



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

**Sistema de Protección
Sector 4 - Patio de 500 kV - SEMD
LT 13**

Marcelo Ramón Subeldía Duré Jorge Andrés Silva Stransky Julio César Montanía Escobar

División de Ingeniería Electromecánica – ENEE.DT

ITAIPU Binacional

Usina Hidroeléctrica de ITAIPU

E-mail: sdmarcelo@hotmail.com;

RESUMEN

Debido al aumento en la demanda del Sistema Eléctrico Paraguayo y con el objetivo de aumentar la calidad y confiabilidad del sistema, el sector 4 del patio de 500 kV de la SEMD de la ITAIPU BINACIONAL está siendo ampliado para la construcción de una salida de Línea de Transmisión en 500 kV que conectará con la futura Estación Villa Hayes de la ANDE. Con la nueva LT en 500 kV se reducirán las pérdidas técnicas e interrupciones del servicio y se aliviará la demanda sobre las líneas de 220 kV.

El sistema de protección será implementado mediante unidades de hardware multifuncionales o IEDs (Intelligent Electronic Devices) y bibliotecas de funciones de software especializadas, que cumplen los requisitos establecidos en la norma IEC 61850 “Communication Networks and Systems for power utility automation”. El sistema de protección deberá ser integrado con el sistema de supervisión y control a través de una red de comunicaciones compatible con la norma mencionada.

El alcance del suministro comprende la ampliación de la protección de las barras 500 kV de la SEMD y la protección de la LT MD - Villa Hayes 500 kV de aproximadamente 350 km con previsión futura de compensación serie.

Las principales funciones de protección que serán implementadas para la protección de línea son: protección diferencial de la línea (87L), protecciones de respaldo de la línea (21/21N, 67N, 27WI), protección de energización con falta (50SOF), protección contra falla del interruptor (50-62BF), esquema de recierre automático (79), protección de sobretensión instantánea y temporizada (59/59T).

PALABRAS CLAVES

IED, LT 500 kV, Sistemas de Protección, IEC 61850.

1. INTRODUCCIÓN

La línea de transmisión de LT13 500 kV conectará la SE Margen Derecha de ITAIPU con la SE de Villa Hayes. Tendrá aproximadamente 345 km de longitud, fue diseñada en circuito simple, con estructuras metálicas y cables conductores en haz cuádruple 4 x ACSR 636 MCM (Rook) por fase, pudiendo transmitir potencia cerca del orden de 2000 MW en su límite térmico normal. Hay dos pequeños tramos, uno en la salida de Itaipú con largo de 7,51 km, y otro en la llegada de Villa Hayes, 18,56 km, donde las estructuras están preparadas para recibir circuito doble en el futuro.

El sistema de protección será implementado en ambos terminales de la línea mediante unidades de hardware multifuncionales o IEDs (Intelligent Electronic Devices) y bibliotecas de funciones de software especializadas, que cumplen los requisitos establecidos en la norma IEC 61850 “Communication Networks and Systems for power utility automation”. En este trabajo se describe la implementación del sistema en el terminal de la SE Margen Derecha.

2. ELEMENTOS DE LA NORMA IEC 61850

2.1 Alcance

Esta norma define el modelado de los elementos del sistema, y los requisitos para la comunicación entre dispositivos.

2.2 Definiciones

Bay (Vano): una subestación consiste de sub-partes estrechamente conectadas con algunas funcionalidades comunes. Ejemplo: el equipo entre una llegada o una salida de línea y la barra.

Data Object: parte de un objeto nodo lógico representando información específica; por ejemplo, estado o medida.

Device (Dispositivo): mecanismo o pieza de equipo diseñado para servir un propósito o desempeñar una función, por ejemplo: interruptor, relé, computadora de subestación.

Functions (Funciones): tareas, las cuales son desarrolladas por el sistema de automatización de la subestación, es decir; por funciones de aplicación. Generalmente, las funciones intercambian datos con otras funciones. Las funciones son desarrolladas por los IEDs (physical devices).

Intelligent Electronic Device (IED): cualquier dispositivo que incorpora uno o más procesadores, con la capacidad de enviar o recibir datos o control desde, o, a fuentes externas; por ejemplo medidores electrónicos de multifunción, relés digitales, controladores. Es un dispositivo de hardware capaz de ejecutar el comportamiento de uno o más nodos lógicos.

Logical Node (Nodo Lógico): es la parte más pequeña de una función que intercambia datos. Un LN es un objeto de programación definido por sus datos y métodos.

Physical Device (Dispositivo Físico): equivalente a un IED cuando es utilizado en el contexto de esta norma.

2.3 Modelado de Objetos

Las partes 7-3 y 7-4 de la norma IEC 61850 especifican el modelado de objetos de la subestación o central eléctrica. La figura 1, muestra la organización jerárquica dentro de un dispositivo físico.

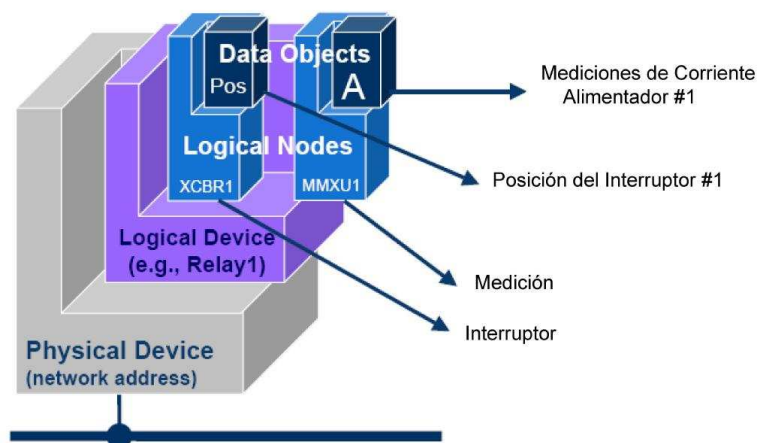


Figura 1: Modelo de Objeto

Un dispositivo físico representa a un IED (unidad de hardware) que internamente contiene varios dispositivos lógicos (bibliotecas de programación). Los dispositivos lógicos se encuentran a su vez divididos en nodos lógicos (objetos de programación), cada uno de ellos con sus propios datos y servicios.

3. IEDS DE PROTECCIÓN DE LÍNEA

Para la protección de línea serán utilizados IEDs modelo RED 670 fabricados por la ABB, adecuados para protección de líneas con carga elevada, y líneas con varios terminales, en las que los requisitos de disparo sean de uno, dos y/o tres polos.

La función principal es la protección diferencial de corriente de fases segregadas, que ofrece una excelente sensibilidad ante faltas de alta resistencia, y una selección segura de fases. Un completo esquema de protección de distancia con teleprotección, es incluido como protección independiente o de respaldo ante fallos de comunicación del extremo remoto.

La biblioteca de funciones con las funciones básicas y opcionales (que no fueron utilizadas en este proyecto) es mostrada en la Tabla I.

<i>Funciones Básicas</i>	<i>Funciones de Aplicaciones Básicas</i>	<i>Funciones de Aplicaciones Opcionales</i>
Registro de Disturbios	Protección Diferencial	Protección de Frecuencia
Lista de Eventos	Reconexión	General U/I
Tiempo de Sincronización	Sincronismo	Control de equipo
Contador de eventos	Falta a Tierra Direccional	
Medición	Fallo de Fusible	
Lógica Configurable	Localizador de Falta	

Tabla I - IED RED 670. Funciones básicas y opcionales.

4. AMPLIACIÓN DEL PATIO DE 500 KV DE LA SUBESTACIÓN MARGEN DERECHA

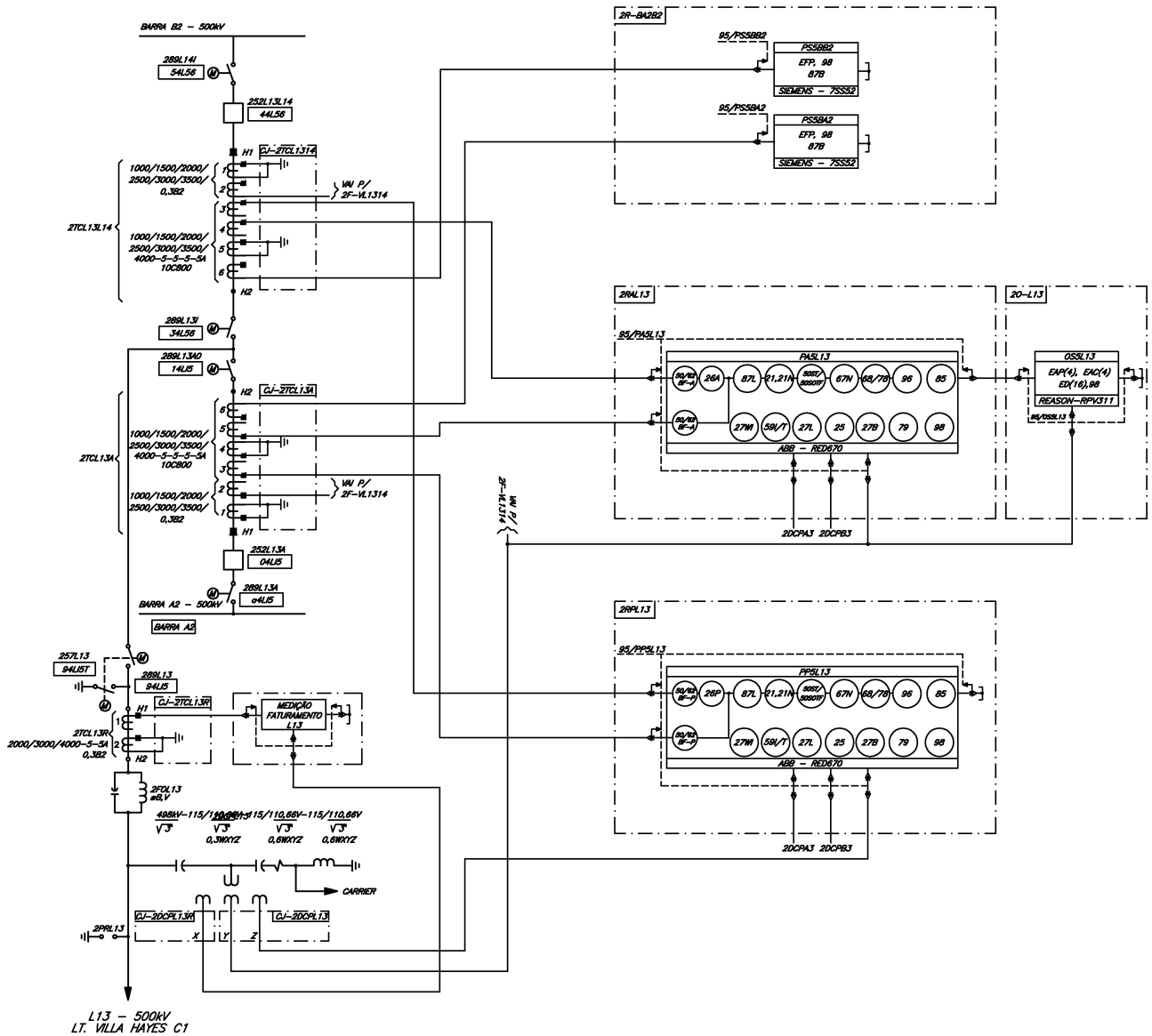


Figura 2: Sistema de Protección LT 13

Para la salida de la línea LT13 se está construyendo una ampliación en el patio de 500kV, con prolongación de las barras, y montaje de dos interruptores y equipos asociados, conforme mostrado en la figura 3. En el futuro, agregando un interruptor más y sus equipos asociados, se completará un vano de interruptor y medio, para la salida de un segundo circuito, la línea LT14 500 kV. Se ampliará la protección de barras de 500 kV para cubrir el nuevo vano instalando el panel 2R-BA2B2 conteniendo dos unidades periféricas que se comunicarán via fibra óptica con la unidad central existente. La protección de línea será cubierta por los paneles de protección primaria (2RPL13) y alternativa (2RAL13) que contienen cada uno un IED RED670, con idénticas funciones de protección.

Las comunicación con los IEDs de protección primaria y alternativa de la SE Villa Hayes se hará a través del cable de guardia con fibra óptica (OPGW – Optical Ground Wire), instalado en la línea de transmisión.

Adicionalmente, se contará con un sistema de comunicación via onda portadora (OPLAT – Onda portadora por líneas de alta tensión), con dos canales y ocho comandos, para implementar los esquemas de teleprotección.

5. FUNCIONES DE PROTECCIÓN DE LA LT 13 DE 500 KV

5.1 Protección principal de la línea. Protección Diferencial (87L)

La función de protección diferencial de línea, es del tipo de fases segregadas con restricción por corriente, donde la corriente diferencial es la suma vectorial de todas las corrientes medidas tomadas separadamente para cada fase. Por otro lado, se toma como corriente de restricción la mayor corriente de fase en cualquiera de los terminales de la línea, y es común para las tres fases. En la característica I_{dif} contra I_{restr} pueden ser definidos varios tramos de recta configurables con diferentes pendientes.

El algoritmo diferencial de corriente del RED 670 además incorpora restricciones por niveles de segundo y quinto armónico y por corriente de secuencia negativa, que proporcionan alta sensibilidad para fallas internas, al mismo tiempo tiene alta estabilidad ante fallas externas, corrientes iniciales de energización de la línea, saturación de transformadores de corriente, etc.

Los valores de la amplitud y ángulo de fase de la corriente son muestreados 20 veces por cada ciclo (sampled values) en cada IED. Sin embargo el intercambio de comunicación se hace sólo cada 5ms, esto significa que en nuestro sistema de 50 Hz, los valores de medida se codifican en telegramas digitales conteniendo cada uno cinco muestras consecutivas y se intercambian entre los IEDs de los extremos de la línea. Además en cada telegrama hay espacio para hasta ocho señales binarias, lo cual será utilizado para la transmisión de señales de TDD (Transferencia de Disparo Directo). La comunicación duplex entre los IEDs es implementada en canales digitales de 64 kbit/s conforme a la norma ITU (CCITT) PCM. El formato usado para los telegramas es el C37.94 y cada telegrama contiene encabezado y fin (8 bits cada uno), los datos transmitidos ($n \times 16$ bits) y una sección para verificación de la validez del telegrama (Cyclic Redundancy Check – CRC) de 16 bits.

5.2 Protecciones de respaldo de la línea

Las demás protecciones de la línea: 21/21N, 67N, 27WI proveerán protección de back-up a la función diferencial de la línea y actuarán con la utilización de los esquemas de tele protección (85).

Las funciones de protección de distancia de fase y de tierra 21 y 21N serán implementadas como instancias del LN (nodo lógico) de la clase PDIS, conforme IEC 61850-7-4. Pondrán a disposición como mínimo cinco zonas de medición independientes, con por lo menos una zona de medición en la dirección reversa. La primera zona será de actuación instantánea.

La función protección direccional de tierra 67N será implementada como instancia del LN (nodo lógico) de la clase PTOC, conforme IEC 61850-7-4.

5.3 Protección de energización con falta

La función (50SOF) solamente tendrá permiso para actuar en el intervalo de los primeros 100ms, al energizar la línea con falta. Será implementada como instancia del LN (nodo lógico) de la clase PIOC, conforme IEC 61850-7-4.

5.4 Protección de sobrecarga del interruptor central

La función (26) está provista para protección del interruptor central (252L13L14) en caso de sobrecarga después de la construcción de la LT 14 de 500 kV (futura).

5.5 Protección contra falla de interruptor (50-62BF)

Los sistemas de protección primaria y alternativa serán proveídos con una función 50-62BF para cada interruptor de potencia asociado con los vanos de 500 kV, implementada como instancia del LN (nodo lógico) de la clase RBRF, conforme IEC 61850-7-4.

La función 50-62BF será capaz de detectar falla en la apertura del interruptor o su incapacidad de interrumpir la corriente de corto circuito al recibir el disparo de una función de protección, y de emitir todas las señales necesarias para aislar el interruptor defectuoso dentro del tiempo preestablecido para la falla del interruptor.

La función 50-62BF deberá tener una faja de ajuste de tiempo, que sea regulable desde el límite inferior de 100 ms hasta, por lo menos, 500 ms.

Cada esquema de protección contra falla de interruptor incorporará un relé de bloqueo (86BF), con reposición manual. Este relé de bloqueo tendrá rearme automático con las seccionadoras aisladoras del interruptor con falla abiertas.

5.6 Esquema de recierre automático (79)

El sistema de protección será provisto de un esquema de recierre automático de alta velocidad con una tentativa. El esquema de recierre será proyectado para iniciar el recierre siempre que la línea fuera abierta por actuación de las protecciones. La función 79 será implementada como instancia del LN (nodo lógico) de la clase RREC, conforme IEC 61850-7-4. El esquema de recierre posibilitará la selección del tipo de recierre con las siguientes alternativas: Desconectado – Tripolar – Monopolar, pero inicialmente sólo será habilitado el recierre monopolar.

El esquema de recierre automático será bloqueado durante operación de apertura manual, operación de funciones de protección temporizadas, faltas en la barra, actuación de la protección de falla de interruptor, bloqueo por transferencia de disparo mantenido por el terminal remoto, apertura por sobretensión, etc.

Serán posible también seleccionar, local o remotamente uno de los interruptores para ser reconectado automáticamente o desactivar la función de recierre.

El terminal líder reconectará solamente con la barra energizada y si el nivel de tensión en el lado de la línea de transmisión estuviera debajo de un valor previamente ajustado, o sea, en la modalidad barra viva – línea muerta. El terminal seguidor deberá reconectar en la modalidad línea viva – barra muerta.

5.7 Protección de oscilación del sistema (68, 78)

La actuación de las funciones basadas en la relación entre la tensión y la corriente de la línea de transmisión será bloqueada por la función 68, en el caso de oscilaciones del sistema causadas por transitorios dinámicos, que no resulten en la condición de pérdida de sincronismo de las unidades generadoras con el sistema eléctrico.

La función 78 garantizará la correcta operación de las funciones de protección de distancia (21, 21N) en el caso de ocurrencia de faltas desbalanceadas, haciendo el bloqueo independiente por zona de protección, como en los casos de cortocircuito durante condiciones de oscilación del sistema, y pérdida de sincronismo (out-of-step tripping).

Las funciones 68 y 78 serán implementadas como instancias de LNs (nodos lógicos) de las clases RPSB y PPAM respectivamente, conforme IEC 61850-7-4.

5.8 Protección de Sobrecorriente “Stub Bus” (50 ST)

Los sistemas de protección serán capaces de actuar en la eventualidad de ocurrencia de cortocircuito en el trecho entre las llaves seccionadoras que aíslan los interruptores y las llaves seccionadoras que aíslan la línea de transmisión, cuando esta última se encuentra abierta.

5.9 Protección de Sobretensión Instantánea y Temporizada (59/59T)

Tendrán actuaciones independientes, y serán implementadas como instancias del LN (nodo lógico) de la clase PTOV, conforme IEC 61850-7-4. Las funciones 59 y 59T serán insensibles a componentes de la tensión diferentes de la fundamental.

6. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y PROTECCIÓN

ITAIPU – SE Margen Derecha (LT13)

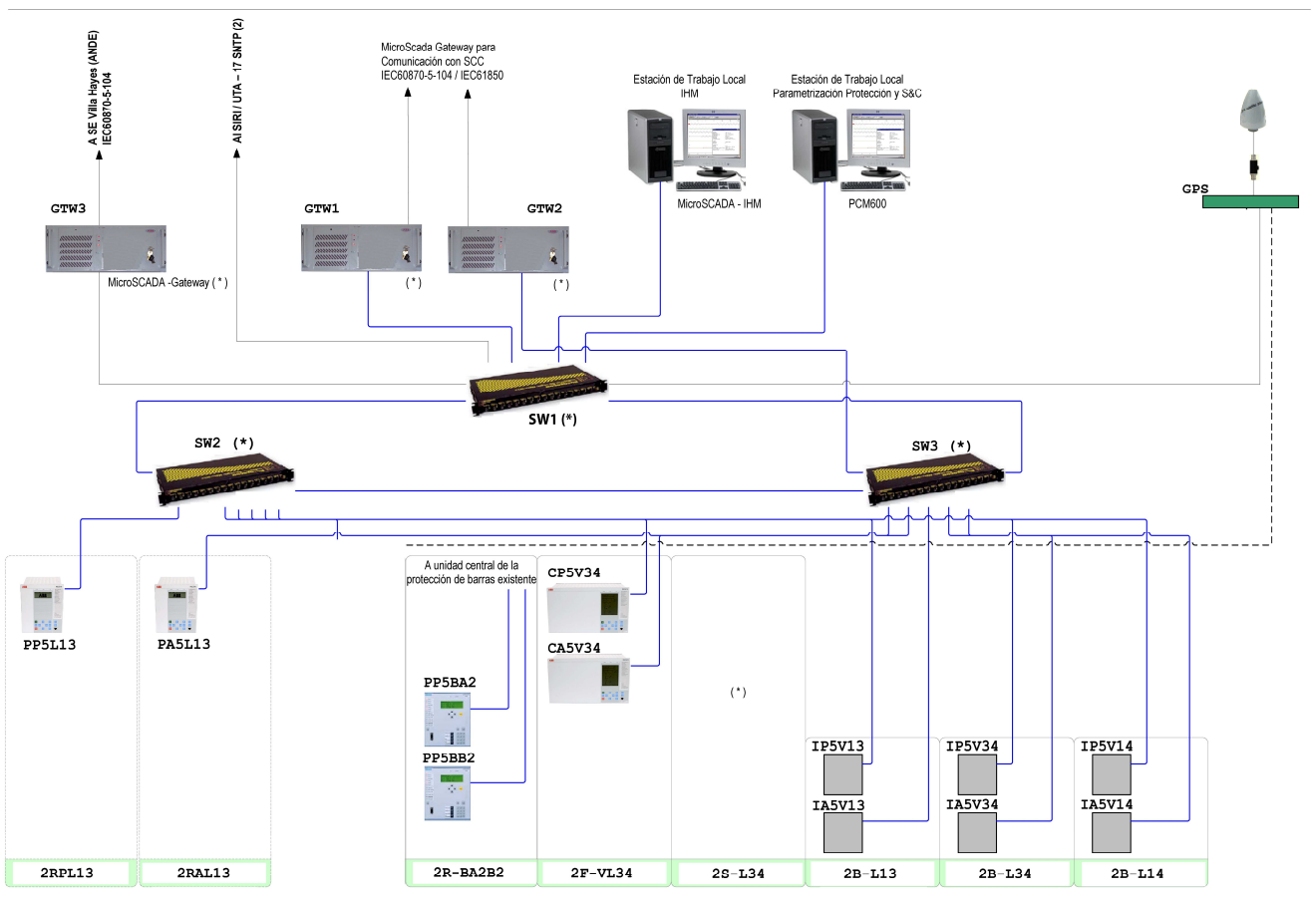


Figura 3: Arquitectura del Sistema

Esta arquitectura integra los IEDs de supervisión, control y protección del vano de interruptor y medio asociado con la LT 13. La misma se basa sobre una topología estructurada en tres niveles: nivel de estación, nivel de vano y nivel de proceso.

El nivel de estación estará constituido por una estación con función de interfaz hombre-máquina y otra estación con doble función: a) configuración/parametrización del sistema y de los IEDs de supervisión, control y protección, y b) recuperación y análisis de datos de oscilografía almacenados en los IEDs de protección de las líneas de transmisión de 500 kV. Además, este nivel de estación deberá poseer 2 (dos) gateways para la comunicación de este sistema con el Sistema de Control Computarizado (SCC) de la SEMD, y 1 (un) gateway dedicado para la comunicación de datos con el sistema de supervisión y control de la subestación de Villa Hayes. Los tres gateways servirán para la conversión del protocolo IEC 61850 al protocolo IEC 60870-5-104.

El nivel de vano será el nivel intermedio y comprenderá IEDs redundantes para la supervisión y control de los equipos eléctricos del vano y los IEDs para la protección primaria y alternada de la línea LT 13.

La topología de la red de área local (LAN) está basada sobre switches Ethernet configurables y con atribución de prioridades (mensajes con prioridad más elevada). La red de área local (LAN) utilizará fibras ópticas multimodo 62,5/125 para interconectar los diferentes IEDs.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] LT 500 kV SEMD – SE Villa Hayes. Proyecto Básico. Criterios para el diseño detallado de la línea. Doc. 6693-10-G0104-E-R0. SAT. **Itaipú Binacional**, Paraguay – Brasil, 2008, página 1.
- [2] International Electrotechnical Commission. IEC TR 61850-1. Communication networks and systems in substations – Part 1: Introduction and overview, First edition 2003-04, páginas 6-8.
- [3] Application manual. Line differential protection IED RED 670. ABB. Document ID: 1MRK505186-UEN, IED product version: 1.1, December 2007, Páginas 17 y 53.
- [4] Setor 4 – Pátio 500 kV – Linhas L13 e L14. Sistema de Proteção. Diagrama Unifilar. Doc. 6457-DC-G3300-P-R0. SAT. **Itaipú Binacional**, 2012.
- [5] Sistema de Protección. Especificación Técnica 6693-20-15200-E-R0. Capítulo 59. **Itaipú Binacional**, Paraguay – Brasil, 2010. Páginas 6-9.
- [6] Especificación del Sistema Integrado de Supervisión, Control y Protección de la LT 13. Especificación Técnica 6693-20-15200-E-R0. Capítulo 60. **Itaipú Binacional**, Paraguay – Brasil, 2010. Páginas 4, 5, 16 y 17.