



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA

“IMPLEMENTACIÓN DE MENSAJERÍA GOOSE BAJO LA
NORMA IEC61850 EN RELÉS SEL PARA ESQUEMAS DE
PROTECCIÓN DE BARRA”

AUTORES

José Luis Yépez Nicola

Kevin Andrés Granda Bayas

DIRECTOR: Ing. Hólger Jorge Santillán Carranza, MBA,

GUAYAQUIL

2017

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **JOSÉ LUIS YÉPEZ NICOLA** y **KEVIN ANDRÉS GRANDA BAYAS**, autorizamos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, junio, 2017

Firma) _____

Autor: José Luis Yépez Nicola

Cédula: 0930496906

Firma) _____

Autor: Kevin Andrés Granda Bayas

Cédula: 0922036264

CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Nosotros, **JOSÉ LUIS YÉPEZ NICOLA**, con documento de identificación N° **0930496906**, y **KEVIN ANDRÉS GRANDA BAYAS**, con documento de identificación N° **0922036264**, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado “**IMPLEMENTACIÓN DE MENSAJERÍA GOOSE BAJO LA NORMA IEC61850 EN RELÉS SEL PARA ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE BARRA**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, junio, 2017

Firma) _____

Autor: José Luis Yépez Nicola

Cédula: 0930496906

Firma) _____

Autor: Kevin Andrés Granda Bayas

Cédula: 0922036264

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
SUSCRITO POR EL TUTOR**

Yo, **HÓLGER JORGE SANTILLÁN CARRANZA**, director del proyecto de Titulación denominado “**IMPLEMENTACIÓN DE MENSAJERÍA GOOSE BAJO LA NORMA IEC61850 EN RELÉS SEL PARA ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE BARRA**” realizado por los estudiantes, **JOSÉ LUIS YÉPEZ NICOLA** y **KEVIN ANDRÉS GRANDA BAYAS**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, junio, 2017

f).....

Hólger Jorge Santillán Carranza.

Ing. MBA,

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo a Dios, quien me acompañó y me dio las fuerzas para no desistir en ningún momento. Así mismo se lo dedico a mi abuelita Sonia y mi abuelito Roberto, a mi madre Lorena y padre Luis, a mis hermanos y a mi enamorada Belén por todo el apoyo, paciencia y consejos, los cuales me han formado durante todo este recorrido tanto como persona y profesional.

José Luis Yépez Nicola

Todo el esfuerzo plasmado en este trabajo quiero dedicárselo a Dios por bendecirme y poder concluir esta etapa importante en mi vida, por darme el conocimiento y la salud necesaria para nunca rendirme y dar todo para poder culminar este ciclo. A mi madre Gioconda y padre César; mis queridos abuelos Betty y Octavio, porque seguramente sin el apoyo fundamental de ellos y los valores que diariamente me han enseñado no sería la persona que ahora soy. A mi novia Michelle, por la alegría y cariño que me ha brindado desde que llegó a mi vida. A mis amigos y primos quienes siempre han estado ahí para aconsejarme y apoyarme en cada paso que daba.

Quiero decir que este título lo dedico a todas las personas mencionadas anteriormente porque cada una fueron esenciales para que yo siga avanzando académicamente y también como ser humano ya que estuvieron en los buenos momentos pero también en aquellos malos donde necesitaba a mi familia y amigos para sentir su apoyo incondicional.

Kevin Andrés Granda Bayas

AGRADECIMIENTOS

En este trabajo de titulación queremos dejar plasmados nuestros sinceros agradecimientos a Dios, por habernos dado la fuerza y sabiduría para nunca rendirnos, a los docentes que con esmero difundieron sus conocimientos en nosotros, al Ing. Alex Cazco, por habernos guiado en el camino de la honestidad, al Ing. Carlos Chávez, por habernos hecho tomar una de nuestras mejores decisiones de nuestras vidas al decidir estudiar esta carrera y a nuestro tutor el Ing. Hólger Santillán por habernos compartido su vasto conocimiento, sus consejos y su apoyo para poder culminar esta etapa.

José Luis Yépez Nicola

Kevin Andrés Granda Bayas

RESUMEN

Tema: IMPLEMENTACIÓN DE MENSAJERÍA GOOSE BAJO LA NORMA IEC61850 EN RELÉS SEL PARA ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE BARRA

Palabras Clave: SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA, ESQUEMA DE PROTECCIÓN, RELÉS DE PROTECCIÓN, SELECTIVIDAD, ETHERNET, SAS, IEC61850, GOOSE.

Este trabajo tiene como finalidad brindar al Ingeniero Eléctrico de Potencia, los conocimientos necesarios para poder implementar la norma IEC61850 en los relés marca SEL, debido a la tendencia que existe en la actualidad sobre la automatización e interoperabilidad de los equipos de una subestación eléctrica; y un notable crecimiento del uso de esta marca en las nuevas subestaciones en el Ecuador.

En este trabajo se expone una metodología, para la solución de un problema típico de una operación indeseada en un sistema de protección de barra. Se propone un esquema de protección de barra simple, basado en la aplicación de las técnicas de lógica programable que tienen todos los relés modernos (relés numéricos) y de la mensajería GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) basada en la norma IEC61850, utilizada para el intercambio de las señales de protección de todos los relés que intervienen en el sistema de protección, de tal manera que se determine si el fallo del sistema se encuentra en uno de los alimentadores de salida o en la barra. Demostrando que con la tecnología actual e implementando mensajes GOOSE podemos brindar un sistema de control de tiempo real, haciendo escaneos de la red cada vez que ocurra un evento, garantizando la selectividad y confiabilidad del esquema de protección y de todo el Sistema Eléctrico de Potencia (SEP).

ABSTRACT

Theme: IMPLEMENTATION OF GOOSE MESSAGING UNDER THE IEC61850
STANDARD ON SEL RELAYS FOR BUSBAR PROTECTION SCHEMES.

Keywords: ELECTRIC POWER SYSTEM, PROTECTION SCHEMES,
PROTECTIVE RELAYS, SELECTIVITY, ETHERNET, SAS, IEC61850,
GOOSE.

This work has the purpose of providing to the electric power engineer, the necessary knowledge to implement the command IEC61850 into the relays of the brand SEL, due to the trending that exist nowadays about the automation and interoperability of the equipment of the electric substation; and a noticeable growth in the use of this brand at the new substations in the Ecuador.

In the following work we expose a methodology, for the solution to a typical problem of an undesirable operation into a busbar protection system. We propose a protection scheme of busbar simple, based on the application of the logical programming techniques that every modern relays has (numerical relay) and the messenger service GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) based into the command IEC61850, used for the exchange of the protection signals of all the relays that intervene in the protection system, in such a way that it determinates if the failure in the system is found in one of the output feeders or in the bus. Proving that with the recent technology and the implementation of GOOSE messages we could provide a real time system control, making scans of the net each time that occur an incident, guaranteeing the reliability and selectivity of the protection scheme and all the Electric Power System (EPS).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| 1. EL PROBLEMA | 22 |
| 1.1. Descripción del problema | 22 |
| 1.2. Importancia y alcances | 22 |
| 1.3. Delimitación..... | 23 |
| 1.4. Objetivos..... | 23 |
| 1.4.1. Objetivo general..... | 23 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 23 |
| 1.5. Marco metodológico..... | 23 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 25 |
| 2.1. Introducción a Subestaciones Eléctricas | 25 |
| 2.2. Componentes básicos de una subestación..... | 26 |
| 2.2.1. Transformador de potencia..... | 26 |
| 2.2.2. Interruptores de potencia..... | 27 |
| 2.2.3. Seccionadores | 28 |
| 2.2.4. Transformador de potencial..... | 29 |
| 2.2.5. Transformador de corriente..... | 31 |
| 2.2.6. Apartarrayos..... | 32 |
| 2.2.7. Sistema de control..... | 33 |
| 2.2.8. Barra de distribución..... | 34 |
| 2.2.8.1. Barra simple..... | 34 |
| 2.2.8.2. Barra simple con by-pass..... | 34 |
| 2.2.8.3. Barra principal con transferencia..... | 35 |
| 2.2.8.4. Barra doble..... | 36 |
| 2.2.8.4. Barra doble con seccionador by-pass..... | 36 |
| 2.2.8.5. Barra doble más barra de transferencia..... | 37 |
| 2.3. Protecciones para sistemas eléctricos de potencia..... | 37 |
| 2.3.1. Fallas eléctricas..... | 38 |
| 2.3.1.1. Clases de fallas..... | 39 |
| 2.3.1.2. Consecuencia de las fallas..... | 39 |
| 2.3.2. Relés de protección..... | 39 |
| 2.3.3. Requisitos de protección..... | 42 |

| | |
|--|----|
| 2.3.4. Principio de operación. | 42 |
| 2.4. Automatización de subestaciones. | 43 |
| 2.4.1. Protocolos de comunicación. | 45 |
| 2.4.1.1. DNP 3.0..... | 45 |
| 2.4.1.2. MODBUS | 45 |
| 2.4.1.3. IEC 60870 | 46 |
| 3. NORMA IEC 61850 | 47 |
| 3.1. Norma IEC 61850..... | 47 |
| 3.2. Estructura de la norma IEC 61850..... | 47 |
| 3.3. Arquitectura de red bajo plataforma Ethernet..... | 48 |
| 3.4. Modelado de datos. | 50 |
| 3.4.1. Puntos de acceso. | 51 |
| 3.4.2. Equipos lógicos (Logical devices LD)..... | 51 |
| 3.4.3. Nodos lógicos (Logical nodes LN). | 51 |
| 3.4.4. Datos (Data Objects DO). | 52 |
| 3.5. Lenguaje de configuración de subestación (SCL). | 53 |
| 3.6. Mensajería GOOSE. | 54 |
| 3.7. Comparación del protocolo IEC 61850 y DNP3..... | 56 |
| 3.7.1 Ejemplo de aplicación del protocolo IEC61860. | 56 |
| 4. MANUAL DE IMPLEMENTACIÓN DE MENSAJERÍA GOOSE | 59 |
| 4.1. Herramientas de software..... | 60 |
| 4.1.1. AcSELeRator QuickSet (SEL-5030)..... | 61 |
| 4.1.2. AcSELeRator Architect (SEL-5032)..... | 62 |
| 4.1.2.1. AcSELeRator Architect – Menu File. | 64 |
| 4.1.2.1. AcSELeRator Architect – Menu Edit..... | 65 |
| 4.2. Relés de protección marca SEL. | 66 |
| 4.2.1. SEL-751 Relé de protección de alimentador. | 67 |
| 4.2.2. SEL-387E Relé diferencial de corriente y voltaje..... | 68 |
| 4.2.3. Verificación de la configuración de los IEDs. | 70 |
| 4.3. Implementación de la red LAN..... | 74 |
| 4.3.1. Diseño de la red LAN. | 75 |
| 4.3.2. Configuración de equipos. | 78 |
| 4.3.2.1 Identificación de la dirección IP en los IEDs SEL..... | 78 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.2.2. Configuración de la dirección IP de la PC..... | 81 |
| 4.3.2.3. Establecer comunicación entre IED y PC..... | 85 |
| 4.3.2.4. Verificación de la comunicación entre IED y PC..... | 89 |
| 4.3.2.5. Configuración de los parámetros de comunicación de los IED..... | 91 |
| 4.3.2.5.1 Configuración de los parámetros de comunicación de los IED desde el panel frontal. | 92 |
| 4.3.2.5.2. Configuración de los parámetros de comunicación de los IED con el software QuickSet AcSELerator..... | 93 |
| 4.4. Implementación de la norma IEC 61850 | 101 |
| 4.4.1. Creación de archivos SCD..... | 101 |
| 4.4.2. Agregar archivos CID al proyecto..... | 101 |
| 4.4.3. Creación y edición de DataSets..... | 105 |
| 4.4.3.1 Tipos de DataSets..... | 106 |
| 4.4.3.2. Edición de DataSets..... | 107 |
| 4.4.4. Reportes..... | 109 |
| 4.4.5. Ajuste de banda muerta (Dead Bands)..... | 110 |
| 4.4.6. GOOSE Transmit..... | 111 |
| 4.4.7. GOOSE Recieve..... | 112 |
| 4.4.8. Carga de archivo CID en los IED..... | 113 |
| 4.5. Escenarios para la implementación..... | 117 |
| 4.5.1. Prueba #1 – Lógica de control utilizando IEC61850-GOOSE..... | 117 |
| 4.5.1.1. Objetivo general..... | 117 |
| 4.5.1.2. Objetivos específicos..... | 117 |
| 4.5.1.3. Descripción y funcionamiento..... | 117 |
| 4.5.1.4. Materiales y equipos..... | 118 |
| 4.5.1.5. Desarrollo..... | 118 |
| 4.5.1.6. Mapeo de Datos..... | 120 |
| 4.5.1.7. Lógica de control SELogic..... | 123 |
| 4.5.1.8. Conclusiones – Prueba #1..... | 124 |
| 4.5.1.9. Recomendaciones – Prueba #1..... | 124 |
| 4.5.2. Prueba #2 – Maniobras dentro de una subestación utilizando IEC61850-GOOSE..... | 125 |
| 4.5.2.1. Objetivo general..... | 125 |
| 4.5.2.2. Objetivos específicos..... | 125 |
| 4.5.2.3. Descripción y funcionamiento..... | 125 |

| | |
|---|-----|
| 4.5.2.4. Materiales y equipos. | 127 |
| 4.5.2.5. Desarrollo..... | 127 |
| 4.5.2.6. Mapeo de datos. | 132 |
| 4.5.2.7. Lógica de control SELogic. | 135 |
| 4.5.2.8. Conclusiones – Prueba #2..... | 137 |
| 4.5.2.9. Recomendaciones – Prueba #2..... | 137 |
| 4.5.3. Prueba #3 – Esquema de protección de barra simple..... | 138 |
| 4.5.3.1. Objetivo general..... | 138 |
| 4.5.3.2. Objetivos específicos | 138 |
| 4.5.3.3. Descripción y funcionamiento. | 138 |
| 4.5.3.4. Materiales y equipos. | 138 |
| 4.5.3.5. Desarrollo..... | 138 |
| 4.5.3.5.1. Esquema de protección de barra convencional. | 138 |
| 4.5.3.5.1.1. Ajustes de los IEDs de sobrecorriente temporizados. | 141 |
| 4.5.3.5.1.2. Curvas de coordinación de protecciones..... | 142 |
| 4.5.3.5.2. Esquema de protección de barra con IEC61850-GOOSE..... | 143 |
| 4.5.3.5.2.1. Función de sobrecorriente instantánea 50P1P..... | 143 |
| 4.5.3.5.2.2. Función de sobrecorriente temporizada 51P1P..... | 146 |
| 4.5.2.6. Mapeo de datos. | 147 |
| 4.5.2.7. Lógica de control SELogic. | 149 |
| 4.5.1.8. Conclusiones – Prueba #3..... | 151 |
| 4.5.1.9. Recomendaciones – Prueba #3..... | 152 |
| 5. CONCLUSIONES | 153 |
| 6. RECOMENDACIONES | 154 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA | 155 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1: TIPOS DE SUBESTACIONES EN UN SEP | 25 |
| FIGURA 2: SIMBOLOGÍA DE COMPONENTE DE UNA SUBESTACIÓN..... | 26 |
| FIGURA 3: TRANSFORMADOR DE POTENCIA..... | 27 |
| FIGURA 4: INTERRUPTOR DE TANQUE MUERTO..... | 28 |
| FIGURA 5: INTERRUPTOR DE TANQUE VIVO | 28 |
| FIGURA 6: SECCIONADORES..... | 29 |
| FIGURA 7: TRANSFORMADOR DE TENSIÓN INDUCTIVO | 30 |
| FIGURA 8: TRANSFORMADOR DE TENSIÓN CAPACITIVO | 31 |
| FIGURA 9: TRANSFORMADOR DE CORRIENTE | 31 |
| FIGURA 10: COMPORTAMIENTO DE SOBRECORRIENTE EN TRANSFORMADORES DE CORRIENTE..... | 32 |
| FIGURA 11: APARTARRAYOS. | 33 |
| FIGURA 12: BARRA SIMPLE..... | 34 |
| FIGURA 13: BARRA SIMPLE CON BY-PASS..... | 35 |
| FIGURA 14: BARRA PRINCIPAL CON BARRA DE TRANSFERENCIA. | 35 |
| FIGURA 15: BARRA DOBLE..... | 36 |
| FIGURA 16: BARRA DOBLE CON SECCIONADOR BY-PASS | 36 |
| FIGURA 17: BARRA DOBLE MÁS BARRA DE TRANSFERENCIA. | 37 |
| FIGURA 18: TIPOS DE CORTOCIRCUITO..... | 38 |
| FIGURA 19: FRECUENCIA DE FALLAS POR CORTOCIRCUITO | 39 |
| FIGURA 20: SISTEMAS DE PROTECCIÓN. | 40 |
| FIGURA 21: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL 751 (PARTE FRONTAL)..... | 40 |
| FIGURA 22: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL 751 (PARTE POSTERIOR) | 41 |
| FIGURA 23: CIRCUITO DE CONTROL..... | 41 |
| FIGURA 24: ZONAS DE PROTECCIÓN DE UN SEP | 42 |
| FIGURA 25: ZONAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA Y DE RESPALDO..... | 43 |
| FIGURA 26: NIVELES DE OPERACIÓN EN LA AUTOMATIZACIÓN DE SUBESTACIONES | 44 |
| FIGURA 27: ESTRUCTURA DE LA NORMA IEC 61850..... | 48 |
| FIGURA 28: MAPEO DE LOS MENSAJES EN EL MODELO TCP/IP UTILIZADOS EN UNA RED IEC 61850 | 49 |
| FIGURA 29: MODELADO DE INTERFAZ DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE SUBESTACIONES (SAS) | 50 |
| FIGURA 30: MODELADO DE INFORMACIÓN | 51 |
| FIGURA 31: ENLACE ENTRE NODOS LÓGICOS | 52 |
| FIGURA 32: ESTRUCTURA GENERAL DE UN DATO..... | 53 |
| FIGURA 33: MENSAJE GOOSE CON PRIORIDAD | 55 |
| FIGURA 34: TIEMPOS PARA TRANSMISIÓN DE GOOSE | 55 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 35: ANTIGUO CABLEADO DE COBRE – SUBESTACIÓN GUARUJÁ - BRASIL | 57 |
| FIGURA 36: REEMPLAZO DEL CABLEADO DE COBRE CON FIBRA ÓPTICA – SUBESTACIÓN GUARUJÁ - BRASIL..... | 58 |
| FIGURA 37: FORMULARIO DE REGISTRO CUENTA MYSEL..... | 60 |
| FIGURA 38: DESCARGA DE SOFTWARE DESDE SITIO WEB | 61 |
| FIGURA 39: SEL 5030 ACSELERATOR QUICKSET | 61 |
| FIGURA 40: PANTALLA PRINCIPAL - SEL 5030 ACSELERATOR QUICKSET | 62 |
| FIGURA 41: SEL 5032 ACSELERATOR ARCHITECT..... | 63 |
| FIGURA 42: PANTALLA PRINCIPAL - SEL 5032 ACSELERATOR ARCHITECT..... | 64 |
| FIGURA 43: FILE - SEL 5032 ACSELERATOR ARCHITECT..... | 64 |
| FIGURA 44: DESCARGA O CARGA DE ARCHIVO .CID | 65 |
| FIGURA 45: EDIT - SEL 5032 ACSELERATOR ARCHITECT | 65 |
| FIGURA 46: PREFERENCES - SEL 5032 ACSELERATOR ARCHITECT..... | 66 |
| FIGURA 47: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL-751 (PARTE FRONTAL) | 67 |
| FIGURA 48: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL-751 (PARTE POSTERIOR)..... | 67 |
| FIGURA 49: FUNCIONES DE PROTECCIÓN DEL RELÉ SEL-751..... | 68 |
| FIGURA 50: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL-387E | 68 |
| FIGURA 51: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL-387E (PARTE FRONTAL Y POSTERIOR) | 69 |
| FIGURA 52: FUNCIONES DE PROTECCIÓN DEL RELÉ SEL-387E | 69 |
| FIGURA 53: NÚMERO DE PARTE – IED 387E | 70 |
| FIGURA 54: PÁGINA PRINCIPAL SELINC | 70 |
| FIGURA 55: BUSCAR – 387E | 71 |
| FIGURA 56: PÁGINA DEL PRODUCTO SEL 387E..... | 71 |
| FIGURA 57: CONFIGURACIÓN – 387E-A..... | 72 |
| FIGURA 58: CONFIGURACIÓN – 387E-B | 72 |
| FIGURA 59: CONFIGURACIÓN – 387E-C | 73 |
| FIGURA 60: CONFIGURACIONES DEL RELÉ SEL-387E | 73 |
| FIGURA 61: CONFIGURACIONES DEL RELÉ SEL-751..... | 74 |
| FIGURA 62: IEDS EN EL ESQUEMA DE PROTECCIÓN..... | 75 |
| FIGURA 63: TOPOLOGÍA DE RED EN ESTRELLA SIMPLE | 77 |
| FIGURA 64: TOPOLOGÍA DE RED EN ANILLO | 77 |
| FIGURA 65: TOPOLOGÍA DE RED EN ESTRELLA DOBLE | 77 |
| FIGURA 66: TOPOLOGÍA A IMPLEMENTAR – ESTRELLA SIMPLE..... | 78 |
| FIGURA 67: BOTONES DE NAVEGACIÓN, ESC Y ENT | 78 |
| FIGURA 68: MATRIZ ALFANUMÉRICA..... | 79 |
| FIGURA 69: MENÚ DE CONFIGURACIÓN PORT | 79 |
| FIGURA 70: IDENTIFICACIÓN DE LA DIRECCIÓN IP DESDE EL PANEL FRONTAL... 80 | |
| FIGURA 71: OCTETOS DIRECCIÓN IP | 81 |
| FIGURA 72: PANEL DE CONTROL..... | 82 |
| FIGURA 73: CENTRO DE REDES Y RECURSOS COMPARTIDOS..... | 82 |
| FIGURA 74: CAMBIO DE CONFIGURACIÓN DEL ADAPTADOR..... | 83 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 75: PROPIEDADES DE CONEXIÓN DE ÁREA LOCAL | 83 |
| FIGURA 76: PROPIEDADES PROTOCOLO DE INTERNET (POR DEFECTO) | 84 |
| FIGURA 77: PROPIEDADES PROTOCOLO DE INTERNET | 84 |
| FIGURA 78: CONEXIÓN DE PATCH CORD EN IED Y PC..... | 85 |
| FIGURA 79: ACSELERATOR QUICKSET – SUBMENÚ “COMUNICACIONES” | 85 |
| FIGURA 80: PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN – TIPO RED | 86 |
| FIGURA 81: PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN – TIPO RED – IED1..... | 88 |
| FIGURA 82: CONEXIÓN ENTRE IED Y PC | 88 |
| FIGURA 83: COMANDO CMD..... | 89 |
| FIGURA 84: COMANDO PING..... | 90 |
| FIGURA 85: RESULTADOS DEL COMANDO PING | 90 |
| FIGURA 86: RESULTADOS DE ERROR DEL COMANDO PING | 91 |
| FIGURA 87: CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN DESDE EL PANEL FRONTAL | 93 |
| FIGURA 88: DIRECCIÓN IP DE LA PC..... | 94 |
| FIGURA 89: RESULTADOS DEL COMANDO PING | 94 |
| FIGURA 90: CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA COMUNICACIÓN | 95 |
| FIGURA 91: ESTABLECIENDO LA COMUNICACIÓN | 95 |
| FIGURA 92: COMUNICACIÓN ENTRE IED Y PC..... | 96 |
| FIGURA 93: DESCARGA DE INFORMACIÓN DEL IED-A | 96 |
| FIGURA 94: DESCARGA DE INFORMACIÓN DEL IED-B | 96 |
| FIGURA 95: SEL – 751 SETTINGS..... | 97 |
| FIGURA 96: GRUPO DE AJUSTE PUERTO 1..... | 97 |
| FIGURA 97: PARÁMETROS INICIALES DE LA RED DE COMUNICACIÓN | 98 |
| FIGURA 98: NUEVOS PARÁMETROS DE LA RED DE COMUNICACIÓN | 98 |
| FIGURA 99: CARGAR ARCHIVO DE CONFIGURACIÓN AL IED..... | 98 |
| FIGURA 100: GRUPO DE AJUSTES A CARGAR EN EL IED..... | 99 |
| FIGURA 101: CONFIRMACIÓN PARA ENVIAR NUEVOS PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN | 99 |
| FIGURA 102: DESCONEXIÓN DE IED DESPUÉS DE CARGAR LOS AJUSTES | 100 |
| FIGURA 103 IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RED DESDE EL PANEL FRONTAL | 100 |
| FIGURA 104: PANTALLA PRINCIPAL DEL SOFTWARE SEL ACSELERATOR ARCHITECT | 101 |
| FIGURA 105: SELECCIÓN DEL IED | 102 |
| FIGURA 106: DEFINICIÓN DE LA VERSIÓN DE SOFTWARE..... | 102 |
| FIGURA 107: APÉNDICE A – SEL 751..... | 103 |
| FIGURA 108: SELECCIÓN DEL TIPO DE COMANDO DE CONTROL | 103 |
| FIGURA 109: CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA RED DEL IED 1 | 104 |
| FIGURA 110: CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA RED DEL IED 3 | 105 |
| FIGURA 111: DATASETS – ACSELERATOR ARCHITECT | 106 |
| FIGURA 112: EDICIÓN DATASET13 | 107 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 113: CUADRO DE ADVERTENCIA – EDICIÓN DE DATASET | 107 |
| FIGURA 114: PANTALLA DE EDICIÓN DE DATASET | 108 |
| FIGURA 115: PANTALLA DE EDICIÓN DE DATASET – ESTRUCTURA DE DATOS... .. | 108 |
| FIGURA 116: PANTALLA DE EDICIÓN DE DATASET – GUARDAR CAMBIOS | 109 |
| FIGURA 117: REPORT – ACSELERATOR ARCHITECT | 110 |
| FIGURA 118: DEAD BANDS – ACSELERATOR ARCHITECT | 110 |
| FIGURA 119: GOOSE TRANSMIT – ACSELERATOR ARCHITECT | 111 |
| FIGURA 120: GOOSE RECIEVE – ACSELERATOR ARCHITECT | 112 |
| FIGURA 121: ASIGNAR INFORMACIÓN A LOS VIRTUAL BITS | 113 |
| FIGURA 122: SEL 5032 – SEND CID | 114 |
| FIGURA 123: SEL 5032 – CONFIRMACIÓN DE CONFIGURACIÓN DE RED | 114 |
| FIGURA 124: SEL 5032 – ENVIAR CID AL IED..... | 115 |
| FIGURA 125: SEL 5032 – CARGA DEL ARCHIVO CID COMPLETADA..... | 115 |
| FIGURA 126: SEL 5032 – ERROR AL CARGAR EL ARCHIVO CID-A | 116 |
| FIGURA 127: SEL 5032 – ERROR AL CARGAR EL ARCHIVO CID-B | 116 |
| FIGURA 128: PANEL FRONTAL – PUSHBUTTON..... | 117 |
| FIGURA 129: GRÁFICA LÓGICA1 | 117 |
| FIGURA 130: PRUEBA1 - A..... | 118 |
| FIGURA 131: PRUEBA1– IED1 | 119 |
| FIGURA 132: PRUEBA1 – IED2 | 119 |
| FIGURA 133: PRUEBA1 – IED3 | 120 |
| FIGURA 134: DISPOSITIVOS LÓGICOS | 120 |
| FIGURA 135: NODOS LÓGICOS..... | 121 |
| FIGURA 136: SEL 5032 – EDICIÓN DATASET13..... | 121 |
| FIGURA 137: PRUEBA1 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE IED1 | 122 |
| FIGURA 138: PRUEBA1 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE IED2 | 122 |
| FIGURA 139: PRUEBA1 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE IED3 | 123 |
| FIGURA 140: PRUEBA1 SEL 5030 – LÓGICA IED1 | 123 |
| FIGURA 141: PRUEBA1 SEL 5030 – LÓGICA IED2 | 123 |
| FIGURA 142: PRUEBA1 SEL 5030 – LÓGICA IED3 | 124 |
| FIGURA 143: SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA..... | 125 |
| FIGURA 144: PRUEBA2 – INDICADORES LED | 126 |
| FIGURA 145: PRUEBA2 – TABLERO DE SEÑALES..... | 127 |
| FIGURA 146: PRUEBA2 – IED4 – CONCENTRADOR DE SEÑALES..... | 128 |
| FIGURA 147: PRUEBA2 – CABLEADO DE LAS SEÑALES..... | 128 |
| FIGURA 148: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-1A..... | 129 |
| FIGURA 149: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-1B..... | 130 |
| FIGURA 150: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-2A..... | 130 |
| FIGURA 151: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-2B..... | 131 |
| FIGURA 152: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-3A..... | 132 |
| FIGURA 153: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-3B..... | 132 |
| FIGURA 154: DISPOSITIVOS LÓGICOS | 133 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 155: NODOS LÓGICOS ANN..... | 133 |
| FIGURA 156: PRUEBA2 SEL 5032 – EDICIÓN DATASET13 – IED4..... | 134 |
| FIGURA 157: PRUEBA2 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE-IED1..... | 134 |
| FIGURA 158: PRUEBA2 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE-IED2..... | 135 |
| FIGURA 159: PRUEBA2 SEL 5032– GOOSE RECEIVE-IED3..... | 135 |
| FIGURA 160: PRUEBA2 SEL 5030 – LÓGICA IED1 | 136 |
| FIGURA 161: PRUEBA2 SEL 5030 – LÓGICA IED4 | 136 |
| FIGURA 162: PRUEBA2 SEL 5030– LÓGICA IED2 | 136 |
| FIGURA 163: PRUEBA2 SEL 5030 – LÓGICA IED3 | 137 |
| FIGURA 164: PRUEBA3 – CONFIGURACIÓN BARRA SIMPLE..... | 139 |
| FIGURA 165: PRUEBA3 - ECUACIONES DE TIEMPO DE DISPAROS..... | 139 |
| FIGURA 166: PRUEBA3 - IEC CLASS B CURVE (VERY INVERSE) C2..... | 140 |
| FIGURA 167: PRUEBA3 – COORDINACIÓN DE CURVAS C2..... | 142 |
| FIGURA 168: PRUEBA3 – FALLA ALIMENTADOR1-A..... | 143 |
| FIGURA 169: PRUEBA3 – DESPEJE DE FALLA ALIMENTADOR1-A | 144 |
| FIGURA 170: PRUEBA3 – FALLA EN LA BARRA-A | 145 |
| FIGURA 171: PRUEBA3 – DESPEJE DE FALLA EN LA BARRA-1 | 145 |
| FIGURA 172: PRUEBA3 – SOBRECORRIENTE TEMPORIZADA – 51P1P IED2..... | 146 |
| FIGURA 173: PRUEBA3 – SOBRECORRIENTE TEMPORIZADA – 51P1P IED2 - IED1 | 146 |
| FIGURA 174: DISPOSITIVOS LÓGICOS | 147 |
| FIGURA 175: NODO LÓGICO PRO | 147 |
| FIGURA 176: PRUEBA3 SEL 5032 – EDICIÓN DATASET13 | 148 |
| FIGURA 177: PRUEBA3 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE-IED1..... | 148 |
| FIGURA 178: PRUEBA3 SEL 5032– GOOSE RECEIVE IED2 | 149 |
| FIGURA 179: PRUEBA3 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE IED3 | 149 |
| FIGURA 180: PRUEBA3 SEL 5030 – LÓGICA IED1 | 150 |
| FIGURA 181: PRUEBA3 SEL 5030 – LÓGICA IED2 | 150 |
| FIGURA 182: PRUEBA3 SEL 5030 – LÓGICA IED3 | 151 |
| FIGURA 183: CABLEADO DE SEÑALES | 160 |
| FIGURA 184: MONTAJE DE EQUIPOS EN PLAFÓN | 161 |
| FIGURA 185: MONTAJE DE EQUIPOS EN TABLEROS | 161 |
| FIGURA 186: FALLA EN ALIMENTADOR DE SALIDA 2 – 50P – APLICANDO METODOLOGÍA GOOSE..... | 163 |
| FIGURA 187: FALLA EN ALIMENTADOR DE SALIDA 2 – 50P – APLICANDO METODOLOGÍA CONVENCIONAL | 163 |
| FIGURA 188: FALLA EN LA BARRA – 50P – APLICANDO METODOLOGÍA GOOSE . | 163 |
| FIGURA 189: FALLA EN LA BARRA – 50P – APLICANDO METODOLOGÍA CONVENCIONAL..... | 164 |
| FIGURA 190: FALLA EN ALIMENTADOR DE SALIDA 2 – 50P Y BREAKER FAIL TRIP IED3 – BFT - APLICANDO METODOLOGÍA CONVENCIONAL | 164 |
| FIGURA 191: FALLA EN ALIMENTADOR DE SALIDA 2 – 50P Y BREAKER FAIL TRIP IED3 – BFT - APLICANDO METODOLOGÍA GOOSE | 164 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| TABLA1: PRIORIDAD DE LOS MENSAJES EN UNA RED DEFINIDO POR LA NORMA IEC 61850 | 50 |
| TABLA2: NODOS LÓGICOS | 52 |
| TABLA3: COMPARACIÓN DE PROTOCOLOS IEC 61850 Y DNP3 | 56 |
| TABLA4: INFORMACIÓN DE LOS IEDS | 70 |
| TABLA5: INFORMACIÓN DE LOS EQUIPOS | 76 |
| TABLA6: CLASES DE DIRECCIÓN IP..... | 81 |
| TABLA7: DIRECCIÓN IP IED - PC..... | 81 |
| TABLA8: PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE RED - TELNET | 87 |
| TABLA9: PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE CADA IED..... | 92 |
| TABLA10: INDICADORES LED – IED 751-1 | 126 |
| TABLA11: INDICADORES LED – IED 751-2/3 | 126 |
| TABLA12: DATOS DE LA CARGA DE PRUEBA | 141 |
| TABLA13: AJUSTES DE PARÁMETROS DE SOBRECORRIENTE..... | 141 |
| TABLA14: PRUEBA3 – TIEMPOS DE DISPARO CURVAS C2 | 142 |
| TABLA15: LISTADO DE MATERIALES – TABLERO DE SEÑALES | 160 |

ABREVIATURAS

| | |
|---------------|--|
| ANSI | American National Standard Institute |
| SEP | Sistema Eléctrico de Potencia |
| SEL | Schweitzer Engineering Laboratories |
| GOOSE | Generic Object Oriented Substation Events. |
| GPS | Global Positioning System. |
| IEC | International Electrotechnical Commission. |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineering |
| IED | Intelligent Electronic Devices. |
| ISO | International Standard Organization |
| LAN | Local Area Network |
| TCP/IP | Transmission control protocol/internet protocol. |
| SAS | Sistema de Automatización de subestaciones. |
| SCADA | Sistema de supervisión y control de adquisición de datos |
| KV | Kilo voltios |
| KVA | Kilo voltios amperios |
| MVA | Mega voltios amperios |
| TC | Transformador de corriente |
| TP | Transformador de potencial |
| Cu | Cobre |
| AWG | Calibre de alambre estadounidense |

VARIABLES Y SIMBOLOGÍA

| | |
|-----------------------|------------------------------------|
| V | Voltaje |
| f | Frecuencia |
| I | Corriente |
| I_{cc} | Corriente de cortocircuito |
| L | Inductancia |
| C | Capacitancia |
| R | Resistencia |
| X | Reactancia |
| X_C | Reactancia capacitiva |
| X_L | Reactancia inductiva |
| Z_{cc} | Impedancia de cortocircuito |
| 50 | Protección instantánea |
| 51 | Protección contra sobrecorriente |
| 52 | Nomenclatura ANSI para Interruptor |
| 89 | Nomenclatura ANSI para seccionador |
| 87 | Protección diferencial |

INTRODUCCIÓN

El tema del presente proyecto de titulación es “Implementación de mensajería GOOSE bajo la norma IEC61850 en relés SEL para esquemas de protección de barra”, el cual consiste en demostrar que con la tecnología actual e implementando el protocolo IEC61850 – GOOSE podemos brindar un sistema de control a tiempo real, haciendo escaneos de la red cada vez que ocurra un evento, garantizando la selectividad y confiabilidad del esquema de protección y de todo el Sistema eléctrico de potencia (SEP).

En la actualidad no hay suficiente información sobre la implementación de la norma IEC61850 en los relés marca SEL, por lo que en este trabajo se realizará un estudio técnico-práctico utilizando los relés marca SEL disponibles en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, para implementar un esquema de protección de barra y simular otros escenarios de una subestación; además de redactar un manual en donde detallaremos los pasos, las herramientas y las configuraciones realizadas a cada equipo para poder establecer la comunicación e implementar el protocolo.

Para ejecutar este proyecto, hubo que establecer cuatro etapas notables; diseño, experimentación, análisis de resultados y documentación, cada una, precedente de la otra.

Este proyecto también hará énfasis en los detalles más relevantes para poder implementar una red LAN, además de enfocarse en el estudio y calibración adecuada de los parámetros de comunicación para cada relé de protección de sobrecorriente SEL-751 y protección diferencial SEL-387E.

El primer capítulo trata sobre el problema, donde se establece el propósito principal de este trabajo; así mismo, se define el alcance del proyecto y sus beneficios hacia la sociedad; por último, se delimitan los objetivos principales y específicos.

En el segundo capítulo, se recopila la información más relevante con respecto al marco teórico dando énfasis a los sistemas eléctricos de potencia y los esquemas de protección con relés.

En el tercer capítulo, revisaremos la Norma IEC 61850, con la finalidad de comprender la estructura de la norma, los tipos de datos y los métodos de comunicación disponible.

En el cuarto capítulo se redactará un manual para la implementación del protocolo IEC61850 - GOOSE utilizando los IEDs SEL, en donde se detallarán cada una de las herramientas de software, características de equipos, el mapeo de datos y los escenarios en donde se demostrará su funcionamiento.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Los esquemas de protecciones para los SEP modernos, deben ser capaces de despejar una falla lo más rápido posible, siempre conservando los criterios de seguridad, selectividad y fiabilidad ante estos sistemas que cada vez son más complejos y robustos; con el objetivo de garantizar la seguridad de las personas, medio ambiente, equipos y reducir los posibles impactos al sistema.

En el caso de una falla en la barra de una subestación de energía eléctrica, se presentarán grandes corrientes de cortocircuito que pueden generar esfuerzos eléctricos y mecánicos importantes sobre todos los equipos instalados en la subestación, así como poner en riesgo la seguridad de las personas y la estabilidad del sistema; por lo que se debe diseñar un esquema de protección de barra que sea rápido, seguro, selectivo, fiable, sensible para la detección de fallas internas y estables ante fallas externas. Un disparo indeseado ante una falla externa en el esquema de protección puede ocasionar un enorme impacto sobre todo el sistema de potencia ya que este se vuelve poco confiable.

En la actualidad existe una gran tendencia a la automatización de las subestaciones eléctricas, esta tendencia ha llevado a buscar una arquitectura de comunicación que nos permita tener una interoperabilidad entre los diferentes dispositivos inteligentes electrónicos (IEDs) que intervienen en las operaciones de control, medición y protección de una subestación.

Las comunicaciones entre IEDs típicamente han sido realizadas mediante la utilización de la lógica de contactos, es decir, cablear las entradas y salidas de los diferentes IEDs, y comunicaciones del tipo serial. La aplicación de estos sistemas no son prácticas para las nuevas subestaciones, ya que son poco flexibles para la cantidad de equipos que intervienen en la subestación.

Los IEDs SEL, están ganando cada vez más terreno en nuestro medio, por ello, hay que garantizar que los Ingenieros Eléctricos de la Universidad Politécnica Salesiana sean profesionales conocedores en la rama de configuración de protecciones eléctricas y redes de comunicación.

Con este trabajo se expone una metodología para la solución de un problema típico de operación indeseada.

1.2. Importancia y alcances

El alcance del proyecto se limita al estudio técnico-práctico usando IEDs marca SEL disponibles en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil para implementar un esquema de protección de barra simple aplicando el protocolo IEC61850-GOOSE,

además de realizar un manual donde se detallarán los pasos, las herramientas y las configuraciones realizadas a cada equipo, para poder establecer la comunicación e implementar la mensajería GOOSE.

Además se realizarán pruebas de comparación entre metodología de protección con mensajería GOOSE y la metodología de protección convencional para de esta manera poder analizar los beneficios obtenidos.

1.3. Delimitación

El área de interés dentro del siguiente estudio son las protecciones eléctricas de redes de distribución en sistemas eléctricos de potencia y la implementación de la norma IEC61850.

Este trabajo no está enfocado en los siguientes puntos:

- Monitoreo por medio de sistema SCADA.
- Análisis de otros tipos de protecciones utilizadas en un SEP.
- Análisis de fallas.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Implementar la mensajería GOOSE en el esquema de protección de barra simple según la norma IEC 61850 a través del análisis técnico-practico, utilizando los IEDs SEL disponibles en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Definir una línea base de los esquemas de protección en la actualidad.
- Analizar las ventajas y desventajas de la norma IEC 61850.
- Analizar los beneficios técnicos que se pueden alcanzar implementando la norma IEC61850.
- Realizar un manual de procedimientos, el cual contenga cada uno de los pasos a seguir para poder implementar la mensajería GOOSE en los relés SEL aplicando la norma IEC 61850.
- Establecer los parámetros básicos a configurar para la implementación de la norma IEC61850 en los escenarios propuestos.
- Realizar pruebas de comparación entre metodología de protección con mensajería GOOSE y la metodología de protección convencional.

1.5. Marco metodológico.

En el presente proyecto se emplean los siguientes métodos de investigación:

- El método analítico nos ayudó a fragmentar todo el proyecto, descomponiéndolo en las partes más importantes para poder observar cuál es su función e

importancia dentro del proceso. Así estudiar y comprender su comportamiento y establecer nuevas teorías.

- El método sintético se empleó para poder reconstruir el todo y volver a integrar las partes fragmentadas por el análisis en una perspectiva de totalidad; con este método se pudo lograr la comprensión de la esencia del proyecto y sus particularidades.
- El método inductivo permitió pasar de los resultados obtenidos en experimentos al planteamiento de teorías que generalizan aquellos resultados; las conclusiones obtenidas a partir de la inducción tienen un carácter probable.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción a Subestaciones Eléctricas

Una subestación eléctrica es la exteriorización física de un nodo de un sistema eléctrico de potencia, en el cual la energía se transforma a niveles adecuados de tensión para su transporte, distribución o consumo, con determinados requisitos de calidad. Está conformada por un conjunto de equipos utilizados para controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección.

Básicamente una subestación consiste en un número de circuitos de entrada y salida, conectados a un punto común llamado barras colectoras, siendo el interruptor el principal componente de cada circuito y complementándose con los transformadores de instrumentación, seccionadores y pararrayos, en lo correspondiente a equipo de alta tensión y con sistemas secundarios como son los de control, protección, comunicaciones y servicios auxiliares. [1]

Una subestación como se muestra en la Figura 1, puede estar asociada con una central generadora, controlando directamente el flujo de potencia al sistema, con transformadores de potencia, convirtiendo la tensión de suministro a niveles más altos o más bajos, o puede conectar diferentes rutas de flujo al mismo nivel de tensión. Algunas veces una subestación desempeña dos o más de estas funciones. [2]

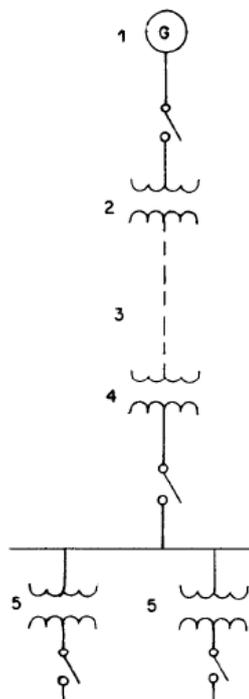


FIGURA 1: TIPOS DE SUBESTACIONES EN UN SEP

FUENTE: ENRÍQUEZ HARPER – ELEMENTOS DE DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.

Las subestaciones eléctricas son parte integral de un sistema de potencia y forma eslabones importante entre las centrales de generación, los sistemas de transmisión, los sistemas de distribución y las cargas.

2.2. Componentes básicos de una subestación.

Siempre es conveniente tener una idea de cuáles son los principales componentes que constituyen una subestación eléctrica así como la función que desempeña dentro del sistema con el objetivo de analizar con mayor prioridad las características más importantes para una aplicación específica, las mismas se muestran en la Figura 2. [2]

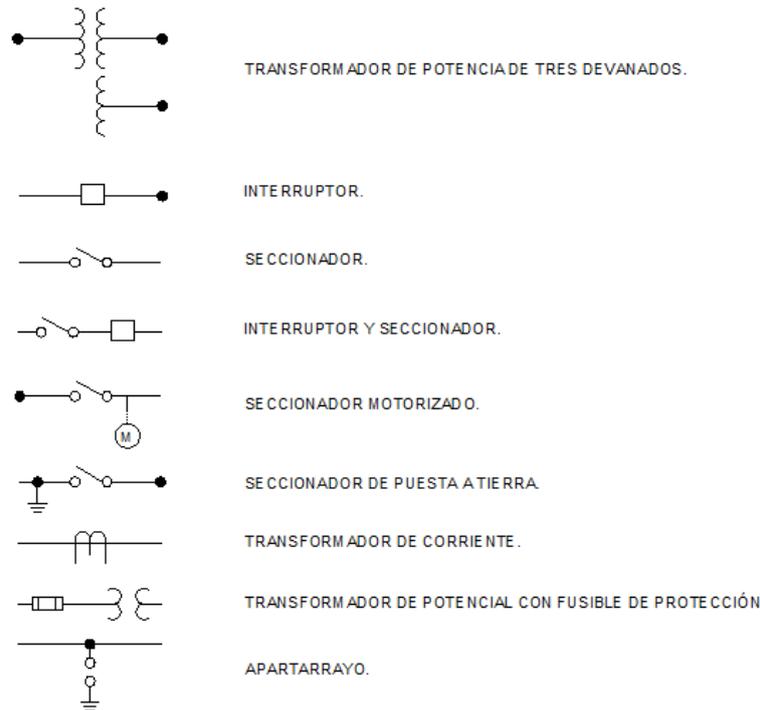


FIGURA 2: SIMBOLOGÍA DE COMPONENTE DE UNA SUBESTACIÓN

FUENTE: ENRÍQUEZ HARPER – ELEMENTOS DE DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.

2.2.1. Transformador de potencia.

El transformador es una máquina electromagnética cuya función es aumentar o disminuir la magnitud de la tensión eléctrica en un circuito de corriente alterna, manteniendo la potencia constante. Por lo general, se considera que un transformador es de potencia cuando su capacidad es superior a los 1000KVA, como se muestra en la figura 3.

Las características principales que se requieren especificar para adquirir un transformador y aplicarlo adecuadamente a la red eléctrica, son las siguientes [3]:

- Capacidad

- Frecuencia
- Tensión del devanado primario
- Tensión del devanado secundario
- Cambiador de derivaciones
- Número de fases
- Conexión del primario y del secundario
- Porcentaje de impedancia
- Pérdidas en vacío y con carga
- Tipo de enfriamiento



FIGURA 3: TRANSFORMADOR DE POTENCIA

FUENTE: T. POTENCIA, WWW.REINHAUSEN.COM

2.2.2. Interruptores de potencia

Los interruptores son dispositivos mecánicos capaces de conducir, interrumpir y establecer corrientes en condiciones normales, así como de conducir durante un tiempo especificado e interrumpir corrientes en condiciones anormales, como son las de cortocircuito. Su función básica es conectar o desconectar un sistema o circuito energizado, líneas de transmisión, transformadores, reactores o barrajes. [1]

Los interruptores de alta tensión pueden ser utilizados en instalaciones interiores o exteriores.

Los interruptores para instalación interior: son diseñados para uso dentro de edificaciones o comparticiones a prueba de agua. Para niveles de tensión entre 4,6KV y 34,5KV, los interruptores para uso interior se diseñan, generalmente, para ser utilizados en celdas blindadas. [1]

Los interruptores para instalación exterior: Desde el punto de vista del diseño de la estructura física, los interruptores pueden clasificarse como interruptores de tanque vivo o de tanque muerto. [1]

El interruptor de tanque muerto: dispone de una cámara de interrupción encapsulada (comportamiento aterrizado) que contiene el medio de interrupción y a través de este

tanque pasan aisladores o bujes de porcelana para conectarse al circuito de alta tensión, como se muestra en la figura 4.



FIGURA 4: INTERRUPTOR DE TANQUE MUERTO

FUENTE: [HTTP://WWW.MCH.CL/REPORTAJES/INTERRUPTORES-TANQUE-MUERTO](http://www.mch.cl/reportajes/interruptores-tanque-muerto)

El interruptor de tanque vivo: EL dispositivo de interrupción está en tanques denominados polos, los cuales se ubican sobre soportes aislantes; los polos se conectan al circuito, por lo tanto, están a un potencial superior al de tierra (comportamiento sin aterrizar), como se muestra en la figura 5.



FIGURA 5: INTERRUPTOR DE TANQUE VIVO

FUENTE: [HTTP://WWW.IMG-EQUIPAMIENTOS.COM/PRODUCTOS/ID/INTERRUPTORES](http://www.img-equipamientos.com/productos/id/interruptores)

2.2.3. Seccionadores

Los seleccionadores pueden desempeñar en las redes eléctricas diversas funciones siendo la más común la de seccionamiento de circuitos por necesidades de operación o

por necesidad de aislar componentes del sistema (equipos o líneas) para realizar su mantenimiento, como se muestra en la figura 6. [1]

Los seccionadores pueden ser clasificados de la siguiente manera, de acuerdo con las funciones que desempeñan en un sistema eléctrico de potencia. [1]

Seccionadores De Maniobra

- Hacer by-pass o paso directo a equipos como interruptores y capacitadores en serie para la ejecución de mantenimiento o por necesidades operativas.
- Aislar equipos como interruptores, capacitores, barrajes, transformadores o reactores, generadores o líneas para la ejecución de mantenimientos.
- Maniobras circuitos, es decir, realizar transferencia de circuitos entre los barrajes de una subestación

Seccionadores De Tierra

- Poner a tierra componentes del sistema: líneas de transmisión, barrajes, bancos de transformadores o bancos condensadores y reactores en derivación

Seleccionadores De Operación En Carga

- Abrir y/o cerrar circuitos en carga: reactores, capacitores o generadores.



FIGURA 6: SECCIONADORES

FUENTE: SUBESTACIONES. [HTTP://D3THFLCQ1YQZN0.CLOUDFRONT.NET/026321772_PREVSTILL.JPEG](http://D3THFLCQ1YQZN0.CLOUDFRONT.NET/026321772_PREVSTILL.JPEG).

2.2.4. Transformador de potencial.

Normalmente en sistemas con tensiones superiores a los 600 V. Las mediciones de tensión no son hechas directamente en la red primaria sino a través de equipos denominados transformadores de tensión. Estos equipos tienen las siguientes finalidades: [1]

- Aislar el circuito de baja tensión (secundario) del circuito de alta tensión (primario).
- Procurar que los efectos transitorios y de régimen permanente aplicados al circuito de alta tensión sean producidos lo más fielmente posible en el circuito de baja tensión

Reduce la tensión de la línea del orden de los KV a niveles bajos de tensión para alimentar equipos de control y medición, este nivel de tensión es generalmente 120vac.

Entre los tipos de transformadores de tensión tenemos del tipo inductivo y capacitivo.

Los de tipos inductivos: Responden rápidamente a cambios de tensiones, esta característica lo hace ideal para ser usado en esquemas de protecciones, como se muestra en la figura 7.

Los de tipo capacitivo: Son utilizados para teleprotección, debido a que permite filtrar y sintonizar determinadas frecuencias, este tipo de transformadores, mostrados en la figura 8, no son adecuados para esquemas de protección debido a que no detecta rápidamente los cambios de tensión.

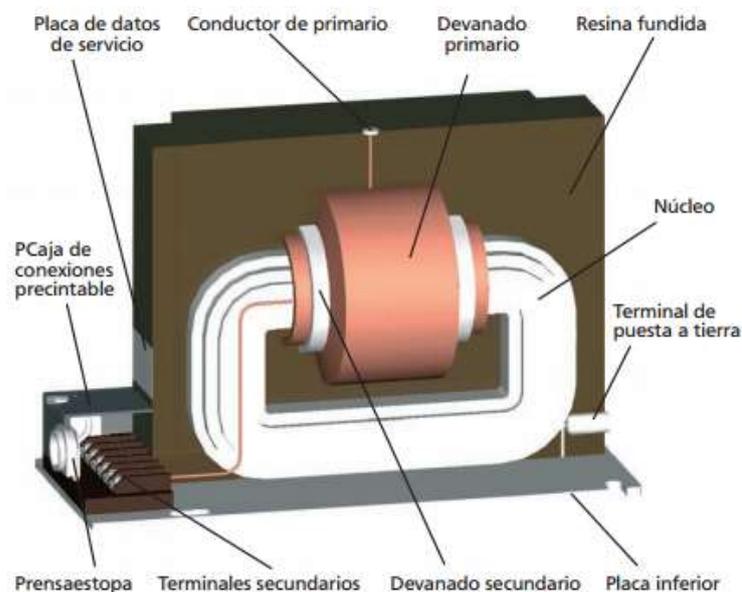


FIGURA 7: TRANSFORMADOR DE TENSIÓN INDUCTIVO

FUENTE: RITZ, INSTRUMENT TRANSFORMERS - [HTTP://RITZ-INTERNATIONAL.COM](http://RITZ-INTERNATIONAL.COM)

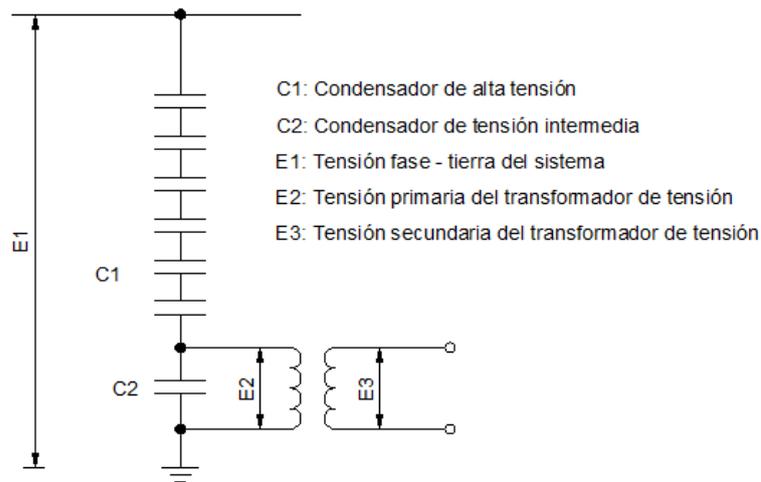


FIGURA 8: TRANSFORMADOR DE TENSIÓN CAPACITIVO

FUENTE: VILLEGAS MEJÍA SUBESTACIONES DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSIÓN

2.2.5. Transformador de corriente.

En los sistemas de potencia circulan grandes corrientes, las mediciones de estas corrientes no son tomadas directamente desde la red al equipo de medición o protección sino a través de equipos denominados transformadores de corriente, como se muestran en la figura 9. [2]

Estos equipos tienen un devanado primario conectado en serie con el circuito de alta tensión mientras que su devanado secundario se conectara en serie al equipo de medición o de protección. [2]

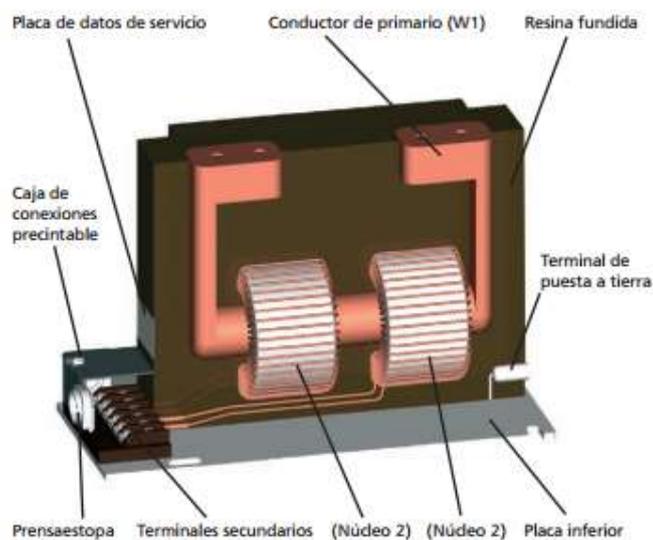


FIGURA 9: TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

FUENTE: RITZ, INSTRUMENT TRANSFORMERS - [HTTP://RITZ-INTERNATIONAL.COM](http://ritz-international.com)

Dependiendo del uso dentro de la subestación los transformadores de corriente pueden clasificarse en 2 tipos:

Transformadores de corriente para medida: Transformadores de corriente previstos para conectar instrumentos de medida, contadores y equipos similares (p.ej. 10 VA Cl. 0,5 FS5). [4]

La precisión de estos equipos debe estar garantizada desde 10% de la corriente nominal hasta un 120% del valor de la misma, esto debido a que se deben saturar para valores altos de corriente para proteger a los equipos.

Transformadores de corriente para protección: Transformadores de corriente destinados a alimentar relés de protección (p.ej. 15 VA Cl. 5 P 10). [4]

Estos transformadores se diseñan para soportar grandes corrientes con la exactitud necesaria para que los sistemas de protección puedan actuar en el momento indicado, tal como se muestra en la figura 10.

Estos tipos de transformadores de corriente deben de tener una precisión de hasta 20 veces la corriente nominal, esto debido a que debe operar bajo condiciones de falla (no debe saturarse en valores altos corrientes).

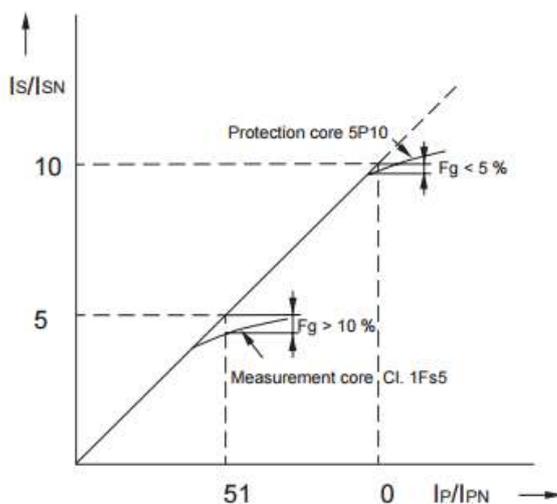


FIGURA 10: COMPORTAMIENTO DE SOBRECORRIENTE EN TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

FUENTE: RITZ, INSTRUMENT TRANSFORMERS - [HTTP://RITZ-INTERNATIONAL.COM](http://ritz-international.com)

2.2.6. Apartarrayos.

El apartarrayo, mostrado en la figura 11, es un dispositivo que se encuentra conectado permanentemente en el sistema, opera cuando se presenta una sobretensión de determinada magnitud, descargando la corriente a tierra. [5]



FIGURA 11: APARTARRAYOS.

FUENTE: [HTTP://RIGGUS1.BLOGSPOT.COM/](http://RIGGUS1.BLOGSPOT.COM/) - DIFERENCIA ENTRE APARTARRAYOS Y PARARRAYOS

Cada apartarrayo se encuentra normalmente abierto y calibrado para que a partir de cierta tensión entre línea y tierra se cierre automáticamente y filtre los frentes de onda. Esto se logra gracias a un circuito de resistencias variables controlado por tensión. Al desaparecer la sobretensión el apartarrayo vuelve a la posición de abierto.

2.2.7. Sistema de control.

Un sistema de control se define como un conjunto formado por dispositivos con la función de medida, registro, señalización, regulación, control manual y automático de los equipos y los relés de protección, los cuales verifican, protegen y ayudan a gobernar un sistema de potencia. [1]

La función principal de un sistema de control es supervisar, controlar y proteger la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Durante condiciones anormales y cambios intencionales de las condiciones de operación, el sistema de control deberá, hasta donde sea posible, asegurar la continuidad de la calidad del servicio de energía eléctrica. [1]

Actualmente existen dos conceptos de control: El convencional y los sistemas automatizados de subestaciones (SAS) siendo la tendencia en las subestaciones nuevas implementar este último y, en las existentes, el realizar la modernización de los sistemas convencionales, debido a las muchas ventajas que presentan los SAS frente a los convencionales. [1]

El diseño de los sistemas de control para cada proyecto y subestación puede variar de acuerdo con las políticas de manejo los criterios de operación de la empresa involucrada, su experiencia y las reglamentaciones de operación de los sistemas de transmisión.

2.2.8. Barra de distribución.

Los barrajes de una subestación son aquellos conductores eléctricos utilizados en la conexión común de sus circuitos. Se puede contar con uno o varios juegos de barras que agrupen diferentes circuitos en uno o varios niveles de tensión, dependiendo de la subestación [6, p. 83].

Las principales características que debe tener un barraje de una subestación son una buena conductividad, alta capacidad de corriente y buena resistencia ante cortocircuitos [6, p. 83].

2.2.8.1. Barra simple.

Como su nombre lo indica, es una configuración que cuenta con un solo barraje al cual se conectan los circuitos por medio de un interruptor, como se muestra en la figura 12. Usado principalmente en instalaciones de pequeña potencia y cuando se admiten cortes de corriente con cierta frecuencia. [7]

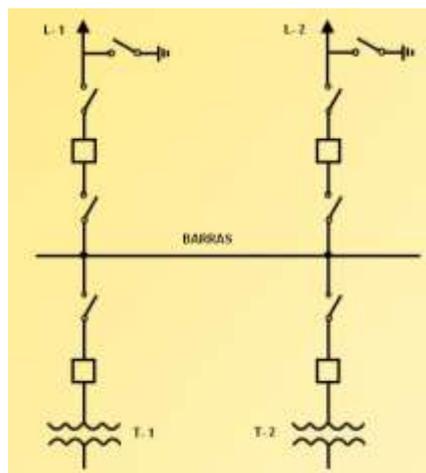


FIGURA 12: BARRA SIMPLE.

FUENTE: SIMULADOR DE SUBESTACIONES 2.0 – ELADIO GONZALES SÁNCHEZ

2.2.8.2. Barra simple con by-pass.

Se añaden a la configuración de la barra simple un seccionador por cada línea en derivación con la posición correspondiente, tal como se muestra en la figura 13. Así se evitan los inconvenientes que resultan de poner fuera de servicio las líneas de salidas por trabajos de mantenimiento y de inspección de los interruptores. [7]

Abriendo los elementos de la posición de una línea y cerrado su seccionador en derivación, la línea de salida puede permanecer en servicio mientras se realizan los trabajos de revisión o de reparación de los aparatos de corte de esa línea.

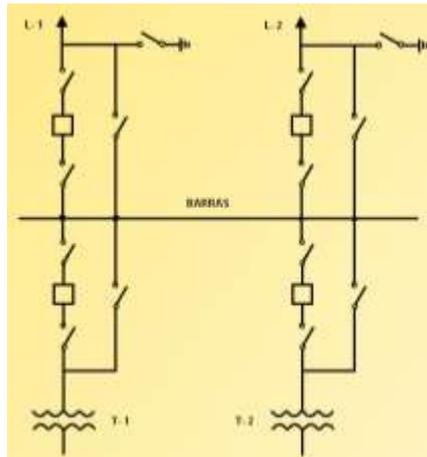


FIGURA 13: BARRA SIMPLE CON BY-PASS

FUENTE: SIMULADOR DE SUBESTACIONES 2.0 – ELADIO GONZALES SÁNCHEZ

2.2.8.3. Barra principal con transferencia.

Con esta configuración cada circuito se puede conectar por medio del interruptor de transferencia a la barra de transferencia, conservando en esta forma el servicio del circuito receptivo durante el mantenimiento del interruptor o fallos del mismo, siempre y cuando no existan fallas en el circuito, lo que demuestra la buena confiabilidad de la configuración presenta bajo estas circunstancias, como se muestran en la figura 14. [7]

Las líneas, transformadores, etc., se conectan a través de su posición a una barra llamada principal; en cambio el seccionador de by-pass lo hace a otras denominada de transferencia. La unión de ambas barras se realiza mediante un módulo de acoplamiento o de enlace de barras. [7]

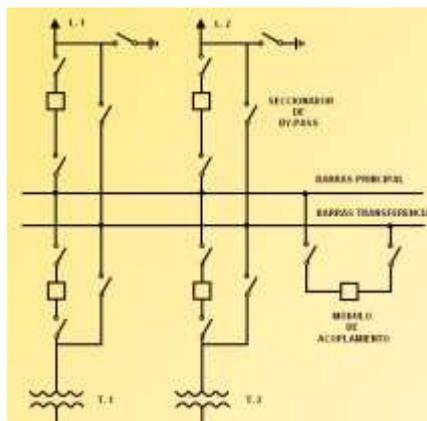


FIGURA 14: BARRA PRINCIPAL CON BARRA DE TRANSFERENCIA.

FUENTE: SIMULADOR DE SUBESTACIONES 2.0 – ELADIO GONZALES SÁNCHEZ

2.2.8.4. Barra doble.

Para aumentarle la flexibilidad a la barra sencilla se puede adicionar una segunda barra principal y un interruptor para el acoplamiento de las dos barras formándose así una configuración llamada de doble barra, como se muestra en la figura 15. [7]

Requiere un módulo de acoplamiento de barras para permitir conectar las líneas de alimentación de uno a otro sistema de barras. [7]

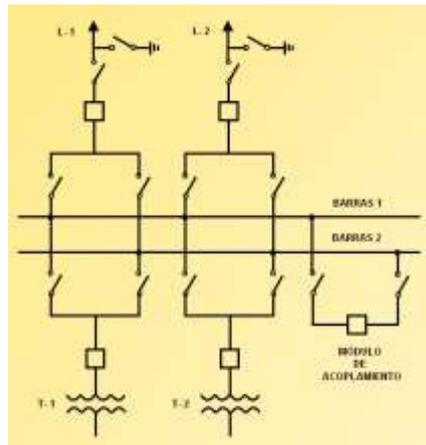


FIGURA 15: BARRA DOBLE.

FUENTE: SIMULADOR DE SUBESTACIONES 2.0 – ELADIO GONZALES SÁNCHEZ

2.2.8.4. Barra doble con seccionador by-pass

Esta configuración es la que requiere un mayor número de equipos por campo presentándose así mismo una más elevada posibilidad de operación incorrecta durante las maniobras. Por lo general, a esta configuración no se le explota su flexibilidad, pues se usa una de las barras como simple barra de reserva y/o transferencia, no compensándose así la alta inversión que ella implica, mostrada en la figura 16. [7]

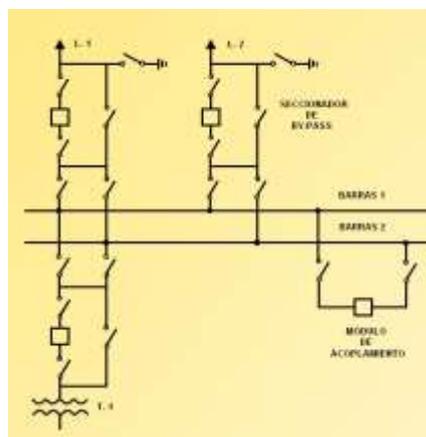


FIGURA 16: BARRA DOBLE CON SECCIONADOR BY-PASS

FUENTE: SIMULADOR DE SUBESTACIONES 2.0 – ELADIO GONZALES SÁNCHEZ

- Estampas de tiempo
- Localización
- Tipo de falla
- Variables involucradas y su magnitudes
- Tiempos de despeje de fallas.

El problema fundamental que se presenta a la hora de proteger eficazmente un SEP es lograr la diferenciación adecuada entre régimen de falla y un régimen transitorio permisible por muy severo que este sea:

- Durante el régimen de falla, la protección debe actuar y aislar el elemento averiado.
- Durante el régimen transitorio permisible las protecciones no deben operar.

2.3.1. Fallas eléctricas.

Se define el término falla como cualquier cambio no planeado en las variables de operación de un SEP, también es llamada perturbación y es causada por: [9]

- Falla de la red (Sobrecarga, fluctuación de carga, rayos, contaminación, sabotajes).
- Falla externa al sistema de potencia (En equipo de protección).
- Falla en el sistema de potencia (Cortocircuito), como se muestran en la figura 18.

Fallas Simétricas (Sistemas Balanceados), como se muestran en la figura 19.

Falla Trifásica

Fallas Asimétricas (Sistemas Desbalanceados), mostradas en la figura 19.

Falla monofásica a tierra.

Falla bifásica línea a línea.

Falla bifásica a tierra.

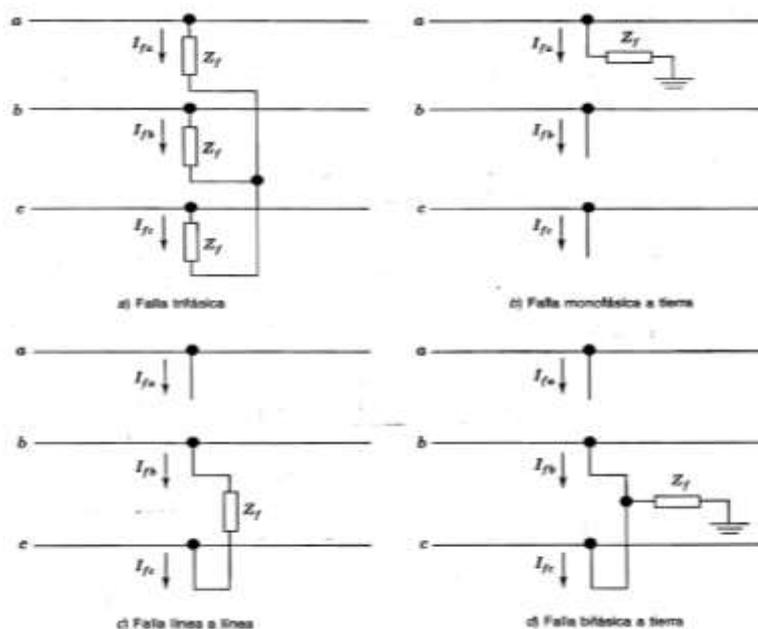


FIGURA 18: TIPOS DE CORTOCIRCUITO

FUENTE: ANÁLISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA, J. GRAINGER & W. STEVENSON.

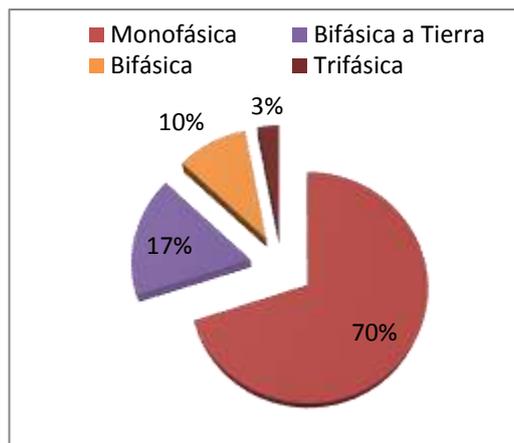


FIGURA 19: FRECUENCIA DE FALLAS POR CORTOCIRCUITO

FUENTE: LOS AUTORES.

2.3.1.1. Clases de fallas.

Fallas temporales: Son las fallas que pueden ser despejadas antes de que ocurran serios daños, o porque se autodespejan o por la operación de dispositivos de despeje de falla que operan lo suficientemente rápido para prevenir los daños.

Fallas permanentes: Son aquellas que persisten a pesar de la velocidad a la cual el circuito es desenergizado o el número de veces que el circuito es desenergizado.

2.3.1.2. Consecuencia de las fallas.

Al cambiar las condiciones de operación de un sistema eléctrico se presentan consecuencias no deseadas que alteran el equilibrio esperado, ellas son:

- Las corrientes de cortocircuito causan sobrecalentamiento, la quema de conductores y equipos asociados, aumento en las flechas de conductores (efectos térmicos), movimientos en conductores, cadenas de aisladores y equipos (efectos dinámicos).
- Fluctuaciones severas de voltaje.
- Desbalances que ocasionan operación indebida de equipos.
- Fluctuaciones de Potencia.
- Inestabilidad del sistema de potencia.
- Prolongados cortes de energía que causan desde simples incomodidades hasta grandes pérdidas
- Daños graves a equipos y personas.
- Aparición de tensiones peligrosas en diferentes puntos del sistema.

2.3.2. Relés de protección.

La función de los relés de protección consiste en aislar del servicio de cualquier elemento del SEP cuando sufre un cortocircuito, o cuando comienza a funcionar en forma inadecuada, lo que podría causar daños o interferir con el funcionamiento eficaz del resto del sistema. [8]

Los relés actúan sobre interruptores, los cuales son los que desconectan el elemento defectuoso cuando reciben la señal de disparo enviada por el relé, como se muestra en la figura 20.

Los interruptores están localizados de tal manera que cada uno de los elementos del sistema pueden desconectarse por completo del resto del sistema cuando se presente una falla.

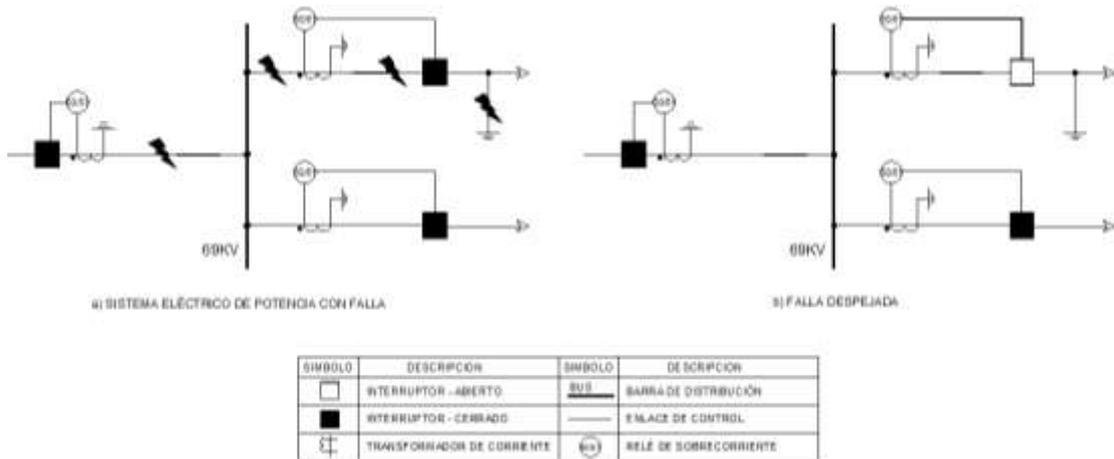


FIGURA 20: SISTEMAS DE PROTECCIÓN.

FUENTE: LOS AUTORES.

Muchos relés modernos utilizan una pantalla de cristal líquido (LCD) en el panel frontal. Tales pantallas suelen mostrar ajuste, medición, el evento y la información del estado del relé, como se muestra en la figura 21. Los ajustes del relé también se pueden cambiar a través de la interfaz de LCD sin la necesidad de utilizar una herramienta de software.



FIGURA 21: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL 751 (PARTE FRONTAL)

FUENTE: SELINC.COM/PRODUCTS/751

Los bloques de terminales se proporcionan normalmente en la parte posterior del relé para la conexión de los diversos insumos que se requieren y los productos que son proporcionados por el relé, tal como se muestra en la figura 22.



FIGURA 22: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL 751 (PARTE POSTERIOR)

FUENTE: SELINC.COM/PRODUCTS/751

Los relés de protección proporcionan la función de "cerebro " ya que son los encargados de detectar los problemas, pero como dispositivos de bajo consumo de energía, no son capaces de abrir y aislar el área con problemas del SEP.

Los interruptores son los equipos que proporcionan el "músculo" para el aislamiento de fallos. Por lo tanto, los relés de protección e interruptores necesariamente deben trabajar juntos, como se muestra en la figura 23.

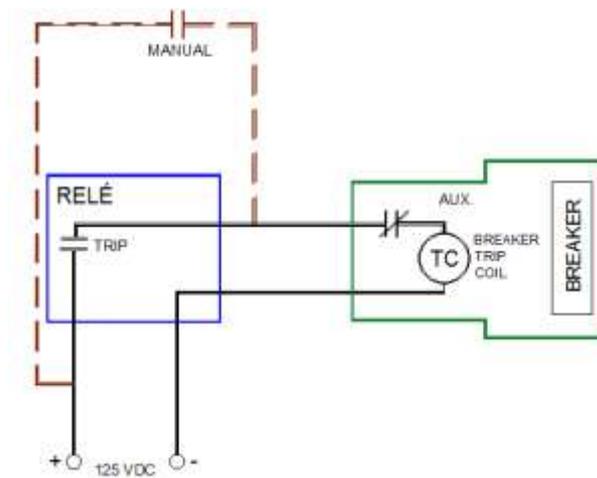


FIGURA 23: CIRCUITO DE CONTROL

FUENTE: LOS AUTORES

2.3.3. Requisitos de protección.

Los requisitos para los sistemas de protección son los siguientes: [9]

- **Confiabilidad:** Capacidad del sistema de protección de realizar su función correctamente cuando se le requiera y evitar operación innecesaria o incorrecta durante las fallas.
- **Velocidad:** Tiempo mínimo de falla y daño mínimo del equipo. Rapidez para despejar las fallas a fin de evitar daños al equipo.
- **Selectividad:** Manteniendo la continuidad del suministro desconectando una sección mínima del circuito para aislar la falla.
- **Seguridad:** Para que no cause desenergización del circuito debido a desbalanceo de carga, corrientes inrush, puesta en marcha de carga en frío, armónicos y otras condiciones de estado estable y transitorio.
- **Sensibilidad:** El sistema de protección debe detectar fallas temporales y permanentes y diferenciarlas así estén en puntos muy alejados del interruptor principal del circuito.
- **Economía:** Máxima protección a costo mínimo.
- **Simplicidad:** Equipo y circuitería mínima para garantizar la certeza de operación correcta del sistema de protección.

2.3.4. Principio de operación.

En general, el sistema de potencia se divide en zonas de protección para generadores, motores, transformadores, barras, circuitos de transmisión y distribución, así como muestra la figura 24.

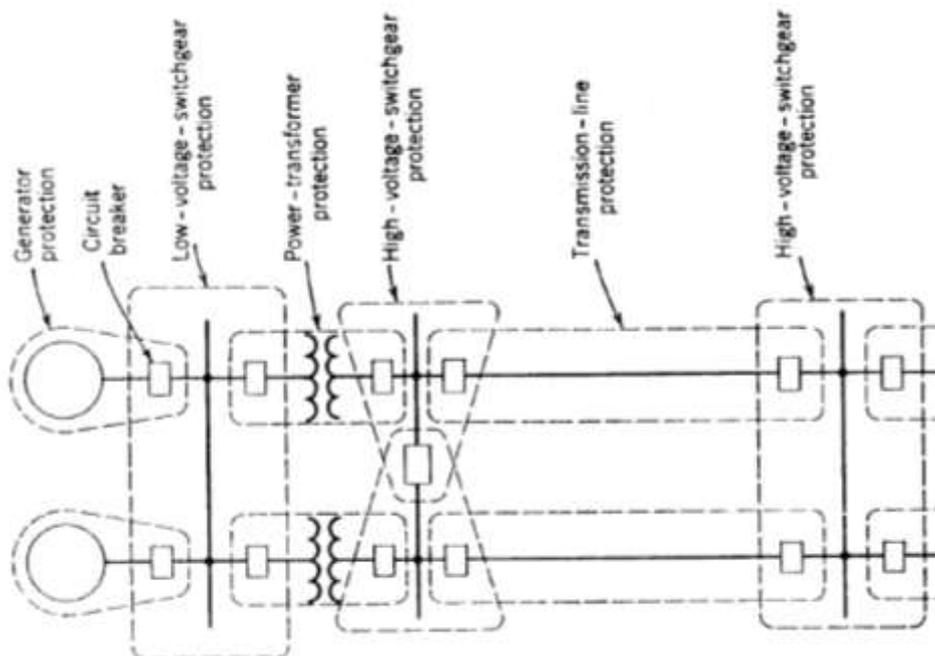


FIGURA 24: ZONAS DE PROTECCIÓN DE UN SEP

FUENTE: RUSSELL MASON, THE ART & SCIENCE OF PROTECTIVE RELAYING

Todos los elementos de un sistema de potencia deben estar correctamente protegidos de tal forma que los relés solamente operen ante la ocurrencia de fallas. Algunos relés operan solo para fallas que ocurren dentro de su zona de protección; esto es llamado “Protección primaria”. [9]

Los relés son capaces de detectar fallas dentro de una zona particular y fuera de ella, usualmente en zonas adyacentes, y pueden usarse como respaldo de la protección primaria como una segunda línea de defensa, como muestra la figura 25. [9]

La protección primaria: debe operar cada vez que uno de sus elementos detecten una falla. Ella cubre una zona de protección conformada por uno o más elementos del sistema de potencia, tales como máquinas eléctricas, líneas y barras. [9]

La protección de respaldo: es instalada para operar cuando, por cualquier razón, la protección primaria no opera. Para obtener esto, el relé de protección de respaldo tiene un elemento de detección que puede ser o no similar al usado por el sistema de protección primaria, pero que también incluye un circuito de tiempo diferido que hace lenta la operación del relé y permite el tiempo necesario para que la protección primaria opere primero. [9]

En efecto, es muy común que un relé actúe como protección primaria para un componente de equipo y como respaldo para otro.

Es esencial que cualquier falla sea aislada, aún si la protección principal asociada no opera. Por lo tanto, en lo posible, cada elemento en el sistema de potencia debe estar protegido por los relés primarios y de respaldo. [9]

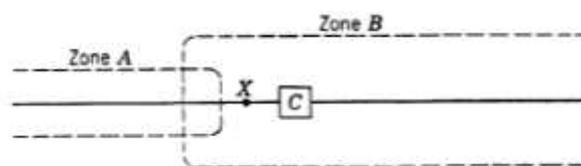


FIGURA 25: ZONAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA Y DE RESPALDO

FUENTE: RUSSELL MASON, THE ART & SCIENCE OF PROTECTIVE RELAYING

2.4. Automatización de subestaciones.

El concepto de automatización de subestaciones se comenzó a tratar cuando las empresas que intervenían en el mercado de la electricidad se dieron cuenta que para manejar la gran cantidad de información disponible en tiempo real, realizar maniobras, y garantizar una buena prestación del servicio a los usuarios debían disponer de herramientas que facilitaran la comunicación y la operación de las subestaciones, aprovechando las ventajas de la tecnología disponible en el momento, y no depender de lo que pudiera recopilar un operador que debía estar presente en todo momentos en la subestación. [10]

El concepto de automatización de subestaciones define 3 niveles de operación, los mismos que determinan la forma de cómo se puede intercambiar y transmitir la información disponible entre los diferentes equipos o usuarios que requieran de la misma para realizar sus funciones, como se muestra en la figura 26. [10]

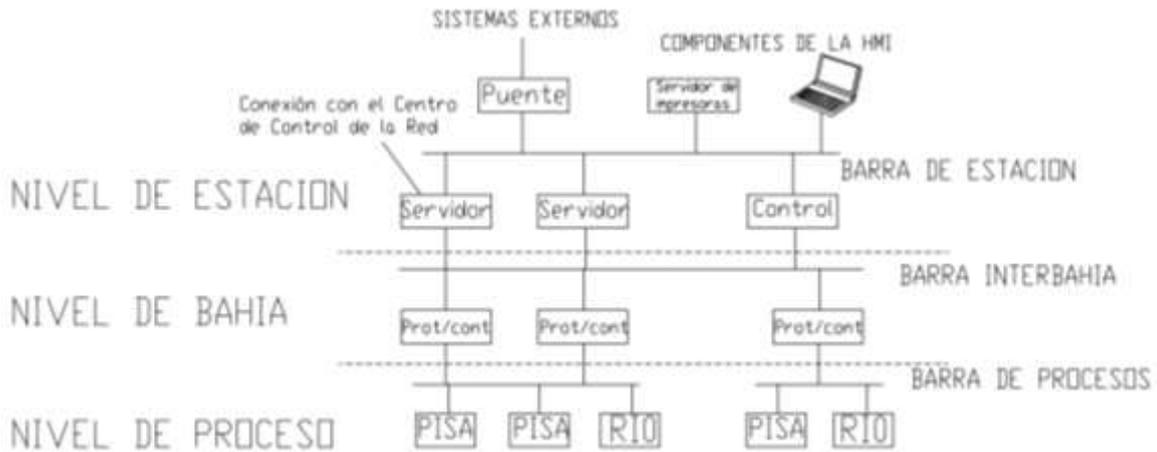


FIGURA 26: NIVELES DE OPERACIÓN EN LA AUTOMATIZACIÓN DE SUBESTACIONES

FUENTE: SUBSTATION AUTOMATION HANDBOOK; KLAUS-PETER

Nivel de Proceso: conformado por los equipos del patio (seccionador, interruptor, transformador de corriente y tensión).

La barra de comunicación de este nivel conecta actuadores, sensores, unidades periféricas secundarias y unidades remotas análogo/digitales a las unidades de procesamiento del nivel de bahía, tomando datos en tiempo real y transmitiéndolos en el menor tiempo posible. [11]

Nivel de Bahía: conformado por elementos intermedios como lo son: armarios de agrupamiento, unidades controladoras de bahía y todos aquellos elementos encargados del control, supervisión, protección y medición.

La barra de comunicación en este nivel conecta los instrumentos de bahía al nivel de estación (dándose una comunicación vertical); adicionalmente, permite realizar comunicación en tiempo real entre los instrumentos de bahía (comunicación horizontal). [11]

Nivel de Estación: En este nivel se realizan las tareas de supervisión, maniobras y control llevado a cabo por las labores diarias de los operadores, relacionado con la subestación, tales como: control local de la subestación, comunicación, y manejo de los servicios auxiliares.

La barra de comunicación de este nivel es principalmente usada para conexiones de la HMI a los terminales e impresoras; así mismo, es utilizada como interfaz hacia ambientes de oficina y para labores de supervisión entre servidores. [11]

2.4.1. Protocolos de comunicación.

Con el fin de organizar de manera conveniente el tráfico e intercambio de la información, se adoptaron ciertas reglas denominadas “protocolos de comunicación”, los cuales tenían como función primordial garantizar que la información transmitida por un emisor en algún punto de una red de comunicaciones llegara al receptor de forma ordenada y fuera entendible por el mismo.

En la actualidad la tendencia de uso de protocolos está encaminada a los protocolos abiertos, debido a que estos posibilitan la integración de productos (equipos) de diferentes fabricantes. Los protocolos abiertos más utilizados en la actualidad se mencionan a continuación [12]:

2.4.1.1. DNP 3.0

DNP3 es un protocolo que permite interoperabilidad abierta entre los instrumentos de los diferentes niveles funcionales de la S/E (IED’s, RTU’s, computadores). [11]

Este protocolo se acopla a la estructura de la automatización de subestaciones debido a que define 3 niveles distintos, de entre los cuales el nivel básico es el nivel asignado para IED’s simples y el nivel más alto es el nivel de estación maestra asignada para SCADA. [11]

El DNP3 utiliza principalmente comunicaciones maestro – esclavo, es robusto, flexible, exige una baja cantidad de pruebas para mantenimiento y entrenamiento, presenta una fácil expansión del sistema y se acopla rápidamente a cambios tecnológicos; posee comités de regulación para asegurar interoperabilidad, una secuencia de estampa de tiempo de reporte de eventos, soporta secuencia de eventos para alarmas, mediciones y contadores; permite la realización de reportes de eventos, así como también reporta los tipos de entradas que recibe (digitales, de contadores, analógicas). [11]

2.4.1.2. MODBUS

Es uno de los protocolos más antiguos en el ambiente industrial, y fue diseñado para ser utilizado en controladores lógicos programables (PLC). Es fácil de implementar, ampliamente aceptado, y ofrecido por la mayoría de fabricantes. Modbus define un protocolo posicionado en el nivel 7 del modelo OSI, el cual provee comunicaciones del tipo maestro - esclavo entre dispositivos conectados en una red.

Su funcionamiento se basa en un esquema de direccionamiento simple, lo cual limita su expansibilidad en una red distribuida de tipo SCADA. De hecho, el protocolo Modbus se basa en una red en la cual hay una estación “maestra” con múltiples dispositivos del tipo “esclavo”. Por lo tanto, tiene grandes ventajas en redes simples de tipo serial, en las que no se intercambia gran cantidad de información. La estación maestra lee cada uno de los registros de acuerdo con su dirección uno por uno, lo que consume una gran cantidad del ancho de banda disponible. Muchos usuarios y suministradores han

modificado el protocolo a través de los años para crear Modbus Plus, Modbus RTU, y Modbus TCP/IP.

Desafortunadamente no hay un comité internacionalmente aceptado que pueda tratar de lograr consistencia entre los diferentes suministradores. Sin embargo, este protocolo es el de mayor aceptación entre los dispositivos que requieren esta funcionalidad.

2.4.1.3. IEC 60870

Es un protocolo de comunicaciones influenciado por la forma de comunicación Europea que utiliza un modo de comunicación cliente – servidor en una estructura de estación maestra, RTU, IED. Posee sincronización de tiempo y una secuencia de estampa de tiempo de reporte de eventos, así como también priorización de información, recepción de datos analógicos y digitales; emplea el modelo OSI de tres capas y posee comités de regulación para asegurar interoperabilidad. [11]

El comité técnico 57 de la IEC (Control de Sistemas de Potencia y comunicaciones asociadas), en 1990 designó la serie 60870-5 para equipos de telecontrol y sistemas. Esta serie consta básicamente de cinco secciones:

- IEC 60870-5-1 Estructura de formatos de transmisión
- IEC60870-5-2 Servicios de transmisión de enlaces de datos
- IEC60870-5-3 Estructura general de aplicación de datos
- IEC60870-5-4 Definición y codificación de elementos de información
- IEC60870-5-5 Funciones básicas de aplicación

Usando estas secciones, la IEC ha creado las siguientes Normas:

- IEC 60870-5-101. Protocolos de Transmisión, Norma para tareas básicas de telecontrol
- IEC 60870-5-102. Norma para la transmisión de totales integrados en sistemas de potencia eléctricos. Esta Norma no es muy utilizada actualmente.
- IEC 60870-5-103. Protocolos de transmisión. Norma para la interface informativa de equipos de protección
- IEC 60870-5-104. Norma para el acceso a redes de comunicación para las Normas 101, utilizando perfiles Normalizados de transporte.

Adicionalmente, la Norma 104 es la única Norma definida para trabajar en redes Ethernet, mientras que las demás únicamente trabajan con redes seriales. Estas Normas están bien definidas y proveen varias formas de mecanismos de reporte. [13]

CAPÍTULO III

3. NORMA IEC 61850

3.1. Norma IEC 61850

La norma IEC61850, “Redes de comunicaciones en subestaciones” es una norma internacional que está creando oportunidades para la revolución en los sistemas de potencia eléctrica de protección y control, permitiendo hacer la integración en una sola red y protocolo, dando soporte a los distintos niveles del sistema (proceso, bahía y estación). Esta estandarización va enfocada a la integración de equipos de diferentes fabricantes, minimizando la necesidad de utilizar conversores de protocolo y reduciendo los tiempos de ingeniería. [14]

Fue desarrollada con el fin de cumplir los requerimientos de todas las diferentes funciones y aplicaciones de las subestaciones como: protección, control, automatización, medición, monitoreo, grabación o recopilación de información. [15]

A diferencia de la utilización de protocolos de comunicación estándar (DNP3, Modbus, etc.), en la norma IEC 61850, los datos que se transmiten se dividen en grupos lógicos y cada uno de ellos a su vez se dividen en nodos lógicos, de tal forma que todos los datos que puedan generarse en la subestación queden contenidos en uno de estos grupos. [16, p. 55]

Con la norma IEC 61850 tenemos los siguientes beneficios con respecto a los otros protocolos de comunicación:

- Interoperabilidad entre fabricantes mediante la unificación de protocolos.
- Mejora de la estabilidad de la instalación.
- Simplificación de la ingeniería.
- Racionalización de la información.
- Reducción del cableado convencional (sustituido por la red LAN).
- Facilidad de configuración y puesta en marcha.
- Reducción de los costos de mantenimiento.

3.2. Estructura de la norma IEC 61850

Inicialmente la norma IEC 61850 como fue concebida para la automatización de subestaciones y la telecomunicación entre sus dispositivos, en los diferentes niveles de control, siempre enfocado para la comunicación interna de la subestación; cuenta con diez partes, las mismas se muestran en la figura 27:

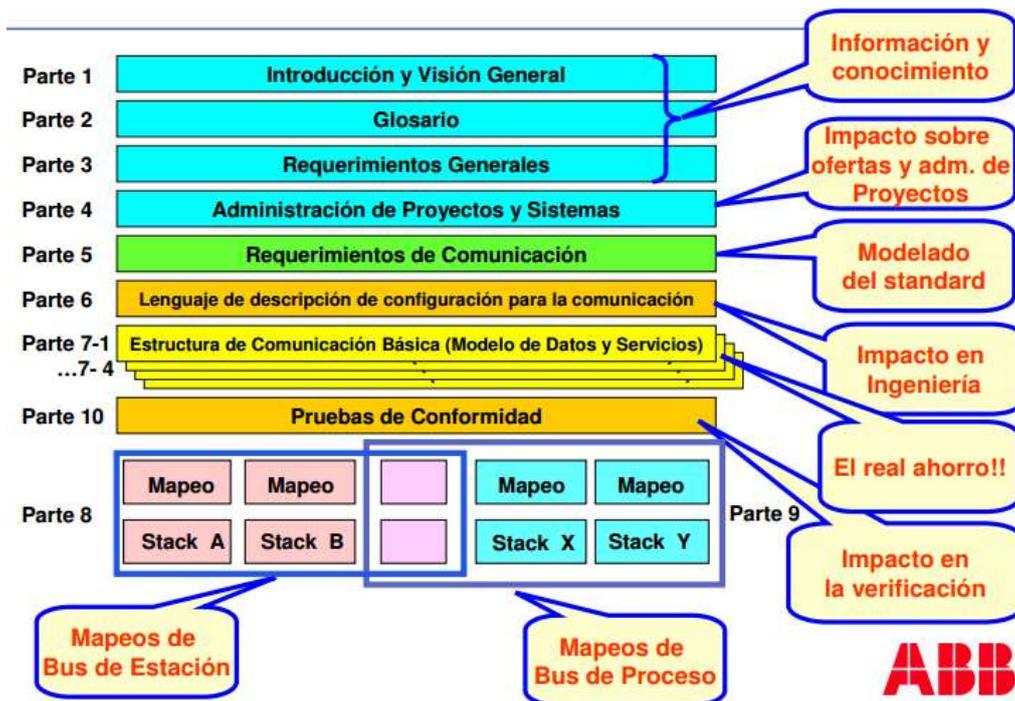


FIGURA 27: ESTRUCTURA DE LA NORMA IEC 61850

FUENTE: ABB

3.3. Arquitectura de red bajo plataforma Ethernet.

La ventaja de la utilización de la norma IEC 61850 en una subestación se puede observar en la arquitectura del sistema de comunicación, donde la utilización de cableado de cobre para una comunicación punto a punto en el sistema convencional es sustituido por una red LAN, obteniendo beneficios como velocidad de trasmisión de datos, seguridad, flexibilidad y confiabilidad. Sin embargo el personal de las empresas eléctricas actualmente carece de conocimientos prácticos para la optimización tanto en el diseño, operación y mantenimiento de la red Ethernet basado en esta norma. [17]

La aparición de Ethernet en las subestaciones basadas en una red LAN ha estado ganando continuamente la aprobación de los usuarios de todo el mundo. Las ventajas principales de la LAN-Ethernet en las subestaciones eléctricas son:

- Comunicaciones punto a punto de alta velocidad entre IEDs.
- Mínimo alambrado entre IEDs.
- Múltiples protocolos (DNP, Modbus, IEC 61850, entre otros) sobre la misma red física.
- Acceso fácil y confiable de "Datos sobre IP" mediante el uso de switches Ethernet, conversores de medio, servidores seriales y routers diseñados con los mismos estándares y normas que los dispositivos críticos de protección eléctrica.

El estándar IEC 61850 en una subestación eléctrica puede tener dos configuraciones principales: Station Bus y Process Bus. El "Station Bus" es una aplicación donde los relés y RTUs se conectan directamente a una LAN-Ethernet, mientras que el "Process Bus" se refiere a dispositivos como TC (transformador de corrientes) y TP

(transformador de potencial), que proporcionan los valores de corriente y voltaje directamente sobre la LAN-Ethernet [18].

Para obtener un alto grado de confiabilidad en esta comunicación, es necesario utilizar dispositivos Ethernet de grado industrial que cumplan las exigencias del estándar IEC 61850. Estos equipos deben garantizar la confiabilidad de la información bajo difíciles condiciones de interferencia electromagnética (EMI, por sus siglas en inglés, Electromagnetic Interference) ya que la información de la LAN será usada para medir y controlar la operación de la subestación. [18].

En un sistema de comunicación que utiliza un cierto modelo, en este caso TCP/IP, es necesario identificar su pila de protocolos. En la Figura 28 se muestra la pila de protocolos que mapean los mensajes que circula en una red IEC 61850, donde se observa en forma comparativa con el modelo TCP/IP. En la figura se puede constatar que los mensajes GOOSE y Sampled Value que son mensajes de tiempo crítico, están mapeados en la capa 1 del modelo TCP/IP donde su lógica de publicación de mensajes se basa en direcciones MAC. [17]

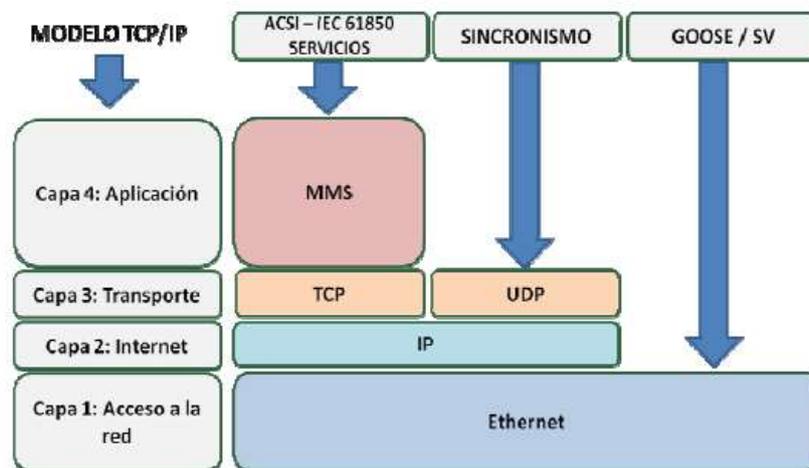


FIGURA 28: MAPEO DE LOS MENSAJES EN EL MODELO TCP/IP UTILIZADOS EN UNA RED IEC 61850

FUENTE: G.E - IEC 61850 A PRACTICAL APPLICATION PRIMER FOR PROTECTION ENGINEERS

Una forma de aumentar el rendimiento y evitar la saturación de la red es la utilización de VLANs (Red de Área Local Virtual) y el QoS (Calidad de servicio) para garantizar la entrega de mensajes en caso de congestión. Separar el tráfico de mensajes en VLANs permite disminuir el dominio de colisión y el dominio broadcast de manera que minimiza el peligro de congestión de la red. Por ejemplo separar los mensajes GOOSE de protección en una VLAN y los de control en otra VLAN. El QoS es un conjunto de requisitos de servicios que la red debe cumplir para asegurar un nivel de servicio adecuado para la transmisión de los datos. En la tabla 1 se observan los valores de prioridades definido por la IEC 61850 – 5, donde la prioridad de los mensajes críticos como el GOOSE y SV debe tener un valor mínimo de 4 y así en caso de congestión de la red estos mensajes van a tener una mayor prioridad sobre los demás mensajes. [17]

| MENSAJE | PRIORITY |
|---------|----------|
| GOOSE | 4 |
| GSSE | 1 |
| SV | 4 |

TABLA1: PRIORIDAD DE LOS MENSAJES EN UNA RED DEFINIDO POR LA NORMA IEC 61850

FUENTE: G.E. - IEC 61850 A PRACTICAL APPLICATION PRIMER FOR PROTECTION ENGINEERS

3.4. Modelado de datos.

IEC 61850 define dentro de su fundamento la existencia de tres niveles de operación en un sistema eléctrico, como se muestra en la figura 29.

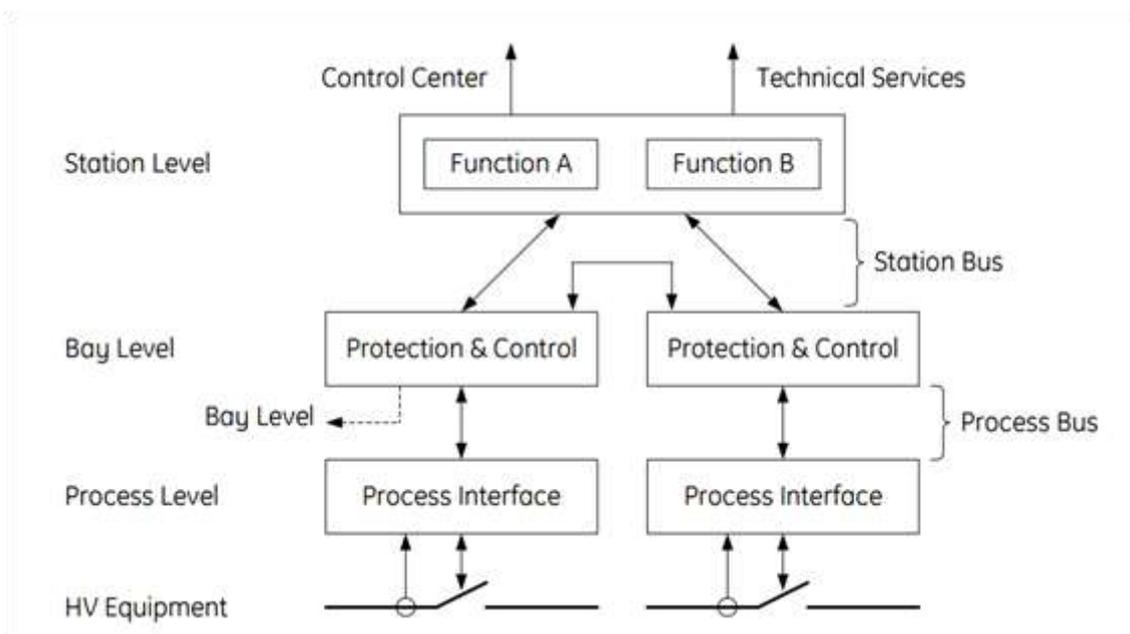


FIGURA 29: MODELADO DE INTERFAZ DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE SUBESTACIONES (SAS)

FUENTE: G.E. - IEC 61850 A PRACTICAL APPLICATION PRIMER FOR PROTECTION ENGINEERS.

A partir de las funciones de monitoreo, control y protección que se llevan en los tres niveles, se crean objetos o modelos de información, que interactúan entre ellos por medio de servicios de comunicación para después ser representados (mapeados) en un protocolo específico. [14].

El modelo de datos está orientado a objetos y funciones, que cambia por completo la filosofía utilizada hasta el momento en las subestaciones. [19]

Permite dividir la subestación en funciones básicas mediante la introducción del concepto de nodo lógico, y en unidades simples de información, de manera que se racionaliza enormemente la base de datos de las instalaciones y mantiene la estructura simple y manejable, como se muestra en la figura 30. [19]

Este modelo otorga una importante característica a la norma que es la capacidad de auto-descripción de los elementos de la subestación a nivel de control y protección. Esta característica potencia los procedimientos de ingeniería y mantenimiento. [19]

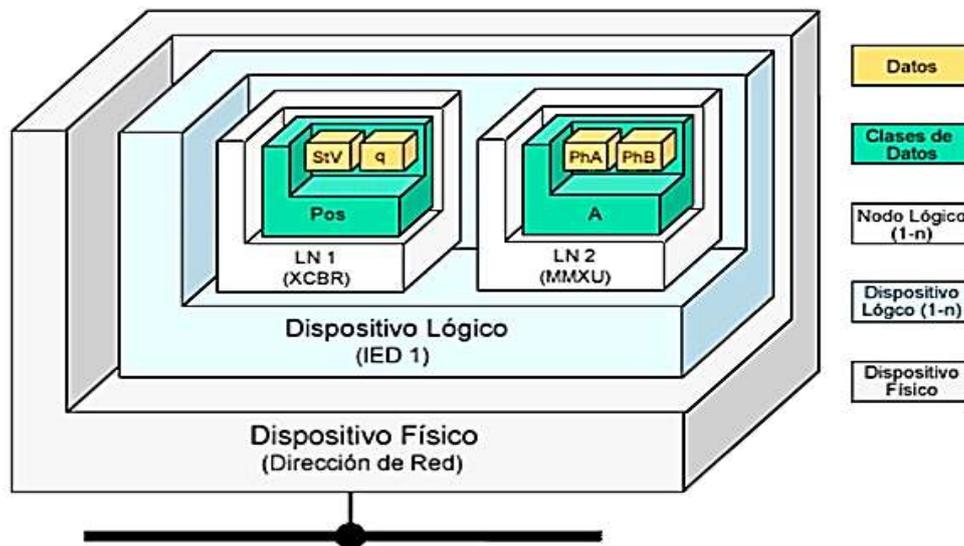


FIGURA 30: MODELADO DE INFORMACIÓN

FUENTE: AXON GROUP

3.4.1. Puntos de acceso.

Son los puntos de conexión lógicos para la comunicación. Estos serán un puerto serie, una conexión Ethernet, o bien una dirección cliente servidor dependiendo del stack utilizado. Cada uno de los puntos de acceso de un IED a un bus de comunicaciones se define de forma única. Cada servidor tiene un único punto lógico de acceso. [14]

3.4.2. Equipos lógicos (Logical devices LD).

Son grupos de nodos lógicos (LN) para una misma función (protección, control, grabación de las variaciones). Es condición indispensable que estos equipos lógicos se encuentren en el mismo equipo físico. [14]

3.4.3. Nodos lógicos (Logical nodes LN).

Son los pilares fundamentales de las funciones. Se trata de la parte más pequeña de una función que intercambia datos. Los nodos lógicos es un objeto que se define por una serie de datos y métodos. [14]

Todos los nombres de los nodos lógicos empiezan con la letra indicadora del grupo al que pertenecen, como se muestra en la tabla 2.

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

TABLA2: NODOS LÓGICOS

FUENTE: LOS AUTORES

Para poder intercambiar datos entre los distintos nodos, la norma define las conexiones entre nodos a través de conectores lógicos (LC, Logical Connections). [14]

En la figura 31 se muestra los enlaces entre los nodos lógicos. Cada LN se asigna a una función y a un equipo (PD, Physical Device), pudiendo existir varias funciones dentro de un mismo equipo. Los equipos se conectan a través de conexiones físicas (PC, Physical Connections), de forma que un nodo lógico es parte de un equipo físico, y una conexión lógica es parte de una conexión. [14]

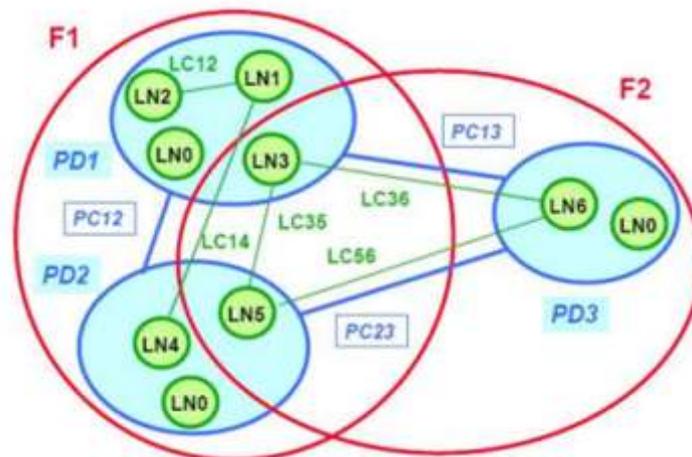


FIGURA 31: ENLACE ENTRE NODOS LÓGICOS

FUENTE: AXON GROUP

3.4.4. Datos (Data Objects DO).

Corresponde a las distintas partes de los nodos lógicos, las cuales representan información más específica, como por ejemplo el estado o medida de un elemento. Los

nodos lógicos y datos que forman parte de un equipo lógico son cruciales para la descripción e intercambio de información para conseguir interoperabilidad en los sistemas de automatización de subestaciones. [14]

La figura 32 representa la estructura de un dato en IEC 61850



FIGURA 32: ESTRUCTURA GENERAL DE UN DATO

FUENTE: AXON GROUP

3.5. Lenguaje de configuración de subestación (SCL).

La parte 6 del estándar IEC 61850, le corresponde aclarar, uno de los grandes beneficios que provee esta norma, ya que introduce el concepto y los parámetros de un lenguaje común que se utiliza para el intercambio de información, entre los diferentes IED; en la primera edición de la norma, el lenguaje de configuración SCL era conocido como (Substation Configuration Description Lenguaje) y en la segunda edición es llamado (System Configuration Description Lenguaje), sin tener que realizar ningún cambio en las siglas que lo representan, pero ahora contando con el nuevo enfoque hacia el sistema de potencia en general [20].

Este lenguaje de descripción común garantiza la interoperabilidad y mejora la fase de configuración. Cada herramienta propietaria debe apoyar la exportación de la descripción de los IED en relación con este lenguaje común, basado en XML (Extensible Markup Language). El proceso de desarrollo de un proyecto basado en la norma IEC 61850 depende de la disponibilidad de herramientas de software que hacen uso del lenguaje SCL [21].

SCL especifica un formato de archivo común para describir las capacidades de un IED, un esquema específico del sistema que puede ser visto en términos de un diagrama unifilar, y una descripción del sistema de automatización. La parte 6 de la norma IEC 61850 presenta seis tipos de archivos comunes [21].

ICD (IED Capability Description)

Contiene las características de cada dispositivo relacionadas con las funciones de comunicación y el modelo de datos. [14]

Cada archivo .ICD contiene un apartado para la descripción del dispositivo, en la que se recoge: [14]

- Las características relacionadas con el servicio de comunicación, como por ejemplo si los servicios de transferencia de archivos están preparados.
- Las características de configuración del equipo, por ejemplo cuantos bloques de control pueden ser configurados dinámicamente o por medio de un archivo SCD.
- Los datos relacionados con la funcionalidad y los datos en términos de nodos lógicos (LN) y el contenido de los datos (DATA).

SSD (System Specification Description)

Contiene las especificaciones de partida para la definición del sistema: el esquema unifilar junto a las funciones que se realizarán en los equipos primarios, en términos de nodos lógicos. [14]

SCD (System Configuration Description)

Se trata de un archivo que el integrador del sistema exportará como resultado de las ICDs y las SDDs, el cual contiene la configuración del sistema: Todos los IEDs, la configuración de las comunicaciones y la descripción de la subestación. [14]

CID (Configured IED Description)

Contiene para cada equipo la configuración y todos los datos necesarios para describir la interacción con el resto de equipos del sistema. [14]

3.6. Mensajería GOOSE.

Los mensajes GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) son paquetes de datos que permite transmitir, a través del sistema de comunicación Ethernet de forma cíclica y controlada por los sucesos que se presenten como fallas; con la posibilidad de enviar a través de la red mensajes con un bit de prioridad, para transmitir información que requiera de mucha velocidad, como es el caso de los disparos y eventos requeridos para enclavamientos en los sistemas eléctricos que oscilan desde los 150ms.

En la figura 33 se presenta el esquema del funcionamiento de la prioridad en los mensajes GOOSE; cuando es generado, al tener una prioridad mayor a las tramas comunes, este sobrepasa la cola de transmisión y el mensaje es enviado a la red, garantizando tiempos cortos en la transmisión en casos de tener avalanchas de información [14].

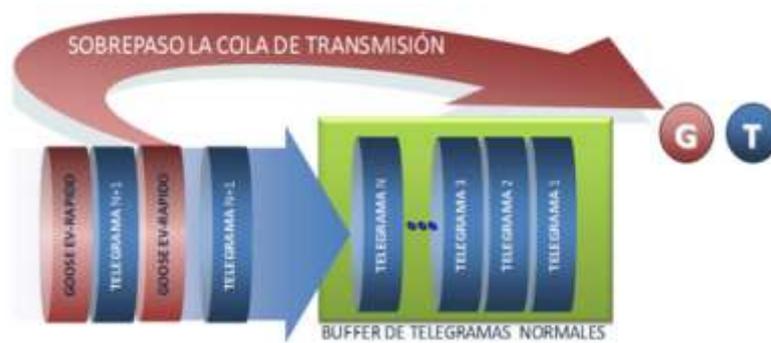


FIGURA 33: MENSAJE GOOSE CON PRIORIDAD

FUENTE: AXON GROUP

Los mensajes del servicio GOOSE son de tipo multicast, es decir, que son transmitidos a varios dispositivos de la red, los cuales están suscritos para recibir el mensaje y posteriormente procesarlos. Estos datos son organizados en un DataSet, como se muestra en la figura 34. [14]

Los mensajes GOOSE tienen un periodo fundamental (T_{max}), si no existe cambio en el estado del mensaje, si existe un cambio en el estado del mensaje, los mensajes GOOSE envían espontáneamente con un T_{min} , hasta volver al periodo fundamental si no cambia de estado. La transmisión cíclica permite detectar un fallo en la transmisión o que un canal de comunicación está interrumpido utilizando bloques lógicos [22].

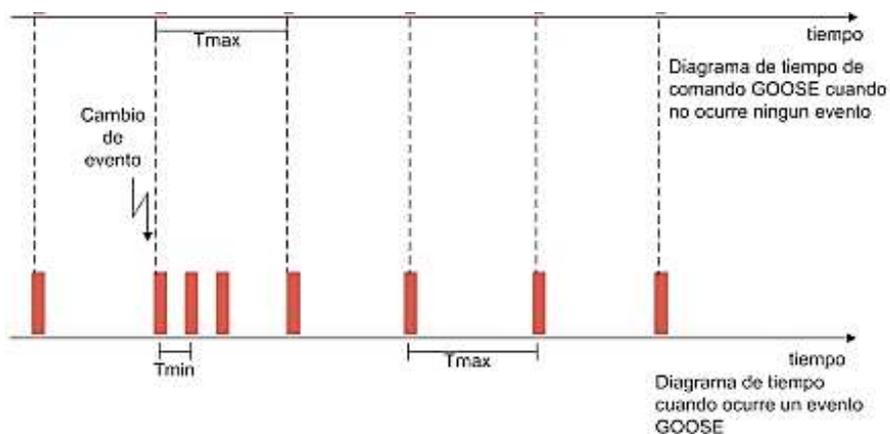


FIGURA 34: TIEMPOS PARA TRANSMISIÓN DE GOOSE

FUENTE: PROYECTO IEC 61850, REDES DE COMUNICACIÓN Y SISTEMAS EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Como ejemplo de mensajes GOOSE tenemos una aplicación a un esquema de control. Los mensajes GOOSE son usados para reemplazar el cableado los paneles de interrupción para una protección crítica [22].

- Mensaje de disparo de interruptor
- Mensaje de cierre del Interruptor
- Relé o un estado lógico de salida para supervisión de acciones de control o protección en otros relés o zonas de protección.
- Iniciación de falla de interruptor.
- Iniciación de reconexión.

- Cruce de supervisión de los sistemas redundantes – cada uno puede comprobar si está activo en el otro sistema, y reportar las fallas, sin necesidad de cableado adicional.
- Comando de disparo de reserva (backup), después la falla del interruptor u operación de relé de reserva (backup)
- Interruptor boqueado y comandos de cierre de bloqueado.
- Estado de bloqueo del interruptor que un bloqueo particular está activado para un interruptor particular.
- Etiquetados de bloqueo para mantenimiento.
- Estado de pruebas de mantenimiento o control – estado de inhibición para mensajes LAN.

3.7. Comparación del protocolo IEC 61850 y DNP3.

Para la automatización de subestaciones hoy en día, se cuenta con gran variedad de protocolos, ya sea para la comunicación de equipos del mismo nivel de control, como equipos que se encuentren en diferentes niveles [21].

En la tabla 3 se realizara una comparación de los protocolos IEC 61850 y DNP3.0 desde la perspectiva para la automatización de subestaciones.

| | DNP3 | IEC 61850 | Descripción |
|--|------|-----------|---|
| Interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes. | NO | SI | Permite conectar equipos de diferentes fabricantes “peer to peer” |
| Escalabilidad en tecnologías de comunicaciones. | NO | SI | Capacidad de combinar tecnologías de comunicaciones presentes y futuras con las aplicaciones existentes |
| Permisivos de Operación (Interlock) sobre el bus de proceso | NO | SI | Permite configurar permisivos de operación sin lógica cableada, ahorra tiempo y costos de materiales al hacerlo sobre el bus de comunicaciones (utiliza la herramienta GOOSE) |
| SCL -Lenguaje de descripción de configuración de subestaciones (Substation Configuration Description Language) | NO | SI | Reducción de plazos y costos del proceso de ingeniería y puesta en marcha de las subestaciones. |

TABLA3: COMPARACIÓN DE PROTOCOLOS IEC 61850 Y DNP3

FUENTE: ING. EDUARDO FCO. ROSALES - NORMAS IEC 61850 Y DNP3 EN AUTOMATIZACIÓN DE SUBESTACIONES

3.7.1 Ejemplo de aplicación del protocolo IEC61860.

En el trabajo denominado como: Applying IEC61850 to Real Life: Modernization Project for 30 Electrical Substations realizado por la empresa Elektro Eletricidade e Serviços S.A. de Brazil y Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Nos exponen uno

de los casos de éxito de la modernización de las subestaciones Guarujá 2 138KV/13.8KV en Brasil utilizando la norma IEC61850.

Objetivos del cambio

- Desarrollar esquemas de lógica de bahías a nivel IED.
- Priorizar el uso de mensajes GOOSE para minimizar el cableado de cobre y las entradas y salidas físicas de los equipos.
- Requerir un tiempo de procesamiento corto de los esquemas lógicos del usuario para garantizar el correcto funcionamiento de las funciones de protección.
- La lógica del usuario debe tener el mismo tiempo de procesamiento que las funciones de protección IED.

Resultados

Los resultados obtenidos fueron los esperados:

- Reducción del número de entradas y salidas físicas y cables de cobre.
- Implementación de lógica compleja con múltiples y diferentes IEDs.
- Mayor fiabilidad, seguridad y disponibilidad del sistema.
- Reducción del tiempo de interrupción de la alimentación para los clientes.
- Fácil expansión del sistema.
- La obsolescencia ya no es un problema a corto plazo.

En la figura 35 se aprecian los cables de cobre que fueron retirados de los sistemas de control y comunicación, los mismo fueron reemplazados por fibra óptica tal como se muestra en la figura 36.



FIGURA 35: ANTIGUO CABLEADO DE COBRE – SUBESTACIÓN GUARUJÁ - BRASIL

FUENTE: APPLYING IEC 61850 TO REAL LIFE: MODERNIZATION PROJECT FOR 30 ELECTRICAL SUBSTATIONS

ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A. SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, INC.



FIGURA 36: REEMPLAZO DEL CABLEADO DE COBRE CON FIBRA ÓPTICA – SUBESTACIÓN GUARUJÁ - BRASIL
FUENTE: APPLYING IEC 61850 TO REAL LIFE: MODERNIZATION PROJECT FOR 30 ELECTRICAL SUBSTATIONS
ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A. SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, INC.

CAPÍTULO IV

4. MANUAL DE IMPLEMENTACIÓN DE MENSAJERÍA GOOSE

En el siguiente capítulo se redactará el manual que se estableció como uno de los objetivos específicos. Este manual fue elaborado para tener una guía base con la que podremos aplicar el protocolo IEC61850-GOOSE en los IED marca SEL, desde la instalación de las herramientas de software hasta el mapeo de datos. En el mismo se citan tres escenarios de pruebas en el cual se demostrará su implementación.

Se recomienda revisar cada uno de los puntos previos a la implementación del protocolo. El procedimiento debe cumplirse de manera secuencial y sin saltarse ningún paso.

- Herramientas de software: En esta sección hablaremos de las herramientas de software a utilizar, como descargarlas y cuáles son los requerimientos mínimos para su instalación.
- Relés de protección: Conoceremos cuales son las bondades de los relés disponibles, cuáles son las funciones de protección e identificación de los puertos de comunicación.
- Implementación de la red LAN: En esta sección entraremos más en detalle en la parte de redes, desde identificar, configurar y verificar los parámetros de comunicación de los puertos de los IEDs y PC disponibles, además de los criterios para seleccionar la topología de la red de comunicación.
- Implementación de la norma IEC61850: Se implementa la norma en los IEDs SEL. Aquí se detallará cómo crear los archivos SCD, agregar los archivos .CID, crear y editar DataSets, realizar la configuración de los datos que enviaremos y recibiremos mediante GOOSE y hasta como cargar las configuraciones a los IEDs.
- Escenarios de pruebas: Se implementarán tres escenarios con IEC61850 en donde se demostrará su aplicación, configuración y ventajas.

4.1. Herramientas de software.

Para este trabajo se utilizarán dos herramientas de software, las mismas son proporcionadas por el fabricante de los IEDs SEL

- AcSELErator QuickSet (SEL-5030)
- AcSELErator Architect (SEL-5032)

Antes de entrar en detalles con cada una de estas herramientas de software, es importante indicar que las mismas se encuentran disponibles para su descarga desde el sitio web de SEL Inc. a través de los siguientes enlaces respectivamente:

www.selinc.com/sel-5030

www.selinc.com/sel-5032

Para poder descargar cualquier tipo de información o software desde este sitio web, primero se debe registrar y crear una cuenta mySEL, como se muestra en la figura 37.

The image shows a screenshot of the 'CREATE MYSEL ACCOUNT' registration form on the SEL website. The form is divided into two main sections: 'Login Information' and 'Contact Information'. The 'Login Information' section includes fields for 'Email*', 'Password*', and 'Confirm Password*'. The 'Contact Information' section includes fields for 'First Name*', 'Last Name*', 'Organization*', 'Job Title', 'Address*', 'Address 2', 'Country*', 'Postal Code', 'State/Province', 'City*', 'Country Code*', and 'Phone*'. A 'CREATE MYSEL ACCOUNT' button is located at the bottom left of the form. The website header includes the SEL logo and navigation links for Services and Solutions, Products, Education and Events, Support, Company, and Account.

FIGURA 37: FORMULARIO DE REGISTRO CUENTA MYSEL

FUENTE: SELINC.COM//MYACCOUNT/

Para el registro no se puede utilizar correos electrónicos personales con dominios como Gmail, Yahoo, Hotmail, etc. Se debe registrar un correo electrónico con dominio corporativo.

La instalación del software es libre y todas las actualizaciones están disponibles en el sitio web. La última versión del software es siempre compatible con los nuevos relés y relés con firmwares más antiguos. En el sitio web de SEL siempre se encontrará la versión del software más actualizada, como se muestra en la figura 38.

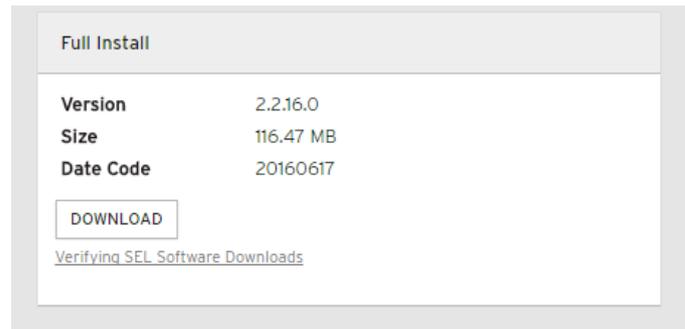


FIGURA 38: DESCARGA DE SOFTWARE DESDE SITIO WEB

FUENTE: SELINC.COM/SEL-5030

Es imprescindible que el usuario tenga privilegios de administrador de la máquina sin restricciones, y ejecutar la instalación como administrador. De lo contrario, la instalación no se completará correctamente.

4.1.1. AcSELeRator QuickSet (SEL-5030).

El software AcSELeRator QuickSet SEL-5030, mostrado en la figura 39, es una herramienta para los ingenieros y técnicos, la cual proporciona una rápida y fácil configuración de dispositivos para sistema de protección, sistemas de control, medición y monitoreo [23].



FIGURA 39: SEL 5030 ACSELERATOR QUICKSET

FUENTE: SELINC.COM/SEL-5030

QuickSet es uno de los componentes de la familia AcSELeRator software, lo que le ayuda a trabajar más eficientemente y gestionar los procesos, proporcionando un conjunto común de herramientas que mejoran la puesta en marcha [23].

Con las características de visualización y gestión avanzada, QuickSet proporciona la flexibilidad y confianza en un solo dispositivo o diseñar un sistema completo; crear y editar los ajustes, diseño de la lógica de manera gráfica y acceder a otras herramientas para ayudar a organizar dispositivos en su sistema. Desarrollar y aplicar las normas de ingeniería que utilizan plantillas para protección, control, medición, automatización y SCADA. Con una variedad de herramientas personalizables y plug-ins, QuickSet funciona de la forma en que, la integración sin problemas en su flujo de trabajo con mejoras en la productividad, como se muestra en la figura 40. [24].

Requisitos mínimos del sistema

- Microsoft Windows 10,
- Microsoft Windows 7, 32- o 64-bit,
- 750 MB; 2 GB if .NET framework is installed,
- PC con puerto serial o Ethernet disponible para la comunicación con los IED ,
- Iniciar sesión con privilegios de administrador sin restricciones.



FIGURA 40: PANTALLA PRINCIPAL - SEL 5030 ACCELERATOR QUICKSET

FUENTE: ACCELERATOR QUICKSET

4.1.2. AcSELErator Architect (SEL-5032).

El software AcSELErator Architect SEL-5032 permite la edición y programación de los parámetros relacionados con la norma IEC 61850. Este software nos permite realizar las siguientes tareas, como se muestra en la figura 41. [25]:

- Organizar y configurar todos los IEDs SEL en el proyecto de la subestación,
- Creación y edición de DataSet,
- Creación de paquetes de mensajes GOOSE Transmit,
- Creación de ficheros CID,
- La lectura de los archivos de configuración de la subestación (SCD, ICD, CID),

- Utiliza o edita DataSet preconfigurados para los reportes,
- Editar la configuración de banda muerta para los valores medidos.



FIGURA 41: SEL 5032 ACSELERATOR ARCHITECT

FUENTE: SELINC.COM/SEL-5032

El software AcSELERator Architect SEL-5032 se puede aplicar a todos los relés de protección, módulos y procesadores lógicos SEL que tienen compatibilidad con la norma IEC 61850, como se muestra en la figura 42. La instalación es bastante simple y todas las actualizaciones de software están disponibles de forma gratuita en el sitio web de SEL Inc. [25]

Requisitos mínimos del sistema

- Microsoft Windows 10, 32- or 64-bit,
- Microsoft Windows 7, 32- or 64-bit,
- Un mínimo de 50 MB de espacio libre en disco duro
- PC con puerto RJ45 Ethernet disponible para la comunicación con los IED a través de FTP *,
- Iniciar sesión con privilegios de administrador sin restricciones.

Si el relé tiene puerto Ethernet con conector de fibra óptica, se deberá tener un switch de comunicación con al menos un puerto en fibra y otros RJ45 disponible para el equipo que se requiere, o el uso de un convertidor de fibra a RJ45, esto es debido al hecho que las computadoras no cuentan con puertos de Ethernet con conectores ópticos.

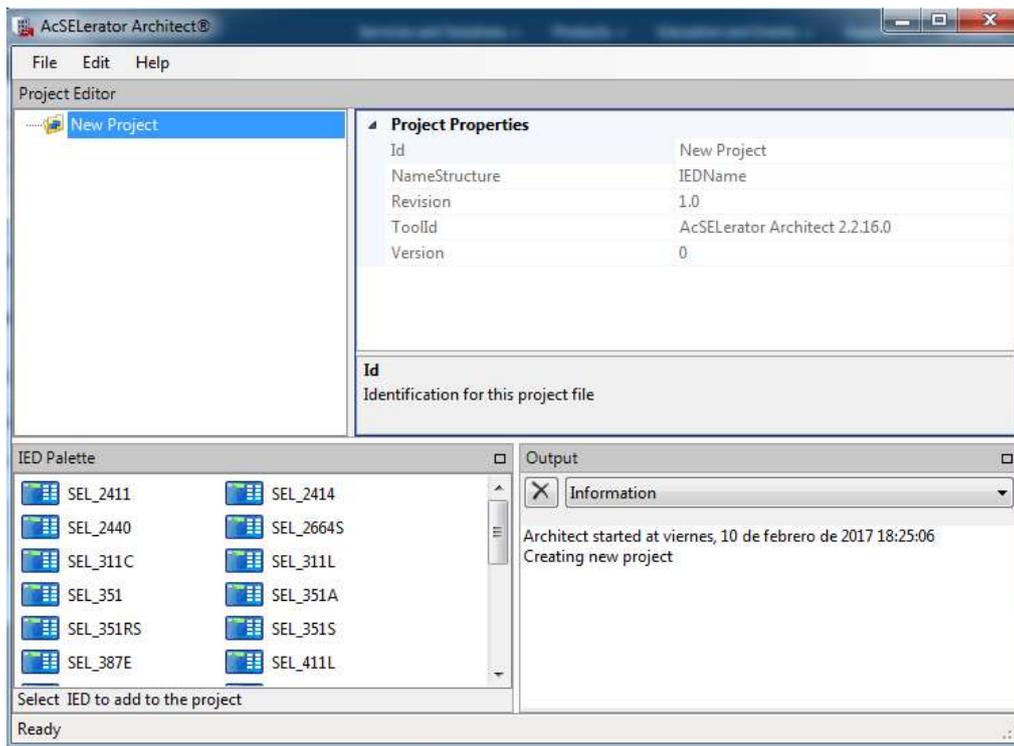


FIGURA 42: PANTALLA PRINCIPAL - SEL 5032 ACSELERATOR ARCHITECT

FUENTE: ACSELERATOR ARCHITECT

4.1.2.1. AcSElerator Architect – Menu File.

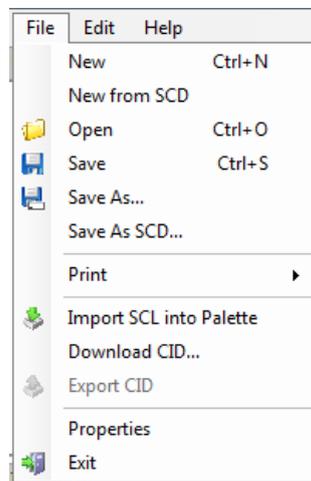


FIGURA 43: FILE - SEL 5032 ACSELERATOR ARCHITECT

FUENTE: ACSELERATOR ARCHITECT

- **New:** Permite crear un nuevo proyecto.
- **Open:** Permite abrir un proyecto (subestación) IEC 61850 a través del archivo .selapj (ejecutable con el SEL-5032).
- **Save and Save As:** Guarda el proyecto creado en formato .selapj.
- **Save As SCD:** Guarda el proyecto creado en formato .SCD (Subestación configuración Descripción), como se muestra en la figura 43.

- **Print:** Permite la impresión de enlaces GOOSE configurados en el proyecto, una excelente herramienta para la documentación, pudiendo incluso exportar los datos a Microsoft Excel.
- **Import SCL to Palette:** Permite la importación de los archivos .CID ya configurados en los relés SEL y comprueba el contenido de los IEDs SEL mediante la importación de ficheros .CID.
Hacer click derecho en "IED Palette" también permite el acceso a estos valores, como se muestra a continuación.
- **Verify CID:** Permite la comprobación de posibles errores en el CID.
- **Download CID:** Realiza una lectura del fichero .CID de un IED. El procedimiento es muy similar a cargar el archivo .CID en el IED, como se muestra en la figura 44.



FIGURA 44: DESCARGA O CARGA DE ARCHIVO .CID

FUENTE: ACSELERATOR ARCHITECT

- **Export CID:** Crea los archivos de configuración IEC 61850 para almacenamiento o distribución a las subestaciones remotas, o para software de terceros.

4.1.2.1. AcSElerator Architect – Menu Edit.

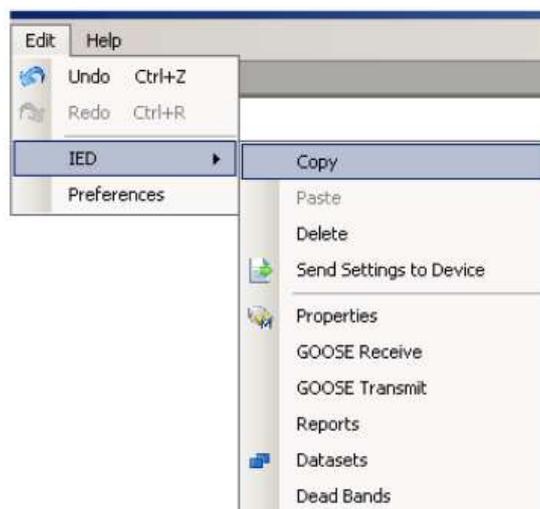


FIGURA 45: EDIT - SEL 5032 ACSELERATOR ARCHITECT

FUENTE: ACSELERATOR ARCHITECT

- **Undo:** Deshacer operación, como se muestra en la figura 45.
- **Redo:** Rehacer operación.
- **IED > Copy:** Copia los ajustes de un IED para entrar en el proyecto.
- **IED > Send Settings to Device:** Envía el archivo CID al IED.
- **IED > Properties:** Dirige al usuario a la pantalla de propiedades IED.
- **IED > GOOSE Receive:** dirige al usuario a la pantalla inicial de los mensajes GOOSE configurados.
- **IED > GOOSE Transmit:** Dirige al usuario a la pantalla de configuración para publicar mensajes GOOSE.
- **IED > Reports:** Dirige al usuario a la pantalla de edición de informes.
- **IED > DataSets:** dirige al usuario editar la pantalla Conjuntos de datos.
- **IED > Dead Bands:** ajustes de la banda muerta.
- **Preferences:** Permite al usuario comprobar la validez de determinar los valores de configuración publicación de mensajes GOOSE, como se muestra en la figura 46.

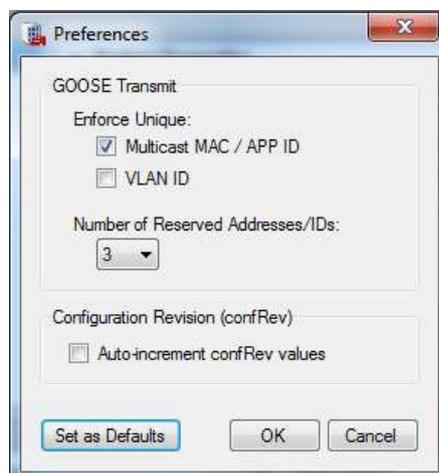


FIGURA 46: PREFERENCES - SEL 5032 ACSELERATOR ARCHITECT

FUENTE: ACSELERATOR ARCHITECT

4.2. Relés de protección marca SEL.

Este trabajo consiste en utilizar los IEDs marca SEL disponibles en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

Los IEDs utilizados son los que están instalados en módulo didáctico de protecciones de redes de distribución en sistemas eléctricos de potencia, el cual cuenta con los siguientes IEDs:

- RELÉ SEL 751 (3 UNIDADES)
- RELÉ SEL 387E (1 UNIDAD)

Cabe recalcar que estos 4 IEDs son compatibles con el protocolo IEC61850 y cuentan con puertos Ethernet RJ45 y de fibra óptica para establecer la red LAN.

4.2.1. SEL-751 Relé de protección de alimentador.

El relé de protección de alimentador SEL-751 mostrado en la figura 47, es ideal para aplicaciones de sobrecorriente direccional, localización de fallas, detección de arco eléctrico y detección de fallas de alta impedancia, como se muestra en la figura 49. Las flexibles opciones de tarjetas de entradas y salidas, fácil montaje y rápidos ajustes hacen que el SEL-751 mostrado en la figura 48, sea la solución ideal para la protección del alimentador de plantas industriales y empresas suministradoras de energía [24].



FIGURA 47: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL-751 (PARTE FRONTAL)

FUENTE: SELINC.COM/PRODUCTS/751

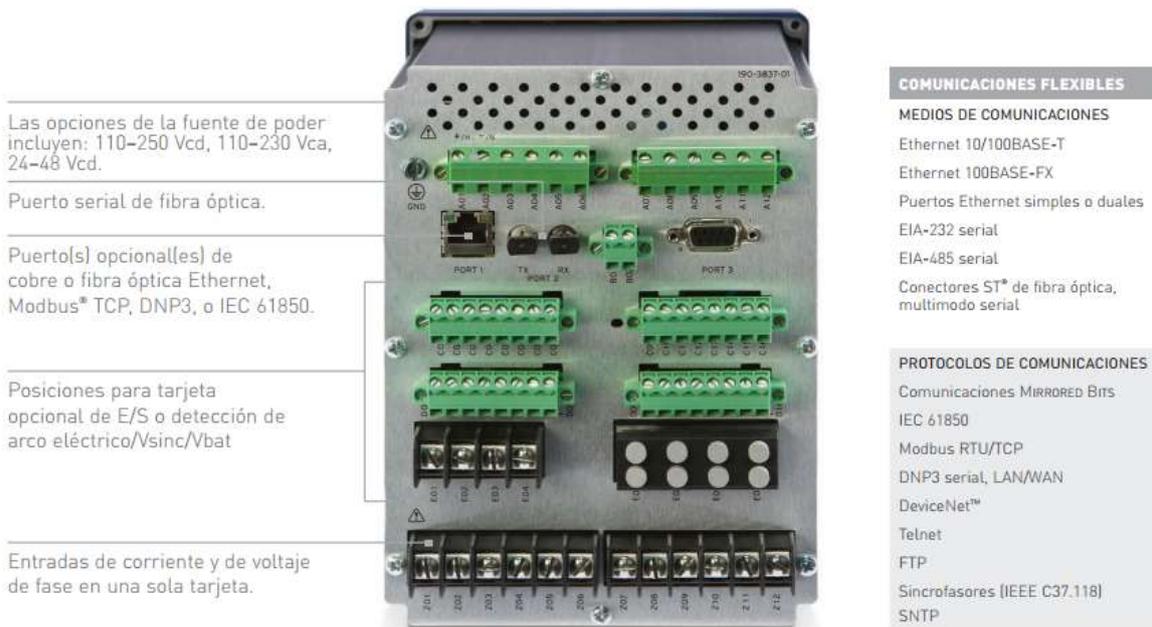


FIGURA 48: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL-751 (PARTE POSTERIOR)

FUENTE: SELINC.COM/PRODUCTS/751

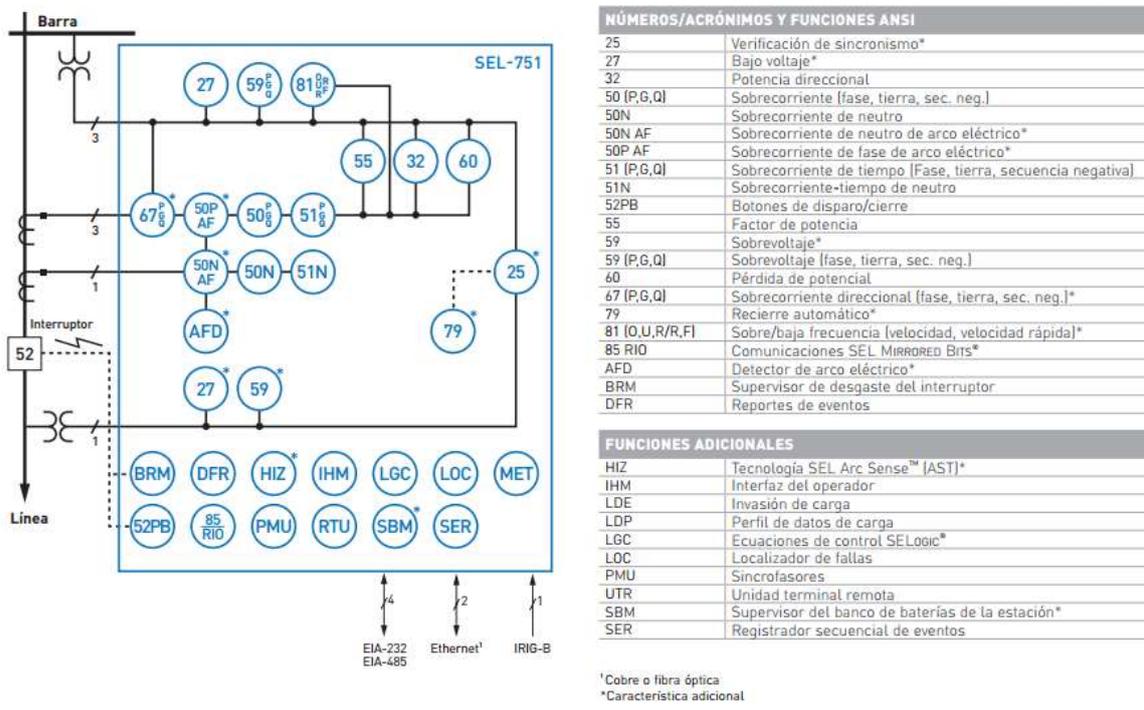


FIGURA 49: FUNCIONES DE PROTECCIÓN DEL RELÉ SEL-751

FUENTE: SELINC.COM/PRODUCTS/751

4.2.2. SEL-387E Relé diferencial de corriente y voltaje.

El relé diferencial de corriente y voltaje SEL-387E mostrado en la figura 50, proporciona protección a los dos o tres devanados de transformadores de potencia, entradas de tensión para la medición de potencia y protección de sobreexcitación, proporciona soluciones versátiles para aparatos de protección de energía, como se muestra en la figura 51. [26]

Las características de automatización reducen los costos con la eliminación de los tradicionales controles externos, medidores y las lámparas de indicación, como se muestra en la figura 52.



FIGURA 50: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL-387E

FUENTE: SELINC.COM/PRODUCTS/387E

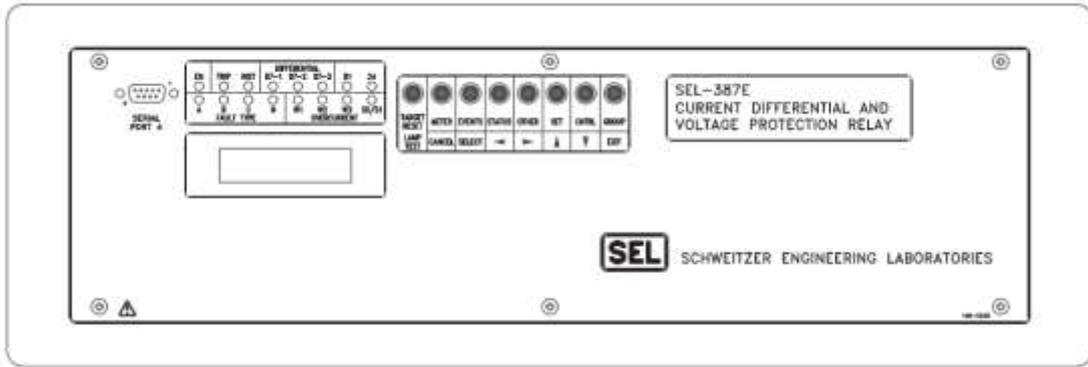


FIGURA 51: RELÉ DE PROTECCIÓN SEL-387E (PARTE FRONTAL Y POSTERIOR)

FUENTE: SELINC.COM/PRODUCTS/387E

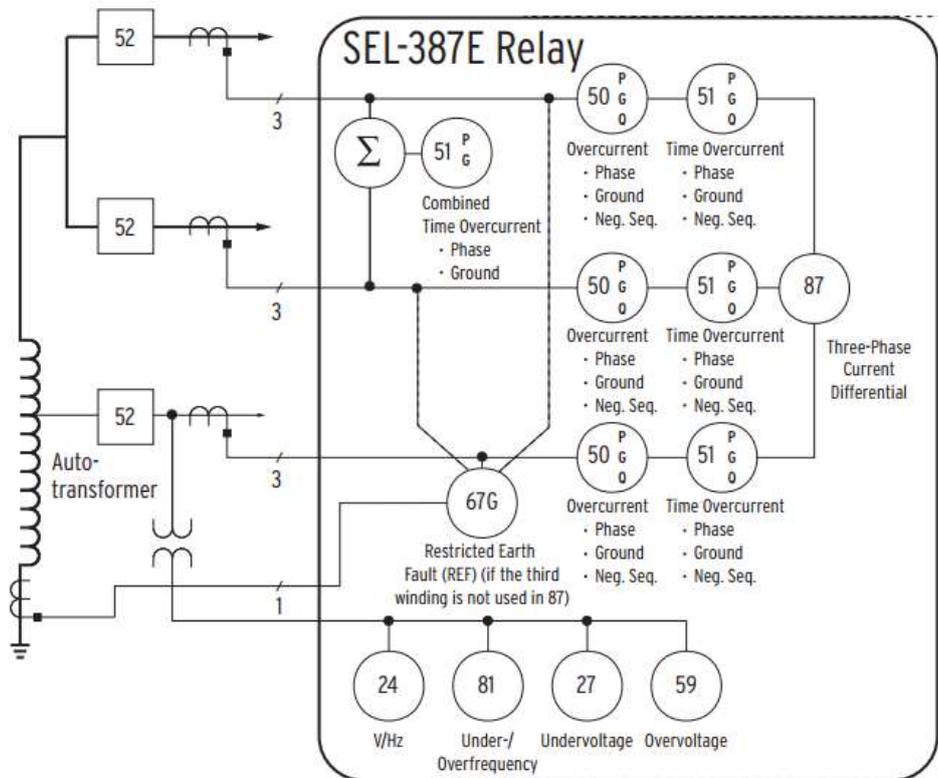


FIGURA 52: FUNCIONES DE PROTECCIÓN DEL RELÉ SEL-387E

FUENTE: SELINC.COM/PRODUCTS/387E

4.2.3. Verificación de la configuración de los IEDs.

En esta sección mostraremos como identificar la configuración de hardware los IEDs que utilizaremos para nuestro trabajo. Esto es de mucha importancia antes de realizar cualquier tipo de conexión, ya que con esta información comprobaremos los niveles de tensión de alimentación, niveles tensión para la lógica de control, puertos de comunicación y los protocolos compatibles; para lo cual debemos tener identificado el número de parte de cada equipo, esto lo hacemos revisando la parte posterior de los IEDs, como se muestra en la figura 53.

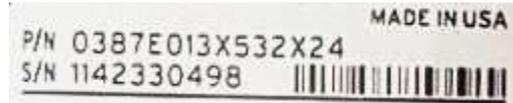


FIGURA 53: NÚMERO DE PARTE – IED 387E

FUENTE: SELINC.COM

En la tabla 4 se muestra el número de parte de cada uno de los IEDs que usaremos en nuestro trabajo, adicional indicamos el número de serie y la versión del firmware.

| MODELO | Part Number | Serial Number | Firmware |
|------------------|---------------------|---------------|----------|
| IED 751-1 | 751401CBA0X0X850310 | 3142370179 | Z004 |
| IED 751-2 | 751401CBA0X0X850310 | 3142370180 | Z004 |
| IED 751-3 | 751401CBA0X0X850310 | 3142370174 | Z004 |
| IED 387E | 0387E013X532X24 | 1142330498 | Z102 |

TABLA4: INFORMACIÓN DE LOS IEDS

FUENTE: LOS AUTORES

➤ Paso 1. Ingresar a la página de selinc.com, como se muestra en la figura 54.

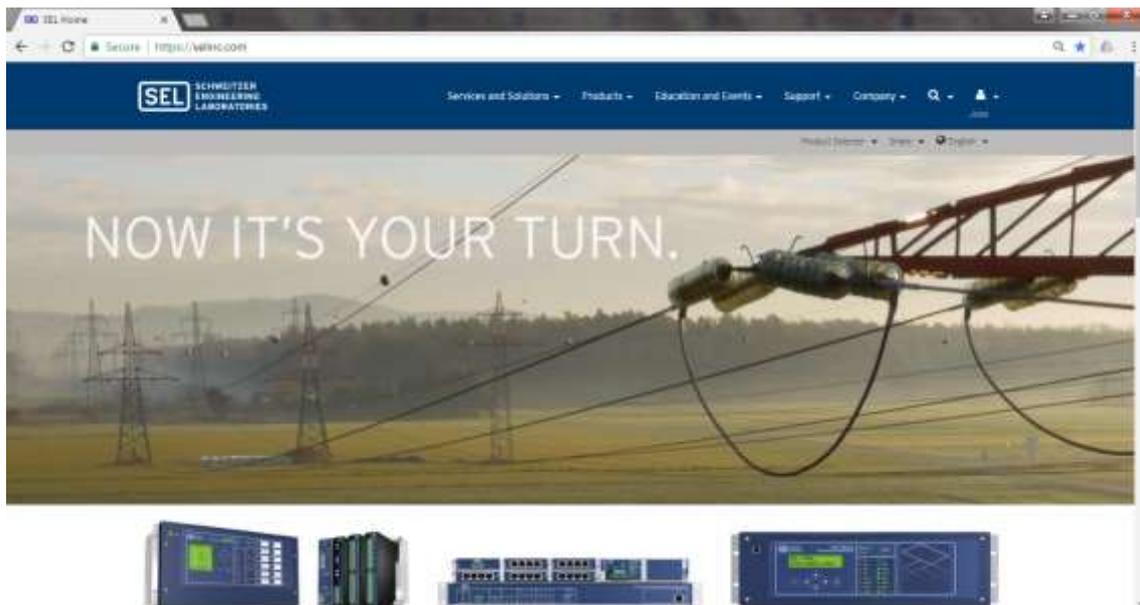


FIGURA 54: PÁGINA PRINCIPAL SELINC

FUENTE: SELINC.COM

- Paso 2. Iniciar sesión en la cuenta mySEL. pagina
- Paso 3. Buscar el modelo del IED, en este caso “387E”, tal como se muestra en la figura 55.

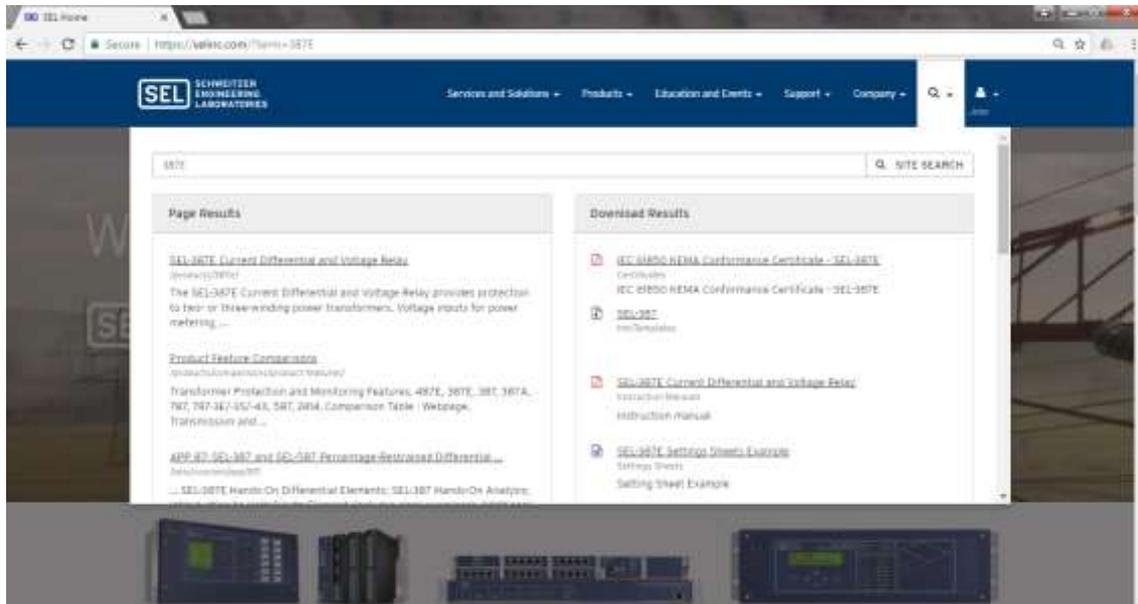


FIGURA 55: BUSCAR – 387E

FUENTE: SELINC.COM

- Paso 4. En la página con la descripción del IED 387E, seleccionaremos la opción “CONFIGURE”, tal como se muestra en la figura 56.

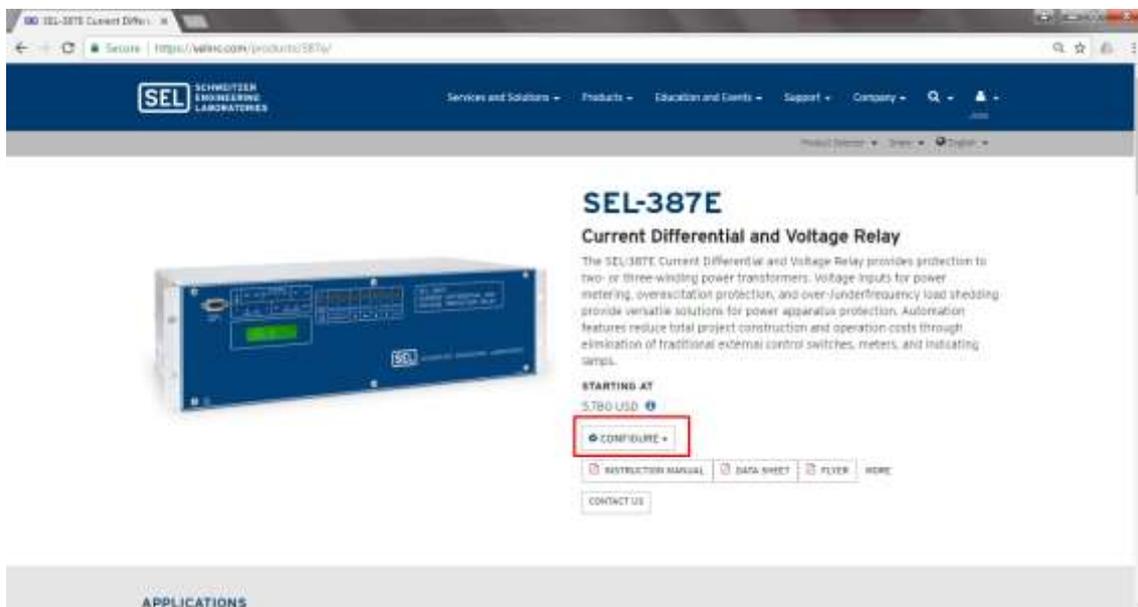


FIGURA 56: PÁGINA DEL PRODUCTO SEL 387E

FUENTE: HTTPS://SELINC.COM/PRODUCTS/387E/



FIGURA 57: CONFIGURACIÓN – 387E-A

FUENTE: [HTTPS://SELINC.COM/PRODUCTS/387E/](https://selinc.com/products/387e/)

- Paso 5. Seleccionar el modelo del IED “SEL-387E Current Differential and Voltaje Relay Configuration”, como se muestra en la figura 57.
- Paso 6. Se nos abrirá una nueva ventana, en ella debe digitar el número de parte del IED, como se muestra en la figura 58.

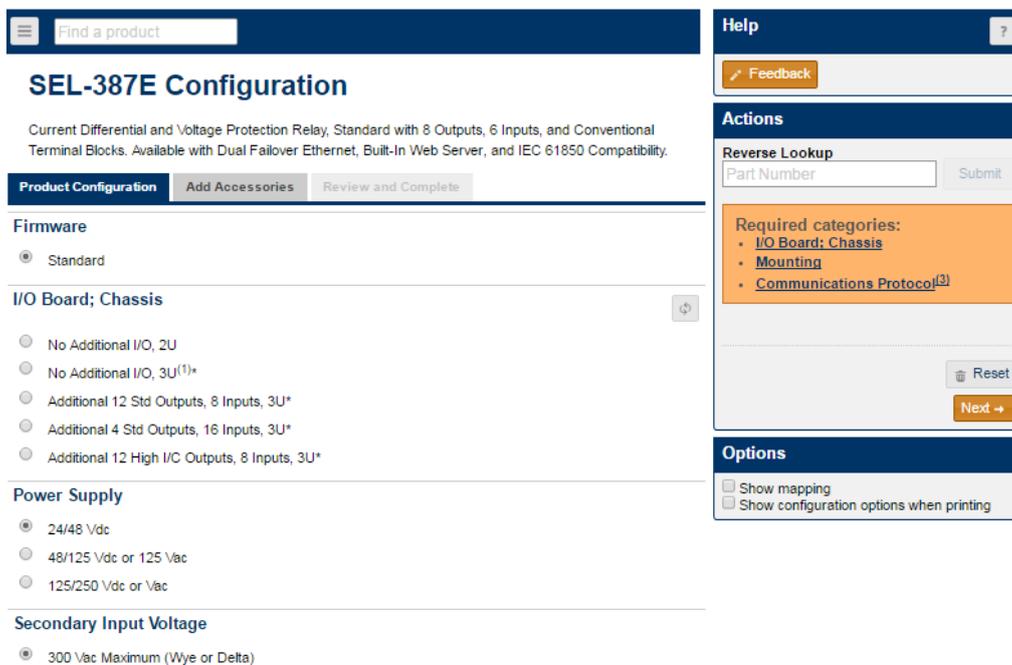


FIGURA 58: CONFIGURACIÓN – 387E-B

FUENTE: [HTTPS://SELINC.COM/PRODUCTS/CONFIGURE?PRODUCTID=387E](https://selinc.com/products/configure?productid=387e)

La página validará el número de parte del IED mostrándonos una tabla con la configuración del IED, como se muestra en la figura 59, 60 y 61.

SEL-387E Configuration

Current Differential and Voltage Protection Relay, Standard with 8 Outputs, 6 Inputs, and Conventional Terminal Blocks. Available with Dual Failover Ethernet, Built-In Web Server, and IEC 61850 Compatibility.

Product Configuration Add Accessories **Review and Complete**

Use the "Email Lookup Results" button below to email this information to yourself. Then forward the email with a complete purchase order to your SEL Sales Representative.

Configuration

| Part Number | Key Code |
|-----------------|----------|
| 0387E013X532X24 | 7029 |

SEL-387E

| Product Configuration | |
|-------------------------|--|
| Category | Selection |
| Firmware | Standard |
| I/O Board; Chassis | Additional 12 Std Outputs, 8 Inputs, 3U* |
| Power Supply | 48/125 Vdc or 125 Vac |
| Secondary Input Voltage | 300 Vac Maximum (Wye or Delta) |

Help ?

Actions

Reverse Lookup

0387E013X532X24

✓ Configuration is valid

Store Configuration

Options

Show mapping

Show configuration options when printing

FIGURA 59: CONFIGURACIÓN – 387E-C

FUENTE: [HTTPS://SELINC.COM/PRODUCTS/LOOKUP?LOOKUP=0387E013X532X24](https://selinc.com/products/lookup?lookup=0387E013X532X24)

| Configuration | |
|--|---|
| Part Number | Key Code |
| 0387E013X532X24 | 7029 |
| SEL-387E | |
| Product Configuration | |
| Category | Selection |
| Firmware | Standard |
| I/O Board; Chassis | Additional 12 Std Outputs, 8 Inputs, 3U* |
| Power Supply | 48/125 Vdc or 125 Vac |
| Secondary Input Voltage | 300 Vac Maximum (Wye or Delta) |
| Secondary Input Current | 5 Amp Phase |
| Mounting | Horizontal Panel Mount |
| Conformal Coat | None |
| Control Input Voltage | 48 Vdc |
| Communications Protocol ⁽³⁾ | Serial Protocols Listed Above with Two 10/100BASE-T Ethernet Ports and IEC 61850* |

FIGURA 60: CONFIGURACIONES DEL RELÉ SEL-387E

FUENTE: [HTTPS://SELINC.COM/PRODUCTS/LOOKUP?LOOKUP=0387E013X532X24](https://selinc.com/products/lookup?lookup=0387E013X532X24)

| Configuration | |
|--|--|
| Part Number | Key Code |
| 751401CBA0X0X850310 | 0808 |
| SEL-751 with 2x16 LCD Display | |
| Product Configuration | |
| Category | Selection |
| Firmware | Standard Firmware plus Reclosing and Directional ^{(8)*} |
| User Interface | English Language Support |
| SELEct Power Supply with I/O Option Slot A | Power Supply 110–250 Vdc, 110–240 Vac, 50/60 Hz (SELEct PSIO / 2 DI / 3 DO); 48 Vdc/Vac Digital Input |
| SELEct Front Panel Options | Front Panel Options; 8 pushbutton controls, 2x16 character LCD display* |
| SELEct Processor Board Ethernet/Rear Serial Options Slot B | Processor Board (SELEct CPU/COM) Ethernet/Rear Serial Options; Single 10/100Base-T Ethernet, EIA-485 Rear with Single Multimode ST Fiber-optic Serial Port Rear* |
| SELEct Protocols Slot B | Protocols; Standard plus IEC 61850 (requires Ethernet)* |
| SELEct I/O Card Option Slot C | 3 Digital Input / 4 Digital Output / 1 4–20mA Analog Output (SELEct 3 DI / 4 DO / 1 AO) ⁽¹⁾ ; 125 Vdc/Vac DI, Electromechanical DO* |
| SELEct I/O Card Option Slot D | No Card; Empty |
| SELEct I/O Card Option Slot E | No Card; Empty |
| SELEct I/O Card Option - Voltages Slot Z | 3-Phase AC Voltage (300 Vac) / 3-Phase AC Current Input / Neutral AC Current Input (SELEct 4 ACI / 3 AVI)* |
| SELEct I/O Card Option - Currents Slot Z | 5 Amp Phase, 5 Amp Neutral |
| Conformal Coat | None |

FIGURA 61: CONFIGURACIONES DEL RELÉ SEL-751

FUENTE: [HTTPS://SELINC.COM/PRODUCTS/LOOKUP?LOOKUP=751401CBA0X0X850310](https://selinc.com/products/lookup?lookup=751401CBA0X0X850310)

4.3. Implementación de la red LAN.

El protocolo IEC61850 es uno de los primeros que ofrece una solución completa incluyendo también el uso de la implementación de una red LAN a nivel de subestaciones, dándole así mayor facilidad y orden a la distribución de cables de cobre. En este punto se pueden mencionar las siguientes características:

- Usa Ethernet y TCP/IP para la comunicación.
- Entrega un amplio rango de características convencionales de comunicación.
- Es abierto para futuros nuevos conceptos de comunicaciones

4.3.1. Diseño de la red LAN.

Para poder definir el diseño de la red de comunicación, es importante primero tener definido cuales son los IEDs a utilizar en nuestro esquema de protecciones. Con esta información podemos ir asignando las funciones de protección, las zonas de protección de cada uno de ellos, además de verificar cuales son los puertos de comunicación disponibles para seleccionar nuestros equipos y arquitecturas de comunicación, como se muestra en la figura 62.

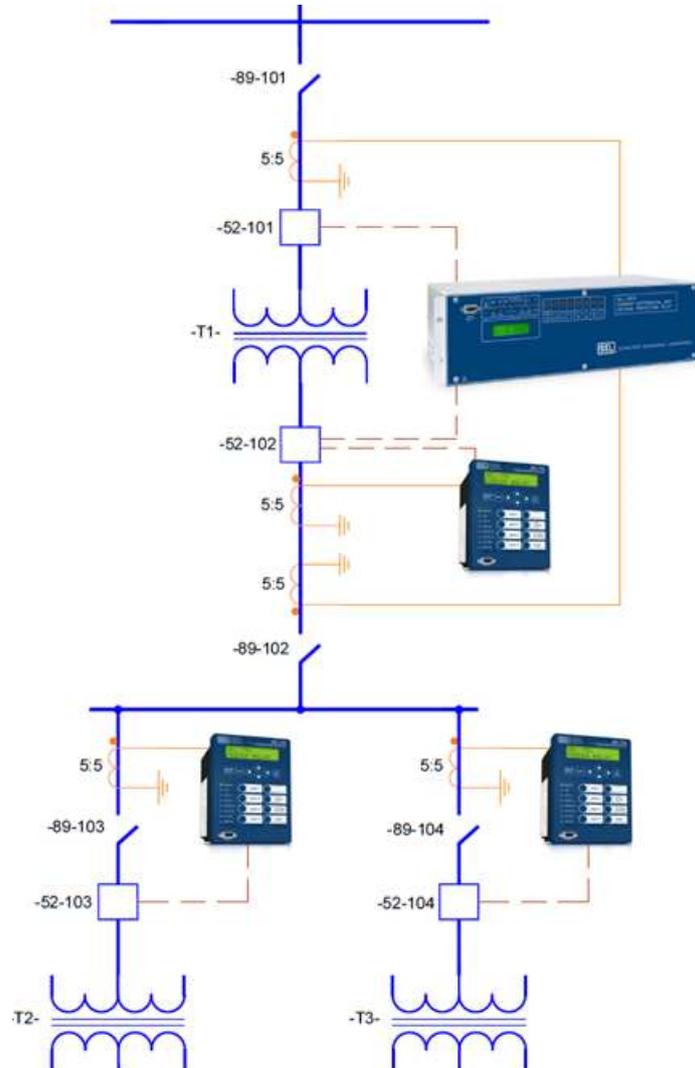


FIGURA 62: IEDS EN EL ESQUEMA DE PROTECCIÓN

FUENTE: LOS AUTORES

En la tabla 5 se muestra la información de los IEDs a utilizar. Para cada uno de ellos se detalla la información más relevante como la funciones de protección, el interruptor que va a controlar, el tipo de puerto de comunicación y la dirección IP que será asignada al IED para formar parte de la red LAN.

Las direcciones IP que mostramos en la tabla 5, no son las que vienen configuradas por defecto en los IEDs, son las direcciones IP que se asignarán para que puedan formar parte de nuestra red LAN.

| | | |
|---------------------------|-----------------------|--|
| UBICACIÓN | ALIMENTADOR PRINCIPAL |  |
| MODELO | 751 | |
| MARCA | SEL | |
| FUNCION | 50/51 | |
| CONTROL | 52-102 | |
| PROTOCOLO | IEC 61850 - GOOSE | |
| PUERTO DE COMUNICACION | ETHERNET - RJ45 | |
| DIRECCION IP | 192.168.1.10 | |
| MASCARA DE SUBRED | 255.255.255.0 | |
| ALIMENTADOR PRINCIPAL | | |
| UBICACIÓN | SALIDA 1 |  |
| MODELO | 751 | |
| MARCA | SEL | |
| FUNCION | 50/51 | |
| CONTROL | 52-103 | |
| PROTOCOLO | IEC 61850 - GOOSE | |
| PUERTO DE COMUNICACION | ETHERNET - RJ45 | |
| DIRECCION IP | 192.168.1.11 | |
| MASCARA DE SUBRED | 255.255.255.0 | |
| SALIDA 1 | | |
| UBICACIÓN | SALIDA 2 |  |
| MODELO | 751 | |
| MARCA | SEL | |
| FUNCION | 50/51 | |
| CONTROL | 52-104 | |
| PROTOCOLO | IEC 61850 - GOOSE | |
| PUERTO DE COMUNICACION | ETHERNET - RJ45 | |
| DIRECCION IP | 192.168.1.12 | |
| MASCARA DE SUBRED | 255.255.255.0 | |
| SALIDA 2 | | |
| UBICACIÓN | TRANSFORMADOR |  |
| MODELO | 387E | |
| MARCA | SEL | |
| FUNCION | 87-T | |
| CONTROL | 52-101 / 52-102 | |
| PROTOCOLO | IEC 61850 - GOOSE | |
| PUERTO DE COMUNICACION | ETHERNET - RJ45 | |
| DIRECCION IP | 192.168.1.13 | |
| MASCARA DE SUBRED | 255.255.255.0 | |
| DIFERENCIAL TRANSFORMADOR | | |

TABLA5: INFORMACIÓN DE LOS EQUIPOS

FUENTE: LOS AUTORES

La norma IEC 61850 no define ninguna topología de red en particular, lo que implica considerar un diseño robusto ante fallas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

Entre las topologías más usadas tenemos:

- **Estrella simple:** Utiliza una sola ruta para la comunicación entre los IED y no permite fallos en el cable de red y el interruptor, tal como se muestra en la figura 63.

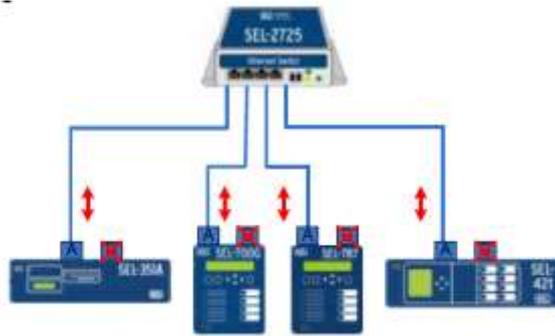


FIGURA 63: TOPOLOGÍA DE RED EN ESTRELLA SIMPLE

FUENTE: USANDO O SOFTWARE SEL-5032 ACSELERATOR ARCHITECT

- **Anillo:** La ruta de comunicación tiene el flujo en una dirección mientras que el anillo es íntegro, si se produce un fallo que interrumpa el anillo, el interruptor se abre dos rutas en direcciones opuestas. En esta arquitectura de comunicación no hay redundancia interruptor, como se muestra en la figura 64.

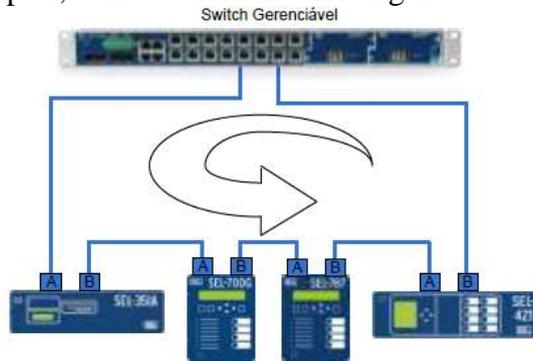


FIGURA 64: TOPOLOGÍA DE RED EN ANILLO

FUENTE: USANDO O SOFTWARE SEL-5032 ACSELERATOR ARCHITECT

- **Estrella Doble:** Dispone de dos rutas independientes para la comunicación entre los IED. La comunicación se establece a través del puerto principal, dejando el segundo puerto como backup. En esta arquitectura se necesita un switch redundante, como se muestra en la figura 65.

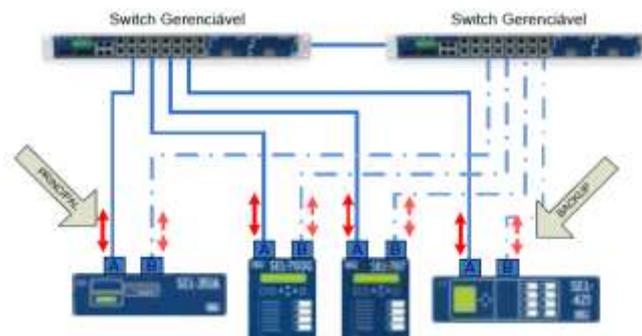


FIGURA 65: TOPOLOGÍA DE RED EN ESTRELLA DOBLE

FUENTE: USANDO O SOFTWARE SEL-5032 ACSELERATOR ARCHITECT

Para este trabajo utilizaremos la configuración en estrella simple, como se muestra en la figura 66, esta topología se caracteriza por tener un enlace físico uno a uno y es

generalmente usado en aplicaciones pequeñas, no posee redundancia a nivel de comunicación.

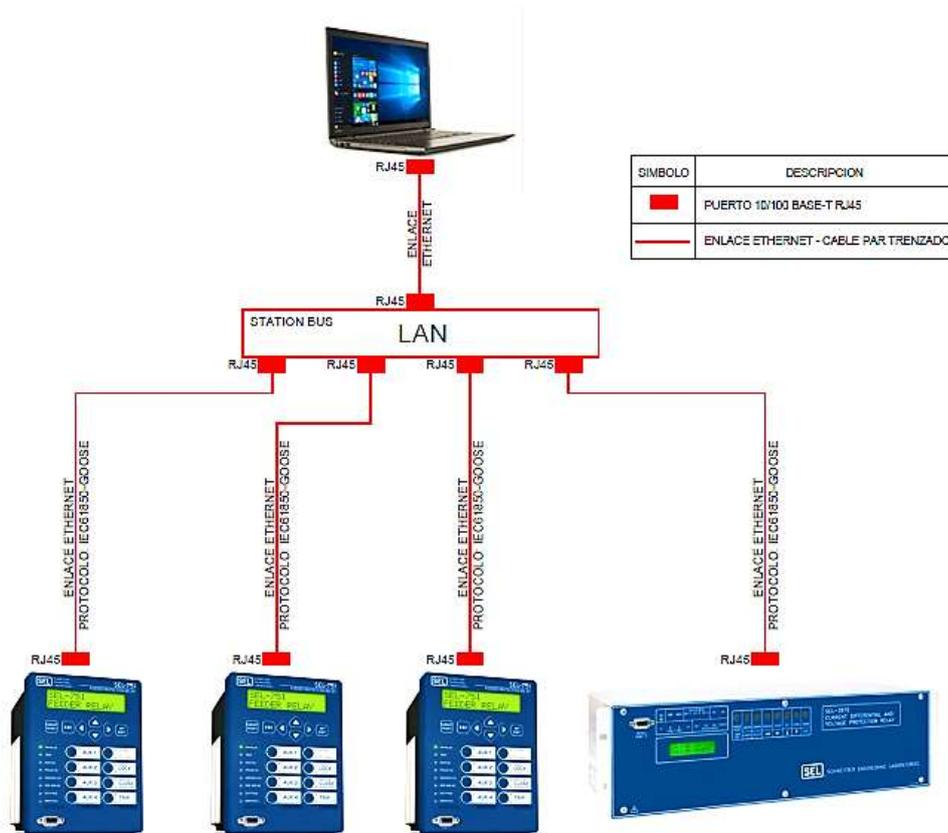


FIGURA 66: TOPOLOGÍA A IMPLEMENTAR – ESTRELLA SIMPLE

FUENTE: LOS AUTORES

4.3.2. Configuración de equipos.

Los IEDs SEL751 y 387E cuentan con puertos de comunicación Ethernet RJ45, estos equipos pueden comunicarse con la PC para leer sus ajustes o para ser configurados, esto siempre y cuando se establezca una red entre el IED y PC. Es decir que la IP de la computadora tiene que estar configurada de tal manera que se encuentre dentro de la misma red del IED.

A continuación explicaremos como identificar los datos necesarios para poder configurar los IEDs y establecer nuestra red LAN.

4.3.2.1 Identificación de la dirección IP en los IEDs SEL.

Podemos acceder a la información del IED desde la pantalla del panel frontal utilizando los botones de navegación, ESC y ENT, tal como se muestra en la figura 67.

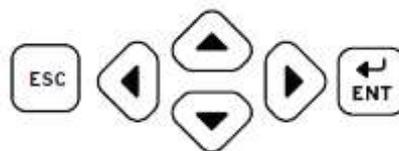


FIGURA 67: BOTONES DE NAVEGACIÓN, ESC Y ENT

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

Para los ajustes de texto, utilice los cuatro botones de navegación para desplazarse por la matriz alfanumérica y de caracteres especiales disponibles, como se muestra en la figura 68. Para los ajustes numéricos, utilice los botones de flecha izquierda y flecha derecha para seleccionar el dígito a cambiar y los botones de flecha hacia arriba y hacia abajo para cambiar el valor. Pulse el botón ENT para introducir el nuevo ajuste [24].



FIGURA 68: MATRIZ ALFANUMÉRICA

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

Ingresando al menú principal y seleccionando la opción “Set/Show” podremos ver o modificar los grupos de ajustes “Global”, “Group” y “Port”. Tenga en cuenta que para la modificación de los ajustes se requiere acceso de Nivel 2. [24]

La figura 69 muestra el grupo de ajustes “Port”, el cual incluye encabezados que crean subgrupos de ajustes asociados a cada uno de los puertos de comunicación disponibles en el IED, para nuestro caso el puerto de comunicación Ethernet RJ45 del IED SEL 751 es el puerto “1” y para el IED SEL 387E es el puerto “5”.

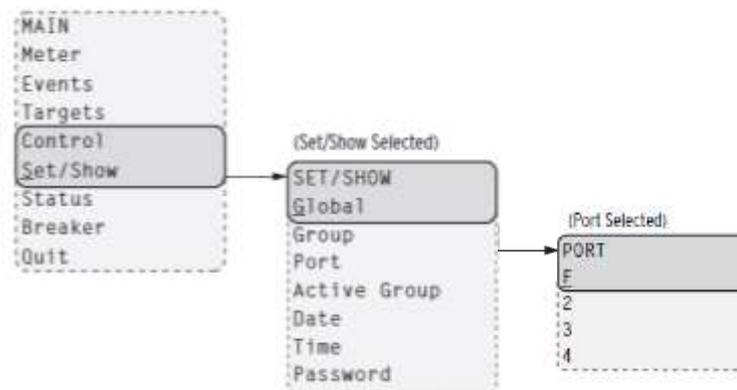


FIGURA 69: MENÚ DE CONFIGURACIÓN PORT

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

Para identificación de la dirección IP en los IEDs SEL 751 desde el panel frontal se debe seguir los siguientes pasos:

- Paso 1. Entrar al menú principal.
- Paso 2. Seleccionar el submenú “Set/Show”.
- Paso 3. Seleccionar el grupo de ajustes “Port”.
- Paso 4. Seleccionar los ajustes el puerto de comunicación a utilizar “1”.
- Paso 5. Seleccionar “Port 1 Settings”.

En “Port 1 Settings” se mostraran los parámetros de la red de comunicación establecidos en el IED como son “IPADDR”, “SUBNETM” y “DEFRTR”, como se muestra en la figura 70.

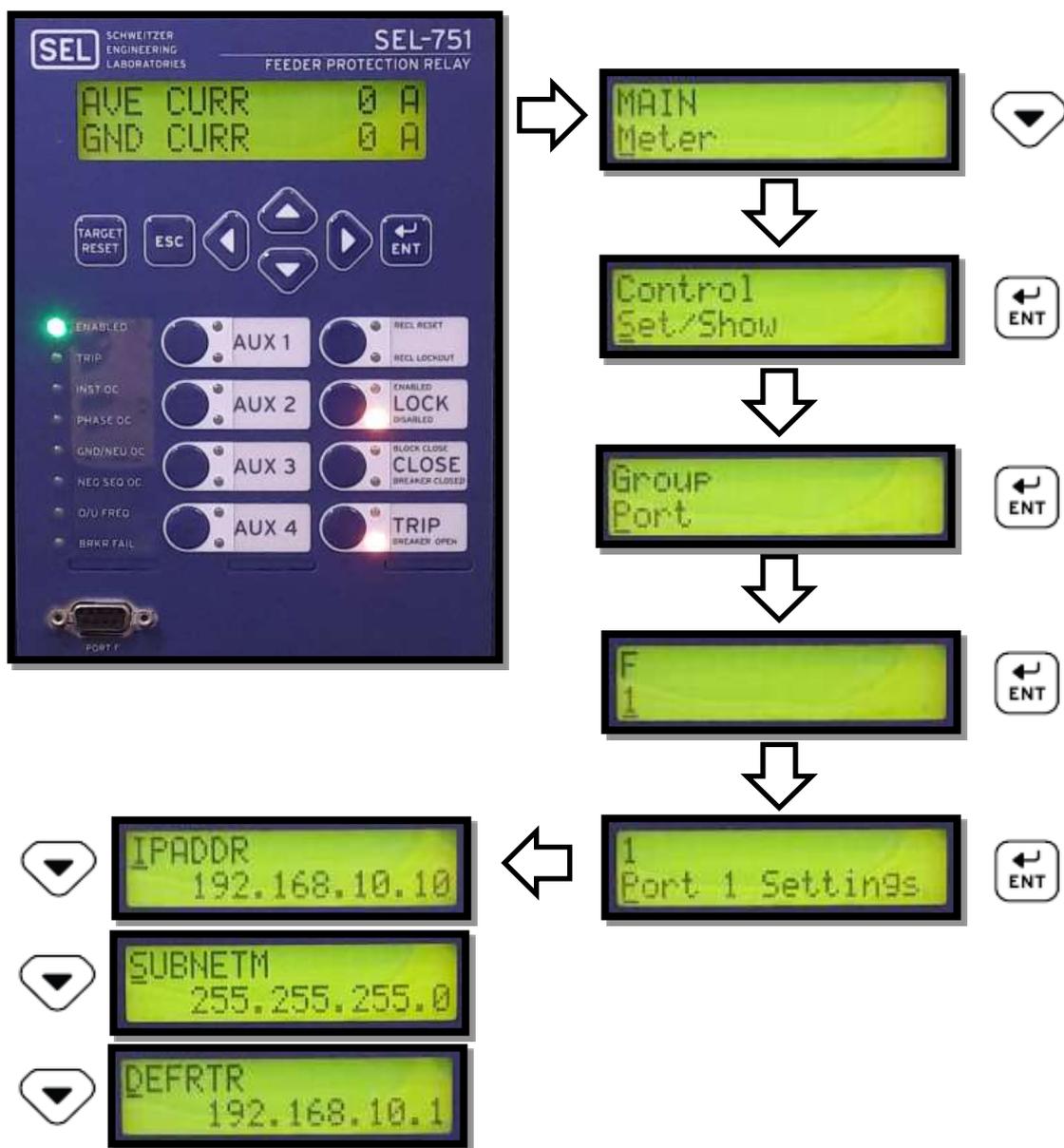


FIGURA 70: IDENTIFICACIÓN DE LA DIRECCIÓN IP DESDE EL PANEL FRONTAL

FUENTE: LOS AUTORES

4.3.2.2. Configuración de la dirección IP de la PC.

Una dirección IP se trata de un número en decimal de 32bit, formado por un conjunto de 4 cifras (octetos) de 8 bit cada uno, cada una de estas 4 cifras puede tomar valores entre 0 y 255, como se muestra en la figura 71.

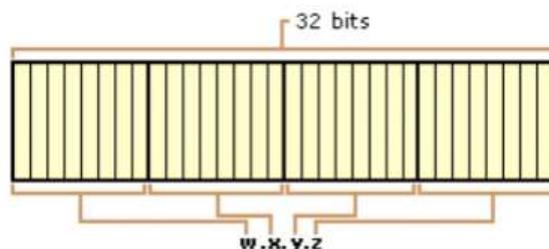


FIGURA 71: OCTETOS DIRECCIÓN IP

FUENTE: [HTTP://VIRTUALBOOK.WEEBLY.COM](http://virtualbook.weebly.com)

- Los octetos de la izquierda (W) indican la red (identificador de red).
- Los octetos de la derecha (Z) indican los equipos dentro de esta red (identificador de host).

La clase de dirección IP define cuales son los bits usados como identificador de red y cuales son bit utilizados como identificadores de host. También define el número posible de redes y números de host por red, tal como se muestra en la tabla6.

| | Rango Inicial | Rango Final | Mascara | Identificador de red | Identificador de host |
|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------------|-----------------------|
| CLASE A | 1.0.0.0 | 126.0.0.0 | 255.0.0.0 | W | X.Y.Z |
| CLASE B | 128.0.0.0 | 191.255.0.0 | 255.255.0.0 | W.X | Y.Z |
| CLASE C | 192.0.0.0 | 223.255.255.0 | 255.255.255.0 | W.X.Y | Z |

TABLA6: CLASES DE DIRECCIÓN IP

FUENTE: LOS AUTORES

La finalidad de configurar la IP de la PC es para poder establecer la comunicación de la PC con el IED para poder acceder a sus ajustes; para esto primero se debe conocer la dirección IP del IED, en base a esta IP seleccionaremos la nueva dirección IP para la PC, de tal manera que ambos equipos se encuentren dentro de la misma red, como se muestra en la tabla7.

| IP | Identificador de red | | | Identificador de host |
|---------|----------------------|-----|----|-----------------------|
| | W | X | Y | Z |
| IED 751 | 192 | 168 | 10 | 10 |
| PC | 192 | 168 | 10 | 100 |

TABLA7: DIRECCIÓN IP IED - PC

FUENTE: LOS AUTORES

Para poder configurar esta dirección IP en la PC debemos seguir los siguientes pasos:

- Paso 1. Abrir “Panel de control”.

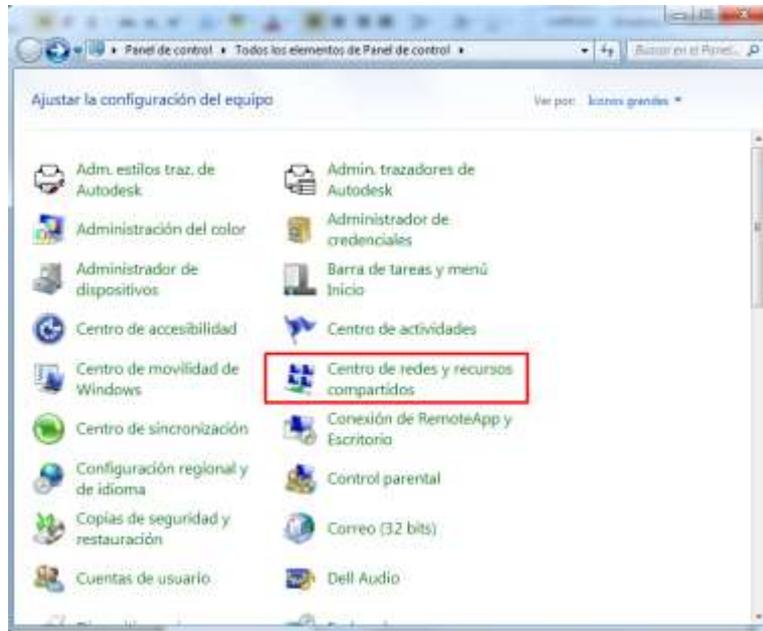


FIGURA 72: PANEL DE CONTROL

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 2. Seleccionar “Centro de redes y recursos compartidos”, como se muestra en la figura 72.
- Paso 3. Seleccionar “Cambiar configuración del adaptador”, como se muestra en la figura 73.

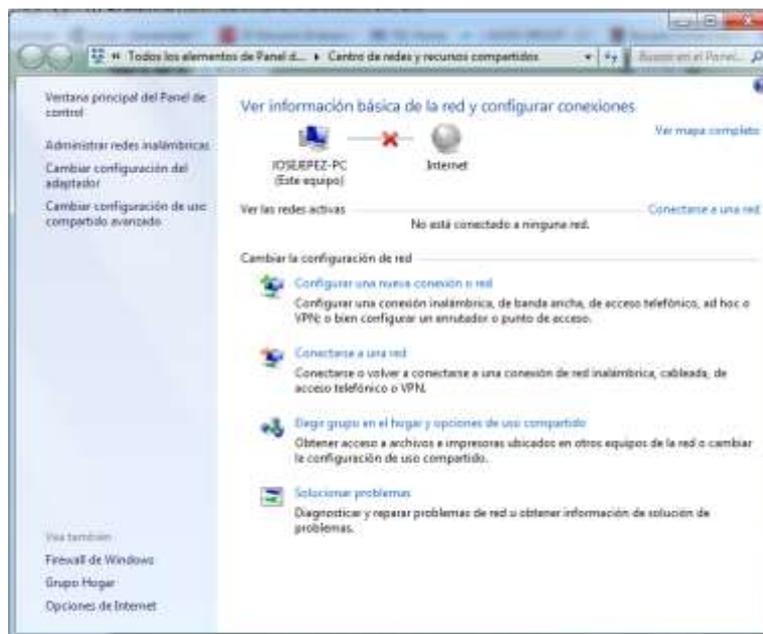


FIGURA 73: CENTRO DE REDES Y RECURSOS COMPARTIDOS

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 4. Dar click derecho en “Conexión de área local” y seleccionar “Propiedades”, como se muestra en la figura 74.

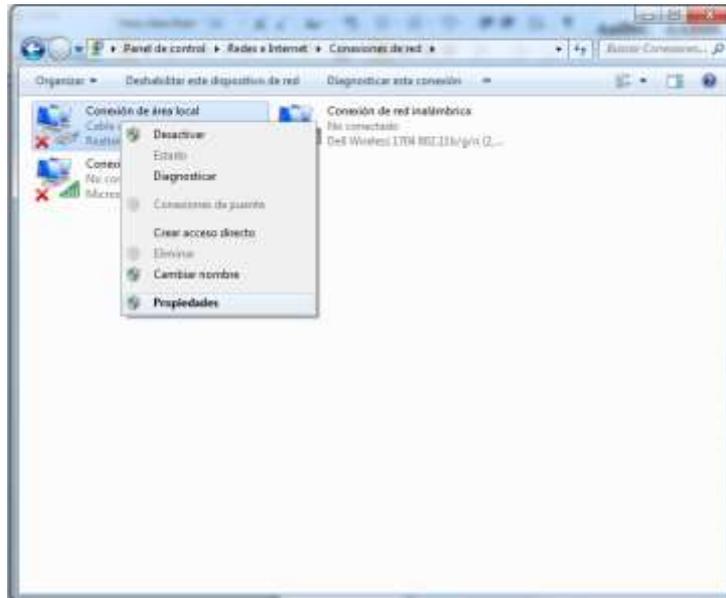


FIGURA 74: CAMBIO DE CONFIGURACIÓN DEL ADAPTADOR

FUENTE: LOS AUTORES

Se abrirá la ventana para la configuración de la conexión de área local, tal como se muestra en la figura 75.

- Paso 5. Seleccionar “Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4)” y hacer click en “Propiedades”.

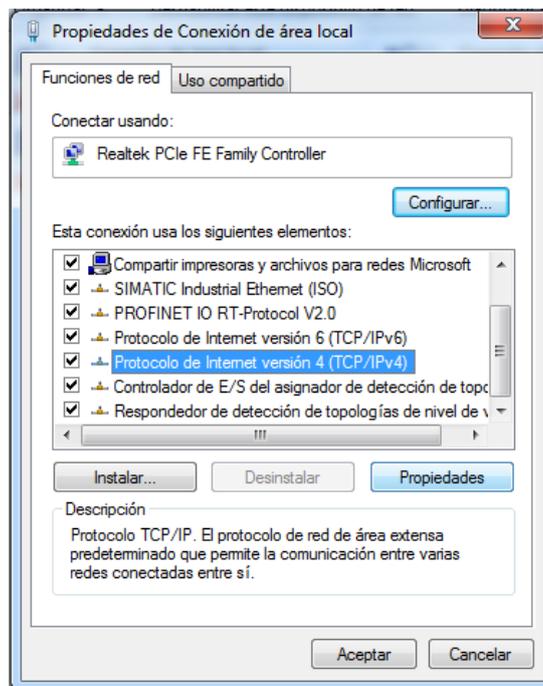


FIGURA 75: PROPIEDADES DE CONEXIÓN DE ÁREA LOCAL

FUENTE: LOS AUTORES

Se abrirá la ventana con las propiedades del protocolo de internet versión 4 (TCP/IPv4), tal como se muestra en la figura 76.

- Paso 6. Seleccionar la opción “Usar la siguiente dirección IP:”.

Al seleccionar esta opción se habilitara los cuadros de textos para que podemos ingresar la nueva dirección IP, tal como se muestra en la figura 77.

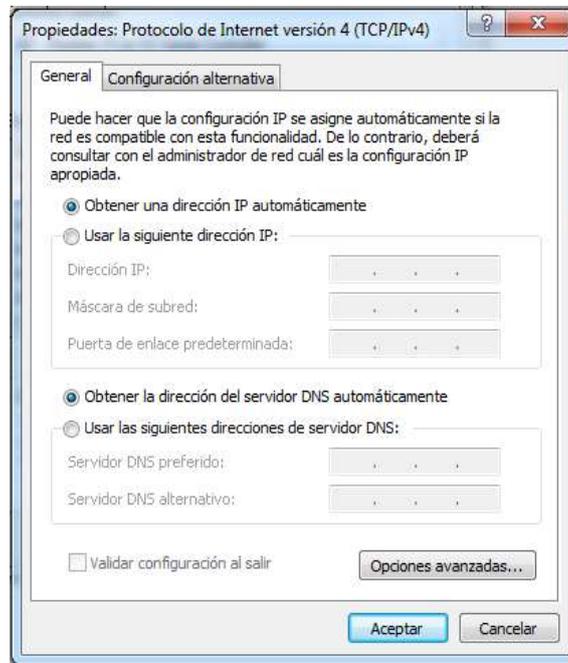


FIGURA 76: PROPIEDADES PROTOCOLO DE INTERNET (POR DEFECTO)

FUENTE: LOS AUTORES

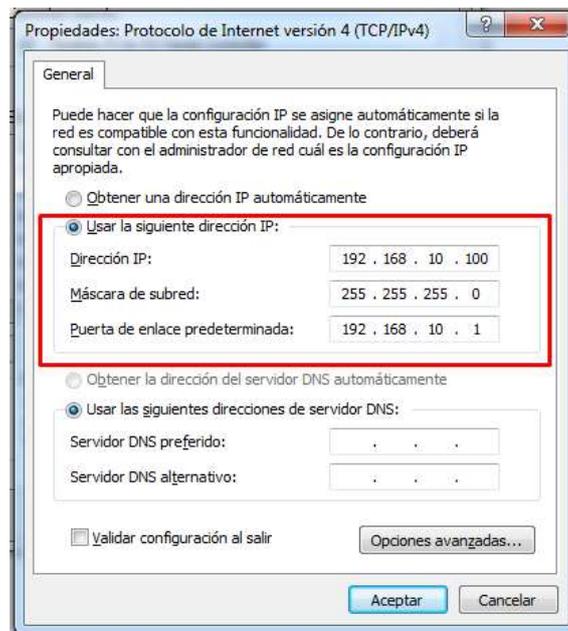


FIGURA 77: PROPIEDADES PROTOCOLO DE INTERNET

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 7. Dar click en “Aceptar” para guardar todos los ajustes realizados.

4.3.2.3. Establecer comunicación entre IED y PC.

Para establecer la comunicación entre IED y PC, primero se debe tener instalado el AcSELeRator QuickSet, Este software reconoce los puertos de comunicación de la parte posterior (Port 1, 2, 3,...) y de la parte frontal (Port F) de los IED SEL para comunicarse con la PC.

Par establecer la comunicación entre IED y PC se debe seguir los siguientes pasos:

- Paso 1. Conectar el cable de comunicación adecuado entre el IED SEL y el PC, como se muestra en la figura 78.

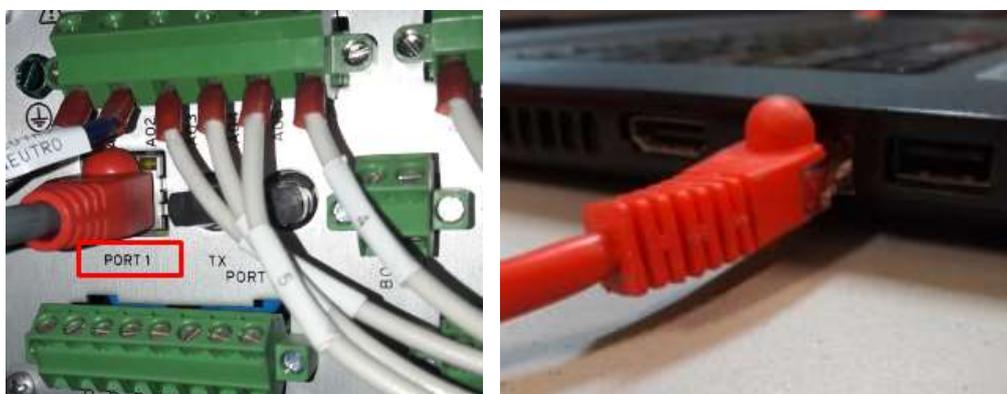


FIGURA 78: CONEXIÓN DE PATCH CORD EN IED Y PC

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 2. Aplique alimentación al IED.
- Paso 3. Iniciar AcSELeRator QuickSet.
- Paso 4. Seleccionar “Comunicaciones” de la barra de menú principal de QuickSet.
- Paso 5. Seleccionar la opción “Parámetros...”, tal como se muestra en la figura 79.



FIGURA 79: ACSELERATOR QUICKSET – SUBMENÚ “COMUNICACIONES”

FUENTE: LOS AUTORES

Se abrirá la ventana que se muestra en la figura 80, en ella se puede elegir el tipo de conexión a realizar, estas pueden ser de tres tipos: Serial, red y modem

QuickSet ofrece la posibilidad de comunicarse a través de la red a cualquier dispositivo habilitado para Ethernet SEL compatible, por lo que elegiremos la opción “RED”.



FIGURA 80: PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN – TIPO RED

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 6. Llenar cada uno de los parámetros necesarios para poder establecer la comunicación.

Los Parámetros a completar son los siguientes [23]:

Nombre de conexión: Proporciona una selección de cualquier configuración de conexión previamente guardado.

Host IP Adress: La dirección IP del dispositivo host. Una dirección IP contiene el número binario Que identifica de manera única los dispositivos en una red TCP / IP.

Port Number (Telnet): Se refiere al puerto en uso para el terminal durante las comunicaciones de Telnet. El número de puerto es un punto final de una conexión lógica.

Port Number (FTP): Se refiere al número de puerto en uso Durante las comunicaciones FTP.

File Transfer Option: Proporciona una selección de FTP, Protocolo de control de transferencia (TCP), Telnet o Secure Shell (SSH) para la transferencia de archivos.

- **FTP:** Determina los medios para la transferencia de archivos. Sólo ciertos dispositivos SEL proporcionar soporte de FTP. De ellos, algunos dispositivos se basan en únicamente FTP para transferencia de archivos.
- **Telnet:** Establece el protocolo Telnet para las transferencias de archivos facilitar y comunicación del terminal.
- **Raw TCP:** Establece el protocolo TCP sin procesar para las transferencias de archivos al facilitar y comunicación del terminal.
- **SSH:** Secure Shell protocolo específica el medio para la transferencia de archivos y la comunicación de terminales.

User ID: El ID de usuario requerida necesaria para iniciar sesión en los clientes FTP y SSH.

Password: La contraseña requerida necesaria para iniciar sesión en los clientes FTP y SSH.

Level One Password: La contraseña necesaria para acceder al nivel 1 en el dispositivo.

Level Two Password: La contraseña necesaria para acceder al nivel 2 en el dispositivo.

Save to Address Book: Guarda la configuración de la red bajo el nombre especificado Que se puede acceder en el futuro a través del menú desplegable Nombre de la conexión.

En la tabla 8 se mostrará los parámetros para la configuración de red para todos los IEDs que utilizaremos en nuestra la red LAN

| PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN | IED 1 SEL 751-1 | IED 2 SEL 751-2 | IED 3 SEL 751-3 | IED 4 SEL 387E |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Host IP Adress: | 192.168.1.10 | 192.168.1.11 | 192.168.1.12 | 192.168.1.13 |
| Port Number (Telnet): | 23 | | | |
| File Transfer Option: | Telnet | | | |
| Level One Password: | OTTER | | | |
| Level Two Password: | TAIL | | | |

TABLA8: PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE RED - TELNET

FUENTE: LOS AUTORES

En la figura 81 se muestra la ventana de parámetros para la conexión tipo red completa, lista para establecer la conexión con el IED1

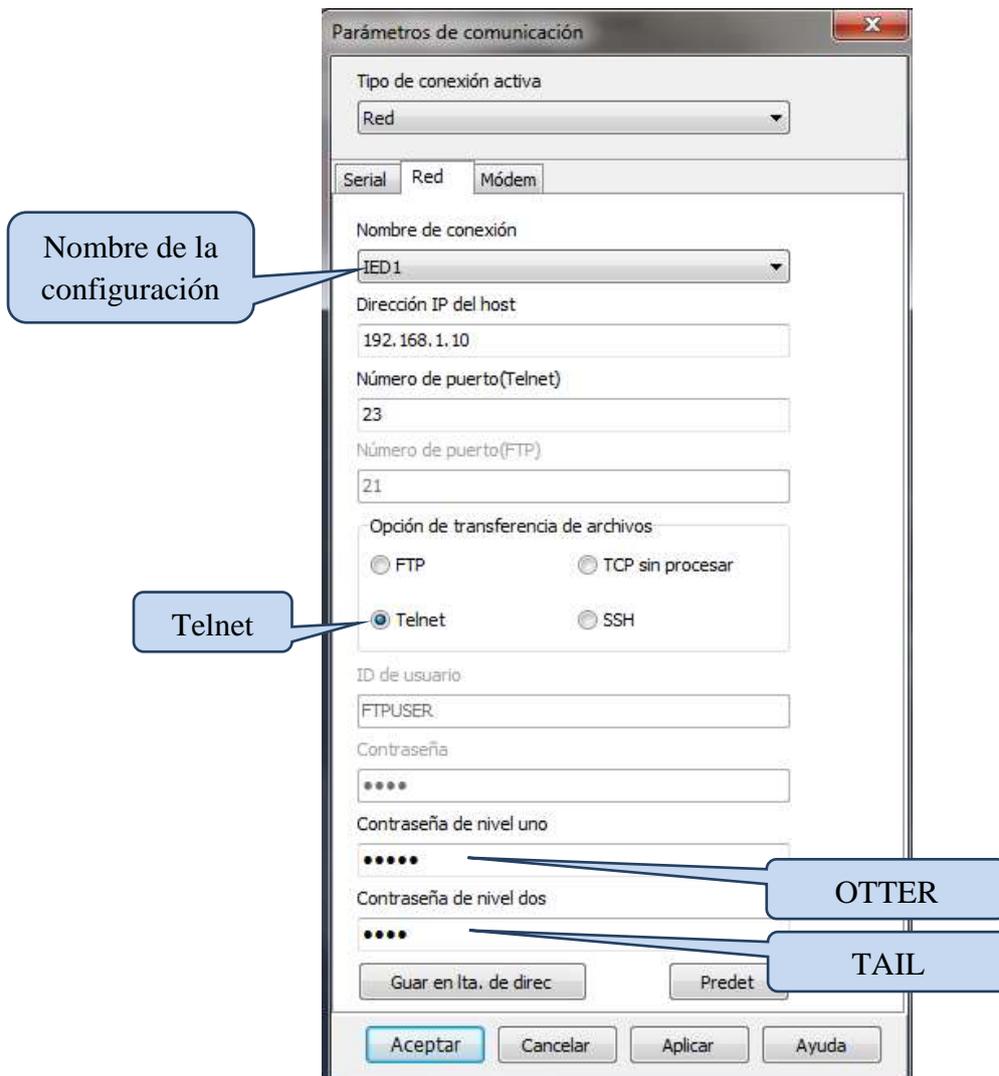


FIGURA 81: PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN – TIPO RED – IED1

FUENTE: LOS AUTORES

➤ Paso 7. Seleccione “Aceptar”.

Si todos los parámetros están correctos, en la esquina inferior izquierda aparecerá la palabra “Conectado” y la dirección IP del IED, tal como se muestra en la figura 82.

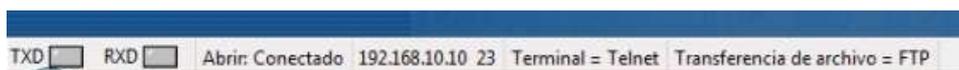


FIGURA 82: CONEXIÓN ENTRE IED Y PC

FUENTE: LOS AUTORES

Es importante que para la utilización de comunicación tipo red, se deba tener definido cuál es la dirección IP actual del IED, ya que, de no ser correcta, la comunicación no se podrá establecer.

4.3.2.4. Verificación de la comunicación entre IED y PC.

Para la verificar del estado de la conexión de la PC con el IED contemplado en una red de tipo TCP/IP se lo realiza con el comando PING.

El comando PING es una herramienta que sirve para determinar si una dirección IP específica es accesible desde la red o no. Se utiliza comúnmente para comprobar si hay errores de red. El funcionamiento del mecanismo es muy simple y puede ser de mucha ayuda. Trabaja mediante el envío de series de información a una dirección IP. Por medio del tiempo de espera de la respuesta a ese envío de información se determina el retraso o no de esa respuesta, lo que también se conoce como latencia.

Para ejecutar el comando PING se debe seguir los siguientes pasos:

- Paso 1. Buscar y ejecutar “cmd”, tal como se muestra en la figura 83.



FIGURA 83: COMANDO CMD

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 2. Se abrirá la ventana que se muestra en la figura 84, en ella escribiremos el comando PING más la dirección IP del IED.

Ejemplo: PING 192.168.10.10

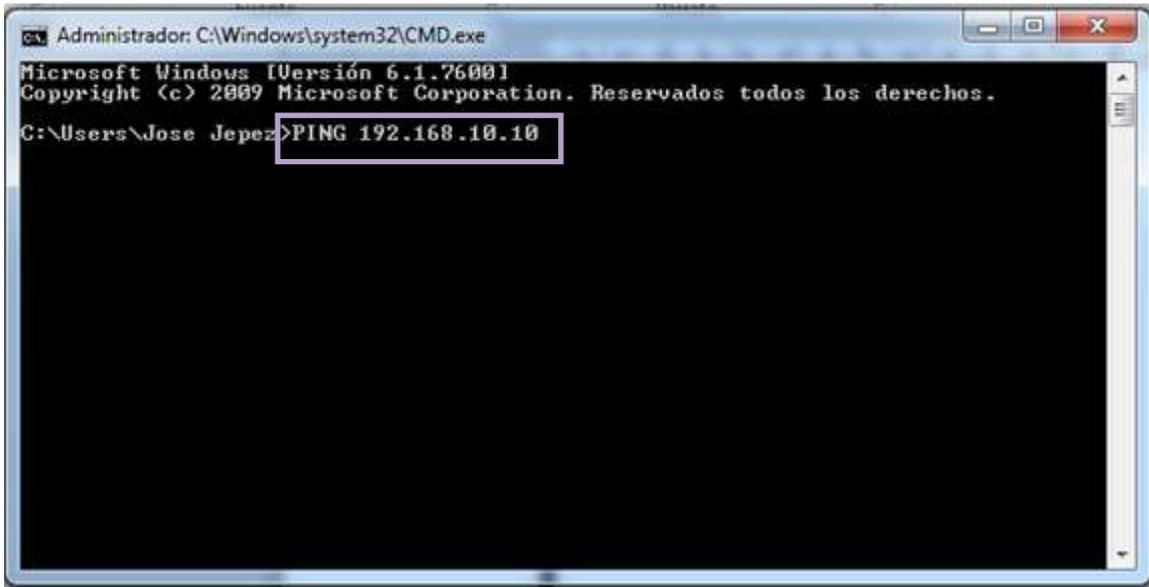


FIGURA 84: COMANDO PING

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 3. Presionamos la tecla “Enter” y esperamos que se ejecute el comando.
- Paso 4. Se mostraran la respuesta obtenida.

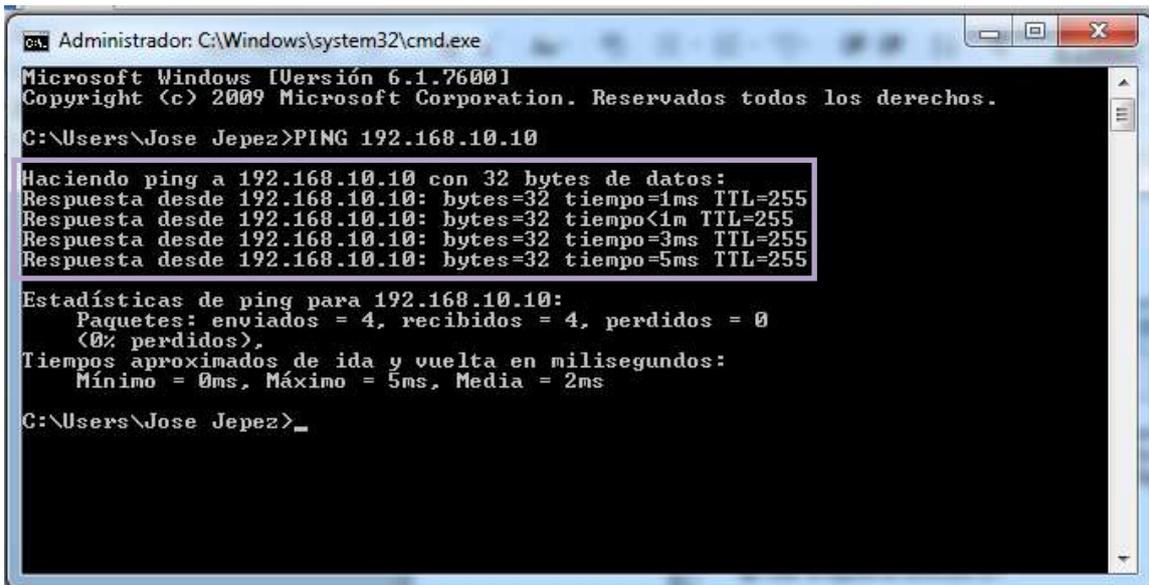


FIGURA 85: RESULTADOS DEL COMANDO PING

FUENTE: LOS AUTORES

En la figura 85 se comprueba que la conexión con la IED es correcta, ya que no tenemos paquetes de información perdidos.

En la respuesta obtenida de PING pueden aparecer algunos de los siguientes errores:

- "Red de destino inaccesible" significa que no existe ninguna ruta al destino.

- “Tiempo de espera agotado para esta solicitud” indica errores en la conexión.

La biblioteca MSDN de Microsoft indica que la respuesta "Red de destino inaccesible" significa que no existe ninguna ruta al destino. Por ello, el usuario debe comprobar la tabla de enrutamiento del enrutador indicado en la dirección "Respuesta desde" en el mensaje "Red de destino inaccesible".

La respuesta "Tiempo de espera agotado para esta solicitud" significa que no se obtuvo ninguna respuesta al comando PING durante el período de tiempo predeterminado (1 segundo), tal como se muestra en la figura 86. Es por esta razón que el usuario debe comprobar si se ha producido alguna de las situaciones siguientes:

- Un enrutador está inactivo.
- El host de destino está inactivo.
- No hay ruta de retorno al equipo.
- La latencia de respuesta es superior a un segundo. (El usuario puede tomar la opción -w del comando ping para aumentar el tiempo de espera. Por ejemplo, para que las respuestas se produzcan en 5 segundos, utilice ping -w 5000).

```

ca. Administrador: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
C:\Users\Jose Jepez>PING 192.168.1.10

Haciendo ping a 192.168.1.10 con 32 bytes de datos:
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.

Estadísticas de ping para 192.168.1.10:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 0, perdidos = 4
              (100% perdidos),
C:\Users\Jose Jepez>_
  
```

FIGURA 86: RESULTADOS DE ERROR DEL COMANDO PING

FUENTE: LOS AUTORES

4.3.2.5. Configuración de los parámetros de comunicación de los IED.

Para poder crear una red LAN en donde se encuentren comunicados todos los IEDs necesitamos primero establecer los nuevos parámetros de comunicación de cada uno.

En la tabla 9 se muestran los parámetros de la red de comunicación de cada uno de los IEDs que estamos utilizando.

| IED | SEL-751-1 | SEL-751-2 | SEL-751-3 | SEL-387E |
|------------------------------|---|---|--|---|
| IPADDR | 192.168.1.10 | 192.168.1.11 | 192.168.1.12 | 192.168.1.13 |
| SUBNETM | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 |
| DEFRTR | 192.168.1.10 | 192.168.1.10 | 192.168.1.10 | 192.168.1.10 |
| E61850 - HABILITAR IEC 61850 | Y | Y | Y | Y |
| EGSE - HABILITAR GOOSE | Y | Y | Y | Y |
| |  |  |  |  |

TABLA9: PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE CADA IED

FUENTE: LOS AUTORES

Estos parámetros para la red de comunicación se los puede configurar desde el panel frontal o con la ayuda del software QuickSet.

4.3.2.5.1 Configuración de los parámetros de comunicación de los IED desde el panel frontal.

Para configurar los parámetros de comunicación en los IEDs SEL desde el panel frontal, tal como se muestra en la figura 87, se debe seguir los siguientes pasos:

- Paso 1. Entrar al menú principal.
- Paso 2. Seleccionar el submenú “Set/Show”.
- Paso 3. Seleccionar el grupo de ajustes “Port”.
- Paso 4. Seleccionar los ajustes el puerto de comunicación a utilizar “1”.
- Paso 5. Seleccionar “Port 1 Settings”.
- Paso 6. Pulsar botón ENT sobre los parámetros que queremos modificar de los cuales pueden ser “IPADDR”, “SUBNETM”, “DEFRTR”, “E61850” y “EGSE”.
- Paso 7. Insertar la clave de acceso de nivel 2 “TAIL” utilizando las teclas de navegación.
- Paso 8. Seleccionamos “Aceptar”.
- Paso 9. Modificamos parámetros de comunicación utilizando las teclas de navegación.

Los parámetros de la red de comunicación a modificar son los siguientes:

- IPADDR – Dirección IP.
 - SUBNETM – Mascara de subred.
 - DEFRTR – Puerta de enlace predeterminado.
 - E61850 – Habilitar protocolo IEC 61850.
 - EGSE – Habilitar mensajería GOOSE.
- Paso 10. Seleccionar “Aceptar”.
 - Paso 11. Seleccionar “Yes” para guardar los cambios realizados.

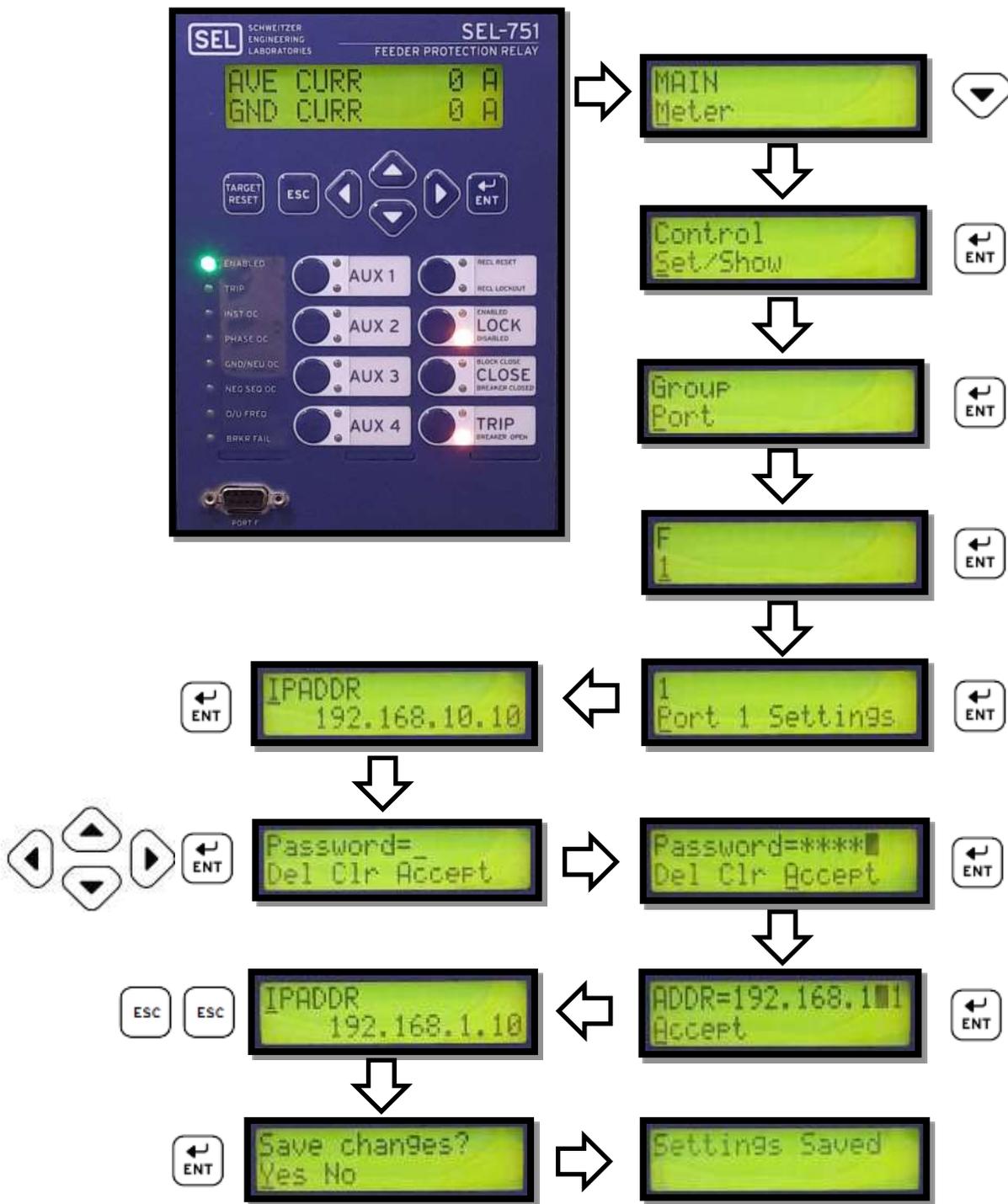


FIGURA 87: CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN DESDE EL PANEL FRONTAL

FUENTE: LOS AUTORES

4.3.2.5.2. Configuración de los parámetros de comunicación de los IED con el software QuickSet AcSELerator.

Para realizar esta configuración de la IP con el software QuickSet AcSELerator se deben seguir los siguientes pasos y recomendaciones:

- Paso 1. Establecer una IP a la PC de tal manera que se pueda establecer una red LAN con la dirección IP actual del IED, tal como se muestra en la figura 88.

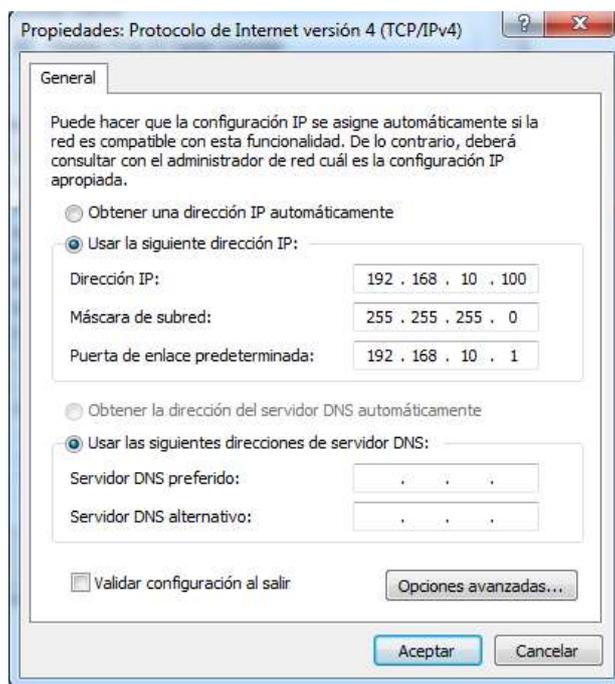


FIGURA 88: DIRECCIÓN IP DE LA PC

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 2. Verificar el estado de la red utilizando el comando “PING”, tal como se muestra en la figura 89.

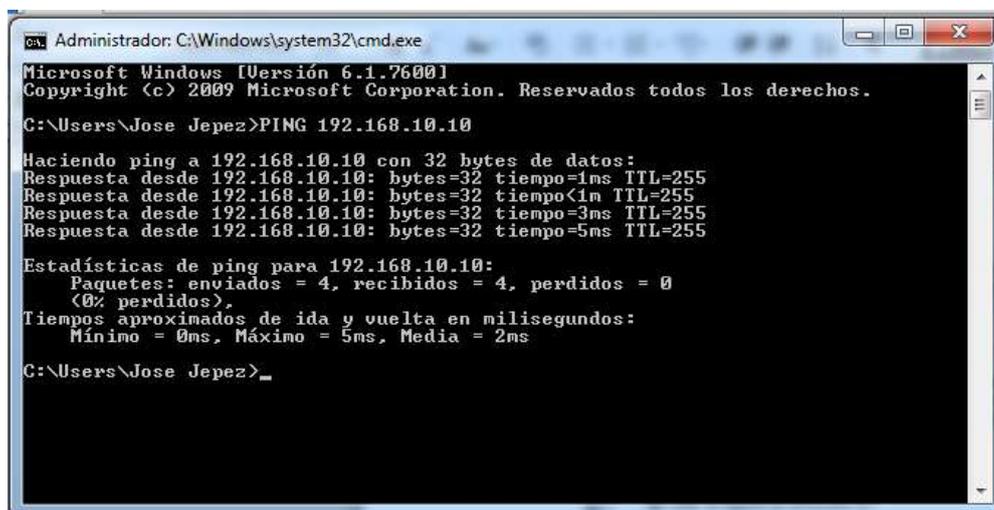


FIGURA 89: RESULTADOS DEL COMANDO PING

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 3. Abrir el software QuickSet AcSELerator y configurar los parámetros para la comunicación, seleccionado “Telnet” como opción de transferencia de datos, tal como se muestra en la figura 90.

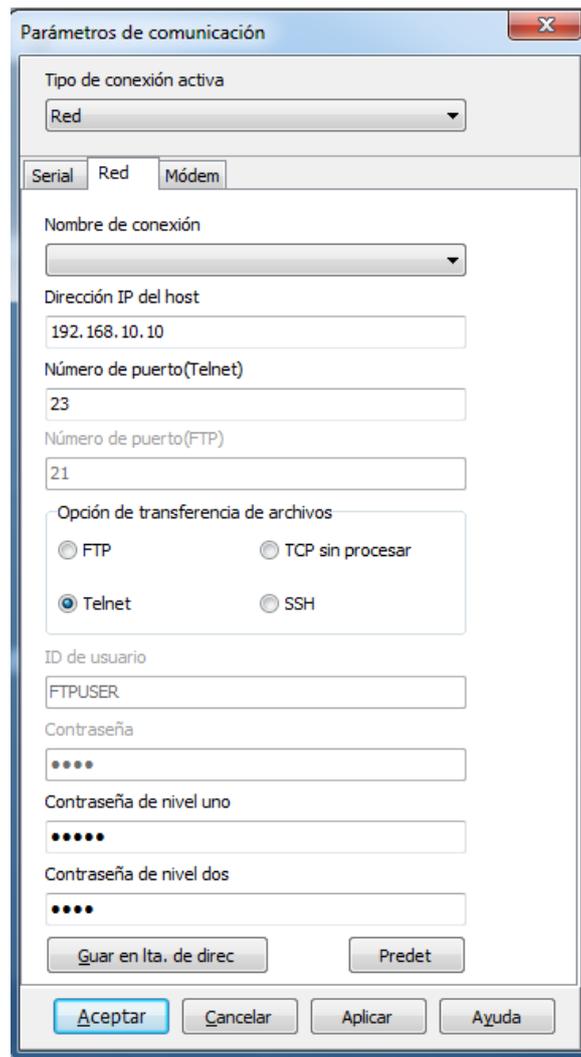


FIGURA 90: CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA COMUNICACIÓN

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 4. Revisar los parámetros y dar click en “Aceptar” para establecer la comunicación, tal como se muestra en la figura 91 y 92.

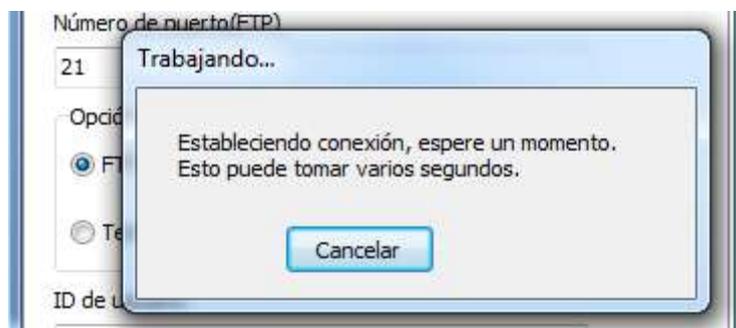


FIGURA 91: ESTABLECIENDO LA COMUNICACIÓN

FUENTE: LOS AUTORES

| | | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------|---------------|----|-------------------|------------------------------------|
| Part#: 751401CBA0X0X850310 | Puerto 1 : Puerto 1 | | | | | |
| TXD <input type="checkbox"/> | RXD <input type="checkbox"/> | Abrir: Conectado | 192.168.10.10 | 23 | Terminal = Telnet | Transferencia de archivos = YModem |

FIGURA 92: COMUNICACIÓN ENTRE IED Y PC

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 5. Dar click en “Archivo” y seleccionar la opción “Leer”, tal como se muestra en la figura 93.



FIGURA 93: DESCARGA DE INFORMACIÓN DEL IED-A

FUENTE: LOS AUTORES

Se procede con la descarga de la información del IED, en donde se podrán visualizar o modificar sus ajustes, tal como se muestra en la figura 94.

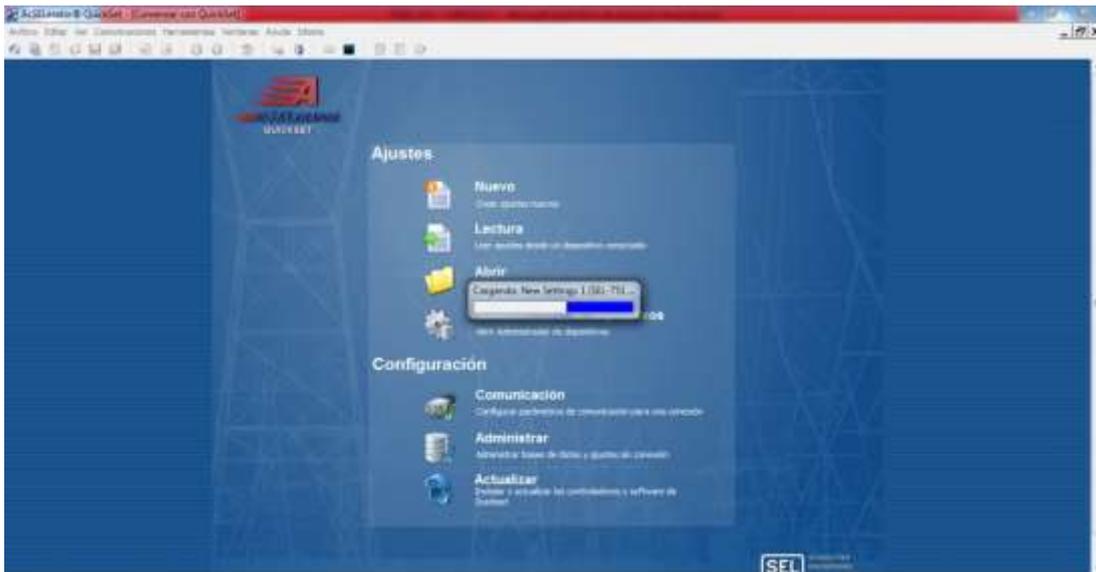


FIGURA 94: DESCARGA DE INFORMACIÓN DEL IED-B

FUENTE: LOS AUTORES

Una vez descargada la información se abrirá la siguiente ventana, en la cual se muestran todos los grupos de ajuste que contiene el IED, tal como se muestra en la figura 95.

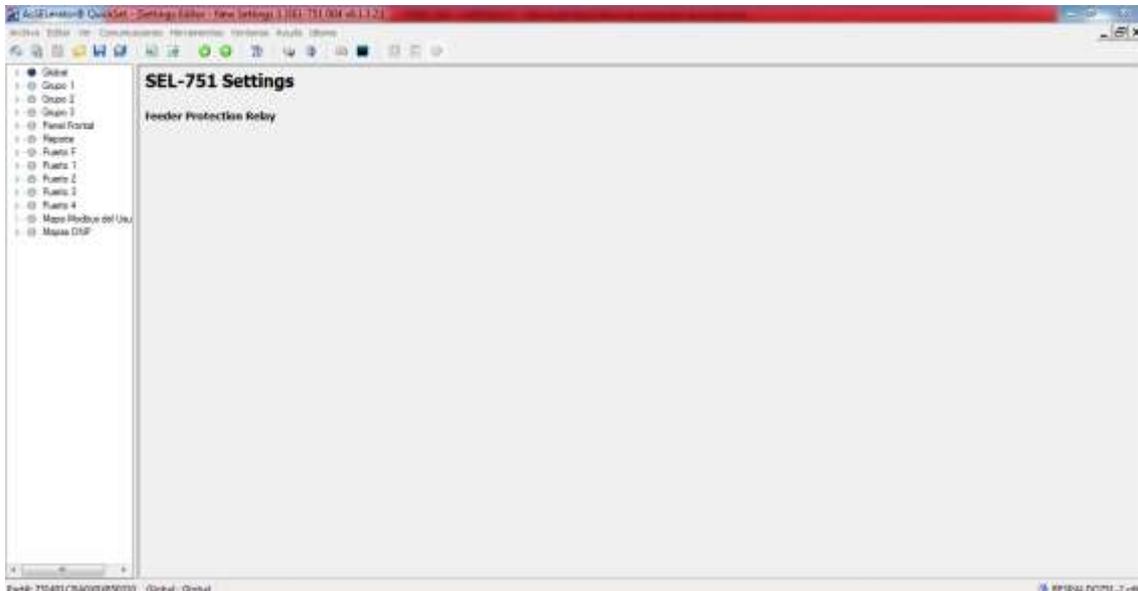


FIGURA 95: SEL – 751 SETTINGS

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 6. Para configurar los parámetros de comunicación, tenemos que ingresar al puerto que estemos utilizando; en este caso seleccionaremos el grupo de ajuste “Puerto 1”, tal como se muestra en la figura 96.

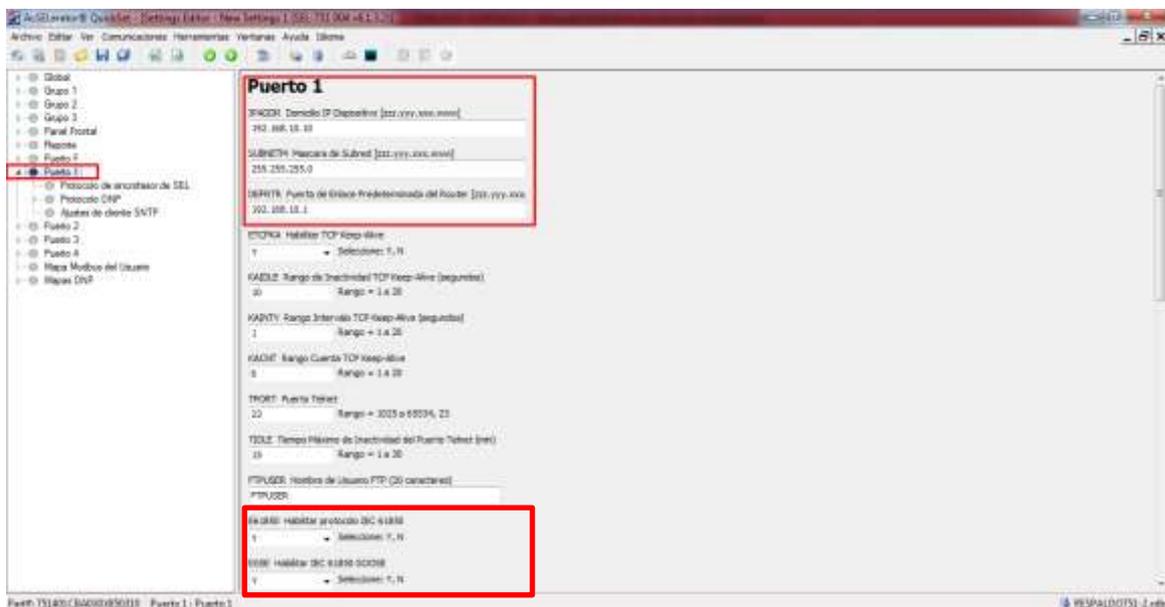


FIGURA 96: GRUPO DE AJUSTE PUERTO 1

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 7. Modificar los parámetros de red del puerto de comunicación del equipo, tal como se muestra en la figura 97 y 98.

Puerto 1

IPADDR Domicilio IP Dispositivo [zzz.yyy.xxx.www]
192.168.10.10

SUBNETM Mascara de Subred [zzz.yyy.xxx.www]
255.255.255.0

DEFRTR Puerta de Enlace Predeterminada del Router [zzz.yyy.xxx.
192.168.10.1

FIGURA 97: PARÁMETROS INICIALES DE LA RED DE COMUNICACIÓN

FUENTE: LOS AUTORES

Puerto 1

IPADDR Domicilio IP Dispositivo [zzz.yyy.xxx.www]
192.168.1.10

SUBNETM Mascara de Subred [zzz.yyy.xxx.www]
255.255.255.0

DEFRTR Puerta de Enlace Predeterminada del Router [zzz.yyy.xxx.
192.168.1.1

FIGURA 98: NUEVOS PARÁMETROS DE LA RED DE COMUNICACIÓN

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 8. Se debe cargar el archivo con la nueva configuración al IED, para esto damos click en “Archivo” y seleccionamos la opción “Enviar”, tal como se muestra en la figura 99.

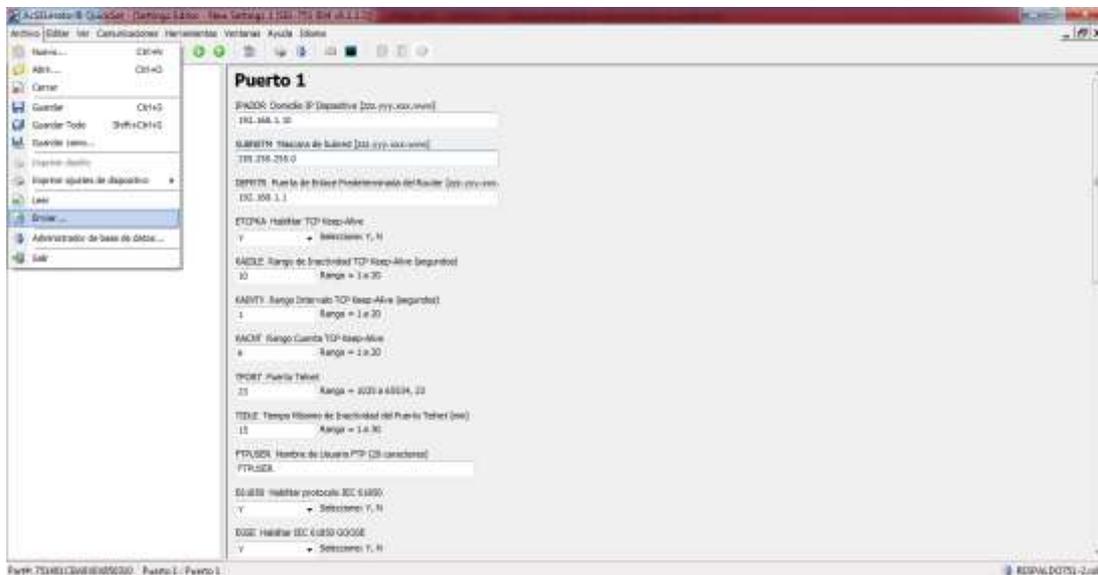


FIGURA 99: CARGAR ARCHIVO DE CONFIGURACIÓN AL IED

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 9. Se abrirá la ventana que se muestra en la figura 100, en ella se muestran todos los grupos de ajustes del IED, en este caso seleccionaremos “Puerto 1”, tal como se muestra en la figura 100.

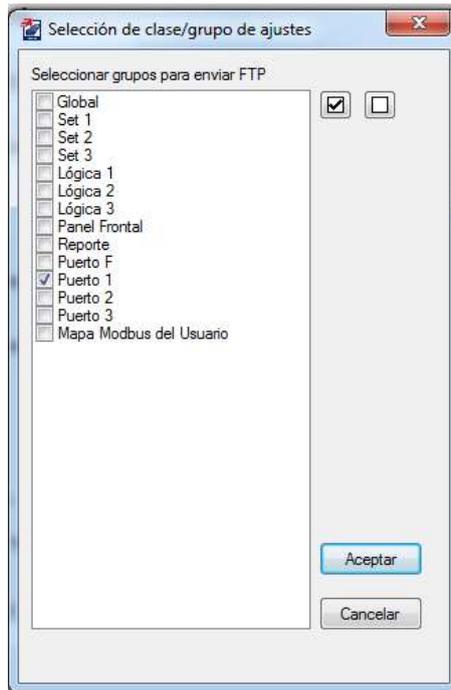


FIGURA 100: GRUPO DE AJUSTES A CARGAR EN EL IED

FUENTE: LOS AUTORES

Al cargar los ajustes de los nuevos parámetros de comunicación, ocasionará que ya no esté dentro de la misma red de la PC, por lo que se perderá la conexión. El software QuickSet AcSElerator pedirá una confirmación para poder continuar, tal como se muestra en la figura 101.

➤ Paso 10. Seleccionamos “Aceptar”

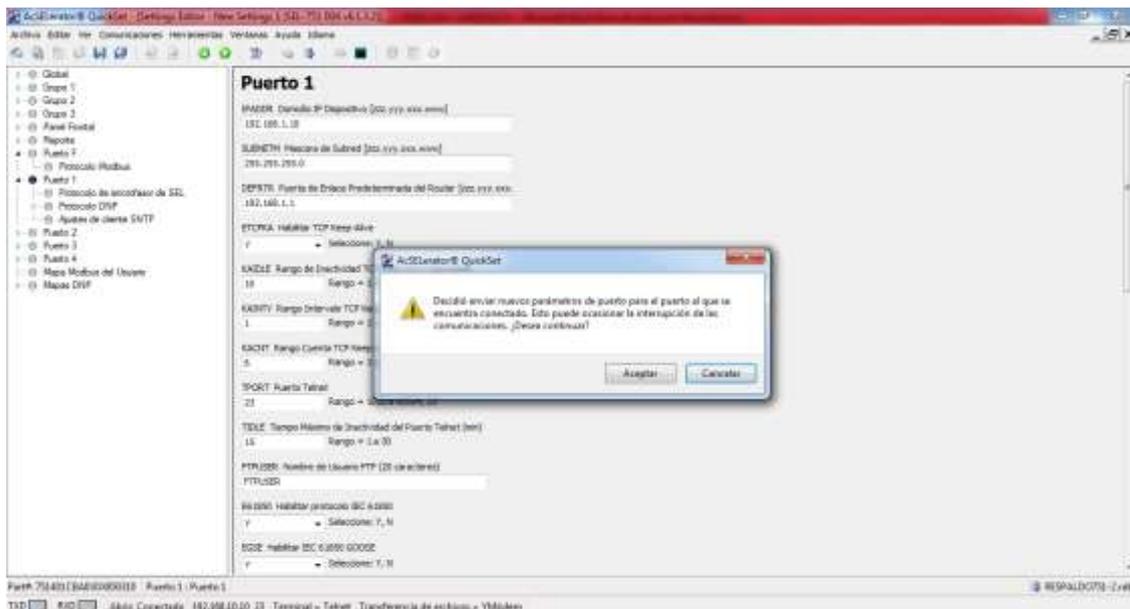


FIGURA 101: CONFIRMACIÓN PARA ENVIAR NUEVOS PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN

FUENTE: LOS AUTORES

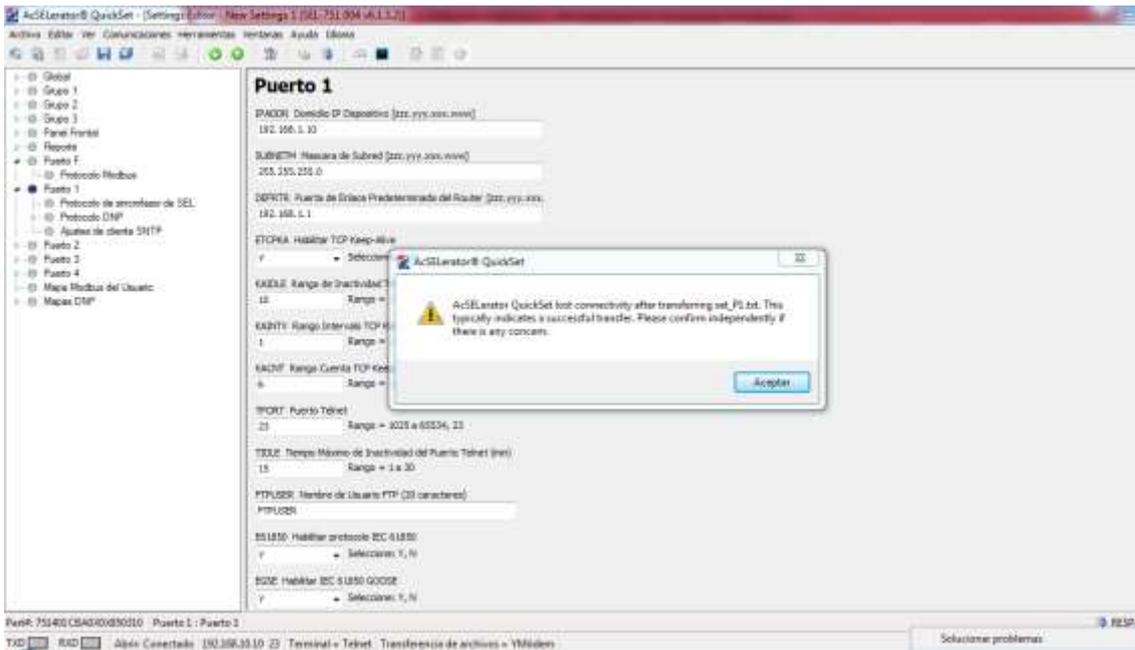


FIGURA 102: DESCONEXIÓN DE IED DESPUÉS DE CARGAR LOS AJUSTES

FUENTE: LOS AUTORES

Una vez enviado los nuevos ajustes al IED, se mostrarán las ventanas que se muestran en la figura 102, indicando que se perdió la comunicación después de transferir dicho ajuste.

Para poder comprobar que los ajustes fueron correctamente cargados, podemos visualizarlos desde el panel frontal, siguiendo los pasos que se muestran en la figura 103.

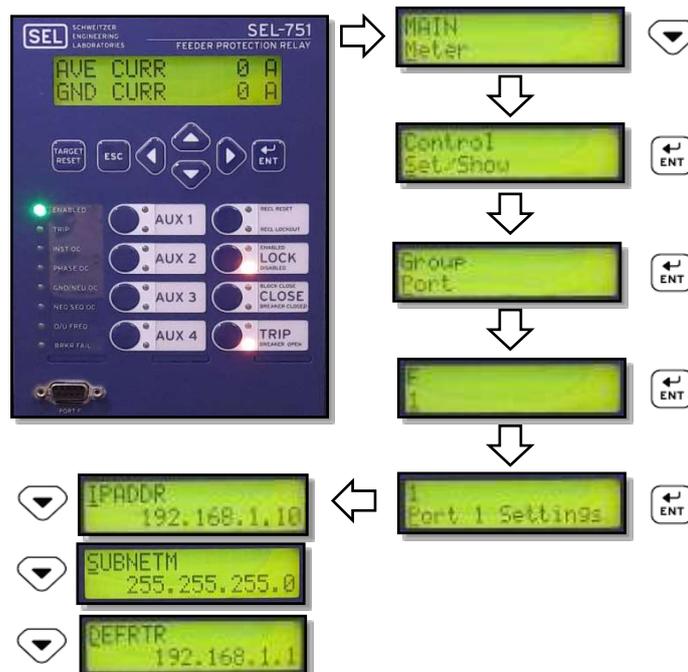


FIGURA 103 IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RED DESDE EL PANEL FRONTAL

FUENTE: LOS AUTORES

4.4. Implementación de la norma IEC 61850

4.4.1. Creación de archivos SCD.

SCD (System Configuration Description) es un archivo que el integrador del sistema exportará. El cual contiene la configuración del sistema como: La información de los IEDs, la configuración de las comunicaciones y la descripción de la subestación.

Para crear un archivo SCD, debe seguir los siguientes pasos:

- Paso 1. Ejecutar el software AcSElerator Architect, como se muestra en la figura 104.

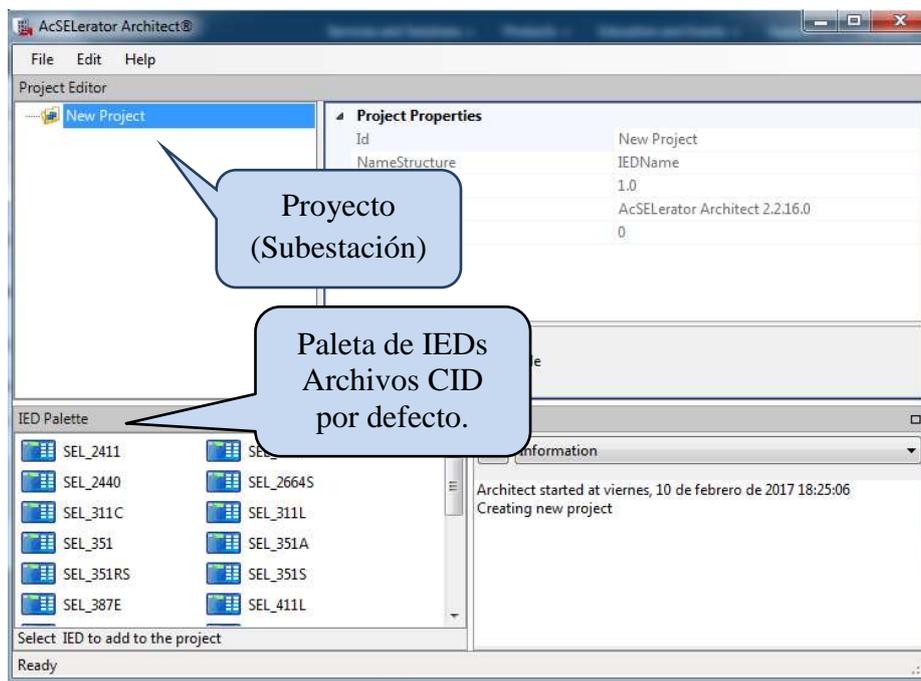


FIGURA 104: PANTALLA PRINCIPAL DEL SOFTWARE SEL ACSELERATOR ARCHITECT

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 2. Hacer click en "File".
- Paso 3. Seleccionamos "New".

4.4.2. Agregar archivos CID al proyecto.

Dentro del nuevo proyecto agregaremos todos los IEDs que van a interactuar dentro de la red, para esto debemos seguir los siguientes pasos:

- Paso 1. Buscar los IEDs a utilizar en "IED Palette".
- Paso 2. Seleccionar los IEDs a utilizar. Para esto tenemos que arrastrar el modelo del IED desde el IED Palette hasta el Project Editor, tal como se muestra en la figura 105.

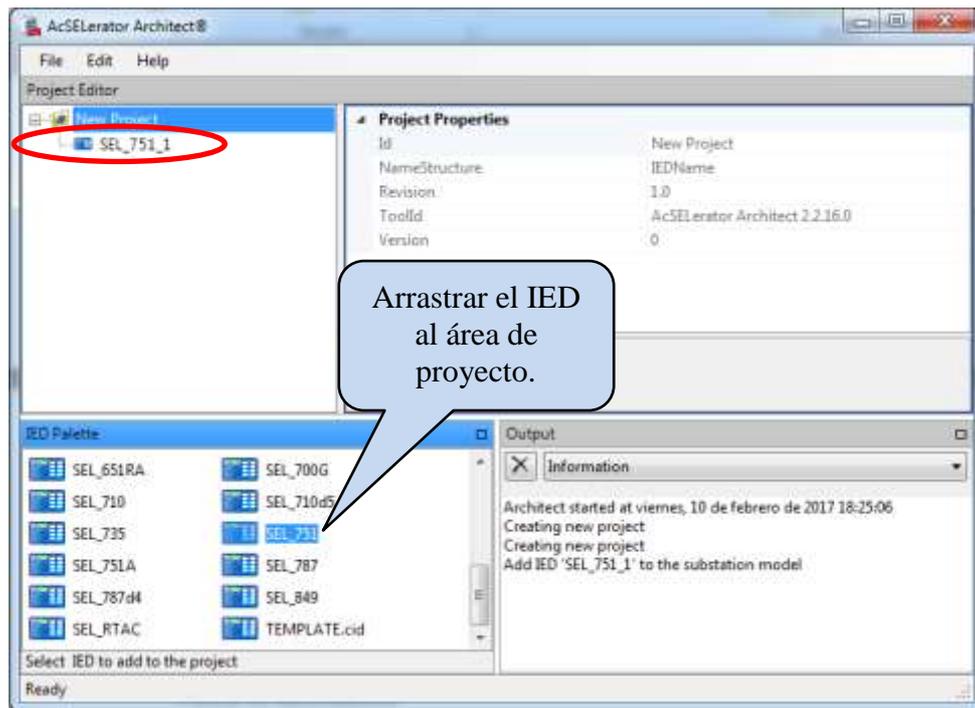


FIGURA 105: SELECCIÓN DEL IED

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 3. Después de añadir un IED al proyecto (archivo CID), el AcSELERator Architect le pedirá la definición de la versión del software, tal como se muestra en la figura 106.

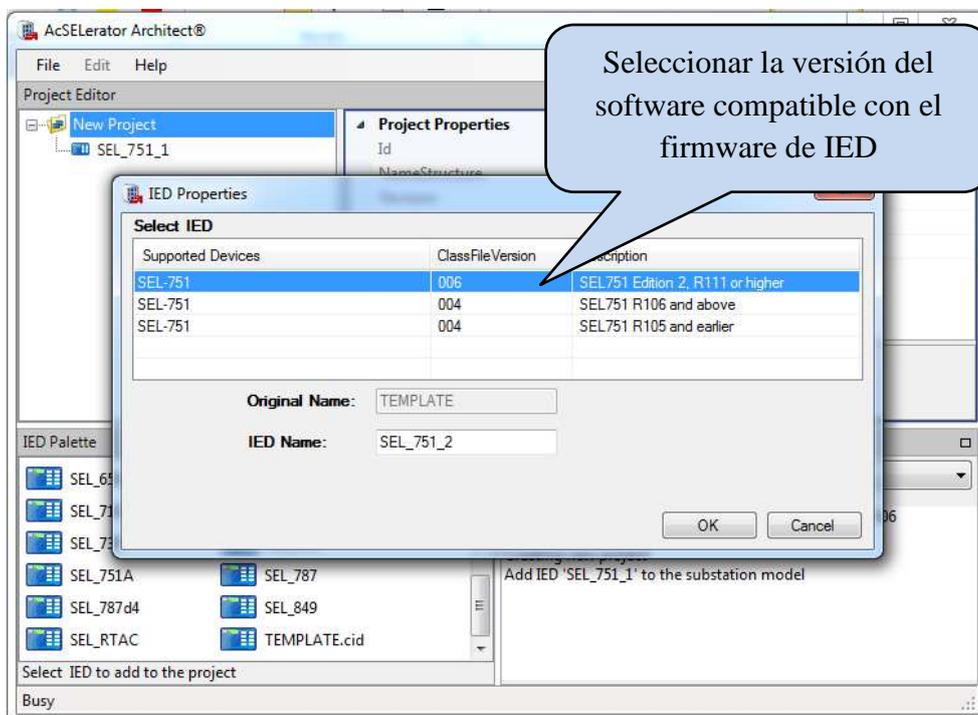


FIGURA 106: DEFINICIÓN DE LA VERSIÓN DE SOFTWARE

FUENTE: LOS AUTORES

Para algunos IEDs pueden existir diferentes versiones del software debido a revisiones y actualizaciones de firmware de los equipos. La última versión de AcSELErator Architect es compatible con las versiones más nuevas, como con versiones anteriores de firmware. [25]

La selección de la versión del archivo debe ser compatible con la versión de firmware del relé. Para ello, tiene que comprobar la versión de firmware desde el panel frontal del relé en la opción STATUS, o a través del apéndice “A” del manual de instrucciones del equipo, tal como se muestra en la figura 107. La relación entre el firmware y la versión del archivo para ser elegido en Architect se encuentra en forma de tabla en el apéndice A del manual de instrucciones de cada IED. [25]

Table A.5 ACSELErATOR Architect CID File Compatibility

| ACSELErATOR Architect Software Version | ACSELErATOR Architect ICD/CID File Version | SEL-751A Firmware |
|--|---|-------------------------------------|
| R.1.1.95.0 or later | Version 004 | R407 and later |
| R.1.1.91.3 or later | Version 003 | R303 and later R403-R406 |
| R.1.1.80.0 or later | Version 002 R200 Version 002 R300 | R200-R204 R300-R302 R400-R402 |
| R.1.1.69.0 or later | Version 002/002L | R102-R104 |
| R.1.1.91.5 or earlier | Version 001 (Not included with the latest ACSELErATOR Architect version.) | R101 |

FIGURA 107: APÉNDICE A – SEL 751

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

- Paso 4. Después de definir la versión del archivo, el software AcSELErator Architect pide que se defina el tipo de comando, tal como se muestra en la figura 108.



FIGURA 108: SELECCIÓN DEL TIPO DE COMANDO DE CONTROL

FUENTE: LOS AUTORES

Tres tipos diferentes están disponibles [25]:

- **Direct with Normal Security: (por defecto)** - En este modo, el software cliente (cliente - maestro) envía un comando tipo operación y el servidor (esclavo) valida, responde a la solicitud del cliente y ejecuta el comando. El resultado de la orden de marcha se envía a través del informe.
- **Direct with Enhanced Security** - En este modo, el cliente envía el comando de operación, el servidor valida respuestas que ejecutará el comando y al fin de la aplicación (o tiempo de espera) envía estado del comando solicitado.
- **Select Before Operate with Enhanced Security**- En este modo, el cliente envía primero el comando a seleccionar, para verificar que ningún otro cliente esté tratando de hacer funcionar el control o si hay algún otro impedimento a la acción. A continuación, el procedimiento es similar a "Direct with Enhanced Security".

- Paso 5. Ingresar los parámetros de la red a la que pertenecerá el IED, para esto tenemos que dar click sobre el IED que agregamos al proyecto, tal como se muestra en la figura 109.

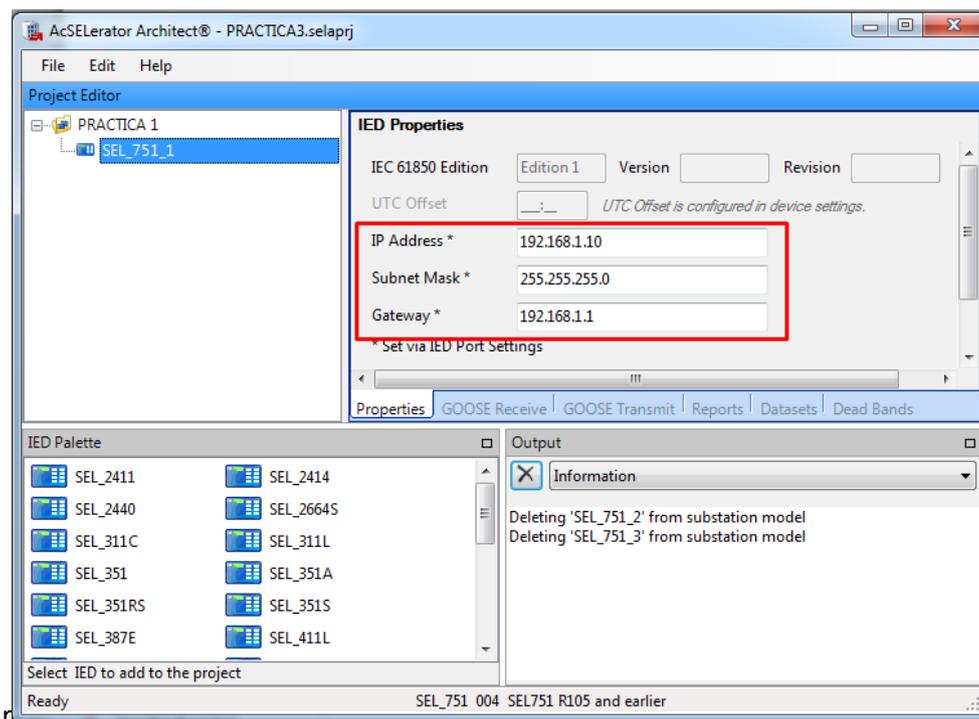


FIGURA 109: CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA RED DEL IED 1

FUENTE: LOS AUTORES

Para agregar otros IEDs (archivos CID) al proyecto, se debe repetir el mismo proceso por cada uno de los nuevos IEDs, tal como se muestra en la figura 110.

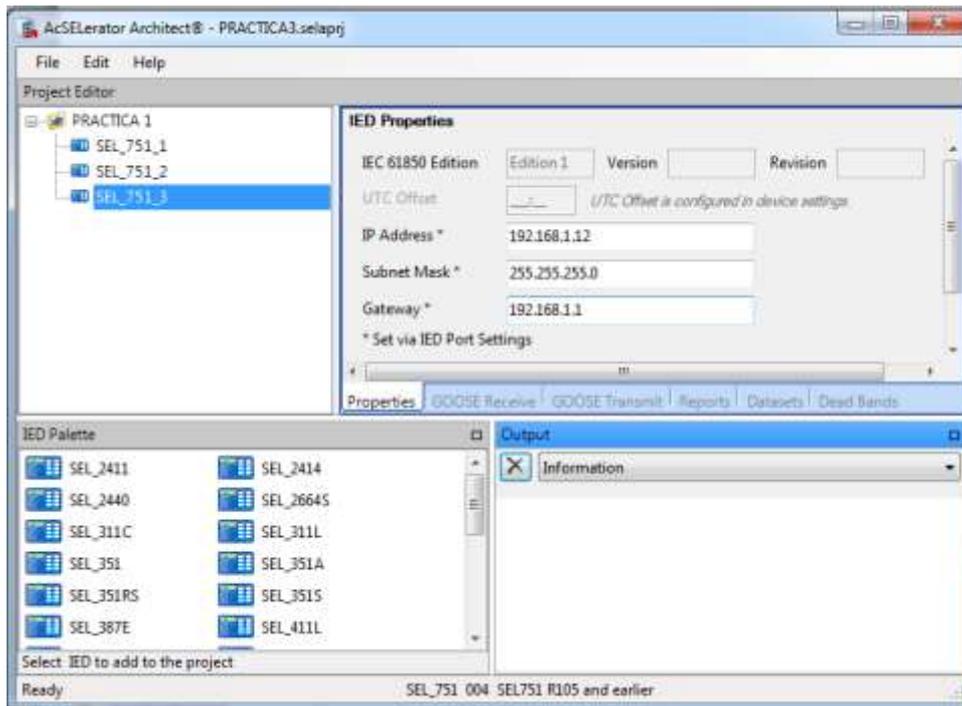


FIGURA 110: CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA RED DEL IED 3

FUENTE: LOS AUTORES

4.4.3. Creación y edición de DataSets.

Podemos crear, acceder y editar los DataSet de cada uno de los IED que seleccionamos en el proyecto. Estos DataSet no son nada más que los conjuntos de nodos lógicos que estarán disponibles a través de MMS al software de cliente o por medio de GOOSE a los otros IEDs de la subestación.

Para acceder a los nodos lógicos que tiene cada uno de los IED se debe realizar lo siguiente:

- Paso 1. Seleccionar el IED
- Paso 2. Seleccionar la pestaña Data Sets ubicada en la esquina inferior derecha, tal como se muestra en la figura 111.

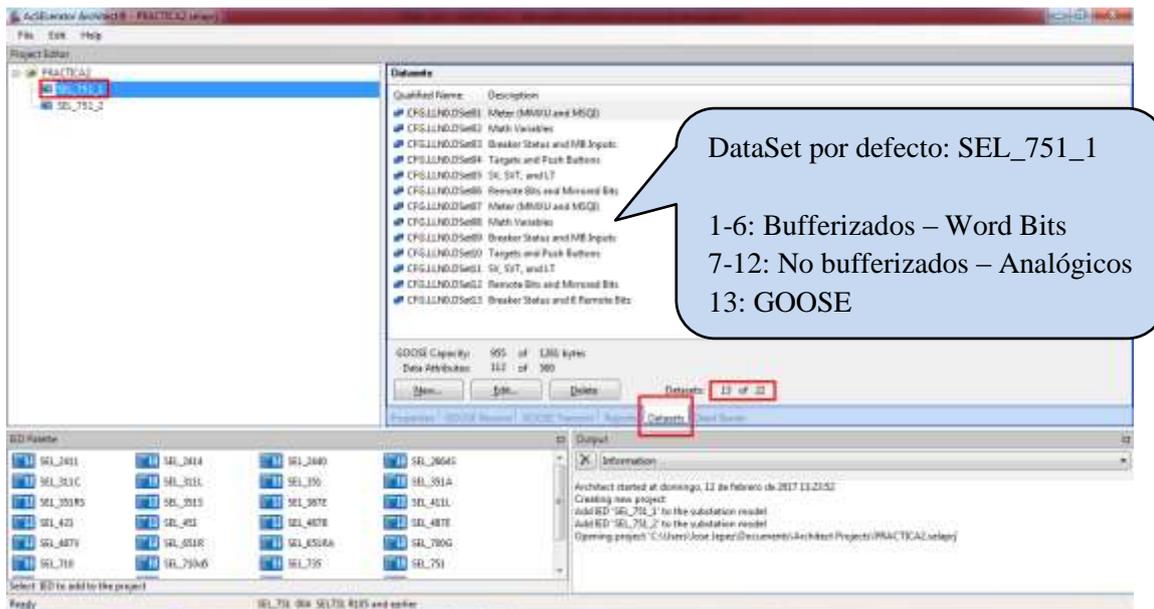


FIGURA 111: DATASETS – ACSELERATOR ARCHITECT

FUENTE: LOS AUTORES

4.4.3.1 Tipos de DataSets.

En la Figura 111 se presentaran los 13 DataSets que se encuentran por defecto en el archivo CID del IED, de esos DataSet tenemos que:

- Los DataSet del 1 al 12 están asociados con informes para enviar mensajes de MMS al cliente.
- El DataSet 13 está previsto para mensajes GOOSE publicados al otro IED sobre una red LAN.

Los DataSets del 1 al 6 están estandarizados para ser configurado con cantidades digitales (eventos y comandos) porque están vinculados a informes de tipo bufferizados, o almacenar información en la memoria temporal más rápido para ser transmitidos posteriormente al cliente en la medida en que tiene disponible.

Los DataSets del 7 al 12 están configurados con valores analógicos, que están asociados a los informes tipo no bufferizados, y la información almacenada en ellos son enviados inmediatamente al software de cliente.

Otra práctica comúnmente adoptada, es programar un DataSet con cantidades digitales y conjunto de datos con valores analógicos para cada cliente; que obtener información a través de MMS.

Se pueden crear otros nuevos DataSet (14 por ejemplo). Sin embargo, los primeros 12 DataSets le permiten enviar informes al cliente MMS. Los otros DataSets deben estar asociados con mensajería GOOSE.

4.4.3.2. Edición de DataSets.

- Paso 1. Hacer un doble click en el DataSet deseado, en este caso vamos a aplicar mensajería GOOSE, por lo que trabajaremos sobre el DataSet13, tal como se muestra en la figura 112.

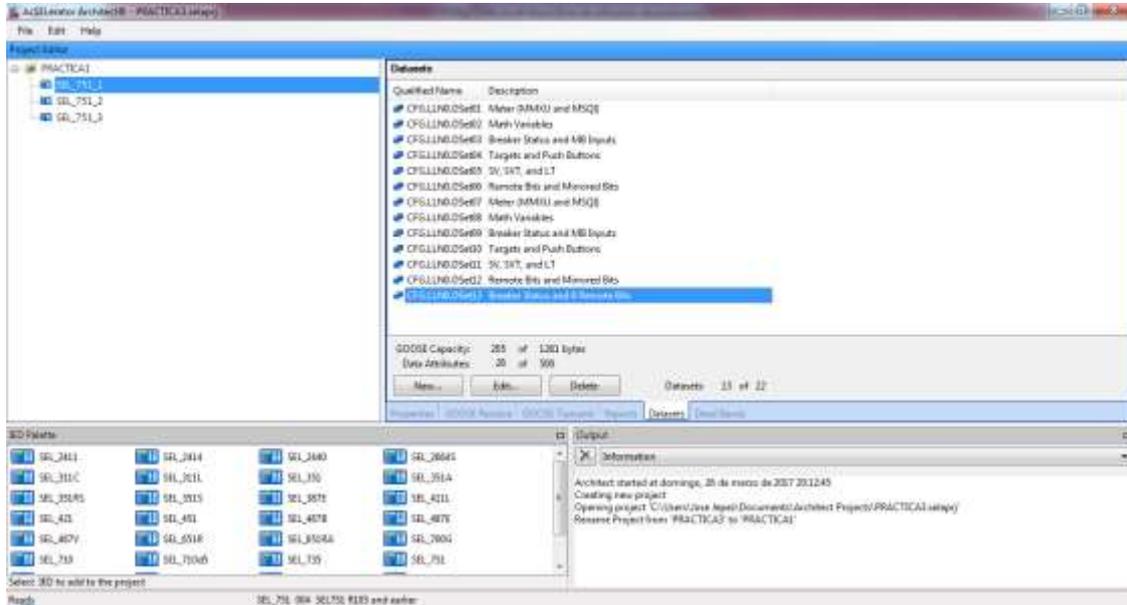


FIGURA 112: EDICIÓN DATASET13

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 2. Aparecerá un cuadro de advertencia, en el cual debemos hacer click en "OK", tal como se muestra en la figura 113.

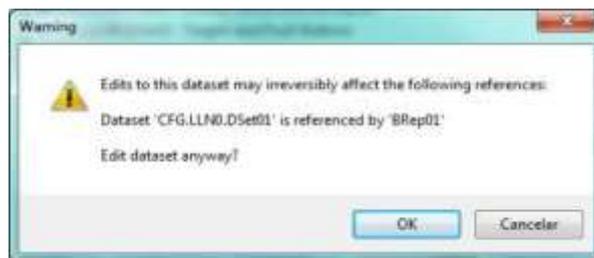


FIGURA 113: CUADRO DE ADVERTENCIA – EDICIÓN DE DATASET

FUENTE: LOS AUTORES

Luego aparecerá la pantalla de edición de DataSet, tal como se muestra en la figura 114.

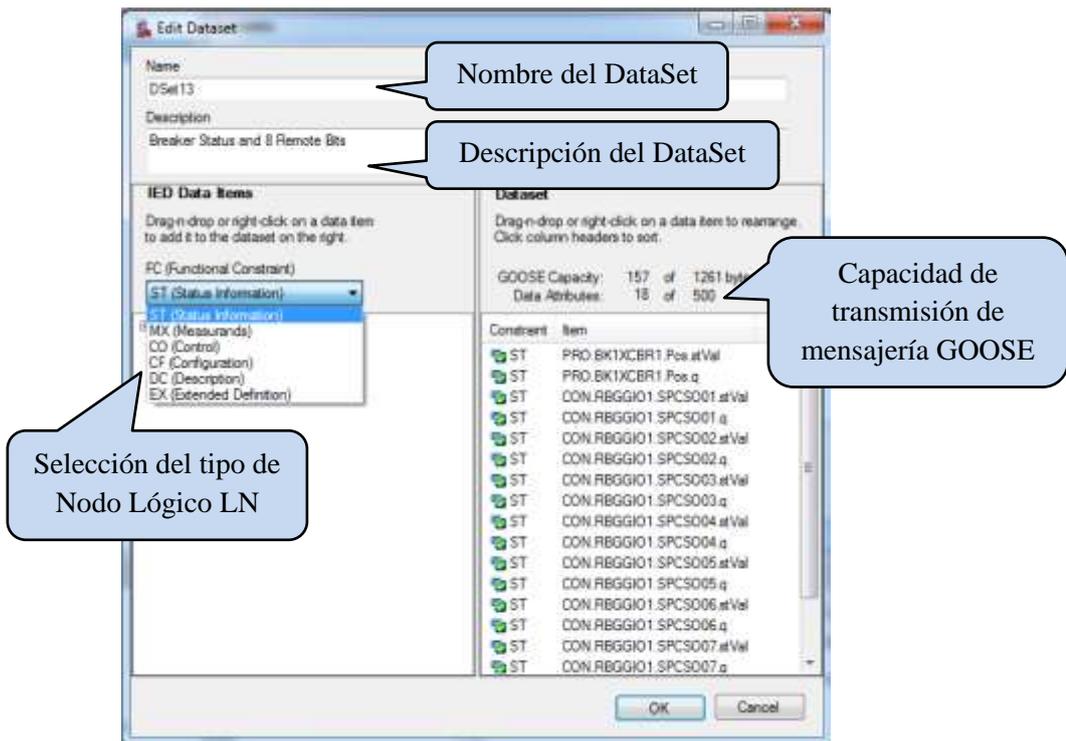


FIGURA 114: PANTALLA DE EDICIÓN DE DATASET

FUENTE: LOS AUTORES

Los datos están estructurados de acuerdo con la norma IEC 61850, tal como se muestra en la figura 115.

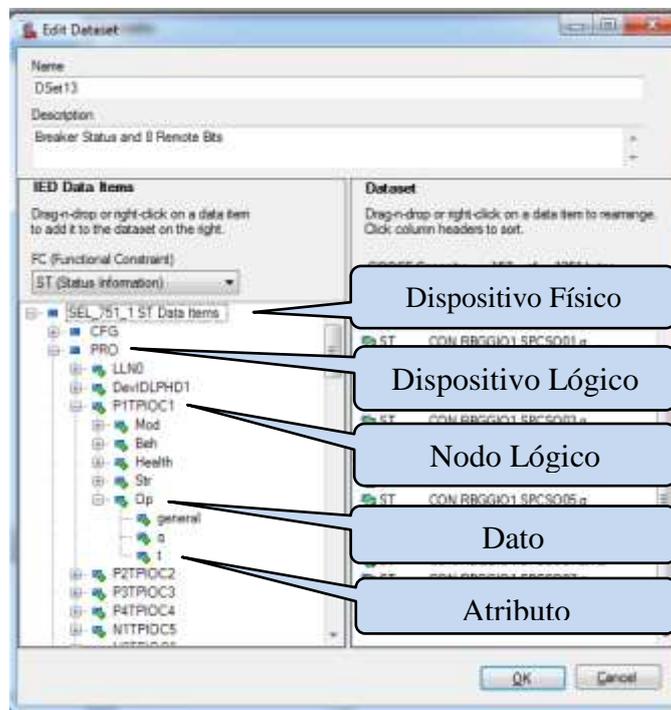


FIGURA 115: PANTALLA DE EDICIÓN DE DATASET – ESTRUCTURA DE DATOS

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 3. Para agregar más información al DataSet en mención, se debe seleccionar la opción deseada en el lado izquierdo de la pantalla y arrastrarlo hacia el lado derecho.

En el lado derecho de la pantalla se encuentra todo el mapeo de datos, es decir todos los datos seleccionados que se enviarán por GOOSE a los otros IEDs que estén dentro de la misma red LAN, tal como se muestra en la figura 116.

- Paso 4. Después de añadir todos los datos que se asignan, debe hacer click en "OK" en la parte inferior derecha.

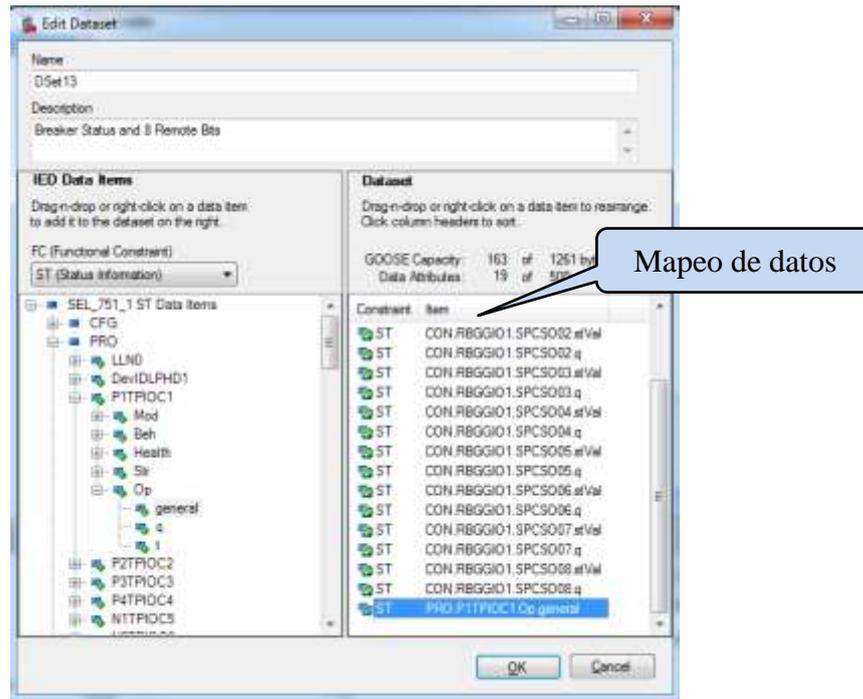


FIGURA 116: PANTALLA DE EDICIÓN DE DATASET – GUARDAR CAMBIOS

FUENTE: LOS AUTORES

Para los DataSet asociados con mensajes GOOSE, se necesita sólo la información de atributo y valor de la información de calidad ("q"). No es necesario añadir marca de tiempo ya que este atributo no se utiliza en el protocolo de GOOSE.

4.4.4. Reportes.

La opción de reportes está ubicada en la esquina inferior derecha y muestra la lista de DataSet disponibles, la descripción y los nombres de los mismos. Se puede imprimir esta lista para documentación y organización de la información que irá para IEC 61850 Cliente - MMS. [25]

En la figura 117 se mostrará un ejemplo, en ella encontraremos los 12 DataSet que están vinculados a los reportes enviados al Cliente MMS. Esta tabla es sólo para la visualización y organización del proyecto.

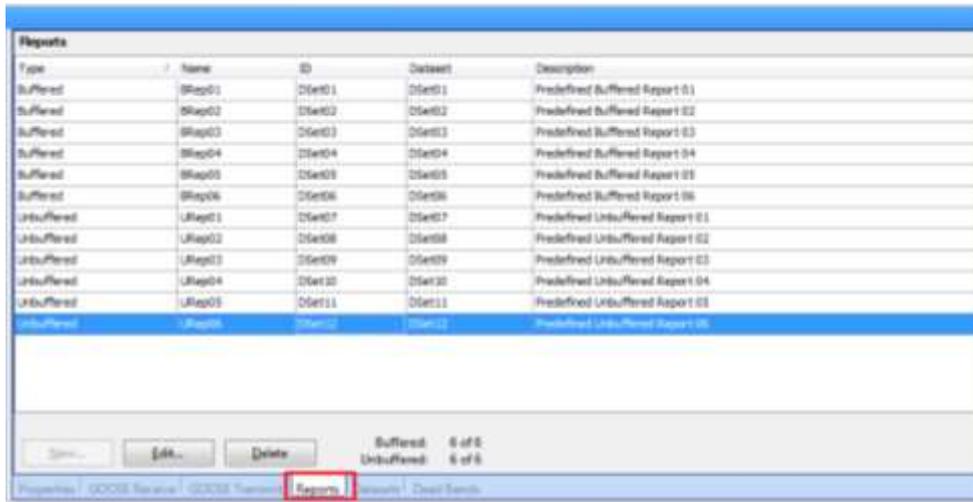


FIGURA 117: REPORT – ACSELERATOR ARCHITECT

FUENTE: LOS AUTORES

4.4.5. Ajuste de banda muerta (Dead Bands).

La pestaña Dead Bands, permite ajustar los valores de banda muerta de valores analógicos. Puede indicar el cambio que debe ocurrir en una determinada magnitud y ser notificado al supervisor (usuario) a través del protocolo IEC 61850- MMS. [25]

Por ejemplo, si se desea actualizar la tensión de fase a fase en el sistema de control, fase AB de cambios de voltaje de más de 1000 voltios, hay que localizar el dispositivo de medición lógico (en este ejemplo, MET) y el nodo lógico asociado (en este ejemplo, MMXU), encontrar el valor de este voltaje (PPV.phsAB) y cambie el valor de la banda muerta. [25]

En la figura 118 se muestra cómo implementar este ajuste en AcSELERator Architect teniendo en cuenta el relé SEL-751 como un ejemplo (para otros relés pueden proceder de una manera similar). [25]

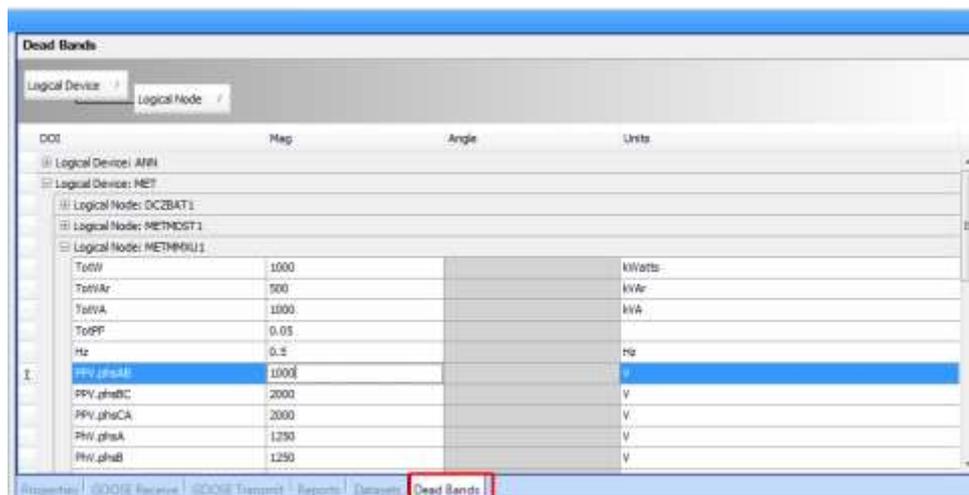


FIGURA 118: DEAD BANDS – ACSELERATOR ARCHITECT

FUENTE: LOS AUTORES

4.4.6. GOOSE Transmit.

El DataSet 13 está destinado a la configuración de los datos a ser publicado por el protocolo IEC 61850 GOOSE. El procedimiento de configuración para añadir o eliminar los datos de esta base de datos es estrictamente el mismo que se aplica a otros DataSets.

Después de programar el DataSet 13, se debe configurar los parámetros de red de comunicación para estos mensajes. Los ajustes para el envío de mensajes deben ser hechos en la pestaña GOOSE Transmit, tal como se muestra en la figura 119.

- Paso 1. Seleccionar el IED
- Paso 2. Seleccionar la pestaña GOOSE Transmit ubicada en la esquina inferior derecha.
- Paso 3. Hacer un doble click en el DataSet 13 (o DataSet creado).

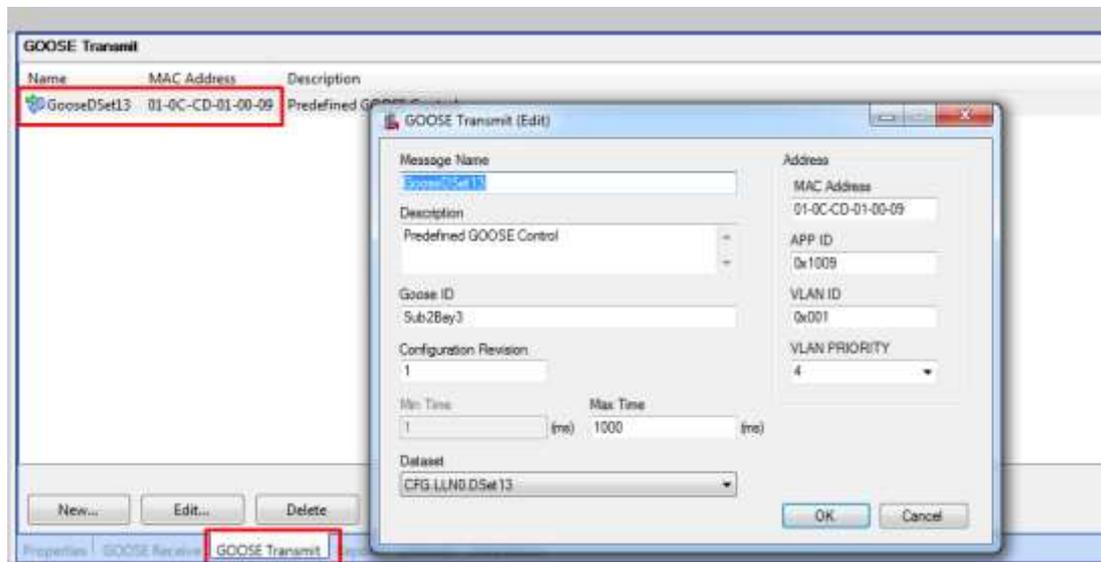


FIGURA 119: GOOSE TRANSMIT – ACSELERATOR ARCHITECT

FUENTE: LOS AUTORES

Los ajustes que se deben realizar son los siguientes:

- Nombre del paquete de mensajes;
- Multicast Adress MAC;
- ID de aplicación;
- VLAN y prioridades;
- El tiempo máximo entre mensajes.

Nota: SEL recomienda que utilice diferentes direcciones MAC para cada mensaje GOOSE del proyecto. Así mismo, no se recomienda que los 2 relés de proyectos tengan la misma MAC y la misma ID de aplicación.

4.4.7. GOOSE Recieve.

En esta sección se demostrará cómo programar los mensajes GOOSE que se enviarán a los IED de proyectos remotos. Esto requiere que todos los IED del proyecto con DataSet 13 de GOOSE estén programados los datos que serán enviados (4.4.6. GOOSE Transmit), así como la configuración de la red. (4.4.2. Agregar archivos CID al proyecto, Paso 5.)

Como ejemplo utilizaremos un proyecto con 3 IEDs SEL 751, tal como se muestra en la figura 120. Previamente a cada uno de ellos se le configuró los parámetros de la red de comunicación y se programaron los datos que se enviaran por GOOSE.

Para poder Seleccionar los datos que van a recibir cada uno de los IEDs se deben seguir los siguientes pasos.

- Paso 1. Seleccionar el IED a configurar
- Paso 2. Seleccionar la pestaña GOOSE Recieve ubicada en la esquina inferior derecha.

Como vamos a configurar el IED1 (SEL_751_1), dentro del GOOSE Recieve nos aparecerán los DataSets13 del IED2 (SEL_751_2.GooseDataSet13) e IED3 (SEL_751_3.GooseDataSet13) respectivamente.

Debido a que los 3 IEDs están dentro de la misma red, todos pueden acceder a los datos que se están enviando por GOOSE Transmit.

- Paso 3. Dar click sobre uno los DataSet que el IED es capaz de recibir.

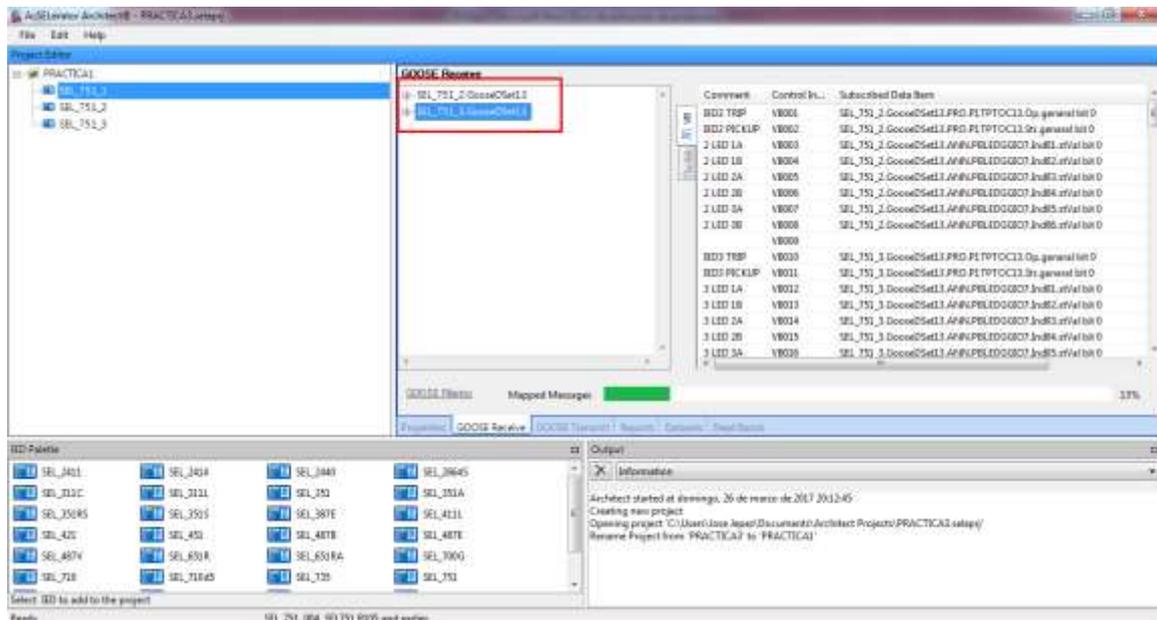


FIGURA 120: GOOSE RECIEVE – ACSELERATOR ARCHITECT

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 4. Seleccionar la información que queremos recibir y arrastrarlo al lado derecho.

Esto no es nada más que guardar la información que queremos enviar por la red en variables virtuales, las cuales las podemos utilizar en los diferentes IEDs conectados a la misma red, tal como se muestra en la figura 121.

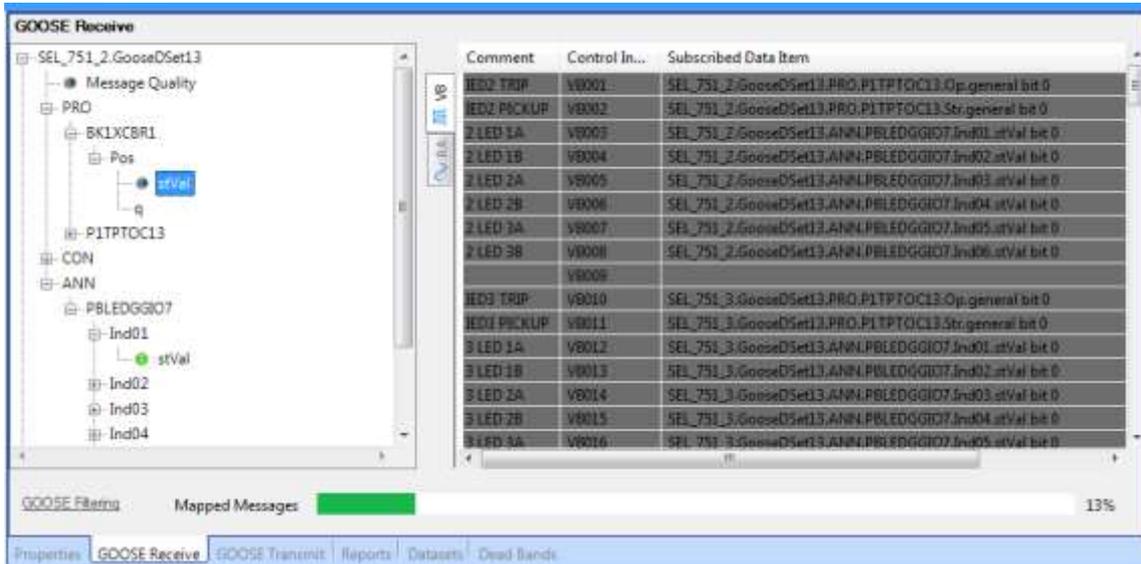


FIGURA 121: ASIGNAR INFORMACIÓN A LOS VIRTUAL BITS

FUENTE: LOS AUTORES

Estos Virtual Bits se utilizan en forma de lógica programable deseada por cada IED, y pueden por ejemplo estar asociados con selectividad lógica, fallo del interruptor, la transferencia automática de la fuente, etc. La programación lógica que implica estos VBs se llevan a cabo en el software AcSElerator QuickSet.

4.4.8. Carga de archivo CID en los IED

Después de la edición y de la preparación de los archivos, el próximo paso es enviar el archivo de la configuración al IED (archivo .CID) para cada uno de los relés existentes en el proyecto, tal como se muestra en la figura 122. Por lo tanto, debe seguir los siguientes pasos.

- Paso 1. Conectarse a través de la red Ethernet directamente al IED o por medio del switch de comunicación, verificando que todos IED y PC tengan una dirección IP válida.
- Paso 2. En el Software AcSElerator Architect, se debe seleccionar el IED deseado.
- Paso 3. Hacer click derecho y seleccionar la opción "Enviar CID".

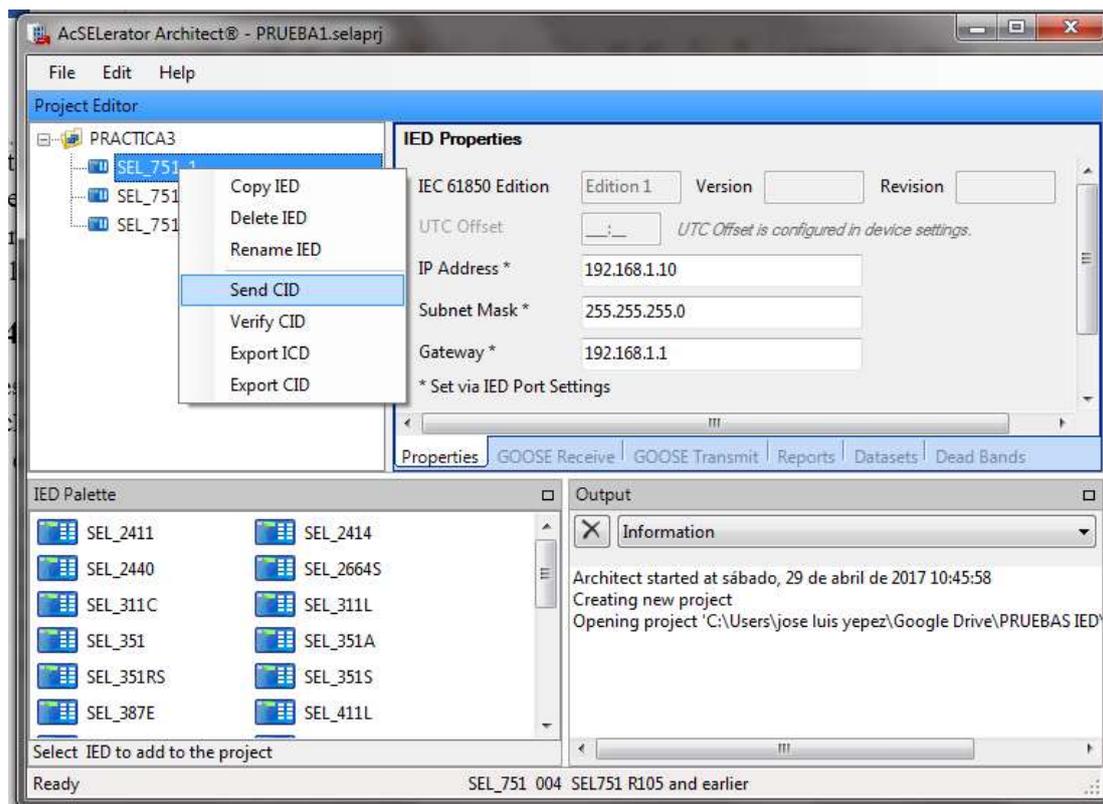


FIGURA 122: SEL 5032 – SEND CID

FUENTE: LOS AUTORES

- Paso 4. Ingresar los parámetros de comunicación del IED al cual se le va a cargar el archivo .CID.



FIGURA 123: SEL 5032 – CONFIRMACIÓN DE CONFIGURACIÓN DE RED

FUENTE: LOS AUTORES

Nota: El relé está configurado de fábrica con el usuario sea “FTPUSER” o “2AC”, dependiendo del modelo del equipo y el nivel de contraseña 2 que es “TAIL” , tal como se muestra en la figura 123.

- Paso 5. Dar click en “Siguiente” y esperar unos momentos mientras el archivo .CID se termine de cargar, tal como se muestra en la figura 124.



FIGURA 124: SEL 5032 – ENVIAR CID AL IED

FUENTE: LOS AUTORES

Si no hay errores, verá la pantalla tal como se muestra en la figura 125.

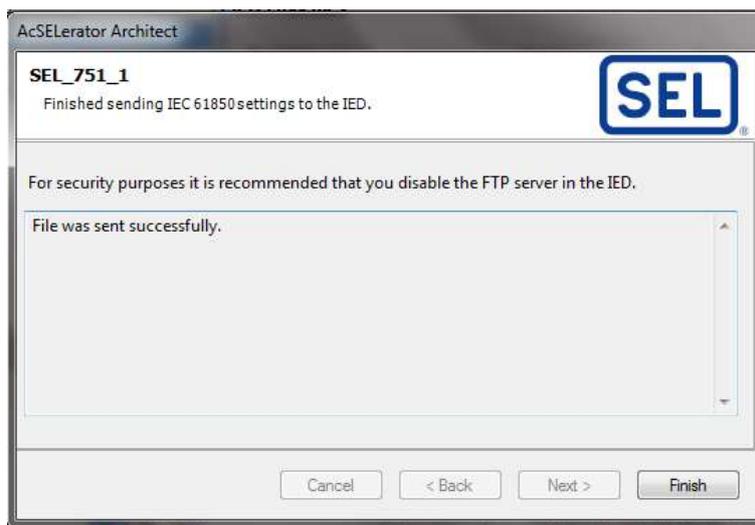


FIGURA 125: SEL 5032 – CARGA DEL ARCHIVO CID COMPLETADA

FUENTE: LOS AUTORES

Si hay algún error en la configuración o en conexión con el IED, aparece una ventana que con un mensaje de error de conexión al enviar el fichero CID, tal como se muestra en la figura 126



FIGURA 126: SEL 5032 – ERROR AL CARGAR EL ARCHIVO CID-A

FUENTE: LOS AUTORES

Otro ejemplo de error común, es la incompatibilidad entre la versión del firmware de la IED y la versión del archivo utilizado en AcSElerator Architect, tal como se muestra en la figura 127.

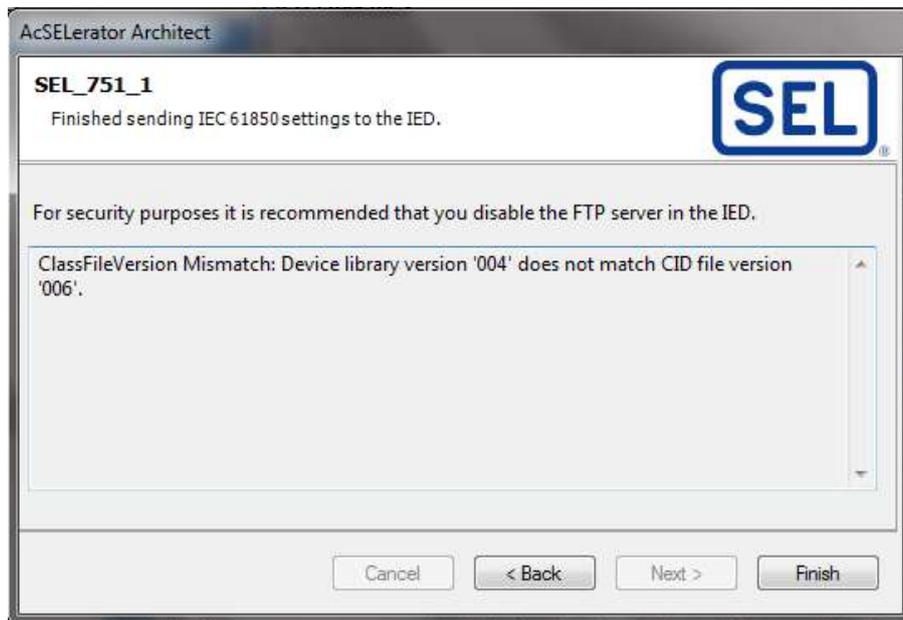


FIGURA 127: SEL 5032 – ERROR AL CARGAR EL ARCHIVO CID-B

FUENTE: LOS AUTORES

4.5. Escenarios para la implementación

4.5.1. Prueba #1 – Lógica de control utilizando IEC61850-GOOSE.

4.5.1.1. Objetivo general

- Comprobar el correcto funcionamiento de la mensajería GOOSE aplicando una lógica de control que nos permita utilizar los leds de estado de cada IED.

4.5.1.2. Objetivos específicos

- Configurar los DataSets y los bits virtuales con los datos que vamos a enviar por GOOSE.

4.5.1.3. Descripción y funcionamiento.

Para esta prueba utilizaremos los PushButton del panel frontal con sus respectivos leds de estados. Por cada PushButton existen dos leds de estado tal como se muestra en la figura 128.

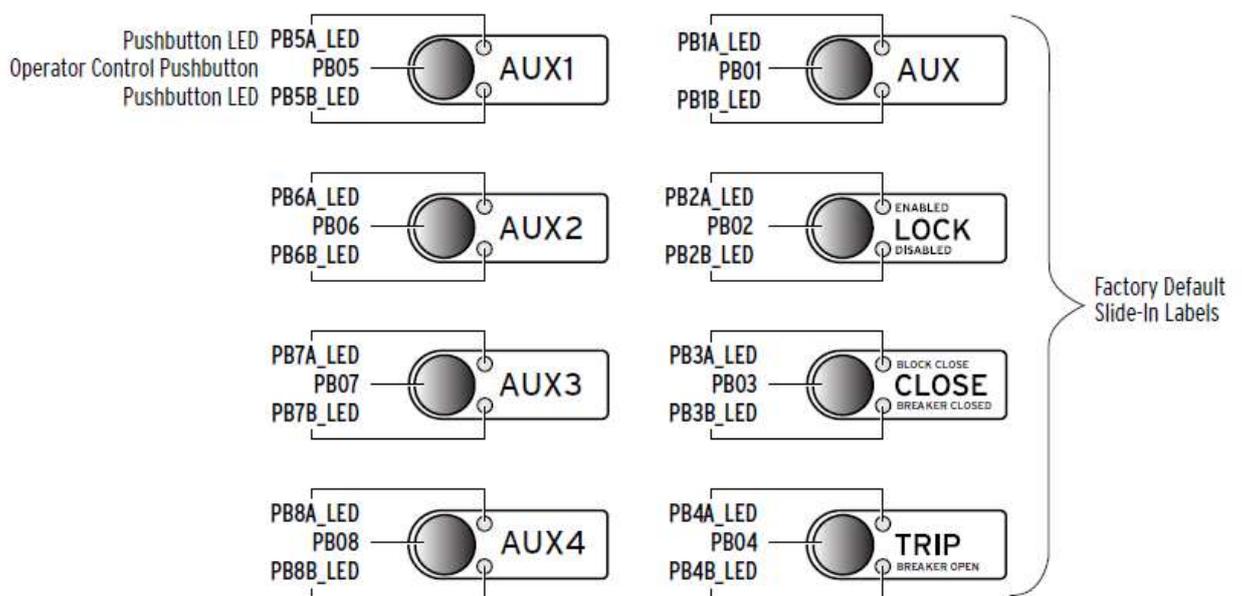


FIGURA 128: PANEL FRONTAL – PUSHBUTTON

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

Para utilizar los leds de estados tenemos que previamente tener configurada la lógica de control, tal como se muestra en la figura 129.



FIGURA 129: GRÁFICA LÓGICA1

FUENTE: LOS AUTORES

En esta lógica el indicador led “PB1A_LED” se enciende siempre y cuando el PushButton05 “PB05” sea pulsado. El tiempo que el PB1A_LED permanezca

encendido depende del tiempo que de PB05 permanezca pulsado, tal como se muestra en la figura 130.

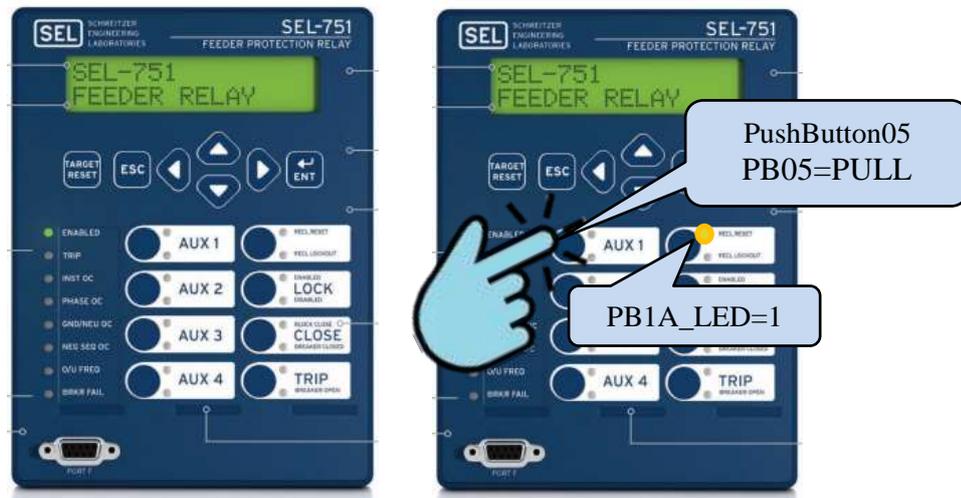


FIGURA 130: PRUEBA1 - A

FUENTE: LOS AUTORES

4.5.1.4. Materiales y equipos.

En esta práctica utilizaremos los siguientes equipos y materiales:

- IED SEL 751 (3U)
- SWITCH DE COMUNICACIÓN (1U)
- PATCH CORD (4U)
- LAPTOP (1U)

4.5.1.5. Desarrollo.

Para esta prueba utilizaremos tres IEDs SEL 751 conectados en una red LAN.

En el IED1 pulsaremos el PushButton05, según la lógica previamente configurada se encenderá el led de estado PB1A_LED. Al estar los tres IEDs a la misma red LAN y aplicando IEC61850-GOOSE podemos hacer que los otros dos IEDs restantes tengan conocimiento de que se encendió el led PB1A_LED en el IED1.

Para comprobar esto de manera visual haremos que se enciendan los leds PB8A_LED del IED2 e IED3, siempre y cuando permanezca encendido el PB1A_LED del IED1, tal como se muestra en la figura 131.



FIGURA 131: PRUEBA1- IED1

FUENTE: LOS AUTORES

En el IED2 y el IED3 se les configurará la misma lógica de control del PB1A_LED; es decir cuando se pulse el PB05 del IED2 se encenderá el PB1A_LED del IED2 así mismo, cuando se pulse el PB05 del IED3 se encenderá el PB1A_LED del IED3.

Cuando pulsemos PB05 del IED2 se encenderán los leds PB7A_LED de los IED1 e IED3, tal como se muestra en la figura 132.

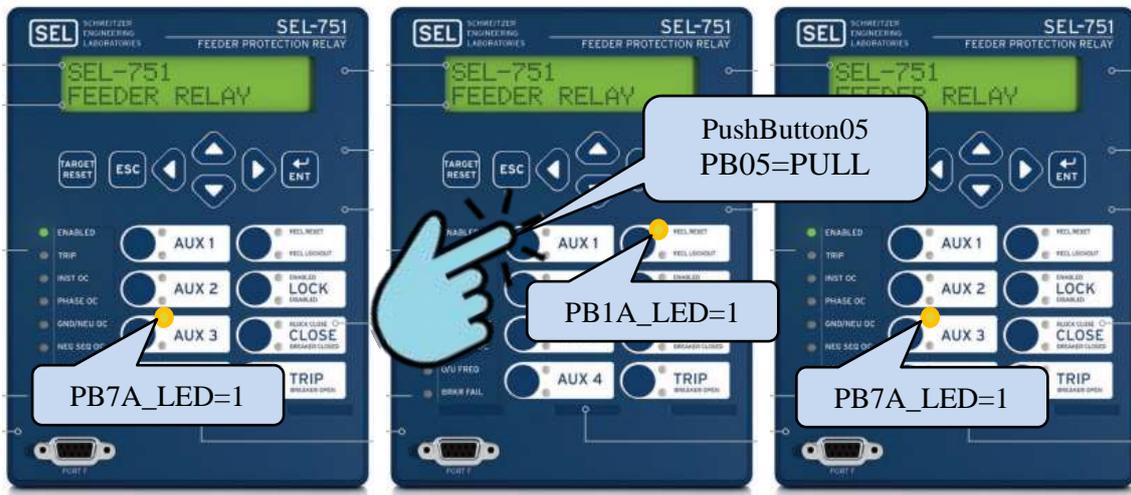


FIGURA 132: PRUEBA1 - IED2

FUENTE: LOS AUTORES

Al pulsar PB05 del IED3 se encenderán los leds PB6A_LED de los IED1 e IED2, tal como se muestra en la figura 133.

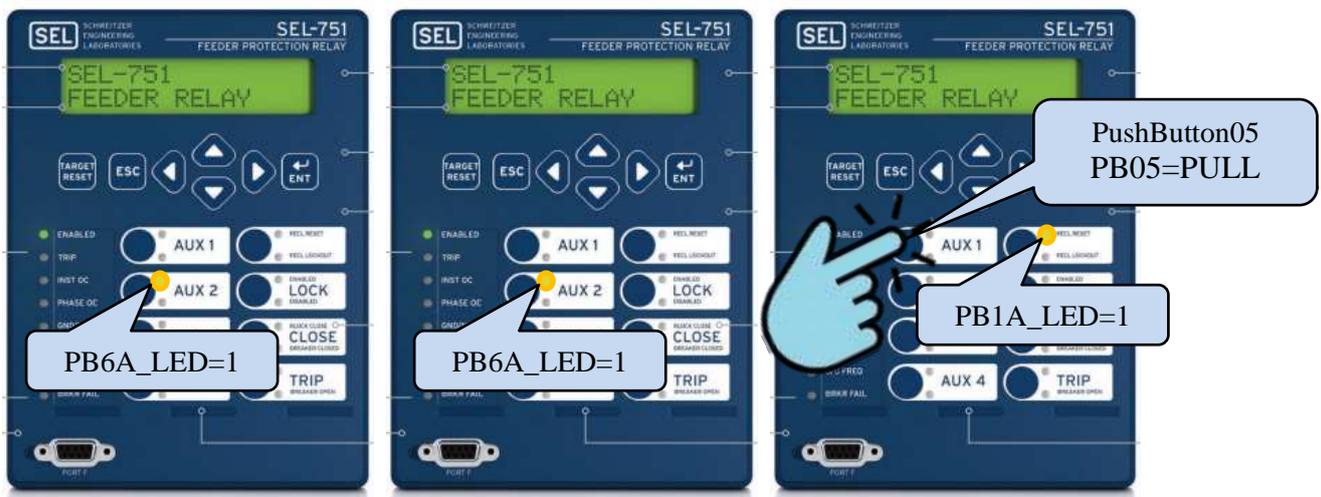


FIGURA 133: PRUEBA1 – IED3

FUENTE: LOS AUTORES

Para lograr esto, previamente hay que realizar el mapeo de datos que vamos a utilizar; además de realizar las respectivas configuraciones de las lógicas de los IEDs.

4.5.1.6. Mapeo de Datos.

Debido a que la información que queremos saber es sobre el estado de los leds PB1A_LED de cada uno de los IEDs, tenemos que seleccionar el dispositivo lógico que esté asociado con este tipo de datos.

Los IEDs SEL 751, tal como se muestra en la figura 134 tienen pre-configurados los siguientes dispositivos lógicos:

| Logical Device | Description |
|----------------|--|
| ANN | Annunciator elements—alarms, status values |
| CFG | Configuration elements—datasets and report control blocks |
| CON | Control elements—Remote bits |
| MET | Metering or Measurement elements—currents, voltages, power, etc. |
| PRO | Protection elements—protection functions and breaker control |

FIGURA 134: DISPOSITIVOS LÓGICOS

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

El dispositivo lógico ANN es el que está asociado con elementos anunciadores; como: alarmas y valores de estado; por lo que en este encontraremos el nodo lógico con la información que necesitamos.

Dentro del dispositivo lógico ANN encontraremos el nodo lógico PBLEDGGIO7, dentro de este nodo lógico encontraremos los datos que necesitaremos para poder monitorear los leds de estados de los IEDs, tal como se muestra en la figura 135.

| Logical Node | Attribute | Data Source | Comment |
|--------------|-------------|-------------|---------------------|
| PBLEDGGIO7 | Ind01.stVal | PB1A_LED | Pushbutton PB1A LED |
| PBLEDGGIO7 | Ind02.stVal | PB1B_LED | Pushbutton PB1B LED |
| PBLEDGGIO7 | Ind03.stVal | PB2A_LED | Pushbutton PB2A LED |
| PBLEDGGIO7 | Ind04.stVal | PB2B_LED | Pushbutton PB2B LED |
| PBLEDGGIO7 | Ind05.stVal | PB3A_LED | Pushbutton PB3A LED |
| PBLEDGGIO7 | Ind06.stVal | PB3B_LED | Pushbutton PB3B LED |
| PBLEDGGIO7 | Ind07.stVal | PB4A_LED | Pushbutton PB4A LED |
| PBLEDGGIO7 | Ind08.stVal | PB4B_LED | Pushbutton PB4B LED |

FIGURA 135: NODOS LÓGICOS

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

En el software AcSELERator Architect se deben editar el DataSet13 de cada uno los IEDs y agregar los datos que necesitamos enviar por GOOSE a los demás IEDs, tal como se muestra en la figura 136.

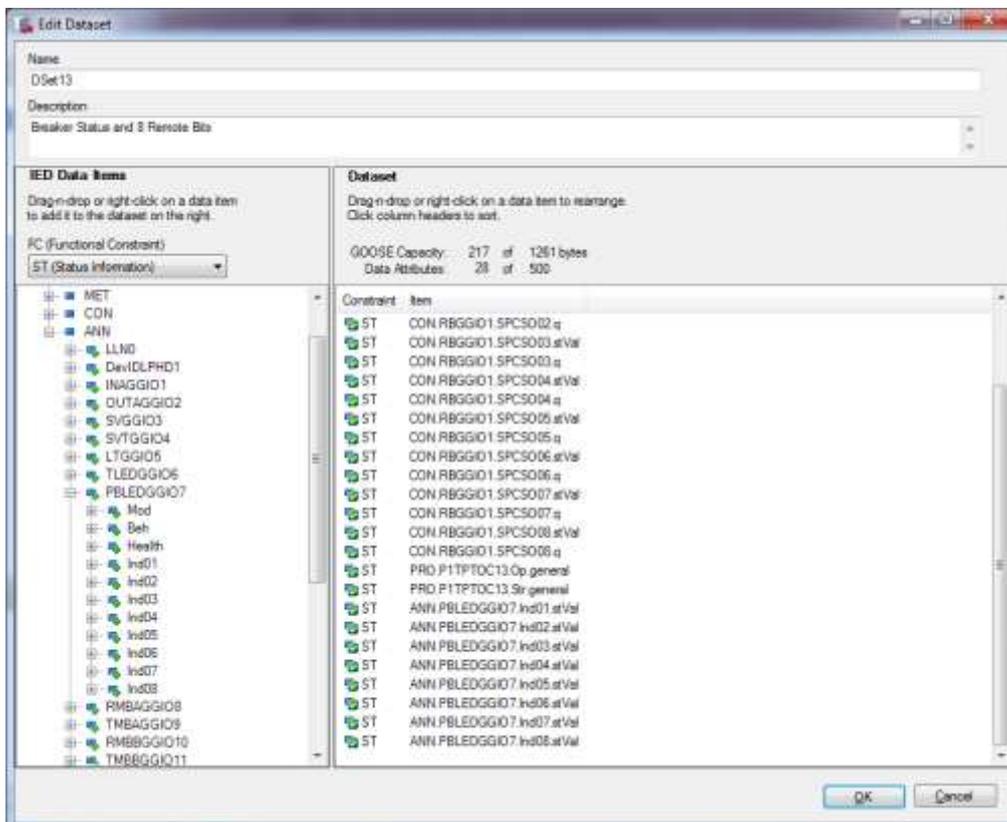


FIGURA 136: SEL 5032 – EDICIÓN DATASET13

FUENTE: LOS AUTORES

En GOOSE Receive tenemos que guardar en las variables de control los datos que queremos que dicho IED pueda recibir (GOOSE Recieve).

Para el caso del IED1, guardamos en la variable VB003 los datos del PB1A_LED del IED2 y en la variable VB012 los datos del PB1A_LED del IED3, tal como se muestra en la figura 137.

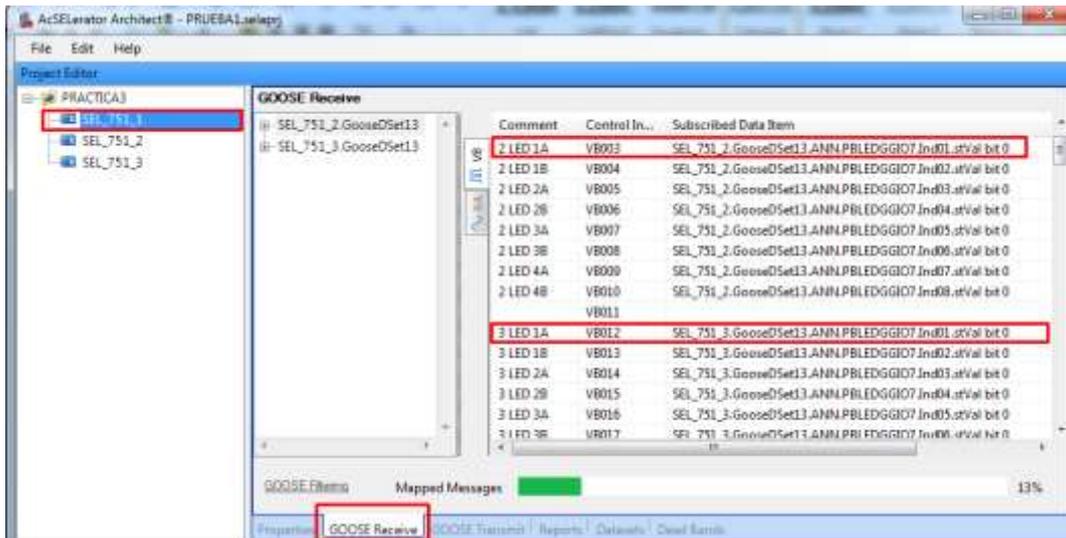


FIGURA 137: PRUEBA1 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE IED1

FUENTE: LOS AUTORES

En el IED2, guardamos en la variable de control VB012 los datos del PB1A_LED del IED3 y en la variable de control VB022 los datos del PB1A_LED del IED1, tal como se muestra en la figura 138.

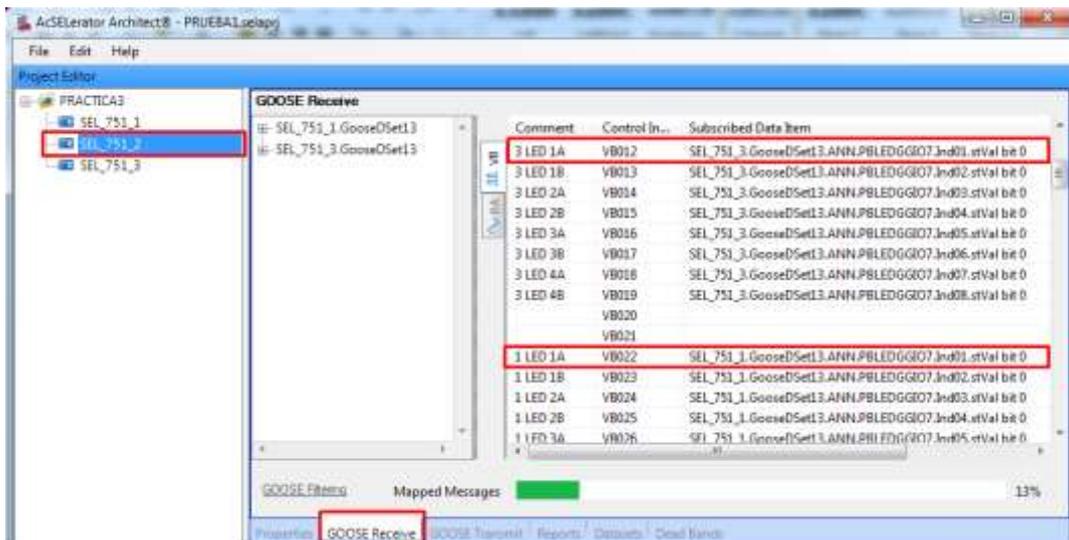


FIGURA 138: PRUEBA1 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE IED2

FUENTE: LOS AUTORES

En el IED3, guardamos en la variable de control VB003 los datos del PB1A_LED del IED2 y en la variable de control VB022 los datos del PB1A_LED del IED1, tal como se muestra en la figura 139.

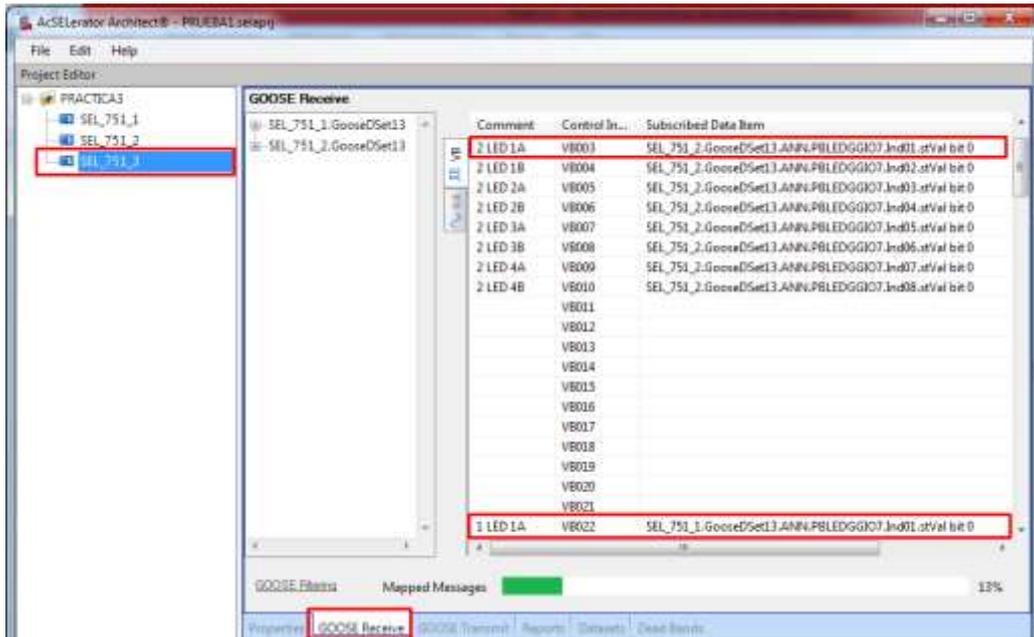


FIGURA 139: PRUEBA1 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE IED3

FUENTE: LOS AUTORES

4.5.1.7. Lógica de control SELogic.

Una vez configurados los DataSets y cargado los archivos .CID en cada IED, debemos configurar los IEDs con su respectiva lógica de control, tal como se muestra en la figura 140.

En esta lógica utilizaremos las variables que le indicamos a cada IED, que podrían recibir por GOOSE; es decir los estados de los PB1A_LED de los otros dos IEDs, tal como se muestra en la figura 141 y 142.

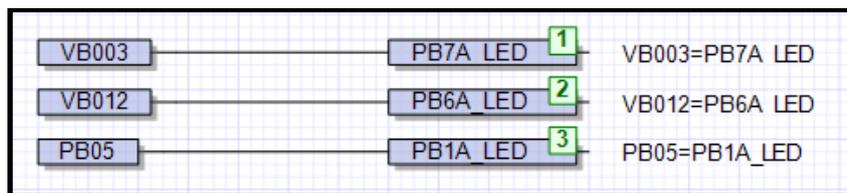


FIGURA 140: PRUEBA1 SEL 5030 – LÓGICA IED1

FUENTE: LOS AUTORES

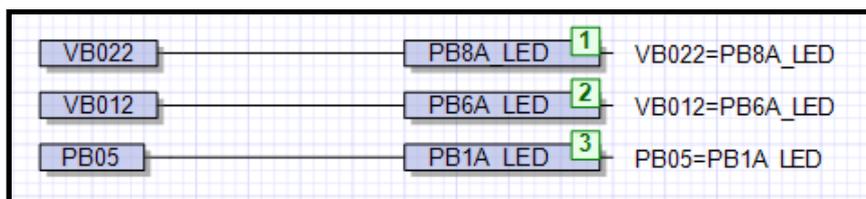


FIGURA 141: PRUEBA1 SEL 5030 – LÓGICA IED2

FUENTE: LOS AUTORES

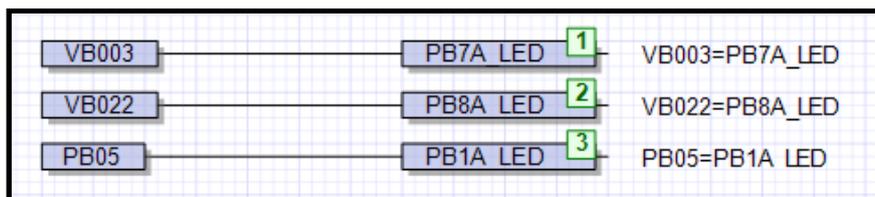


FIGURA 142: PRUEBA1 SEL 5030 – LÓGICA IED3

FUENTE: LOS AUTORES

4.5.1.8. Conclusiones – Prueba #1

- Podemos verificar que todos los IEDs previamente configurados y conectados a la red LAN, pueden enviar y recibir los mensajes GOOSE; utilizando los bits virtuales como estados en la lógica de control de cada IED, comprobándolos por medio de sus leds auxiliares.
- Al querer adquirir datos relacionados con los estados de los pulsadores y leds auxiliares, debemos seleccionar el dispositivo lógico correcto; sin esto será imposible monitorear dichos estados.

4.5.1.9. Recomendaciones – Prueba #1

- Para configurar el DataSet y asignar los datos a los bits virtuales que recibirán los IEDs se recomienda revisar la sección 4.4.3 “Creación y edición de DataSet” y 4.4.7. “GOOSE Recieve” de este manual.
- Utilizar el comando PING para comprobar la comunicación entre los diferentes IEDs conectados en la red LAN
- Revisar el Apéndice F del catálogo del Relé SEL 751 para tener mayor información sobre los diferentes dispositivos lógicos y nodos lógicos pre-configurados en el equipo.

4.5.2. Prueba #2 – Maniobras dentro de una subestación utilizando IEC61850-GOOSE.

4.5.2.1. Objetivo general

- Simular las maniobras realizadas para el mantenimiento y operación de una subestación.

4.5.2.2. Objetivos específicos

- Demostrar que cada uno de los IEDs tienen conocimiento de los estados de los diferentes equipos de maniobra y protección dentro de la subestación.
- Configurar los DataSets y los bits virtuales con los datos que vamos a enviar por GOOSE.

4.5.2.3. Descripción y funcionamiento.

Para esta prueba se construyó un tablero de señales, en el cual se representará la subestación mostrada en la figura 143, esto con la finalidad de simular las operaciones de los seccionadores e interruptores; permitiéndonos plantear varios escenarios en nuestra prueba.

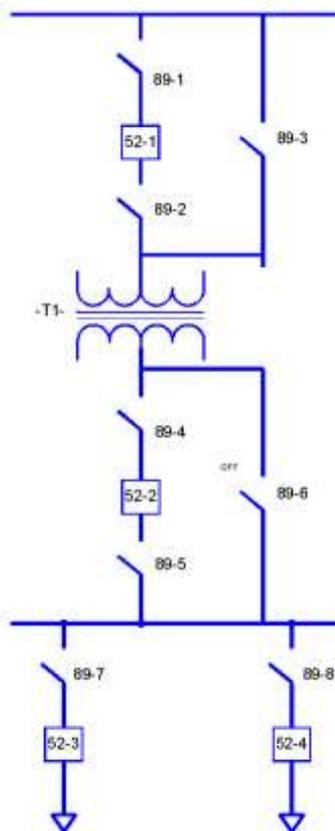


FIGURA 143: SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

FUENTE: LOS AUTORES

Los estados de los seccionadores e interruptores estarán representados por los leds de estados PBXX_LED de los IEDs SEL751, tal como se muestra en la figura 144. En la tabla10 y tabla11 se representa la configuración de los leds.

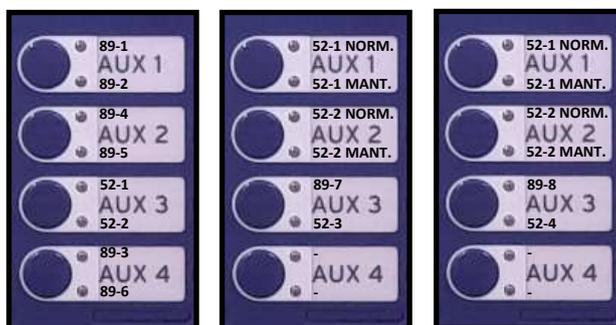


FIGURA 144: PRUEBA2 – INDICADORES LED

FUENTE: LOS AUTORES

| IED 751 – 1 ALIMENTADOR PRINCIPAL | INDICADOR LED | DESCRIPCIÓN |
|--|----------------------|--------------------|
| SECCIONADORES DE LÍNEA A.T | PB5A_LED | 89-1 |
| | PB5B_LED | 89-2 |
| SECCIONADORES DE LÍNEA B.T | PB6A_LED | 89-4 |
| | PB6B_LED | 89-5 |
| INTERRUPTORES | PB7A_LED | 52-1 |
| | PB7B_LED | 52-2 |
| SECCIONADORES DE BY-PASS | PB8A_LED | 89-3 |
| | PB8B_LED | 89-6 |

TABLA10: INDICADORES LED – IED 751-1

FUENTE: LOS AUTORES

| IED 751 – 2/3 ALIMENTADORES DE SALIDA | INDICADOR LED | DESCRIPCIÓN |
|--|----------------------|--------------------|
| INTERRUPTOR 52-1 | PB5A_LED | 52-1 NORM. |
| | PB5B_LED | 52-2 MANT. |
| INTERRUPTOR 52-2 | PB6A_LED | 52-1 NORM. |
| | PB6B_LED | 52-2 MANT. |
| ALIMENTADOR | PB7A_LED | 89-7/89-8 |
| | PB7B_LED | 52-3/52-4 |

TABLA11: INDICADORES LED – IED 751-2/3

FUENTE: LOS AUTORES

El IED SEL 387E será utilizado como un concentrador para las señales de los seccionadores e interruptores del tablero de prueba.

Mediante IEC61850-GOOSE comunicaremos los tres IEDs SEL 751 y el IED SEL 387E para que todos los IEDs tengan conocimiento de las operaciones que se están realizando dentro de la subestación y poder comprobarlo de manera visual en los leds de estado de los IEDs SEL 751.

4.5.2.4. Materiales y equipos.

En esta práctica utilizaremos los siguientes equipos y materiales:

- IED SEL 751 (3U)
- IED SEL 387E (1U)
- SWITCH DE COMUNICACIÓN (1U)
- TABLERO DE SEÑALES (1U)
- PATCH CORD (5U)
- LAPTOP (1U)

4.5.2.5. Desarrollo.

Para el desarrollo de esta prueba primero tenemos que realizar las conexiones físicas de las señales del tablero al IED 387E. Para esta práctica utilizaremos las borneras ubicadas en el lado lateral derecho del tablero; tal como se muestra en la figura 145.

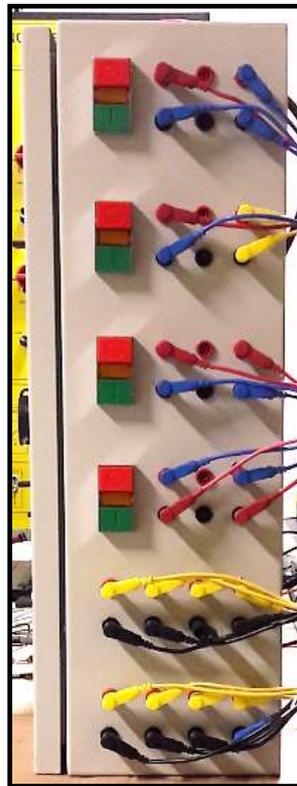


FIGURA 145: PRUEBA2 – TABLERO DE SEÑALES

FUENTE: LOS AUTORES

Cada una de las señales del tablero tienen que ir conectada a las borneras del IED SEL 387E, tal como se muestra en la figura 146.

Se debe conectar cada uno de los IEDs al switch de comunicación y configurarlos de tal manera que todos se encuentren dentro de la misma red LAN. Adicional tener activadas las configuraciones para la norma IEC61850 y la mensajería GOOSE.



FIGURA 146: PRUEBA2 – IED4 – CONCENTRADOR DE SEÑALES

FUENTE: LOS AUTORES

La construcción y detalles del tablero de señales se los podrá revisar en el anexo A de este trabajo.

Con el tablero podremos plantear varios escenarios, simulando las correctas maniobras para poder energizar, desenergizar o poner en mantenimiento los elementos de la subestación, tal como se muestra en la figura 147.

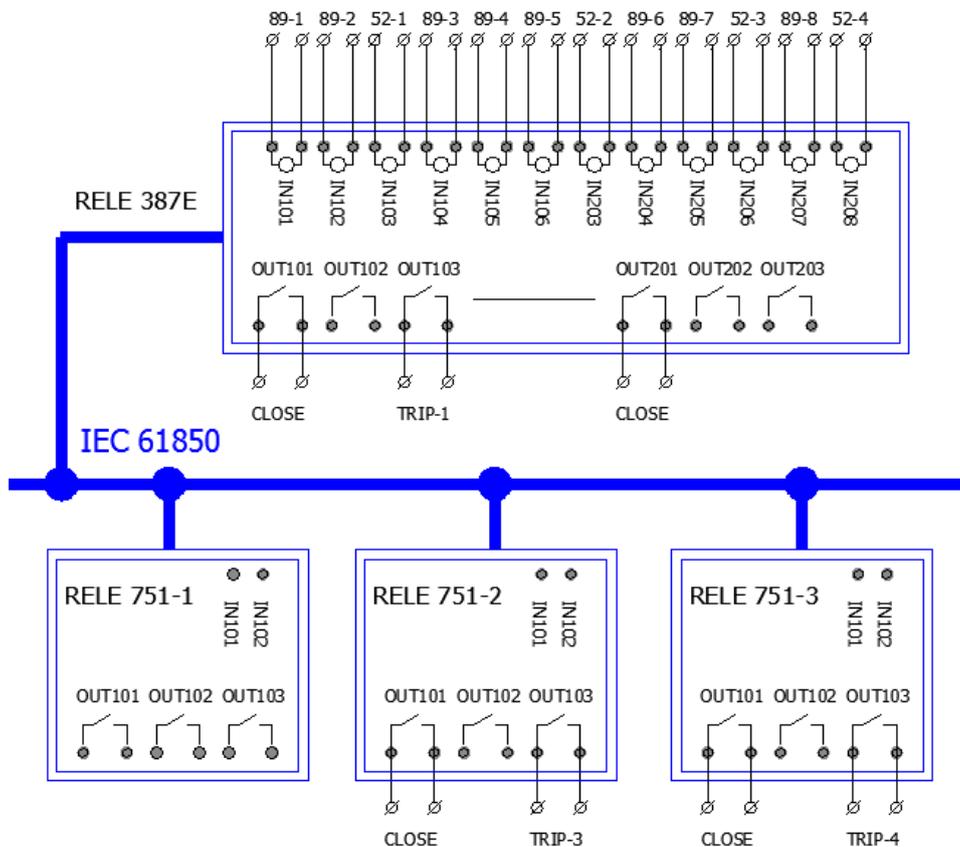


FIGURA 147: PRUEBA2 – CABLEADO DE LAS SEÑALES

FUENTE: LOS AUTORES

A continuación mostraremos tres escenarios de la prueba.

ESCENARIO 1 (52-1 ON Y 52-2 ON)

Escenario 1, representado en la figura 148 Y 149

IED 751-1 ALIMENTADOR PRINCIPAL

89-1=CERRADO ; PB5A_LED=1
89-2=CERRADO ; PB5B_LED=1
89-4=CERRADO ; PB6A_LED=1
89-5=CERRADO ; PB6A_LED=1
52-1=CERRADO ; PB7A_LED=1
52-2=CERRADO ; PB7A_LED=1

IED 751-2 ALIMENTADOR DE SALIDA 1

52-1=CERRADO ; 89-3=ABIERTO ; PB5A_LED=1 (OPERACIÓN NORMAL)
52-2=CERRADO ; 89-6=ABIERTO ; PB6A_LED=1 (OPERACIÓN NORMAL)

IED 751-2 ALIMENTADOR DE SALIDA 2

52-1=CERRADO ; 89-3=ABIERTO ; PB5A_LED=1 (OPERACIÓN NORMAL)
52-2=CERRADO ; 89-6=ABIERTO ; PB6A_LED=1 (OPERACIÓN NORMAL)

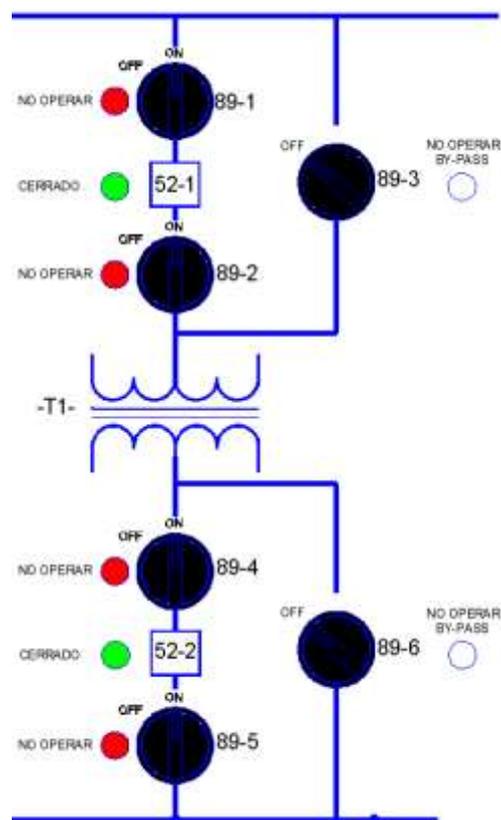


FIGURA 148: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-1A

FUENTE: LOS AUTORES

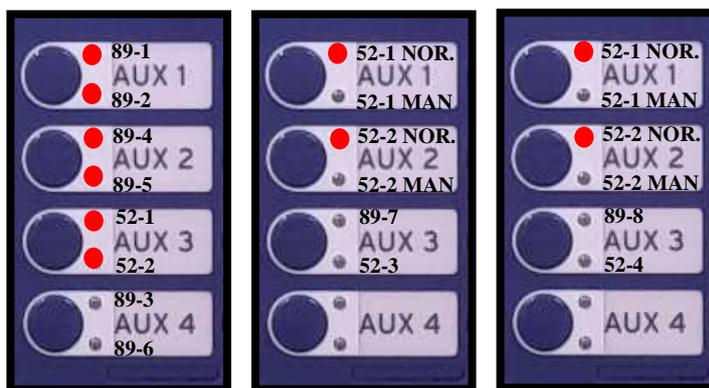


FIGURA 149: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-1B

FUENTE: LOS AUTORES

ESCENARIO 2 (52-1=MANTENIMIENTO Y 52-2=MANTENIMIENTO)
 Escenario 2, representado en la figura 150 Y 151

IED 751-1 ALIMENTADOR PRINCIPAL

89-3=CERRADO ; PB8A_LED=1
 89-6=CERRADO ; PB8B_LED=1

IED 751-2 ALIMENTADOR DE SALIDA 1

52-1=ABIERTO ; 89-3=CERRADO ; PB5B_LED=1 (OPERACIÓN BY-PASS)
 52-2=ABIERTO ; 89-6=CERRADO ; PB6B_LED=1 (OPERACIÓN BY-PASS)

IED 751-2 ALIMENTADOR DE SALIDA 2

52-1=ABIERTO ; 89-3=CERRADO ; PB5B_LED=1 (OPERACIÓN BY-PASS)
 52-2=ABIERTO ; 89-6=CERRADO ; PB6B_LED=1 (OPERACIÓN BY-PASS)

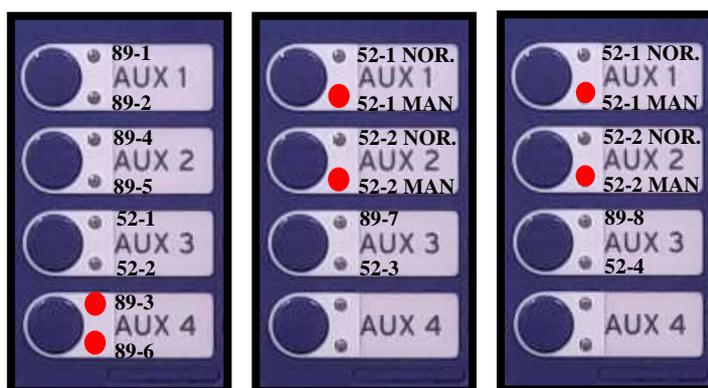


FIGURA 150: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-2A

FUENTE: LOS AUTORES

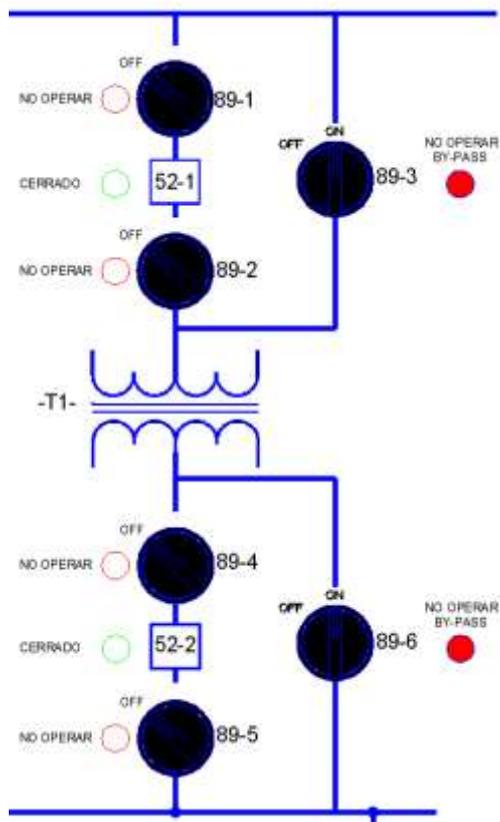


FIGURA 151: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-2B

FUENTE: LOS AUTORES

ESCENARIO 3 (52-1=MANTENIMIENTO Y 52-2=ON)

Escenario 3, representado en la figura 152 Y 153

IED 751-1 ALIMENTADOR PRINCIPAL

89-3=ABIERTO ; PB8B_LED=1

89-4=CERRADO ; PB6A_LED=1

89-5=CERRADO ; PB6A_LED=1

52-2=CERRADO ; PB7A_LED=1

IED 751-2 ALIMENTADOR DE SALIDA 1

52-1=ABIERTO ; 89-3=CERRADO ; PB5B_LED=1 (OPERACIÓN BY-PASS)

52-2=CERRADO ; 89-6=ABIERTO ; PB6A_LED=1 (OPERACIÓN NORMAL)

89-7=CERRADO ; PB7A_LED=1

52-3=CERRADO ; PB7B_LED=1

IED 751-2 ALIMENTADOR DE SALIDA 2

52-1=ABIERTO ; 89-3=CERRADO ; PB5B_LED=1 (OPERACIÓN BY-PASS)

52-2=CERRADO ; 89-6=ABIERTO ; PB6A_LED=1 (OPERACIÓN NORMAL)

89-8=CERRADO ; PB7A_LED=1

52-4=CERRADO ; PB7B_LED=1

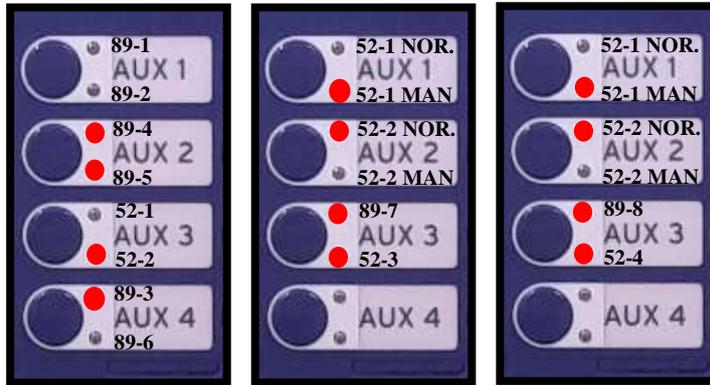


FIGURA 152: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-3A

FUENTE: LOS AUTORES

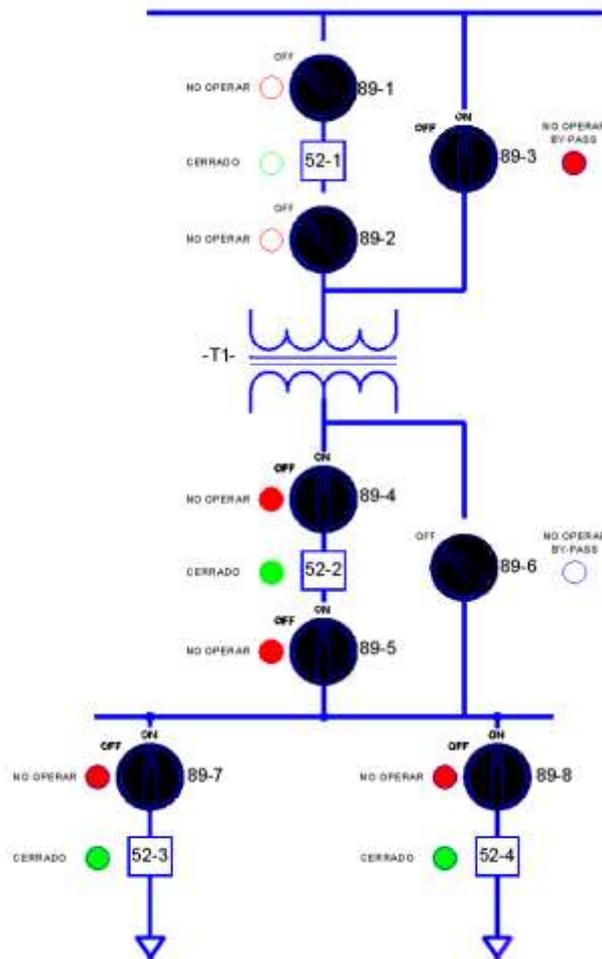


FIGURA 153: PRUEBA2 – MANIOBRAS EN LA SUBESTACIÓN-3B

FUENTE: LOS AUTORES

4.5.2.6. Mapeo de datos.

Al utilizar el IED 387E como concentrador de señales, tenemos que seleccionar el dispositivo lógico que esté asociado con el tipo de dato de las entradas “INXXX”

El IED SEL 387E tiene pre-configurado los dispositivos lógicos mostrados en la figura 154:

| Logical Device | Description |
|----------------|--|
| ANN | Annunciator elements—alarms, status values |
| CFG | Configuration elements—datasets and report control blocks |
| CON | Control elements—Remote bits |
| MET | Metering or Measurement elements—currents, voltages, power, etc. |
| PRO | Protection elements—protection functions and breaker control |

FIGURA 154: DISPOSITIVOS LÓGICOS

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 387E

El dispositivo lógico ANN es el que está asociado con elementos como las entradas y salidas, por lo que en este encontraremos el nodo lógico con la información que necesitamos.

Dentro del dispositivo lógico ANN encontraremos los nodos lógicos IN1GGIO1 e IN2GGIO2 correspondientes a las entradas, y los nodos lógicos OUT1GGIO3 OUT1GGIO4 correspondientes a las salidas. Dentro de cada uno de los nodos lógicos encontraremos los datos que necesitaremos para poder monitorear los estados de los seccionadores e interruptores, tal como se muestra en la figura 155.

Table H.12 Logical Device: ANN (Sheet 1 of 3)

| Logical Node | Status | Relay Word Bit |
|-----------------------|-------------|----------------|
| IN1GGIO1 | Ind01.stVal | IN101 |
| IN1GGIO1 | Ind02.stVal | IN102 |
| IN1GGIO1 | Ind03.stVal | IN103 |
| IN1GGIO1 | Ind04.stVal | IN104 |
| IN1GGIO1 | Ind05.stVal | IN105 |
| IN1GGIO1 | Ind06.stVal | IN106 |
| IN2GGIO2 ^a | Ind01.stVal | IN201 |
| IN2GGIO2 ^a | Ind02.stVal | IN202 |
| IN2GGIO2 ^a | Ind03.stVal | IN203 |
| IN2GGIO2 ^a | Ind04.stVal | IN204 |
| IN2GGIO2 ^a | Ind05.stVal | IN205 |
| IN2GGIO2 ^a | Ind06.stVal | IN206 |
| IN2GGIO2 ^a | Ind07.stVal | IN207 |
| IN2GGIO2 ^a | Ind08.stVal | IN208 |

FIGURA 155: NODOS LÓGICOS ANN

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 387E

En el software AcSELeRator Architect se deben editar el DataSet13 de cada uno los IEDs y agregar los datos que necesitamos enviar por GOOSE a los demás IEDs, tal como se muestra en la figura 156.

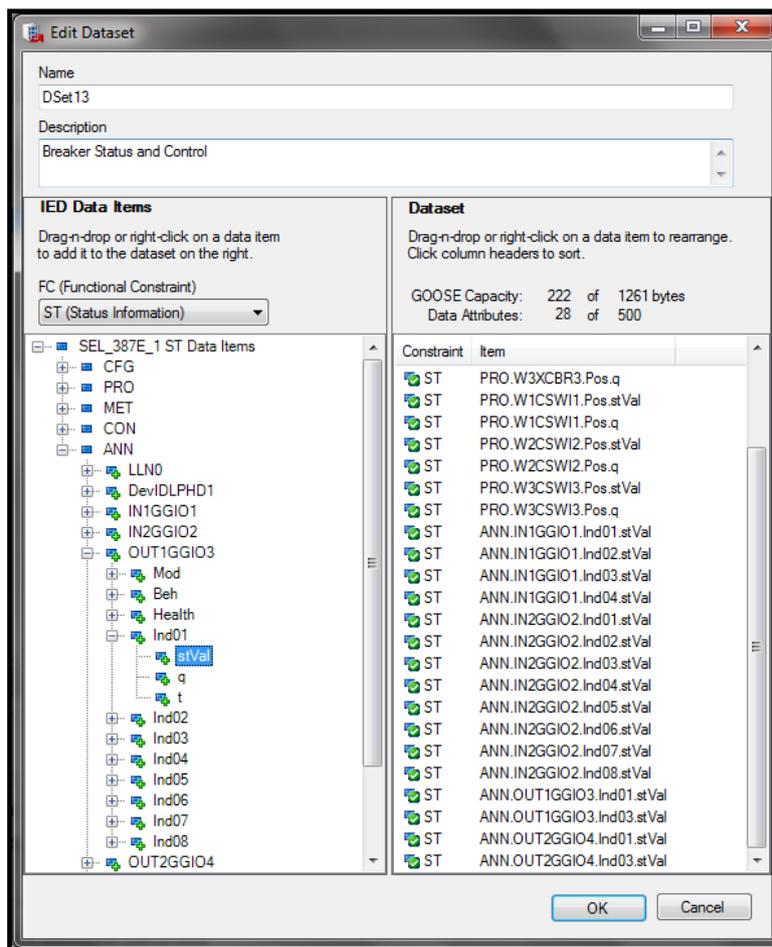


FIGURA 156: PRUEBA2 SEL 5032 – EDICIÓN DATASET13 – IED4

FUENTE: LOS AUTORES

En GOOSE Receive tenemos que guardar en las variables de control los datos que queremos que dicho IED pueda recibir (GOOSE Recieve), tal como se muestra en la figura 157, 158 Y 159.

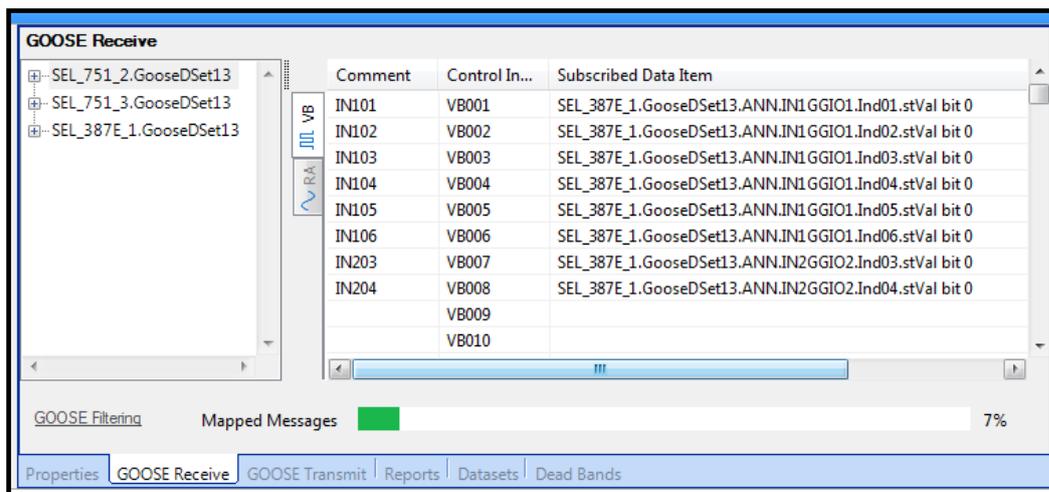


FIGURA 157: PRUEBA2 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE-IED1

FUENTE: LOS AUTORES

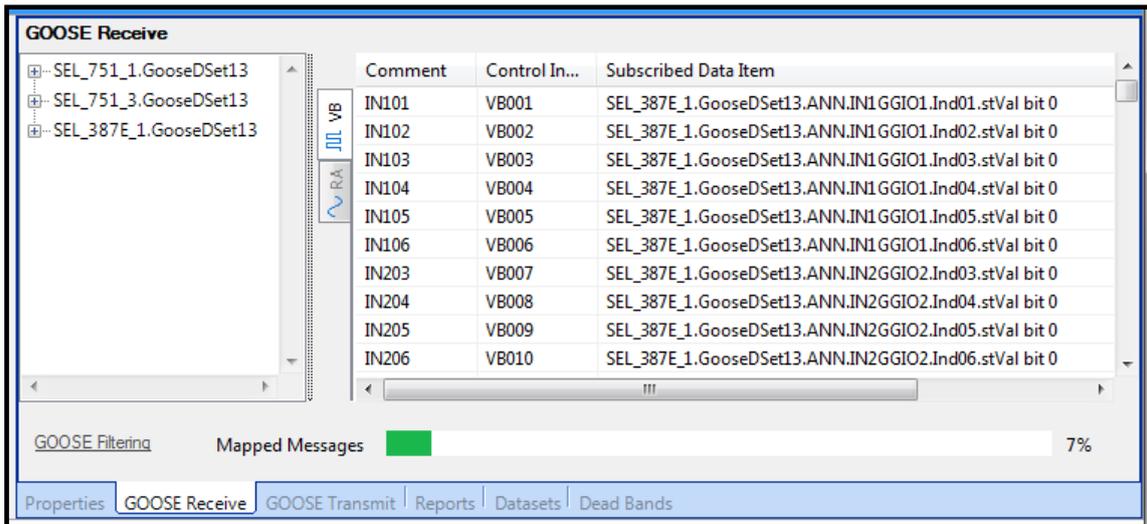


FIGURA 158: PRUEBA2 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE-IED2

FUENTE: LOS AUTORES

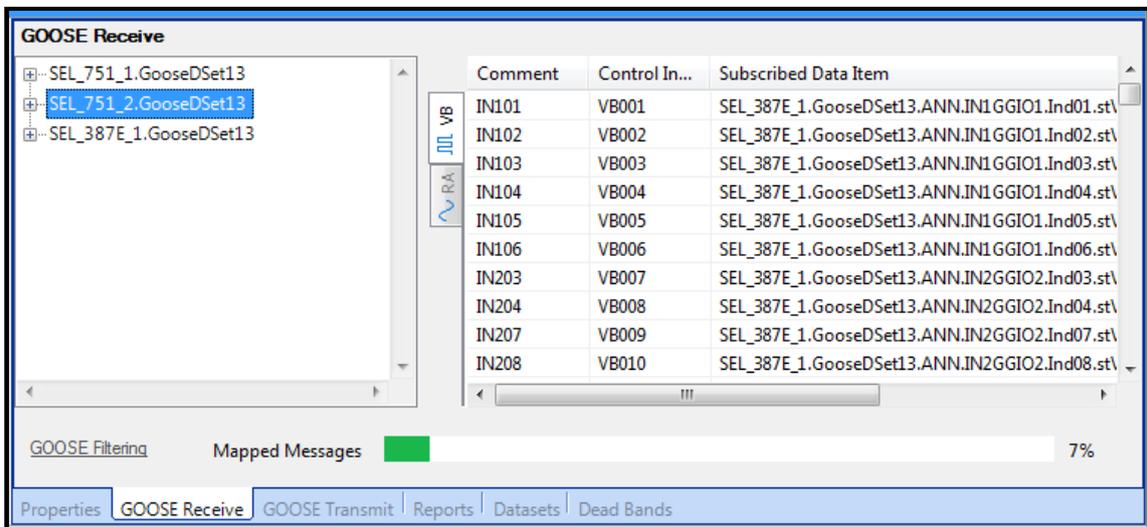


FIGURA 159: PRUEBA2 SEL 5032– GOOSE RECEIVE-IED3

FUENTE: LOS AUTORES

4.5.2.7. Lógica de control SELogic.

Una vez configurados el DataSet13 y cargado los archivos .CID en cada IED, debemos configurar los IEDs con su respectiva lógica de control.

En esta lógica utilizaremos las variables asignadas a cada IED, que podían recibir por GOOSE (GOOSE Recieve), tal como se muestra en la figura 160, 161, 162 y 163.

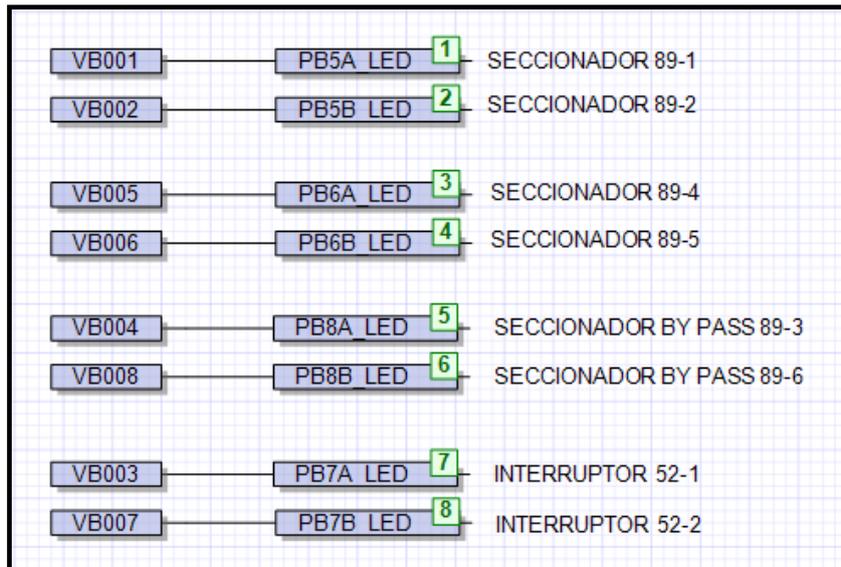


FIGURA 160: PRUEBA2 SEL 5030 – LÓGICA IED1

FUENTE: LOS AUTORES

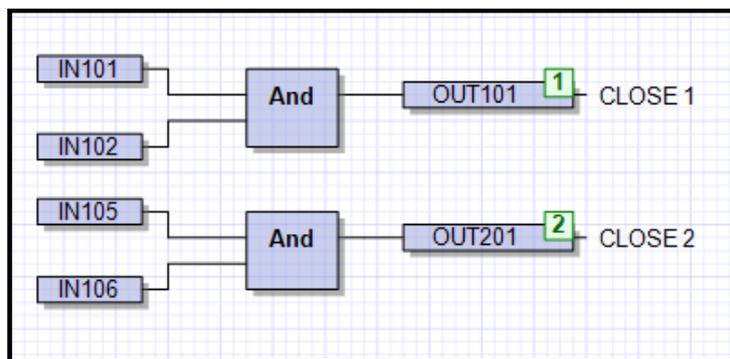


FIGURA 161: PRUEBA2 SEL 5030 – LÓGICA IED4

FUENTE: LOS AUTORES

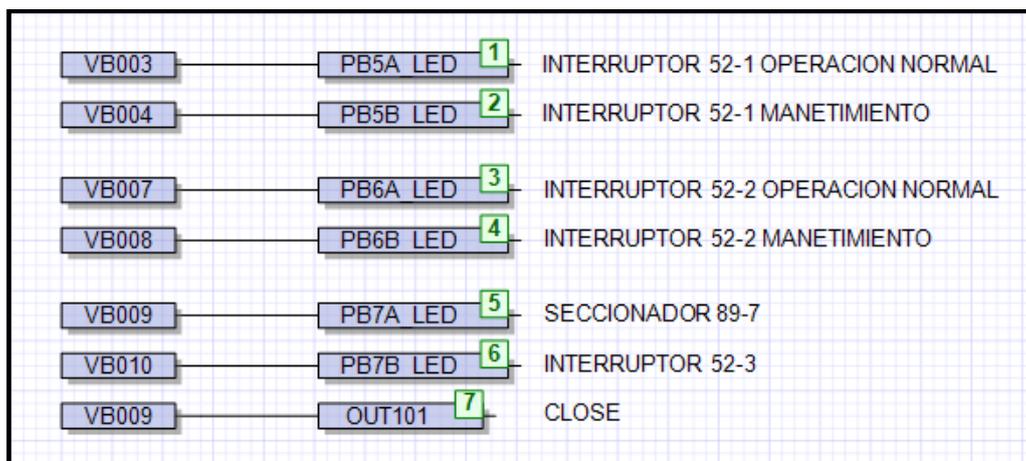


FIGURA 162: PRUEBA2 SEL 5030– LÓGICA IED2

FUENTE: LOS AUTORES

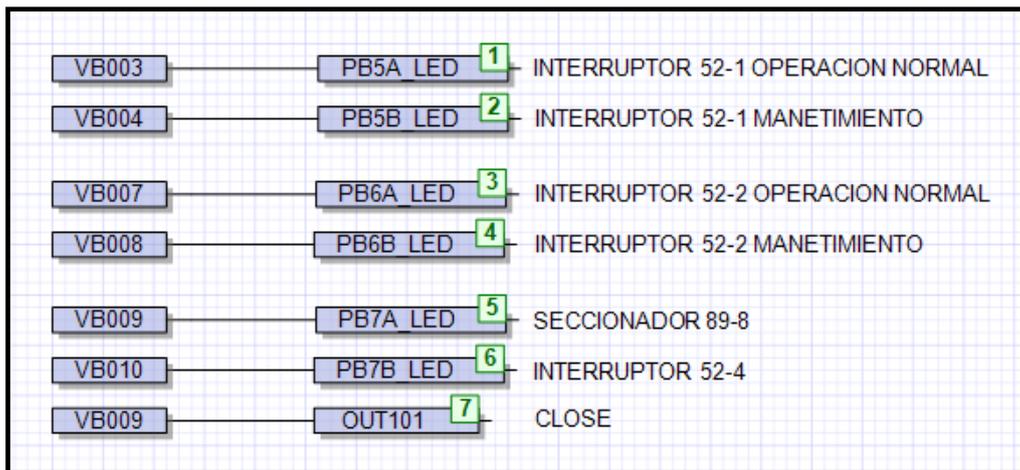


FIGURA 163: PRUEBA2 SEL 5030 – LÓGICA IED3

FUENTE: LOS AUTORES

4.5.2.8. Conclusiones – Prueba #2

- La configuración del DataSet con los datos a enviar se lo realiza en el IED 387E, debido a que este equipo se está utilizando como concentrador de las señales en la subestación; los datos enviados se tendrán que asignar a los bits virtuales de todos los IEDs 751 de la subestación; es decir, todos los IEDs conectados a la red LAN tienen conocimiento de los estados de los equipos de la subestación, aunque físicamente todas las señales estén cableadas a un único IED.
- Podemos verificar que todos los IEDs previamente configurados y conectados a la red LAN, pueden enviar y recibir los mensajes GOOSE; utilizando los bits virtuales como estados en la lógica de control de cada IED, comprobándolos por medio de sus leds auxiliares.
- Al querer adquirir datos relacionados con los estados de las entradas y salidas, debemos seleccionar el dispositivo lógico correcto; sin esto será imposible monitorear dichos estados.

4.5.2.9. Recomendaciones – Prueba #2

- Para configurar el DataSet y asignar los datos a los bits virtuales que recibirán los IEDs se recomienda revisar la sección 4.4.3 “Creación y edición de DataSet” y 4.4.7. “GOOSE Recieve” de este manual.
- Utilizar el comando PING para comprobar la comunicación entre los diferentes IEDs conectados en la red LAN.
- Revisar el Apéndice H del catálogo del Relé SEL 387E para tener mayor información sobre los diferentes dispositivos lógicos y nodos lógicos pre-configurados en el equipo.
- Plantear un nuevo escenario aplicando una lógica de bloqueo para las maniobras indeseadas.
- Se recomienda revisar la sección 4.2.3 “Verificación de la configuración de los IEDs” de este manual, antes de aplicar tensión a las entradas de los IEDs.

4.5.3. Prueba #3 – Esquema de protección de barra simple.

4.5.3.1. Objetivo general

- Analizar la metodología de protección convencional con respecto a la metodología de protección aplicando mensajería GOOSE

4.5.3.2. Objetivos específicos

- Demostrar que cada uno de los IEDs tienen conocimiento de los estados de las funciones de sobrecorriente dentro del esquema de protección de barra simple.
- Configurar los DataSets y los bits virtuales con los datos que vamos a enviar por GOOSE.
- Diseño de un esquema de protección de barra con los IEDs de sobrecorriente.

4.5.3.3. Descripción y funcionamiento.

En esta prueba se utilizará una configuración de barra simple, tal como se muestra en la figura 164, con los siguientes escenarios:

- **Esquema de protección de barras con relés de sobrecorriente temporizados.** La coordinación de los relés se la realiza de tal manera que los alimentadores de salidas sean las protecciones principales, mientras que la del alimentador de entrada sea la de respaldo.
- **Esquema de protección de barras con relés de sobrecorriente con interbloqueo.** Para mejorar continuamente el rendimiento y la fiabilidad utilizando GOOSE bajo el estándar bien probado de IEC61850 mediante el uso de técnicas de lógica programable.

4.5.3.4. Materiales y equipos.

En esta práctica utilizaremos los siguientes equipos y materiales:

- IED SEL 751 (3U)
- IED SEL 387E (1U)
- SWITCH DE COMUNICACIÓN (1U)
- PATCH CORD (5U)
- LAPTOP (1U)
- MODULO DIDÁCTICO DE PROTECCIONES DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA
- CARGA DE PRUEBA

4.5.3.5. Desarrollo.

4.5.3.5.1. Esquema de protección de barra convencional.

En este escenario tendremos el siguiente comportamiento:

Falla en uno de los alimentadores: Solo se abrirá la protección de dicho alimentador, garantizando el suministro en los otros.

Falla en la barra: Se abrirá la protección del alimentador principal (protección de respaldo) ya que será el único que verá la corriente de cortocircuito. Al despejar la falla, la barra quedará completamente aislada.

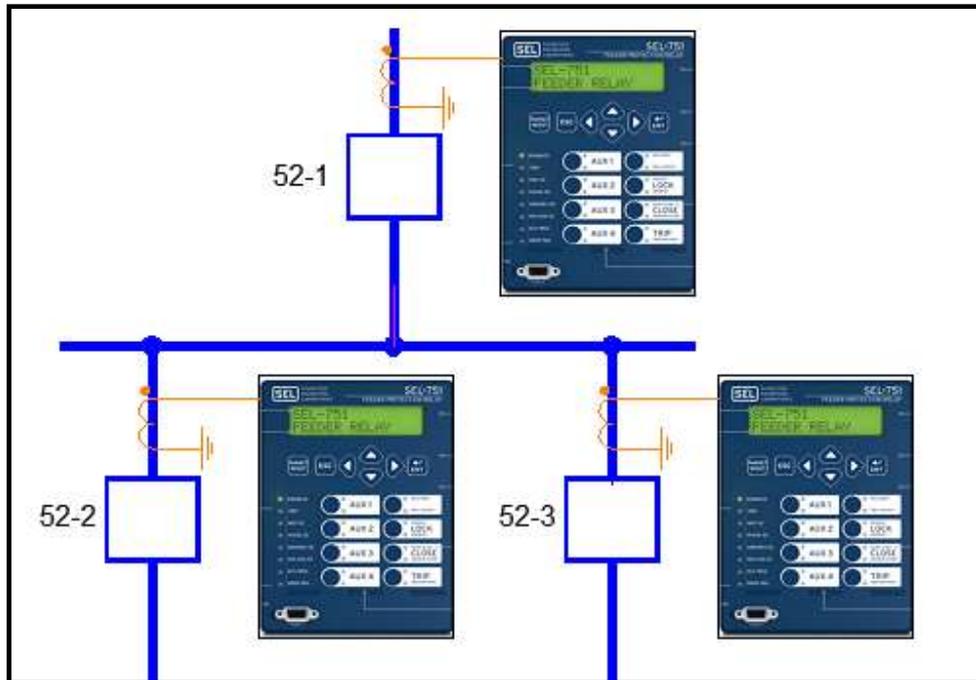


FIGURA 164: PRUEBA3 – CONFIGURACIÓN BARRA SIMPLE

FUENTE: LOS AUTORES

| Table 4.18 Equations Associated With IEC Curves | | | |
|---|---|--|-------------|
| Curve Type | Operating Time | Reset Time | Figure |
| C1 (Standard Inverse) | $t_p = TD \cdot \left(\frac{0.14}{M^{0.02} - 1} \right)$ | $t_r = TD \cdot \left(\frac{13.5}{1 - M^2} \right)$ | Figure 4.15 |
| C2 (Very Inverse) | $t_p = TD \cdot \left(\frac{13.5}{M - 1} \right)$ | $t_r = TD \cdot \left(\frac{47.3}{1 - M^2} \right)$ | Figure 4.16 |
| C3 (Extremely Inverse) | $t_p = TD \cdot \left(\frac{80}{M^2 - 1} \right)$ | $t_r = TD \cdot \left(\frac{80}{1 - M^2} \right)$ | Figure 4.17 |
| C4 (Long-Time Inverse) | $t_p = TD \cdot \left(\frac{120}{M - 1} \right)$ | $t_r = TD \cdot \left(\frac{120}{1 - M} \right)$ | Figure 4.18 |
| C5 (Short-Time Inverse) | $t_p = TD \cdot \left(\frac{0.05}{M^{0.04} - 1} \right)$ | $t_r = TD \cdot \left(\frac{4.85}{1 - M^2} \right)$ | Figure 4.19 |

where:
 t_p = operating time in seconds (see Note on page 4.22)
 t_r = electromechanical induction—disk emulation reset time in seconds (if you select electromechanical reset setting)
 TD = time-dial setting
 M = applied multiples of pickup current [for operating time (t_p), $M > 1$; for reset time (t_r), $M \leq 1$]

FIGURA 165: PRUEBA3 - ECUACIONES DE TIEMPO DE DISPAROS

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

Para poder dibujar la curva de la protección de sobrecorriente y poder estimar los tiempos de disparo de esta protección, es necesario emplear la ecuación de tiempos de operación; la cual varía según el tipo de curva, tal como se muestra en la figura 165.

El valor de TD (time DIAL) para las curvas IEC, puede tener un rango entre 0.05 y 1. El valor de M es el múltiplo del valor ajustado en el relé, y se lo puede definir como el cociente entre la corriente que va a interpretar el relé cuando se produce el incremento o sobrecorriente y la intensidad ajustada en los parámetros de configuración del relé, tal como se muestra en la figura 166.

$$\text{Múltiplo del ajuste} = M = \frac{I \text{ de sobrecorriente}}{I \text{ de ajuste del relé}}$$

ECUACIÓN 1: MÚLTIPLO DEL AJUSTE.

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

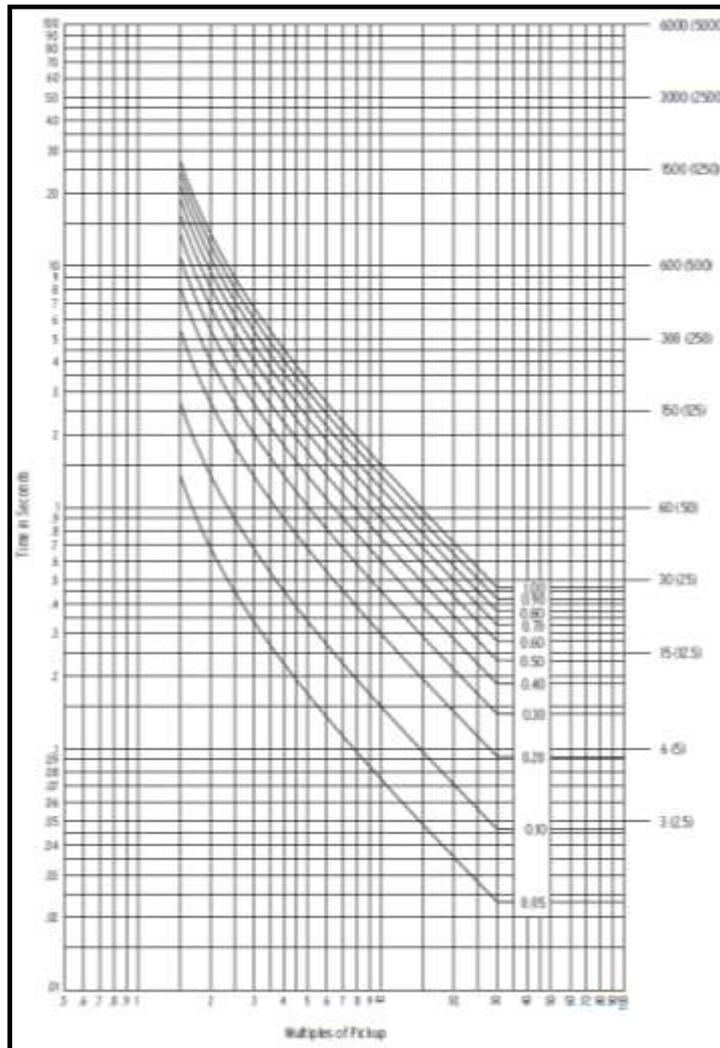


FIGURA 166: PRUEBA3 - IEC CLASS B CURVE (VERY INVERSE) C2

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

Datos de la carga alimentador:

- Tipo de carga: Resistiva variable
- $I_{max} = 2.5A$
- $V = 250V_{ac}$
- $R = 100\Omega$ p/fase

Para nuestra prueba utilizaremos los valores de la tabla12:

| | VL-N(V) | R(Ω) | % de carga | I(A) |
|---|---------|---------------|------------|--------------------|
| 1 | 120V | 100 Ω | 100% | 1.2 ^a |
| 2 | 120V | 80 Ω | 80% | 1.5 ^a |
| 3 | 120V | 70 Ω | 70% | 1.714 ^a |
| 4 | 120V | 60 Ω | 60% | 2 ^a |
| 5 | 120V | 50 Ω | 50% | 2.4 ^a |

TABLA12: DATOS DE LA CARGA DE PRUEBA

FUENTE: LOS AUTORES

4.5.3.5.1.1. Ajustes de los IEDs de sobrecorriente temporizados.

Es muy importante mencionar que para seleccionar el valor de corriente de ajuste de los IEDs SEL, se debe escoger la máxima intensidad de las tres fases.

- 50P1: Maximum Phase Overcurrent
- 51P1: Maximum Phase TOC

Los ajustes a cargar en los IEDs son los que se muestran en la tabla 13

| | | IED1 | IED2 | IED3 |
|--------|-------|------|------|------|
| PICKUP | 50P1P | 2.20 | 2.00 | 2.00 |
| T DIAL | 50P1D | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| PICKUP | 51P1P | 1.5 | 1.3 | 1.3 |
| CURVE | 51P1C | C2 | C2 | C2 |
| T DIAL | 51P1D | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

TABLA13: AJUSTES DE PARÁMETROS DE SOBRECORRIENTE

FUENTE: LOS AUTORES

4.5.3.5.1.2. Curvas de coordinación de protecciones.

La figura 147 muestra la curva de coordinación de protecciones; mientras que la tabla14, los tiempos de disparo de la curva C2

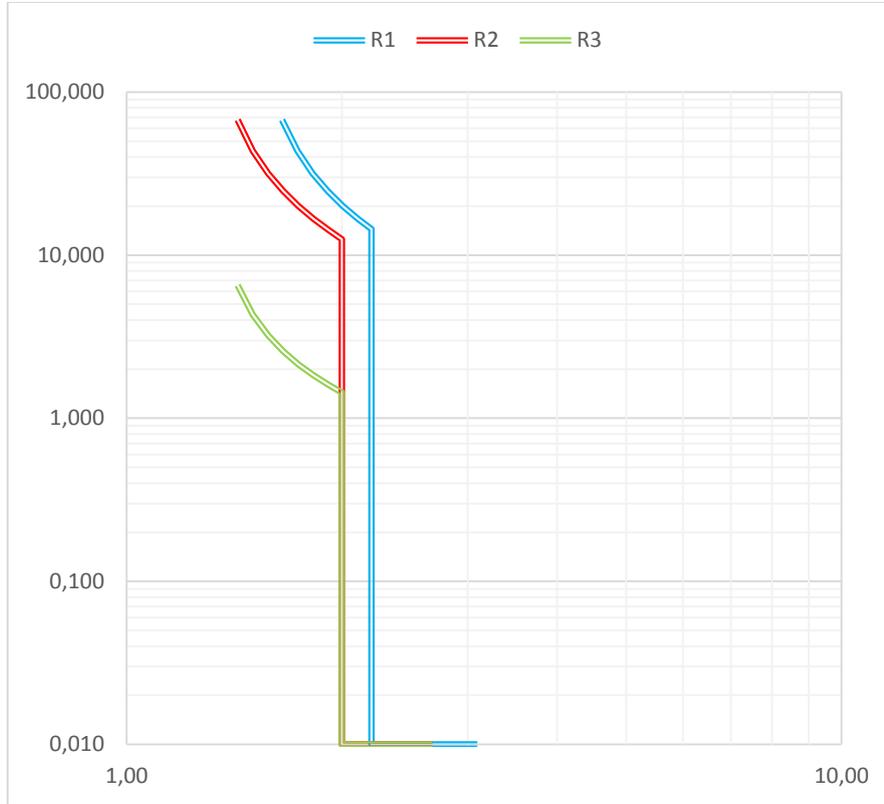


FIGURA 167: PRUEBA3 – COORDINACIÓN DE CURVAS C2

FUENTE: LOS AUTORES

| IED 1 - ALIMENTADOR ENTRADA | | | 0.500 | IED 2 - ALIMENTADOR DE SALIDA 1 | | | 0.500 | IED 3 - ALIMENTADOR DE SALIDA 2 | | | 0.500 |
|-----------------------------|-------|--|--------|---------------------------------|-------|--|--------|---------------------------------|-------|--|--------|
| | | | TIEMPO | | | | TIEMPO | | | | TIEMPO |
| I (A) | m | | R1 | I (A) | m | | R2 | I (A) | m | | R3 |
| 1.65 | 1.100 | | 67.500 | 1.43 | 1.100 | | 67.500 | 1.43 | 1.100 | | 6.545 |
| 1.73 | 1.155 | | 43.548 | 1.50 | 1.155 | | 43.548 | 1.50 | 1.155 | | 4.325 |
| 1.82 | 1.213 | | 31.727 | 1.58 | 1.213 | | 31.727 | 1.58 | 1.213 | | 3.228 |
| 1.91 | 1.273 | | 24.690 | 1.66 | 1.273 | | 24.690 | 1.66 | 1.273 | | 2.574 |
| 2.01 | 1.337 | | 20.026 | 1.74 | 1.337 | | 20.026 | 1.74 | 1.337 | | 2.139 |
| 2.11 | 1.404 | | 16.712 | 1.83 | 1.404 | | 16.712 | 1.83 | 1.404 | | 1.830 |
| 2.20 | 1.467 | | 14.464 | 1.92 | 1.474 | | 14.232 | 1.92 | 1.474 | | 1.598 |
| 2.20 | 1.467 | | 0.010 | 2.00 | 1.538 | | 11.536 | 2.00 | 1.538 | | 1.438 |
| 2.31 | 1.540 | | 0.010 | 2.00 | 1.538 | | 0.010 | 2.00 | 1.538 | | 0.010 |
| 2.43 | 1.617 | | 0.010 | 2.10 | 1.615 | | 0.010 | 2.10 | 1.615 | | 0.010 |
| 2.55 | 1.698 | | 0.010 | 2.21 | 1.696 | | 0.010 | 2.21 | 1.696 | | 0.010 |
| 2.67 | 1.783 | | 0.010 | 2.32 | 1.781 | | 0.010 | 2.32 | 1.781 | | 0.010 |
| 2.81 | 1.872 | | 0.010 | 2.43 | 1.870 | | 0.010 | 2.43 | 1.870 | | 0.010 |
| 2.95 | 1.965 | | 0.010 | 2.55 | 1.964 | | 0.010 | 2.55 | 1.964 | | 0.010 |
| 3.10 | 2.064 | | 0.010 | 2.68 | 2.062 | | 0.010 | 2.68 | 2.062 | | 0.010 |

TABLA14: PRUEBA3 – TIEMPOS DE DISPARO CURVAS C2

FUENTE: LOS AUTORES

4.5.3.5.2. Esquema de protección de barra con IEC61850-GOOSE

En este escenario utilizaremos los mensajes GOOSE para el intercambio de señales de protección, de tal manera que se determine si el fallo del sistema se encuentra en un alimentador de salida o en la barra.

La implementación del protocolo GOOSE proporciona una eliminación más rápida de fallas; omitiendo una gran cantidad de cables de cobre y minimizando las actividades de trabajo de ingeniería. [27]

4.5.3.5.2.1. Función de sobrecorriente instantánea 50P1P

Falla alimentador de salida 1

En este caso el IED1 (alimentador de entrada) y el IED2 (alimentador de salida 1) serán los únicos que percibirán la corriente de falla. P1TPIOC1 (50P1T) “Level 1 phase instantaneous overcurrent element trip”, tal como se muestra en la figura 168.

El alimentador de entrada está informado del estado de los alimentadores de salida por los mensajes GOOSE enviados cuando ocurre el evento.

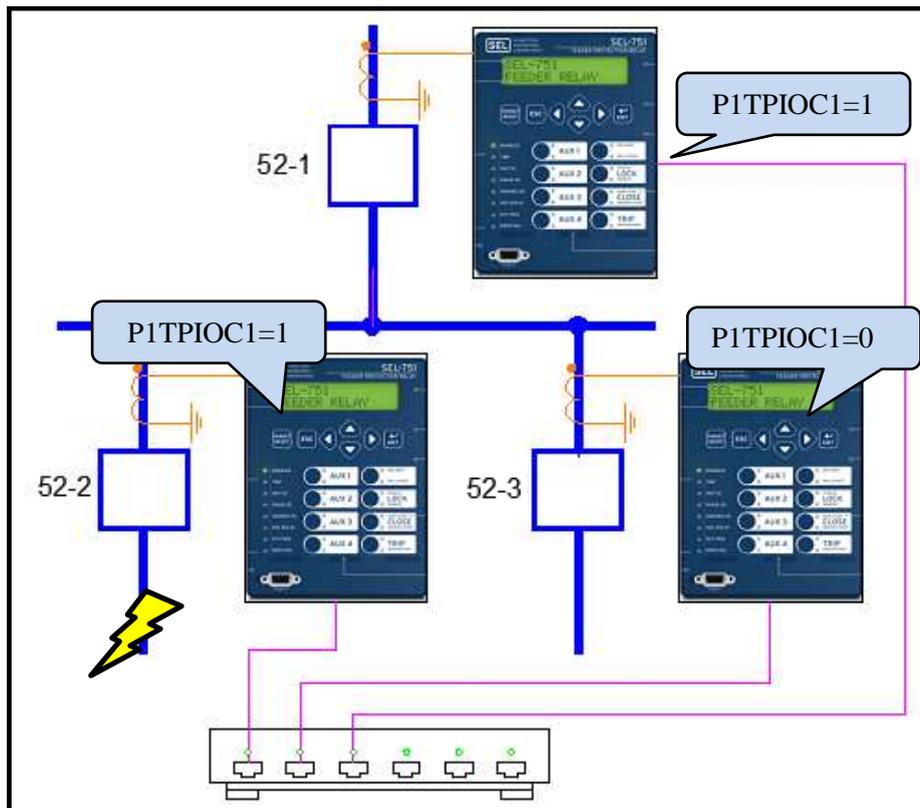


FIGURA 168: PRUEBA3 – FALLA ALIMENTADOR1-A

FUENTE: LOS AUTORES

Entonces tendríamos la siguiente condición:

- IED1 Alimentador entrada - P1TPIOC1=1
- IED2 Alimentador salida1 - P1TPIOC1=1
- IED3 Alimentador salida2 - P1TPIOC1=0

Si se presenta este caso, el IED2 (alimentador de salida 1) bloqueará la operación del IED1 (alimentador de entrada) y de la del IED3 (alimentador de salida 2). Permitiendo que solo opere la protección respectiva del alimentador de salida con falla Escenario 1, tal como se muestra en la figura 169.

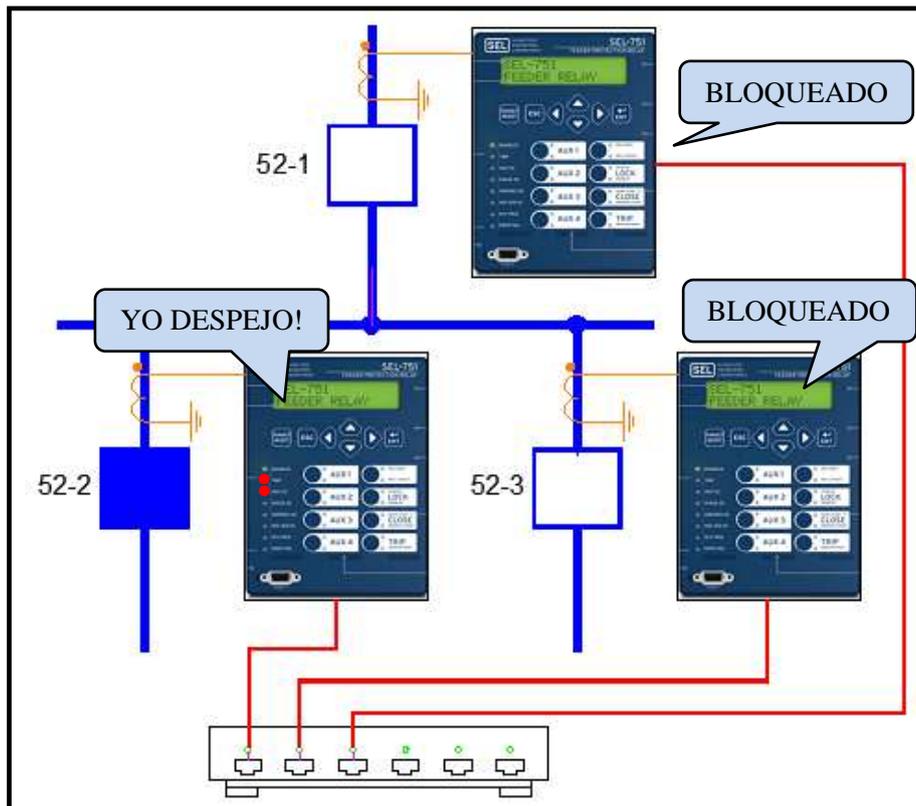


FIGURA 169: PRUEBA3 – DESPEJE DE FALLA ALIMENTADOR1-A

FUENTE: LOS AUTORES

Falla en la barra

En este caso el IED1 (alimentador de entrada) será el único que perciba la corriente de falla. P1TPIOC1 (50P1T) “Level 1 phase instantaneous overcurrent element trip”, tal como se muestra en la figura 170.

Entonces tendríamos la siguiente condición:

- IED1 Alimentador entrada - P1TPIOC1=1
- IED2 Alimentador salida1 - P1TPIOC1=0
- IED3 Alimentador salida2 - P1TPIOC1=0

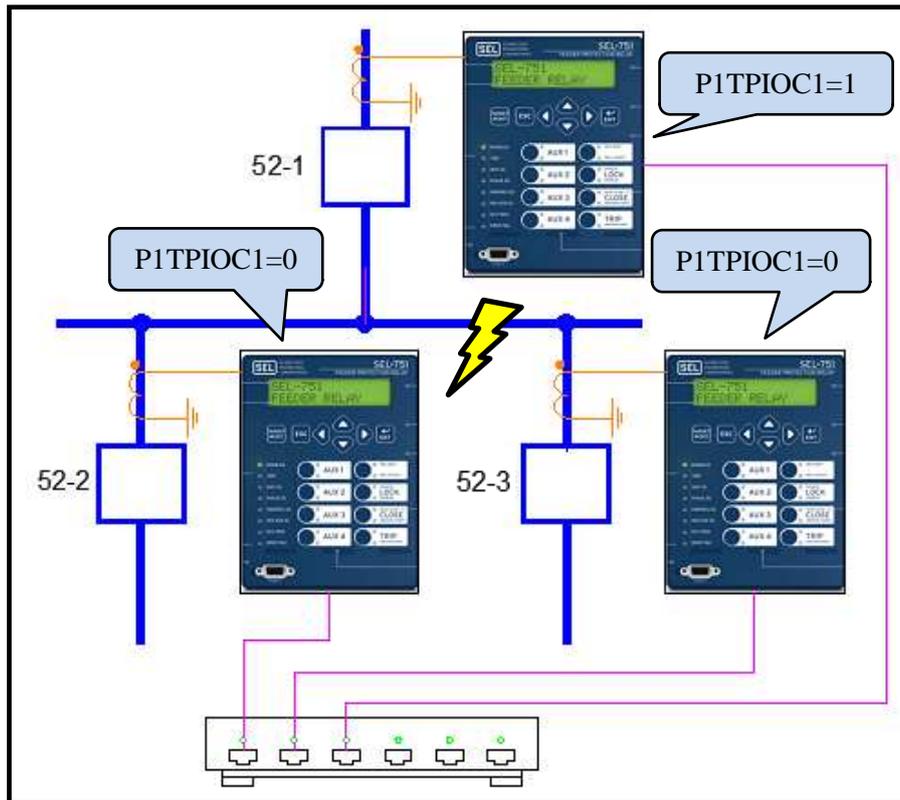


FIGURA 170: PRUEBA3 – FALLA EN LA BARRA-A

FUENTE: LOS AUTORES

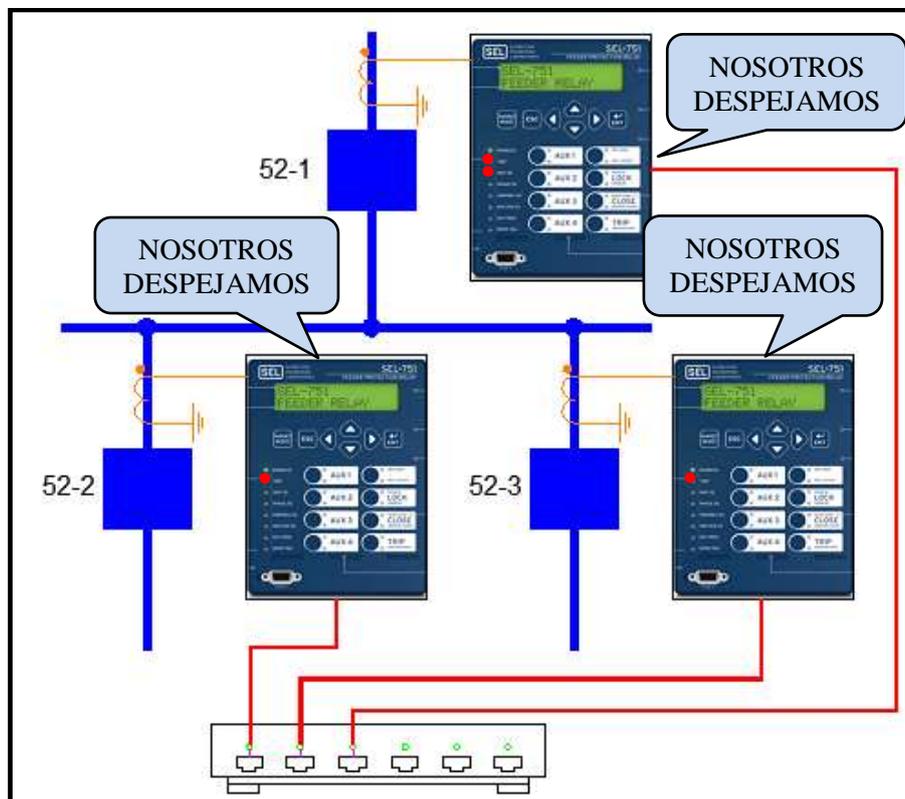


FIGURA 171: PRUEBA3 – DESPEJE DE FALLA EN LA BARRA-1

FUENTE: LOS AUTORES

Si se presenta este caso, el IED1 (alimentador de entrada) mandará a abrir su respectiva protección, adicional enviará una señal mediante GOOSE para que las protecciones de todos los alimentadores de salidas también actúen, dejando aislada la barra de distribución; tal como se muestra en la figura 171.

4.5.3.5.2.2. Función de sobrecorriente temporizada 51P1P

Para la función de sobrecorriente temporizada, utilizaremos mensajería GOOSE para encender los leds de estados del panel frontal para identificar cuando uno de los IEDs sobrepase la corriente de ajuste o Pick up, tal como se muestra en la figura 172.

Cuando un IED supere el valor de la corriente de ajuste, en él se encenderán dos leds de estado, un led amarillo y uno rojo. En los otros dos IEDs se encenderá un led de estado amarillo, tal como se muestra en la figura 173.



FIGURA 172: PRUEBA3 – SOBRECORRIENTE TEMPORIZADA – 51P1P IED2

FUENTE: LOS AUTORES



FIGURA 173: PRUEBA3 – SOBRECORRIENTE TEMPORIZADA – 51P1P IED2 - IED1

FUENTE: LOS AUTORES

- El led rojo nos servirá para identificar cuál de los tres IEDs es el que sobrepasó la corriente de ajuste.
- El led amarillo, será utilizado para visualizar que todos los IEDs tengan conocimiento que uno de ellos superó la corriente de ajuste.

4.5.2.6. Mapeo de datos.

Los IEDs SEL 751 tienen preconfigurados los dispositivos lógicos, mostrados en la figura 174:

| Logical Device | Description |
|----------------|--|
| ANN | Annunciator elements—alarms, status values |
| CFG | Configuration elements—datasets and report control blocks |
| CON | Control elements—Remote bits |
| MET | Metering or Measurement elements—currents, voltages, power, etc. |
| PRO | Protection elements—protection functions and breaker control |

FIGURA 174: DISPOSITIVOS LÓGICOS

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

El dispositivo lógico PRO, está asociado con las funciones de protección; en este encontraremos los nodos lógicos con la información que necesitamos, tal como se muestra en la figura 175.

Dentro del dispositivo lógico PRO hallaremos los nodos lógicos P1TPIOC1 “Sobrecorriente instantánea” y P1TPTOC13 “Sobrecorriente temporizada”, dentro de cada uno de estos nodos lógicos encontraremos los datos que necesitaremos para poder monitorear los estados de las funciones de protección, tal como se muestra en la figura 176.

| | | | |
|-----------|----------------|---------|--|
| P1TPIOC1 | Op.general | 50P1T | Level 1 phase instantaneous overcurrent element trip |
| P1TPIOC1 | Str.general | 50P1P | Level 1 phase instantaneous overcurrent element pickup |
| P1TPIOC1 | Str.dirGeneral | unknown | Direction undefined |
| P1TPTOC13 | Op.general | 51P1T | Level 1 maximum phase time-overcurrent element trip |
| P1TPTOC13 | Str.general | 51P1P | Level 1 maximum phase time-overcurrent element pickup |
| P1TPTOC13 | Str.dirGeneral | unknown | Direction unknown due to settings |

FIGURA 175: NODO LÓGICO PRO

FUENTE: MANUAL DE INSTRUCCIONES SEL 751

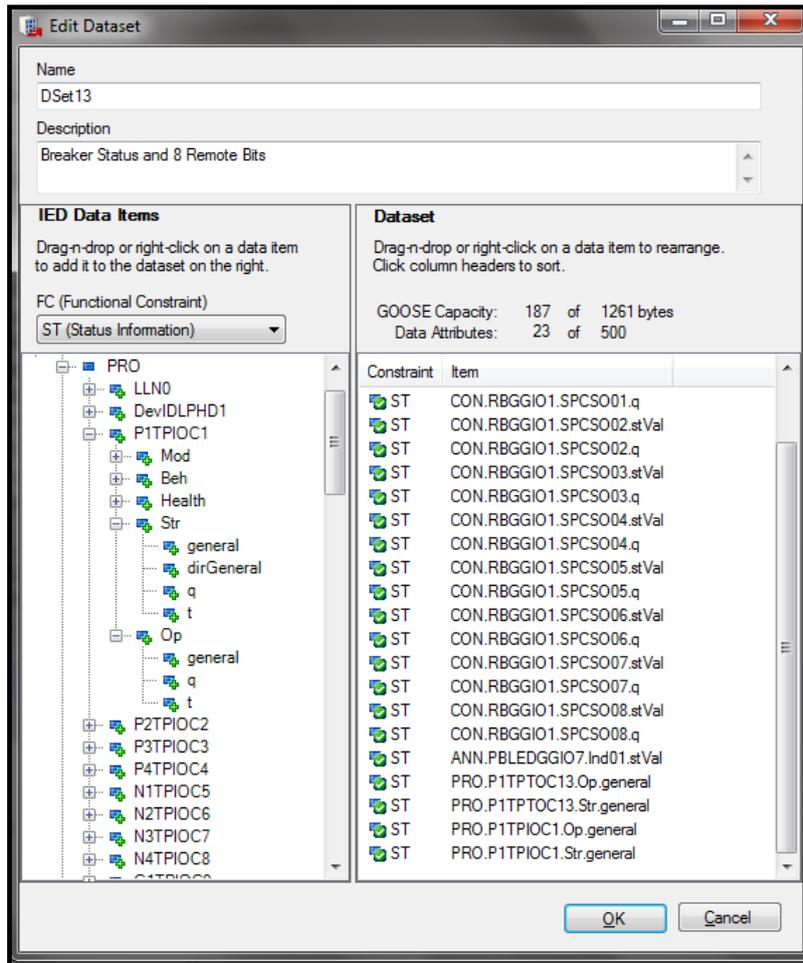


FIGURA 176: PRUEBA3 SEL 5032 – EDICIÓN DATASET13

FUENTE: LOS AUTORES

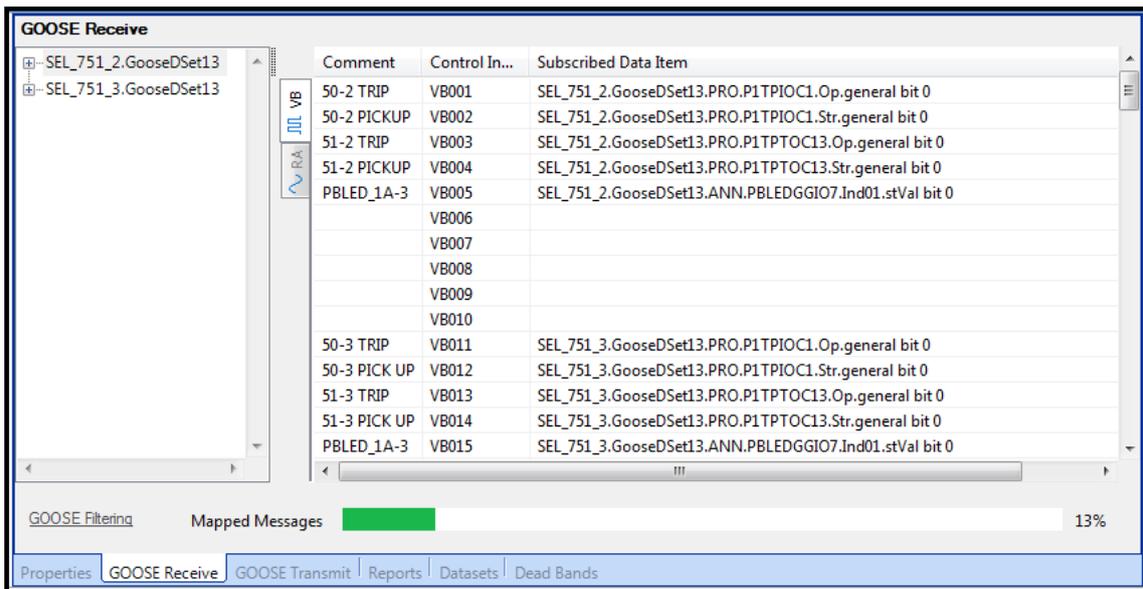


FIGURA 177: PRUEBA3 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE-IED1

FUENTE: LOS AUTORES

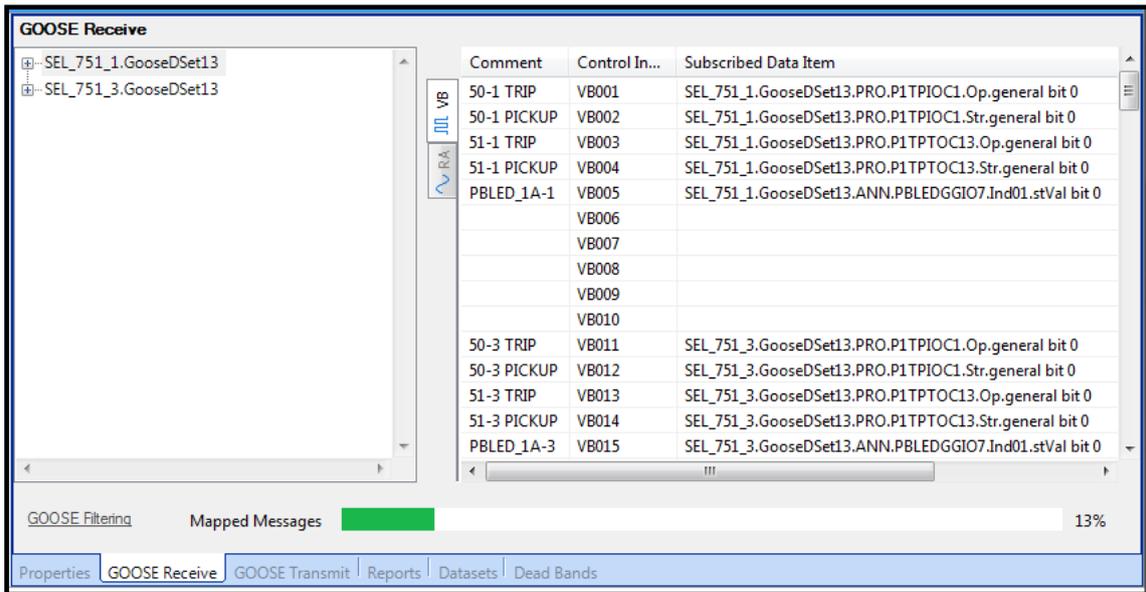


FIGURA 178: PRUEBA3 SEL 5032– GOOSE RECEIVE IED2

FUENTE: LOS AUTORES

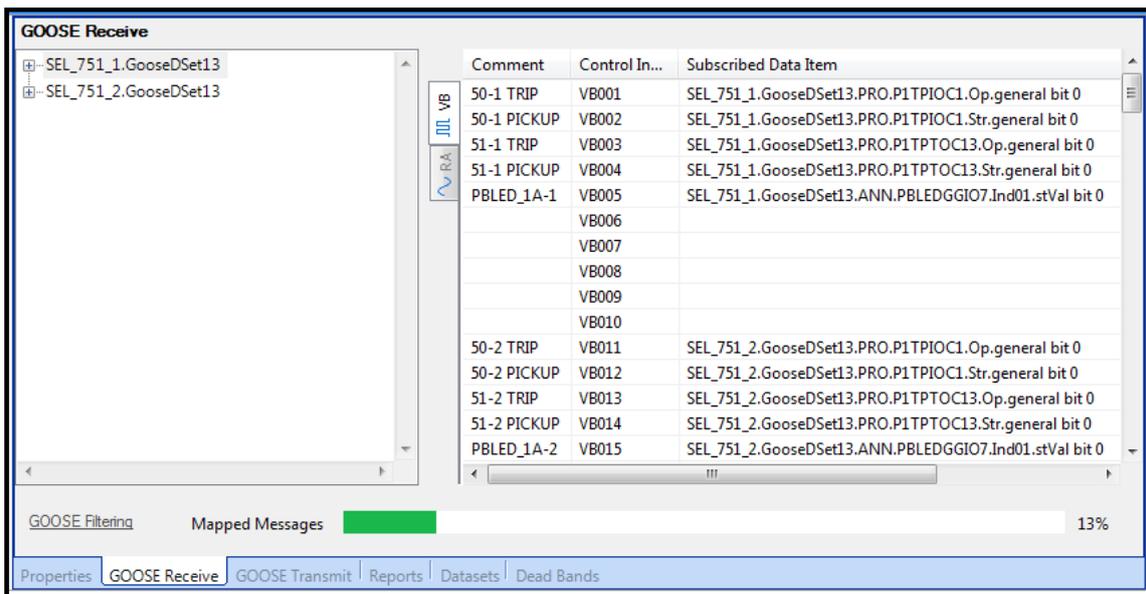


FIGURA 179: PRUEBA3 SEL 5032 – GOOSE RECEIVE IED3

FUENTE: LOS AUTORES

4.5.2.7. Lógica de control SELogic.

Una vez configurados los DataSets y cargado los archivos .CID en cada IED, tal como se muestra en la figura 177, 178 y 179, debemos configurar los IEDs con su respectiva lógica de control.

En esta lógica utilizaremos las variables que le indicamos a cada IED que podían recibir por GOOSE (GOOSE Recieve), tal como se muestra en la figura 180, 181 y 182.

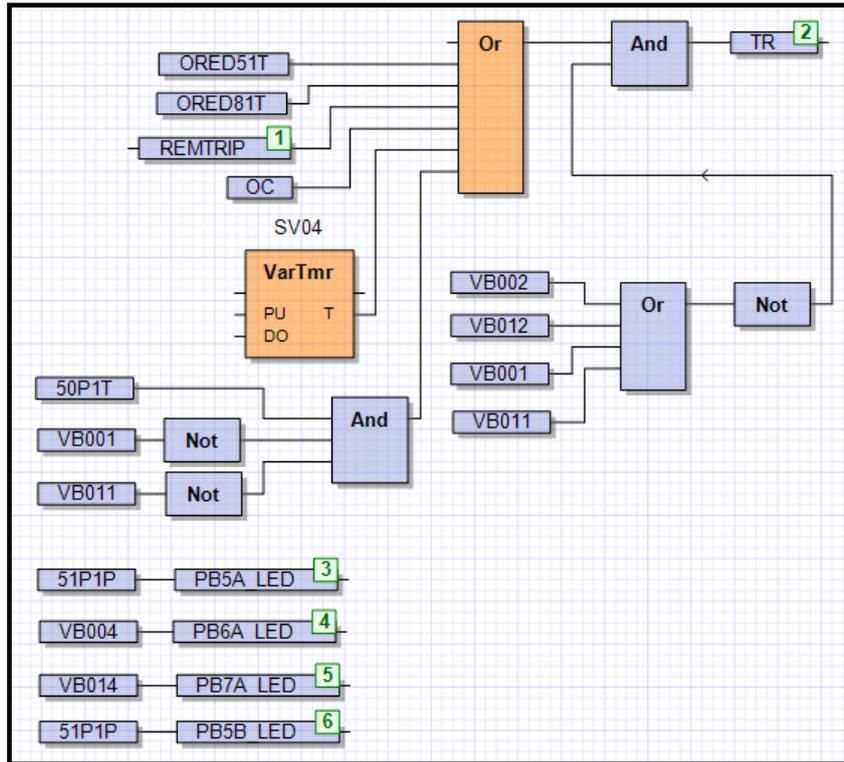


FIGURA 180: PRUEBA3 SEL 5030 – LÓGICA IED1

FUENTE: LOS AUTORES

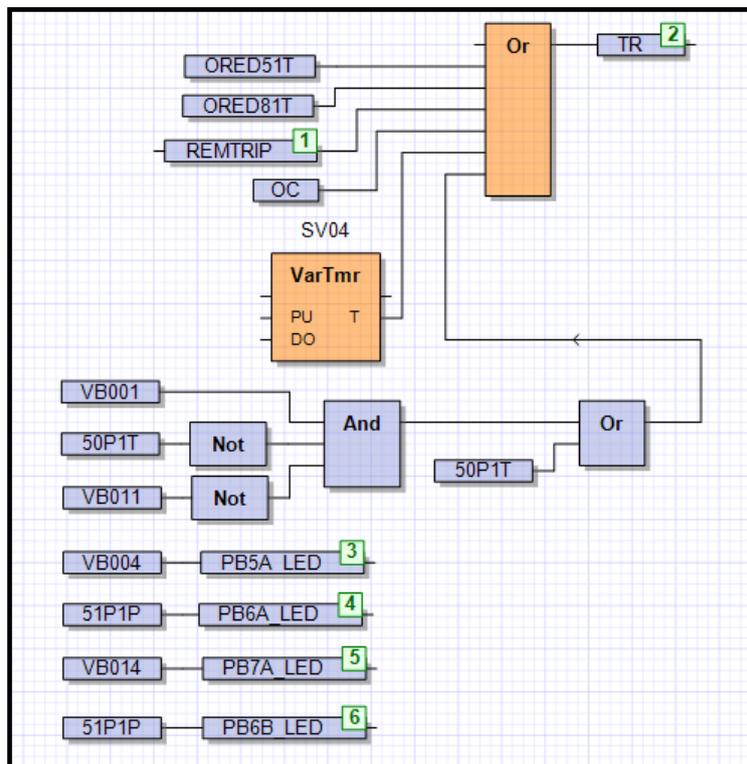


FIGURA 181: PRUEBA3 SEL 5030 – LÓGICA IED2

FUENTE: LOS AUTORES

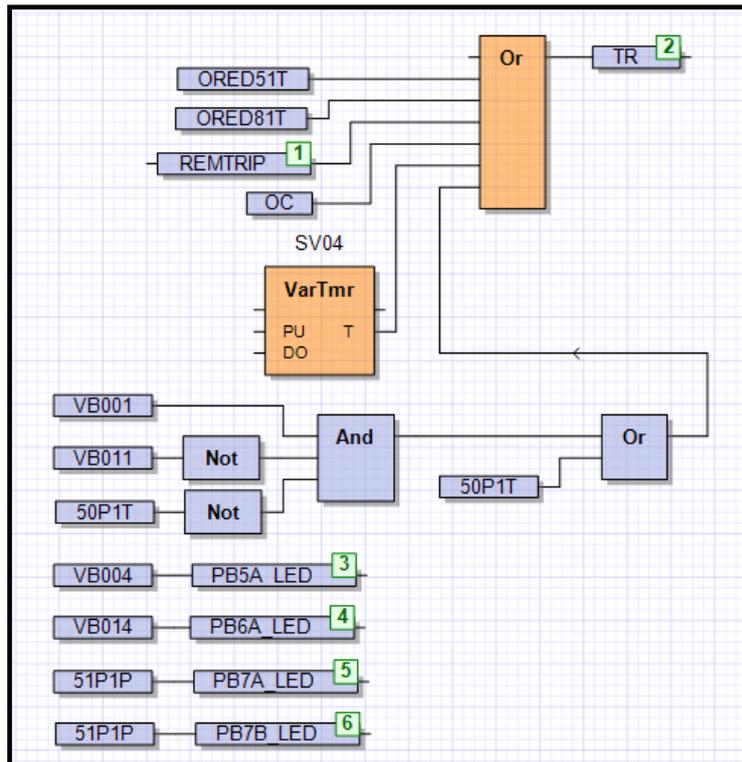


FIGURA 182: PRUEBA3 SEL 5030 – LÓGICA IED3

FUENTE: LOS AUTORES

4.5.1.8. Conclusiones – Prueba #3

- Cuando existe una falla de sobrecorriente instantánea en uno de los alimentadores, la metodología con mayor nivel de selectividad es la que implementa mensajería GOOSE; debido a que se puede plantear una lógica de control con los estados de sobrecorriente, de tal manera que pueda bloquear la operación de las protecciones de respaldo, dejando solo habilitada la operación de la protección correspondiente a la falla. Esto no sucede en un esquema de protección convencional, ya que este depende de las curvas y ajustes realizados.
- Cuando se presenta una falla en un sistema eléctrico, la corriente fluye desde la fuente hasta el lugar donde se produce dicho disturbio; los IEDs ubicados a lo largo de todo este trayecto, detectarán dicha corriente. Con la ayuda de los leds de estado de cada IED, verificamos cuales son los IEDs comprometidos y si han sobrepasado su corriente de ajuste y tomar medidas correctivas antes de que alcance su tiempo de disparo.
- Al querer adquirir datos relacionados con las funciones de sobrecorriente, debemos seleccionar el dispositivo lógico correcto; sin esto será imposible monitorear dichos estados.
- Sin la necesidad de utilizar un IED diseñado para protección de barra; podemos implementar nuestro propio esquema de protección, combinando la mensajería GOOSE con los IEDs de sobrecorriente, garantizando un sistema de protección rápido, seguro y selectivo ante fallas internas y externas de la zona de protección.

4.5.1.9. Recomendaciones – Prueba #3

- Para configurar el DataSet y asignar los datos a los bits virtuales que recibirán los IEDs se recomienda revisar la sección 4.4.3 “Creación y edición de DataSet” y 4.4.7. “GOOSE Recieve” de este manual.
- Utilizar el comando PING para comprobar la comunicación entre los diferentes IEDs conectados en la red LAN.
- Revisar el Apéndice F del catálogo del Relé SEL 751 para tener mayor información sobre sobre los diferentes dispositivos lógicos y nodos lógicos pre-configurados en el equipo.
- Plantear un nuevo escenario aplicando una lógica de bloqueo con otras configuraciones de barras, en donde me permita utilizar la protección direccional de corriente.
- En un caso de la vida real además de usar los bits virtuales como señales de aviso, podemos implementarlos como señales en el sistema SCADA.

5. CONCLUSIONES

- Este trabajo nos permite comprender que sin la necesidad de utilizar un IED diseñado para protección de barra; podemos implementar un esquema de protección, combinando la mensajería GOOSE con los IEDs de sobrecorriente, garantizando un sistema de protección rápido, seguro y selectivo ante fallas internas y estable ante fallas externas de la zona de protección.
- Debido a la creciente demanda de instalaciones de redes de distribución que se presenta en la actualidad. Las empresas distribuidoras se han visto obligadas a garantizar el suministro de un servicio confiable, continuo y de alta calidad. Estos indicadores van de la mano con un correcto ajuste de los parámetros de sus elementos de protección y su pronto accionamiento ante cualquier tipo de falla eléctrica. Por eso, hoy en día es fundamental el estudio de las protecciones eléctricas en la formación de un Ingeniero Eléctrico de Potencia.
- Los relés han evolucionado a través del tiempo, pasando desde ser equipos individuales para cada función de protección hasta los actuales, con múltiples funciones que incorporan protección, medida y control conocidos en la actualidad como IEDs.
- La norma IEC 61850 define un protocolo para toda la subestación, constituye una inversión rentable y de futuro gracias a la facilidad para extender el sistema y la funcionalidad, garantizando un fácil mantenimiento, ya que aumenta la eficiencia del SAS, gracias a flexibilidad que proporciona, dando soporte a cualquier arquitectura física. Es un estándar mundial, brindando la mejor solución para interoperabilidad entre los IEDs de diferentes fabricantes, el modelo de datos orientado a objetos y la comunicación basada en Ethernet.
- En la actualidad, el Ingeniero eléctrico dedicado a las protecciones eléctricas, debe de tener conocimiento en redes de comunicación; esto es una gran limitante en nuestro medio, debido a que el Ingeniero de Potencia no está totalmente capacitado en esta área. El manual fue elaborado para dar una guía base en donde se detallan los procedimientos para aplicar la mensajería GOOSE, desde los procedimientos básicos como identificar y editar una dirección IP, hasta los procedimiento complejos como crear y editar DataSet. Esto con la finalidad de brindar todas las herramientas necesarias para hacer más amigable la implementación del protocolo.
- Con la ayuda del manual, los estudiantes y profesionales de la carrera de Ingeniería Eléctrica tendrán una herramienta de apoyo, con la cual serán capaces de brindar un servicio integral a un mercado que apunta a la automatización e interoperabilidad de equipos.
- Cuando existe una falla de sobrecorriente instantánea en uno de los alimentadores, la metodología con mayor nivel de selectividad es la que implementa mensajería GOOSE; debido a que se puede plantear una lógica de control con los estados de sobrecorriente, de tal manera que pueda bloquear la operación de las protecciones de respaldo, dejando solo habilitada la operación de la protección correspondiente a la falla. Esto no sucede en un esquema de protección convencional, ya que este depende de las curvas y ajustes realizados.

6. RECOMENDACIONES

- Después de haber realizado la implementación de un esquema de protección para barra simple, existe la opción de implementar más esquemas de protecciones más extensos utilizando los otros módulos didácticos como el de Generación y el de Trasmisión, combinando varias funciones de protecciones para poder llevar a cabo un estudio completo de coordinación de protecciones y automatización de subestaciones de un sistema eléctrico de potencia a escala.
- Se recomienda seguir cada uno de los pasos del manual de manera secuencial al momento de implementar la mensajería GOOSE, siempre comprobando la comunicación de los IEDs con el comando PING.
- Implementar otros tipos de topología de red en donde se pueda simular un sistema más robusto ante fallas; además de utilizar los puertos de comunicación Ethernet con conectores de fibra óptica.
- Desarrollar una metodología para comprobar los tiempos de operación de los IEDs, englobando las funciones de protecciones y los tiempos en los que se envían y reciben los mensajes GOOSE.
- Desarrollar una lógica de protección en donde se pueda utilizar la función de protección de corriente direccional, en una configuración de barra doble con alimentaciones independientes.
- Implementar algún sistema para poder medir los tiempos de disparo de los IEDs, es decir el tiempo medido desde que se sobrepasa la corriente de ajuste o pickup hasta mandar la señal de Trip. La implementación de este sistema nos ayudaría a comprobar los ajustes para la coordinación de los IEDs.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Villegas, Subestaciones de Alta Y Extra Alta Tensión, 2003.
- [2] G. Enríquez Harper, Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas.
- [3] J. A. Yebra Morón, Sistemas Eléctricos de Distribución, México, D.F.: Editorial Reverté, 2009.
- [4] RITZ Instrument Transformers, «Transformadores de Medida en Media Tensión,» 2014. [En línea].
- [5] G. Enríquez Harper, Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión, México, D.F.: Editorial Limusa S.A..
- [6] J. C. Romero Escobar, *Diseño de subestaciones eléctricas*, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2014.
- [7] E. Gonzalez Sánchez, «Simulador de Subestaciones 2.0».
- [8] C. Russell Mason, The Art & Science Of Protective Relaying.
- [9] S. Ramírez Castaño, Protección de Sistemas Eléctricos, Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- [10] J. F. Prieto Ordoñez, «Aplicabilidad de la Norma IEC 61850 en Sistemas SCADA en la Red de Transmisión de Colombia,» Universidad de la Salle, Bogota, 2011.
- [11] J. C. Peñaherrera Aguilar, «Automatización de Subestaciones e Integración al Sistema Scada,» Escuela Politecnica Nacional, Quito, 2007.
- [12] D. E. Freire Imbaquingo, «Sistema de Automatización de las E/S de tensión para optimizar los servicios de las Subestaciones de la Corporación Nacional de Electricidad Regional Bolívar.,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2012.
- [13] B. Kasztenny, J. Whatley, E. A. Udren, J. Burger, D. Finney y M. Adamiak, «IEC 61850 - A Practical Application Primer for Protection Engineers,» G.E., 2006.
- [14] AXON GROUP, «61850 PROYECTADO A LA EFICIENCIA,» AXON GROUP, Colombia.
- [15] J. F. Prieto Ordoñez, «Aplicabilidad de la Norma IEC61850 en Sistemas Scada en la Red de Transmisión Eléctrica de Colombia,» Universidad la Salle, Bogota, 2012.
- [16] E. Molina y O. Flórez, «Aplicación del Estándar IEC 61850 en los Sistemas de Protecciones Eléctricas para Subestaciones de Alta Tensión,» *Clepsidra - Universidad*

Autónoma de Colombia, pp. 53 - 59, 2009.

- [17] F. Peter Lindstrom y M. Lopez Acosta, «Aspectos Relevantes para la Configuración de una Red IEC 61850 para su Operación y Mantenimiento,» Fundación Parque Tecnológico Itaipu - Centro de Innovación en Automatización y Control, Paraguay, 2012.
- [18] G. Fuentes E, «IEC 61850 El Nuevo Estándar en Automatización de Subestaciones,» 2005. [En línea].
- [19] M. Benítez Lobato, «Implementación Practica del Protocolo IEC 61850 en Subestaciones Electricas,» Universidad de Sevilla.
- [20] IEC 61850 Communication networks and systems for power utility automation, «IEC61850-6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs,» 2009.
- [21] H. A. Santana, D. A. Lopez Sarmiento y E. Rivas Trujillo, «Redes De Comunicación Y Automatización De Sistemas De Potencia - Un Paso Hacia La Tecnología De Las Redes Inteligentes Smart Grids,» Redes de Ingeniería, 2012.
- [22] D. G. López Chica y C. O. Neira Neira, «Proyecto IEC 61850, redes de comunicación y sistemas en subestaciones eléctricas,» Universidad de Cuenca, 2012.
- [23] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., «ACSELERATOR QuickSet SEL-5030 Software, Instruction Manual,» Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2017.
- [24] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., «"SEL-751 Feeder Protection Relay, Instruction Manual",» U.S.A., Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2017.
- [25] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., «Guia práctico para instalação e utilização do Software SEL-5032 AcSELeRator® Architect,» Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2102.
- [26] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., «"SEL-387E Current Differential and Voltage Protection Relay, Instruction Manual",» U.S.A., Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2016.
- [27] Tsang, Kui Man y Ng, Pang Yiu, «GOOSE Interlock Overcurrent Protection fon 11kv Double-Busbar,» IEEE, 2015.
- [28] J. C. Carreño, D. López y O. Salcedo, «Criterios y consideraciones metodológicas y tecnológicas a tener en cuenta en el diseño e implementación del protocolo IEC 61850 en la automatización y protección de sistemas de potencia eléctrica,» *Redes de Ingeniería - Universidad Distrital "Francisco José de Caldas"*, pp. 23 - 24, 2012.
- [29] R. L. Andrade Sanchez, «Modelación y Analisis de la Protección Diferencial de Barras de Baja Impedancia. Aplicación a la Barra de 69KV de la S/E Machala,» ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, Quito, 2012.

- [30] Elektro Eletricidade e Serviços S.A., Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., «Applying IEC 61850 to Real Life: Modernization Project for 30 Electrical Substations,» Brazil.
- [31] N. Estrada y O. Gómez, «Coordinación de relés de sobrecorriente usando programación lineal,» 2011. [En línea].

ANEXOS

ANEXO A

TABLERO DE SEÑALES

La tabla15, se muestra el listado de materiales empleados en el tablero de señales

| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UD |
|-------------|---|-----------------|-----------|
| 1 | Caja metálica 600x400x200mm | 1 | Ud. |
| 2 | Selectores de dos posiciones 1NO | 8 | Ud. |
| 3 | Luz piloto verde 120Vac | 4 | Ud. |
| 4 | Luz piloto rojo 120Vac | 8 | Ud. |
| 5 | Pulsador doble 1 NA y 1NC + luz piloto 120Vac | 4 | Ud. |
| 6 | Pulsador tipo hongo de emergencia 1NC | 1 | Ud. |
| 7 | Borneras tipo hembra | 40 | Ud. |
| 8 | Fuente de voltaje de 120Vac/24Vdc | 2 | Ud. |
| 9 | Relés de 8 pines 120Vac + base | 6 | Ud. |
| 10 | Relés de 14 pines 120Vac + base | 2 | Ud. |
| 11 | Contacto 9A AC3 bobina 120Vac | 1 | Ud. |
| 12 | Breaker riel din 1P 2A | 2 | Ud. |
| 13 | Repartidor de carga 4 polos 100A | 1 | Ud. |
| 14 | Borneras | 42 | Ud. |
| 15 | Cable CU Flexible #14AWG - THHN | 1 | Rll. |

TABLA15: LISTADO DE MATERIALES – TABLERO DE SEÑALES

FUENTE: LOS AUTORES

La figura 183, se muestra el cableado de los componentes empleados en el tablero de señales.



FIGURA 183: CABLEADO DE SEÑALES

FUENTE: LOS AUTORES

La figura 184, se muestra el montaje de equipos en el plafón del tablero de señales.



FIGURA 184: MONTAJE DE EQUIPOS EN PLAFÓN

FUENTE: LOS AUTORES

La figura 185, se muestra el montaje de equipos en el lateral derecho del tablero de señales.



FIGURA 185: MONTAJE DE EQUIPOS EN TABLEROS

FUENTE: LOS AUTORES

ANEXO B

RESULTADOS DE LA PRUEBA #3

La figura 186, 187, 188, 189, 190 y 191, se muestran los tipos de fallas simuladas en la prueba#3.



FIGURA 186: FALLA EN ALIMENTADOR DE SALIDA 2 – 50P – APLICANDO METODOLOGÍA GOOSE

FUENTE: LOS AUTORES



FIGURA 187: FALLA EN ALIMENTADOR DE SALIDA 2 – 50P – APLICANDO METODOLOGÍA CONVENCIONAL

FUENTE: LOS AUTORES



FIGURA 188: FALLA EN LA BARRA – 50P – APLICANDO METODOLOGÍA GOOSE

FUENTE: LOS AUTORES



FIGURA 189: FALLA EN LA BARRA – 50P – APLICANDO METODOLOGÍA CONVENCIONAL

FUENTE: LOS AUTORES



FIGURA 190: FALLA EN ALIMENTADOR DE SALIDA 2 – 50P Y BREAKER FAIL TRIP IED3 – BFT - APLICANDO METODOLOGÍA CONVENCIONAL

FUENTE: LOS AUTORES



FIGURA 191: FALLA EN ALIMENTADOR DE SALIDA 2 – 50P Y BREAKER FAIL TRIP IED3 – BFT - APLICANDO METODOLOGÍA GOOSE

FUENTE: LOS AUTORES