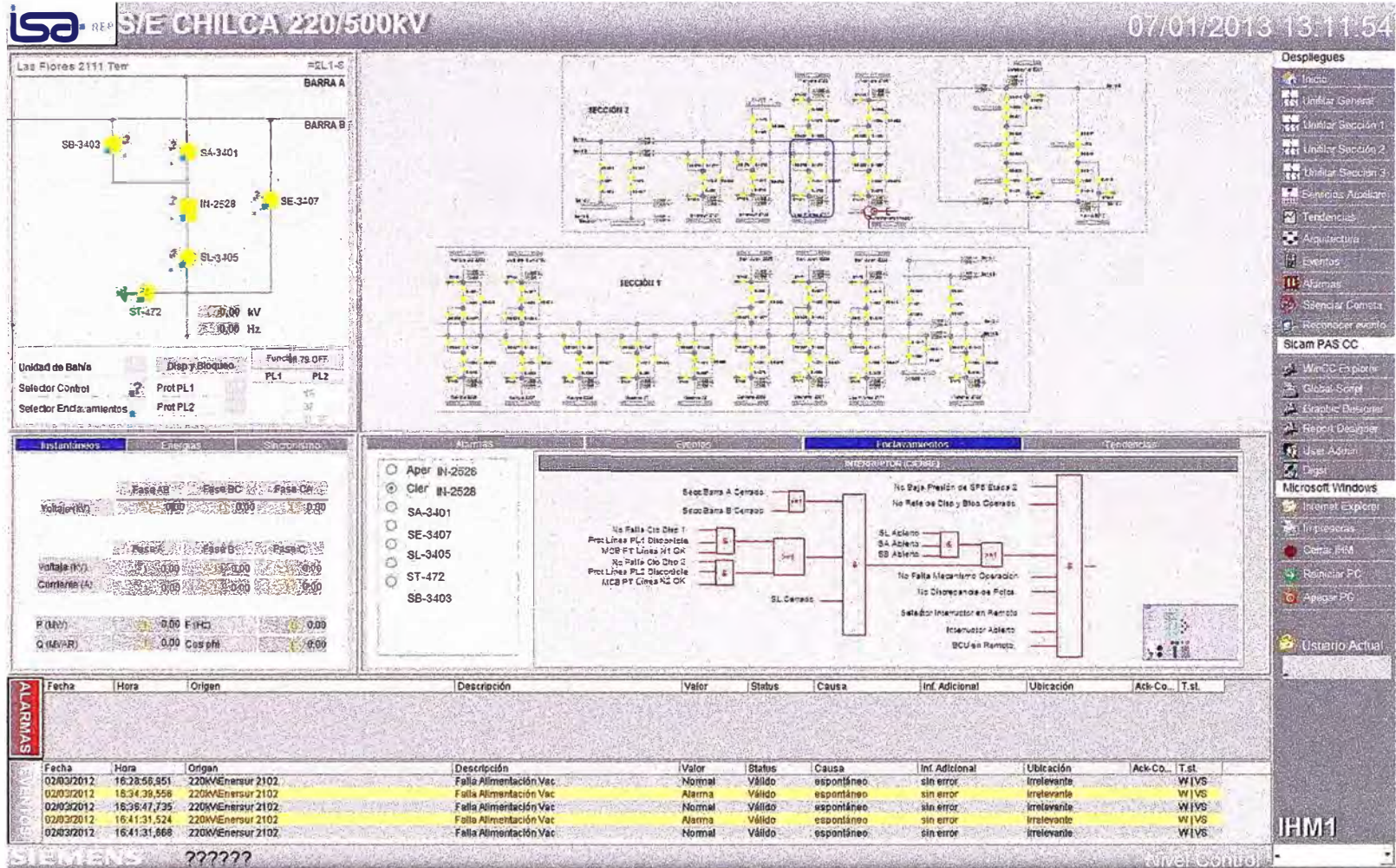


Fig. 3.13 Detalle Diagrama Unifilar Línea Las Flores, con detalle de bahía, medidas, enclavamientos para información de maniobras SE Chilca REP

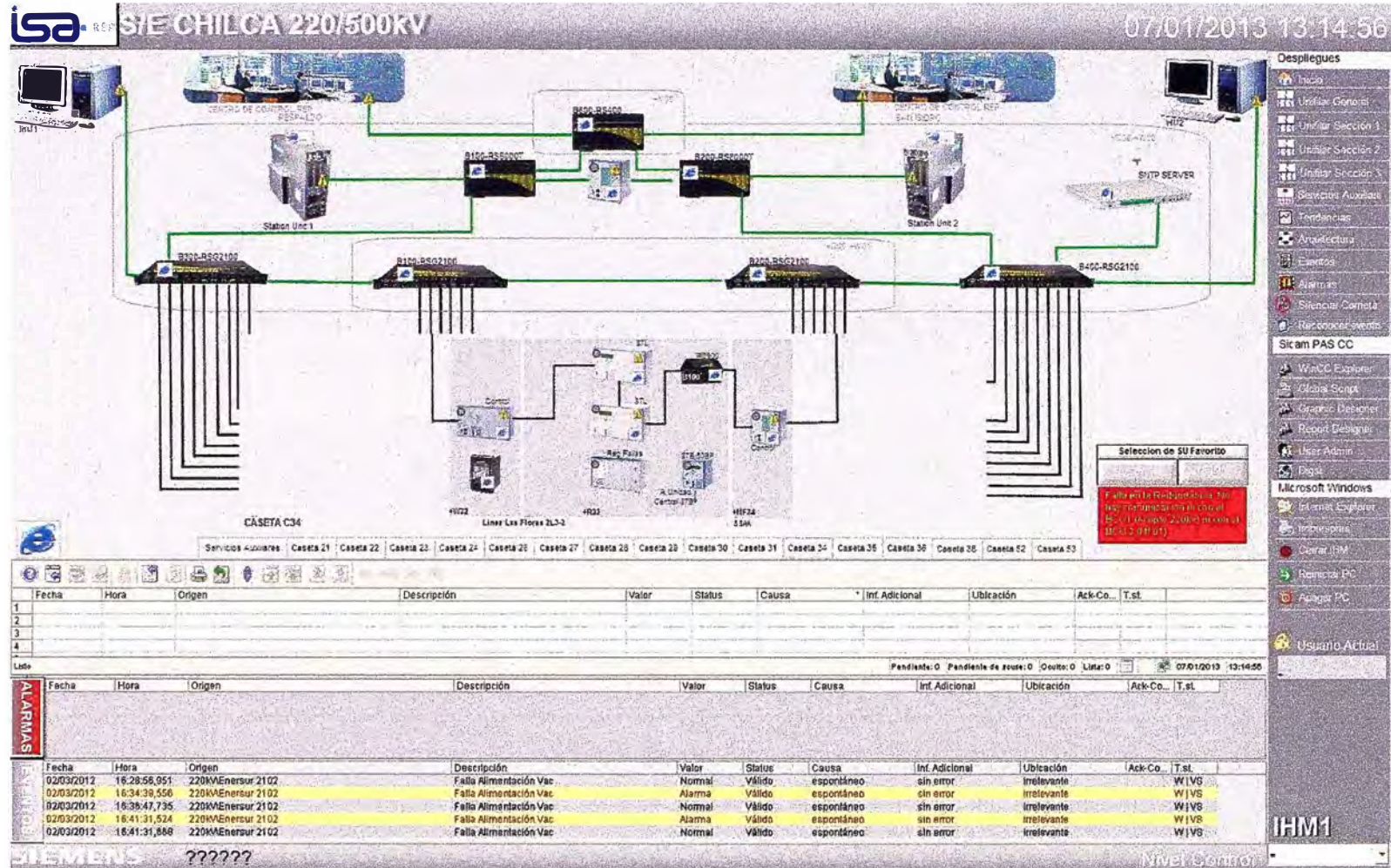


Fig. 3.14 Detalle Arquitectura de la Bahía las Flores, incluye anillo de comunicación con relés y controladores de bahía y de Servicios Auxiliares

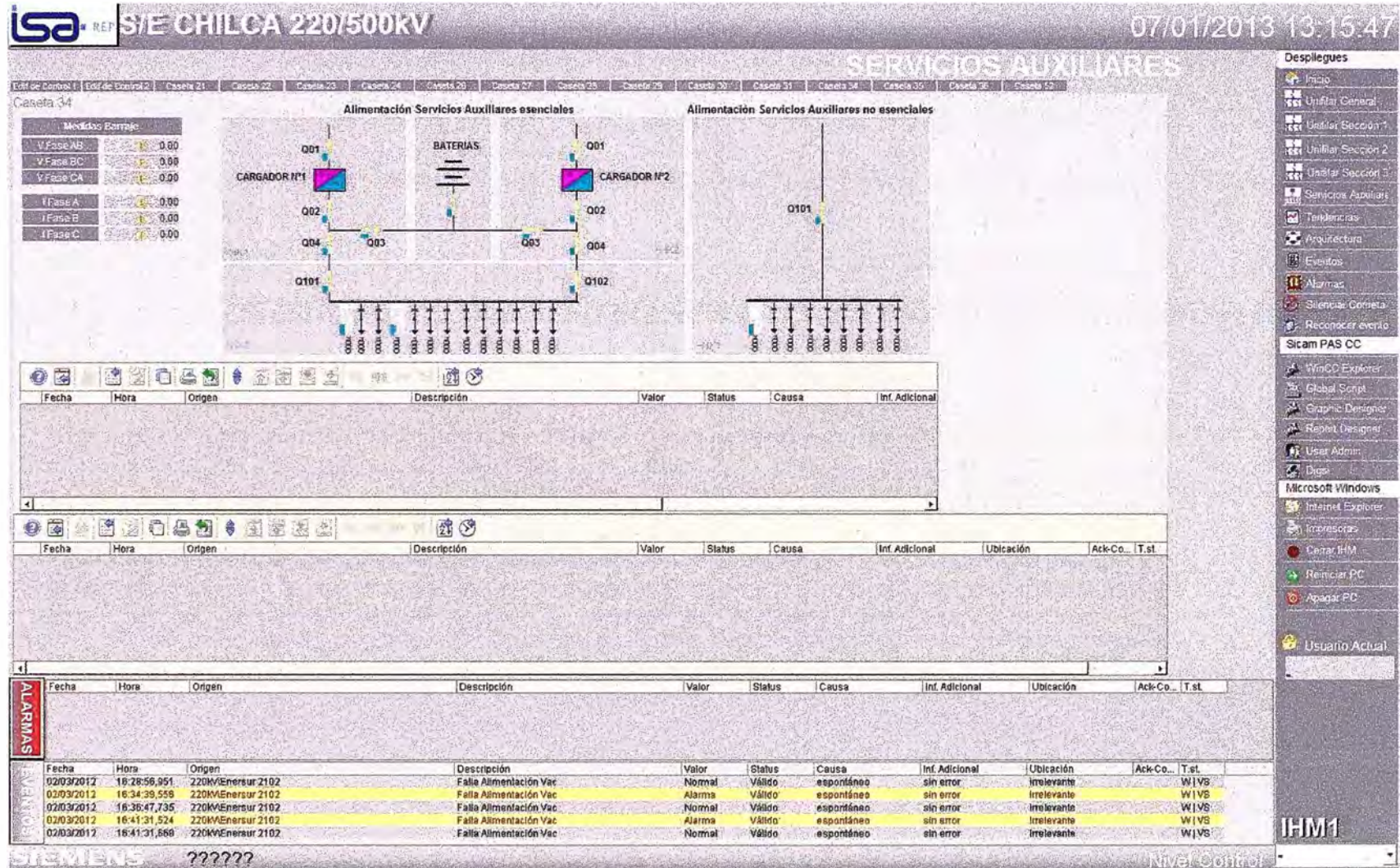


Fig. 3.15 Detalle Servicios Auxiliares Bahía Las Flores, SE Chilca REP

LSA REP SNE CHILCA 220/500KV 07/01/2013 13:16:52

Eventos del sistema

Fecha	Hora	Origen	Descripción	Valor	Status	Causa	Inf. Adicional	Ubicación	Ack-Co.	T.st.
02/03/2012	14:59:12,419	500KVDiámetro 3F énix 5011UN-5050	Abierto polo S	Normal	Válido	Interrogación general	sin error	Irrelevante		W VS
460	02/03/2012	14:59:12,419	500KVDiámetro 3F énix 5011UN-5050	Abierto polo T	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
461	02/03/2012	14:59:12,419	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Diferencia de ángulo excadida	Alarma	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
462	02/03/2012	14:59:12,419	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Función sincronismo en proceso	Encendido	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
463	02/03/2012	14:59:12,419	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Diferencia de voltaje excadida	Alarma	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
464	02/03/2012	14:59:12,419	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Reserf de LEDs	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
465	02/03/2012	14:59:12,419	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Reclere monofásico seleccionado	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
466	02/03/2012	14:59:12,419	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Reclere trifásico seleccionado	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
467	02/03/2012	14:59:12,419	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Reclere monofásico y trifásico seleccionado	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
468	02/03/2012	14:59:12,419	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Reclere Off	Encendido	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
469	02/03/2012	14:59:12,419	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Sincronismo bloqueado	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
470	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Falla tarjeta de comunicaciones	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
471	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Falla canal comunicaciones 1	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
472	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Falla canal comunicaciones 2	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
473	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3FCorte BProt 25/79/25	Falla polaridad	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
474	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3F énix 5011UN-5050	Abierto polo R	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
475	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Error de Sincronización de tiempo	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
476	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Cambio de parámetros en curso	Normal	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
477	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Función Reclere lista	Alarma	último valor ac	Interrogación general	sin error		W VS
478	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Reclere en proceso	Normal	último valor ac	Interrogación general	sin error		W VS
479	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Reclere efectuado	Normal	último valor ac	Interrogación general	sin error		W VS
480	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Reclere ON	Normal	último valor ac	Interrogación general	sin error		W VS
481	02/03/2012	14:59:12,420	500KVDiámetro 3F énix 5011Prot 25/79/25	Diferencia de frecuencia excadida	Alarma	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
482	02/03/2012	14:59:12,420	500KVB035L13P25/79/25	Sincronismo en curso	Alarma	Válido	Interrogación general	sin error		W VS
483	02/03/2012	15:01:24,809	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Alarma	Válido	espontáneo	sin error		W VS
484	02/03/2012	15:01:24,853	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Normal	Válido	espontáneo	sin error		W VS
485	02/03/2012	15:15:41,664	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Alarma	Válido	espontáneo	sin error		W VS
486	02/03/2012	15:18:20,027	220KVKalpa 2099ControladorStatus	Falla canal comunicaciones 1	Alarma	Válido	espontáneo	sin error		W VS
487	02/03/2012	15:18:21,527	220KVKalpa 2099ControladorStatus	Falla canal comunicaciones 1	Normal	Válido	espontáneo	sin error		W VS
488	02/03/2012	15:19:38,819	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Normal	Válido	espontáneo	sin error		W VS
489	02/03/2012	15:22:32,658	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Alarma	Válido	espontáneo	sin error		W VS
490	02/03/2012	15:27:12,640	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Normal	Válido	espontáneo	sin error		W VS
491	02/03/2012	15:38:24,041	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Alarma	Válido	espontáneo	sin error		W VS
492	02/03/2012	15:42:33,986	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Normal	Válido	espontáneo	sin error		W VS
493	02/03/2012	16:00:02,711	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Alarma	Válido	espontáneo	sin error		W VS
494	02/03/2012	16:04:29,720	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Normal	Válido	espontáneo	sin error		W VS
495	02/03/2012	16:28:00,510	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Alarma	Válido	espontáneo	sin error		W VS
496	02/03/2012	16:28:56,951	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Normal	Válido	espontáneo	sin error		W VS
497	02/03/2012	16:34:39,556	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Alarma	Válido	espontáneo	sin error		W VS
498	02/03/2012	16:36:47,735	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Normal	Válido	espontáneo	sin error		W VS
499	02/03/2012	16:41:31,524	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Alarma	Válido	espontáneo	sin error		W VS
500	02/03/2012	16:41:31,668	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Normal	Válido	espontáneo	sin error		W VS

Cargar datos del historial

Pendientes: 0 Pendiente de aus: 0 Dvolls: 0 Lista: 600 07/01/2013 13:16:52

ALARMAS

Fecha	Hora	Origen	Descripción	Valor	Status	Causa	Inf. Adicional	Ubicación	Ack-Co.	T.st.
02/03/2012	16:28:56,951	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Normal	Válido	espontáneo	sin error	Irrelevante		W VS
02/03/2012	16:34:39,556	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Alarma	Válido	espontáneo	sin error	Irrelevante		W VS
02/03/2012	16:36:47,735	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Normal	Válido	espontáneo	sin error	Irrelevante		W VS
02/03/2012	16:41:31,524	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Alarma	Válido	espontáneo	sin error	Irrelevante		W VS
02/03/2012	16:41:31,668	220KVEnergur 2102	Falla Alimentación Vac	Normal	Válido	espontáneo	sin error	Irrelevante		W VS

SIEMENS

??????

Nivel Control

Despliegues

- Inicio
- Alfabeto General
- Unificar Sección 1
- Unificar Sección 2
- Unificar Sección 3
- Servicios Auxiliares
- Tendencias
- Aplicaciones
- Estados
- Alarmas
- Seleccionar Cámara
- Reconocer evento
- Sicam PAS CC
- WinCC Extensa
- Global Script
- Graphic Designer
- Report Designer
- User Admin
- Digital
- Microsoft Windows
- Internet Explorer
- Impresoras
- Config I/O
- Remedia PC
- Apagar PC
- Usuario Actual

Fig. 3.15 Detalle Pantalla de Eventos Generales SE Chilca REP

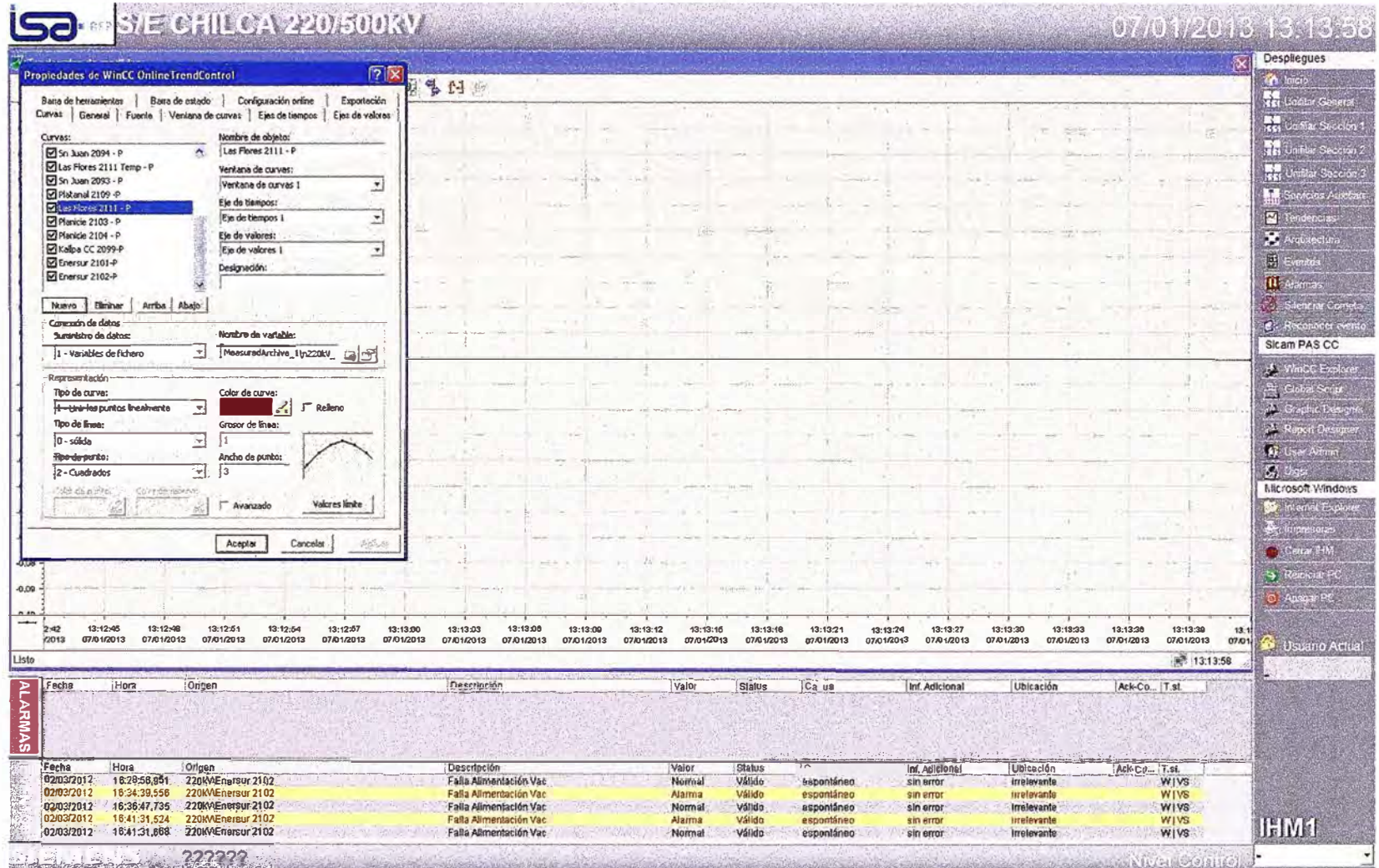


Fig. 3.16, Detalle pantalla de Configuración de Tendencias para evaluación de Potencias Activas y Reactivas de Línea Las Flores, Se Chilca RE

c) Los IED's de Nivel 1

Con licencia habilitada en IEC 61850 Server, reportará su data a los equipos de Nivel 2 con licencia habilitada en IEC 61850 Master. El reporte de data será llevado a los 02 equipos SICAM PAS (Configuración redundante), los cuales re - distribuirán la data filtrada del nivel 1 hasta las 02 IHM's de control y monitoreo de Subestación y hasta los Centros de Control de ISA – REP a través del protocolo IEC 60870-4-101 (a través del Switch RS400).

CONCLUSIONES

1. Este informe presenta las bases normativas del protocolo IEC 61850, los cuales permiten entender las plataformas de comunicación en las que se basa dicho protocolo, también permite describir el proceso de integración de las señales provenientes de los equipos controladores, de medida y protección al sistema de Nivel 2 de una Subestación.
2. Este informe, demuestra la utilidad del protocolo IEC 61850 para la integración rápida y eficaz de equipos de nivel 1 (IED's). Esta integración manejada sobre la red Ethernet permite crear anillos de comunicación (Nivel 1), los cuales garantizan una alta disponibilidad y confiabilidad de estos sistemas a los equipos de Nivel 2 de una subestación.
3. Se explica y comprende la aplicación del GOOSE de comunicación entre equipos de nivel 1 (IED's), los cuales permitieron el traslado de información de equipo a equipo a través de un solo medio físico (anillos de comunicación), los cuales permiten elaborar un escenario libre de cables de cobre.
4. Este informe presenta al IEC 61850 como un protocolo abierto con características de interoperatividad, capaz de integrar bajo este estándar diferentes equipos de diferentes marcas.
5. La aplicación del protocolo IEC61850 en la automatización de subestaciones, va a simplificar el desarrollo de la arquitectura de control por cuanto utiliza la tecnología Ethernet para la transmisión de la información de los procesos de control y protección. De esta manera distintos niveles de la subestación (nivel de proceso, nivel de campo, nivel de estación) van a estar integrados en una sola red Ethernet.
6. Todos los servicios que están desarrollándose en Internet para el acceso de la información en redes Ethernet podrán ser utilizados por los responsables de la operación de la subestación automatizada, por cuanto el protocolo esta basado en la tecnología Ethernet.
7. El entendimiento del presente informe deberá complementar cada uno de los términos utilizados con la lista de Siglas y Abreviaturas presentes en el Anexo de este informe.

ANEXOS

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

6MD6*: Referencia de los BCU's de la serie SIPROTEC que se utilizarán en el presente proyecto. Se utilizarán varias referencias según el campo en el que se utilicen.

7SJ6*: Referencia de los relés de protección multifuncionales (de sobrecorriente, verificación de sincronismo) de la serie SIPROTEC que se utilizarán en el presente proyecto.

7SS52*: Referencia de los relés de protección diferencial de barras de la serie SIPROTEC que se utilizarán en el presente proyecto.

7SA6*: Referencia de los relés de protección multifuncionales (de distancia, autorecierre, verificación de sincronismo, falla interruptor) de la serie SIPROTEC que se utilizarán en el presente proyecto.

7UT6*: Referencia de los relés de protección diferencial para transformadores, generadores, motores y barras de la serie SIPROTEC que se utilizarán en el presente proyecto.

ARP: (Address Resolution Protocol) Relaciona las direcciones lógicas con las direcciones físicas.

BNC: Conector utilizado en redes con cable coaxial para 10Base2. Es acrónimo para: Conector Naval de Bayoneta (Bayonet Navy Connector), Conector Naval Británico (British Naval Connector), Bayoneta Neill Concelman (Bayonet Neill Concelman), o Conexión de Bayoneta de Nudo (Bayonet Nut Connection), dependiendo de a quién se le pregunte o qué bibliografía se consulte.

BCU: (Bay Control Unit). Terminó utilizado para designar una Unidad de Control de Campo o Baía.

CFC: (Continuous Function Chart). Editor gráfico que permite configurar un programa usando bloques prefabricados.

CID: (Configured IED Description). Archivo de intercambio de datos de la herramienta de configuración del IED que se emplea para inicializar el IED.

DCF77: Señal de tiempo de alta precisión emitida desde la estación del reloj atómico ubicado en los laboratorios de prueba de Alemania Federal (PTB).

DIGSI: Software utilizado para la configuración y gestión de los IED's de la serie SIPROTEC de SIEMENS.

DSI: (Distributed System Infrastructure). Sistema central de distribución de datos del Sicam PAS.

EPROM: (Erasable Programmable Read Only Memory). Memoria para datos y programas que no depende de la conexión a una fuente de alimentación.

SE: Subestación

GPS: (Global Positioning System). Sistema de posicionamiento que emplea satélites con reloj atómico girando alrededor de la tierra en diferentes órbitas los cuales envían señales de la hora universal en formato broadcast.

GOOSE: (Generic Object-Oriented Substation Event). Reporte por excepción de alta velocidad que emite un IED en formato multicast

ICD: (IED Capability Description). Archivo de intercambio de datos desde la herramienta de configuración del IED (DIGSI) hasta la herramienta de configuración del sistema que describe las capacidades del IED.

IEC: (International Electrotechnical Commission).

IED: (Intelligent Electronic Device).

IGMP: (Internet Group Management Protocol).

IP: (Internet Protocol) Proporciona el máximo esfuerzo de entrega sin conexión de datagramas encaminados. Busca la forma de trasladar la información a su destino.

IRIG-B: (Inter-Range Instrumentation Group). Código de señal de tiempo del IRIG.

IT: (Information Technology).

IU: (Interface Unit). Estación de Operación.

LAN: (Local Area Network). Red de comunicación que conecta un grupo de computadores, impresoras y otros equipos dentro de un área limitado.

LED: (Light Emittind Diode).

MAC: (Media Access Control). Dirección física fija de un componente de red.

MMS: (Manufacturing Message Specification).

OPC: OLE (Object Link and Embedding) for Process Control. Serie de interfaces basadas en tecnología OLE/COM (Microsoft Component Object Model) y DCOM (Distributed Component Object Model) que facilitan la interoperabilidad entre aplicaciones de control y automatización de procesos.

OSI: (Open System Interconnection). Familia de normas internacionales de comunicación desarrolladas por la organización internacional de Normalización (ISO) y el comité Electrotécnico Internacional (IEC).

RARP: (Reverse Address Resolution Protocol) Establece las direcciones lógicas cuando se conocen las direcciones físicas.

RSTP: (Rapid Spanning Tree Protocol).

SCD: (Substation Configuration Description). Archivo generado por el configurador del sistema que incluye la información relevante de todos los IEDs incluidos en una subestación.

SICAM: (Siemens Integration of Control And Monitoring). Serie de equipos y tecnologías desarrolladas por Siemens para el control y automatización de subestaciones.

SICAM PAS: Sistema Siemens de última generación para la automatización de subestaciones eléctricas.

SICAM PAS CC: software en el que está basada la interfaz de usuario IU de Nivel 2 del sistema de control SICAM PAS.

SICAM SU: Controlador de Subestación de la serie SICAM.

SIPROTEC: (Siemens Protection Technology): Serie de equipos y tecnologías de Siemens enfocadas a la protección de sistemas de potencia.

SNMP: (Simple Network Management Protocol). Protocolo que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red.

SNTP: (Simple Network Time Protocol). Protocolo de internet para sincronizar los relojes de los sistemas informáticos a través de ruteo de paquetes en redes con latencia variable.

SQL: (Structured Query Language). Lenguaje de programación para sistemas de bases de datos relacionales.

SU: (Station Unit). Controlador de Subestación

TCM: (TeleControl Module)

TCP: (Transmission Control Protocol). Protocolo usado en conjunto con el IP que establece la conexión de la estación durante la transferencia de datos y verifica la integridad de los datos y la secuencia de los paquetes.

UDP: (User Datagram Protocol). Complemento al TCP que ofrece un servicio a datagramas sin conexión que no garantiza entrega ni correcta secuencia en la entrega de paquetes.

VMD: (Virtual Manufacturing Device) Objeto al que se encuentran subordinados todos los demás objetos MMS.

WAN: (Wide Area Network). Red de comunicación que conecta un grupo de computadores, impresoras y otros equipos que se encuentran separados geográficamente.

XML: (eXtensible Markup Language). Lenguaje que proporciona un formato para describir datos estructurados.

IHM: Interfaz Hombre Maquina

BIBLIOGRAFÍA

- [1], IEC, Norma IEC61850, IEC, 2003
- [2], Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Segunda Edición “Mejía Villegas”
- [3], Comité de estudio B5 – Protecciones de sistemas y automatización de subestaciones “CIGRE”
- [4], Hubert Kirrmann “Introduction to IEC-61850 substation communication standard
- [4], <http://www.iec.ch>
- [5], <http://www.abb.com> (IEC 61850)
- [6], <http://www.siemens.com> (IEC 61850)
- [7], <http://www.geindustrial.com/pm/notes/ucaprot.pdf>
- [8], <http://www.meinberg.de/english/products/lantime-m300-gps.htm#Description>
- [9], <http://www.pdfmeta.com/other/norma%20iec%2061850-pdf-1.html>
- [10], <http://www.labplan.ufsc.br/congressos/XIII%20Eriac/B5/B5-13.pdf>