

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TEMA:

**Diseño de la red de comunicación a nivel de control y monitoreo en
una subestación eléctrica según normativa IEC 61850**

AUTOR:

Bustamante Salazar, Jonathan Darío

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
INGENIERO EN ELÉCTRICO- MECÁNICA

TUTOR:

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

17 de septiembre del 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON
MENCION EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **BUSTAMANTE SALAZAR JONATHAN DARIO**, como requerimiento para la obtención de Título de **Ingeniería en Eléctrico- Mecánica**

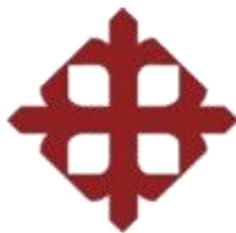
TUTOR

ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, M.Sc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, M.Sc.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON
MENCION GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Bustamante Salazar Jonathan Dario**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diseño de la red de comunicación a nivel de control y monitoreo en una subestación eléctrica según normativa IEC 61850** previo a la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico–Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecutivamente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

Dario Bustamante S.

BUSTAMANTE SALAZAR, JONATHAN DARIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Bustamante Salazar, Jonathan Dario**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación, **Diseño de la red de comunicación a nivel de control y monitoreo en una subestación eléctrica según normativa IEC 61850**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

Jonathan Bustamante S.

BUSTAMANTE SALAZAR, JONATHAN DARIO

REPORTE URKUND

URKUND Luis Valjejo Samaniego (luis.valjejo)

Documento: Bustamante Dario_TESIS.pdf (0111941570)
Presentado: 2021-09-01 13:18 (-05:00)
Presentado por: luval962@hotmail.com
Recibido: luis.valjejo.ucsg@analysis.urkund.com

1% de estas 29 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	https://dspace.uns.edu.ec/bitstream/123456789/5164/6/UPS-KT00420.pdf
	https://pdfdokument.com/carrera-ingenieria-electrica-tesis-previa-para-la-obtencion-del-titulo-See0730397...
	https://doclover.es/23431146-Carrera-ingenieria-electrica-tesis-previa-para-la-obtencion-del-titulo-de-ingeni...
	https://www.redalyc.org/journal/2570/257065015002.html/
	http://201.159.223.180/bitstream/3317/13381/1/IT-UCSG-PRE-TEC-IEM-225.pdf
	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3586/1/IT-UCSG-PRE-TEC-IECA-28.pdf

0 Advertencias Reiniciar Exportar Compartir

100% **Primer** #1 Activo Fuente externa: <http://201.159.223.180/bitstream/3317/13381/1/IT-UCSG-PRE-TEC-IEM-225.pdf> 100%

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL.TEMA:

Diseño de la red de comunicación a nivel de Control y Monitoreo en una Subestación Eléctrica Digital según normativa IEC 61850 AUTOR: Jonathan Dario Bustamante Salazar

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO EN ELÉCTRICO- MECÁNICA TUTOR: Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M.Sc. Guayaquil, Ecuador

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por BUSTAMANTE SALAZAR JONATHAN DARIO, como requerimiento para la obtención de Título

de Ingeniería en Eléctrico- Mecánica TUTOR _____ ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, M.Sc. DIRECTOR DE LA CARRERA _____ ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, M.Sc. Guayaquil, a los 05 días del mes de Julio del año 2021

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Yo, Bustamante Salazar Jonathan Dario DECLARO QUE: El Trabajo de Titulación,

Diseño de la red de comunicación a nivel de Control y Monitoreo en una Subestación Eléctrica Digital según normativa IEC 61850

AGRADECIMIENTO

Me gustaría expresar mi gratitud primero a Dios o la entidad suprema que rige la vida. Si no fuera por la posibilidad de poder vivir y gozar de salud para desarrollar las capacidades y entendimiento a lo largo de mi carrera académica.

Agradezco a mi familia, compañeros, profesores, tutor y todas las personas que me acompañaron a lo largo de mi preparación profesional. Un agradecimiento especial a mi amiga y compañera Alejandra y a todas aquellas personas que me brindaron su ayuda y amistad y así llevar una formación completa, citando lo académico y relaciones interpersonales.

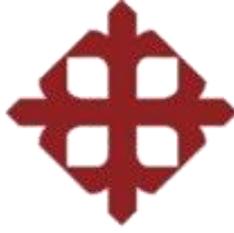
Dario Bustamante Salazar

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis me gustaría dedicárselo a Dios por permitirme contar con la sabiduría y conocimiento necesario para poder presentar mi trabajo de titulación.

También dedico esta presentación a mis hermanos Karem, Christian, Carolina e Ivonne quien a lo largo de mi vida universitaria me apoyaron de sobremanera para que mi vida laboral y estudiantil no fuera tan complicada, gracias a ellos y por su apoyo en algún momento es posible todo esto.

Dario Bustamante Salazar



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO - MECÁNICA CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS

DECANO

f. _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

ING. VALLEJO SAMANIEGO, LUIS VICENTE, M.SC.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

REPORTE URKUND	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
1.1 Justificación y Alcance	2
1.2 Planteamiento del Problema	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Metodología de Investigación	4
2.1 Digitalización	5
2.2 Subestación Eléctrica	5
2.2.1 Las Subestaciones Digitales en las redes inteligentes	6
2.2.2 Relés de protección	7
<i>Clasificación de los Sistemas de Protección</i>	11
Arquitectura de Comunicaciones en sistemas de transmisión	13
2.4 Equipos de protección de la nueva Era	15
Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED)	15
2.4.1 Comunicación - IED	17
2.5 SCADA	17
2.5.1 SCADA en Subestaciones Eléctricas	18
2.6 Comunicación Industrial	19
2.6.1 Transmisión de datos	19
2.6.2 Modelo TCP/IP	20
2.6.3 Topología de Redes	20
2.6.4 Los tipos de redes	21
Redes de Difusión o multipunto	21
<i>Redes punto a punto</i>	21
2.7 Protocolos de Comunicación	22
2.8 Estándares de Comunicación en Subestación	22
2.8.1 RS-232	23

2.8.2 RS-485	23
2.9 Protocolos de Comunicación usados en una Subestación Eléctrica..	24
2.9.1 DNP 3.0	25
2.9.2 Profinet	27
2.9.3 Profibus	28
2.9.4 Mensajería GOOSE.....	29
2.10 Medios de Comunicación en una subestación.....	30
2.10.1 Por Cable.....	30
Par Trenzado.....	31
Cable Coaxial	31
2.10.2 Por fibra Óptica.....	32
Fibra Monomodo	32
Fibra Multimodo.....	33
2.10.3 Por Radio.....	33
Satelital.....	33
2.11 Clasificación Geográfica por Redes.....	34
2.11.1 Red de Área Local (LAN).....	34
2.11.2 Red de Área Metropolitana (MAN).....	35
2.11.3 Red de Área Amplia (WAN).....	37
2.12 Protocolos de Redundancia en Subestaciones.....	37
2.12.1 IEC 62439-3 Redundancy PRP and HSR Protocols.....	38
2.12.2 Evaluación de la latencia de datos del bus de proceso con PRP / HSR Conmutadores Ethernet habilitados	39
2.13 Sincronismo de tiempo en Subestaciones	40
2.13.1 IEEE 1588 Time Synchronization PTP – Precision Time Protocol	40
CAPÍTULO 3.....	42
3.1 Normativa IEC 61850.....	42
CAPÍTULO 4.....	50
4.1 Diseño de red de comunicaciones del área de control y monitoreo en una subestación con arquitectura tipo	50
4.1.LAN A y LAN B	51
4.2 Switch Ethernet S3	53
4.3 Switch Ethernet S4	54
4.4 Firewall	55
4.5 Creación de VLAN (Red de área local virtual)	56

4.6 Reloj y Sincronismo en la Subestación.....	57
4.7 Selección de Equipo Hardware Switch y Firewall en nuestra arquitectura.....	58
4.7.1 RUGGEDCOM RST2228	59
4.7.2 RUGGEDCOM RX1500	60
4.7.3 RUGGEDCOM RSG2488.....	62
4.8 Conclusiones	67
4.9 Recomendaciones	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Relés respecto a su función Principal	11
Tabla 2.2: Relés respecto a su magnitud eléctrica	12
Tabla 2.3: Relés respecto a su velocidad de operación.....	12
Tabla 2.4: Tipos de Topologías.....	21
Tabla 2.5: Características eléctricas RS-232.....	23
Tabla 2.6: diferencias entre los protocolos RS-232 y RS-485	24
Tabla 2.7: Protocolos en las Subestaciones Eléctricas.....	25
Tabla 2.8: Características de Redes.....	34
Tabla 3.1: Partes de la Norma IEC 61850 ed. 2	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Bus de Proceso-Automatización de una Subestación inteligente.....	7
Figura 2.2 Sistema de Protección.....	8
Figura 2.3 Relé SIPROTEC (parte frontal).....	8
Figura 2.4 Diagrama unifilar de un sistema indicando sus zonas de protección	10
Figura 2.5 Componentes de un Sistema de Protecciones.....	13
Figura 2.6 Esquema de arquitectura de comunicaciones en sistemas de transmisión.....	14
Figura 2.7: Dispositivo Electrónico Inteligente (IEDs)	17
Figura 2.8: Arquitectura de un sistema SCADA.....	18
Figura 2.9: Control de Redes mediante Scadas, RTUs y MTU.....	19
Figura 2.10 Comparación del modelo TCP/IP con el modelo OSI.	20
Figura 2.11: Estructura de SCADA del protocolo DNP 3.0	26
Figura 2.12 Algunos de los protocolos y redes utilizados en el modelo TCP/IP.	26
Figura 2.13 Requerimiento de una Automatización	27
Figura 2.14 Profibus capas en uso	28
Figura 2.15: Objetos genéricos orientados para equipos de subestaciones IEDs	30
Figura 2.16: Cable de Pares trenzados	31
Figura 2.17: Partes de un cable coaxial.....	32
Figura 2.18: Comparación entre fibra Monomodo y Multimodo	33
Figura 2.19: Topología de una red LAN.....	35
Figura 2.20: Topología de una red MAN.....	36
Figura 2.21 RED Pots.....	37
Figura 2.22 Arquitectura de una redbox en 2 redes locales.....	38
Figura 2.23 PRP-LAN A separada de la LAN B.....	39
Figura 2.24 HSR – Estructura de Anillo	39
Figura 2.25 Evaluación de la latencia de datos del bus de proceso	40
Figura 2.26 Evaluación de la latencia de datos del bus de proceso- II	40
Figura 2.27 PTP - Frame	41
Figura 3.1 Características de la normativa IEC 61850.....	42

Figura 3.2 Ejemplo de una Topología de una Subestación automatizada según IEC 61850-7-1.....	44
Figura 3.3 Modelo del funcionamiento desde la perspectiva de ciberseguridad	46
Figura 3.4 Modelo de red descriptivo de una subestación genérica	47
Fuente: (INCIBE-CERT, 2015).....	47
Figura 3.5 Documentos que componen IEC 62351	47
Fuente: (INCIBE-CERT, 2015).....	47
Figura 3.6 Visión Arquitectura segura en subestaciones	49
Fuente: (Abb.com)	49
Figura 4.1 Arquitectura tipo red de comunicación Genérica	51
Figura 4.2 LAN A y LAN B Genérica.....	52
Figura 4.3 PRP en LAN A y LAN B	52
Figura 4.4 Switch S3.....	53
Figura 4.5 Switch S4.....	54
Figura 4.6 Firewall	55
Figura 4.7 VLAN	56
Figura 4.8 Sincronismo en arquitectura Tipo	57
Figura 4.9 Sincronismo en arquitectura Tipo - II	58
Figura 4.10: Ruggedcom RST 2228	59
Figura 4.11: Características Ruggedcom RST 2228.....	60
Figura 4.12: Casos de uso Ruggedcom RST 2228.....	60
Figura 4.13: Ruggedcom RX 1500.....	61
Figura 4.14: Características Ruggedcom RX 1500.....	61
Figura 4.15: Ruggedcom RSG 2488.....	62
Figura 4.16: Caso de Uso Ruggedcom RSG 2488	62
Figura 4.17: Diseño red control con equipos SIEMENS	63
Figura 4.18: Diseño red control con equipos SIEMENS más SINCRONISMO	64
Figura 4.19: Modulo APE 1808.....	64
Figura 4.20: Especificaciones y Características Modulo APE 1808.....	65
Figura 4.21: Modulo APE 1808 con RX 1500	65
Figura 4.22: Integración Apicativo Fortigate en APE 1808.....	66

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo poder establecer el modelo y diseño de comunicaciones industriales acertado en la implementación de una subestación eléctrica digital. Se plantea dejar en claro cuál es la forma y tipo de protocolos de comunicación más convenientes junto con sus directrices para su instalación. La disponibilidad de los datos juega el rol más importante en el momento de una falla en una subestación, es por eso que se debe contar con arquitecturas de alta disponibilidad con protocolos normalizados de redundancia. Estas arquitecturas pueden estar presentes en cualquier tipo de subestación, ya sea de alta o media tensión; y también indiferente la aplicación para la que está aplicada. Este modelo cuenta con ejemplos de arquitecturas utilizadas en sector industrial común, como también en industria pesada. Se analizará las diferentes vías de aplicativos para la adopción de aplicativos de ciberseguridad en una subestación. Los tipos de registros e inspección también serán abordados. El tipo de metodología aplicada para este trabajo será la documental y analítica, ya que realizaremos una comparación con los diferentes tipos de protocolos de comunicación y determinaremos cuál de todos es el más idóneo para la aplicación específica. Las conclusiones estarán basadas en las diferentes eventualidades que se presenten en la subestación digital y las mejoras que evidencien la factibilidad de la migración digital.

PALABRAS CLAVES:

Subestación, digitalización, energía, comunicación, protocolos de comunicación, ciberseguridad.

ABSTRACT

The objective of this degree work is to be able to establish the correct industrial communications model and design in the implementation of a digital electrical substation. It is proposed to make clear what is the most convenient form and type of communication protocols together with its guidelines for their installation. Data availability plays the most important role at the time of a substation failure, which is why high availability architectures with standard redundancy protocols must be in place. These architectures can be present in any type of substation, be it high or medium voltage; and also the application for which it is applied is indifferent. This model has examples of architectures used in the common industrial sector, as well as in heavy industry. The different application paths for the adoption of cybersecurity applications in a substation will be analyzed. The types of searches and inspection will also be addressed. The type of methodology applied for this work will be documentary and analytical, since we will make a comparison with the different types of communication protocols, and we will determine which of all is the most suitable for the specific application. The conclusions will be based on the different eventualities that arise in the digital substation and the improvements that show the feasibility of digital migration.

KEY WORDS:

Substation, digitization, energy, communication, communication protocols, cybersecurity.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación y Alcance

En la República del Ecuador contamos con subestaciones eléctricas que son operadas por la empresa generadora, transmisora y distribuidora de energía eléctrica; ya sean en su mayoría estatales y algunas otras privadas. Se estima que en un futuro muy cercano la brecha digital será cada vez menor. Las digitalizaciones en subestaciones eléctricas evidenciarán un sin número de ventajas con respecto a actuadores en el sistema de protección. Al implementar normativas, seguiremos estándares de alta disponibilidad y redundancia.

El crecimiento constante de demanda de energía eléctrica es un factor primordial para tratar de mejorar la operatividad de las subestaciones. La eficiencia en temas de abastecimiento y soluciones ante posibles fallas es un rubro principal a la hora de monitorear mediante los diferentes sistemas implementados en nuestra arquitectura y topología aplicada en la subestación.

La ciberseguridad debe estar presente en cada subestación, mientras que el acceso remoto seguro es un factor muy importante para estar al tanto inmediatamente frente a las eventualidades y sucesos que se presenten.

Una topología debidamente diseñada junto con un sistema de gestión y acceso, la cual está presente en una subestación digital, puede alimentar un registro de los eventos y configuraciones que realizan los operarios autorizados. Esto, colaboraría para llevar un mejor control de las decisiones tomadas en el sistema, evidenciando que solo las personas con las debidas credenciales pueden acceder hasta un cierto rango de control.

1.2 Planteamiento del Problema

En la actualidad ninguna de las subestaciones del país se encuentra completamente digitalizadas. Eso quiere decir que no cuentan con un sistema que implemente soluciones de ciberseguridad combinadas con arquitecturas HSR o PRP, los cuales alucen a arquitecturas de protocolos de redundancia. Estas novedades reducirían significativamente la pérdida de información y amenazas contra ataques externos maliciosos. El sistema de protección eléctrica contaría siempre con la información necesaria sin retrasos para poder actuar.

Existe además una cierta deficiencia en materia de monitoreo en las acciones de valor generadas en los diferentes turnos rotatorios de la subestación, sin registro digital.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una red de comunicación a nivel de control y monitoreo en una Subestación Eléctrica de capacidad media que cumpla con las normativas de la norma IEC 61850.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Escoger el protocolo de comunicación y diseño de bus de campo más propicio para una subestación.
- Interpretar los diferentes requerimientos de la normativa IEC 61850 en una subestación eléctrica.
- Analizar las posibles implementaciones de protocolos de redundancia y alta disponibilidad en una subestación.
- Caracterizar el sistema de sincronismo mínimo recomendado que debe estar presente en una subestación digital.

1.4 Metodología de Investigación

La investigación realizada es de tipo documentada. Está basada en diferentes tipos de fuentes de publicación como: libros, revistas, tesis, catálogos, etc.

La investigación Analítica también está presente ya que establece comparativas de los diferentes escenarios entre un sistema de control y otro.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Digitalización

La digitalización es un proceso por el cual todo lo que conocemos como tecnología digital se impregna en el sistema habitual que usamos al día a día. Este proceso lo podemos evidenciar desde nuestros hogares hasta en el lugar donde trabajamos. Uno de los ejemplos más fáciles de la digitalización es la posibilidad de poder solicitar víveres o transportación desde el dispositivo móvil a la puerta de tu casa, en un proceso ágil, cómodo y seguro. A fin de cuenta ese es el objetivo principal de este proceso, facilitar las operaciones y la interconectividad con el mundo.

Mediante herramientas como la internet es fácil poder establecer comunicación de manera digital con diferentes agentes al largo del globo terráqueo. El uso de tecnología inalámbrica en una llamada telefónica hace hincapié que transformamos la manera convencional de comunicarnos para dar paso a una transformación digital.

El efecto de la presencia acelerada de la digitalización ha dejado una huella muy grande en las compañías más que nada. Los costos de inversión principal para digitalizar procesos son rentables debido a su pronta desvengación. La productividad sube, y los costos de mantenimientos son mermados según el tipo de implementación que se integra en la solución.

2.2 Subestación Eléctrica

Entendemos como subestación eléctrica un esquema exteriorizado de la potenciación de la energía que adquirimos y suministramos. En ella se trata de transformar la energía sin necesidad de cambiar su naturaleza, es decir se busca la manera más idónea para transportarla y distribuirla de manera eficaz y segura. La subestación está conformada con varios equipos, que en su conjunto se utilizan para controlar ya sea el flujo de energía y con

gran aceptación tener una red segura garantizando las presencias mínimas de falla gracias a sus equipos de protección.

Una subestación está normalmente asociada a centrales de generación, en donde se controla directamente el flujo y niveles de voltaje y potencia. Están presente los transformadores de potencia, los cuales juegan un rol muy importante para transformar la tensión de suministro a niveles altos y bajos

En muchas ocasiones las subestaciones desempeñan varias funciones, y es una de las características de los sistemas eléctricos de potencia. (Grupo de investigación XUÉ Semillero de investigación Barión, 2020)

2.2.1 Las Subestaciones Digitales en las redes inteligentes

En una subestación digital es donde contamos con todos sus procesos de una forma digital, la cual nos ayuda a contar con la información de dichos procesos de manera más ordenada, fácil y bidireccionalmente hablando en la transmisión de data. La comunicación digital se encontrará tanto en los equipos eléctricos primarios como también en los secundarios dentro de la subestación, para realizar estos procesos existen plataformas de comunicación presentes en el tráfico de la data que nos ayudaría a crear una sintonía e interconexión en los equipos inteligentes dentro de nuestra red. (FuturEnergy, 2014).

Una gran ventaja de la subestación digital es que tendremos una gran disponibilidad de información disponible mediante nuestro sistema de control, del mismo modo aumentará la seguridad en nuestra red y tendremos opciones de analizar la integración de sistemas de ciberseguridad en la subestación. AL momento de utilizar paneles de interacción más intuitivos, se contará con un modelo más confiable y sostenible en materia de monitorización de la comunicación en Red. (FuturEnergy, 2014).

Implementando la normativa IEC 61850 es posible realizar el intercambio de datos entre los diferentes dispositivos inteligentes presentes en red,

tanto en la subestación local como remotas. Los tiempos de respuestas serán reducidos ya que la comunicación será directa entre subestaciones, sin dejar opción a retrasos en la comunicación, no pasa por un centro de control central como se puede observar en la figura 2.1. (FuturEnergy, 2014).

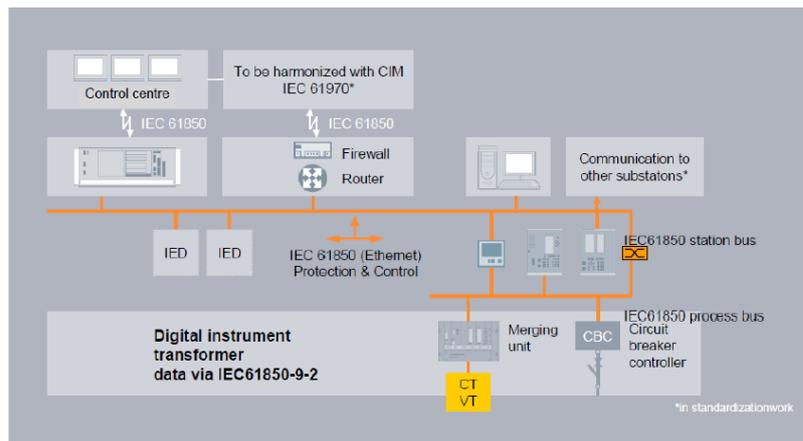


Figura 2.1 Bus de Proceso-Automatización de una Subestación inteligente.
Fuente: IEC

Estas Subestaciones digitales cuentan con la capacidad de comprender rutas de red. y así se cuenta con la proeza de gestionar de mejor manera la red contra las amenazas de seguridad y acceso que se puedan dar en las comunicaciones. LA conexión remota también se vería involucrada y analizada en una subestación digital (FuturEnergy, 2014).

Componentes Esenciales en una Subestación Eléctrica

En las redes de comunicación de una subestación, siempre contaremos con equipos críticos que deben contar con un disponibilidad y seguridad en su operación. Entre los más importantes tenemos los siguientes:

2.2.2 Relés de protección

La función esencial de los relés de protección es aislar el servicio eléctrico de cualquier elemento cuando se sufre algún cortocircuito, o cuando comienza a funcionar de manera no adecuada, esto podría causar daños irreparables a la eficacia del servicio suministrado y equipos aguas abajo.

Los relés están diseñados e instalados de la forma en que se aísla directamente de manera oportuna (Mason, 1956)

La forma de actuar de un relé se explica en la siguiente figura 2.2. (Mason, 1956)

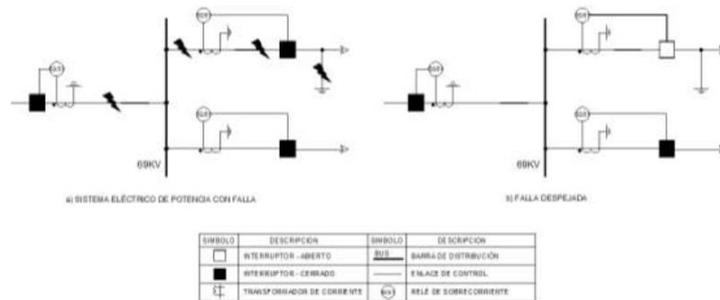


Figura 2.2 Sistema de Protección
Fuente: (Tesis)

En la actualidad existe una gran variedad de relés, unos más inteligentes que otros. Algunas cuentan con pantallas LCD frontales, en estas pantallas es posible realizar ajustes, medición, totalizador y la información esencial de estado del equipo. Como se muestra en la siguiente figura 2.3.

No siempre se requerirá una herramienta informática o software especializado para realizar ajustes en los relés. (Bayas & Andrés, 2017)



Figura 2.3 Relé SIPROTEC (parte frontal)
Fuente (Siemens.com)

Con el fin de comprender como funciona el sistema de transmisión de energía eléctrica, en términos generales están presentes cuatro niveles jerárquicos en la subestación.

- **Nivel 0:** Patio en el caso de subestaciones aisladas en aire, y GIS, en el caso de subestaciones encapsuladas aisladas en SF6.
- **Nivel 1:** Controlador de Bahía/Selectores de respaldo (mímicos de operación de emergencia para control de equipos de patio).
- **Nivel 2:** Estación de operación y gateway o controladores de subestación.
- **Nivel 3:** Centros de control.

La forma de operación se establece según su jerarquía de niveles, Es decir mientras alguien con acceso al nivel 0 no podrá acceder a los niveles superiores. Los que cuenten con acceso a un nivel superior si podrá tener acceso y autorización para los niveles inferiores. (Carreño, 2012).

Muchos sistemas digitales se integran de la mano de las comunicaciones en IT (Tecnología de la información) y estas aprovechas las ventajas del mismo, ya que esta fusión entre operación e información tiene un gran futuro.

Mediante las bondades que ofrecen las comunicaciones, muchos de los equipos de automatización u protección se entrelazan y realizar el intercambio de la información dentro del propio sistema de red y su sistema de control.

La clasificación tipos de relés por su participación e importancia es la siguiente:

Relé Principal

Como ya analizamos anteriormente, la función de este relé se basa en poder aislar las fallas si es que un evento ocurriera en el servicio de suministro eléctrico.

Por ejemplo, una protección 52 (disyuntor o interruptor en CA) es la que abre un dispositivo importante del sistema.

Para dar garantía de funcionamiento de un sistema eléctrica potenciado, este se logra dividir en torno a cada dispositivo que sea relevante como se aprecia en la siguiente figura 2.4.

A continuación, esta muestra las principales protecciones que son las que deben actuar en cada una de las zonas, a manera de cascada cada cual tiene su rol de apertura según el sistema lo amerito para que sea confiable. (C. Mason, 1956).

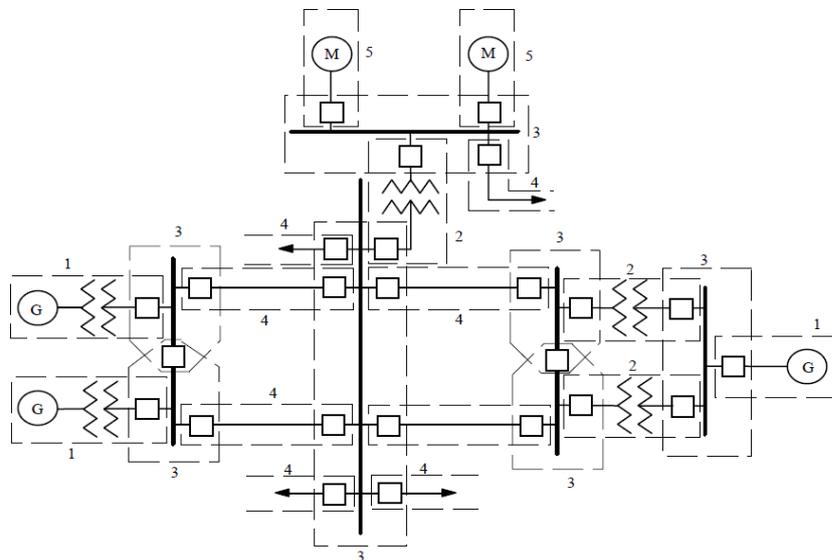


Figura 2.4 Diagrama unifilar de un sistema indicando sus zonas de protección Fuente (C. Mason, The art and science of protective relaying)

Relé de Respaldo

Esta protección está presente únicamente contra fallas de cortocircuitos. Normalmente entran en acción cuando existe algún tipo de mantenimiento en los relés principales en las subestaciones. El relé de respaldo puede ser local o remoto como se da a conocer a continuación. (C. Mason, 1956).

Respaldo Local: Es un relé duplicado del local. Esta puede estar en una zona protegida por ejemplo un relé de tiempo.

Respaldo Remoto: Se encuentra disponible en algún lugar diferente al local, pero dentro del circuito.

Clasificación de los Sistemas de Protección

Es muy importante tener en cuenta como se desglosa las protecciones eléctricas para un mejor entendimiento en su estudio y campo de aplicación. Estos se clasifican de acuerdo a varias características, las más comunes son de acuerdo a su funcionamiento, a su construcción, a la magnitud de las variables eléctricas y a su velocidad.

Respecto a su función principal

Esta clasificación de relés es de acuerdo a las funciones de protección y las diferentes funciones de las protecciones, como se muestra en la tabla 2.1.

Tipo de Protección	Función
Relés de Protección	Estas protecciones pueden dar la apertura de dis- yuntores debido a condiciones peligrosas en el sis- tema, por ejemplo la protección 52
Relés de Monitoreo	Estos verifican las condiciones del sistema eléctrico de potencia por ejemplo el relé 25 y 47 que son comprobadores de sincronismo y de secuencia de fase respectivamente.
Relés Programables	Estos relés detectan secuencias eléctricas, como por ejemplo el 79 y 82.
Relés Reguladores	Estos relés intervienen cuando las medidas de vol- taje, corriente, exceden el valor fijado, por ejemplo el 27
Relés Auxiliares	Dichos relés actúan a la apertura o cierre de un circuito por ejemplo temporizadores como es el 62.

Tabla 2.1: Relés respecto a su función Principal

Fuente: H. Mendivelso, Protecciones de Relés.

Características Constructivas

El relé electromagnético se basa en la fuerza de atracción magnética que se ejerce entre las piezas del material dentro del equipo. Al ser una parte móvil puede realizar la acción de cortar trayecto de energía si no se encuentra energizado o se excede. Estos relés son robustos, simples y no costosos. (R. Capella, 2003)

Por otro lado, los relés de inducción están basados en los contadores eléctricos. Su tecnología se basa en una bobina fija y la otra dinámica,

incluyen un circuito de hierro u otro material magnético y en ese caso se denominan relés ferrodinámicos. (R. Capella, 2003)

Magnitud eléctrica controlada

Estos relés se clasifican por la magnitud eléctrica que manejan: corriente, tensión, potencia y frecuencia. Sus características se muestran en la tabla 2.2.

Magnitud Eléctrica	Función
De corriente	La corriente eléctrica es el factor que interviene para que actúe el relé.
De Tensión	También conocidos como relés voltimétricos y estos actúan por las variaciones de voltaje al que está sometido el relé.
Diferenciales	Cuando la diferencia de dos o más magnitudes eléctricas del mismo tipo (Corriente eléctrica) sobrepasa un valor fijado. Ejemplo 87P.
De frecuencia	Actúan cuando la frecuencia se aparta de los valores ajustados. Ej: Relé 81

Tabla 2.2: Relés respecto a su magnitud eléctrica

Fuente: H. Mendivelso, Protecciones de relés

Velocidad de Operación

Se clasifican según su velocidad de respuesta en operación hasta milisegundos (ms), como se muestra en la tabla 2.3

Velocidad	Función
Alta velocidad	Este tipo de relés deben operar en un tiempo menor o igual 50 milisegundos.
Baja Velocidad	Actúan en un tiempo mayor a los 50 milisegundos.
Instantáneos	Estos funcionan en un rango de (2 ciclos > t > 1 ciclo)
Temporizados	Relés que intervienen en un tiempo mayor a 10 ciclos.

Tabla 2.3: Relés respecto a su velocidad de operación

Fuente: H. Mendivelso, Protecciones de Relés.

Componentes de un sistema de Protecciones

Dentro de un sistema de protecciones encontraremos componentes que conforman la protección en el sistema de control o de potencia, estos se encontrarán interconectados o dependientes entre sí para el óptimo funcionamiento. En la figura 1.3 se ilustra dichos componentes.

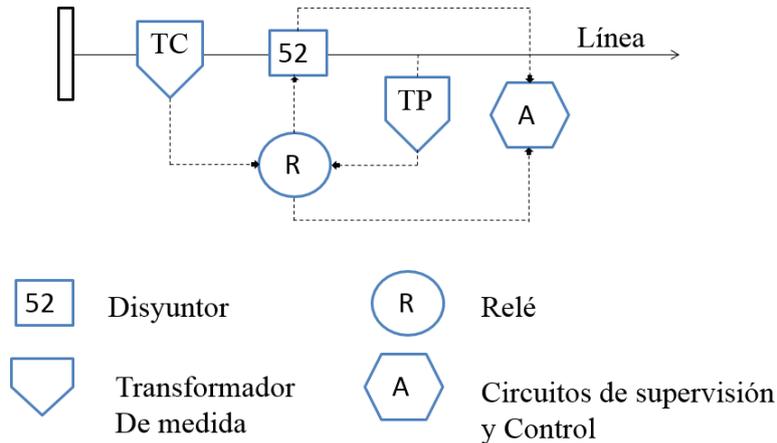


Figura 2.5 Componentes de un Sistema de Protecciones
Fuente (R. Rosas, Protección de sistemas eléctricos de potencia.)

Arquitectura de Comunicaciones en sistemas de transmisión

Para dar una descripción de los diferentes componentes que están presentes en el sistema de control, protección y medida en la transmisión de energía eléctrica, la arquitectura de comunicaciones de este tipo de sistemas está formada por uno o más centros de control y un número de dispositivos de campo como RTU (*remote terminal unit*), IED (*intelligent electronic device*), PLC (*programmable logic controller*), *gateway* (controladores basados en *software* y sistemas operativos), conectados por una infraestructura de comunicaciones.

Los dispositivos reciben la información desde los diferentes componentes de campo y ayudan a convertir esa información en datos digitalizados, los mismos que posteriormente son enviados al control central de gestión.

Ellos cuentan con las capacidades de recibir comandos de control directamente al sistema de control; manejan alarmas de eventos y

notificaciones según la configuración que se tenga en el equipo. (Cherdantseva *et al.*, 2016).

Las RTU, PLC y *Gateway* son dispositivos digitales que trabajan en la monitorización de sensores y variables de campo, con las que se puede tomar decisiones basadas en algoritmos y programas de control realizadas por el usuario. Gracias a estos programas es fácil controlar interruptores, válvulas, tiristores, entre otros.

Cuando contamos con la arquitectura de control la mayoría de las instalaciones cuentan con interfaces Hombre-Máquina comúnmente llamadas **HMI**, estas interfaces nos permiten interactuar con los equipos y operar de manera más didáctica con el sistema y sus configuraciones locales en los diferentes equipos. (Espinel Ortega & Carreno Perez, 2020)

Siempre recordando que “La comunicación se basa en el intercambio de mensajes entre los dispositivos maestros o clientes, con los dispositivos de control esclavos o servidores los cuales envían información y aceptan instrucciones de operación que transmiten hacia los elementos de campo” (Cherdantseva *et al.*, 2016).

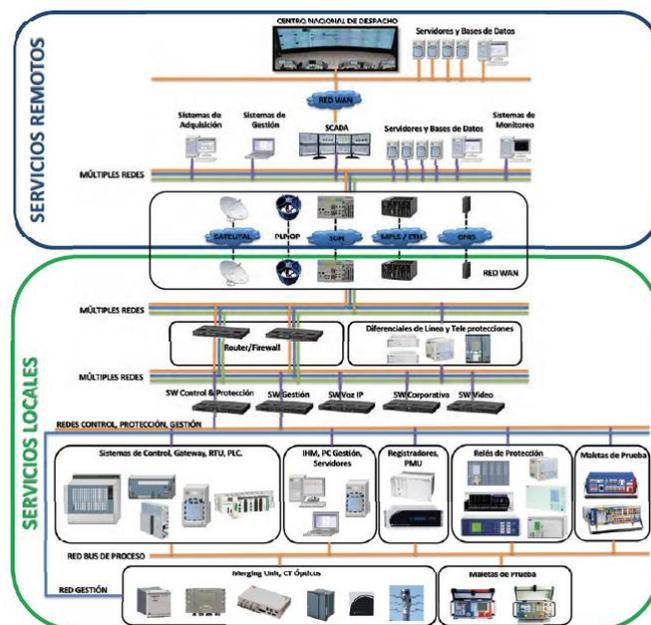


Figura 2.6 Esquema de arquitectura de comunicaciones en sistemas de transmisión Fuente (Espinel Ortega & Carreno Perez, 2020)

2.4 Equipos de protección de la nueva Era

Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED)

El gran reto de las subestaciones hace unos años fue la automatización de la misma, con el paso de los años es el desafío que se han planteado los diseñadores de las mismas. Automatizar abarca muchas instancias dentro de la subestación, una de ellas es poder controlarla a distancia. En la actualidad muchas de las subestaciones aún necesitan operarios que realicen tareas manuales puntuales para un proceso específico, proceso que puede ser reemplazado por un equipo inteligente. Hace unos años esta capacidad o posibilidad de manejo remoto era solo un sueño, en los últimos años se ha desarrollado bastante y ya no es necesario el desarrollo o control de manera local. (G. Gaikwad,2012).

Debido al gran avance de los microprocesadores se han desarrollado nuevos dispositivos; dispositivos más versátiles, flexibles y de fácil operación con características únicas sobre los dispositivos de tecnología electromecánica. Estos nuevos dispositivos cuentan con la capacidad de almacenar varias variables a la vez, lecturas en HMI o Display, se auto protegen, módulos de comunicación e incluso con algoritmos que ayudan a tener una mayor eficiencia en el consumo de energía. Además, pueden intercomunicarse con varios tipos de protecciones en el mismo equipo. Estos equipos se denominan Dispositivos Electrónicos Inteligentes IEDs. (R. Vignoni, 2009).

Los **IEDs** son nada más que relés de protección que se diferencian de los electromecánicos al contar con un equipamiento electrónico más robusto y digital; ellos cumplen sus funciones de manera más confiable y con la mayor precisión. La calidad de servicio y operación aumenta mucho con la integración de estos equipos en un sistema de protección y control. (G. Gaikwad,2012).

Los IEDs cuentan con la gran capacidad de diversas funciones, pueden proteger, controlar, monitorizar y se las puede anclar directamente a la red con el protocolo vigente de la misma. Par sacar mayor ventaja de los equipos IED se debe realizar su implementación al sistema con el protocolo de comunicación que se encuentra activa en la red de la subestación. (L. M. Funes, et al, 2009).

En años anteriores unas de las dificultades que se encontraban en las subestaciones y con la adquisición de nuevos IEDs, es que muchos fabricantes cerraban las comunicaciones a un protocolo propietario, entorpeciendo la interoperabilidad e incluyendo en el sistema de control. (Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, 2009).

Función del IED

Los IEDs cuentan con funciones de protección que se pueden agrupar: Unos pueden realizar funciones de dos protecciones por ejemplo 50/51N (Corriente residual calculada o medida por 3 sensores de corriente de fase, protege contra cortocircuitos mediante detección por corrientes circulantes en el neutro). Se tendría un solo equipo realizando doble función, antes era necesario contar con dos relés con las funciones diferenciadas.

Los IEDs realizan funciones de mando y control, pero además cuentan con una interfaz de usuario que permite el acceso solo al personal que cuente con la credencial necesaria para elaborar reajustes. EL bloqueo de acceso es configurable según las necesidades de la planta.

Esto puede ser posible por una llave física, interfaz de comunicación serial, quizás RS-232 para la programación del dispositivo mediante software.

Los IEDs también puede proporcionar protección para un dispositivo especial por separado como, por ejemplo:

- Generador
- Cortocircuitos
- Transformador

- Disyuntor
- Equipos auxiliares



Figura 2.7: Dispositivo Electrónico Inteligente (IEDs)
Fuente (Siemens, Protección multifuncional con sistema de mando SIPROTEC 4)

2.4.1 Comunicación - IED

La mayoría de IED tienen la capacidad de comunicarse con varios canales al mismo tiempo, esto dependerá de los lenguajes que ellos hablen según su folleto o catálogo. La comunicación generalmente es constante y sin interrupciones según la arquitectura tipo de la red de comunicación presente en la subestación. Esto no da a lugar a que siempre se comuniquen directamente con los centros de monitoreo, ya que para realizar dicha acción se necesita de protocolos de comunicación estandarizados propuestos por el fabricante. (G. Gaikwad,2012).

Ventajas del IED

- Optimización en los tiempos de respuestas debido a los diferentes tipos de comunicación que presentan.
- En las pantallas integradas podemos realizar análisis de fallas mediante herramientas como oscilografías de corriente y voltaje
- Optimización de espacio y uso de cableado.
- Incorporación de HMI.

2.5 SCADA

Un sistema SCADA es un sistema de control para la automatización de procesos en la industria. Está muy presentes en varios sectores de la

industria, desde el sector de manufactura como también en la industria pesada. La industria de la electricidad se la considera pesada y de gran potencial.

El sistema SCADA común se muestra en la figura 2.8.

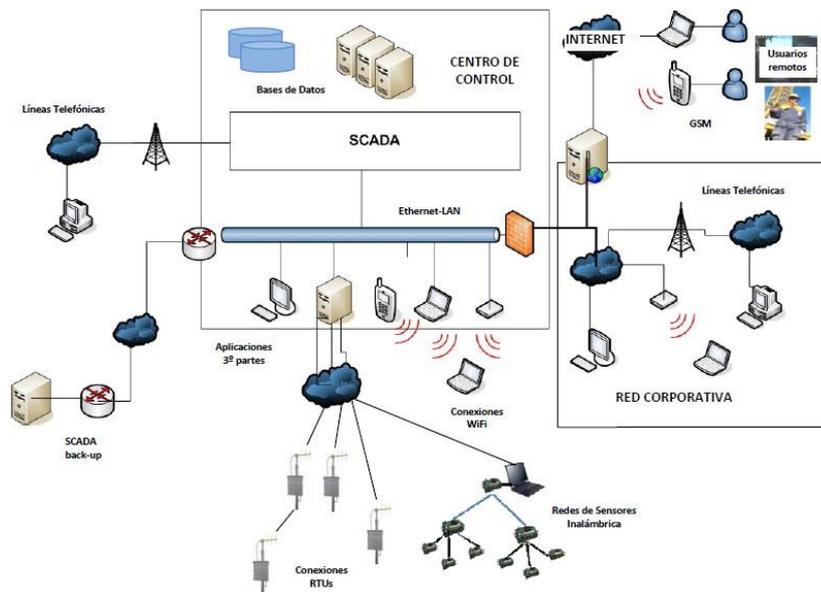


Figura 2.8: Arquitectura de un sistema SCADA
Fuente (C. Alcaraz, G. Fernández, Gestión Segura de Redes SCADA)

2.5.1 SCADA en Subestaciones Eléctricas

En el sistema SCADA se encuentra la MTU, que no es más que la unidad de terminal Maestra. Esta MTU se la considera el “cerebro” dentro del sistema, las cuales contiene una o más RTU.

Las RTU concentran los datos localmente y los envía a la MTU, que emiten las instrucciones adecuadas para la ejecución de una operación específica dentro de la subestación eléctrica. Un sistema SCADA dispone de Software estándar o personalizado y se lo utiliza para recopilar, analizar, interpretar y gestionar datos. (E.E.Q S.A, 2011)

Existen SCADA en subestaciones que tienen un diseño especial y se lo utiliza de manera similar a un SCADA tradicional. Los comúnmente llamados DCS (Sistemas de control distribuido), con funciones similares, pero para cubrir una zona de acción mucho más amplia, territorios más extensos. Las comunicaciones SCADA presentes en estos sistemas deben ser de

área local para tener una mayor eficacia y control, sumándole apartados de ciberseguridad, como se indica en la figura 2.9.

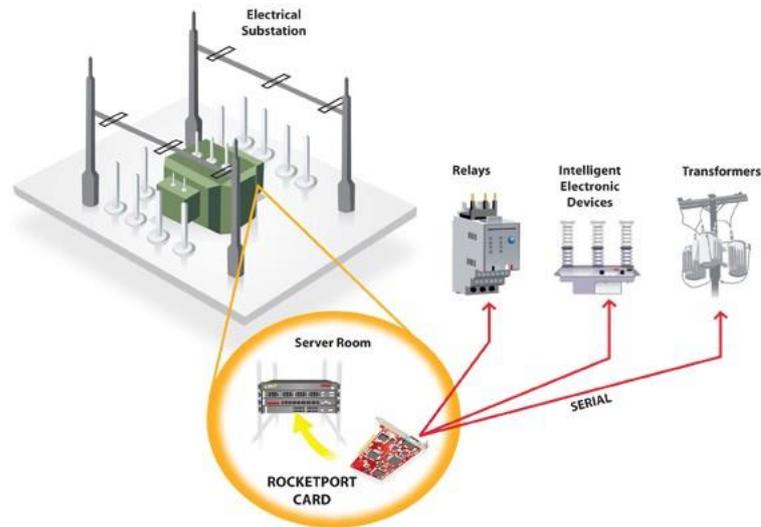


Figura 2.9: Control de Redes mediante Scadas, RTUs y MTU
Fuente (Arthur Pereira Neto, Redes Ethernet en Subestaciones y la Norma Técnica IEC 61850)

2.6 Comunicación Industrial

2.6.1 Transmisión de datos

Las redes comunicaciones ya sean local, metropolitanas o de áreas amplias hoy en día utilizan soportes físicos diversos. Al existir diversidad de tipos de redes, incluso al momento de declarar redes privadas o públicas, los requisitos aumentan y se establecen rigurosamente para que se cumplan lo establecido en las normas o diseño de red. A pesar de aquello, las características físicas permiten la propagación de la señal electromagnética con gran calidad, aunque en poca cantidad de canales simultáneos. (Oliva Alonso, 2014).

Las arquitecturas que más determinantes y básicas han sido para el desarrollo de los estándares en la comunicación son:

TCP/IP (Transport Control Protocol / Internet Protocol) y OSI (Open System Interconnection) como se muestran en la figura 2.10. (Oliva Alonso, 2014).

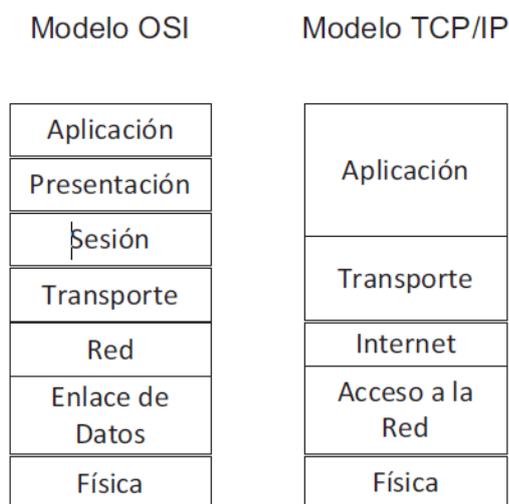


Figura 2.10 Comparación del modelo TCP/IP con el modelo OSI.
Fuente (Oliva Alonso)

2.6.2 Modelo TCP/IP

Este modelo fue utilizado por ARPANET y es el actual basado en la actual internet. Ya conocemos que ARPANET nació para ser usado en entes gubernamentales de USA y luego para interconectar departamentos de diferentes universidades, dando paso luego lo que hoy conocemos como Internet. (Oliva Alonso, 2014). Es oportuno realizar la observación que existen dos tipos de estándares:

- Los estándares de Jure. Aquellos desarrollados y aprobados por organizaciones locales o internacionales como: IEEE, ISO o CEN/ISSS.
- Los estándares de Facto. Aquellas aplicaciones, normas o patrones que, no han sido aprobadas por las organizaciones que estandarizan como (IEE, ISO, etc.), y aun así llegaron a ser tan utilizadas por los fabricantes como por los usuarios. solicitan que sus equipos o redes lo tengan. Un ejemplo claro de este tipo de estándar es el TCP/IP.

2.6.3 Topología de Redes

Las topologías no son más que la forma de conexión que se encontrará en la red, pueden adoptar formas geométricas. La red se define con la

presencia de dos o más dispositivos interactuando entre sí, teniendo un intercambio de información, que además son autónomos con la capacidad de interconectarse mediante interfaces físicas o inalámbricas. (P. Gil, et al, 2010).

2.6.4 Los tipos de redes

Redes de Difusión o multipunto

Este tipo de red permite compartir un mismo enlace entre varios dispositivos, esto ayuda a que dentro de la red hay la capacidad de enviar información o mensajes desde un solo punto a varios dispositivos o multipuntos.

Redes punto a punto

Este tipo de enlace permite compartir desde un mismo punto a otro. Usar este tipo de red permitirá únicamente realizar conexión entre dispositivos pares y de esta manera se podrá realizar un enlace multipunto.

Los IEDs también cuentan con tipos de conexión o topología física entre sí en una subestación eléctrica, este presenta las topologías más conocidas en subestaciones eléctricas y además se conceptualizan a continuación en la tabla 2.4.

Tipo de Topología	Función
BUS	Es una configuración en donde una sola línea en forma de tronco empieza a distribuirse a los distintos dispositivos.
ESTRELLA	Es una configuración en la que todos los dispositivos se conectan a un solo punto o también llamado concentrador.
ANILLO	La configuración en anillo es la más utilizada en subestaciones y esta se conecta dispositivo a dispositivo es decir en serie.
MALLA	Es una configuración en la que cada dispositivo se conecta punto a punto, dedicado en cualquier dispositivo es decir puede formar una topología mixta entre las demás topologías.

Tabla 2.4: Tipos de Topologías

Fuente R. B. James Edwards, Networking Self-Teaching Guide.

2.7 Protocolos de Comunicación

Los protocolos de comunicación son una parte importante al punto de llegar a ser esenciales en cualquier sistema, con ellos logramos establecer el lenguaje de comunicación con el que se comunicará los diferentes dispositivos en nuestra subestación. (Rosero Topón & Mendoza Yaguachi, 2013)

En nuestro país actualmente existen diferentes regulaciones en las comunicaciones. Bajo la supervisión y tiempo real bajo la CONELEC005/08 se establecen tiempos mínimos de respuestas tanto a empresas de generación, transmisión y distribución. Las leyes del sector eléctrico establecen que existe responsabilidad en la instalación y operación de equipos que sean necesarios para la correcta transmisión de datos en los tiempos reales a las distribuidoras previamente establecidas. Es por eso que un estudio de los protocolos de comunicación, con bases analizadas y amplias, en subestaciones es necesario, para determinar el protocolo más adecuado. (CONELEC, 2008).

Se necesitan los diferentes tipos de redes en nuestro sistema SCADA, esto alimentará el mismo y lo enriquecerá y complementará. Ellos se clasifican según la zona geográfica, equipos, velocidad en la transmisión de los datos y el área de cobertura. Los tipos de redes que se pueden realizar en las conexiones de los IEDs, dependen del tipo de protocolo que posean. (Rosero Topón & Mendoza Yaguachi, 2013)

2.8 Estándares de Comunicación en Subestación

Los estándares seriales en subestaciones corresponden a RS-232 y RS-485, que constituyen el elemento clave para la transferencia información digital entre las RTU, y los Routers que logran convertir la información digital a una señal análoga que es la ideal para la transmisión en señales de largas distancias. Hay que comprender que estos estándares

corresponden a estándares de interfaces de comunicación mas no de protocolos de comunicación. (E. W. Deon Reynders,2003).

2.8.1 RS-232

La EIA, en cooperación con los Laboratorios Bell y los principales fabricantes de equipos de comunicaciones y definieron claramente los requisitos de interfaz para conectar terminales de datos. (E. W. Gordon Clarke and D. Reynders, 2004). El estándar RS-232 consta de tres partes fundamentales, que se describen a continuación:

- Las características de la señal eléctrica, como los niveles de tensión y de puesta a tierra.
- Las características de la interfaz mecánica entre DTE y DCE.
- La descripción funcional de los circuitos de enlace.

Características eléctricas de señal

Estas características se definen como serían los niveles de voltaje, ya sean lógicos o analógicos. RS-232 se encuentran en rangos de 5 a 25V. Este estándar cuenta con niveles lógicos de transmisión y de recepción como se muestra en la siguiente tabla.

	Transmisión	Recepción
1 Lógico	-5 a -25 V	-3 a -25 V
0 Lógico	+5 a +25 V	+3 a +25 V
Nivel Lógico indefinido	+5 a -5 V	+3 a -3 V

Tabla 2.5: Características eléctricas RS-232

Fuente: Universidad de las Americas, Puebla México, Estándar RS232

2.8.2 RS-485

RS-485 es una estándar que presenta mejores versátiles frente al serial RS-232, una tanto mejoradas a resumidas cuentas. RS-485 es una extensión de RS-422 con grandes características de distancia y velocidad,

así mismo aumenta el número de transmisores y receptores permitidos en la misma línea. Presenta características como:

- Distancias de hasta 1.2 Km
- Velocidades hasta 10 Mb/s
- Un máximo de 32 controladores de línea en la misma línea y un máximo de 32 receptores de línea que se permiten en la misma línea.

Ventajas y Desventajas del serial RS-485

- Cuenta con inmunidad hacia interferencias externas.
- Necesita la supervisión de un servidor para trabajar.
- Al existir alguna novedad en el estado físico del cable puede perderse la totalidad de la información llevada en el mismo.
- Bajo ancho de banda (EHOUSE,2013).

En la tabla 2.6 se indica las diferencias entre los protocolos RS-232 y RS-485.

Estándar	RS232	RS485
Modo de trabajo	Asimétrica	Simétrica
Driver/Receiver	1 driver / 1 receiver	32 driver / 32 receiver
Longitud de cableado	15 mts	1200 mts
Velocidad Máxima	20 kbit/s	10 Mbit/s
Carga del driver	3KO a 7KO	54O min.
Rango de tensión	$\pm 15 V$	-7 a 12 V
Sensibilidad del Receptor	$\pm 3 V$	$\pm 300 mV$

Tabla 2.6: diferencias entre los protocolos RS-232 y RS-485

Fuente: (EHOUSE)

2.9 Protocolos de Comunicación usados en una Subestación Eléctrica

En la tabla 2.7 se muestran los diferentes tipos de protocolos de comunicación presentes en la subestación, adjuntando su velocidad. Estos

protocolos, conocidos a nivel global, están distribuidos según el fabricante creador. Estos son los protocolos más usados en USA, y toda Europa.

Protocolo	Desarrollado por	Velocidad	Acceso Principal	OSI
MODBUS	Gould Modicon	19.2 Kbps	Sondeo Cíclico	1,2,7
SPABUS	ABB	19.2 Kbps	Sondeo Cíclico	1,2,7
DNP3.0	GE Harris	19.2 Kbps	Sondeo Cíclico (+)	1,2,7 (+)
IEC 60870-5	Todos	19.2 Kbps	Sondeo Cíclico	1,2,7
MODBUS +	Gould Modicon		Token	1,2,7
PROFIBUS	Siemens	12 Mbps	Token	1,2,7
MVB	ABB	1.5 Mbps	TDM	1,2,7 (+)
FIP	Merlin-Gerin	2.5 Mbps	TDM	1,2,7
Ethernet TCP/IP	Todos	10 Mbps	CSMA/CD	1-7
LON	ABB	1.25 Mbps	PCSMA/CD	1-7
UCA 2.0	GE	10 Mbps	CSMA/CD	1-7

Tabla 2.7: Protocolos en las Subestaciones Eléctricas

Fuente: C. Strauss, Practical Electrical Network Automation and Communication Systems.

2.9.1 DNP 3.0

EL protocolo DNP 3.0 fue desarrollado por Westronic, el cual se basó en las versiones estándares de la IEC 61870-5. Al principio de su existencia, fue un protocolo privado, pero con el paso del tiempo llegó a ser de dominio público. Este es el referente de las empresas privadas y públicas en el sector eléctrico mundial (J. R. Islas, 2008).

En la siguiente figura 2.11 se puede observar el esquema del protocolo DNP 3.0.

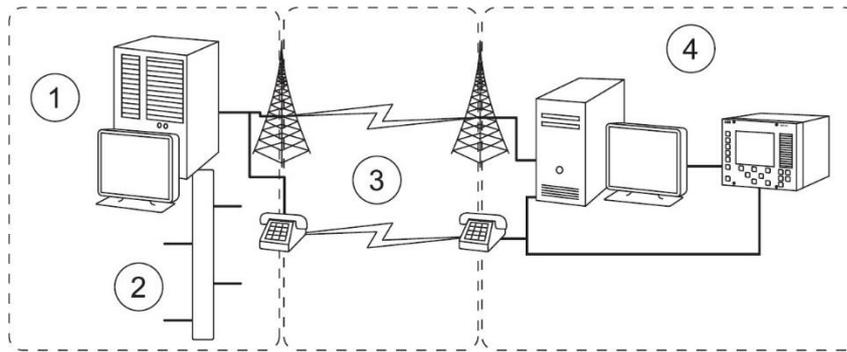


Figura 2.11: Estructura de SCADA del protocolo DNP 3.0
Fuente (ABB, DNP3 Communication Protocol Manual)

Capa de acceso a la red

Esta capa es la principal responsable del intercambio de los datos entre el sistema terminal o estación de trabajo y la red a la cual el operador se interconecta.

El emisor debe proporcionar la dirección destino, para que así se puedan transferir los datos hacia el destino correcto y adecuado. No hay un tipo de software específico, eso va a depender de la red que se disponga, es por eso que se han desarrollado varios estándares para la propagación en los circuitos como por ejemplo *Ethernet*. (Oliva Alonso, 2014).

Capa de Aplicación

Esta capa contiene los protocolos de nivel superior en la red. Normalmente son usados en aplicaciones como navegadores, email, etc. (Oliva Alonso, 2014).

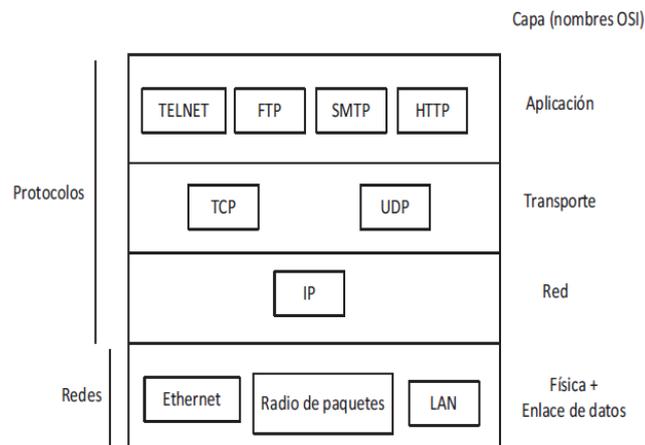


Figura 2.12 Algunos de los protocolos y redes utilizados en el modelo TCP/IP.
Fuente (Oliva Alonso)

TCP/IP es una arquitectura de 5 capas, que recibe el nombre de sus dos protocolos principales. Las capas cuentan de diferentes protocolos de comunicación. (Oliva Alonso, 2014).

2.9.2 Profinet

Profinet es la abreviatura de Process Field Net, que se refiere a estándares técnicos para la comunicación de datos a través de Ethernet en la industria. Estos estándares son comúnmente utilizados en recolectar datos y después gracias a aquellos datos tomar decisiones y controlar equipos industriales. Como puede verse en la figura 2.13, Profinet sí satisface todas las necesidades en la industria tecnológica. (Aminai, P. & Aminai, P. , 2020).

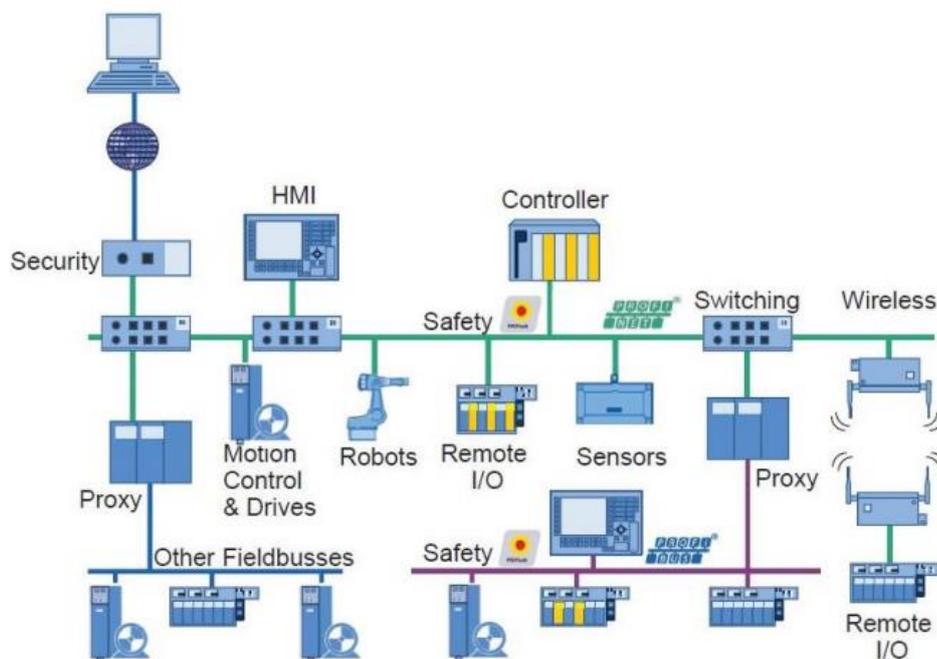


Figura 2.13 Requerimiento de una Automatización Fuente (Profinet)

Existe una gran dependencia por Profinet en la industria y la automatización de la producción y el proceso. Profinet se puede subdividir en dos subcategorías importantes:

- Profinet IO
- Profinet CBA

2.9.3 Profibus

La palabra Profibus se toma de la frase Process Field Bus. Este protocolo cubre únicamente hasta el nivel de controlador. (Aminai, P. & Aminai, P., 2020).

Las ventajas de Profibus son las siguientes:

1. Soporte al bajo nivel de ruido debido a que el cable de par trenzado es la interfaz de transmisión.
2. Ancho de banda apropiado: método de transmisión bueno, como RS485.
3. Posibilidad de intercambio de datos seguros y sin interferencias para utilizar métodos de acceso mediante token.
4. Protocolo de código abierto, alta flexibilidad.

Profibus utiliza el estándar ISO en sus capas. Sin embargo, la norma no cubre todas las capas.

Como se muestra en la figura 2.14, solo se utilizan las capas 1, 2 y 7. (Aminai, P. & Aminai, P., 2020).

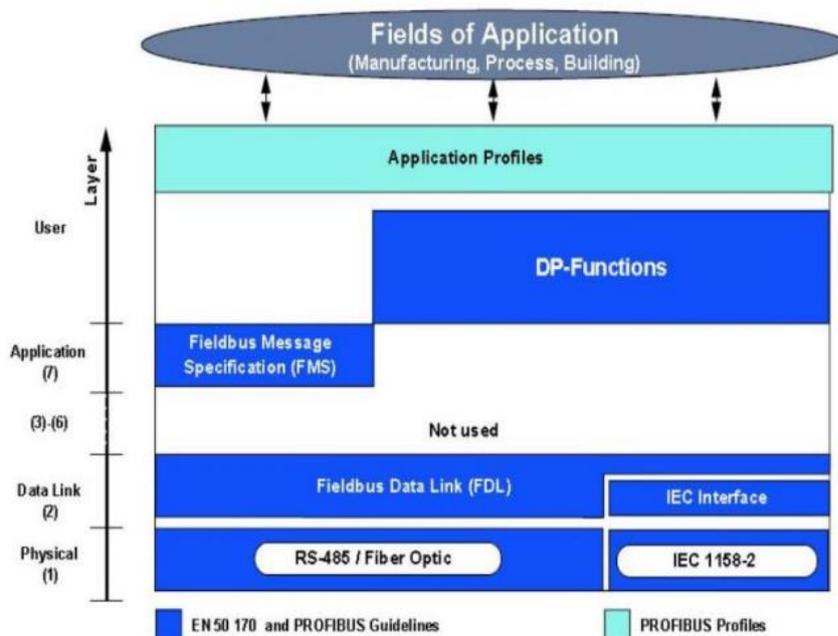


Figura 2.14 Profibus capas en uso
Fuente (Kriger et al.)

Profibus se divide en tres categorías principales:

- Profibus DP
- Profibus FMS
- Profibus PA

2.9.4 Mensajería GOOSE

Existe un estándar de comunicación a nivel internacional para los diferentes dispositivos dentro de la red de comunicación de una subestación, esto es gracias a la norma IEC 61850. La cual ha contribuido significativamente en las formas de comunicarse entre dispositivos de planta o campo, sumándole el intercambio oportuno de información crítica. Este estándar de comunicación a pesar de ser relativamente nuevo tiene como objetivo principal garantizar la interoperabilidad ente dispositivos de diferentes proveedores.

Para eventos donde el tiempo juega un rol importante, este tipo de mensajería es muy usada en los equipos de protección de la red, son mensajes conocidos como subestación genérica orientados a objetos.

Los mensajes de eventos (GOOSE) intercambian información de varios dispositivos mediante una red Ethernet local. (Kriger et al., 2013)

GOOSE nos permite comunicarnos de manera segura y eficaz entre IED a otros equipos de IEDs.

Los IEDs asocian la información recibida por mensajería Goose y adoptan la decisión más adecuada en cuanto a la protección que se requiera en el evento. Un ejemplo de la comunicación se ve en la figura2. (Instituto de Investigación de Potencia Eléctrica EPRI,1999)

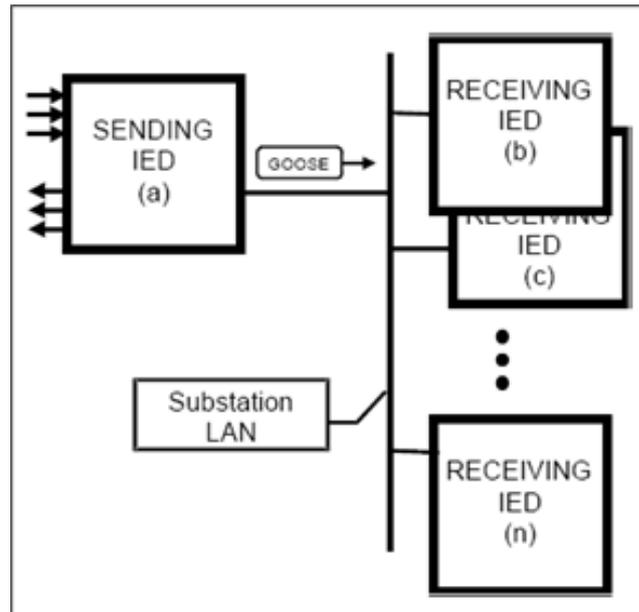


Figura 2.15: Objetos genéricos orientados para equipos de subestaciones IEDs
 Fuente: EPRI, Utility Communications Architecture

2.10 Medios de Comunicación en una subestación

En la Subestación contaremos con diferentes medios de comunicación e interfaces. Se busca poder unir las brechas de la desconexión y establecer un canal sólido de envío y recepción de mensajes. La información es llevada desde el centro de control hacia los diferentes equipos que conforman el sistema y viceversa, todos esto en el mayor tiempo posible. Se puede establecer la conexión por medio físico mediante conductores o por medio de ondas de radio. (J. D. McDonald, 2003). En la actualidad existen tres formas de conducir los datos, ya sean en los sistemas eléctricos o actualmente en SCADA:

- Por Cable.
- Por Fibra Óptica.
- Por Radio.

2.10.1 Por Cable

Uno de los primeros métodos de comunicación han sido la implementación de cables, es decir una interfaz física con un conductor eléctrico. En la industria en general, no solo en las eléctricas es el medio más usado.

Los cables más usados son: el cable de par trenzado, el cable coaxial y el PLC.

Par Trenzado

Es el cable más común y uno de los más económicos en la industria debidos a las propiedades físicas. Cada cable ofrece una comunicación diferente. La forma trenzada de fabricación es para que no exista interferencias en sus pares adyacentes.

Es óptimo para uso en señales analógicas como en digitales, contando con posibilidades de amplificadores en analógicos de hasta 5km, mientras que en digital únicamente hasta 2 o 3 km. de información en los datos enviados y recibidos. (Universidad Pontificia Comillas, 2012).

Las aplicaciones de este cable son muy diversas, se puede dar uso telefónico, interconexión en computadoras y medios de transmisión locales. EL ancho de banda va a depender del diámetro de sus cables, aunque también depende de las distancias recorridas. (Universidad Pontificia Comillas, 2012).

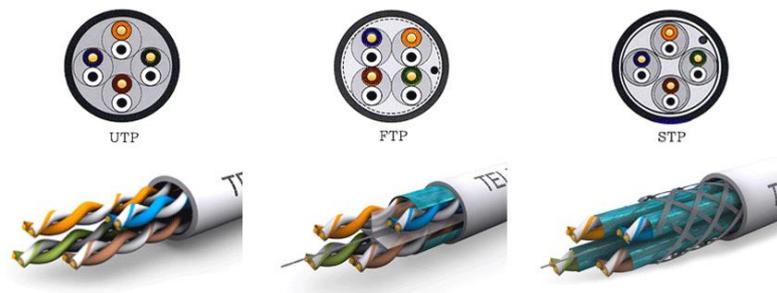


Figura 2.16: Cable de Pares trenzados
Fuente (Teleocable)

Cable Coaxial

El cable coaxial está constituido por un hilo central de cobre y rodeado de una malla de hilos de cobre, entre el hilo y la malla se encuentra un conducto plástico para que no exista interferencia y conserve sus características eléctricas.

El cable coaxial ofrece mejores respuestas en cuanto a la frecuencia en comparación a las del cable de par trenzado. Esto permite contar con mayores frecuencias y velocidades en la transmisión de la información. La desventaja es su grosor, el cual no permite mayor manejabilidad en ángulos muy agudos (Universidad Pontificia Comillas, 2012).



Figura 2.17: Partes de un cable coaxial
Fuente (Universidad Pontificia Comillas, Diseño y Optimización de una Arquitectura)

2.10.2 Por fibra Óptica

La presencia de la fibra óptica en la industria ha evolucionado sustancialmente, con ella se puede enviar información a gran velocidad y no es susceptible al campo magnético presente generalmente en las subestaciones. Se puede recorrer grande distancia y su tamaño e muy reducido en comparación con los cables o conductores comunes. (J. D. McDonald, 2003).

El cable de fibra se compone por un solo hiulo o por varios filamentos de capa externa adicionales para proporcionar protección y apoyo contra daños físicos durante la instalación. Los cables de fibra óptica pueden conectarse a la intersección de anillos para proporcionar capacidades de auto protección para salvaguardar los equipos de daños o fallas. Existen dos clases de fibra, se clasifican según su modo de propagación:

Fibra Monomodo

Este tipo de fibra óptica nos ayuda a implementar redes con una mayor capacidad de transmitir la data con una banda de hasta 100GHz/km. Es

Monomodo porque pueden ser transmitidos los rayos de haz de luz en el mismo eje de la fibra, se aplican para distancias largas.

Fibra Multimodo

La fibra Multimodo puede guiar y transmitir varios rayos de luz por sucesivas reflexiones dentro de la fibra. Se utiliza para corta distancia, menores a 2km (Textos Científicos, 2012). En este gráfico se puede apreciar las diferencias entre las dos clases de fibra.

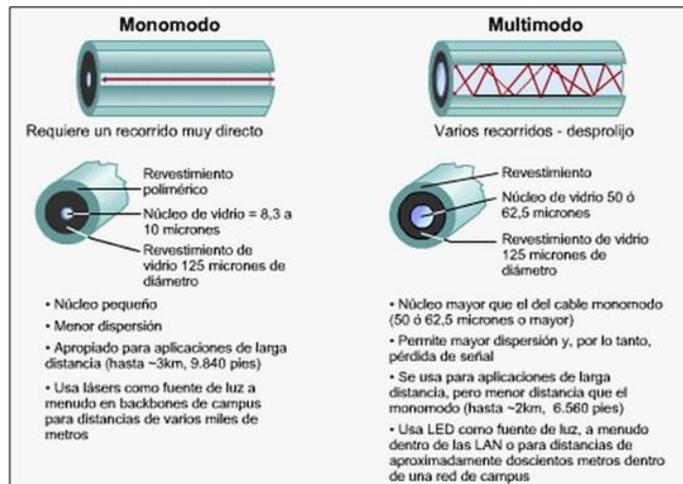


Figura 2.18: Comparación entre fibra Monomodo y Multimodo
Fuente: (lafibraoptica)

2.10.3 Por Radio

Llaman a medios de comunicación por radio a la corriente alterna que alimenta una antena, donde esta antena genera un campo electromagnético que disipa y envía esta transmisión datos modo inalámbrico. Mediante la radiación electromagnética desde los 9 kHz hasta el rango de los GHz. Este tipo de difusión de ondas es muy importante en las subestaciones eléctricas ya que son muy utilizadas en lugares remotos o zonas rurales, donde un tendido o cableado se dificulta.

Satelital

Con el fin de mantener las velocidades y a raíz de las grandes distancias hacia los satélites, es importante mantener los niveles de potencia; por eso

se utilizan grandes parabólicas para obtener respuesta estable del satélite. Existe un retardo de alrededor de 0.25 s en cada viaje o transferencia de información. Por lo que no es el más idóneo al momento de hablar de respuestas eficaces ante eventos puntuales en las subestaciones.

2.11 Clasificación Geográfica por Redes

Características	LAN	MAN	WAN
Espacio Geográfico	Edificio o Campus	Ciudad o Región	País o Continente
Propiedad	Entidad Privada	Privada o Pública	Típicamente Pública
Velocidades	10 Mbps	100 Mbps	100 Gbps
Topologías físicas	bus, anillo estrella	anillo, bus malla	punto a punto malla
Ejemplos	Red Ethernet con impresora compartida base de datos compartida WiFi	Televisión por cable ADSL entre LANs WiMAX, WiFi Mesh ATM	ADSL, GPRS, Frame Relay, 3G ATM

Tabla 2.8: Características de Redes

Fuente: C. Gordon, Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems.

2.11.1 Red de Área Local (LAN)

Las redes de área local con las más usada y presentes en cualquier entidad o institución. Se trata de una red propia y gestionado localmente en la mayoría de los casos. En la industria eléctrica es inevitable contar con redes locales en las subestaciones, ya que se genera sistemas de control donde se establecen perímetros y acceso local a los dispositivos. Se pueden interconectar varios dispositivos de red a grandes distancias según los protocolos e interfaces. (Université libre de Bruxelles,2013).

Una red LAN puede contener en sus nodos varios dispositivos, como impresoras, servidores, computadoras, dispositivos de almacenamiento y otros servicios disponibles para un mismo grupo de usuarios de una misma red geográfica. <estos dispositivos pueden estar conectados entre sí por conductos de cobre, fibra o inalámbricos. (Universit  libre de Bruxelles,2013).

La data que es llevada por la red LAN est  controlada por una red de protocolos que le permite el intercambio de datos de una manera ordenada entre las aplicaciones y dispositivos de la red, indiferentes de las empresas fabricantes de los equipos. (Universit  libre de Bruxelles,2013).

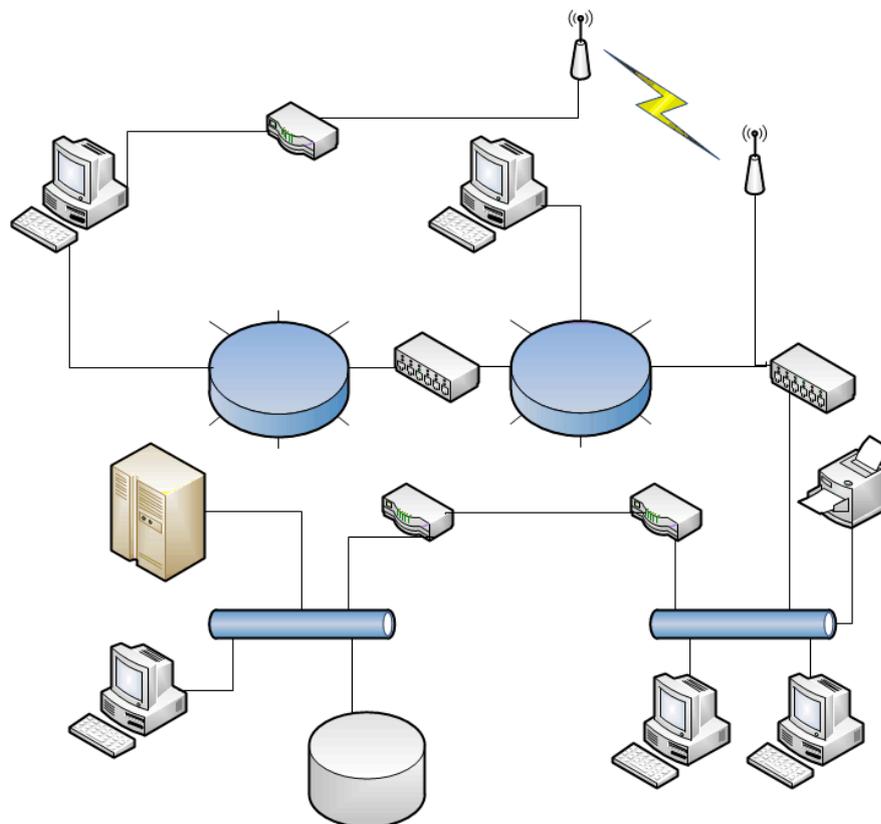


Figura 2.19: Topología de una red LAN
Fuente: (R. B. James Edwards, Networking Self-Teaching Guide)

2.11.2 Red de  rea Metropolitana (MAN)

Las Redes MAN se refiere a un término de Red Metropolitana y este tipo de nueva red sugiere una expansión o evolución de la red. Este nuevo término de tipo de red hace eco a una tendencia urbanística no tan amplia pero tampoco tan local como lo es la LAN.

Las redes MAN cubre más área de las redes tradicionales LAN. Los constantes desarrollos de la tecnología por fibra óptica han facilitado de los equipos de red se adapten a este tipo de red tanto privados como públicos. La fibra óptica da la posibilidad que la red se estire varios kilómetros por una región o ciudad. Estándares como ISO y ANSI establecen que la FDDI refiere a la comunicación que une varias redes MAN, para así se puede enlazar varias redes LAN por fibra óptica.

Las redes MAN utilizan dispositivos casi idénticos a los de una red LAN pero se agregan algunos con mayor capacidad de información como los servidores. Una red MAN se muestra en la figura XX

- Hubs (Concentradores).
- Repetidores.
- Bridges (Puentes).
- Routers (Encaminadores).
- Gateways.
- Servidores.
- Modems (R. B. James Edwards, 2009)

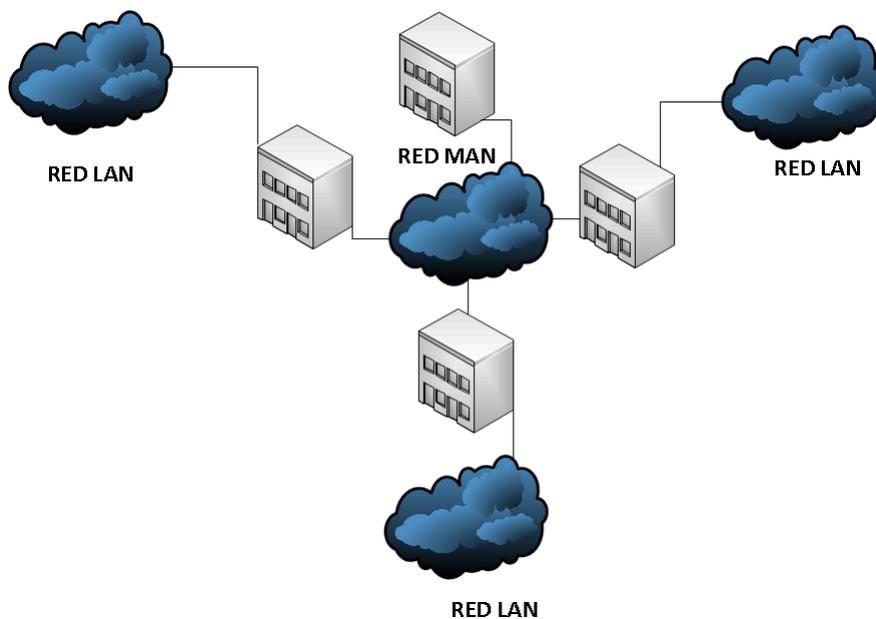


Figura 2.20: Topología de una red MAN
Fuente (R. B. James Edwards, Networking Self-Teaching Guide)

2.11.3 Red de Área Amplia (WAN)

El principal objetivo de este tipo de redes es poder proporcionar una gran cantidad de velocidad entre dos redes notablemente distantes. Las compañías telefónicas hacen uso de este tipo de red al igual que las eléctricas que comparten su propia red desde SCADA centrales. Hay variedades en redes WAN desde baja velocidad análogas hasta grandes velocidades en redes digitales.

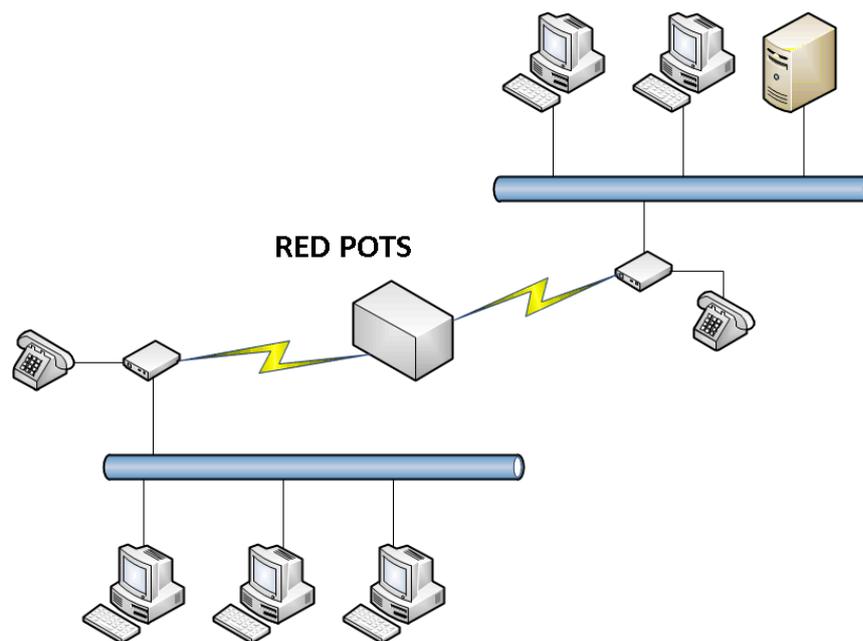


Figura 2.21 RED Pots

Fuente (R. B. James Edwards, Networking Self-Teaching Guide)

Las velocidades de conexión en la red WAN se determina por el tipo de modem y la calidad de la señal de la línea telefónica a la que está conectado al modem. Algunos dispositivos que hacen uso de la red WAN y están basados en módems son capaces de alcanzar velocidades de 115kb/s para trabajar y conectar. También otras tecnologías donde se usan ADSL de cable y fibra hasta lugares donde se necesite recepción de la información.

2.12 Protocolos de Redundancia en Subestaciones

Protocolos de redundancia como PRP (Figura 2.23) y HSR (Figura 2.24) ofrecen mecanismos robustos de redundancia.

El campo de aplicación es amplio, por eso muchas veces encontramos combinaciones en las soluciones. Las interconexiones PRP y HSR se realizan con ayuda de red Boxes o Quadboxes, están siempre estarán en parejas para evitar puntos singulares de fallos. (Redeweb, 2018)

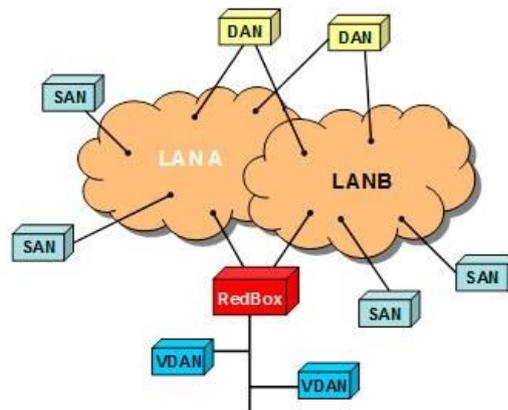


Figura 2.22 Arquitectura de una redbox en 2 redes locales
Fuente (Redeweb)

Hacemos uso de la comunicación Ethernet para establecer estas redundancias y alta disponibilidad.

2.12.1 IEC 62439-3 Redundancy PRP and HSR Protocols

- Duplicación de tramas de datos en la capa de redundancia
- Los nodos de origen envían datos a través de dos puertos simultáneamente
- Cada nodo tiene dos puertos Ethernet con la misma dirección MAC e IP
- Manejo de duplicados realizado en la capa de redundancia en el nodo de destino
- Transparente para la aplicación, los dispositivos no son conscientes de la redundancia subyacente.
- Tiempo de conmutación por error de cero milisegundos en caso de fallas en la red

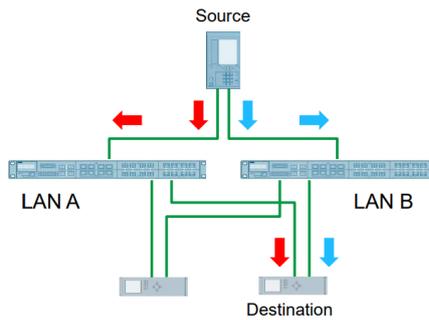


Figura 2.23 PRP-LAN A separada de la LAN B
Fuente (Siemens, 2019)

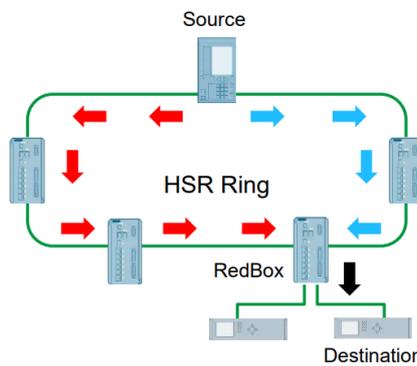


Figura 2.24 HSR – Estructura de Anillo
Fuente (Siemens, 2019)

2.12.2 Evaluación de la latencia de datos del bus de proceso con PRP / HSR Conmutadores Ethernet habilitados

Con la ayuda del siguiente gráfico podremos realizar una comparativa de los tiempos que tardan en comunicar los diferentes protocolos de comunicación industrial dentro de una misma red. Hay que destacar que existen muchos casos y aplicaciones para los cuales se debe priorizar el tráfico de la data para ciertas operaciones contempladas en la red. En el Bus de proceso existen latencias en cada uno de los protocolos y su limitación en cuanto a velocidad como se puede observar en las evaluaciones de las figuras 2.25 y 2.26

Test Scenario	Ingress to Egress (bit/s)	Switch A (µs)			Switch B (µs)		
		SV 134 bytes	GOOSE 311 bytes	GOOSE 546 bytes	SV 134 bytes	GOOSE 311 bytes	GOOSE 546 bytes
1	SAN (100M) to SAN (100M)	18.91 (8.19)	33.11 (8.23)	52.15 (8.47)	15.76 (5.04)	29.88 (5.00)	48.58 (4.90)
	SAN (100M) to SAN (1G)	15.56 (4.87)	29.73 (4.85)	48.53 (4.85)	12.26 (1.54)	26.39 (1.51)	45.23 (1.55)
	SAN (1G) to SAN (100M)	6.56 (5.49)	7.92 (5.44)	9.82 (5.45)	5.40 (4.32)	6.78 (4.29)	8.68 (4.31)
2	SAN (100M) to PRP (100M)	38.23 (27.51)	60.51 (35.63)	98.42 (54.74)	19.07 (8.35)	34.69 (9.81)	55.19 (11.51)
	SAN (100M) to PRP (1G)	17.69 (6.97)	33.23 (8.35)	54.24 (10.56)	15.14 (4.42)	30.67 (5.79)	51.40 (7.72)
	PRP (100M) to SAN (100M)	39.07 (28.35)	62.41 (37.53)	98.72 (55.04)	18.04 (7.32)	33.57 (8.69)	54.41 (10.73)
	PRP (1G) to SAN (100M)	8.90 (7.82)	11.70 (9.21)	15.44 (11.07)	8.29 (7.21)	11.11 (8.62)	14.87 (10.50)
3	SAN (100M) to HSR (100M)	37.04 (26.32)	59.69 (34.81)	97.68 (54.00)	19.20 (8.49)	34.66 (9.78)	55.42 (11.74)
	SAN (100M) to HSR (1G)	17.62 (6.90)	33.63 (8.75)	54.26 (10.58)	15.14 (4.42)	30.63 (5.75)	51.4 (7.72)
	HSR (100M) to SAN (100M)	30.49 (19.77)	60.42 (35.54)	98.07 (54.39)	18.03 (7.31)	33.57 (8.69)	54.42 (10.74)
	HSR (1G) to SAN (100M)	8.63 (7.55)	11.44 (8.95)	15.19 (10.82)	8.25 (7.18)	11.11 (8.63)	14.86 (10.49)
	HSR (100M) to HSR (100M)	6.41	6.34	6.41	11.98	11.98	11.97
	HSR (1G) to HSR (1G)	1.94	1.92	1.93	2.18	2.18	2.18

Figura 2.25 Evaluación de la latencia de datos del bus de proceso
Fuente (Siemens.com)

Topology	Path	Estimation (µs)	Test (µs)	Error
PRP	1	158.47	159.84	0.86%
	2	243.95	245.04	0.45%
HSR	1	131.40	131.70	0.23%
	2	138.58	138.68	0.08%

Table 2. Comparison between test results and estimation based on switching characterisations.

Figura 2.26 Evaluación de la latencia de datos del bus de proceso- II
Fuente (Siemens.com)

2.13 Sincronismo de tiempo en Subestaciones

Es importante contar con una red síncrona en nuestra red de comunicación de subestación, pero también es necesario conocer porqué lo es. Al contar con un sistema de protección y control, lo que se espera es saber en tiempo real y simultanea los eventos ocurridos en red, ya sean fallas o indisponibilidad de algún servicio. Para solventar eventualidades precisas se debe contar con un tiempo síncrono y dispuesto a guiar todo el sistema, y por supuesto que este siempre disponible. (Helgo Müller, 2018)

2.13.1 IEEE 1588 Time Synchronization PTP – Precision Time Protocol

- Protocolo de sincronización de tiempo basado en red con precisión de menos de microsegundos

- Más precisa que NTP para la marca de tiempo de los eventos del sistema
- Los conmutadores Ethernet deben admitir la funcionalidad de reloj transparente
- El sellado de tiempo del hardware es una característica clave para compensar los retrasos de la red y
- retardo de conmutación interno (tiempo de residencia)
- Los relojes transparentes modifican las tramas PTP (Figura 2.27) mientras se propagan por la red

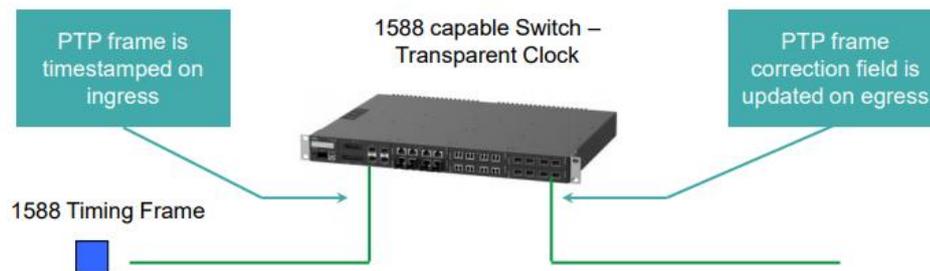


Figura 2.27 PTP - Frame
Fuente: Siemens.com

CAPÍTULO 3

3.1 Normativa IEC 61850

La Normativa es creada con la finalidad de establecer estándares tanto de gestión y comunicación en el sector eléctrico. Se rijan una serie de lineamientos que faciliten la operatividad de las subestaciones eléctricas a lo largo del globo. Se especifica arquitecturas se establecen protocolos comunes y sumándole mecanismos de test de calidad y conformidad. (IEC,2018)

Los beneficios que podríamos obtener al implementar la normativa IEC 61850 es la siguiente:

- Interoperabilidad de entre fabricantes mediante la unificación de protocolos
- Mejora en la escalabilidad de la solución instalada
- Simplificación de la ingeniería
- Racionalización de la información
- Reducción de cableado sustituyéndolo por redes LAN
- Facilidad de puesta en marcha gracias a su fácil configuración
- Reducción en costos que arrojan los mantenimientos.



Figura 3.1 Características de la normativa IEC 61850

Fuente: *International Electrotechnical Commission IEC, IEC 61850-1*

Con la presencia de la normativa IEC 61850 dentro de las subestaciones entendemos que contamos con un grupo de muchas normas y protocolos

que son estándares en el sector eléctrico. En la siguiente tabla 3.1 se podrá entender mejor como está estructurada y sus capítulos:

Parte	Especificación
IEC 61850-1	Introducción y visión general.
IEC 61850-2	Glosario
IEC 61850-3	Requisitos generales
IEC 61850-4	Sistema y gestión de proyectos - Ed.2
IEC 61850-5	Requisitos de comunicaciones para las funciones y modelos de dispositivos.
IEC 61850-6	Configuración de idioma para la comunicación en subestaciones eléctricas relacionadas con IEDs - Ed.2
IEC 61850-7	Estructura de comunicación básica para equipos de subestaciones y alimentadores
IEC 61850-7-1	Principios y modelos - Ed.2
IEC 61850-7-2	Extracto de servicios de comunicaciones de interfaz (ACSI) - Ed.2
IEC 61850-7-3	Clases comunes de datos - Ed.2
IEC 61850-7-4	Compatible clases de nodos lógicos y clases de datos - Ed.2
IEC 61850-7-10	Las redes de comunicación y sistemas de automatización de la red eléctrica - Requisitos de acceso basado en la web y estructurado para los modelos de información IEC 61850 [Aprobado nuevo trabajo]
IEC 61850-8	Cartografía específica de servicios de comunicación (SCSM)
IEC 61850-8-1	Asignaciones a MMS (ISO/IEC9506-1 e ISO / IEC 9506-2) - Ed.2
IEC 61850-9	Cartografía específica de servicios de comunicación (SCSM)
IEC 61850-9-1	Los valores de muestra a lo largo serial punto a unidimensional enlace punto
IEC 61850-9-2	Los valores incluidos en la muestra más, de la norma ISO / IEC 8802-3 - Ed.2
IEC 61850-10 -	Pruebas de conformidad

Tabla 3.1: Partes de la Norma IEC 61850 ed. 2

Fuente: International Electrotechnical Commission IEC, IEC 61850-1)

La Norma IEC 61850-7

Este apartado de la normativa es la estructura fundamental de la comunicación dentro de la subestación eléctrica y de sus equipos y sobre los equipos que realizan la labor de alimentación a la subestación. Gracias a aquello se cuenta con un panorama más claro de las bases y fundamentos básicos en red como se aprecia en la figura 3.2.

La Norma IEC 61850-7 también hace énfasis y se refiere directamente a las comunicaciones que se llevan a cabo entre los IEDs, los cuales deben trabajar en una franja de tiempo específico para los cuales fueron diseñados, ellos velan por las protecciones dentro de las subestaciones.

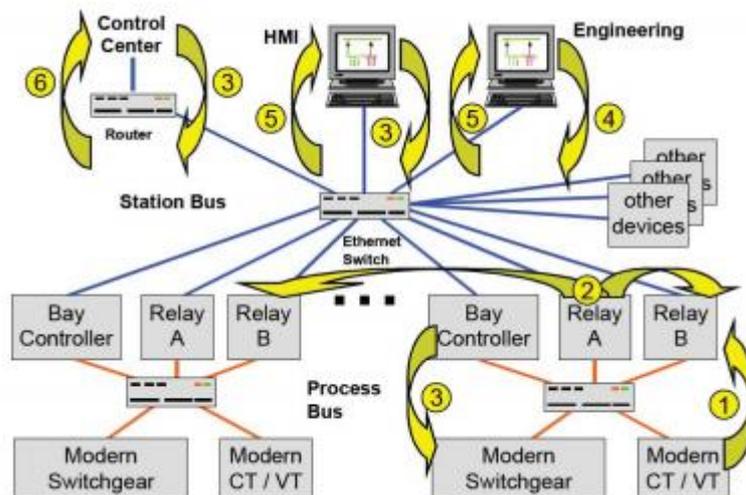


Figura 3.2 Ejemplo de una Topología de una Subestación automatizada según IEC 61850-7-1

Fuente (International Electrotechnical Commission IEC, IEC 61850-7-1)

Norma IEC 60870-5-104

Esta sección de la normativa IEC 61850 es aplicada a los dispositivos electrónicos inteligentes, los comúnmente llamados IEDs. Se analiza los IED's que se encuentran dentro de la Red LAN de la subestación y la red encargada de la transportación de información de tipo TCP / IP. La 104 de la IEC 61850 está basado en su protocolo estandarizado que se basa en el conocido como x.25 que es para poder realizar el empaquetado de los datos en red. Una de las aplicaciones más usada es en la configuración de

una red que esté dentro del servicio de telemetría dentro de una subestación.

Las comunicaciones que ocurren dentro de la subestación eléctrica deben estar basadas en la IEC 61850. Un ejemplo claro es está centra en Corea, donde las comunicaciones entre la subestación y su control de sistema de control de potencia están realizadas con los protocolos IEC61850, IEC 61970 y DNP3. Cuando existen muchos protocolos en red, es necesario ubicar e instalar un conversor de protocolos que permitan llevar una hegemonía en la comunicación y sea interpretable. De no realizar dicha acción, se presentará un punto de ruptura de seguridad en cada extremo. (Hyunguk y Taeshik, 2015).

Dentro de las vulnerabilidades por las amenazas de seguridad presentes en la S/E pueden radicarse en las conexiones de protocolos heterogéneos basados en la IEC 61850. Muchas de las capas de seguridad se las expresan en el siguiente cuadro ilustrado. Figura 3.3 (Espinel Ortega & Carreno Perez, 2020)

Se especifica que pueden existir vulnerabilidades en diferentes niveles o capas de la estructura. La principal puede darse a nivel de Hardware, es decir físico. Otros más comunes dentro de la norma que se hacen presentes son: vulnerabilidad de protocolo, asignación inadecuada de protocolos, debilidad de diseño de red, servicio de seguridad incorrecta (Mapeo), herramienta de configuración insegura y sistema Gateway /Pasarela inseguro.

Los protocolos de comunicación que normalmente encontramos implementados en el sector eléctrico: generación, transmisión o distribución están basados en TCP / IP, DeviceNet, PROFIBUS, MODBUS, ControlNet, DNP3, IEC61850, IEC61870-5-104, IEC61870-5- 101 Serial, IEC61870-5-103 Serial (Cherdantseva et al., 2016).

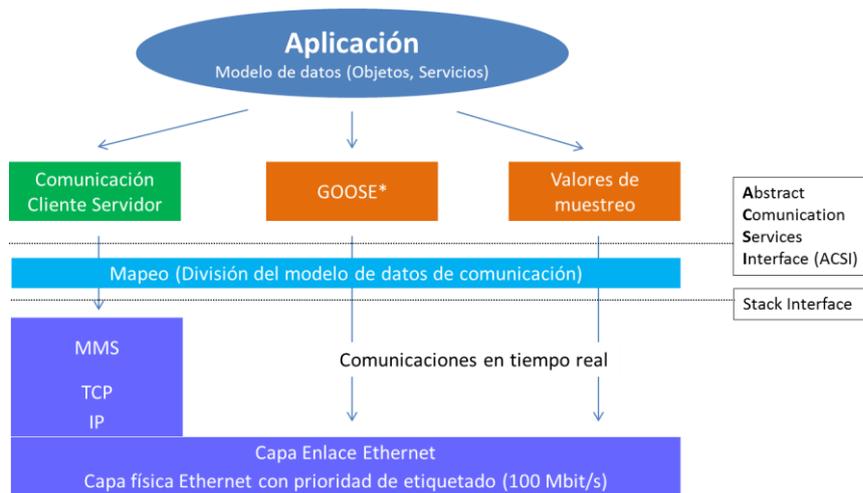
Ciberseguridad en Subestación Eléctrica

Un agregado esencial y muy importante en la actualidad es contar con sistema de seguridad informática dentro de nuestra red de comunicaciones. A pesar de estar basados en campo OT, estos necesitan capas de seguridad en diferentes eventos dentro de la red. Genéricamente podemos analizar un modelo de red descriptivo en una subestación. El estándar de IEC 61850 está dividido en numerosas partes, en las cuales lo que se busca es encontrar o tratar temas como la red de comunicación que la red, cumpla con test de entrega de datos de manera confiable, pero ninguna habla de una ellas tocan el tema de ciberseguridad específicamente. (INCIBE-CERT, 2015)

Se puede entender que la IEC 61850 establece estándares de comunicación y tiempos de respuestas en eventos críticos, pero se ayuda de la IEC 62351, la cual se encarga de los diferentes temas de accesos y de información transferible con ayuda de protocolos confiables. (INCIBE-CERT, 2015). Si queremos reconocer como funciona un modelo con esquema de ciberseguridad hay que tener en cuenta que existen varias capas a las cuales llegar y proteger. Un ejemplo de aquello es identificar cuáles son los diferentes niveles presentes en un esquema de ciberseguridad, como en la figura 3.3. Y entender qué tipo de comunicación se establece dentro de la arquitectura, véase la figura 3.4 la cual alude a la comunicación mediante protocolos y tipos de mensajería.



Figura 3.3 Modelo del funcionamiento desde la perspectiva de ciberseguridad
Fuente: (Espinel Ortega & Carreno Perez, 2020)



*Generic Object Oriented Substation Event

Figura 3.4 Modelo de red descriptivo de una subestación genérica

Fuente: (INCIBE-CERT, 2015)

El estándar 62351 (figura 3.5) establece el estándar de procedimientos y algoritmos para que exista un sistema de seguridad adecuado. Los estándares y protocolos se basan o derivan de la norma IEC 61850 que se utiliza en las subestaciones de servicio eléctrico. Este estándar al igual que las normativa IEC 61850, se clasifica en diferentes partes.

Parte	Título
1	Red de comunicación y sistemas de seguridad – Introducción a los aspectos de seguridad
2	Glosario de términos
3	Perfiles de seguridad incluyendo TCP/IP
4	Perfiles incluyendo MMS
5	Seguridad para IEC 60870-5 y derivados
6	Seguridad para IEC 61850
7	Red y gestión de sistema de modelo de datos (NSM)
8	Control de acceso basado en roles
	Gestión de claves
	Arquitectura de seguridad

Figura 3.5 Documentos que componen IEC 62351

Fuente: (INCIBE-CERT, 2015)

En este caso nos vamos a enfocar en el apartado 6 de la figura 3.5, este hace referencia a la seguridad de las conexiones con la norma IEC 61850.

Este estándar centra sus esfuerzos en puntos de seguridad distintos, de puntos de vista un tanto diferentes. Tiene en cuenta aspectos esenciales o claves como:

- Arquitectura de seguridad
- Controles de acceso
- Uso de certificados
- Etc.

Hay que tener claro que muchas de las operaciones presentes en las subestaciones no se pueden aplicar cifrado o filtros de seguridad en la seguridad ya que se cuenta con tiempos de respuestas muy bajos. Un ejemplo es la mensajería GOOSE o SV cuyos tiempos de respuestas se realizan en áreas críticas como las operaciones de protección y con tiempos menores de 4ms; en estos casos no se recomienda el cifrado de datos. (INCIBE-CERT, 2015)

Implementar seguridad en los protocolos de seguridad en una subestación solo es una parte pequeña, en requisitos de Ciberseguridad debemos tener claro que aspectos como los siguientes juegan un rol muy importante en la seguridad:

- Tener Segmentados los niveles de red en al menos 2 niveles.
- El acceso remoto mediante VPN
- Seguridad de acceso, mediante tokens, etc
- Segmentación de autorizaciones y accesos según listas para usuarios a las diferentes capas de seguridad
- Gestión de parches.
- Uso de dispositivos de frontera que permiten el enrutamiento y aplicativos de seguridad como Firewalls
- Los antivirus que puedan estar presente en red, debemos saber que deben estar presentes desde una red principal o de capa 1

- Otros sistemas ad-hoc.

Cada acceso a una subestación debería ser filtrado y autenticado antes de permitir el ingreso a red, por eso se elaboran esquemas y arquitecturas tipo y así proteger la subestación, un esquema simple e idóneo es el mostrado en la figura 3.6.

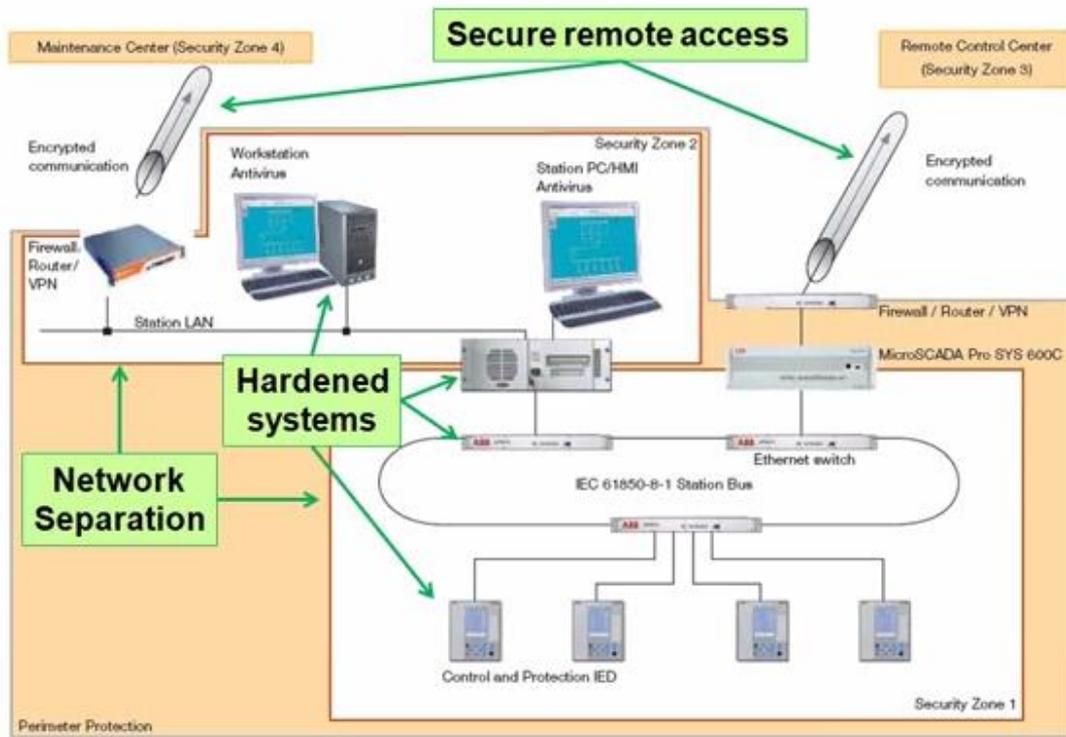


Figura 3.6 Visión Arquitectura segura en subestaciones
Fuente: (Abb.com)

CAPÍTULO 4

4.1 Diseño de red de comunicaciones del área de control y monitoreo en una subestación con arquitectura tipo

Para el desarrollo de este diseño tomaremos como referencia una arquitectura y topología de una subestación eléctrica común, que está orientada a ser o convertirse en una subestación eléctrica digital.

Esta subestación repotenciaría la red de distribución actual para cumplir con la demanda del sector y unidad de negocio a la que está dirigida. Una de las características principales de esta subestación es que también será reductora de 69KV a 13,8KV disponible en paralelo a las ya existentes en la zona.

En la arquitectura que se diseñará encontraremos plasmado el sistema de control y monitoreo de la subestación, estarán presentes equipos de protección, concentradores, reloj, video vigilancia, medidores, Switch de diferentes capas, etc.

Según los estándares analizados en páginas anteriores, se implementará una solución que cumpla la normativa y los tiempos de respuestas dispuestos por la IEC. Por norma necesitaremos:

- Tiempo de respuestas óptimos y oportunos
- Comunicación fluida entre los IEDs

Además de aquello, es importante contar con un sistema altamente disponibles, por lo que recurriremos al uso de protocolos de redundancia normalizados como lo es el PRP.

Los equipos de campo por su facilidad y tecnología optaremos por usar interfaces de fibra, mientras que la conexión entre Router, según su distancia usaremos conexiones cobre mediante toda la red Ethernet.

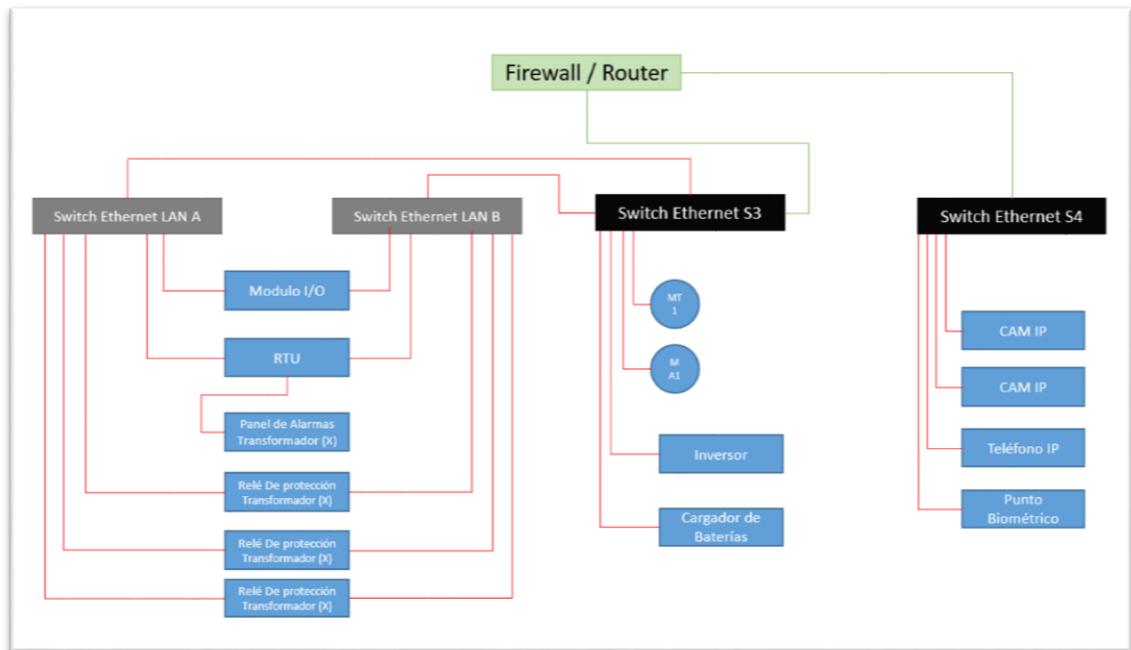


Figura 4.1 Arquitectura tipo red de comunicación Genérica
Fuente: El autor

Consideramos que, para establecer las conexiones entre cada equipo y Switch de capa, se trabajará con los protocolos de comunicación que permita la normativa IEC 61850: Goose, DNP3, etc. Lo esencial es poder establecer comprobaciones sobre los tiempos de respuestas dentro del rango operativo permitido.

Con esta arquitectura podremos determinar si los eventos que ocurrirán en las diferentes secciones permitirán contar con un esquema confiable dentro de la subestación. A continuación, analizaremos cada uno de las partes que componen esta arquitectura tipo propuesta.

4.1.LAN A y LAN B

En esta sección podemos entender que segmentamos dos redes de acceso locales. Disponemos de:

- Módulo de entradas y Salidas
- RTU
- Panel de alarmas al Transformador
- Relés de Protección

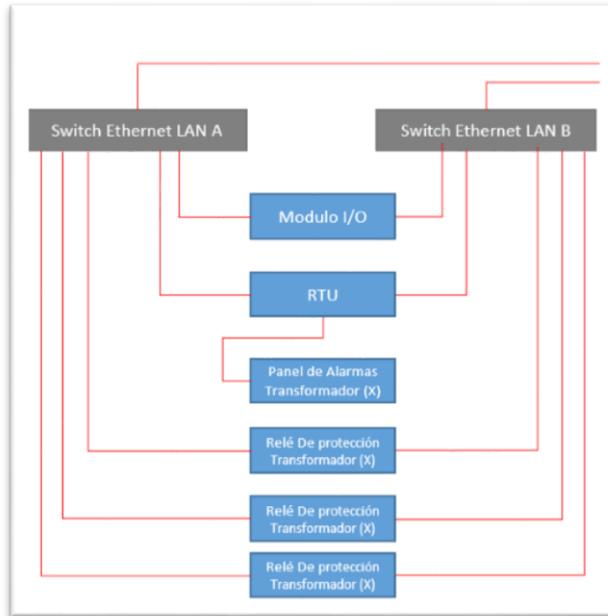


Figura 4.2 LAN A y LAN B Genérica
Fuente: El autor

La importancia de este esquema radica en que contamos con una medida de respaldo en la comunicación, un tanto básica pero lo suficientemente confiable para el diseño. Al establecer la LAN A por un canal paralelo a LAN B, creamos una conexión de tráfico idéntica, la cual monitorizará a casa uno de nuestros dispositivos electrónicos inteligentes (IED) o RTU. Se destaca además que la existe la posibilidad de implementar un reloj Master de sincronización aguas arriba de las LAN si fuera necesario.

Mientras tanto estas redes LAN quedarían a disposición de algún SCADA de alimentación sincrónica a la RTU si existiera, y según las características de los SWITCH de las LAN, podrían transparentar los tiempos de sincronismo o su reloj master. Las Redes LAN A y LAN B nacen desde un Switch de capa superior (L2) Switch Ethernet S3 como se aprecia en el esquema:



Figura 4.3 PRP en LAN A y LAN B
Fuente: El autor

Esto nos brinda la posibilidad de crear una conexión de alta disponibilidad entre LANs. Se debe contar con Hardware de vanguardia para que este tipo de conexiones con protocolos de redundancia se puedan dar.

4.2 Switch Ethernet S3

En esta segmentación de red, podremos reconocerla con un referente a las redes locales citadas anteriormente, la principal diferencia que podremos notar es que los equipos como las conexiones no disponen de una topología de alta disponibilidad entre sus activos.

Los equipos que encontraremos en esta sección juegan otro rol, no menos importante, pero sí con menos exigencia con tiempos de respuestas ante eventos fortuitos.

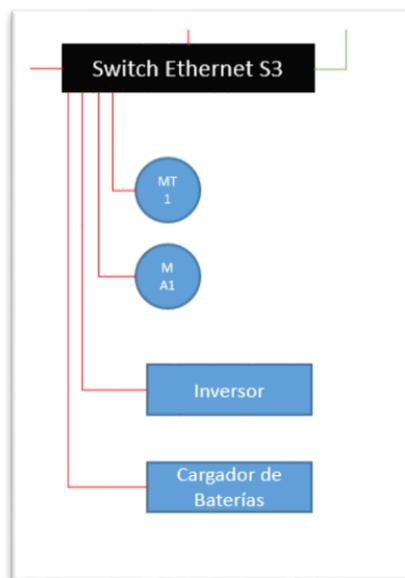


Figura 4.4 Switch S3
Fuente: El autor

Los equipos que más destacamos y comúnmente encontramos son los siguientes (figura 4.4):

- Medidores de Transformadores
- Medidores de Alimentadores
- Inversores de corriente
- Regulador o Cargador de Baterías

Si bien no hablamos de equipos de protecciones o actuadores antes circunstancias críticas; en una subestación se debe llevar un registro, control y monitorización de los estados de los principales equipos como son los Transformadores, Niveles de Carga en nuestras redes DC disponible, etc. Es por eso que la presencia de un esquema limpio y aislado nos ayudaría a tener un control más transparente de las situaciones en red. Para garantizar accesos en las diferentes secciones de red se configura diferentes VLAN y así poder acceder o consultar los estados en la red.

En este Switch de capa 2 (Layer 2) encontraremos que nos anclamos aguas arriba con una interfaz diferente, en este caso, fibra óptica (línea verde) a un equipo llamado Firewall, del cual hablaremos más adelante.

4.3 Switch Ethernet S4

Este es un Switch de capa 2 al mismo nivel que nuestro Switch S3. Está destinado para la interconexión de nuestro sistema de autenticación y seguridad de acceso.

Se encontrarán:

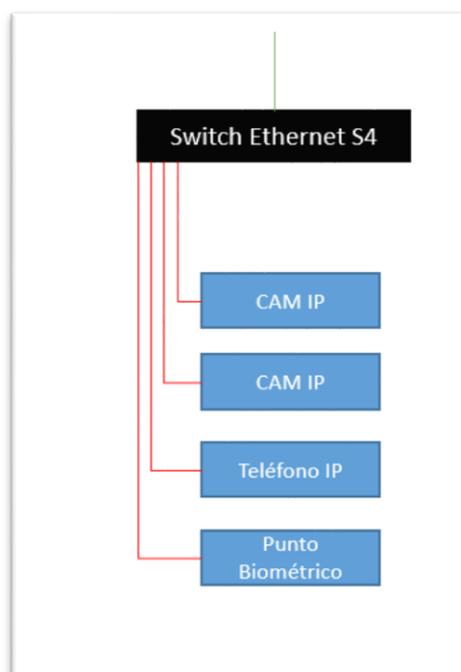


Figura 4.5 Switch S4
Fuente: El autor

- Cámaras IP
- Biométricos para registro y Acceso
- Equipos de Seguridad
- Teléfonos IP

El Switch está implementado de tal manera que se encuentre paralelamente ubicado al Switch S3, ya que comparten nivel. Su interconexión se da entre el Firewall de la arquitectura y sus equipos controlados como se demuestra en la figura siguiente.

4.4 Firewall

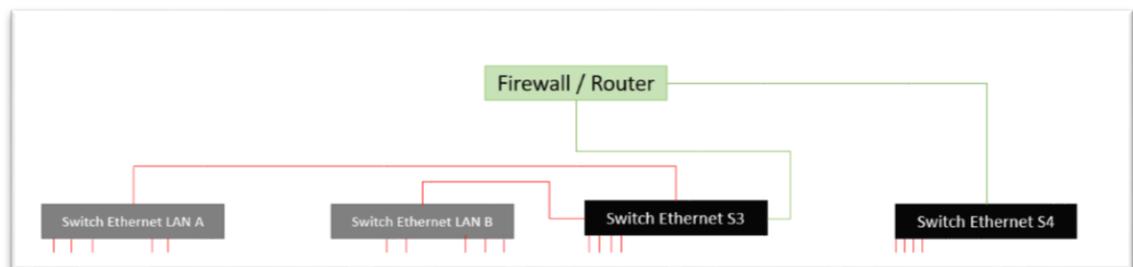


Figura 4.6 Firewall
Fuente: El autor

El Firewall de cabecera y frontera que vemos en la arquitectura es un Cortafuegos que nos permitirá gestionar de manera más ordenada según su nivel o jerarquía y que además nos brindará las seguridades físicas y de software del caso. Según como se llegue a configurar o el fabricante del equipo, podremos obtener un gran abanico de posibilidades para la gestión y control de la red.

Se denota que el Firewall lidera o se encuentra en la capa más alta de la topología de red, de él se derivan los otros Switch y por consiguiente las LAN que se diseñó. Las conexiones se dan en protocolo Ethernet y con interfaces de fibra con sus equipos conectados directamente, la gran ventaja es que es con fibra óptica podemos concentrar un gran tráfico gracias a su ancho de banda disponible, al mismo tiempo que podemos recorrer distancias más lejanas para la operatividad. Esto quiere decir que el Firewall tiene la posibilidad de no encontrarse en campo.

4.5 Creación de VLAN (Red de área local virtual)

Con ayuda de las VLAN podremos segmentar de manera virtual la red como se analizó anteriormente. La gran posibilidad de agregar y destinar un segmento de red nos ayudará de proveer mejor eficacia, seguridad y manejo de tráfico de red, estas configuraciones las podremos realizar en el Hardware directamente según el fabricante.

Un ejemplo de las VLAN posiblemente configuradas en nuestra arquitectura sería la siguiente:

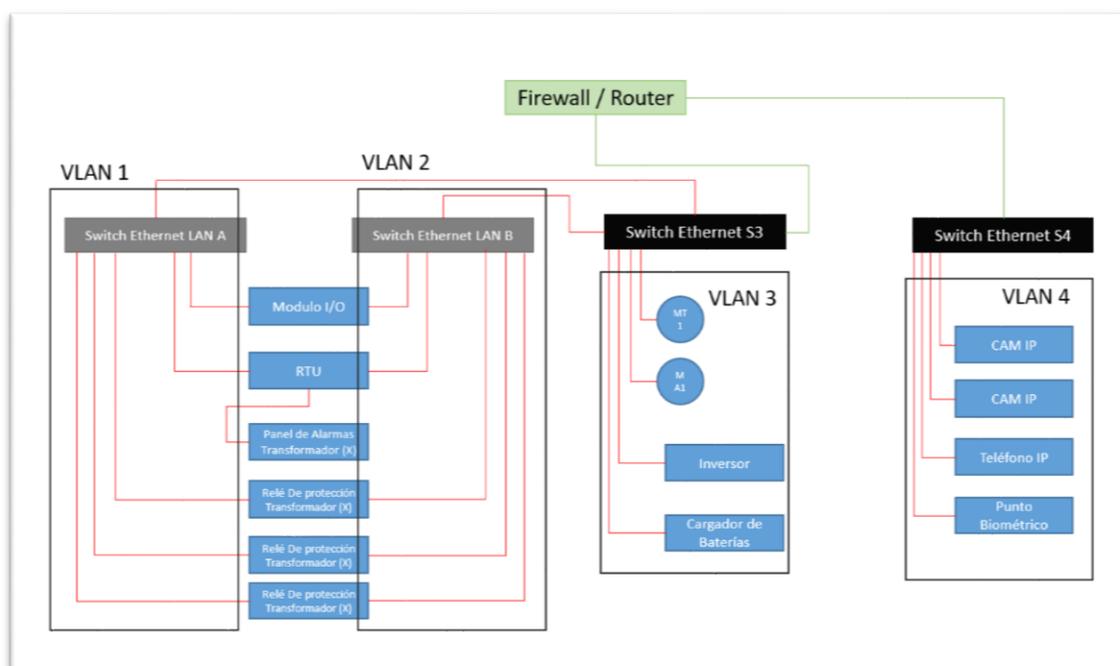


Figura 4.7 VLAN
Fuente: El autor

Donde las VLAN 1 y VLAN2 serían lo que explicamos en la sección de la LAN 1 y LAN 2 físicas. Creamos estas limitaciones y derivados para mayor gestión y registrar accesos de los diferentes usuarios que cuentan con las autorizaciones de operar en estas redes. Por otro lado, la VLAN 3 se dedicará específicamente al monitoreo de los medidores y por último una red VLAN 4 para las seguridades.

La configuración de esta solución se debe tomar en cuenta para que al menos VLAN 1 y 2 puedan acceder a data de la VLAN 3 como requisito indispensable. Éste nos ayudará a contar con información de la VLAN 3 y sus componentes desde la operación de los Switch LAN.

4.6 Reloj y Sincronismo en la Subestación

En nuestro esquema tenemos las opciones de agregar varios modelos de sincronismo de tiempo normalizado. Un caso sería transparentar el reloj de un master obtenido desde SCADA central y contar con un GPS reloj en algún dispositivo a manera de respaldo cuando el reloj del SCADA o WAN falle.

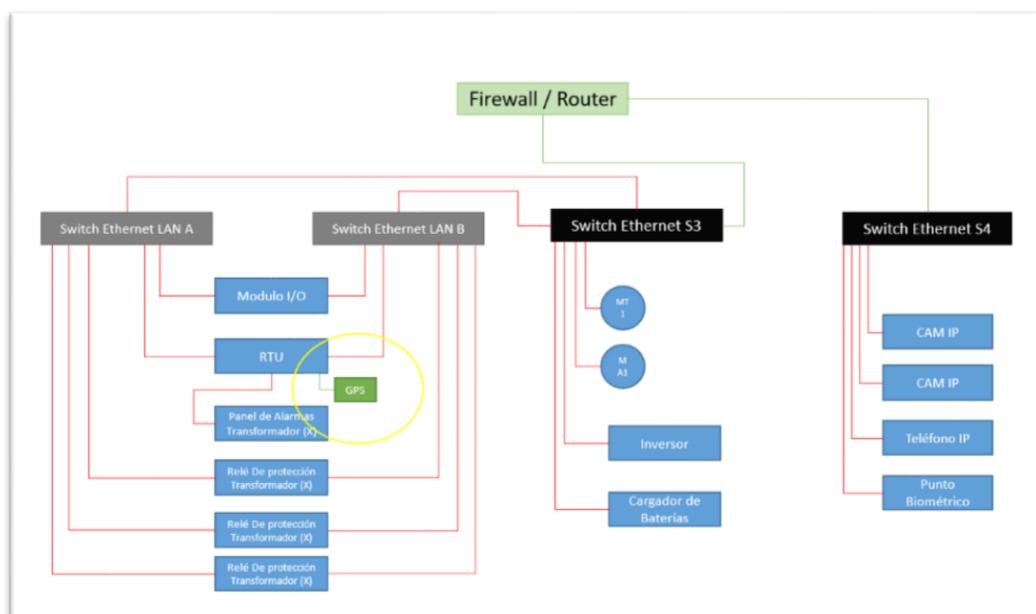


Figura 4.8 Sincronismo en arquitectura Tipo

Fuente: El autor

Agregamos un GPS con antena a nuestra concentradora o RTU el cual obtendrá el reloj master desde el SCADA, y que usaría el GPS a modo de Back up cuando se pierda señal con el Master. Si bien es una opción válida, no es la más recomendable en todos los escenarios.

La otra opción es ajustar con un Switch que cuente con la tecnología necesaria para hacer la función de reloj master en la red, y a partir de él transparentar los tiempos de nuestras segmentaciones de red aguas abajo.

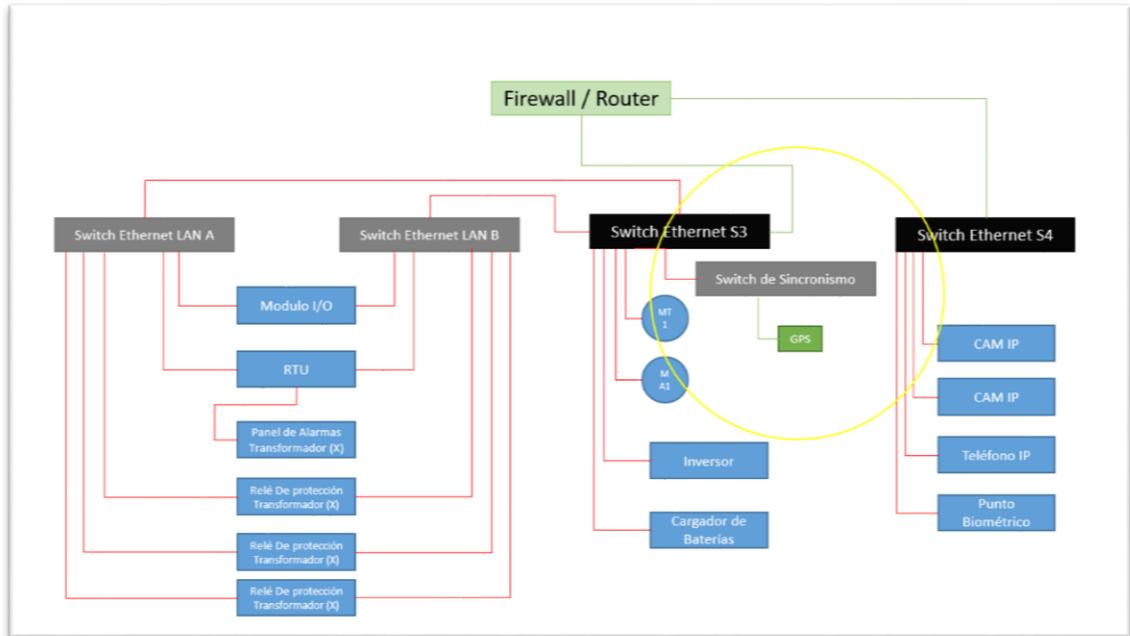


Figura 4.9 Sincronismo en arquitectura Tipo - II
Fuente: El autor

La comunicación en este punto debe consultarse para conocer si los equipos hardware que administrarán el tráfico, conocen o interpretan los protocolos enviados desde el master. Es por eso que para este caso específico adoptaremos equipos de comunicación de la Marca Ruggedcom Siemens.

4.7 Selección de Equipo Hardware Switch y Firewall en nuestra arquitectura

Existen varias consideraciones al momento de seleccionar equipos que vayan a ayudar a sacarle mayor provecho a nuestra red diseñada. Podemos nombrar los más importantes:

- Certificados para trabajo bajo normativa IEC 61850
- Robustez y debidamente aptos para trabajo pesado
- Inmunidad electromagnética
- Protocolos de comunicación compatibles en Ethernet
- Cantidad de puertos
- Habilidad de transparentar relojes

- Fuentes de alimentación
- Protocolos de Redundancia

El modelo propuesto para las redes LAN 1, LAN 2, Switch S3 y Switch S4 es el siguiente:

4.7.1 RUGGEDCOM RST2228

Es un conmutador de rack de capa 2 modulares de campo de 19" con enlaces ascendentes de 10 Gbit / s, compatibilidad con IEEE 1588 y alimentación por Ethernet opcional. El diseño de módulo de carga frontal reemplazable en campo mejora la capacidad de mantenimiento y actualización de los conmutadores, ya que permite cambiar los módulos sin quitar el chasis del bastidor. (RUGGEDCOM RST2228 Family, s. f.)



Figura 4.10: Ruggedcom RST 2228
Fuente Siemens.com

La característica de este equipo nos permitirá la interoperabilidad que tanto buscamos y con sus facilidades modulares crearíamos una solución a medida según la necesidad de la subestación. Además de permitirnos la transparencia de reloj. Suficientes puertos en cobre y fibra con las velocidades requeridas.

	RST2228
Descripción	Conmutador IEEE 1588 modular de campo gestionado de 28 puertos con enlaces ascendentes de 10 Gigabit
Módulos configurables	6
Puertos Gigabit	Hasta 24 (cobre y / o fibra)
Enlaces ascendentes de 10 Gigabit / segundo	4 SFP
Alimentación a través de Ethernet (PoE)	-
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 ° C a + 85 ° C
Fuente de alimentación	24 VCC, 48 VCC o ALTA

Figura 4.11: Características Ruggedcom RST 2228
Fuente Siemens.com

Existen arquitecturas tipo referentes a ese dispositivo que acompañan a comprender su utilización en nuestro esquema.

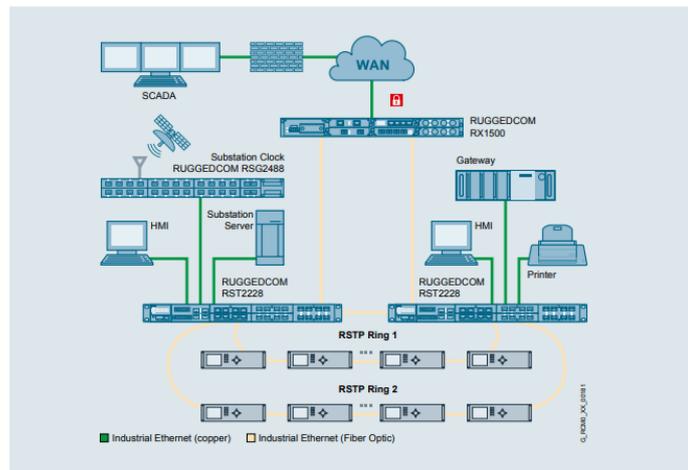


Figura 4.12: Casos de uso Ruggedcom RST 2228
Fuente Brochure oficial Ruggedcom RST 2228

El modelo propuesto para el Firewall de frontera es el siguiente:

4.7.2 RUGGEDCOM RX1500

Es un enrutador multiservicio modular de capa 2 y capa 3 que ofrece opciones de conectividad WAN, serie o Ethernet, lo que los hace ideales para aplicaciones de energía eléctrica, piso de planta, ferrocarril y tráfico. (RUGGEDCOM RX1500 Family, s. f.)



Figura 4.13: Ruggedcom RX 1500
Fuente Siemens.com

Las características del RX 1500 nos permitiría elevar el Switch hasta una capa 3, y con ayuda de sus módulos podemos ajustar la solución a nuestra medida, con la posibilidad de escalar algún aplicativo de ciberseguridad en un futuro si fuera necesario.

	RX1500
Descripción	Enrutador y conmutador Ethernet modular y resistente de montaje en bastidor
Módulos intercambiables en caliente	4
Compatible con módulos APE1808	Hasta 2
Puertos ethernet	Hasta 24
Puertos Gigabit	Hasta 8
Tipos de puertos admitidos	RJ45, ST, SC, LC, SFP, MTRJ, Micro-D, M-12
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 ° C a + 85 ° C
Fuente de alimentación	2 x (24 VCC, 48 VCC o ALTA)

Figura 4.14: Características Ruggedcom RX 1500
Fuente Siemens.com

El modelo propuesto para el Switch de Sincronismo es el siguiente:

4.7.2 RUGGEDCOM RSG2488



Figura 4.15: Ruggedcom RSG 2488
Fuente Siemens.com

El RSG 2488 cuenta con innovador diseño los cuales optimizan los espacios necesarios en rack. Esto ayudará a tener mejores costes de instalación y minimizar los tiempos de implementación y reparación. El RUGGEDCOM RSG2488 eliminar el rutinario mantenimiento y la temporización por cable separada.

Cuenta con el sistema operático ROS y se añade la sincronización perfecta que permite tener en red, la conversión de tiempo, las opciones de fuente de alimentación universal, así como herramientas de seguridad cibernética y de gestión. (RUGGEDCOM RSG2488, s. f.)

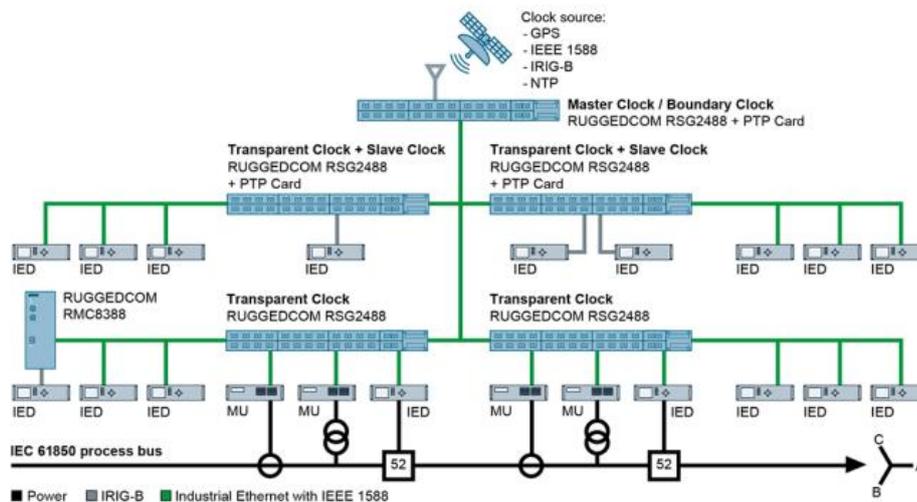


Figura 4.16: Caso de Uso Ruggedcom RSG 2488
Fuente Siemens.com

4.8 Aplicación de protocolos de comunicación

La arquitectura de subestación estará basada en protocolo **Ethernet** en todas sus etapas de control. Usaremos interfaces de fibra óptica desde los IEDs de protección a los Switch y desde los medidores inteligentes. Con ello se cumplirá la normativa y obtendremos respuestas en tiempos prudentes en eventualidades.

Reemplazando nuestra arquitectura propuesta con los equipos Ruggedcom quedaría de la siguiente manera:

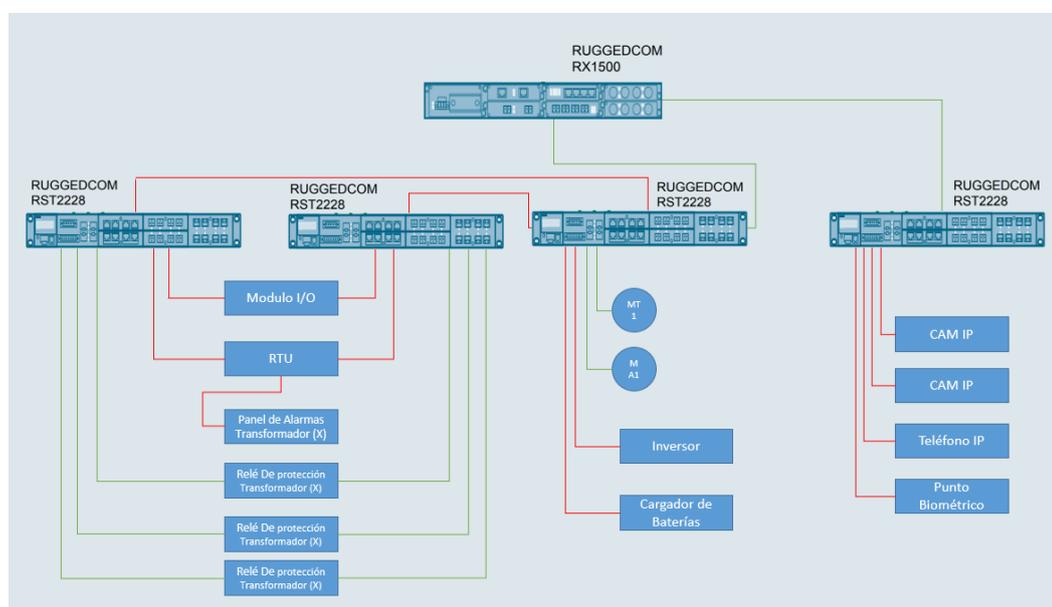


Figura 4.17: Diseño red control con equipos SIEMENS
Fuente Siemens.com

Otra opción válida según la necesidad del sincronismo es la de implementar el equipo anteriormente mencionado RSG 2488 el cual cumple con la posibilidad de ejercer como reloj master dentro de la subestación. Una vez agregado su antena y configurado su jerarquía síncrona, este equipo empieza a actuar como reloj central de la red y todos los equipos interconectados y que cumplan su función de transparentar el reloj, lo harán, Tal es el caso con los Switch de capa dos que están a su nivel.

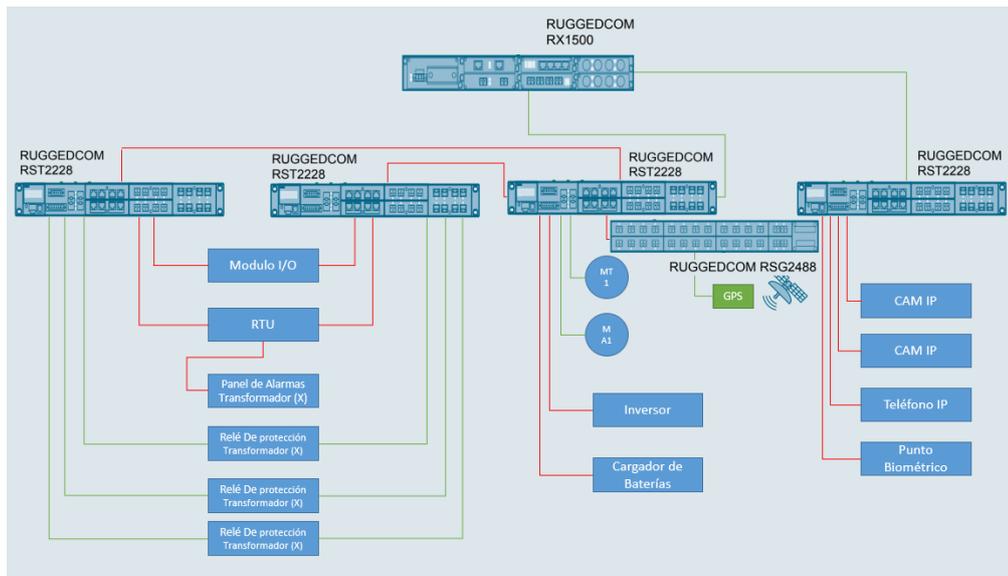


Figura 4.18: Diseño red control con equipos SIEMENS más SINCRONISMO
Fuente Siemens.com

Con esta arquitectura tipo podemos cubrir gran necesidad de las problemáticas en las subestaciones de la región local. Una transición al mundo digital puede brindar muchas facilidades y mejora en rendimiento en la subestación.

Aplicativo de Ciberseguridad en Firewall o Router de cabecera

Como un agregado más a la red de comunicación y con el modularidad de los equipos instalados, es posible cargar aplicativos de ciberseguridad en la red. Ya sean sonorización o directamente en los cortafuegos estos aplicativos nos permitirán tener un control y registro de políticas para el acceso de nuestros operadores o agentes externos.

APE 1808



Figura 4.19: Modulo APE 1808
Fuente Siemens.com

Este dispositivo protege tus redes y sistemas. Modular que admite plataformas de alojamiento de diferentes aplicativos de industria, Es pequeño pero lo suficientemente robusta y certificada para correr soluciones tanto de fabricante como de terceros, según sea la misión crítica.

Specifications	APE1808LNX	APE1808W10
Front Ethernet	Gigabit, RJ45 port	
Backplane Ethernet	Gigabit, internal to RUGGEDCOM RX1500 series chassis	
USB Ports	2 USB 3.0	
Processor	Intel Atom x5-E3940, 4 cores, x86_64, 1.6 GHz (Burst 1.8 GHz), 2 MB L2 cache, Intel VT-x and VT-d	
Display	Intel HD 500 (Display port)	
RAM	8 GB DDR3 with ECC	
Operating system	Debian Linux	Windows 10 IoT Enterprise LTSC 2019
Storage	64 GB eMMC	

Figura 4.20: Especificaciones y Características Modulo APE 1808
Fuente Siemens.com



Figura 4.21: Modulo APE 1808 con RX 1500
Fuente Siemens.com

Un ejemplo de integración sería la siguiente Figura 4.20

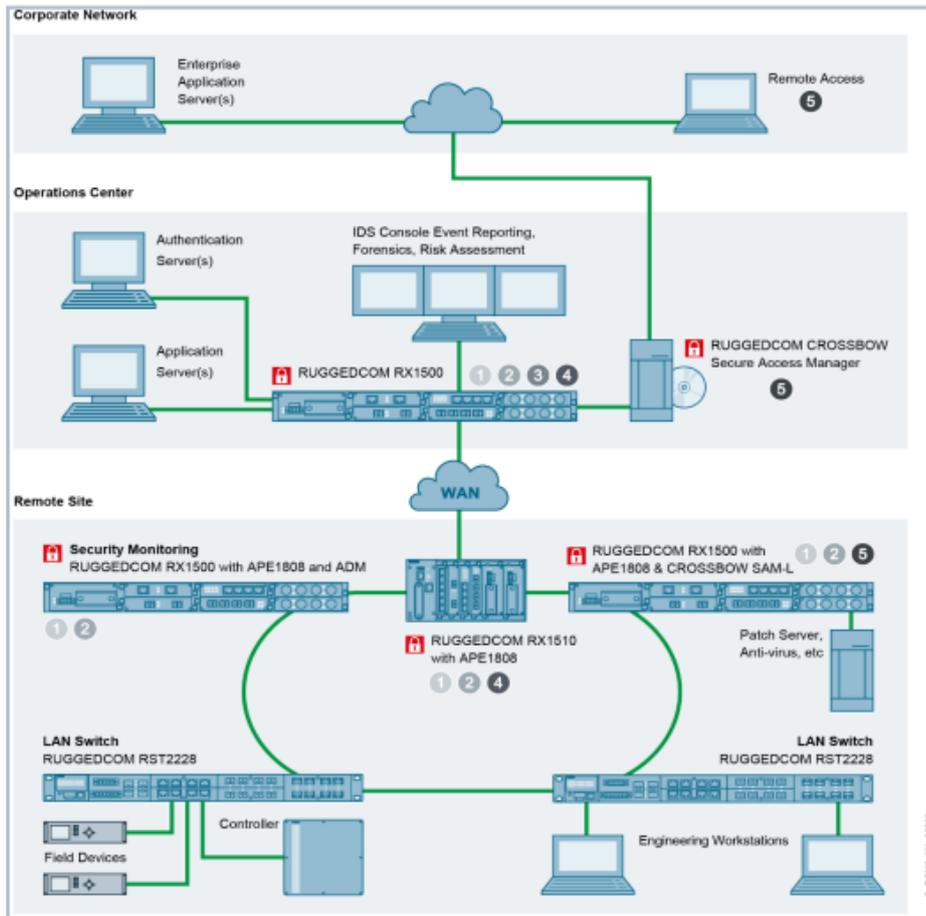


Figura 4.22: Integración Aplicativo Fortigate en APE 1808
Fuente Siemens.com

Conclusiones

En la actualidad es importante contar con un parámetro guía o normas estandarizadas a la hora de realizar implementaciones en el sector eléctrico. Existen muchos fabricantes para la industria eléctrica. La presencia de las diferentes marcas marcaba un entorpecimiento a la hora de realizar una solución, ya que se restringía a ciertos protocolos de comunicación y sistemas de gestión propietarios. Ahora con la normativa IEC 61850 se vela para poder establecer protocolos comunes y abiertos para que la interoperabilidad sea factible y real.

En las subestaciones eléctricas del mundo existe una tendencia muy clara, y es la de la digitalización. Gracias a una subestación digital podremos optimizar recursos y espacios, las instalaciones serán más fáciles y lo más importante al ser basada en la normativa tendremos las ventajas de las comunicaciones estandarizadas. Existen muchos protocolos de comunicación que son aptas para el manejo de la subestación, eso ayuda a que prioricemos el tráfico de data según lo que se necesite en la solución.

La presencia de protocolos de redundancia en la red nos invita a contar con una red cada vez más segura y confiable, ya que estos protocolos también normalizados rescatarán la data si por algún caso fortuito se pierde conexión de un lado de la red. He ahí la importancia de contar con equipo Hardware robusto y con seguridad en la conectividad a nivel de enclavamientos físico y que cuente con inmunidad electromagnética.

Otro tema de gran soporte en red, es el tema de sincronismo de tiempo. Los sincronismos de nuestras redes locales ayudarán y permitirán que los actuadores e IEDs puedan trabajar sincronizados, considerando el menor retraso para eliminar fallas o aislar las mismas. Esto solo es posible si realizamos la configuración previamente estudiada y calculada; acompañada de los equipos que soportan y hayan sido certificados según la normativa IEC 61850 y agregados para el sincronismo de tiempo en la red.

La segmentación de redes y creación de VLAN es un papel importante dentro del diseño de la red de control en la subestación, así como también señalar adecuadamente la topología que nos indicará cual es la cabecera donde obtendremos nuestra WAN y soporte.

La presencia y aplicativos de ciberseguridad es una gran avance y apartado que debe ser tomado en cuenta en la presencia de todas las subestaciones a futuro. Redes OT también pueden sufrir vulneraciones y ataques que puedan poner en duda la operatividad de la planta, y quizás cesar el suministro del servicio por agentes mal intencionados.

Es necesario contar con todas las especificaciones propuestas, desde la selección de equipos hasta poder respetar el tipo de interface utilizada según la locación y necesidad de la subestación y su red.

Recomendaciones

Se recomienda respetar las medidas adoptadas en esta arquitectura tipo, con ellas y con el apoyo de los documentos de la normativa nos permitirán tener lo mejores resultados y gestión dentro de la red.

El sincronismo y la presencia de redes protocolarias de redundancia hará que contemos con la mayor tasa de alta disponibilidad y estaremos siempre comunicados con los equipos esenciales.

Se recomienda que se empiece a migrar desde las RTU y utilizar otro tipo de concentradores que converjan con los equipos electrónicos inteligentes IEDs. Con la presencia de mayores equipos IEDs el aprovechamiento de valores de campo será mejor. Contaremos con mayor velocidades y reacción, ya que se estructura en la topología una red con ancho de banda aceptable.

El uso de fibra óptica y protocolos Ethernet es una de las mejores razones para uso en subestación, este protocolo está presente ya en varios sectores industriales y llega con mayor fuerza al sector eléctrico. Sus ventajas cada vez son mayores a la hora del aprovechamiento del tráfico y gestión de la información. El aplicativo de gestores de ciberseguridad es una recomendación que se debe hacer enfáticamente, el riesgo es alto si no se protege de la manera correcta.

Los equipos Ruggedcom sugeridos para esta arquitectura, han demostrado ser en los últimos años los mejores disponibles, de hecho, en plantas de generación locales y foráneas existen equipos con años de operación sin presentar fallas, además de contar con el respaldo de la multinacional.

Bibliografía

; visitada enero-2013].

Aminaie, P., & Aminaie, P. (2020). *Profinet vs profibus*. Cornell University Library, arXiv.org.

Bayas, G., & Andrés, K. (2017). *Implementación de mensajería Goose bajo la norma IEC61850 en relés SEL para esquemas de protección de barra*. 164.

C. Alcaraz, G. Fernández, R. Román, A. Balastegui, and J. López, "Gestión Segura de Redes SCADA," no. Universidad de Málaga, 2006

C. Mason, *The art and science of protective relaying*. General Electric series, Wiley, 1956

Carreño, J. (2012). Criterios y consideraciones metodológicas y tecnológicas a tener en cuenta en el diseño e implementación del protocolo IEC 61850 en la automatización y protección de sistemas de potencia eléctrica. *Redes de Ingeniería*, 3(1), 23-40.

Cherdantseva, Y., Burnap, P., Blyth, A., Eden, P., Jones, K., Souls by, H., & Stoddart, K. (2016). A review of cyber security risk assessment methods for SCADA systems. *Comput.Secur.*, 56, 1-27.

CONELEC, "Regulación No. 005/08," tech. rep., CONELEC, Quito-Ecuador, 2008.

Danfoss. (2016). *Guia Rapida VLT Micro Drive FC51*. Recuperado el 20 de Mayo de 2018, de http://www.ramonrusso.com.ar/documentos/Guia_Rapida_VLT_Micro_Drive_FC51.pdf

E. W. Deon Reynders, *Practical TCP/IP and Ethernet Networking*. London, England: Elsevier, first ed., 2003.

E. W. Gordon Clarke and D. Reynders, *Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems*. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, MA 01803: The Institution of Engineering and Technology, London United Kingdom, first ed., 2004

- E.E.Q S.A., "Proyecto nuevo sistema SCADA para la Empresa Eléctrica Quito S.A.," tech. rep., 2011
- EHOUSE, "Automatización de edificios de trabajo en RS485." <http://es.ehose.pro/?home-atomaton-management-a-RS485>, 3 de Septiembre del 2008. [En línea; visitada 14-Febrero-2013]
- Empresa Eléctrica Quito, "Fibra Óptica para la Empresa Eléctrica Quito S.A.," Feb. 2010
- Espinel Ortega, A., & Carreno Perez, J. (2020). *Identificación de activos y ciberactivos críticos en sistemas de transmisión de energía eléctrica*. 65(24), 27-38.
- Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, "Experiencia piloto IEC 61850 con IEDs multimarca 1° etapa," Décimo tercer encuentro Regional Iberoamericano de Cigré, p. 8, May 2009.
- Flavio Morales, Haro, G., Escalona, M., & Toasa, R. (2020). Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos Ethernet y Modbus RTU en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas. 2020, 639-649.
- FuturEnergy. (2014). *SUBESTACIONES DIGITALES, LAS SUBESTACIONES DE LAS REDES INTELIGENTES*. 3.
- G. Gaikwad, "IED (Intelligent Electronic Device) used in Supervisory Control and Data Acquisition System." <http://.scada-ed.bogspot.com/2012/07/ed-integent-eectronc-dece-sed.htm>, 2012. [En línea; visitada 17-Sep-2012].
- Geocities, "Cable de Par Trenzado." <http://.geoctes.s/ebdeacomptacon/cabepartrenzado.htm>, 2006. [En línea; visitada 19-Enero-2013].
- Grupo de investigación XUÉ Semillero de investigación Barión. (2020). *Caracterización de las Subestaciones Eléctricas de Transmisión y Distribución que Hagan Parte del SIN, del STR o del SDL Dentro de la Región Central* (p. 138). UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/23828/Guti%C3%A9rrezSalazarLuisAntonio2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- H. Mendivelso, "Protecciones Relés," tech. rep., UNAM, México D.F., 2007
- IEC. (2010). *IEC-Smartgrid Standardization Roadmap*. 1-136.

- INCIBE-CERT. (2015). *La ciberseguridad en las subestaciones y el estándar IEC 61850*. INCIBE-CERT. <https://www.incibe-cert.es/blog/ciberseguridad-subestaciones-estandar-iec61850>
- Instituto de Investigación de Potencia Eléctrica EPRI, "Utility Communications Architecture (UCA (TM)) Version 2.0." <http://epr.com/abstracts/Pages/ProdctAbstract.asp?Prodctd=TP-114398>, 1999
- J. D. McDonald, *Electric power substations engineering*. Washington, D.C.: The Electric Power Engineering Handbook, first ed., 2003
- J. R. Islas, "Implementación de protocolo de comunicación basado en DNP3 para enlazar sistemas de control supervisorio vía inalámbrica con controladores industriales (PLC)," 2008
- Kruger, C., Behardien, S., & Retonda-Modiña, J. (2013). *A Detailed Analysis of the GOOSE Message Structure in an IEC 61850 Standard-Based Substation Automation System*. <https://www21.ucsg.edu.ec:2062/docview/2518386705/335CA153CECB4680PQ/1?accountid=38660>
- L. M. Funes, et al, "Experiencia piloto realizada con IEDs IEC 61850 en TRANSENER S.A. – TRANSBA S.A.," Décimo tercer encuentro Regional Iberoamericano de Cigré, p. 8, May 2009
- La Fibra Óptica, "Clasificación básica de la Fibra Óptica.",2012.
- Mason, C. R. (1956). *The Art and science of protective relaying*. Wiley [u.a.].
- Oliva Alonso, N. (coord.). (2014). *Redes de comunicaciones industriales*. <https://lectura.unebook.es/viewer/9788436265491>
- P. Gil, et al, *Redes y Trasmisión de Datos*. Alicante, España: Compobell S.L., primera ed., 2010.
- R. B. James Edwards, *Networking Self-Teaching Guide OSI, TCP/IP, LANs, MANs, WANs, Implementation, Management, and Maintenance*. Indianapolis, Indiana, United States of America: Wiley Publishing, Inc., first ed., 2009.
- R. Capella, "Protecciones Eléctricas en Media Tensión," Biblioteca Técnica, Publicación Técnica de Schneider, vol. 1, p. 197, 2003.
- R. Penin, *Sistemas SCADA*. Barcelona - España: Marcombo Ediciones Técnicas, segunda ed., 2007

- R. Vignoni, "Sistemas de automatización de subestaciones con IEDs IEC 61850: Comunicaciones, topologías," Décimo tercer encuentro Regional Iberoamericano de Cigré, p. 8, May 2009
- RUGGEDCOM RST2228 family. (s. f.). Siemens.Com Global Website. Recuperado 22 de agosto de 2021, de <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/rugged-communications/ruggedcom-portfolio/ethernet-layer2-switches/rack-switches/rst2228-p.html>
- RUGGEDCOM RX1500 family. (s. f.). Siemens.Com Global Website. Recuperado 22 de agosto de 2021, de <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/rugged-communications/ruggedcom-portfolio/ethernet-layer3-switches-routers/rx1500-family.html>
- Santander, M. (2017). Entendiendo los sistemas SCADA. *Boletín Ciberespacio*, 1(1), 32-39.
- Schneider Electric. (2014). *Interruptores automáticos iC60N*. Recuperado el 2 de Mayo de 2018, de https://www.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/290000/FA290189/es_ES/Poder%20de%20corte%20de%20los%20iC60%20para%20CC.pdf
- Siemens. (2009). *Controlador programable S7-1200, Manual de sistema*. Recuperado el 10 de Mayo de 2018, de <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.Pdf>
- Strauss, Practical Electrical Network Automation and Communication Systems. Practical professional books from Elsevier, Elsevier Science, 2003.
- Substation Automation, ABB, "DNP3 Communication Protocol Manual." [http://05.abb.com/goba/scot/scot354.nsf/ertydspay/5b0552a1511e3d9ac125783a004549d7/\\$fe/1mrk511241-en_-_en_commncaton_protoco_manadnp650_seresc.pdf](http://05.abb.com/goba/scot/scot354.nsf/ertydspay/5b0552a1511e3d9ac125783a004549d7/$fe/1mrk511241-en_-_en_commncaton_protoco_manadnp650_seresc.pdf), 2011. [En línea
- Textos Científicos, "Tipos de Fibras Ópticas," July 2012.

Universidad de las Américas, Puebla México, “Estándar RS232.” http://catarna.dap.m/_d_a/taes/documentos/em/paz_oj/apendceB.pdf, 2008. [En línea; visitada 26-October-2012].

Universidad Pontificia Comillas, “Diseño y Optimización de una Arquitectura,” Nov. 2012

Université libre de Bruxelles, “Network Topologies.” http://physnfo.b.ac.be/ct_corseare/netorks/pt2_1.htm, 2008. [En línea; visitada 01-March-2013].



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **JONATHAN DARIO BUSTAMANTE SALAZAR** con **C.C: # 0919526590** autor/a del trabajo de titulación: **Diseño de la red de comunicación a nivel de control y monitoreo en una subestación eléctrica según normativa IEC 61850** previo a la obtención del título de **(INGENIERA EN ELÉCTRICO MECÁNICA)** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

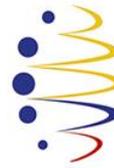
2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 20 de septiembre del 2021

Dario Bustamante S.

JONATHAN DARIO BUSTAMANTE SALAZAR

C.C: 0919526590



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño de la red de comunicación a nivel de control y monitoreo en una subestación eléctrica según normativa IEC 61850		
AUTOR(ES)	Bustamante Salazar, Jonathan Dario		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Heras Sanchez, Miguel Armando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánico		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de septiembre del 2021	No. DE PÁGINAS:	74
ÁREAS TEMÁTICAS:	Comunicación Industrial		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Media tensión, subestación eléctrica, Switch, sincronismo, ciberseguridad.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo de titulación tiene como objetivo poder establecer el modelo y diseño de comunicaciones industriales acertado en la implementación de una subestación eléctrica digital. Se plantea dejar en claro cuál es la forma y tipo de protocolos de comunicación más convenientes junto con sus directrices para su instalación. La disponibilidad de los datos juega el rol más importante en el momento de una falla en una subestación, es por eso que se debe contar con arquitecturas de alta disponibilidad con protocolos normalizados de redundancia. Estas arquitecturas pueden estar presentes en cualquier tipo de subestación, ya sea de alta o media tensión; y también indiferente la aplicación para la que está aplicada. Este modelo cuenta con ejemplos de arquitecturas utilizadas en sector industrial común, como también en industria pesada. Se analizará las diferentes vías de aplicativos para la adopción de aplicativos de ciberseguridad en una subestación. Los tipos de registros e inspección también serán abordados. El tipo de metodología aplicada para este trabajo será la documental y analítica, ya que realizaremos una comparación con los diferentes tipos de protocolos de comunicación y determinaremos cuál de todos es el más idóneo para la aplicación específica. Las conclusiones estarán basadas en las diferentes eventualidades que se presenten en la subestación digital y las mejoras que evidencien la factibilidad de la migración digital.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 593-958981855	E-mail: dariobustamantesalazar@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: 593-967608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			