



**Arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y  
disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica**

Esguerra Rangel Maryury Yusmary

Gaitán Vargas Heilyn

Girado Gelvis Daniel Javier

Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar título de  
Especialista en Gerencia de Proyectos

Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Programa de Especialización en Gerencias en Proyectos

Cúcuta

2024

**Arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica**

Esguerra Rangel Maryury Yusmary

Gaitán Vargas Heilyn

Girado Gelvis Daniel Javier

Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar título de  
Especialista en Gerencia de Proyectos

Director de proyecto de grado:  
Dr. Enmanuel Omar Nava Sarmiento

Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Programa de Especialización en Gerencias en Proyectos

Cúcuta

2024

## **Agradecimientos**

*“Agradezco primeramente a Dios por permitirme estar y ser parte de este proyecto. A mis dos compañeros Heilyn y Daniel, por su constante apoyo y colaboración. También al profesor Enmanuel por su disposición y guía con el proyecto, y a los demás profesores por su enseñanza a lo largo del proceso que hicieron posible la realización de este trabajo”.*

***Maryury Yusmary Esguerra Rangel***

*Agradezco a Dios y a la vida, por cada paso que he dado, porque es un escalón más que daré a lo largo de mi vida profesional y personal. Agradezco a mi madre que me ha enseñado los primeros principios de la vida y a que puedo ver la vida como yo prefiera...*

***Heilyn Gaitán Vargas***

*Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a quienes han sido fundamentales en la realización de este proyecto de grado.*

*A mi esposa, por su amor, paciencia y apoyo incondicional, que me han dado la fuerza para seguir adelante. A mis padres, por ser mi pilar y fuente de inspiración, y por sus invaluable enseñanzas y sacrificios. A mis compañeros de estudio, por su camaradería, colaboración y apoyo constante. Este logro no habría sido posible sin vosotros. Finalmente, gracias a mis profesores y mentores por su guía y conocimientos, que han sido esenciales en este proceso.*

***Daniel Javier Girado Gelvis***

## **Dedicatoria**

*Dedico este proyecto con todo mi corazón a Dios, por ser mi guía y fuente de fortaleza en todo momento. A mis queridos padres, por su amor incondicional y su apoyo inquebrantable, quienes siempre han creído en mí y me han inspirado a alcanzar mis metas. A mi hija Mía Guadalupe, por ser mi mayor motivación y la luz de mi vida. Y a todos mis amigos y compañeros en especial a Heilyn y Daniel, quienes han sido una fuente constante de apoyo y motivación a lo largo de este proyecto, mil gracias.*

**Maryury Yusmary Esguerra Rangel**

*Se lo dedico a la mejor versión de mí... y mis personas favoritas en el mundo, mi mamá, mi hermana, mis sobrinos y mi querido John.*

**Heilyn Gaitán Vargas**

*Dedico este logro a mi esposa, cuyos sacrificios y apoyo incondicional me han permitido llegar hasta aquí; a mis padres, por inculcarme los valores del esfuerzo y la perseverancia; a mi familia, por su amor y respaldo constante; y a mis amigos, por su compañerismo y motivación en cada paso de este camino. ¡Gracias a todos por ser mi fuente de inspiración!*

**Daniel Javier Girado Gelvis**

## Resumen

Este proyecto se realizó debido al conocimiento de la importancia de las subestaciones eléctricas para la distribución de energía, y que cualquier fallo en los dispositivos electrónicos puede provocar interrupciones significativas en el suministro de energía.

Para abordar este desafío, se propone una arquitectura redundante que permita la operación continua y sin fallos de los dispositivos electrónicos inteligentes, incluso en caso de fallos individuales. La arquitectura incluye la implementación de sistemas de respaldo, técnicas de monitoreo en tiempo real y protocolos de recuperación automática. El proyecto también considerará aspectos técnicos, asegurando que la solución propuesta sea práctica y sostenible a largo plazo.

Con esta arquitectura redundante, se espera mejorar significativamente la confiabilidad y disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en la subestación eléctrica de CENS, contribuyendo a un suministro de energía más estable y seguro para la región.

**Palabras clave:** Arquitectura redundante; dispositivos electrónicos inteligentes; subestación eléctrica; redes resilientes; alta disponibilidad; supervisión y control.

## Abstract

This project was undertaken due to the understanding of the importance of electrical substations for energy distribution, and that any failure in electronic devices can cause significant disruptions in the power supply.

To address this challenge, a redundant architecture is proposed to allow continuous and fault-free operation of intelligent electronic devices, even in the event of individual failures. The architecture includes the implementation of backup systems, real-time monitoring techniques, and automatic recovery protocols. The project will also consider technical aspects, ensuring that the proposed solution is practical and sustainable in the long term.

With this redundant architecture, it is expected to significantly improve the reliability and availability of intelligent electronic devices in the CENS electrical substation, contributing to a more stable and secure energy supply for the region.

**Keywords:** Redundant architecture; Intelligent Electronic Device; electrical substation; resilient networks; high availability; monitoring and control.

## Tabla de contenido

Resumen .....	5
Abstract .....	6
Tabla de contenido .....	7
Lista de tablas .....	11
Introducción.....	12
Capítulo 1. Planteamiento del Problema .....	13
Título.....	13
Planteamiento del Problema .....	13
Delimitación .....	14
Pregunta de Investigación.....	14
Justificación .....	14
Objetivos .....	16
Objetivo General .....	16
Objetivos Específicos .....	16
Elemento Innovador.....	16
Capítulo 2. Fundamentación Teórica .....	18
Antecedentes .....	18
Antecedentes internacionales .....	18
Antecedentes nacionales.....	21
Antecedentes locales .....	24
Marco Teórico .....	26

Marco Legal.....	37
IEC 61850 del 2024.....	37
CREG015 de 2018.....	37
IEC 62439-3: 2008 .....	37
CREG038 de 2014.....	38
CREG024 de 2005.....	38
CNO 1502 de 2021 .....	38
Cibersecurity Framework NIST del 2014 .....	38
Nerc CIP del 2006 .....	38
Postura Concluyente .....	38
Capítulo 3. Marco Metodológico .....	40
Paradigma de la investigación .....	40
Enfoque metodológico.....	40
Alcance .....	41
Diseño de la investigación .....	41
Población y Muestra .....	42
Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	43
Técnicas de recolección de datos.....	43
Construcción del instrumento.....	43
Técnicas de análisis y procesamiento de datos .....	46
Capítulo 4. Resultados .....	47
Determinación del equipamiento tecnológico de la subestación eléctrica de Sevilla de CENS .....	53
Red WAN de subestación.....	53

Implementación del Router .....	54
Firewall Perimetral subestación .....	55
Red LAN Redundante .....	56
Diseño el modelo de arquitectura redundante subestación eléctrica de Sevilla de CENS.....	58
Capítulo 5. Recomendaciones .....	63
Conclusiones .....	64
Referencias .....	65
Anexos.....	69

## Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Modelo de protocolo de redundancia paralela .....	28
Ilustración 2. Modelo de protocolo de redundancia paralela .....	29
Ilustración 3. Esquema general de subestación Redundante hasta centro de control...	30
Ilustración 4. Niveles de control.....	30
Ilustración 5. Ficha de observación de levantamiento arquitectónico.....	45
Ilustración 6. Ficha de observación de inventario .....	45
Ilustración 7. Diagrama de arquitectura existente .....	50
Ilustración 8. Tabla de convenciones diagrama de arquitectura existente .....	52
Ilustración 9. Arquitectura WAN .....	54
Ilustración 10. Firewall perimetral .....	55
Ilustración 11. Diseño de arquitectura redundante .....	59
Ilustración 12. Tabla de convenciones de nuevo diagrama .....	62

### Lista de tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	39
Tabla 2. Inventario inicial.....	52

## Introducción

En el contexto de las subestaciones eléctricas, la confiabilidad y la disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes son fundamentales para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. Estos dispositivos, encargados de supervisar y controlar el flujo de energía, deben operar sin interrupciones para prevenir fallos que puedan causar pérdidas significativas tanto en términos económicos como de seguridad.

El presente trabajo aborda el desarrollo de una arquitectura redundante destinada a mejorar la confiabilidad y la disponibilidad de estos dispositivos en una subestación eléctrica. Inicialmente, se realizó un diagnóstico exhaustivo de la arquitectura existente para identificar las áreas críticas y los posibles puntos de fallo. Posteriormente, se analizó y determinó el equipamiento necesario para implementar la redundancia, asegurando que todos los componentes clave tengan un respaldo que permita su operación continua en caso de fallos.

Finalmente, se procedió al diseño de la nueva arquitectura redundante, representada mediante un diagrama detallado que ilustra la interconexión y el funcionamiento de los dispositivos redundantes. Este enfoque no solo mejora la resiliencia del sistema ante fallos individuales, sino que también proporciona una mayor flexibilidad y capacidad de respuesta ante situaciones imprevistas, consolidando así la seguridad y eficiencia operativa de la subestación eléctrica.

## Capítulo 1. Planteamiento del Problema

### Título

Arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y la disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica.

### Planteamiento del Problema

El servicio de energía eléctrica hace parte de la infraestructura crítica de un país, puesto que comprende los activos, sistemas e instalaciones de vital importancia para desarrollo económico y social de las naciones (International Business Machines [IBM], s.f). La energía eléctrica es crucial para el funcionamiento de los sectores industriales, gubernamentales, residenciales, entre otros. Por eso el gobierno imparte normatividad regulatoria a través del ministerio de minas y energía para asegurar la continuidad y calidad del servicio establecido mediante criterios definidos y estándares de calidad para su misión, esto, a partir de la Constitución de 1991 donde se admitió la libre competencia de cualquier agente interesado en prestar los servicios, como principio clave para lograr la eficiencia en los servicios públicos (Comisión de regulación de energía y gas [CREG], 2013).

Por otra parte, según cifras de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME,2024) se estima que en Colombia “para el período 2023 a 2037, el crecimiento mensual promedio para el escenario medio de demanda de energía eléctrica por área será de: 4,09% - Caribe, 1,40% - Oriente, 1,30% - Suroccidente; 2,12% - Antioquia, y 2,86% - Nordeste”. Por eso, ante la creciente demanda de energía eléctrica, las empresas electrificadoras deben invertir en la modernización y expansión de su infraestructura eléctrica; no obstante, estas demandas de servicio deben ir de la mano con la innovación tecnológica, que mejora los procesos de automatización industrial, ya que el envejecimiento de las

infraestructuras, la obsolescencia y aumento en la demanda del consumo eléctrico, ralentizan la eficiencia y conllevan a generar el problema que se abarca en este proyecto, es decir el las fallas en el sistema.

En este sentido, todo lo expuesto se consolida en tres consecuencias fundamentales: las pérdidas económicas para la electrificadora al dejar de suministrar la energía y para los usuarios cuya producción se ve interrumpida; deficiencia en la seguridad pública al tener fallas eléctricas en sectores críticos como salud y transporte e interrupción en la vida cotidiana de los usuarios. Por tal motivo, en este proyecto se propone un modelo de solución tecnológico que logre mitigar los riesgos que generen desconfianza en los usuarios, de modo que el aporte se vea reflejado en el día a día de las personas.

### **Delimitación**

El proyecto se tiene estimado realizar en un lapso aproximado de 4 meses de acuerdo con la ejecución del cronograma de actividades para el logro de los objetivos de investigación. En cuanto al lugar delimitado de impacto del presente proyecto es la subestación eléctrica de la empresa Centrales eléctricas del Norte de Santander de la ciudad de Cúcuta ubicada en Sevilla.

### **Pregunta de Investigación**

¿Cómo sería el modelo de arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y la disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica?

### **Justificación**

El sector energético es un pilar en el sostenimiento de la economía y desarrollo social de un país, en Colombia es regulado por el Estado mediante políticas públicas, regulación y

planeación con el objetivo de garantizar la confiabilidad del servicio y de ofrecer mejores condiciones a todos los usuarios del territorio nacional (Ministerio de energía, s.f) y todas estas recaen en las empresas prestadoras del servicio de energía.

Por eso, para aumentar la confiabilidad del servicio de energía eléctrica, se propone una solución tecnológica que consiste en implementar arquitecturas redundantes y robustas en cualquier subestación eléctrica a través de una estrategia que busca asegurar la conexión de los dispositivos electrónicos inteligentes (IED) generando confiabilidad, disponibilidad y capacidad de reacción inmediata para asegurar la continuidad del servicio del operador en su área de influencia, permitiéndole cumplir con los indicadores de calidad regulatorios y, por tanto, generando un aumento en remuneraciones económicas, sostenibilidad financiera e imagen reputacional con los usuarios y competencia.

Para ello, se cuenta con los avances tecnológicos, que se pueden implementar en los sistemas de control industrial (ICS por sus siglas en inglés), soluciones redundantes que garanticen arquitecturas robustas, resilientes y de alta disponibilidad. Con la implementación de protocolos RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol), PRP (Parallel Redundancy Protocol), HSR (Highly-available Seamless Redundancy) implementadas bajo topologías de red en estrella, se garantiza cero pérdidas de paquetes en la conectividad de los ciberactivos de comunicación, automatización, sincronización, asegurando los procesos de nivel 1, 2 y 3 en la pirámide de la automatización, para la puesta en marcha.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Proponer un modelo de arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y la disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica.

### ***Objetivos Específicos***

Diagnosticar el estado actual del sistema de supervisión y control de una subestación eléctrica para la evaluación, análisis de confiabilidad y disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes.

Determinar el equipamiento tecnológico para el aseguramiento de la confiabilidad y la disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica.

Diseñar el modelo de arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y la disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica.

## **Elemento Innovador**

El proyecto Arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y la disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica cuenta con un elemento innovador que abarca el objetivo de desarrollo sostenible No. 9 "Industria, Innovación e Infraestructura" (ODS 9) según la Programa de las Naciones Unidas

para el Desarrollo (PNUD, 2024) y se alinea con los planes de desarrollo económico y social de muchos países y regiones abarcando así elemento de plan de desarrollo y complementando la aplicabilidad de responsabilidad social empresarial a través de la vinculación de mano de obra local (ISO 26000).

El ODS 9 forma parte de los planes estratégicos desarrollados a largo plazo para impulsar el crecimiento económico y mejorar el bienestar de sus ciudadanos, ya que promueve la inversión en infraestructura en el sector eléctrico, la industrialización sostenible y la promoción de la innovación como motores del crecimiento económico y la creación de empleo.

Por otra parte, promueve la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector energético, siendo fundamental para impulsar la competitividad económica y abordar los desafíos globales. Por tanto, el ODS 9 proporciona un marco global para orientar las políticas y estrategias de desarrollo económico y social, asegurando que la infraestructura, la industrialización y la innovación se utilicen como herramientas para avanzar hacia un desarrollo sostenible y equitativo. Integrar este objetivo en los planes de desarrollo permite a los países trabajar hacia un futuro más próspero, inclusivo y respetuoso con el medio ambiente.

Finalmente, se cuenta con el factor de responsabilidad social empresarial al adoptar un modelo de solución estratégica tecnológica implementado para la vinculación de personal y mano de obra de la región, donde se condicione un porcentaje mínimo para la ejecución del proyecto primando la responsabilidad, el respeto por los derechos humanos, el respeto por las partes interesadas del proyecto y la transparencia.

## Capítulo 2. Fundamentación Teórica

### Antecedentes

#### *Antecedentes internacionales*

Damian Marasco, Gustavo Monte, Ruben Bufanio, Ariel Agnello y Norberto Scarone (2021) realizaron un proyecto de investigación denominado “Monitoreo continuo de calidad y seguridad en subestaciones transformadoras urbanas” El presente trabajo propone desarrollar e implementar un sistema de monitoreo continuo de variables de calidad eléctricas, acústicas, mecánicas y térmicas para Sets. La información obtenida permite inferir la evolución de su estado operativo minimizando el impacto ambiental y asegurando la calidad del suministro. El inicia monitoreando el estado de salud de la SET (Subestación Transformadora) y se obtiene información de estado de operación.

Las Subestaciones transformadoras están sometidas a grandes cambios en las condiciones de operación que generan deterioro, desgaste, impacto ambiental y pérdida de la eficiencia energética por condiciones operativas inadecuadas, el monitoreo continuo de las variables que afectan la calidad del producto generado es uno de los pilares de un sistema de gestión. El conocimiento de su estado integral actual, juntamente con la información obtenida en el pasado permite inferir estados futuros, certificar calidad de servicio y predecir posibles anomalías. Para poder tomar decisiones de mejora en el servicio.

El trabajo mencionado anteriormente, se relaciona con el presente proyecto ya que mediante el monitoreo continuo de la subestación transformada podemos obtener en tiempo real las condiciones en que opera e identificar las posibles fallas que interrumpen la energía, De esta forma poder implementar soluciones tecnológicas que aseguren el correcto funcionamiento, permitiendo una mejora en la calidad y seguridad del sistema.

Balboa, Martin, Serafin fuertes, Juan Moran, Antonio Prada, Miguel Pérez, Daniel Domínguez, Manuel (2022) Realizaron un proyecto de investigación denominado “Armario para la formación en automatización y control de subestaciones eléctricas de tracción”. El presente trabajo de grado propone el diseño de un armario para la formación en automatización y control de subestaciones eléctricas de tracción mediante el estándar IEC 61850. Este armario incorpora diversos dispositivos electrónicos inteligentes, comunicados mediante protocolos como MMS y GOOSE, con el fin supervisar y controlar de forma local y remota las maniobras, así como el estado de las líneas de entrada y salida de la subestación.

El sistema de automatización y control está formado básicamente por dos relés de protección, un controlador de bahía, una pasarela, switches de comunicación y un ordenador industrial. Estos equipos se encuentran conectados a dos redes de comunicación diferentes: una red de control y otra red de supervisión. Los equipos son configurados para comunicarse en una red redundante, demostrando ser capaces de realizar las distintas maniobras en la subestación y asegurando en todo momento la alimentación a la catenaria, si se produce un fallo en cualquiera de las líneas.

La relación de este trabajo con el proyecto en curso está en la utilización de un sistema de automatización y control para poder detectar fallas en la líneas de entrada y sustituir las líneas de salida para poder asegurar la disponibilidad de suministro de energía, utilizando o diseñando funciones de redundancia para evitar retrasos y garantizar la seguridad y operación de la subestación eléctrica, así mismo integrando dispositivos electrónicos inteligentes que se comuniquen entre sí, que permitan la medición y protección del sistema eléctrico.

Adrián león (2021) Realizó un proyecto de investigación denominado “Análisis de confiabilidad de las subestaciones de la empresa eléctrica regional centro sus C.A.” el

presente trabajo tiene como objetivo el análisis de confiabilidad de las diferentes subestaciones en operación de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. tomando en consideración las principales fallas registradas dentro de los últimos 10 años. El análisis de confiabilidad se complementa con la determinación de la criticidad de los equipos mantenibles.

El presente estudio plantea y recomienda el inicio del camino sistemático para la mejora de la gestión de mantenimiento, que debe ser complementado con las estrategias de mantenimiento que deberá enriquecer el plan de mantenimiento dentro de un proceso de mejora continua. La modelación de la confiabilidad de las subestaciones se basa en la aplicación del método de weibull, que tiene sustento en la información histórica de fallas, proporcionada por el departamento técnico de subestaciones

Este trabajo se relaciona con el proyecto planteado ya que las subestaciones de la empresa eléctrica regional centro sur C.A presenta fallas en los últimos 10 años, lo cual es importante realizar un análisis de confiabilidad para determinar las subestaciones donde se presente las más potenciales fallas ya que cada una son parte importante para el sistema de distribución de energía, el sistema eléctrico esta interconectado desde varios componentes eléctricos (dispositivos) si presenta falla en un dispositivo, esto representa la interrupción del servicio, por lo tanto es importante identificar a tiempo los puntos débiles de la subestación para evitar fallas inesperadas que ocasionen falta de servicio.

Francisco Ramos (2018) Realizo un proyecto de investigación denominado “futuros sistemas embebidos en SmartGrid: nuevas aportaciones en unidades terminales remotas” determina la importancia en la red eléctrica de hoy del mañana, de las unidades terminales remotas. Estas son el representante fundamental de los sistemas embebidos de dicha red y son el elemento clave de las subestaciones eléctricas, la presente investigación realiza nuevas

aportaciones a distintos sistemas de la red eléctrica como son los sistemas de protección, los sistemas de sincronismos y los sistemas de gestión y mantenimiento

Las RTUS como exponente fundamental de los sistemas embebidos en Smartgrid se han presentado contribuciones en distintos ámbitos que van desde los sistemas de protección y el estándar IEC61850, hasta los sistemas de sincronismo, pasando por los sistemas de gestión y mantenimiento. En todos ellos, como se ha podido comprobar a lo largo de la investigación, la RTU juega un papel clave para el futuro de SmartGrid. También se presentó un nuevo sistema de protección adaptativo que se ha probado y validado en subestaciones reales en Brescia (Italia) en dicho sistema se demostró mejoras significativas en SAIDI Y SAIFI que aporta la reconfiguración dinámica de los dispositivos de protección utilizados para implementar soluciones avanzadas de localización de faltas, aislamiento y restauración de servicio, para ello se hizo uso del IEC61850

Este trabajo se relaciona con el proyecto planteado debido a la incorporación de las RTUS en donde de forma remota y mediante diversos protocolos de comunicación se pueden adquirir datos constantes sobre la operación del sistema eléctrico. Conservando una correcta sincronización y enlace entre las redes eléctricas y los protocolos de comunicación de la subestación, con lo cual las energías alternativas operan en forma eficiente con las redes de distribución normalizadas.

### ***Antecedentes nacionales***

Daniel Pérez (2021) Realizo un proyecto de investigación denominado “implementación de un plan de automatización, control y supervisión para los niveles de tensión de 34.5 kv y 13.8 kv de la S.E arenal del grupo EBSA” en cumplimiento a los requerimientos y las especificaciones técnicas que la empresa de servicio públicos, privada y anónima demandaban para su ejecución y en cuanto a los que se refiere a los protocolos de comunicación para la automatización de subestaciones eléctricas bajo el estándar IEC 61850.

El cual busca implementar dos sistemas de control y supervisión una de 34.5 kv conformado por una bahía de transformación y cinco celdas de circuitos de salidas y otra de 13.8 kv conformada por una bahía de transformación reductora de voltaje y cinco celdas de circuitos de salidas. También a través de los softwares, marca A.G y equipos suministrados por la misma compañía licitadora implementar una arquitectura de comunicación redundante bajo el estándar IEC 61850, para los equipos y dispositivos que la conforman y un IEC 60870-5-101/104 para centro de control

Este trabajo se relaciona con el proyecto planteado ya que la subestación eléctrica arenal del grupo EBSA para su ejecución es de vital importancia los protocolos de comunicación para la automatización, es por esto que se debe garantizar la continuidad en el servicio de energía eléctrica; por esta razón. La gestión debe tener en cuenta varias etapas la primera el levantamiento de la información en el sitio para la etapa de diseño, segundo pruebas fat a través de controles, supervisión de los equipos IED'S, tercero pruebas de ejecución donde se instalan equipos IED'S, tableros de comunicación y automatización.

Juan Carreño, Juan Morales, Edwin Rivas (2019) Realizaron un proyecto de investigación denominado "Redundancia en redes de comunicación para la automatización y protección de sistemas de potencia eléctrica con IEC 61850" Se propone realiza un estudio para una Subestación Eléctrica del Grupo Energía Bogotá ubicada, en la que se implementaron los protocolos PRP Parallel Redundancy Protocol (PRP) enunciada en la IEC62439-3:2012, el cual se basa en el funcionamiento en paralelo de dos redes de área local y el protocolo High Availability Seamless Ring (HSR), que es propuesto en la norma IEC62439-3:2012 aplica el principio de PRP pero a diferencia de este, HSR utiliza una red común en configuración anillo y con estructura paralela (jiang, 2009).

Para el caso de estudio se realizaron pruebas funcionales y se sometió la red de comunicaciones a pruebas de robustez, avalancha de información y saturación de la red con el fin para analizar su comportamiento. Se pretendía indagar sobre los tiempos de conmutación ante fallas y pérdidas de información de los sistemas de control y protecciones, analizar la interoperabilidad y estabilidad a nivel de red y finalmente validar el correcto funcionamiento de los protocolos de redundancia de red y que estos cumplan con los requerimientos indicados en la norma IEC61850, para la mensajería GOOSE y bus de proceso.

La relación con este trabajo y el proyecto está en la importancia de que ante una falla o anomalía en las líneas de la Subestación eléctrica, se dé una solución o respuesta rápida para no interrumpir la distribución de la energía por mucho tiempo, y así garantizar la estabilidad de la red para su buen funcionamiento, logrando una automatización y protección de los sistemas de potencia eléctrica en la S.E.

Erwin Leal (2020) Realizo un proyecto de investigación denominado “Agrupación jerárquica para detectar condiciones de tráfico anómalas en subestaciones eléctricas” Este artículo evalúa la aplicabilidad de los algoritmos de agrupamiento no supervisado de tipo jerárquico y el uso de descriptores de tipo estadístico (promedios), en la identificación de patrones de tráfico anómalo en redes de comunicación para subestaciones eléctricas basadas en el estándar IEC 61850. Los resultados obtenidos demuestran que, utilizando un algoritmo jerárquico con criterio de proximidad distancia Euclidiana y método de agrupación vínculo simple, se logra una correcta clasificación de los siguientes escenarios de operación: 1) Tráfico normal, 2) Desconexión de dispositivo IED, 3) Ataque de descubrimiento de red, 4) Ataque de denegación de servicio, 5) Ataque de suplantación de IED y 6) Falló en la línea de alta tensión.

En nuestro enfoque, la selección del descriptor fue exitosa, dado el conocimiento previo de los escenarios operativos. Los descriptores demostraron ser sólidos al obtener resultados idénticos con otras técnicas de agrupación no supervisada como K-means (agrupación de tipo particional) o LAMDA (agrupación de tipo difuso). El desafío entonces es garantizar que el algoritmo de agrupación sea capaz de clasificar el escenario de tráfico normal de manera sólida. De esta forma se utilizarán otros escenarios para notificar procesos anómalos en la red de comunicaciones.

La relación con este trabajo y el proyecto se basa en la exitosa identificación de fallas y de posibles anomalías en las subestaciones de distribución eléctrica, con la implementación del protocolo IEC 61850 se incorporan los diferentes equipos de telemedida y mecanismos actuadores del sistema, con lo cual el proyecto expuesto puede abarcar este protocolo para la incorporación de los equipos que se utilizaran en la arquitectura redundante.

### *Antecedentes locales*

María Ibarra (2018) Realizo un proyecto de investigación denominado “Propuesta de una metodología que permita optimizar el uso de los recursos asociados al plan de mantenimiento de la subestación la ínsula de la empresa centrales eléctricas de Norte de Santander” Se propone determinar los procedimientos y criterios asociados con la estructuración de la metodología más adecuada para llevar a cabo el mantenimiento preventivo sobre los diferentes equipos de la subestación eléctrica la Ínsula en la ciudad de Cúcuta. Lo anterior, debido a que la subestación no cuenta con las herramientas de control, inspección y vigilancia de los procedimientos que se están llevando a cabo, causando estados de resultados y balances negativos para la organización.

A través del diagnóstico del presente trabajo, se logró identificar la situación actual del plan de mantenimiento de subestaciones donde se determinan aquellos aspectos que son esenciales en el momento de planear, ejecutar y controlar. Mediante un modelo de gestión de mantenimiento se proponen herramientas que permiten optimizar los recursos humanos, financieros, físicos y los riesgos en las actividades de mantenimiento.

Este trabajo se relaciona con el proyecto ya que hace hincapié en la importancia que tienen los equipos para el buen funcionamiento de la subestación eléctrica, debido a que si llegan a presentar fallas o anomalías por no llevar un seguimiento y control continuo, provoca una suspensión en la prestación del servicio de energía eléctrica y por ese motivo perjudica la economía de los usuarios. Por lo tanto, es necesario llevar un seguimiento para poder identificar y dar solución a las anomalías de la red, diseñando una arquitectura redundante para lograr en lo máximo la disponibilidad de la distribución de la energía eléctrica.

Manuel Carrillo (2022) Realizaron un proyecto de investigación denominado “Pruebas a equipos de protección contra sobretensiones en subestación eléctricas, dps” Se propone diseñar los protocolos de procedimientos para la realización de pruebas a equipos de protección contra sobretensiones en subestaciones eléctricas DPS. Las cuales se pueden efectuar en la puesta en marcha o para la verificación del estado de funcionamiento actual. Los protocolos, establecen los procedimientos y análisis sobre cómo se deben realizar las pruebas necesarias a Seccionadores en subestaciones eléctricas, de acuerdo con las normas Internacionales, Nacionales y recomendaciones dadas por el fabricante.

En lo que respecta al departamento Norte de Santander, empresas como Termotasajero que es generadora de energía y desde su centro de producción se inicia el proceso de distribución, requiriendo subestaciones que para su funcionamiento y puesta en marcha depende de una serie de protocolos de pruebas necesarios para realizar la comprobación de su

óptimo funcionamiento. La aplicación del instructivo para pruebas en subestaciones específicamente para los DPS evita cortes de energía imprevistos y esto se refleja en el bienestar de la comunidad y de los usuarios en general.

La relación con este trabajo y el proyecto está en la importancia de diseñar protocolos para realizar pruebas a los equipos, debido a que la distribución de la energía se envía a través de un circuito mediante cables conductores para poder llegar al usuario final, si se llega a presentar una sobretensión puede dañar los equipos de la subestación eléctrica, por ende es necesario contar con una arquitectura redundante que dé respuesta inmediata en lo posible para granizar la distribución de la energía en la red.

### **Marco Teórico**

La alta disponibilidad de los ciberactivos de medida, control y protección aporta al cumplimiento regulatorio de la CREG015-2018 el cual en el numeral 5.2.10 “Requisitos del esquema de incentivos y compensaciones” requisito D indica: *“Telemedición y control automático en elementos de corte y maniobra instalados en todas las cabeceras de circuito”* (Comisión de Regulación Energía y Gas, 2018).

Al contar con infraestructuras automatizadas robustas, los operadores de red cuenta con telesupervisión y telecontrol de sus activos que le permiten ejecutar maniobras oportunas en casos de eventos no programados que se materializan en DNA (Demanda no atendida) generando pérdidas económicas e impactando los indicadores de calidad del servicio, el escenario de cumplimiento o incumplimiento de indicadores puede llevar a que el operador de red (OR) reciba incentivos económicos que le permitan hacer mayor inversión de infraestructura o por el contrario incurrir en compensaciones. Como lo indica el numeral 5.3 *“Calidad del servicio en los SDL (Sistema de Distribución Local)”*. (Comisión de Regulación Energía y Gas, 2018).

El estándar 61850 establece los lineamientos para realizar la implementación de arquitecturas de redes redundantes cuyo propósito es asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los ciberactivos asociados a los sistema de control y protección, medida, supervisión y comunicación de una subestación eléctrica, dicho estándar permite la interoperabilidad de elementos de control, medida y supervisión de diferentes fabricantes bajo una red LAN Ethernet, asimismo, el estándar direcciona la implementación de protocolos PRP, HSR a nivel de equipos de medida, control, supervisión y RSTP en los Switches de comunicación (Carreño, Morales & Rivas, 2019).

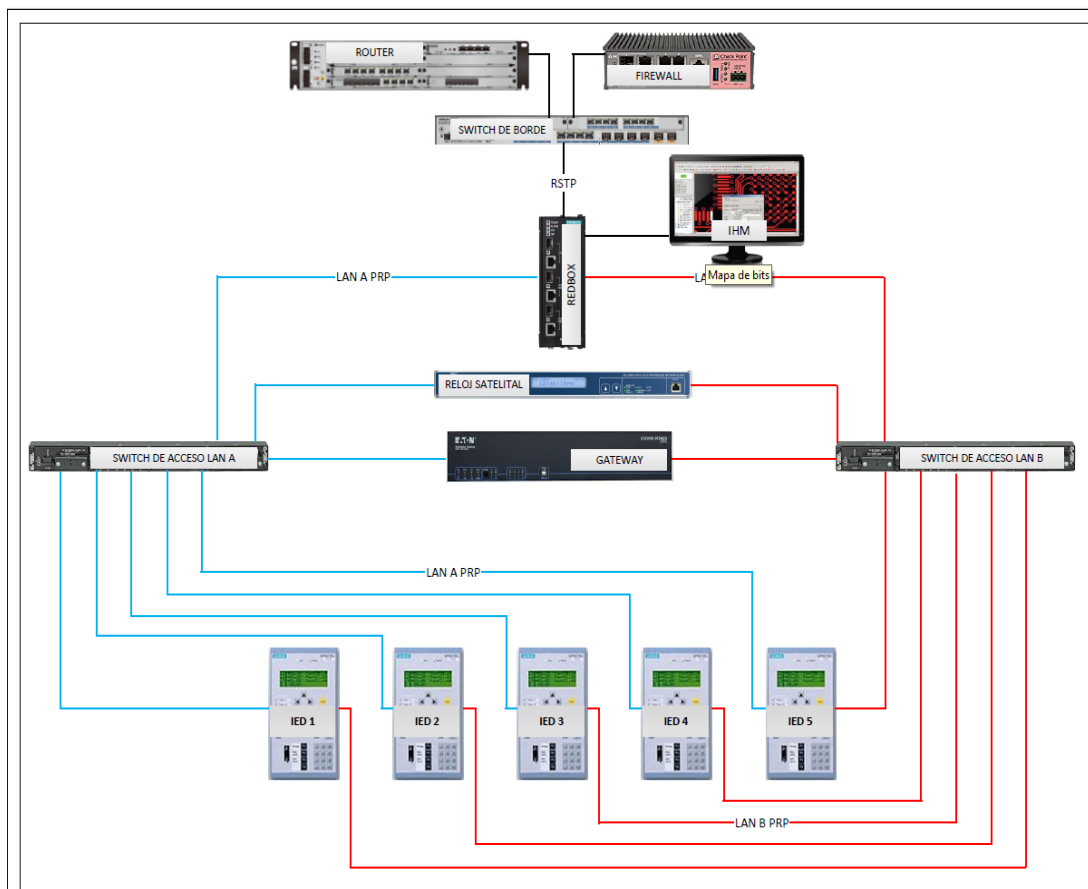
### ***Rapid Spanning Tree Protocol.***

El protocolo Rapid Spanning Tree se usa en topologías donde se cuenta con enlaces redundantes, y su funcionamiento principal es evitar los lazos dentro de la red. Un lazo dentro de una red Ethernet se presenta cuando se tiene una doble conexión entre dos Switches, la presencia de un lazo dentro de la red hace que el tráfico no tenga salida y se vaya incrementando rápidamente hasta saturar y bloquear los Switches y demás equipos que conforman la red, para evitar este fenómeno el protocolo RTP activa solo una de las dos conexiones. La topología en la que puede ser empleado RSTP es estrella o anillo (Zurita & Rodríguez, 2014).

### ***Parallel Redundancy Protocol (PRP).***

PRP es un protocolo para asegurar la alta disponibilidad y reducir el tiempo de recuperación de red y por lo tanto el de transmisión a “cero”. Este protocolo se basa en el uso de dos redes independientes a todos los niveles, LAN A y LAN B, y enviar el mismo mensaje a la vez en las dos redes. El dispositivo debe enviar por cada una de sus dos interfaces de red, una trama con la misma MAC y IP por un puerto diferente en ambas redes (Instituto Nacional de ciberseguridad [INCIBE], 2017).

### Ilustración 1. Modelo de protocolo de redundancia paralela

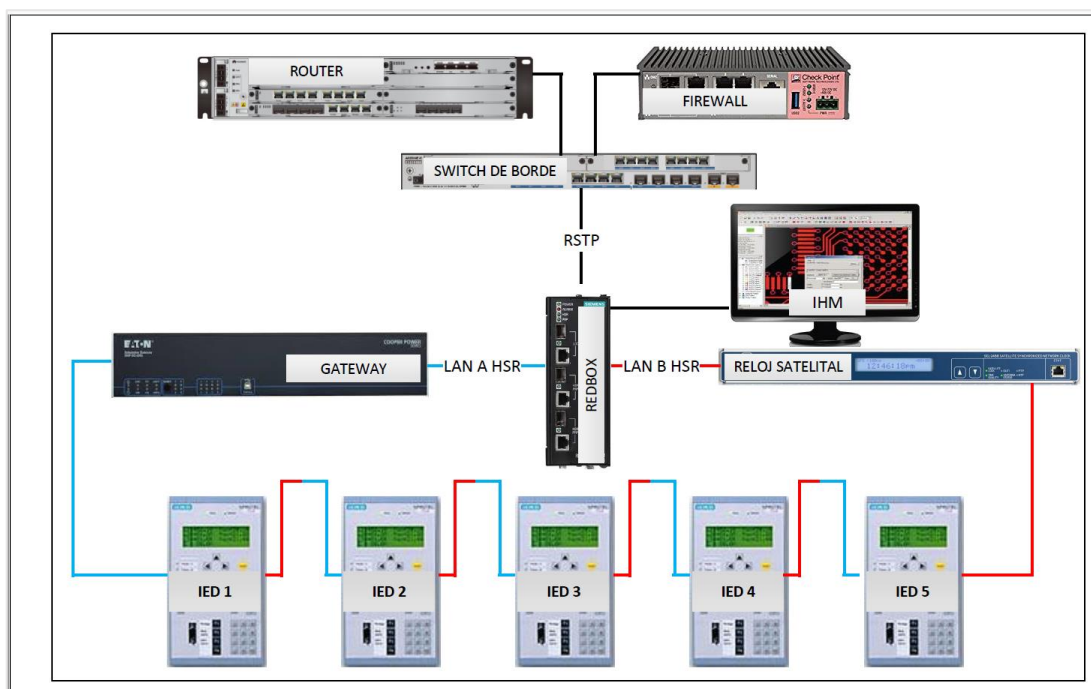


**Nota.** Fuente, Elaboración propia.

### *Highly-available Seamless Redundancy (HSR).*

HSR es un protocolo de redundancia, igual que PRP. Asegura la alta disponibilidad y reduce el tiempo de recuperación de red y por lo tanto el de transmisión a “Cero”. Se basa en una redundancia en el dispositivo, una trama de nivel 3 de red, se convierte en 2 tramas HSR idénticas y son enviadas por los dos puertos del dispositivo hacia una red con topología de anillo, en direcciones opuestas. Los dispositivos enlazados en esta red de anillo son llamados DANH (Double Attached Node implementing HSR) (Instituto Nacional de ciberseguridad [INCIBE], 2017).

## Ilustración 2. Modelo de protocolo de redundancia paralela



**Nota.** Fuente, elaboración propia.

La alta disponibilidad de los ciberactivos de medida, control y protección aporta al cumplimiento regulatorio de la CREG015-2018 el cual en el numeral 5.2.10 “Requisitos del esquema de incentivos y compensaciones” requisito D indica: *“Telemedición y control automático en elementos de corte y maniobra instalados en todas las cabeceras de circuito.”* (Comisión de Regulación Energía y Gas, 2018)

Al contar con infraestructuras automatizadas robustas, los operadores de red cuenta con telesupervisión y telecontrol de sus activos que le permiten ejecutar maniobras oportunas en casos de eventos no programados que se materializan en DNA (Demanda no atendida) generando pérdidas económicas e impactando los indicadores de calidad del servicio, el escenario de cumplimiento o incumplimiento de indicadores puede llevar a que el operador de red (OR) reciba incentivos económicos que le permitan hacer mayor inversión de infraestructura o por el contrario incurrir en compensaciones. Como lo indica el numeral 5.3 *“Calidad del servicio en los SDL (Sistema de Distribución Local).”* (Comisión de Regulación Energía y Gas, 2018).



y atributos de datos, y servicios de comunicación como la conexión, acceso a variables, transferencia de datos no solicitados, control de dispositivos y servicios de transferencia de archivos, independientemente de la pila de comunicación real y perfiles utilizados. (IEC 61850-1).

### ***Access Point***

Punto de acceso de comunicación a un Dispositivo de Equipo Inteligente (IED). Esto puede ser un puerto serie, una conexión Ethernet, o una dirección de cliente o servidor dependiendo de la pila que se esté utilizando. Cada punto de acceso de un IED a un bus de comunicación está identificado de manera única. Cada servidor tiene solo un punto de acceso lógico. (IEC 61850-6)

### ***Application Layer***

Capa 7 en el modelo de referencia OSI para Interconexión de Sistemas Abiertos que comprende la interfaz entre el entorno OSI y las aplicaciones del IED o del usuario. (ISO/IEC 7498-1).

***Broadcast.*** Mensaje colocado en una red de comunicación con la intención de ser leído y actuado, según corresponda, por cualquier Dispositivo de Equipo Inteligente (IED). Un mensaje de difusión típicamente contendrá la dirección del remitente y una dirección de destinatario global. (IEC 61850-7-2).

### ***Bus***

Conexión del sistema de comunicación entre Dispositivos de Equipo Inteligente (IED) con facilidades de comunicación. (IEC 61850-1, 2013).

### ***Communication Connection***

Conexión que utiliza la función de mapeo de comunicación de uno o más recursos para el transporte de información. (IEC 61850-10, 2013).

### ***Connection***

Asociación establecida entre unidades funcionales para transportar información. Se establece una conexión entre dos Dispositivos de Equipo Inteligente (IED) antes de cualquier intercambio de datos, puede ser de corta duración o a largo plazo. (IEC 61850-3, 2013).

### ***Connectivity Node***

Un punto de conexión común, identificable y nombrado entre terminales de dispositivos primarios cuya única función es conectarlos eléctricamente con la mínima resistencia; por ejemplo, una barra colectora como nodo de conectividad que conecta desconectores de barras colectoras. La conexión a un dispositivo se realiza en un terminal del dispositivo. Un nodo de conectividad puede conectar un número arbitrario de terminales (dispositivos). (IEC 61850-6, 2009).

### ***Dispositivos Electrónicos Inteligentes***

Responden a aquellos que posible la integración de varias funciones en un único dispositivo. Es en este contexto donde actualmente cobran protagonismo los IED, y más concretamente los Sistemas Electrónicos Embebidos (Embedded Systems, ES). En estos sistemas se pueden implementar tanto funciones de protección como de medición de calidad de suministro, e incluso ambas simultáneamente (Real, 2016, p12).

### ***Gateway***

Dispositivo de interconexión de redes que admite la pila completa del protocolo relevante, el cual puede convertir a un protocolo no de 7 capas para la transmisión asincrónica sobre redes de área amplia. (IEC 61850-7-1, 2010)

### ***Human-Machine Interface (HMI)***

Pantalla de visualización, ya sea parte de un Dispositivo de Equipo Inteligente (IED) o como un dispositivo independiente, que presenta datos relevantes en un formato lógico, con el

cual interactúa el usuario. Una Interfaz Hombre-Máquina (HMI, por sus siglas en inglés) típicamente presenta ventanas, iconos, menús, punteros, y puede incluir un teclado para permitir el acceso y la interacción del usuario.

### ***IED Intelligent Electronic Device***

Cualquier dispositivo que incorpore uno o más procesadores, con la capacidad de recibir o enviar datos/control desde o hacia una fuente externa, por ejemplo, medidores multifunción electrónicos, relés digitales, controladores. Dispositivo capaz de ejecutar el comportamiento de uno o más nodos lógicos especificados en un contexto particular y delimitado por sus interfaces. (IEC 61850-1, 2013)

### ***Interchangeability***

La capacidad de reemplazar un dispositivo suministrado por un fabricante con un dispositivo suministrado por otro fabricante, sin realizar cambios en los otros elementos del sistema. (IEC 61850-1, 2013)

### ***Interfaz***

Límite compartido entre dos unidades funcionales, definido por características funcionales como, por ejemplo, características de interconexión física comunes, características de señal u otras características apropiadas, y la provisión de una colección declarada de servicios. (IEC 61850-5, 2013).

### ***Internet Protocol***

El protocolo estándar de Internet TCP/IP define el datagrama que proporciona la base de la entrega de paquetes sin conexión. Incluye un protocolo de mensajes de control y de error que proporciona funciones equivalentes a los servicios de red, capa 3, del modelo de referencia OSI para Interconexión de Sistemas Abiertos. (IEC 61850-3,2013).

***Interoperability***

La capacidad de dos o más Dispositivos de Equipo Inteligente (IEDs) del mismo proveedor o de diferentes proveedores para intercambiar información y utilizar esa información para la correcta ejecución de funciones especificadas. (IEC 61850-1, 2013).

***Local Area Network***

Red de comunicaciones que típicamente cubre el área dentro de un edificio o pequeño complejo industrial. En el contexto de este estándar, se refiere al área dentro de la subestación. (IEC 61850-9-1).

***Manufacturer***

Productor de Dispositivos de Equipo Inteligente (IEDs) y/o herramientas de soporte. Un fabricante puede ser capaz de ofrecer un SAS (Sistema de Automatización de Subestaciones) únicamente mediante el uso de sus propios IEDs y herramientas de soporte (familia de productos SAS). (IEC 61850-4, 2011).

***Network***

La capa 3 del modelo de referencia OSI para Interconexión de Sistemas Abiertos proporciona medios funcionales y procedimentales para la transmisión sin conexión o con conexión, así como independencia de consideraciones de enrutamiento y retransmisión de comunicaciones, lo que permite la transferencia transparente de datos entre entidades de transporte. (ISO/IEC 7498-1).

***Physical Connection***

Enlace de comunicación entre dispositivos físicos. (IEC 61850-5).

***Physical Layer***

La capa 1 del modelo de referencia OSI para Interconexión de Sistemas Abiertos proporciona los medios mecánicos, eléctricos, funcionales y procedimentales para activar,

mantener y desactivar conexiones físicas para la transmisión de bits entre entidades de enlace de datos. Las entidades de la capa física están interconectadas mediante un medio físico. (ISO/IEC 7498-1).

### ***Physical System***

Está compuesto por los Dispositivos de Equipo Inteligente (IEDs) y la red de comunicación física interconectada (comúnmente fibras ópticas). El límite de un sistema está dado por sus interfaces lógicas o físicas: ejemplos son sistemas industriales, sistemas de gestión, sistemas de información, etc. (IEC 61850-5).

### ***Point To Point***

Enlace de comunicación punto a punto entre dos nodos, utilizado únicamente para la comunicación entre esos dos nodos. (IEC 61850-9-1).

Redundancia. La redundancia es una fórmula ampliamente repetida que asegura el funcionamiento continuo de nuestras ciudades, ecosistemas y redes en caso de fallas. Funciona mediante un principio muy simple: la multiplicación preventiva de algunas o todas las partes de un sistema (Lamberth, 2021, p83).

### ***Remote Terminal Unit***

Típicamente, en un sistema SCADA, una Unidad Terminal Remota (RTU) puede actuar como interfaz entre la red de comunicación y el equipo de la subestación. La función de una RTU puede residir en un solo Dispositivo de Equipo Inteligente (IED) o puede estar distribuida. (IEC 61850-4).

### ***Subestación***

Es el conjunto situado en el mismo lugar, de la paramenta eléctrica y de los edificios necesarios para realizar ya sea transformación de la tensión, de la frecuencia, del número de

fases, rectificación, compensación del factor de potencia y conexión de dos o más circuitos. Quedan excluidos de esta definición los centros de transformación (Trashorras, 2015).

### ***Switch***

Componente activo de red. Los switches conectan dos o más subredes, las cuales podrían estar compuestas por varios segmentos conectados por repetidores. Los switches establecen los límites para los llamados dominios de colisión. Las colisiones no pueden ocurrir entre redes divididas por switches; los paquetes de datos destinados a una subred específica no aparecen en las otras subredes. Para lograr esto, los switches deben tener conocimiento de las direcciones de hardware de las estaciones conectadas. En casos donde solo un componente de red activo está conectado a un puerto del switch, se pueden evitar las colisiones en la red. (IEC 61850-9-1).

### ***System***

El sistema lógico es una unión de todas las funciones de aplicación que se comunican y realizan alguna tarea general, como "gestión de una subestación", a través de nodos lógicos. El sistema físico está compuesto por todos los dispositivos que alojan estas funciones y la red de comunicación física interconectada. El límite de un sistema está dado por sus interfaces lógicas o físicas. Dentro del ámbito de la serie IEC 61850, 'sistema' siempre se refiere al Sistema de Automatización de Subestaciones (SAS), a menos que se indique lo contrario. (IEC 61850-1).

### ***System Integrator***

Proveedor llave en mano de instalaciones SAS. La responsabilidad de la integración del sistema incluye la ingeniería, la entrega y montaje de todos los IEDs participantes, las pruebas de aceptación en fábrica y en sitio, y la puesta en marcha. Las obligaciones de

aseguramiento de calidad, mantenimiento y entrega de repuestos, así como la garantía, deben acordarse en el contrato entre el integrador del sistema y el cliente. (IEC 61850-4).

### ***Telecommunication Environment***

Interfaces de comunicación asociadas con las telecomunicaciones. (IEC 61850-4).

### ***Telecommunications Interface***

Punto de interfaz hacia el enlace de la red de telecomunicaciones con el centro de control de red del sistema de energía remoto. (IEC 61850-3).

### ***Telemonitoring Interface***

Enlace de comunicaciones hacia el lugar de trabajo de un ingeniero de monitoreo. (IEC 61850-5).

## **Marco Legal**

Para el desarrollo de este proyecto, se tienen en cuenta las siguientes disposiciones legales y normativas:

### ***IEC 61850 del 2024***

Communication Networks and Systems For Power Utility Automation.

### ***CREG015 de 2018***

Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional.

### ***IEC 62439-3: 2008***

Especifica los requisitos y las características de los protocolos de redundancia paralela, como el Protocolo de Redundancia Paralela (PRP) y la Redundancia sin Interrupciones de Alta Disponibilidad (HSR), que se utilizan para garantizar una alta disponibilidad en las redes

de automatización industrial. Estos protocolos permiten que los sistemas de comunicación mantengan la operación continua incluso en caso de fallas de red.

#### ***CREG038 de 2014***

También conocida como el Código de Medida, establece los requisitos para garantizar que las mediciones empleadas con propósitos operativos, comerciales, regulatorios y de vigilancia y control sean exactas y confiables y se desarrollen de acuerdo con las capacidades tecnológicas actuales.

#### ***CREG024 de 2005***

Por la cual se modifican las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de distribución de energía eléctrica.

#### ***CNO 1502 de 2021***

Por la cual se actualiza la guía de ciberseguridad para infraestructura crítica en Colombia.

#### ***Cibersecurity Framework NIST del 2014***

Por la cual se proporciona un conjunto de mejores prácticas, estándares y lineamientos para ayudar a las organizaciones a gestionar y mejorar su postura de ciberseguridad.

#### ***Nerc CIP del 2006***

Por la cual se orienta a proteger la infraestructura crítica del sector eléctrico contra amenazas cibernéticas, asegurando la confiabilidad y la seguridad del suministro de energía eléctrica.

#### **Postura Concluyente**

Para el cumplimiento del objetivo general del se hace necesaria la identificación de las variables a analizar, las cuales son: el interés en la implementación de arquitectura redundante y el conocimiento sobre el tema.

**Tabla 1. Operacionalización de variables**

Proponer un modelo de arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y la disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica				
Variables	Concepto de la Variable	Dimensiones	Características	Indicadores
<b>Variable 1.</b> Interés sobre Arquitectura redundante	herramienta para la identificación, acopio, análisis, difusión sistemática de la información de mercados con el fin de mejorar la toma de decisiones estratégicas	<b>Dimensión 1:</b> Interés en implementación de arquitectura redundante	Cantidad de subestaciones	¿Cuántas subestaciones eléctricas tiene automatizadas?
			Cantidad de subestaciones con arquitectura redundante	De esas ¿Cuántas cuentan con arquitectura redundantes?
			Interés de implementación de arquitectura redundante en las subestaciones	¿En qué medida, estaría interesado en estandarizar arquitecturas redundantes en toda su infraestructura eléctrica?
			Conocimiento sobre protocolos de alta disponibilidad	¿En qué medida tiene conocimiento sobre los protocolos de alta disponibilidad para la infraestructura eléctrica?
			Interés en innovación tecnológica en las subestaciones	¿En qué medida estaría interesado en innovar con tecnología para la automatización de su infraestructura?
<b>Variable 2.</b> Conocimiento o sobre arquitectura redundante	Es la familiaridad, la conciencia o la comprensión de alguien o de algo, como pueden ser los hechos (conocimiento descriptivo), las habilidades (conocimiento procedimental) o los objetos (conocimiento por familiaridad).	<b>Dimensión 2:</b> Beneficios de implementación de arquitectura redundante	Conocimiento sobre la confiabilidad de supervisión y control con la arquitectura redundante	¿En qué medida está consciente de cómo la implementación de arquitectura redundante le aporta la confiabilidad de la supervisión y control de sus activos?
			Conocimiento sobre la garantía de conectividad mediante la arquitectura redundante	¿En qué medida tiene conocimiento de que la arquitectura redundante le garantiza la conectividad de sus dispositivos electrónicos inteligentes?
			Conocimiento sobre aporte de operación remota oportuna mediante la arquitectura redundante	¿Es de su dominio (conocimiento), que un sistema redundante le aporta a la operación remota oportuna óptima?
			Conocimiento sobre beneficios de operación oportuna	¿Qué nivel de concientización tiene sobre los aportes de cumplimiento de los indicadores de calidad de servicio (SAIDI Y SAIFI) a través de la operación remota oportuna? ¿Qué grado de conocimiento tiene en cuanto a que la operación remota oportuna le permite mitigar las demandas no atendidas de suministro de energía eléctrica?
			Conocimiento sobre incentivos por unidad constructiva	¿Qué nivel de conocimiento tiene en cuanto al reconocimiento de retorno de inversión a través de unidades constructivas (UC), por medio de los diseños e implementación de arquitectura redundantes?

**Nota.** Fuente: Elaboración propia

### **Capítulo 3. Marco Metodológico**

En este capítulo explica la metodología empleada para el desarrollo de los objetivos propuestos en el proyecto, aquí se define el paradigma de la investigación, su enfoque, alcance y diseño de investigación, la identificación de la población y muestra, lo relacionado con la construcción y validación del instrumento y las respectivas técnicas de recolección y análisis de información.

#### **Paradigma de la investigación**

El tipo de paradigma sobre el cual se desarrolla la presente investigación es el positivista, considerando que permite analizar la realidad de una situación o fenómeno de forma absoluta y medible, además que establece una relación controlada entre el investigador y el objeto de estudio para evitar sesgos en el análisis de los resultados. Dentro de este paradigma se encuentra el uso de los métodos estadísticos descriptivos e inferenciales (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). El conocimiento positivista busca la causa de los fenómenos y eventos del mundo social, formulando generalizaciones de los procesos observados (Martínez, 2013, p2) tal como se propone este proyecto para el diseño de un modelo de arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica.

#### **Enfoque metodológico**

Según (Sampieri 2006, pag. 13-26) “el enfoque cualitativo consiste en la recolección de datos para probar hipótesis, analizar una realidad objetiva a partir de mediciones numéricas y análisis estadísticos para establecer predicciones o patrones de comportamiento del fenómeno o problema planteado y probar teorías es decir la investigación cuantitativa ofrece

la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente, otorga control sobre los fenómenos, así como un punto de vista de conteo y las magnitudes de estos.

Por lo anterior, la presente investigación llamada modelo de arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica tendrá un enfoque cuantitativo porque contiene las siguientes variables medibles interés sobre arquitectura redundante y el conocimiento sobre la misma.

### **Alcance**

De acuerdo con Arias (2012) “El nivel o alcance se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio “ el presente proyecto de investigación llamado modelo de arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica, tendrá como resultado el modelo de un diseño de arquitectura redundante al sistema existente de la subestación eléctrica ubicada en Sevilla de la ciudad de Cúcuta, perteneciente a la empresa de energía CENS este alcance tiene la característica de analizar la situación real existente para lograr aplicarle una mejora en cuanto a tecnologías aplicadas.

### **Diseño de la investigación**

Teniendo en cuenta que la investigación está enmarcada en un enfoque cualitativo que según Mata Solís (2022) “La investigación cualitativa asume una realidad subjetiva, dinámica y compuesta por multiplicidad de contextos. El enfoque cualitativo de investigación privilegia el análisis profundo y reflexivo de los significados subjetivos e intersubjetivos que forman parte de las realidades estudiadas” y con un paradigma naturalista, el diseño corresponde a un estudio no experimental, de tipo descriptivo y apoyado en el trabajo de campo. Según Palella

y Martins (2006) la investigación no experimental consiste en el proceso “que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real, en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos” (p.87). Por este motivo, no se construyen situaciones nuevas, sino que se observan y miden las que existen en un momento determinado. Es decir, las variables independientes no son manipuladas por el investigador, lo que limita la capacidad de influir a la variable dependiente para modificarla. En cuanto a lo transeccional, Palella y Martins (2006) indican que este tipo de investigación se define por la recolección de datos en un solo lapso, con el fin de medir y analizar las variables en un momento único y sin manipularlas.

Igualmente, la investigación es operativa ya que según (Ferrer, 1958) La Investigación Operativa (I.O.) constituye un excelente método para obtener información sobre la realidad de una actividad que se pretende mejorar. En este proyecto se proponen diseñar un modelo de arquitectura redundante para el aseguramiento de la confiabilidad y disponibilidad de los dispositivos electrónicos inteligentes en una subestación eléctrica, asistiendo de la información real en campo de cada subestación eléctrica a la que se vaya a implementar redundancia en sus sistemas, siendo una mejora a los procesos ya operativos.

### **Población y Muestra**

En esta investigación se realiza la identificación de la población que conforma el objeto de estudio con el respectivo muestreo. Según Palella y Martins (2006):

La población en una investigación es el conjunto de unidades de las que se desea obtener información y sobre las que se van a generar conclusiones. La población puede ser definida como el conjunto finito o infinito de elementos, personas o cosas pertinentes a una investigación y que generalmente suele ser inaccesible. (p.105)

Por lo tanto, se determina que la población objeto de estudio de este proyecto son las empresas electrificadoras prestadoras de servicio de energía de acuerdo con Superintendencia de servicios (2021) del país, distribuidas a través del territorio colombiano.

Para el muestreo se tiene en cuenta que, según Palella y Martins (2006) “el muestreo se utiliza para trabajar con un grupo que sea representativo de la población, disminuyendo los costos y reduciendo los tiempos que implicaría el entrevistar a todos los sujetos” (p.108). A partir de esto y de acuerdo con las necesidades del proyecto se opta por un muestreo por conveniencia, tomando como empresa a analizar la electrificadora del norte de Santander Centrales eléctricas del Norte de Santander (CENS) debido a la cercanía y facilidad de acceso a la empresa por parte de los autores.

## **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### ***Técnicas de recolección de datos***

La técnica de recolección de datos para hacer la medición de las variables en este proyecto es la observación, mediante el instrumento de ficha de observación. Según Fernández 2005, La observación consiste en el registro sistemático, válido y confiable del comportamiento o de la conducta manifiesta, la cual puede utilizarse en muy diversas circunstancias (Hernández et al, 2003). Con los métodos o técnicas de observación el investigador participa mirando, registrando y analizando los hechos de interés (Blaxter et al, 2000). Su objetivo primario es registrar el comportamiento sin interferirlo. (p. xx). Por tanto, el instrumento de recolección de información se va a implementar es una ficha de observación en campo.

### ***Construcción del instrumento***

Acorde a la técnica observación en campo, se construye un instrumento único para el levantamiento de la información necesaria para el diagnóstico de la subestación eléctrica que

consta de 2 entradas donde se plasma la toma de dos tipos de información, los cuales corresponde a inventario y al levantamiento arquitectónico de la subestación.

**Inventario.** Se requiere realizar el inventario de los sistemas de comunicación, automatización, ciberseguridad, tableros de control y tablero de medidores existentes para entender el estado actual de la infraestructura y planificar adecuadamente la modernización y expansión y conlleva una serie de pasos para su ejecución:

***La preparación de inventario.*** (1) Identificar todos los activos y ciberactivos que componen la subestación. (2) Conformar el equipo técnico que realizará el inventario. (3) Identificar las herramientas necesarias para la ejecución del inventario.

***Recolección de Datos.*** (1) Listar las categorías de los activos que componen la subestación. (2) Documentar información básica de cada componente: circuito/celda, arquitectura, tipo de componente /ciberactivo, marca, modelo, dirección IP, MAC, serial, total de puertos ethernet, interfaces ethernet libres, interfases ethernet libres deshabilitadas, puertos habilitados, servicios, acceso lógico, versión firmware, backup configuración, fecha última backup, protocolo, medio de comunicación y acceso físico componente /ciberactivo.

**Levantamiento arquitectónico.** La segunda información necesaria tomada en la visita en sitio para confirmación de los componentes identificados es el diagrama actual de la subestación eléctrica, para proceder después mediante el análisis de dicha información a generar un diagnóstico sobre el estado actual de los activos y ciberactivos existentes, en los cuales se determinan posteriormente cuáles son compatibles con la arquitectura definida para el proyecto. (*Ver anexo 1*).



## **Técnicas de análisis y procesamiento de datos**

Esta investigación corresponde a un enfoque cualitativo, y la información recolectada mediante las fichas de observación que corresponde al diagrama del levantamiento de la arquitectura existente y al inventario de la información básica de cada componente es analizada por un ingeniero de sistemas especialista en ciberseguridad con conocimiento en el área de control y supervisión de subestaciones eléctricas para la evaluación, análisis de confiabilidad y disponibilidad de sus dispositivos electrónicos inteligentes.

Mediante la experticia del profesional y autor de este proyecto, se analiza el estado de los componentes inventariados para así poder generar el diagnóstico y posteriormente las conclusiones técnicas de la subestación. Los diagramas de las subestaciones serán realizados con la herramienta Visio y serán presentados como entregables en este proyecto en medio magnético y físico al igual que el inventario existente.

## **Capítulo 4. Resultados**

Se ejecuta reunión con los respectivos Stakeholders de la empresa electrificadora y el equipo de ingeniería, donde se socializa el alcance del proyecto, el cual corresponde a la modernización y expansión de la nueva bahía de 115/34.5 kV de la subestación, la empresa electrificadora desea implementar infraestructura que le permita implementar una arquitectura redundante en los tableros de control de 115 kV y 34.5 kV, sin embargo, la empresa electrificadora desea innovar realizando la inmersión controlada de 2 bahías de 115 kV bajo esquema de subestación digital. La subestación cuenta con una bahía de transformación de 115/13.2 kV, sin embargo, esta no hace parte del alcance del proyecto amparado bajo el plan de inversión regulatorio.

### **Diagnóstico sobre el estado actual del sistema de supervisión y control de la subestación eléctrica de Sevilla de CENS**

Del diagnóstico del estado actual del sistema de supervisión y control de la subestación eléctrica de Sevilla de CENS se perciben las siguientes conclusiones técnicas:

- Ausencia de Firewall: Se identifica que la subestación no cumple con los lineamientos de ciberseguridad indicado bajo el acuerdo 1502 del consejo nacional de operación, lo cual implica una brecha significativa en términos de estándares de seguridad, confiabilidad y operatividad establecidos por el Consejo Nacional de Operación (CNO). Esto puede poner en riesgo la estabilidad de la red eléctrica y la seguridad del personal operativo.
- Ausencia de Router: La falta de un Router para integrar la subestación a una red MPLS (Multiprotocol Label Switching) limita considerablemente la capacidad de la subestación para comunicarse de manera eficiente y segura con otras partes de la red. MPLS es crucial para el enrutamiento de datos de alta

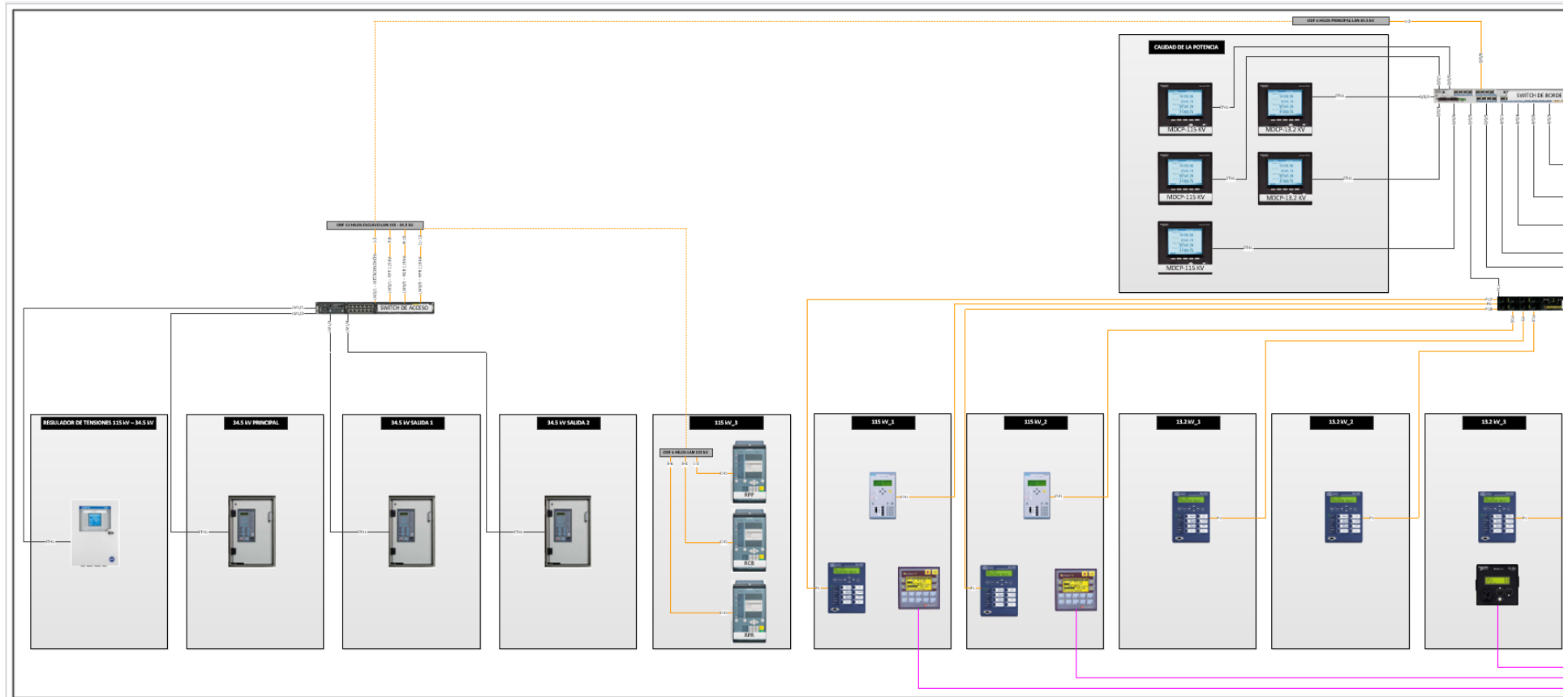
velocidad y la priorización de tráfico, aspectos esenciales para la operación confiable de una subestación moderna.

- IEDs Seriales: Aunque la subestación cuenta con dispositivos seriales antiguos, estos no representan un obstáculo para la modernización de las celdas de 115 kV y 34.5 kV, ya que estas últimas son nuevas. Esto sugiere que la infraestructura primaria de la subestación está en condiciones adecuadas, pero la modernización de los sistemas de comunicación y control es necesaria para una integración completa y eficiente.
- Ausencia de buenas prácticas de segmentación de redes por servicios: La falta de segmentación de la red por servicios indica una vulnerabilidad importante en la ciberseguridad y en la eficiencia operativa. La segmentación de red es una práctica esencial para limitar el alcance de posibles ataques cibernéticos y para asegurar que los diferentes servicios operen de manera independiente y segura, minimizando el riesgo de fallos en cascada.
- Ausencia de reloj satelital: La subestación no cuenta con un reloj satelital para la sincronización precisa de los relés. La sincronización temporal es crucial para la correcta operación y coordinación de los sistemas de protección y control en una subestación. Sin una sincronización adecuada, puede haber problemas en la detección y respuesta a eventos en la red, lo que afecta la confiabilidad y la seguridad.
- Relés de 13.2 kV sin Protocolos Redundantes Nativos: Los relés de 13.2 kV no cuentan con protocolos redundantes nativos, lo que podría limitar la confiabilidad en este nivel de voltaje. Sin embargo, esta deficiencia no afecta el alcance del proyecto que aplica a las nuevas bahías de 115 kV y 34.5 kV. Es

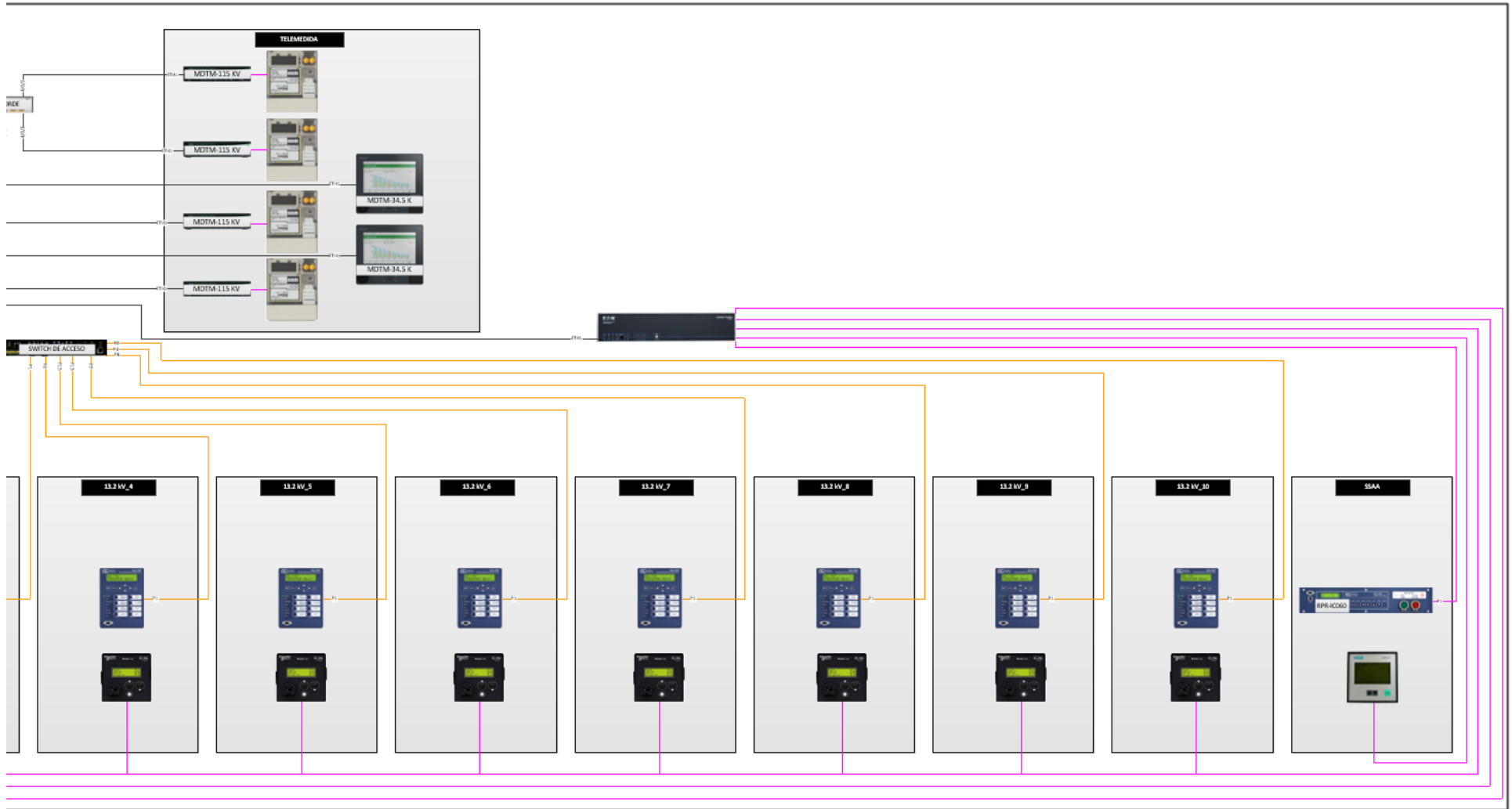
importante considerar una futura actualización para mantener la coherencia y la seguridad en toda la subestación.

Igualmente se presenta la información primaria tomada mediante el instrumento de recolección y que lo conforma el inventario y el diagrama de arquitectura existente en la subestación de Centrales eléctricas del Norte de Santander, expuesto a continuación.

Ilustración 7. Diagrama de arquitectura existente



Nota: Parte 1 de 2 (Izquierda). Fuente, elaboración propia.



Nota: Parte 2 de 2 (Derecha). Fuente, elaboración propia.

**Ilustración 8. Tabla de convenciones diagrama de arquitectura existente**

NOMBRE DEL DIAGRAMA		DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN SUBESTACIÓN 115 / 34.5 / 13.2 KV		FECHA	15/07/2024
EQUIPO DE TRABAJO		EQUIPO DE PROYECTOS TO		VERSIÓN	1.0
ELABORADO POR		DANIEL JAVIER GIRADO GELVIS		DIVULGACIÓN: CONFIDENCIAL	
CONVENCIONES - DEFINICIONES					
	PATCH CORD DE COBRE ETHERNET		PATCH CORD FIBRA ÓPTICA MONOMODO		DFB – DIFERENCIAL DE BARRAS
	PATCH CORD DE COBRE LAN A		IHM – INTERFAZ HUMANO MÁQUINA		RT – ROUTER
	PATCH CORD DE COBRE LAN B		GPS – RELOJ DIGITAL SINCRONIZACIÓN		SW ACC – SWITCH DE ACCESO
	FIBRA ÓPTICA LAN B		MDP - MEDIDOR PRINCIPAL CELDA		SW BRD – SWITCH DE BORDE
	FIBRA ÓPTICA LAN A		MDR - MEDIDOR RESPALDO CELDA		FW - FIREWALL
	FIBRA ÓPTICA OPGW		MDCP - MEDIDOR CALIDAD DE LA POTENCIA		RDBX - REDBOX
	FIBRA ÓPTICA ADSS		MDTM - MEDIDOR TELEMEDIDA		CM – CONVERSIONS DE MEDIO
	PATCH CORD FIBRA ÓPTICA MULTIMODO		RPP - RELÉ PROTECCIÓN PRINCIPAL		CP – CONVERSIONS DE PROTOCOLO ETHERNET
	FIBRA ÓPTICA ESTRUCTURADA MULTIMODO		RPR - RELÉ PROTECCIÓN RESPALDO		GPRS - MÓDEM TELEMEDIDA
	PATCH CORD DE COBRE SERIAL		RCB - RELÉ CONTROLADOR DE BAHÍA		GW - GATEWAY

Nota: Parte 1 de 2 (Izquierda). Fuente, elaboración propia.

**Tabla 2. Inventario inicial**

CIRCUITO / CELDA	ARQUITECTURA	TIPO COMPONENTE / CIBERACTIVO	MARCA	MODELO	DIRECCIÓN IP	MAC	SERIAL	TOTAL PUERTOS ETHERNET
NO APLICA	RED_INFORMACIÓN	SWITCH	SIEMENS	RSG2100	192.168.105.125	00:1A2B:3C:4D:5E	9A12B34C56D78E90	20
NO APLICA	RED_CONTROL	GATEWAY	EATON	SMP 16	192.168.105.2	01:2B:3C:4D:5E:6F	8B23C45D67E89F01	2
NO APLICA	RED_INFORMACIÓN	CONVERSIONS DE PROTOCOLO SERIAL - ETHERNET	B&B	VESP211	192.168.105.21	02:3C:4D:5E:6F:7A	7C34D56E78F90A12	1
NO APLICA	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR CÓDIGO DE LA MEDIDA PRINCIPAL	DIGI	WR21	192.168.105.22	03:4D:5E:6F:7A:8B	6D45E67F89A01B23	1
NO APLICA	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR CÓDIGO DE LA MEDIDA RESPALDO	DIGI	WR21	192.168.105.23	04:5E:6F:7A:8B:9C	5E56F78A90B12C34	1
NO APLICA	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR CÓDIGO DE LA MEDIDA PRINCIPAL	DIGI	WR21	192.168.105.24	05:6F:7A:8B:9C:AD	4F67A89B01C23D45	1
NO APLICA	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR CÓDIGO DE LA MEDIDA RESPALDO	DIGI	WR21	192.168.105.25	06:7A:8B:9C:AD:BE	3A78B90C12D34E56	1
SEVC3-SEVC19	RED_CONTROL	CONTROLADOR BAHÍA	SEL	451	192.168.105.26	07:8B:9C:AD:BE:CF	2B89C01D23E45F67	1
115 KV_1	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR CALIDAD DE LA POTENCIA	SCHNEIDER	ION 7650	192.168.105.3	08:9C:AD:BE:CF:D0	1C90D12E34F56A78	1
115 KV_2	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR CALIDAD DE LA POTENCIA	SCHNEIDER	ION 7650	192.168.105.4	09:AD:BE:CF:D0:E1	0D01E23F45A67889	1
13.2 KV_1	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR CALIDAD DE LA POTENCIA	SCHNEIDER	ION 7650	192.168.105.5	0A:BE:CF:D0:E1:F2	9E12F34A56B78C90	1
13.2 KV_2	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR CALIDAD DE LA POTENCIA	SCHNEIDER	ION 7650	192.168.105.6	0B:CF:D0:E1:F2:03	8F2345678C90D01	1
13.2 KV_3	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SEL	751A	192.106.100.205	0C:D0:E1:F2:03:14	7A34B56C78D90E12	1
13.2 KV_4	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SEL	751A	192.168.105.201	0D:E1:F2:03:14:25	6B45C67D89E01F23	1
13.2 KV_5	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SEL	751A	192.168.105.206	0E:F2:03:14:25:36	5C56D78E90F12A34	1
13.2 KV_6	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SEL	751A	192.168.105.207	0F:03:14:25:36:47	4D67E89F01A23B45	1
13.2 KV_7	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SEL	751A	192.168.105.208	10:14:25:36:47:58	3E78F90A12B34C56	1
13.2 KV_8	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SEL	751A	192.168.105.209	11:25:36:47:58:69	2F89A01B23C45D67	1
13.2 KV_9	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SEL	751A	192.168.105.210	12:36:47:58:69:7A	1A90B12C34D56E78	1
13.2 KV_10	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SEL	751A	192.168.105.211	13:47:58:69:7A:8B	0B01C23D45E6F789	1
13.2 KV_11	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SEL	751A	192.168.105.212	14:58:69:7A:8B:9C	9C12D34E56F78A90	1
13.2 KV_12	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SEL	751A	192.168.105.213	15:69:7A:8B:9C:AD	8D23E456F78A9B01	1
115 KV_1	RED_CONTROL	RELÉ RESPALDO CELDA	SEL	751A	192.168.105.214	16:7A:8B:9C:AD:BE	7E34F56A78B90C12	1
115 KV_2	RED_CONTROL	RELÉ RESPALDO CELDA	SEL	751A	192.168.105.215	17:8B:9C:AD:BE:CF	6F45A67B89C01D23	1
115 KV_1	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SIEMENS	7UT61	192.168.105.216	18:9C:AD:BE:CF:D0	5A56B78C90D12E34	1
115 KV_2	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SIEMENS	7UT61	192.168.105.217	19:AD:BE:CF:D0:E1	4B67C89D01E23F45	1
NO APLICA	RED_INFORMACIÓN	CONVERSIONS DE MEDIO FIBRA - COBRE ETHERNET	B&B	EIR-M-ST	ETHERNET	1A:BE:CF:D0:E1:F2	3C78D90E12F34A56	2
NO APLICA	RED_INFORMACIÓN	CONVERSIONS DE MEDIO FIBRA - COBRE ETHERNET	KYLAND	KOM600	ETHERNET	1B:CF:D0:E1:F2:03	2D89E01F23A45B67	2
115 KV_1	RED_CONTROL	PLC	UNITRONICS	M91	SERIAL	NO APLICA	1E90F12A34B56C78	NO APLICA
115 KV_1	RED_CONTROL	ANUNCIADOR ALARMAS	SEL	2523	SERIAL	NO APLICA	2F10A23B45C67D89	NO APLICA
115 KV_2	RED_CONTROL	PLC	UNITRONICS	M91	SERIAL	NO APLICA	3E21B34C56D78E90	NO APLICA
115 KV_2	RED_CONTROL	ANUNCIADOR ALARMAS	SEL	2523	SERIAL	NO APLICA	4D32C45D67E89F01	NO APLICA
13.2 KV_1	RED_CONTROL	RELÉ PRINCIPAL CELDA	SEL	351A	SERIAL	NO APLICA	5C43D56E78F90A12	NO APLICA
13.2 KV_2	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR PRINCIPAL CELDA	SCHNEIDER	ION 7330	SERIAL	NO APLICA	6B54E67F89A01B23	NO APLICA
13.2 KV_3	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR PRINCIPAL CELDA	SCHNEIDER	ION 7330	SERIAL	NO APLICA	7A65F78A90B12C34	NO APLICA
13.2 KV_4	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR PRINCIPAL CELDA	SCHNEIDER	ION 7330	SERIAL	NO APLICA	8F76A89B01C23D45	NO APLICA
13.2 KV_5	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR PRINCIPAL CELDA	SCHNEIDER	ION 7330	SERIAL	NO APLICA	9E87B90C12D34E56	NO APLICA
13.2 KV_6	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR PRINCIPAL CELDA	SCHNEIDER	ION 7330	SERIAL	NO APLICA	0D98C01D23E45F67	NO APLICA
13.2 KV_7	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR PRINCIPAL CELDA	SCHNEIDER	ION 7330	SERIAL	NO APLICA	1C09D12E34F56A78	NO APLICA
13.2 KV_8	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR PRINCIPAL CELDA	SCHNEIDER	ION 7330	SERIAL	NO APLICA	2B19E23F45A67889	NO APLICA
13.2 KV_9	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR PRINCIPAL CELDA	SCHNEIDER	ION 7330	SERIAL	NO APLICA	3A28F34A56B78C90	NO APLICA
13.2 KV_10	RED_MEDICIÓN	MEDIDOR PRINCIPAL CELDA	SIEMENS	SIMEASP	SERIAL	NO APLICA	4F39A4567C89D01	NO APLICA
NO APLICA	RED_INFORMACIÓN	SWITCH	HUAWEI	AR2504E-H	192.168.105.126	1C:D0:E1:F2:03:14	5E40B56C78D90E12	24

Nota: Parte 1 de 2 (Izquierda). Fuente, elaboración propia.



esta fibra se contempló para el servicio de tele protecciones por las bahías de 115 kV, sin embargo, para el diseño se propone:

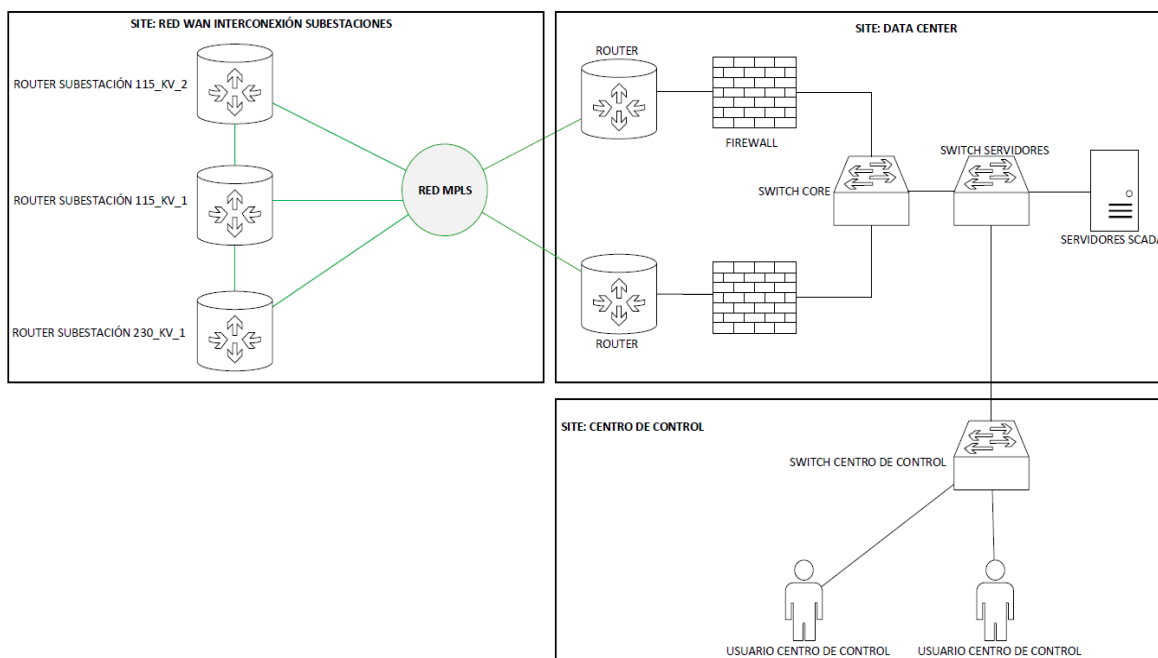
### ***Implementación del Router***

A través de la implementación del Router se logrará interconectar la subestación del proyecto con la red MPLS con la que cuenta la empresa electrificadora, permitiendo implementar 3 enlaces de comunicación usando fibra óptica quedando de la siguiente manera:

- Subestación 115\_KV\_1 (proyecto) con Subestación 230\_KV\_1
- Subestación 115\_KV\_1 (proyecto) con Subestación 115\_kv\_2
- Subestación 115\_KV\_1 (proyecto) con Router ubicado en Data Center

Con lo anterior, se aportaría mejora a la alta disponibilidad de la red de WAN que interconecta la subestación hacia el SCADA, incrementando así la confiabilidad en la telesupervisión y telecontrol.

### **Ilustración 9. Arquitectura WAN**



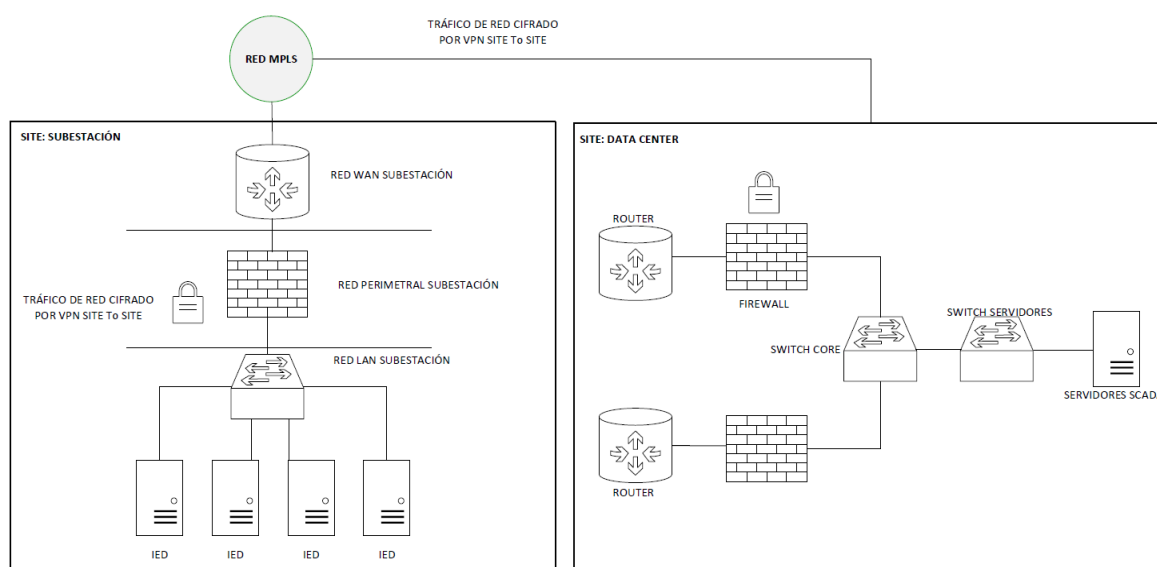
Nota: Diagrama red WAN. Fuente, elaboración propia.

### **Firewall Perimetral subestación**

Con la implementación del Firewall perimetral se fortalece la ciberseguridad de la subestación, esto se traduce en protección del tráfico de la red OT minimizando los riesgos de ciberataque, y permitiendo a la empresa electrificado el cumplimiento del acuerdo 1502 del Consejo Nacional de Operación (CNO), quedando de la siguiente manera:

- Implementación de Firewall donde por medio de VLAN se segmente la red LAN operativa por servicios, siendo el Firewall la puerta de enlace predeterminada de las redes LAN OT de la subestación.
- Implementar reglas de acceso para la gestión de los ciberactivos de forma remota o local con el uso de protocolos y puertos seguros.
- Implementación de VPN Site To Site que permita la encriptación del tráfico, esto mitiga la posibilidad que en caso de que el tráfico de red sea interceptado por un ciberdelincuente pueda identificarse la información transportada de la subestación hacia el Scada.
- Detección de comportamientos anómalos en la red LAN OT de la subestación.

### **Ilustración 10. Firewall perimetral**



Nota: Diagrama red WAN. Fuente, elaboración propia.

### ***Red LAN Redundante***

En las mesas técnicas que se realizan con la empresa electrificadora se confirma que los IEDs de control y Merging Unit se adquirieron con protocolos redundantes PRP, HSR y que el protocolo de sincronización es PTP, por lo cual se define en conjunto:

- Relés de control y Protección 115 KV – 34.5 KV
- Se define el uso de protocolo PRP bajo topología de red en estrella, cada tablero contara con sus fibras ópticas multimodo independiente al igual que los ODFs para la LAN A y B.
- Merging Unit: Se define el uso de protocolo PRP bajo la topología de red en estrella, las Merging Unit estarán ubicadas físicamente en el mismo tablero y sólo para las dos nuevas bahías de 115 KV, no obstante, las fibras ópticas multimodo y los ODFs serán independientes para LAN A y B.
- Redbox: Se define en la mesa técnica el uso de protocolo PRP en las Redbox, la cual se encargarán de gestionar el tráfico redundante, asimismo, dado que la empresa electrificadora desea innovar tecnológicamente a través de subestaciones digitales, se define el uso de Redbox para el bus de proceso y Redbox para el bus de estación.
- Reloj satelital: Se define en la mesa técnica la implementación de reloj satelital para el sincronismo de los IEDs, con esto se asegura la confiabilidad de la estampa de tiempo de los eventos que se presenten en la subestación, por lo cual se acuerda el uso de protocolo PTP y la implementación de reloj satelital para el bus de proceso y reloj satelital para el bus de estación.
- Switches LAN: Se define en la mesa técnica la implementación de Switches que sean compatibles con protocolos usados en subestaciones digitales, adicional al protocolo de sincronismo definido en las mesas técnicas, por lo cual es necesario implementar Switches en el bus de proceso y en el bus de estación.

- Gateway: Se define en la mesa técnica la implementación de Gateway compatible con protocolo PRP, adicional, dicho ciberactivo contará con licencia de interfaz humano – máquina (IHM).
- Infraestructura y medios de comunicación LAN.

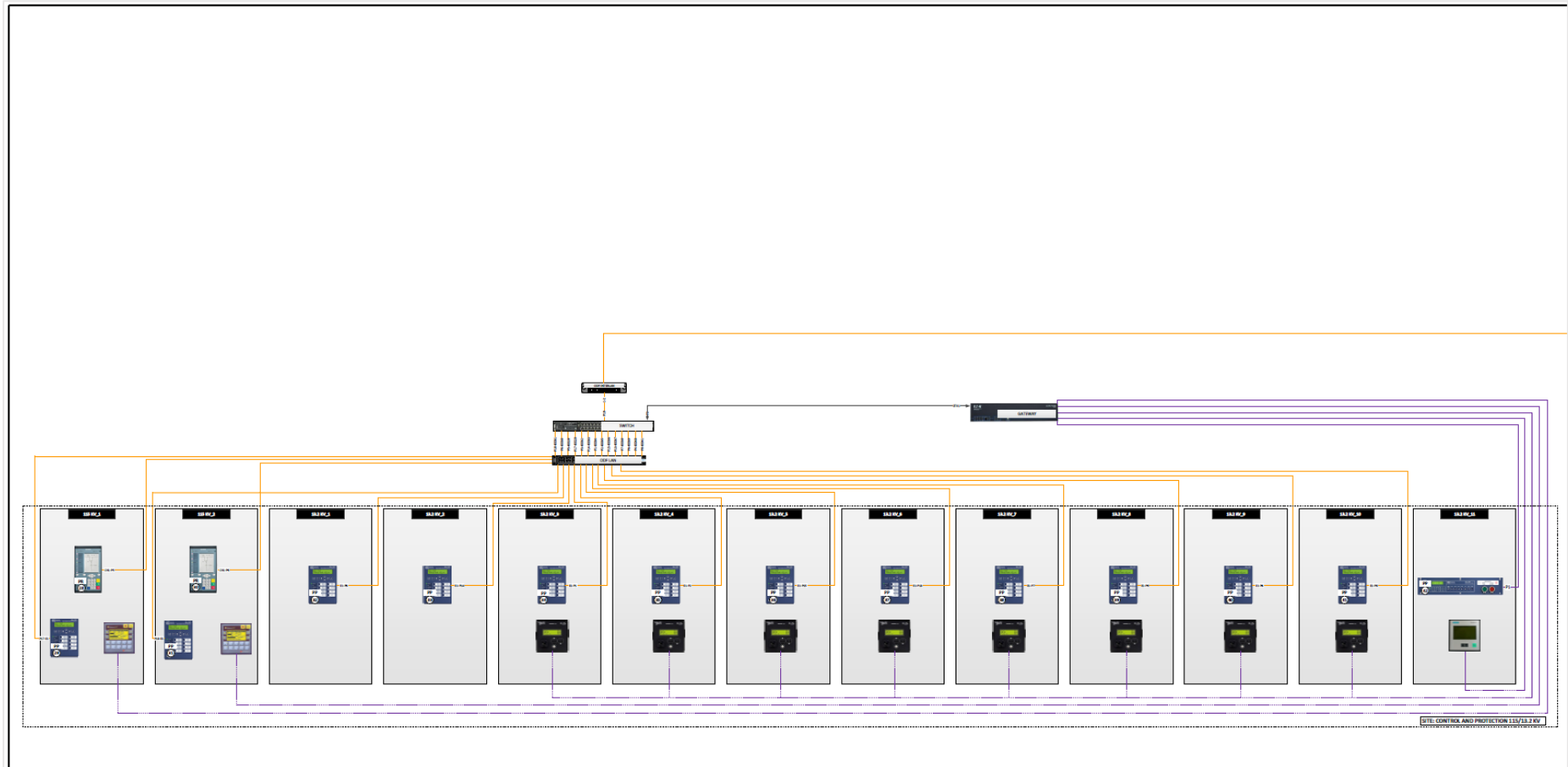
Igualmente, se hace énfasis en la comisión de los stakeholders en la visita a campo y que se relacionan a continuación: Gerente general de la empresa electrificadora, Jefe Unidad Gestión Operativa, Subgerente de Subestaciones & Líneas, Líder de Planeación de Infraestructura, Líder de Operación del Sistema T&D (Transmisión y distribución), Líder Mantenimiento Integral de Subestaciones & Líneas, Líder de Expansión Reposición y Soporte de Subestaciones & Líneas, Líder de Tecnologías de Operación, Líder de Calidad del Servicio y que mediante mesa técnica se define y acuerda el uso de:

- Fibra óptica estructurada OM3 50/125 de 6 y 12 hilos, el propósito es implementar medios de comunicación robustos con un tiempo de vida útil de 15 años,
- Patch Cords de fibra multimodo que se usan para interconectar los IEDs con los ODFs y ODFs a Switch son OM3 50/125 interfaz LC – LC, esto asegura la compatibilidad de los medios de extremo a extremo.
- ODFs de 6 y 12 hilos en los tableros de control
- ODFs de 48 hilos en el bus de proceso y estación.
- Rack de comunicaciones para red LAN A y B (estación y proceso).
- Rack de comunicaciones para red WAN.

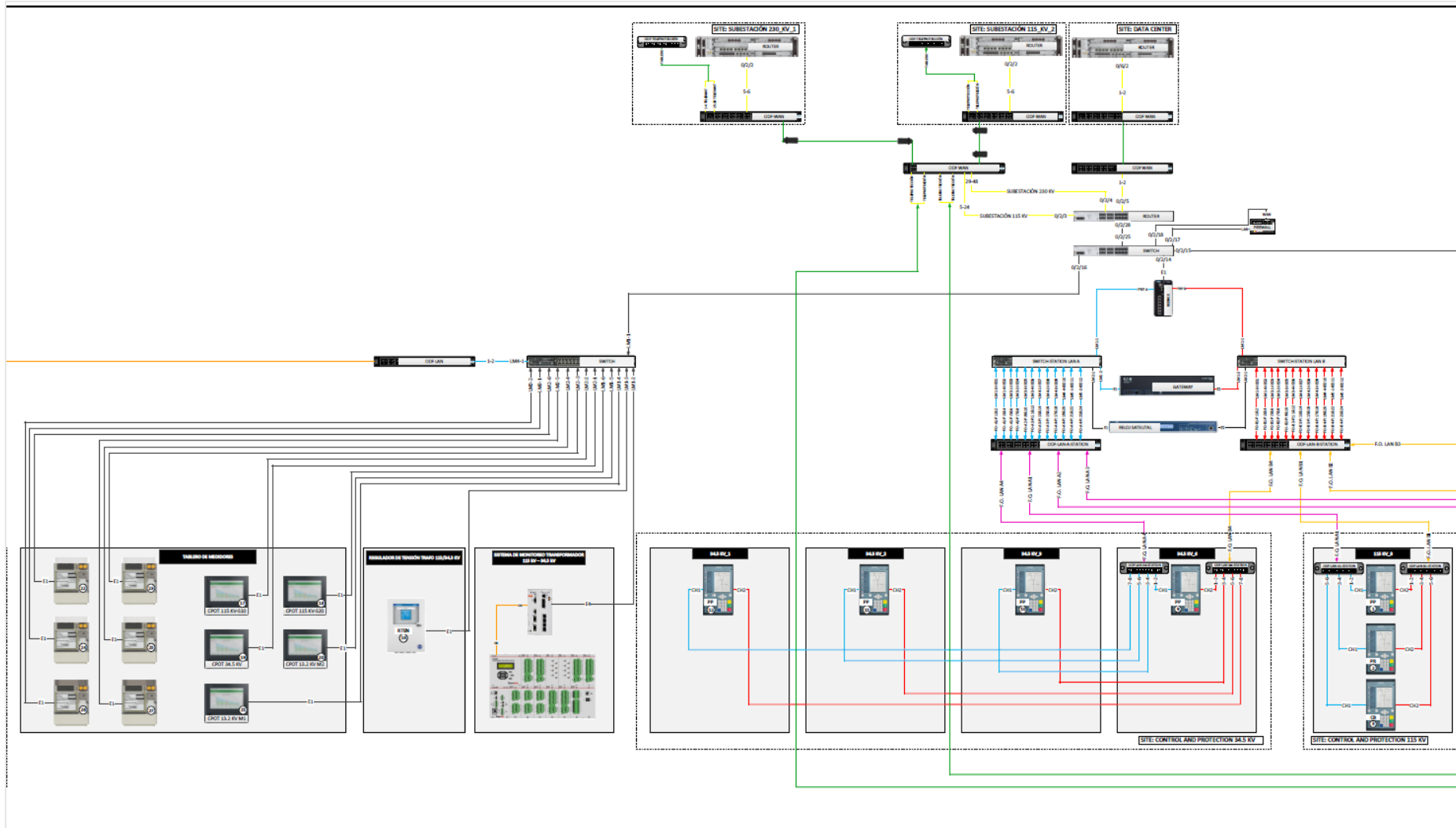
**Diseño el modelo de arquitectura redundante subestación eléctrica de Sevilla de CENS**

Teniendo definida la estructura arquitectónica y los componentes necesarios para el diseño de la redundancia, se articula los elementos necesarios para el modelo de arquitectura redundante de la subestación eléctrica objeto de estudio de este proyecto y que se expone en una manera ilustrativa a continuación (*Ver anexo 3*).

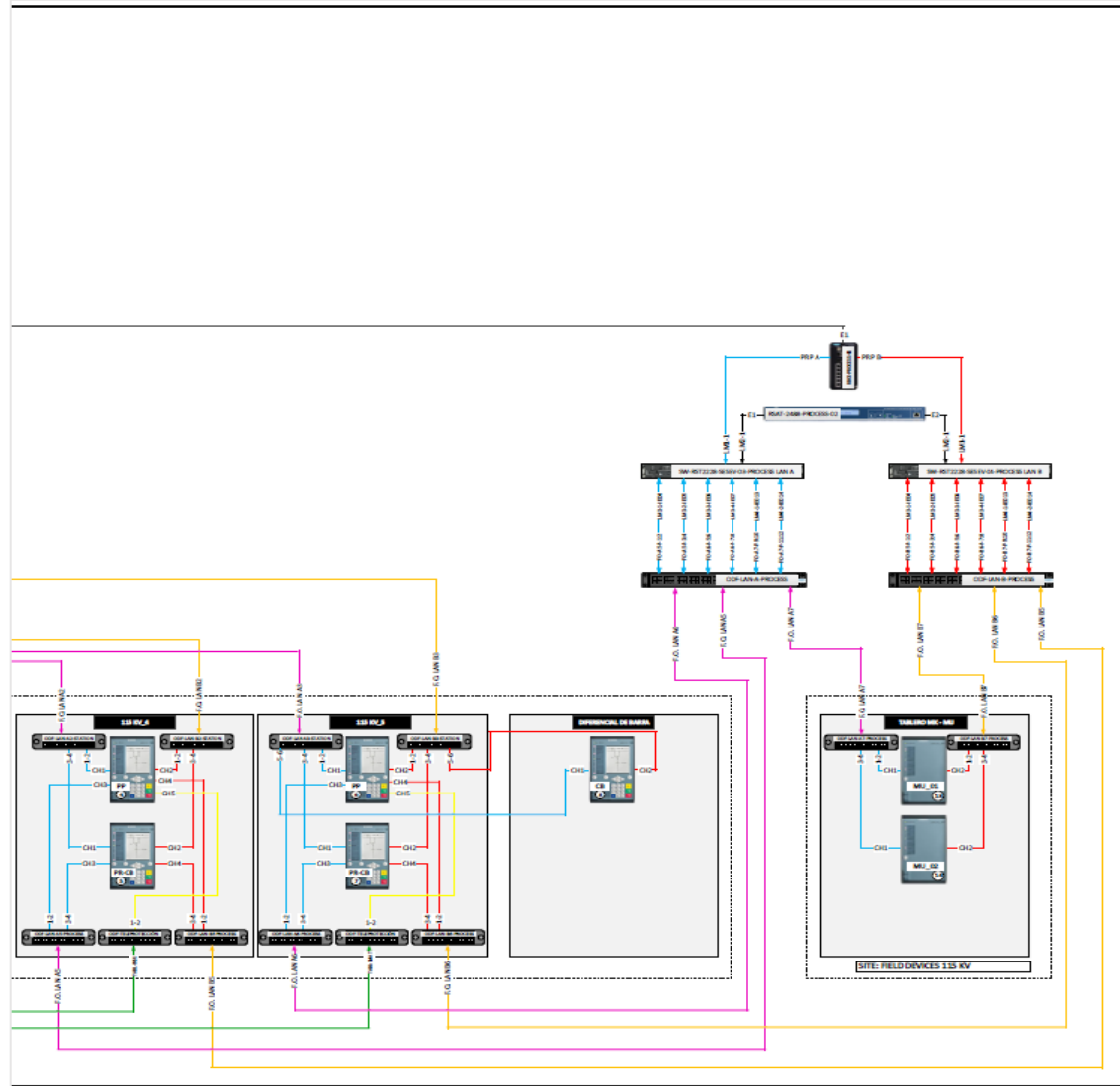
Ilustración 11. Diseño de arquitectura redundante



Nota: Parte 1 de 3 (Izquierda). Fuente, elaboración propia.



Nota: Parte 2 de 3 (Centro). Fuente, elaboración propia.



Nota: Parte 3 de 3 (Derecha). Fuente, elaboración propia.

### Ilustración 12. Tabla de convenciones de nuevo diagrama

NOMBRE DEL DIAGRAMA	DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN SUBESTACIÓN 115_KV_1			FECHA	15/08/2024
EQUIPO DE TRABAJO	EQUIPO DE PROYECTOS TO			VERSIÓN	2.0
ELABORADO POR	DANIEL JAVIER GIRADO GELVIS			DIVULGACIÓN	CONFIDENCIAL
CONVENCIONES - DEFINICIONES					
PATCH CORD DE COBRE LAN A	BH - BACKHAUL	PP - PROTECCIÓN PRINCIPAL	CPOT - MEDIDOR CALIDAD DE LA POTENCIA		
PATCH CORD DE COBRE LAN B	SW - SWITCH	PR - PROTECCIÓN RESPALDO	TMED - MEDIDOR TELEMEDIDA		
PATCH CORD DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO LAN A	RBOX - REDBOX	CB - CONTROLADOR DE BAHÍA	RECO - RECONECTADOR		
PATCH CORD DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO LAN B	FW - FIREWALL	DBAR - DIFERENCIAL DE BARRAS			
PATCH CORD DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO	CM - CONVERSOR DE MEDIO	RFAL - REGISTRADOR DE FALLAS			
FIBRA ÓPTICA OPGW	CP - CONVERSOR DE PROTOCOLO	AALA - ANUNCIADOR DE ALARMAS			
FIBRA ÓPTICA ADSS	GSM - MÓDEM INDUSTRIAL	RTEN - REGULADOR DE TENSIÓN TRAFIO			
F.O. ESTRUCTURADA LAN A	RSAT - RELOJ SATELITAL	PLC - CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE			
F.O. ESTRUCTURADA LAN B	GW - GATEWAY	TPRO - TELEPROTECCIÓN DE LÍNEA			
BUS DE DATOS SERIAL	IHM - INTERFAZ HUMANO MÁQUINA	LFAL - LOCALIZADOR DE FALLAS			

Nota: Arquitectura redundante. Fuente, elaboración propia.

Finalmente, se cumple con los objetivos específicos que permiten el logro del objetivo general de este proyecto presentados en medio magnético para mayor comprensión de cada uno de los elementos que lo componen. Así mismo, se aclara que a través de las mesas técnicas con el equipo de la empresa electrificadora se estableció que los tendidos de fibra OPGW no hacen parte del alcance del proyecto.

## Capítulo 5. Recomendaciones

- Cumplimiento del Acuerdo 1502 del CNO: Se debe realizar una auditoría detallada para identificar todas las áreas de incumplimiento y desarrollar un plan de acción para alinearse con los estándares establecidos.
- Integración de Router MPLS: Instalar un router adecuado para la integración MPLS, mejorando la comunicación y la gestión del tráfico de datos en la subestación.
- Actualización de Dispositivos Seriales: Aunque no son un obstáculo inmediato, se recomienda planificar la actualización de estos dispositivos para asegurar compatibilidad futura y mejorar la eficiencia operativa.
- Implementación de Segmentación de Red: Establecer una segmentación clara de la red por servicios para mejorar la seguridad y la operatividad. Esto incluye la implementación de VLANs y otras técnicas de segmentación adecuadas.
- Instalación de Reloj Satelital: Implementar un reloj satelital para asegurar la sincronización precisa de los relés y otros dispositivos de protección y control.
- Evaluación de Relés de 13.2 kV: Considerar una futura actualización de los relés de 13.2 kV para incluir protocolos redundantes nativos, mejorando así la confiabilidad y seguridad en todos los niveles de la subestación.

## Conclusiones

De acuerdo con el diagnóstico elaborado de la arquitectura existente de la subestación eléctrica de CENS ubicada en el sector de Sevilla de la ciudad de Cúcuta, se concluye que el sistema existente de dicha subestación eléctrica cuenta con viabilidad para ejecutar el alcance del proyecto sin restricciones y por el contrario permite implementar mejoras alineadas bajo cumplimiento regulatorios estándares internacionales, cumplimiento de políticas de ciber seguridad de infraestructura crítica.

Por otra parte, mediante la implementación del firewall propuesto en el modelo de arquitectura, se va garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los datos evitando que ciber atacantes internos o externos puedan vulnerar la red O.T con fines maliciosos que representen afectación en la prestación del servicio de energía.

Respecto al equipamiento tecnológico necesario para el diseño de la arquitectura redundante en la subestación eléctrica analizada, se concluye que existe una oportunidad mediante la implementación del router en comparación a la expansión de fibra, ya que con esta implementación se puede lograr una redundancia a través de la red WAN, contribuyendo así a la confiabilidad en los ciber activos de la subestación.

Finalmente, cabe resaltar que este modelo de arquitectura redundante no solamente está visionado para la garantizar la alta disponibilidad de los activos, sino que también sirve como una arquitectura compatible con subestaciones convencionales o análogas, permitiendo la interoperabilidad por lo que los operadores de red podrán continuar con la implementación de más bahías digitales.

## Referencias

- Arias (2012). *Diseño y metodología de la investigación*. Editorial Episteme -6 ed. Recuperado de: <https://blogs.ugto.mx/mdued/wp-content/uploads/sites/66/2022/10/Tipos-alcances-y-disenos-de-investigacion-paginas-66-79.pdf>
- Balboa, M., Alonso, S., Fuertes, J.J., Morán, A., Prada, M.A., Pérez, D., Domínguez, M. (2022). Armario para la formación en automatización y control de subestaciones eléctricas de tracción. XLIII Jornadas de Automática: libro de actas, pp.255-261 <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498418.0255>
- Carreño-Pérez, J. C., Morales-Rivera, J. P., & Rivas-Trujillo, E. (2019). Redundancia en Redes de Comunicación para la Automatización y Protección de Sistemas de Potencia Eléctrica con IEC 61850. *Información tecnológica*, 30(1), 75-86. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100075> .
- Carrillo González, M. A. (2022). Pruebas a equipos de protección contra sobretensiones en subestaciones eléctricas, dps. Recuperado de: [http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/6050/1/2021\\_ManuelCarrillo](http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/6050/1/2021_ManuelCarrillo)
- Cibersecurity Framework NIST. (2014)
- CNO 1502. (2021). Actualización de la guía de ciberseguridad para infraestructura crítica en Colombia.
- CREG015. (2018). *Metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional*.
- CREG038. (2014). Código de Medida.
- CREG024. (2005)
- Ibarra, M. (2018). Propuesta de una metodología que permita optimizar el uso de los recursos asociados al plan de mantenimiento de la subestación la ínsula de la empresa centrales eléctricas de Norte de Santander. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/10901/15399>

IEC 61850-1, Communication networks and systems in substations – Part 1: Introduction and overview.

IEC 61850-3, Communication networks and systems in substations – Part 3: General Requirements.

IEC 61850-4, Communication networks and systems in substations – Part 4: System and project management.

IEC 61850-6, Communication networks and systems in substations – Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs 3.

IEC 61850-7-1, Communication networks and systems in substations – Part 7-1: Basic Communication structure for substation and feeder equipment – Principles and models

IEC 61850-7-2, Communication networks and systems in substations – Part 7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Abstract communication service interface (ACSI).

IEC 61850-10 (2013). *Communication networks and systems in substations* – Part 10: Conformance testing 3.

IEC 61850 (2024). *Communication Networks and Systems For Power Utility Automation*.

IEC 62439-3 (2008).

International Business Machines [IBM], (s.f) *Qué es la infraestructura crítica*. IBM.

Recuperado el 12 de febrero de 2024 de: <https://www.ibm.com/mx-es/topics/critical-infraestructure>.

Fernaández, Lissette. (2005). ¿Cuáles son las técnicas de recogida de información? Artículo de revista Butlletí La Recerca. Universidad de Bracelona. Recuperado de:

<https://www.ub.edu/idp/web/sites/default/files/fitxes/ficha3-cast.pdf>

Ferrer Martín, S. (1958). *Investigación operativa*. Documentación Administrativa, (6), 7–18.

<https://doi.org/10.24965/da.vi6.956>

- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2014). Metodología de investigación. México: Mc
- Hurtado, J. (2010). Metodología de la investigación. Guía para la comprensión holística de la ciencia (4a ed.). Bogotá-Caracas: Ediciones Quirón
- Lamberth (2021). *Nunca es tarde en el espacio redundante*. Revista indexada. DOI 10.24192/2386-7027(2021)(v16)(06).
- Leal Piedrahita, Erwin Alejandro. (2020). *Agrupación jerárquica para detectar condiciones de tráfico anómalas en subestación eléctricas*. Ciencia en G. Neogranada (en línea) 2020, vol 30, n 1, pp 75-88. Publicación electrónica del 16 de agosto de 2020. ISSN 0124- 8170. Recuperado de: <https://doi.org/10.18359/rcin.4236> .
- León A. (2021). *Análisis de confiabilidad de las subestaciones de la empresa eléctrica regional centro sur*. Recuperado de: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10511>
- Martins, F., y Palella, S. (2006). Metodología de la investigación cuantitativa. FEDUPEL. Caracas. Venezuela.
- Martínez G. (2013). *Paradigma de la investigación*. Instituto nacional de salud pública. Recuperado de [https://pics.unison.mx/wp-content/uploads/2013/10/7\\_Paradigmas\\_de\\_investigacion\\_2013.pdf](https://pics.unison.mx/wp-content/uploads/2013/10/7_Paradigmas_de_investigacion_2013.pdf)
- Mata S, (2019). El enfoque cualitativo de investigación. Recuperado el 17 de julio de 2024 de: <https://investigaliacr.com/>.
- Ministerio de energía (s.f). *Energía eléctrica*. Recuperado el 14 de febrero de 2024 de: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/>
- Nerc CIP. (2006)
- Organización Internacional de Normalización. (2010). *Guía de responsabilidad social (ISO 26000)*. Tomado de: [https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/sp/PUB100258\\_sp.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/sp/PUB100258_sp.pdf)

Pérez Otavo, D. M. (2021). *Implementación de un plan de automatización, control y supervisión para los niveles de tensión de 34.5 kv y 13.8 kv de la S.E Arenal del Grupo EBSA*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/28334>.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD] (2024). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Recuperado el 15 de febrero de 2024 de: [https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals?gad\\_source=1&gclid=EA1aIQobChMI2J-YjJqhhAMV1zbUAR3BpArBEAAYAiAAEgIDKfD\\_BwE](https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals?gad_source=1&gclid=EA1aIQobChMI2J-YjJqhhAMV1zbUAR3BpArBEAAYAiAAEgIDKfD_BwE)

Ramos Peñuela, Francisco Javier. (2018). *Futuros sistemas embebidos en Smartgrid: nuevas aportaciones en unidades terminales remotas*. Granada: Universidad de Granada, 2018. [<http://hdl.handle.net/10481/53830>]

Real Calvo, J. (2016). *Integración De Dispositivos Electrónicos Inteligentes En Smart Grid*. Tesis doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. Recuperado de: <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/13646>

Sampieri (2006). *Metodología de la investigación*. Editorial McGrawHill - 6 ed.

Superintendencia de servicios. (2021). *Prestadores vigilados*. Recuperado de: <https://wa-reportsui.azurewebsites.net/home/report/6a860372-be01-47d7-9680-717e6c180f79>

Trashorras Montecelos, J. (2015). *Subestaciones eléctricas*. Paraninfo.1 ed. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OhKyBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=subestaci%C3%B3n+electrica&ots=TNgsfHCLen&sig=9HGk7MGaAjLNxKwds-zQ1rTO5Sc#v=onepage&q=subestaci%C3%B3n%20electrica&f=false>

Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME] (enero 2024). *Proyección de la demanda de energía eléctrica, potencia máxima y gas natural 2023 - 2037*. Recuperado de: <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia>

## **Anexos**

**Anexo 1.** Instrumento de recolección de datos.

**Anexo 2.** Diagnóstico CENS

**Anexo 3.** Diseño nueva arquitectura redundante