# ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y PROTOCOLOS PARA PRUEBAS PRE-FAT Y FAT DE TABLEROS DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y REGISTRO PARA LA SUBESTACIÓN PUERTO NAPO.

JONATAN ALEXANDER FLORIAN GARCÍA
SEBASTIAN CAMILO BERNAL GÓMEZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ D.C.
2018

# ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y PROTOCOLOS PARA PRUEBAS PRE-FAT Y FAT DE TABLEROS DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y REGISTRO PARA LA SUBESTACIÓN PUERTO NAPO.

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO

MODALIDAD: PASANTÍA

PRESENTADO POR:
JONATAN ALEXANDER FLORIAN GARCÍA
SEBASTIAN CAMILO BERNAL GÓMEZ

DIRECTOR INTERNO
I.E. OSCAR DAVID FLORES CEDIEL
Msc. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DIRECTOR EXTERNO
I.E. ERNESTO PINZÓN CABRERA
INGENIERO ELECTRICISTA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ D.C.
2018

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial a la empresa E.P.C. INGENIERÍA S.A.S por permitirnos desarrollar habilidades y aptitudes dentro de su grupo de trabajo y en el transcurso de la pasantía, contribuyendo con nuestro crecimiento profesional y personal.

Al ingeniero Ernesto Pinzón Cabrera por su colaboración, dedicación, interés y enseñanza para el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero y docente Oscar David Florez Cediel por su apoyo, orientación e interés en el desarrollo de la pasantía.

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por brindarnos una formación de calidad, que contribuyo a nuestro crecimiento profesional.

A todas las personas que de manera directa o indirecta contribuyeron en el desarrollo de este proyecto aportando sus observaciones y recomendaciones.

A nuestras familias por la comprensión y apoyo incondicional durante nuestro proceso de aprendizaje.

# TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS ..... III
LISTA DE ILUSTRACIONES ..... VII
LISTA DE TABLAS ..... VIII
LISTA DE ANEXOS ..... IX
ABREVIATURAS ..... X
GLOSARIO DE TÉRMINOS ..... 1
INTRODUCCIÓN ..... 6
1. JUSTIFICACIÓN ..... 8
2. OBJETIVOS ..... 9
General ..... 9
Específicos ..... 9
3. DESARROLLO DEL PROYECTO ..... 10
3.1. ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN PUERTO NAPO ..... 10
3.1.1. Sistema de Automatización de Subestaciones (SAS) ..... 12
3.2. PRUEBAS PRE-FAT TABLEROS DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDIDA, MARSHALLING KIOSK Y DE AGRUPAMIENTO (CT'S Y PT'S) ..... 15
3.3. PRUEBAS FAT TABLEROS DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDIDA, MARSHALLING KIOSK Y DE AGRUPAMIENTO (CT'S Y PT'S) ..... 18
3.4. NORMATIVA ..... 23
3.4.1. Normativa Sistema de Control y Protección ..... 23
3.4.2. Normativa Sistema de Medida ..... 24
3.4.3. Normativa Sistema de Comunicaciones ..... 25
3.4.4. Normativa Gabinetes / Tableros ..... 25
3.4.5. EJEMPLO: Requerimientos constructivos de tableros de control y protección - Empresa de Energía de Bogotá (EEB) ..... 27
3.4.6. EJEMPLO: Especificaciones constructivas aplicables a tableros – Consejo Federal de Energía Eléctrica (CFEE / Argentina) ..... 31
3.4.7. EJEMPLO: Especificaciones constructivas contempladas por EMSA y EPM en tableros de control y protección ..... 32
3.4.8. Requisitos constructivos para tableros del sistema SAS – CELEC EP TRANSELECTRIC ..... 33

3.5. ANÁLISIS DEL DIAGRAMA UNIFILAR ..... 37
3.5.1. Análisis configuración y disposición de tableros ..... 37
3.5.2. Análisis de protecciones ..... 38
3.5.3. Análisis ubicación CT's y PT's ..... 39
3.6. ANÁLISIS DE DIAGRAMAS DE PRINCIPIO ..... 40
3.6.1. Alimentaciones AC ..... 40
3.6.2. Alimentaciones DC ..... 41
3.6.3. Análisis niveles de control ..... 41
3.6.4. Secuencias de Mando ..... 43
3.7. ANÁLISIS DE DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS ..... 45
3.7.1. Análisis de simbología utilizada en el proyecto ..... 46
3.7.2. Conexión circuitos de servicios auxiliares ..... 47
3.7.3. Tableros de Control y Protección ..... 48
3.7.4. Tablero de Medida ..... 50
3.7.5. Tablero de Supervisión y Control ..... 51
3.7.6. Tablero de Comunicaciones ..... 51
3.7.7. Tableros Marshalling Kiosk ..... 51
3.7.8. Tableros de agrupamiento de señales ..... 52
3.8. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES ..... 53
3.8.1. Arquitectura de comunicaciones ..... 53
3.8.2. Señales de comunicaciones ..... 54
3.8.3. Redes existentes ..... 55
3.8.4. Tipos de conectores para equipos ..... 58
3.9. ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS METALMECÁNICAS ..... 59
3.9.1. Tableros de agrupamiento de señales ..... 59
3.9.2. Tableros Marshalling Kiosk ..... 61
3.9.3. Tableros de tipo interior (control y protección, medida, supervisión y control y comunicaciones) ..... 63
3.10. GRADOS DE PROTECCIÓN DE LOS TABLEROS ..... 65
3.11. PROCEDIMIENTOS ..... 67
3.11.1. Alcance ..... 67
3.11.2. Análisis de estándares de aceptación exigidos ..... 67

3.11.3. Selección de normatividad ..... 68
3.11.4. Selección de elementos, estructuras y equipos a probar ..... 70
3.11.5. Selección de pruebas a desarrollar ..... 71
3.11.6. Selección de equipos a utilizar en las pruebas ..... 72
3.11.7. Clasificación de pruebas ..... 72
3.12. ESTRUCTURA DE LOS PROCEDIMIENTOS ..... 73
3.13. PROTOCOLOS ..... 76
3.14. ASPECTOS CLAVE (SEGURIDAD, EQUIPOS, ESTRUCTURA PROTOCOLO) ..... 79
3.14.3. Resultados inspección visual, pruebas mecánicas y eléctricas ..... 80
4. RESULTADOS, ANÁLISIS DE RESULTADOS, ALCANCES E IMPACTOS ..... 82
4.1. RESULTADOS ALCANZADOS ..... 82
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 82
4.3. ALCANCES E IMPACTOS ..... 84
4.3.1. Alcance ..... 84
4.3.2. Impactos ..... 84
5. EVALUACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS ..... 85
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 87
6.1. CONCLUSIONES ..... 87
6.2. RECOMENDACIONES ..... 87
6.2.1. Elaboración de protocolos ..... 87
6.2.2. Complementos y enfoques futuros ..... 88
6.2.3. Estudios futuros ..... 88
BIBLIOGRAFÍA ..... 89
ANEXOS ..... 91

# LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Ubicación y datos geográficos de la S/E Puerto Napo. Imagen creada por los autores de esta pasantía. ..... 10
Figura 2. Símbolo seccionador ..... 11
Figura 3. Símbolo interruptor ..... 11
Figura 4. Símbolo seccionador de bypass ..... 11
Figura 5. Símbolo seccionador selector de barra ..... 11
Figura 6. Símbolo de CT's ..... 11
Figura 7. Símbolo de PT's ..... 11
Figura 8. Símbolo de protecciones asociadas ..... 11
Figura 9. Configuración de la S/E Puerto Napo ..... 11
Figura 10. Protecciones asociadas a los tableros de control y protección. Nota: Imagen creada por los autores ..... 12
Figura 11. Ilustración protocolos PRP y HSR creada por los autores. [6] ..... 13
Figura 12. Esquema conceptual protocolo PRP en S/E [2] ..... 14
Figura 13. Niveles de control S/E Puerto Napo [2] ..... 15
Figura 14. Diagrama unifilar del proyecto subestación Puerto Napo ..... 38
Figura 15. Protecciones bahía de acople y línea ..... 38
Figura 16. Diagrama funcional relé numérico P546 marca Alstom ..... 39
Figura 17. Ejemplo de alimentación AC Diagramas de Principio ..... 40
Figura 18. Niveles de control Subestaciones Eléctricas ..... 42
Figura 19. Ejemplo de energización de una bahía / Secuencia de Mando ..... 43
Figura 20. Ejemplo diagrama lógico de enclavamiento ..... 44
Figura 21.Seccionador con cuchilla de puesta a tierra ..... 46
Figura 22. Interruptor automático con protección térmica y magnética ..... 46
Figura 23. Pararrayos ..... 46
Figura 24. Tomacorriente monofásica ..... 46
Figura 25. Transformador de tensión – 2 devanados ..... 46
Figura 26. Termóstato ..... 46
Figura 27. Transformador tridevanado de tensión ..... 47
Figura 28. Higróstato ..... 47
Figura 29 Convertidor fuente ..... 47
Figura 30. Interruptor de potencia ..... 47
Figura 31. Transformador de corriente ..... 47
Figura 32. Seccionador ..... 47
Figura 33. Elemento a tierra ..... 47
Figura 34. Elemento a masa ..... 47
Figura 35. Lámpara led ..... 47
Figura 36. Resistencia ..... 47
Figura 37. Bobina ..... 47

Figura 38. Interruptor manual ..... 47
Figura 39. Contacto N.A. ..... 47
Figura 40. Contacto N.C. ..... 47
Figura 41. Contacto de paso ..... 47
Figura 42. Borne ..... 47
Figura 43. Indicación de elementos de los circuitos de un diagrama esquemático ..... 48
Figura 44. Ejemplo de lectura de conexión de un MCB ..... 48
Figura 45. Ejemplo de plano Z para un equipo (Relé SEL 311) ..... 50
Figura 46. Ejemplo arquitectura de red con protocolo PRP para S/E. Nota: Imagen elaborada por los autores ..... 57
Figura 47. Caja de distribución de fibra óptica y sus conectores [18] ..... 58
Figura 48. Terminales – Conectores de fibra óptica (ST) ..... 58
Figura 49. Terminales – Conectores de fibra óptica (Dúplex LC) ..... 58
Figura 50. Terminales – Conectores de fibra óptica (Dúplex SC) ..... 59
Figura 51. Conectores de fibra óptica ..... 59
Figura 52. Vista frontal - exterior tablero de agrupamiento. ..... 59
Figura 53. Vista posterior - exterior tableros de agrupamiento ..... 60
Figura 54. Disposición de elementos de un tablero de agrupamiento para PT's ..... 60
Figura 55. Disposición de elementos de un tablero de agrupamiento para CT's ..... 60
Figura 56. Elementos tableros de agrupamiento ..... 61
Figura 57. Vista frontal y frente muerto (exterior) de tableros marshalling kiosk. ..... 61
Figura 58. Vista posterior y frontal placas de montaje de tableros marshalling kiosk ..... 62
Figura 59. Vista lateral izquierda y lateral derecha de tableros marshalling kiosk ..... 62
Figura 60. Vista frontal tableros tipo interno ..... 64
Figura 61. Vista superior tableros tipo interno ..... 64
Figura 62. Ejemplo de disposición de elementos internos de tableros de tipo interior ..... 64
Figura 63. Disposición código IP ..... 65
Figura 64. Diagrama de flujo para elección de normativa ..... 68

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Simbología utilizada para la descripción de la configuración de la S/E Puerto Napo. ..... 11
Tabla 2. Pruebas PRE-FAT tenidas en cuenta en la elaboración de procedimientos y protocolos. .. 18
Tabla 3. Normativa aplicable a sistemas de control y protección ..... 24
Tabla 4. Normativa aplicable a sistemas de medida ..... 24
Tabla 5. Normativa aplicable a sistemas de comunicaciones ..... 25
Tabla 6. Normativa aplicable a tableros de S/E ..... 27
Tabla 7. Normativa elegida para la ejecución del proyecto y elaboración de procedimientos y protocolos ..... 37
Tabla 8. Simbología de diagramas esquemáticos [17] ..... 47
Tabla 9. IED's tableros de control y protección ..... 49

Tabla 10. IED’s tablero de medida ..... 50
Tabla 11. IED’s tablero de supervisión y control ..... 51
Tabla 12. IED’s tablero de comunicaciones ..... 51
Tabla 13. IED’s tableros marshalling kiosk ..... 52
Tabla 14. Dispositivos y equipos inmersos en el sistema de comunicaciones ..... 56
Tabla 15. Descripción de elementos para Figura 53 y Figura 54 ..... 60
Tabla 16. Descripción elementos para Figura 56 ..... 60
Tabla 17. Descripción de elementos para Figura 57, Figura 58 y Figura 59 ..... 63
Tabla 18. Especificaciones grados de protección IP ..... 66
Tabla 19. Normativa seleccionada para el proyecto de tableros S/E Puerto Napo ..... 70
Tabla 20. Condiciones de pruebas PRE-FAT y FAT. ..... 76
Tabla 21. Encabezado del cuadro de inspección visual de tableros de tipo interno ..... 77
Tabla 22. Encabezado del cuadro de inspección visual de IED’s (tablero de tipo interno) ..... 77
Tabla 23. Encabezado del cuadro de pruebas mecánicas ..... 77
Tabla 24. Encabezado del cuadro de pruebas eléctricas ..... 78
Tabla 25. Encabezado del cuadro de chequeo de elementos menores. ..... 78
Tabla 26. Diferencias de cuadros de tableros de tipo interno y tableros marshalling kiosk. ..... 78
Tabla 27. Ejemplo de datos de trazabilidad ..... 79
Tabla 28. Ejemplo de permiso de trabajo ..... 80
Tabla 29. Ejemplo de aspectos de seguridad ..... 80
Tabla 30. Ejemplo de firmas y cierre de protocolo aplicado al proyecto S/E Puerto Napo ..... 81
Tabla 31. Actividades propuestas para el desarrollo de la pasantía ..... 86

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Ejemplo Alimentación diagrama de principio ..... 91
Anexo 2. Ejemplo lógica de enclavamiento a partir de equipos ..... 92
Anexo 3. Circuitos de Servicios Auxiliares en Tableros de S/E ..... 93
Anexo 4. Conexión de un SCU a un seccionador (89) – MK ..... 94
Anexo 5. Diagrama esquemático tablero de agrupamiento de señales para CT´s. ..... 94
Anexo 6. Conexión de señales provenientes de un transformador de tensión ..... 95
Anexo 7. Conexión de señales provenientes de una transformador de corriente ..... 95
Anexo 8. Conexión de servicios auxiliares de tableros marshalling kiosk ..... 96
Anexo 9. Diagrama de principio para apertura de seccionador ..... 97
Anexo 10. Representación grados de protección Legrand ..... 98

## ABREVIATURAS

| Abreviatura | Término |
|---|---|
| BCU | Controlador de bahía |
| BP1 | Bloque de prueba 1 |
| BP2 | Bloque de prueba 2 |
| CT's | Transformador de corriente |
| GPS | Sistema de posicionamiento global |
| GTW | Gateway (dispositivo de enlace) |
| IED | Dispositivo electrónico inteligente |
| IHM | Interfaz humano máquina |
| KVM | Conmutador de video, teclado y mouse |
| MCB | Mini circuit breaker |
| MDD | Medidor multifuncional |
| MU | Merging Unit (Unidad de agrupamiento) |
| OBS | Observación |
| ODF | Caja de distribución de fibra óptica |
| PB1/25 | Protección de verificación de sincronismo |
| PB1/UC | Protección de barras |
| PC/RAP | PC registrador de fallas |
| PL1 | Protección principal |
| PL2 | Protección redundante |
| PRP | Protocolo de redundancia paralela |
| PT's | Transformador de tensión |
| RAP | Registrador de fallas |
| S/E | Subestación Eléctrica |
| SAS | Sistema automatizado de subestaciones |
| SCU | Switch Control Unit |
| SEP | Sistema Eléctrico de Potencia |
| SW/M | Switch de medida |
| SW/RAP | Switch registro de fallas |
| SW87B | Switch protección diferencial de barras |
| SWA | Switch PRP red A |
| SWB | Switch PRP red B |

# GLOSARIO DE TÉRMINOS

Los conceptos descritos a continuación son tenidos en cuenta por la empresa E.P.C. INGENIERÍA S.A.S y son fundamentales para el desarrollo y entendimiento de este proyecto.

**Bahía/Campo:** Conjunto de los equipos de una subestación para la maniobra, protección y medida de un circuito que se conecta a ella. [1]

**Bloque de prueba:** Bloques que permiten realizar pruebas de calibración y monitoreo de funcionamiento de equipos sin necesidad de desenergizar la instalación y sin realizar ninguna manipulación del cableado de la instalación, es decir, son dispositivos eléctricos que permiten realizar inyecciones de corriente y tensión en secundario a puntos de la instalación. Normalmente sus contactos mantienen cerrados, cambiando de estado al introducir el peine asociado.

**Cables de control:** Son los cables usados para transmitir señales variables de corriente y tensión de bajo nivel o para transmitir información codificada (digital). Se considera dentro de esta categoría los cables compuestos de pares trenzados para redes de sistemas supervisorios. [1]

**Cables de fibra óptica:** Son cables usados para transmitir información codificada (digital) a alta velocidad con alta inmunidad a la interferencia electromagnética y con capacidad de transmisión a través de largas distancias. [1]

**Configuración:** Ordenamiento dado a los equipos de maniobra de una subestación que permite definir sus propiedades y características de operación. [1]

**Conmutador de teclado, video y mouse (KVM):** Conmutador o switch KVM por sus siglas en inglés (keyboard, video, mouse) es un dispositivo que permite a un usuario controlar múltiples ordenadores desde uno o más conjuntos de teclados, monitores de vídeo, y ratones.

**Controlador de Bahía:** Dispositivo electrónico inteligente capaz de modificar el estado de los interruptores y seccionadores desde su interfaz humano máquina (pantalla de visualización IHM), es decir, permite operar (abrir o cerrar) dichos equipos de patio de tal manera que se pueda realizar una maniobra.

**Energización:** Procedimiento que se realiza para la toma de tensión y la toma de carga de los equipos y sistemas de la subestación y de los circuitos asociados para disponer en operación comercial la instalación. [1]

**Fibra óptica:** Filamento de vidrio de alta pureza extremadamente compacto, dentro de este se reflejan las ondas luminosas emitidas por diferentes dispositivos, teniendo como ventajas la rápida transmisión de datos y el bajo nivel de interferencia. Este tipo de tecnología tiene asociados diferentes puertos de conexión (siendo LC, SC, ST los más utilizados) en sus extremos para tener conectividad entre diferentes equipos.

**Gateway:** Dispositivo electrónico inteligente que permite conectar equipos de redes con protocolos y arquitecturas diferentes. [2]

**Interruptor:** Dispositivo de maniobra capaz de interrumpir, establecer y llevar las corrientes normales o asignadas del circuito y las anormales o de cortocircuito, mediante la conexión o desconexión de circuitos. [1]

**Medidor multifuncional:** Dispositivo electrónico inteligente capaz de medir variables eléctricas tales como voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia, potencia activa y reactiva, entre otros, con la finalidad de reflejar el comportamiento del sistema eléctrico de potencia.

**Merging Unit (MU):** Dispositivo electrónico inteligente que actúa como interfaz entre el mundo analógico y el mundo digital, es decir, las señales analógicas son convertidas en señales digitales, las cuales son transmitidas a la red mediante el protocolo conocido como sample values (SV).

**Procedimiento:** Es un método de ejecución o pasos a seguir, en forma secuenciada y sistemática, en la consecución de un fin. El conjunto de procedimientos con un mismo fin, puede ser denominado sistema.

**Protección diferencial de Barra (87B):** Protección que funciona sobre un porcentaje, ángulo de fase u otra diferencia cuantitativa, de dos corrientes o algunas otras magnitudes eléctricas. Hace referencia a un modo de conexión en donde se pretende sensar la diferencia de dichas magnitudes dentro del alcance de la conexión (determinado por la ubicación de los CT's), buscando proteger a la barra o barraje.

**Protección diferencial de Línea (87L):** Protección que funciona sobre un porcentaje, ángulo de fase u otra diferencia cuantitativa, de dos corrientes o algunas otras magnitudes eléctricas. Hace referencia a un modo de conexión en donde se pretende sensar la diferencia de dichas magnitudes dentro del alcance de la conexión (determinado por la ubicación de los CT's), buscando proteger a la línea. Para la implementación de esta protección es necesario un canal de comunicación entre protecciones de línea.

**Protección de distancia (21):** Protección cuya respuesta a las cantidades de entrada es principalmente una función de la distancia eléctrica del circuito, entre la ubicación del relé y el punto de falla. Se utiliza la relación Voltaje/Corriente. [3]

**Protección de falla en interruptor (50BF):** Protección que funciona cuando existe una sobrecorriente generada por una falla en el interruptor. Esta unidad debe ser de fases segregadas, es decir, operar por fase en caso de tener fallas diferentes a la trifásica (monofásica, bifásica y bifásica a tierra), para garantizar operación segura en caso de fallas evolutivas. [4] Adicionalmente esta protección debe trabajar en socio con la protección diferencial de barras en caso de falla en la barra.

**Protección de sobrecorriente direccional (67):** Protección que opera en el sistema durante fallas en una u otra dirección desde el punto de localización del relé [3]. Constan de un elemento de

sobrecorriente y una unidad direccional (requiriendo de una señal de polarización/tensión para determinar la direccionalidad); el relé responderá sólo si la falla está en la dirección programada.

**Protección de sobrecorriente instantánea (50):** Protección que funciona instantáneamente con un valor excesivo de corriente [3]. A pesar de ser una protección instantánea tiene un tiempo de operación ajustable (20-50 ms).

**Protección de sobrecorriente temporizada (51):** Protección de sobrecorriente de tiempo inverso que opera cuando la corriente supera un umbral de ajuste. [3] El tiempo inverso significa que ante una gran magnitud de corriente, el tiempo de operación es muy pequeño y viceversa.

**Protección de sobretensión (59):** Protección que funciona con un valor dado de sobretensión. [3]

**Protección de subtensión o mínima tensión (27):** Protección que funciona al descender la tensión de un valor predeterminado. [3]

**Protocolo:** Es un conjunto de reglas desarrollado dentro de un estándar, que definen la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación para el intercambio de información. [2]

**Pruebas FAT:** Pruebas de aceptación en fábrica que realizan los fabricantes en presencia del cliente, para dar conformidad de entrega; en estas pruebas se busca verificar el correcto funcionamiento de un sistema o dispositivo evitando correcciones en el diseño y operación de los mismos.

**Pruebas PRE-FAT:** Prueba de aceptación en fábrica que realizan los fabricantes sin presencia del cliente; en estas pruebas se busca verificar el correcto funcionamiento de un sistema o dispositivo permitiendo correcciones en el diseño y operación de los mismos, previas a las pruebas FAT.

**Pruebas SAT:** Pruebas de aceptación en sitio que realizan los fabricantes en presencia del cliente, para dar conformidad total de entrega; en estas pruebas se busca verificar el correcto funcionamiento de un sistema o dispositivo permitiendo la verificación de las pruebas FAT y corrigiendo los daños ocasionados por el transporte en el caso de haberse presentado.

**Registrador de Fallas:** Dispositivos electrónico inteligente que permite un registro cronológico de eventos anormales antes, durante y después de la ocurrencia de fallas eléctricas producidas en el sistema eléctrico de potencia, así como el registro de eventos normales en él mismo. Este dispositivo permite ver eventos que evidencian el comportamiento y el origen de las fallas asociadas a diferentes elementos.

**Relé de recierre (79):** Relé que controla el recierre y enclavamiento de un interruptor de corriente alterna. [3]

**Relé de verificación de sincronismo (25):** Relé que funciona cuando dos circuitos de corriente alterna están dentro de los límites deseados de tensión, frecuencia o ángulo de fase, lo cual permite o causa la puesta en paralelo de estos circuitos. [3]

**Seccionador:** Dispositivo de maniobra utilizado para aislar los interruptores, porciones de la subestación o circuitos, para mantenimiento; en configuración de barras son utilizados para seleccionar la forma de conectar los circuitos a los barrajes. [1]

**Sistema automatizado de subestaciones (SAS):** Conjunto de equipos y accesorios, necesarios y suficientes para la ejecución de todas las funciones de supervisión, control, protección, monitoreo y comandos local y remoto en tiempo real, de todos los equipos de la subestación. [2]

**Sistema Eléctrico de Potencia (SEP): "***Red formada por unidades generadoras eléctricas, cargas y/o líneas de transmisión de potencia, incluyendo el equipo asociado, conectado eléctricamente o mecánicamente a la red" IEEE*. También es definido como el conjunto de elementos que constituyen la red eléctrica de potencia siendo su función generar, transmitir y distribuir, la energía eléctrica hasta los usuarios, bajo ciertas condiciones y requerimientos.

**Sistema de posicionamiento global (GPS):** Sistema que otorga información tal como ubicación (posicionamiento de objetos) y tiempo (funcionando como reloj) mediante un dispositivo a equipos para su utilización específica.

**Sistema de servicios auxiliares:** Conjunto de dispositivos que operan de acuerdo con condiciones preestablecidas para realizar el suministro de la potencia necesaria para la operación de los equipos y sistemas instalados en la subestación. [1]

**Sistemas secundarios:** Sistemas utilizados en la subestación para ejecutar el control, la protección, las comunicaciones y el suministro de servicios auxiliares. [1]

**Subestación Eléctrica (S/E):** Punto tangible del sistema eléctrico de potencia en el que se puede observar el comportamiento del mismo y dentro del cual se puede transformar energía bajo los parámetros de voltaje, corriente y frecuencia enfocados a la calidad de servicio, potencia y energía.

**Switch de Comunicaciones:** Comúnmente denominado conmutador; es un dispositivo de interconexión de redes informáticas que tiene como finalidad actuar como puente entre diferentes segmentos de red.

**Tableros de agrupamiento de señales de CT's y PT's:** Existen dos tipos de tableros, los directamente asociados a las señales provenientes de los CT's, y los directamente asociados a las señales de los PT's. Estos son de tipo exterior (expuestos a la intemperie). Son tableros de menor tamaño comparados con los MK's, puesto que en ellos no se encuentran dispositivos electrónicos inteligentes (relés, medidores, entre otros), permitiendo exclusivamente el seguimiento de las señales provenientes de los núcleos de los transformadores de instrumentos (CT's y PT's).

**Tablero Control y Protección:** Tablero de una subestación eléctrica, de tipo interno, al cual llegan las señales de los transformadores de instrumentos (CT's y PT's) de manera análoga y digital, entrando directamente a los relés multifuncionales que tienen programadas funciones de protección.

En estos tableros, adicionalmente de tener equipos como relés y medidores multifuncionales, controladores de bahía, se encuentran generalmente dispositivos de comunicaciones tales como switches que permiten una interrelación entre las redes existentes, los diferentes equipos y los distintos tableros asociados al sistema de protección.

**Tablero de Comunicaciones:** Tablero de una subestación eléctrica, de tipo interno, en donde comúnmente se alojan los switches, ya sea de medición y/o registro de fallas, computadores de rack utilizados para almacenar los registros de fallas y dispositivos gateways (puertas de enlace) que permiten la comunicación entre redes y equipos que manejen distintos protocolos y arquitecturas de comunicaciones. En este tablero interactúan las redes existentes permitiendo una interrelación de equipos y así poder tener un sistema robusto.

**Tablero de Medida:** Tablero de una subestación eléctrica (comúnmente denominado tablero de facturación), de tipo interno, generalmente asociado a subestaciones adyacentes a nodos de generación, por lo que existe la necesidad de medir la energía entregada al sistema eléctrico de potencia para efectos económicos. En este tipo de tableros existen dispositivos capaces de medir variables tales como voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, y energía. Dichos dispositivos generalmente tienen una clase de medida 0,2s.

**Tablero de Supervisión y Control:** Tablero de una subestación eléctrica, de tipo interno, en donde se alojan dispositivos de posicionamiento satelital y comunicaciones tales como GPS's y switches, encargados de proveer a la(s) red(es) LAN los datos necesarios (ubicación y tiempo) que permiten tener registros detallados de eventos del sistema. Estos registros evidencian el comportamiento del sistema eléctrico permitiendo la detección de fallas previas, durante y después a la ocurrencia. Adicionalmente cuenta con dispositivos/equipos IHM, que generalmente son computadores para rack permitiendo una interacción entre personas y el sistema de protecciones.

**Tableros Marshalling Kiosk (MK's):** Tableros de patio de una subestación eléctrica, también conocidos como tableros junction box, de tipo exterior (expuesto a la intemperie), en donde se agrupan en primera instancia las señales provenientes de los transformadores de instrumentos (CT's y PT's). En estos tableros existen dispositivos que permiten la conversión de señales analógicas en señales digitales, siendo estas las entradas de otros dispositivos de control y protección tales como relés o controladores de bahía.

**Transformadores de Corriente:** Transformadores de instrumentos que sensan, por medio de un acople inductivo, capacitivo u óptico, el cambio de estado del parámetro de corriente del sistema. [1]

**Transformadores de Tensión:** Transformadores de instrumentos que sensan, por medio de un acople inductivo, capacitivo u óptico, el cambio de estado del parámetro de voltaje/tensión del sistema. [1]

# INTRODUCCIÓN

Dentro de la ejecución de proyectos existen etapas en las cuales las empresas suscriben acuerdos comerciales de acuerdo con sus necesidades, ya sea operativos y/o funcionales, esto se ve reflejado en la aplicación de los lineamientos de control de calidad de las mismas. El sector eléctrico no se encuentra exento de estos procedimientos y por lo tanto las organizaciones recurren frecuentemente a la realización de pruebas de aceptación, en donde se evalúan aspectos constructivos, de diseño y operativos cuando se trata de suministro de equipos eléctricos o entrega de instalaciones que manejen recursos energéticos.

Comúnmente las pruebas de aceptación se realizan en dos entornos y etapas, las primeras efectuadas en fábrica, también conocidas como pruebas FAT (Factory Acceptance Test) y las segundas realizadas en sitio, conocidas como pruebas SAT (Site Acceptance Test). Para esta primera etapa surge otra clasificación, apareciendo así las pruebas PRE-FAT denominadas como pruebas de verificación internas de las empresas, las cuales se realizan sin la presencia del cliente y en donde se permite cualquier tipo de correcciones que se consideren necesarias, mientras que en las pruebas FAT al contar con la presencia del cliente se busca verificar el buen funcionamiento y evitar que aparezca cualquier tipo de animalia o correcciones que debieron ser detectadas y solucionadas en la pruebas PRE-FAT. En la primera etapa (PRE-FAT y FAT) se busca detectar errores de conexionado y diseño de los equipos, permitiendo correcciones preventivas antes de cualquier energización; en la segunda etapa (SAT) se busca detectar posibles daños ocasionados por el transporte de los equipos (desconexión de elementos, daños internos, entre otros) permitiendo medidas correctivas previas a cualquier energización.

Con el fin de dejar clara la postura empresarial de las organizaciones y de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos, la elaboración de procedimientos y protocolos para la realización de las pruebas PRE-FAT y FAT es parte fundamental en la ejecución de proyectos, debido a que estos son requisitos establecidos para la respectiva entrega por parte del fabricante.

Los sistemas de las nuevas subestaciones eléctricas surgen como sistemas automatizados, basados en normativas internacionales y en requerimientos técnicos de los clientes, por esto surge la consideración de usar nuevas tecnologías, tales como la fibra óptica como medio para la transmisión de señales. A partir de esta consideración (sistema automatizado), se crea la necesidad de conservar una transversalidad de criterios y conceptos de funcionamiento que son tenidos en cuenta en los procedimientos y protocolos, reflejando un paralelo respecto a tecnologías más tradicionales. Todo esto observado en los procedimientos y protocolos internos de las empresas y en los estandarizados, con el fin de conseguir interpolaridad entre fabricantes y así asegurar un mínimo de pruebas y la funcionalidad de los equipos.

Si bien, los tableros eléctricos de control, protección, medida, comunicación, registro y agrupamiento de señales son parte fundamental de una subestación, existen diferentes criterios de diseño y por ende una gran diversidad de normativa aplicable (IEEE, IEC, UNE/EN, UL, NTC y RETIE) a cada uno de estos dependiendo del fin. Debido a este motivo, se hace necesario especificar las normas para cada tipo de tablero mediante cuadros comparativos, que expresen el objeto de cada una de ellas y que permitan identificar factores importantes en el correcto funcionamiento de los mismos.

Es importante tener en cuenta que varias de las normas a implementar en el desarrollo de esta pasantía son de acceso restringido y/o compra, por lo cual se utilizarán normas equivalentes en el entorno nacional que contengan los criterios y conceptos aplicables a la construcción de los tableros. Cabe resaltar que este inconveniente será una limitante.

Este documento evidencia de manera general como es el proceso de creación de procedimientos y protocolos de un tablero eléctrico de una subestación (ya sea de control, protección, medida, entre otros), mostrando desde la selección de la normativa, el alcance, los aspectos a tener en cuenta, el análisis de los diferentes sistemas involucrados, el análisis de la ingeniería, hasta la selección de pruebas y elaboración de los documentos.

En este proceso se debe tener presente que previo a la realización de cualquier tipo de prueba, se sigue una metodología que permite elaborar el procedimiento correspondiente a la manipulación del equipo y una vez identificadas las características se realizan las pruebas respectivas, dejando consignados los resultados en el protocolo de aceptación final para dar por terminado el proceso (firma y aceptación del cliente al finalizar la etapa correspondiente a la realización de las pruebas FAT).

# 1. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta la importancia que tiene una subestación eléctrica para el sistema eléctrico de potencia de un país y de las graves consecuencias que se pueden llegar a presentar con la salida de la misma, se hace necesario tomar medidas para ayudar a mitigar cualquier efecto de una falla y/o contingencia que se pueda llegar a generar. Es por esta razón que los tableros asociados a los sistemas de control, protección, medida, comunicación, registro, y agrupamiento de señales se fabriquen correctamente cumpliendo con las normativas vigentes.

Debido a esto, la realización de las pruebas de verificación y de aceptación en fábrica (PRE-FAT y FAT) buscan inspeccionar y evaluar el estado y funcionamiento de los veintiún tableros construidos durante el proceso en las instalaciones de E.P.C. INGENIERÍA S.A.S, de acuerdo con la normativa aplicada y con los requerimientos técnicos solicitados por el cliente final CELEC EP TRANSELECTRIC.

Una vez realizadas las pruebas junto al cliente (entregándole conocimientos de primera mano sobre la funcionalidad del sistema), en donde el hardware y software serán revisados de acuerdo a una lista de verificación de ítems/parámetros de funcionalidad, rendimiento y calidad. Los procedimientos y protocolos elaborados de las pruebas mencionadas serán el respaldo de E.P.C. INGENIERÍA S.A.S ante cualquier daño de los tableros, estando exentos de cualquier fallo o error de fabricación.

Nota: Es importante mencionar que EPC INGENIERÍA S.A.S cuenta con documentación asociada a proyectos similares realizados, sin embargo, al tratarse de un proyecto relacionado con una subestación digital, no se tienen antecedentes de la elaboración de procedimientos y/o protocolos para este tipo de proyectos, por ende, la documentación de este trabajo es muy importante para la empresa, quedando como guía para futuros trabajos.

# 2. OBJETIVOS

## General

Estructurar y elaborar los procedimientos y protocolos para la ejecución de pruebas PRE-FAT y FAT en los tableros de control y protección, Marshalling Kiosk (MK) y tableros de agrupamiento para señales de transformadores de tensión y corriente.

## Específicos

- Consultar y aplicar la normatividad asociada a la realización de pruebas PRE-FAT y FAT en tableros de control, protección, medición y registro.

- Analizar y comprender la ingeniería básica y de detalle correspondiente al proyecto, tales como diagramas de principio, unifilares y trifilares, constructivos de los tableros, esquemáticos y funcionales.

- Documentar el proceso para futuras aplicaciones, en proyectos de la compañía relacionados con la fabricación de tableros, aplicando la normatividad vigente.

# 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

En esta sección se describe el procedimiento que se realizó en el proyecto, mostrando algunos análisis de los aspectos más importantes tenidos en cuenta para la realización de los procedimientos y protocolos de los tableros de control, protección, comunicación, registro, medida y agrupamiento de señales de la S/E Puerto Napo.

Dentro de estos se encuentran los análisis de cada uno de los diferentes sistemas, así como la selección de la normativa aplicable a cada uno de los tableros y por último la selección de las pruebas a realizar. Adicionalmente se pueden evidenciar aspectos y criterios de ejemplos nacionales e internacionales en la construcción de este tipo de gabinetes/tableros, teniéndolos en cuenta para la construcción de los procedimientos y protocolos finales.

**Nota:** Los aspectos mencionados en cada una de las secciones se mostrarán de manera general teniendo en cuenta que gran parte de la información es confidencial y por ende se ilustrarán sólo las consideraciones más relevantes.

## 3.1. ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN PUERTO NAPO




Figura 1. Ubicación y datos geográficos de la S/E Puerto Napo. Imagen creada por los autores de esta pasantía.

La subestación Puerto Napo prevista para entrar en funcionamiento en el año 2018 y para suministrar los 38,25MW de la central hidroeléctrica Pusuno al sistema de transmisión nacional, cuenta con un nivel de tensión de 138 kV, un sistema de medición sincrofasorial, una configuración doble barra más seccionador de bypass y la capacidad de arranque en negro (capacidad de energización de los sistemas secundarios sin la utilización del sistema eléctrico de potencia). [5]

Adicionalmente esta S/E posee un sistema automatizado mediante la normativa IEC 61850 dando como resultado un sistema moderno. Teniendo como premisa que los únicos equipos convencionales

son los transformadores de corriente y potencial (no siendo transformadores ópticos), puede afirmarse que la subestación en gran parte es una subestación digital.

Antes de cualquier análisis, se hace necesario conocer previamente la configuración de la S/E y los circuitos o líneas asociadas a ella, esto para tener una idea clara de los elementos y equipos de patio que se encuentran dentro de la misma. Para ello se ilustra la configuración en la Figura 9 de acuerdo a la simbología establecida en la Tabla 1.

| Nombre | Símbolo |
|---|---|
| Seccionador |  Figura 2. Símbolo seccionador |
| Interruptor |  Figura 3. Símbolo interruptor |
| Seccionador de bypass |  Figura 4. Símbolo seccionador de bypass |
| Seccionador selector de barra |  Figura 5. Símbolo seccionador selector de barra |
| Transformadores de corriente (CT) |  Figura 6. Símbolo de CT's |
| Transformadores de tensión (PT) |  Figura 7. Símbolo de PT's |
| Protección asociada |  Figura 8. Símbolo de protecciones asociadas |

Tabla 1. Simbología utilizada para la descripción de la configuración de la S/E Puerto Napo.

**Nota:** Simbología utilizada por los autores de esta pasantía.

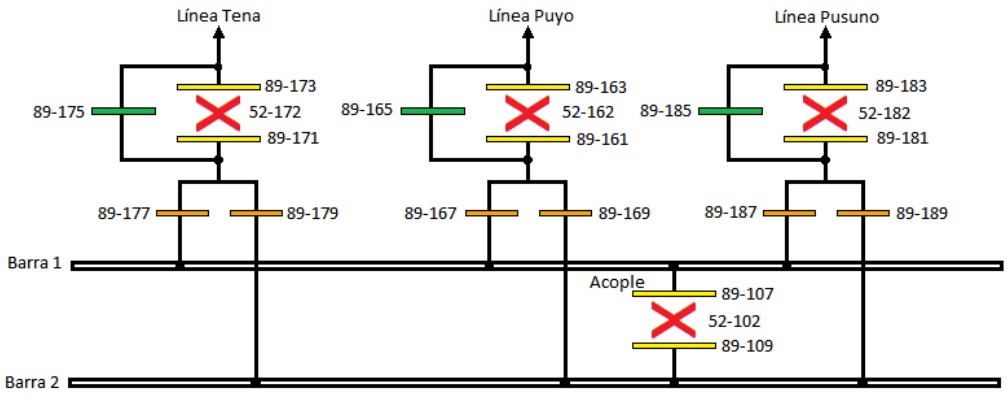



Figura 9. Configuración de la S/E Puerto Napo

Como se observa, la subestación tiene tres circuitos o líneas asociadas, las cuales permiten la interconexión con la central hidroeléctrica Pusuno y las dos subestaciones adyacentes, tena y puyo, además de contar con un campo de acople de barras. Cada bahía tiene su nomenclatura establecida para la identificación de los equipos de patio de acuerdo a los diseños de ingeniería, lo cual será de gran utilidad cuando se realicen pruebas de simulación de estados para el sistema de control (ya sea en sitio o fábrica).

Conocida la configuración e identificados los equipos, es importante conocer las protecciones que se encuentran asociadas a cada bahía de la subestación, esto con la finalidad de identificar las protecciones que se encontrarán en los tableros de control y protección. En la Figura 10 se observa la relación de las protecciones y los tableros construidos durante el desarrollo de esta pasantía.

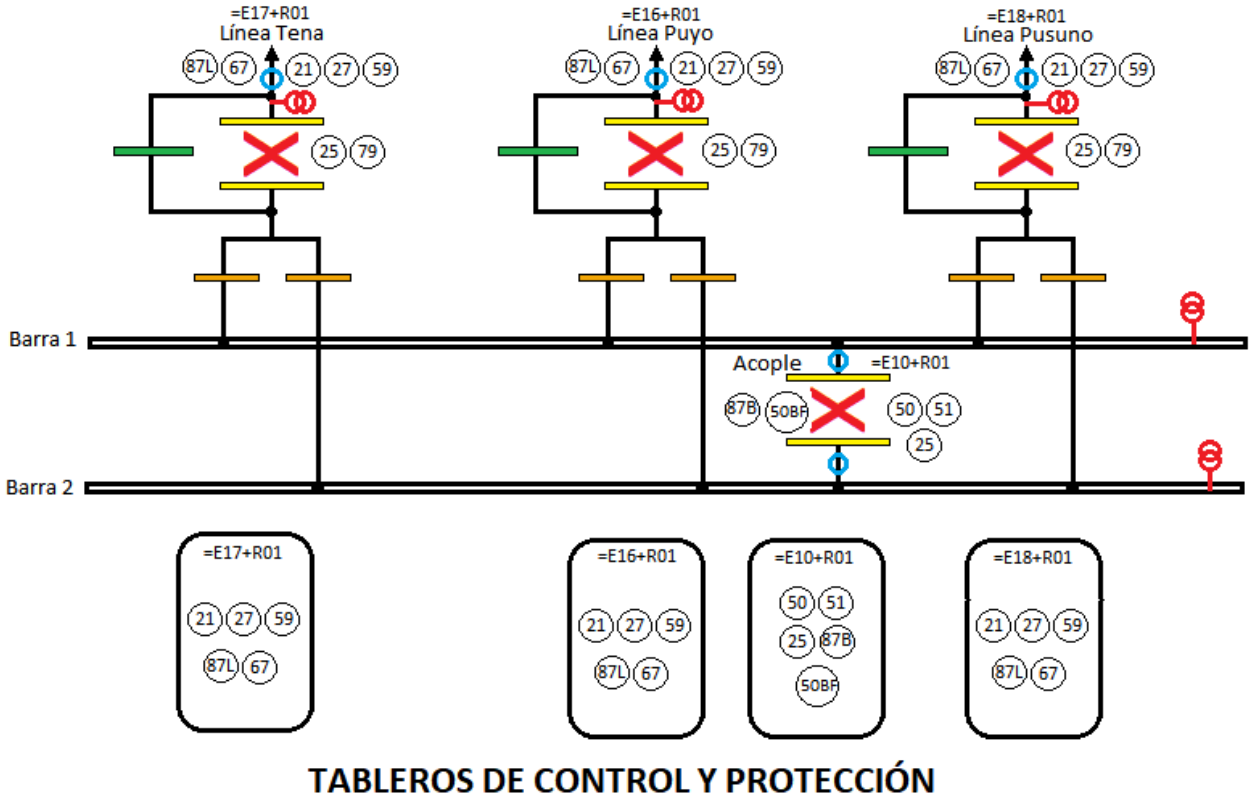



Figura 10. Protecciones asociadas a los tableros de control y protección. Nota: Imagen creada por los autores

Si bien, algunas S/E cuentan con sistemas tradicionales de comunicación, control y protección de todos los dispositivos presentes en ellas, la S/E Puerto Napo se diseñó para tener tecnología que permita un avance en la operación, mantenimiento, control y protección de todas sus bahías. Particularmente es necesario conocer algunos aspectos generales del sistema SAS empleado para la operación de los equipos, ya que estos permiten comprender el funcionamiento e interacción de todos los IED's presentes en los tableros.

### 3.1.1. Sistema de Automatización de Subestaciones (SAS)

Los sistemas automatizados de subestaciones se basan en redes área local (LAN) y en conceptos establecidos en el protocolo de comunicación IEC 61850 en todas sus partes, con el fin de tener supervisados y controlados todos los componentes del sistema de una manera remota. En la parte 2 y 3 de la IEC 61850 se especifican los tipos de comunicación, arquitectura del sistema (protocolos a utilizar) y algunas de las características de funcionamiento del mismo.

En este apartado se expondrán algunos conceptos básicos para entender la interrelación del sistema de comunicaciones con el funcionamiento de cada uno de los relés inmersos en el sistema de control y protección. Así mismo es importante conocer las funciones de equipos específicos para el análisis del sistema de comunicaciones de la S/E.

#### *3.1.1.1. Protocolos de redundancia PRP y HSR*

Los protocolos tradicionales de comprobación de bucles y recuperación de enlaces en capa 2 de red (redes LAN) Spanning Tree Protocol (STP) y Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP), tienen limitaciones de tiempo a la hora de reconfigurar la tabla de red cuando ocurre una falla en el sistema, por lo que no son adecuados para las demandas actuales de determinados sistemas críticos tales como los sistemas de control y protección de una S/E. [6]

Por esta razón se desarrollaron los protocolos PRP y HSR basados en la redundancia del sistema, con el fin de dar confiabilidad en la actuación de las protecciones, evitando respuesta tardía de las mismas debido a la suma de tiempos de restablecimiento de la red en caso de presentarse alguna falla. Cabe resaltar que los protocolos redundantes se utilizan en niveles inferiores de los sistemas; ***a nivel de S/E se implementan en los niveles de campo y control de la misma(s)***.

Los protocolos de redundancia PRP y HSR por sus siglas en inglés Parallel Redundancy Protocol y Highly-available Seamlees Redundancy se basan en la alta disponibilidad del sistema permitiendo la sincronización y adquisición rápida de datos de todos los equipos (tiempo real). Cabe mencionar que ambos protocolos identifican a los equipos mediante etiquetas de 48 bits denominadas direcciones MAC (Media Access Control).

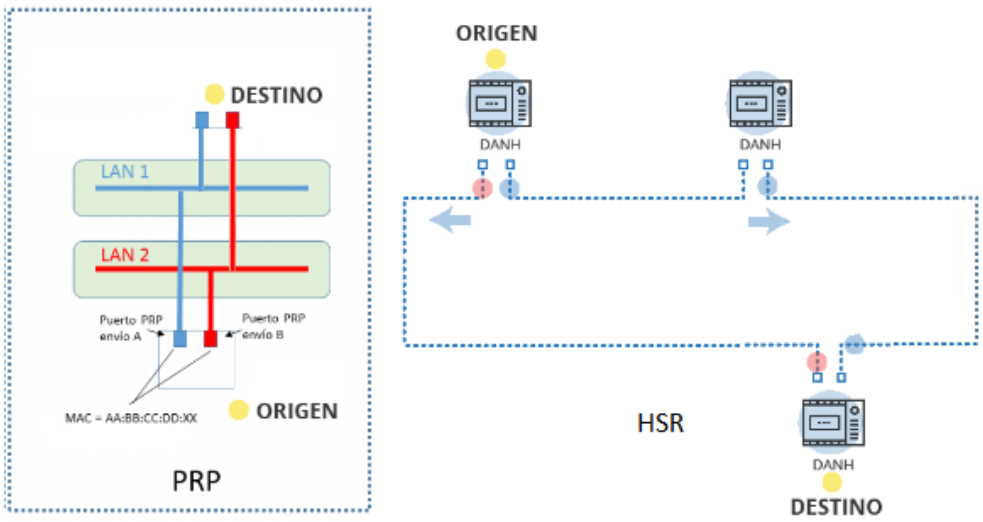



Figura 11. Ilustración protocolos PRP y HSR creada por los autores. *[6]*

Una de las diferencias significativas entre HSR y PRP se debe a su arquitectura ya que PRP funciona con el uso de dos redes paralelas (A y B) las cuales no tienen comunicación alguna entre ellas, pero interconecta a los mismos equipos, permitiendo el envío de información por ambas redes al mismo tiempo; mientras que el HSR solo cuenta con una red con topología en anillo, enviando la información en ambas direcciones del anillo hasta que llegue a su receptor. En la Figura 11 se puede apreciar lo expresado anteriormente.

### *3.1.1.2. Dispositivos inmersos en PRP*

Teniendo en cuenta las características del protocolo PRP, nos podemos encontrar con dos tipos de dispositivos en cada una de nuestras redes. Dispositivo donde la redundancia esté integrada, DANP (Doublé Attached Node implementing PRP), y un dispositivo sin redundancia, SAN (Single Attached Node). [6]

Debido a los dispositivos SAN, se da la necesidad de integrarlo al protocolo PRP mediante otros dispositivos adyacentes con el fin de convertir el dispositivo SAN en uno DANP. En sistemas de comunicaciones de S/E dichos dispositivos reciben el nombre de Red Box. En la Figura *12* se puede observar lo descrito anteriormente.

Cabe resaltar que todos los componentes y equipos asociados a las dos redes son nodos lógicos, en donde se podrán inyectar variables (simulando señales de tensión y/o corriente) para probar el sistema de comunicaciones. Cada uno de los nodos lógicos debe ser de tipo DANP independientemente del tipo de equipo que sea (switch, relé, multimedidor, registrador de fallas, entre otros).

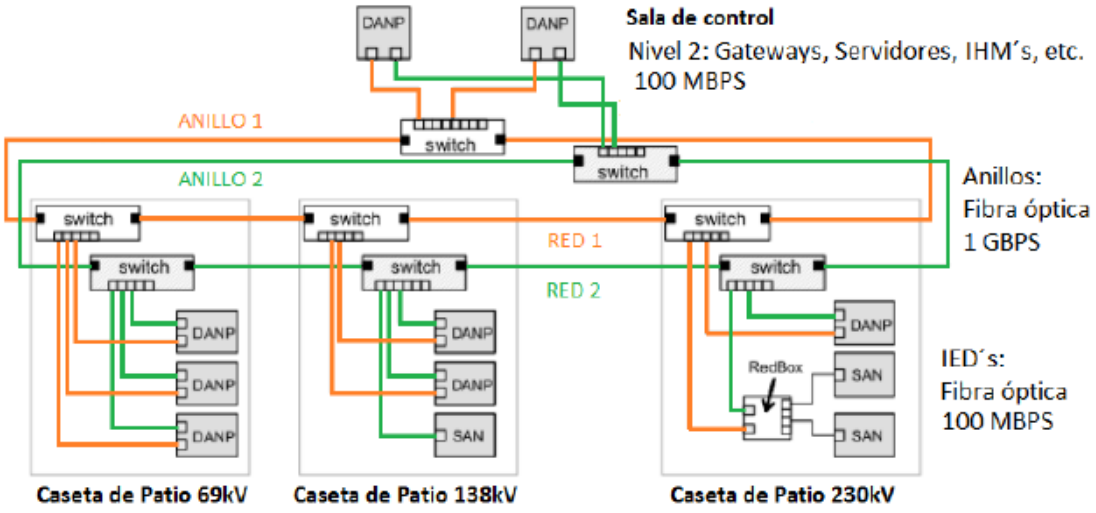



Figura 12. Esquema conceptual protocolo PRP en S/E *[2]*

### *3.1.1.3. Protocolo SNTP*

El protocolo SNTP por sus siglas en inglés Single Network Time Protocol es un protocolo basado en una aplicación de mantenimiento de la hora que permite sincronizar el hardware de una red LAN. Se puede utilizar un sistema operativo como servidor SNTP.

### *3.1.1.4. Protocolo PTP*

El protocolo PTP por sus siglas en inglés Precison Time Protocol hace referencia al tiempo de precisión de cada uno de los dispositivos de una red LAN, teniendo un dispositivo maestro que proporciona el reloj a los demás dispositivos, de acuerdo a la zona horaria. Este protocolo se rige por

la IEEE 1588 y es el encargado de proporcionar el tiempo (reloj) para el registro de eventos de los demás dispositivos. [7]

El funcionamiento de este protocolo se evidencia en el envío de la información de un reloj maestro a la red LAN, permitiendo que los demás dispositivos se sincronicen y utilicen dicha información para sus respectivas funciones. ***En los sistemas SAS el encargado de ser el reloj maestro es el dispositivo GPS conectado a cada red.***

#### *3.1.1.5. Niveles de control de la S/E Puerto Napo*

Dados los conceptos de protocolo PRP, PTP, SNTP, sistema SAS, dispositivos SAN y DANP, es necesario relacionar los tableros en cada uno de los niveles de control del SAS entendiendo que la disposición y distribución de los equipos y tableros obedece a los niveles de control establecidos en el SAS. A continuación, se evidencia dicha relación.

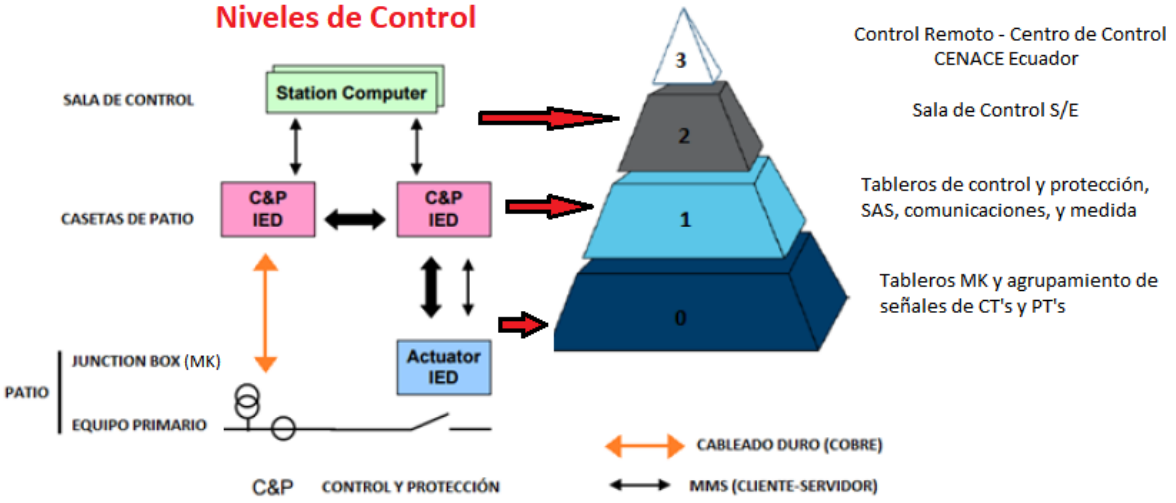



Figura 13. Niveles de control S/E Puerto Napo *[2]*

## 3.2. PRUEBAS PRE-FAT TABLEROS DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDIDA, MARSHALLING KIOSK Y DE AGRUPAMIENTO (CT'S Y PT'S)

Como se define en el glosario de términos, las pruebas PRE-FAT se realizan sin presencia del cliente y tienen como finalidad verificar el correcto funcionamiento de un dispositivo o sistema, realizando correcciones de diseño y operación en caso de ser necesario.

En esta sección se presentarán de manera general algunas de las pruebas exigidas por el cliente, algunas mínimas exigidas y realizadas de manera nacional e internacional, y otras encontradas en la literatura, todas estas enfocadas a la construcción de los tableros mencionados. Para ello se mostrarán de manera secuenciada y organizada, revisando el contenido de cada una de ellas tal y como se expone en la Tabla 2.

Cabe resaltar que EPC INGENIERÍA SAS es la encargada de la construcción de los tableros mencionados, pero el responsable del proyecto es GENERAL ELECTRIC (GE) Colombia y por ende algunas de las pruebas acá presentadas serán realizadas por personal de GE, así como otras serán realizadas en conjunto, garantizando la verificación del funcionamiento de los tableros y del sistema.

Dado que el cliente CELEC EP TRANSELECTIC tiene especificaciones puntuales en el manual de automatización de subestaciones presentado a EPC INGENIERÍA mediante GENERAL ELECTRIC, se expondrán algunas de las pruebas PRE-FAT recomendadas. [2] [8] Algunas pruebas que prueban el armado y desempeño del sistema SAS son:

- Pruebas de inspección visual e inventario detallado del hardware y software.
- Verificación de todos los componentes requeridos, configurados.
- Conductores y fibra óptica adecuadamente conectados y rotulados.
- Pruebas de diagnóstico de hardware.
- Pruebas de interfaces de comunicación.
- Verificación de funciones de adquisición de datos, comunicaciones.
- Pruebas de herramientas de software.
- Configuración y parametrización de equipos.
- Verificación de interfaces de usuario IHM.

Adicional a las pruebas recomendadas por el cliente final, para complementar el proyecto se busca documentación en la cual se relacione este tipo de pruebas por entidades o empresas que desarrollen proyectos de tableros para S/E, cabe aclarar que estos documentos son utilizados a manera de ejemplo y contextualización, mas no son la base sobre la cual se estructura el proyecto. Algunas de las pruebas PRE-FAT internacionales expuestas por la Comisión Federal de Electricidad de México [9] en la construcción de tableros contemplan:

Algunas pruebas

- Etiquetas de equipos montadas en las partes superior, frente y posterior de los tableros.
- Placas de identificación.
- Pruebas mecánicas (indagación y prueba a argollas de izaje).
- Prueba a relevadores de protección.
- Conductores debidamente etiquetados.
- Verificación del sistema de comunicaciones.
- Configuración y parametrización de equipos.
- Verificación de calibres de conductores.
- Correcta fijación de terminales mecánicas fabricadas en acero inoxidable.
- Energización e integración de equipos.
- Verificación de funcionamiento de controladores de bahía e interfaces MK’s.

Algunos otros ejemplos de pruebas PRE-FAT de ámbito nacional, encontradas en documentación de empresas tales como la Empresa de Energía de Bogotá (EEB) y la Empresa Electrificadora del Meta (EMSA) [4] [10] contemplan:

- Inspección visual y dimensional de los tableros, incluyendo color y adherencia de la pintura.
- Inventario de elementos y equipos de acuerdo a planos y lista de equipos.

- Inspección al cableado y a las conexiones.
- Comprobación al sistema de comunicaciones.
- Comprobación de la parametrización de los relés de protección:
  - Configuración de entradas y salidas.
  - Lógica de operación y enclavamiento.
- Comprobación de parametrización de equipos de medida.
- Apriete de conexiones y tornillería.
- Pruebas de interferencia electromagnética.
- Pruebas eléctricas de funcionamiento de los equipos internos.
- Inspección tipo de borneras utilizadas (seccionables, de control, cortocircuitables).
- Marquillado de cables de control-protección y comunicaciones.

Tomando como ejemplo de referencia el apartado de gabinetes del libro S/E de Alta y Extra Alta Tensión – Mejía Villegas [1] podemos observar que algunas pruebas internas enfocadas particularmente a los tableros son:

- Estado general del gabinete y cada componente.
- Identificación del gabinete.
- Identificación de elementos y equipos.
- Acabado y presentación general del alambrado.
- Marcación apropiada y calibre de conductores/cables.
- Terminales utilizados.
- Apriete de conexiones y terminales.

Una vez comprendidas las pruebas PRE-FAT, se mostrarán las pruebas más representativas en la Tabla 2, las cuales se tuvieron en cuenta para la construcción de los procedimientos y protocolos.

| Prueba | Descripción |
|---|---|
| 1 | Pruebas de Inspección visual e inventario detallado del hardware y software |
| 1.1 | Etiqueta de equipos |
| 1.2 | Placas de identificación |
| 1.3 | Dimensiones de los tableros |
| 1.4 | Tipos de borneras (seccionables, de control, cortocircuitables) |
| 1.5 | Estado de equipos inteligentes (relés, controladores de bahía, etc.) |
| 1.6 | Estado de la pintura (aislamiento del tablero según espesor de la pintura) |
| 1.7 | Cantidad de borneras de reserva |
| 1.8 | Apriete de tornillería y partes metálicas. |
| 1.9 | Inspección del cableado |
| 1.10 | Identificación del gabinete/tablero |
| 1.11 | Marquillado de cableado |
| 1.12 | Terminales utilizados |
| 2 | Verificación de todos los componentes requeridos, configurados |
| 2.1 | Verificación y energización de relés multifuncionales |
| 2.2 | Verificación y energización de controladores de bahía |
| 2.3 | Verificación y energización de registradores de fallas |

| | |
|---|---|
| 2.4 | Verificación y energización de medidores multifuncionales |
| 2.5 | Verificación y energización de switches de comunicaciones |
| 2.6 | Verificación y energización de medidores clase 0,2s |
| 2.7 | Verificación y energización PC's e IHM's |
| 2.8 | Verificación y energización de Merging Unit (IED) |
| 3 | Conductores y fibra óptica adecuadamente conectados y rotulados |
| 3.1 | Conexionado de acuerdo a arquitectura |
| 3.2 | Terminales correctamente utilizados |
| 3.3 | Rotulado |
| 4 | Pruebas de diagnóstico de hardware |
| 4.1 | Comprobación y parametrización de los relés multifuncionales |
| 4.2 | Parametrización Switches |
| 4.3 | Lógica de parametrización de relés |
| 4.4 | Comprobación equipos IHM |
| 4.5 | Parametrización controladores de Bahía |
| 5 | Pruebas de interfaces de comunicaciones |
| 5.1 | Comunicaciones de redes existentes |
| 5.2 | Comunicación de equipos asociados a la misma red |
| 5.3 | Suscripción de equipos a la red |
| 6 | Verificación de funciones de adquisición de datos, comunicaciones |
| 6.1 | Comprobación de funcionamiento independiente de redes dedicadas |
| 6.2 | Comunicación de equipos de la misma red |
| 7 | Pruebas de herramientas de software |
| 7.1 | Comprobación de conexión del sistema SCADA |
| 7.2 | Sistema operativo funcional de computadores |
| 8 | Configuración y parametrización de equipos |
| 9 | Verificación de interfaces de usuario IHM |

Tabla 2. Pruebas PRE-FAT tenidas en cuenta en la elaboración de procedimientos y protocolos.

Para la aplicación de las pruebas mencionadas en cada uno de los tableros, hay que tener en cuenta aquellos que tengan asociados IED's tales como relés, controladores de bahía, switches, entre otros para clasificar y discriminar pruebas específicas enfocadas al funcionamiento del sistema SAS.

Por esta razón a los procedimientos y protocolos de los tableros de agrupamiento de señales sólo se les incluirán pruebas generales ya que estos no cuentan con IED's.

### 3.3. PRUEBAS FAT TABLEROS DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDIDA, MARSHALLING KIOSK Y DE AGRUPAMIENTO (CT'S Y PT'S)

Como se define en el glosario de términos, las pruebas FAT se realizan en presencia del cliente y tienen como finalidad verificar el correcto funcionamiento de un dispositivo o sistema, evitando correcciones de diseño y operación.

De igual manera, en esta sección se presentarán de manera general algunas de las pruebas exigidas por el cliente, algunas mínimas exigidas y realizadas de manera nacional e internacional, todas estas

enfocadas a la construcción de los tableros mencionados. Para ello se mostrarán de manera secuenciada y organizada, revisando el contenido de cada una de ellas como en las pruebas PRE-FAT.

Cabe destacar que para este tipo de pruebas el fabricante (EPC INGENIERÍA SAS) proveerá del entorno y los equipos de laboratorio necesarios para energizar los tableros y para simular las condiciones y estados de la subestación, con el fin de probar el SAS.

Nuevamente, presentando las pruebas contempladas por CELEC EP TRANSELECTRIC, tenemos:

- Verificación de las funcionalidades requeridas por el SAS.
- Verificación de todas las funciones de interfaces de usuario, tales como controladores de bahía e IHM.
- Verificación de las capacidades de diagnóstico y mantenimiento de hardware y enlaces de comunicaciones.
- Pruebas de desempeño del sistema.
- Pruebas de robustez del sistema.
- Verificación de los esquemas de redundancia y recuperación ante fallas del SAS.
- Operación segura de comandos desde nivel 1, 2 y 3: seleccionar antes de operar.
- Protección contra accesos no autorizados al SAS.
- Verificación de sincronización.

De igual manera que se realizó para las pruebas PRE-FAT, en donde se buscaron antecedentes de documentos que relacionan este tipo de pruebas en proyectos similares, se hace para las pruebas FAT en donde se contemplan algunos de estos documentos a manera de ejemplo y contextualización, pero nunca con la intención de que sean la base del proyecto. Algunas pruebas FAT internacionales expuestas por la Comisión Federal de Electricidad de México [11] [12] en la construcción de tableros para S/E contemplan:

- Inspección Visual:
  - Acabados y pintura del gabinete.
  - Bisagras y tornillería adecuada y completa.
  - Manijas y llaves.
  - Placas de identificación de datos: #serie, modelo, tensión, frecuencia, entre otros.
  - Sujeción de relés de control.
  - Identificación del cableado a través de etiquetas de según código de colores.
  - Barra de tierra.
  - Aterrizado de todas las partes metálicas.
  - Verificación de conexiones internas.
  - Verificación dimensional del gabinete.
  - Planos aprobados.
  - Verificación de los interruptores y puentes.
  - Acabados de los circuitos.
- Verificación del procedimiento de instalación del software.
- Ubicación de los periféricos.
- Diagnóstico propio de periféricos.

- Arranque en frio.
- Seguridad del sistema.
- Pantallas de presentación y unifilares de la S/E.
- Ejecución de un mapa de navegación entre pantallas, menús, entre otros, relacionados con el SAS.
- Verificación de la adquisición de datos en tiempo real.
- Verificación de la medición, estados, acumuladores.
- Verificación de las acciones de control (abrir/cerrar).
- Verificación de las acciones de control (subir/bajar de nivel).
- Presentación de reportes en pantalla e impresora en forma simultánea.
- Habilitación/deshabilitación de puntos (binarios, analógicos, control).
- Pruebas de alarmas del estado del SAS.
- Registro y secuencia de eventos.
- Tiempos de respuesta de controles.
- Tiempos de presentación en pantallas.
- Verificación de canales de comunicación.
- Simulación de fallas en un canal de comunicación.
- Verificación sistemas redundantes.
- Conmutación de canales de comunicación.
- Avalancha del 100% de las entradas sin degradación del performance.
- Verificación de la comunicación con el subsistema de protección y medición, así como los medios de monitoreo y enlace.
- Verificación de la adquisición de datos en tiempo real de los relés de protección, registradores de falla y medidores multifuncionales.
- Pruebas de sincronización de equipos.
- Pruebas de comportamiento del sistema

Algunos ejemplos de pruebas FAT en el entorno nacional encontradas en la empresa EBB [4] contemplan:

Para el ***sistema de protección***, ***teleprotección*** y ***registradores de falla*** se evidencia:

- Pruebas de hardware de protecciones.
- Pruebas de alimentación DC para cada una de las protecciones (polaridad independiente).
- Pruebas de reporte de log de eventos.
- Pruebas inicialización de protecciones (tiempos de descarga de ajustes y reconfiguración de relés).
- Prueba de medición de tiempos de alimentación a estado operativo de protecciones.
- Pruebas de medición de tiempos de operación en contactos de salida rápidos.
- Prueba de operatividad funcional bloques de prueba.
- Pruebas de reporte de fallas.
- Pruebas de reporte de LED.
- Pruebas de operación individual de protecciones (por función).
- Pruebas de condiciones de bloqueo en funciones de protección.

- Pruebas funcionales de protecciones.
- Pruebas a los registradores de falla.
- Pruebas teleprotecciones.
- Pruebas de recierre y sincronismo.
- Pruebas de falla interruptor por etapas.
- Pruebas a contador de operaciones para recierre (por fase) y envío/recepción en canales de teleprotección.
- Pruebas por diferencial de barras.
- Pruebas de lógicas de disparo.
- Pruebas a la matriz de disparos.
- Pruebas End to End (pruebas sincronizadas mediante GPS que verifican el comportamiento de las protecciones en extremos de una línea).
- Pruebas de reporte de fallas.
- Pruebas del software de gestión de protecciones, desde niveles 2 y 3 (hacia servidor recolector de eventos).

Para el ***sistema de control*** y ***comunicaciones*** locales se evidencia:

Pruebas individuales:

- Sistema de respaldo (mandos desde selectores de nivel de respaldo) de acuerdo a ingeniería.
- Controladores de bahía.
- Relés de protecciones, conectados con la red LAN.
- Medidores multifuncionales asociados al controlador de equipos generales, conectados con la red LAN.
- Registradores de falla y teleprotecciones.
- GPS y demás elementos de sincronización de tiempo, a cada uno de los equipos componentes de las pruebas.
- Controladores de la S/E.
- Estaciones de operación IHM.
- Equipos de comunicación: switches, router y firewall.

Para cada uno de los ítems mencionados se deberá registrar:

- ✓ Hardware: modelo, serial de equipos de acuerdo a especificaciones técnicas.
- ✓ Correcto funcionamiento del hardware y su sistema operativo.
- ✓ Pruebas operacionales del software: licencias, upgrades, service pack, etc.

Pruebas integrales:

- Funciones de control.
- Verificación de las secuencias de conexión y desconexión de las bahías y sus enclavamientos.
- Capacidad de diagnóstico de hardware y software.
- Pruebas de recuperación de SAS después de una falla de energía.
- Pruebas de sincronización automática y manual.
- Prueba de avalancha de eventos.
- Pruebas de redundancia en los controladores de la S/E.

- Pruebas de redundancia en la red LAN.
- Pruebas en la mensajería instantánea GOOSE.
- Pruebas de control de acceso.
- Pruebas de enclavamientos.
- Verificación de arquitectura de comunicaciones.
- Pruebas de seguridad de comunicaciones.
- Pruebas de redundancia de IED's.
- Verificación de correcto mapeo y agrupamiento de señales.

Pruebas para el ***sistema de medida*** se evidencia:

- Pruebas de hardware.
- Pruebas de alimentación DC.
- Pruebas de inyección secundaria en los cuatro cuadrantes de potencia.
- Pruebas de generación de reportes.

Pruebas para ***gabinetes en general*** se evidencia:

- Pruebas de correcto montaje de equipos y elementos constitutivos.
- Pruebas de verificación del conexionado interno de acuerdo a ingeniería aprobada.
- Pruebas de energización de equipos IED de los tableros.
- Pruebas de energización y funcionamiento de dispositivos/elementos constitutivos.
- Pruebas mecánicas del gabinete.
- Registro de información del gabinete.
- Pruebas generales de energización DC y AC.

Se revisa a manera de ejemplo las pruebas FAT encontradas en la empresa EMSA [10] las cuales contemplan:

- Pruebas PRE-FAT
- Comprobación de la comunicación remota y local con cada uno de los equipos IED's.
- Inyecciones de corrientes y tensión según funciones y esquemas de protección.
- Comprobación de la parametrización de los relés de protección:
  - Configuración de entradas y salidas.
  - Lógicas de operación y enclavamiento.
  - Ajuste de operación según estudio de coordinación de protecciones.
- Verificación funcional de:
  - Entradas análogas y digitales.
  - Lógicas de operación y enclavamiento.
  - Operación de las funciones de protección.
  - Salidas, alarmas y señalización.
- Comprobación de la parametrización de equipos de medida.
- Verificación funcional de los equipos de medida.
- Verificación de la filosofía de operación y lógicas de operación y enclavamiento de todos los equipos según la ingeniería básica y en particular los diagramas de principio.

- Pruebas simuladas de todas las funciones de control, protección, medida, analizado de red y registro de eventos relacionadas en las especificaciones técnicas particulares de cada equipo y en la ingeniería básica.
- Ensayo de aislamiento con una tensión de 2kV durante 1 min según IEC 60255.

Una vez comprendidas las pruebas FAT, se tomarán las más significativas, tomando con mayor relevancia los apartados de inspección visual, pruebas mecánicas y pruebas eléctricas de los tableros, ya que gran parte de las pruebas FAT efectuadas al sistema SAS serán ejecutadas por personal de GE.

## 3.4. NORMATIVA

En esta sección se mostrarán algunas de las normas encontradas en los manuales, especificaciones técnicas, y guías de construcción de tableros eléctricos de S/E publicadas para la ejecución de proyectos [10] [2] [4] [13] [14]. A partir de estas referencias bibliográficas se mostrarán de manera general las normas aplicables a la construcción de los tableros de control, protección, medida, comunicaciones, registro, agrupamiento de señales, y marshalling kiosk, clasificando en grupos aquellas que aplican a los principales sistemas que se interrelacionan en dichos tableros.

Sin embargo, cabe aclarar que varias de estas normas recopiladas y presentes en las siguientes tablas (Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6) se aplican específicamente a equipos, dejando como criterio de fabricación la selección de normas específicas para la construcción de los tableros.

Nota: Dentro de la normativa aplicable se hace énfasis en la reglamentación que presentan entidades nacionales como la CREG (025), el RETIE (2013) y el código eléctrico colombiano NTC 2050, base de los lineamientos aplicados a la construcción de tableros eléctricos. Gran parte de los aspectos contenidos en la normatividad mencionada se encuentran contemplados en la normativa internacional expuesta en las siguientes tablas.

### 3.4.1. Normativa Sistema de Control y Protección

| Control y Protección | |
|---|---|
| **Norma** | **Descripción** |
| IEC 60051 | Instrumentos de medida analógica de indicación directa y sus accesorios |
| IEC 60255 | Relés de medida y equipos de protección |
| IEC 60255 1 00 | Relés eléctricos |
| IEC 60255 2 20 | Tipos de contactos relés eléctricos |
| IEC 60255 22 1 | Medidas de relés y equipos de protección/pruebas de interferencia 1MHz |
| IEC 60255 22 2 | Medidas de relés y equipos de protección/pruebas de interferencia electromagnética |
| IEC 60255 22 3 | Medidas de relés y equipos de protección/pruebas de interferencia campo electromagnético |
| IEC 60255 22 4 | Medidas de relés y equipos de protección/pruebas de transitorios rápidos |
| IEC 60255 22 5 | Medidas de relés y equipos de protección/pruebas de sobretensiones |
| IEC 60255 23 | Relés eléctricos |

| | |
|---|---|
| IEC 60255 24 | Medidas de relés y equipos de protección/pruebas de transitorios rápidos formato COMTRADE |
| IEC 60255 26 | Medidas de relés y equipos de protección/requerimientos compatibilidad electromagnética |
| IEC 60255 27 | Medidas de relés y equipos de protección/requisitos de seguridad de producto |
| IEC 60255 5 | Coordinación de aislamiento para relés y equipos de protección/requerimientos y pruebas |
| IEC 60255 6 | Medición relés y equipos de protección |
| IEC 61000 4 7 | Compatibilidad electromagnética/pruebas y técnicas de medida. Guía general |
| IEC 60381 | Procesamiento de señales análogas en sistemas de control |
| IEC 60478 | Estabilidad fuentes DC de alimentación |
| IEC 60654 | Especificaciones de aislamiento en celosía para fines eléctricos |
| IEC 60694 | Especificaciones para campos/bahías de AT y estándares de control |
| IEC 61000 4 11 | Especificaciones compatibilidad electromagnética; Inmunidad contra variaciones de voltaje. |
| IEC 61000 4 12 | Especificaciones compatibilidad electromagnética; Inmunidad de onda. |
| IEC 61000 4 15 | Especificaciones compatibilidad electromagnética; Variaciones de voltaje Flicker (90-110%) |
| IEC 61000 4 2 | Especificaciones compatibilidad electromagnética; Estándares de prueba. |
| IEC 61000 4 3 | Especificaciones compatibilidad electromagnética; Interferencia electromagnética, radio-frecuencia y campo electromagnético. |
| IEC 61000 4 4 | Especificaciones compatibilidad electromagnética; Inmunidad contra transitorios rápidos. |
| IEC 61000 4 5 | Especificaciones compatibilidad electromagnética; Test de Inmunidad en la fuente. |
| IEC 61131 | Controles programables |
| IEC 62381 | Sistemas de automatización, pruebas FAT, SAT e integración del sistema |
| IEEE C37.90 | Estándar de relés y sistemas con aparatos eléctricos asociados |
| IEEE C37.118-2005 | Sincrofasores para sistemas de potencia |
| RETIE 15.1 | Requisito |

Tabla 3. Normativa aplicable a sistemas de control y protección

### 3.4.2. Normativa Sistema de Medida

| **Medida** | |
|---|---|
| **Norma** | **Descripción** |
| IEC 61000 4 7 | Compatibilidad electromagnética/pruebas y técnicas de medida. Guía general |
| IEC 61000 4 15 | Compatibilidad electromagnética/Pruebas y medidas funcionales de un Flickermetro |
| IEC 62052 22 | Equipo eléctrico de medida/requerimientos particulares de medida de energía activa (clases 0,2s y 0,5s) |
| IEC 62052 23 | Equipo eléctrico de medida/requerimientos particulares de medida de energía reactiva (clases 0,2s y 0,5s) |
| IEEE 519 | Recomendaciones prácticas y requerimientos para control de armónicos en SEP |

Tabla 4. Normativa aplicable a sistemas de medida

### 3.4.3. Normativa Sistema de Comunicaciones

| Comunicaciones | |
|---|---|
| **Norma** | **Descripción** |
| IEC 60793 | Fibras ópticas |
| IEC 60794 | Cables de fibra óptica |
| IEC 60870 5 101 | Equipo y sistema de telecontrol |
| IEC 60870 5 104 | Actualización de IEC 60870 5 101 |
| IEC 60874 | Dispositivos de interconexión de fibra óptica y componentes pasivos/ Conectores para cables ópticos |
| IEC 61850 | Redes de comunicaciones y sistemas en S/E |
| IEC 62439 | Redes de Comunicación industrial. Redes de automatización de alta disponibilidad |
| IEC 62439 3 | Protocolo de redundancia paralela PRP y redundancia HSR |
| IEC TR 60847 | Características de las redes LAN |
| IEC 7498 1 | Modelo de referencia básica para sistemas abiertos |
| IEEE 1588 | Estándar para sincronización del reloj de precisión para sistemas de medición y control |
| IEEE 1613 | Requisitos ambientales y de prueba para dispositivos de redes de comunicaciones en S/E |
| IEEE 802 | Estándar y requerimientos para comunicación entre redes LAN y MAN |
| IEEE 802.1Q | Estándar para puentes de comunicación de redes LAN y MAN mediante direcciones MAC |
| IEEE 802.3 | Estándar para base de información de gestión (MIB) y definiciones Ethernet |
| ITU-T G.652 | Características de cables y fibras ópticas monomodo |
| ITU-T G.803 | Arquitectura de redes de transporte basadas en jerarquía de sincronización digital (SDH) |
| ITU-T G.826 | Parámetros y objetivos de rendimiento de error end to end con conexiones a velocidad constante |
| ITU-T G.957 | Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con SDH |
| NEMA TS2 | Estándar para conexión de controlador de trafico |

Tabla 5. Normativa aplicable a sistemas de comunicaciones

### 3.4.4. Normativa Gabinetes / Tableros

| Gabinetes / Tableros | |
|---|---|
| **Norma** | **Descripción** |
| IEC 60083 | Estándar para enchufes y tomacorrientes domésticos o similares |
| IEC 60439 | Montaje de interruptores y equipos de control de bajo voltaje |
| IEC 60721 3 4 | Clasificación de grupos de parámetros ambientales y sus severidades. Cap 4: Uso estacionario en lugares no protegidos contra la intemperie |
| IEC 60721 3 2 | Clasificación de grupos de parámetros ambientales y sus severidades. Cap 2: Transporte |
| IEC 60721 3 3 | Clasificación de grupos de parámetros ambientales y sus severidades. Cap 3: Uso estacionario en lugares protegidos |
| IEC 60898 2 | Circuit Breakers (CB) para protecciones de sobrecorriente en casas e instalaciones similares. Parte 2: Operación de CB en AC y DC |

| | |
|---|---|
| IEC 60947 2 | Interruptores y equipos de control de bajo voltaje. Parte 2: Circuit Breakers |
| IEC 61000 | Compatibilidad electromagnética |
| IEC 61000 4 11 | Parte 4-11: Pruebas y técnicas de medidas de huecos de voltaje, cortas interrupciones y voltaje |
| IEC 61000 4 12 | Parte 4-12: Pruebas y técnicas de medida para prueba de inmunidad conta onda de llamada |
| IEC 61000 4 2 | Parte 4-2: Pruebas y técnicas de medida para prueba de inmunidad ante descargas electrostáticas |
| IEC 61000 4 3 | Parte 4-3: Pruebas y técnicas de medida para interferencia por radio frecuencia y campo electromagnético |
| IEC 61000 4 4 | Parte 4-4: Pruebas y técnicas de medida para prueba de inmunidad ante transitorios/ráfagas rápidos |
| IEC 61000 4 5 | Parte 4-5: Pruebas y técnicas de medida para prueba de inmunidad contra sobretensiones |
| IEC 61000 6 2 | Parte 6-2: Estándares generales de inmunidad para ambientes industriales |
| IEC 60068 2 1 | Pruebas ambientales de equipos electrónicos. Parte 2-1: Prueba A – Prueba de frío |
| IEC 60068 2 2 | Pruebas ambientales de equipos electrónicos. Parte 2-2: Prueba B – Prueba de calor seco |
| IEC 60068 2 27 | Pruebas ambientales de equipos electrónicos. Parte 2-27: Prueba Ea: choque y debilidad mecánica |
| IEC 60068 2 3 | Procedimientos básicos de pruebas ambientales de equipos electrónicos. Parte 2: Prueba C: Prueba de calor húmedo a gran periodo de tiempo |
| IEC 60068 2 6 | Pruebas ambientales. Parte 2-6: Prueba Fc: Vibración (sinusoidal) |
| IEC 600947 | Interruptores y equipos de control de bajo voltaje. |
| IEC 60255 0 20 | Contactos de relés eléctricos |
| IEC 60227 1 | Cables aislados con policloruro de vinilo para tensiones de hasta 450/750 V |
| IEC 60228 | Conductores de cables aislados |
| IEC 60297 | Estructuras mecánicas para equipos electrónicos. Dimensiones de estructuras mecánicas |
| IEC 60439 | Montaje de interruptores y equipos de control de bajo voltaje |
| IEC 60512 | Componentes electromecánicos para equipos electrónicos, procedimientos para pruebas básicas y métodos de medida |
| IEC 60529 | Grados de protección |
| IEC 60603 | Conexiones para equipos electrónicos |
| IEC 60617 12 | Símbolos gráficos para diagramas. Parte 12: Lógica binaria de elementos |
| IEC 60617 13 | Símbolos gráficos para diagramas. Parte 13: Elementos análogos |
| IEC 60668 | Dimensiones de áreas y cortes para instrumentos de control y medición de procesos industriales montados en rack |
| IEC 60715 | Dimensiones de interruptores y equipos de control. Estándares de montaje en rieles mecánicos |
| IEC 60721 3 1 | Clasificación de condiciones ambientales. Parte 3-1: Almacenamiento |
| IEC 60801 | Compatibilidad electromagnética para procesos de medida y equipos de control industriales |
| IEC 61082 | Preparación de documentos utilizados en electrotecnia |
| UNE 60204-1 | Demarcación de conexionado de equipos |
| IEC/EN 81346 | Nomenclatura de instalaciones y equipos industriales |

| | |
|---|---|
| IEC/EN 61439 1 | Montaje de interruptores y equipo de control de bajo voltaje. Parte 1: Generalidades |
| IEC/EN 61439 2 | Montaje de interruptores y equipo de control de bajo voltaje. Parte 2: Alimentación y montaje de interruptores y equipos de control |
| NTC 3278 | Paneles de maniobra y control de baja tensión |
| UL-891 | Cuadros de distribución hasta 600V |
| UL-508 | Estándar para equipos de control industrial |
| UL-67 | Estándar para paneles de control y protección. Circuitos de control, protección e iluminación |
| NTC 3279 | Grados de protección IP de tableros |
| NTC 811 | Método para medir la adherencia del recubrimiento de pintura. Ensayo cinta. |
| RETIE | Anexo General. Artículo 15. Requerimientos sistema de puesta a tierra. |
| RETIE | Anexo General. Artículo 17. Sistemas de iluminación. |
| RETIE | Anexo General. Artículo 18. Secciones 18.1,18.2,18.3 y 18.4. Trabajos en redes desenergizadas. |
| RETIE | Anexo General. Secciones 20.23.1.1 y 20.23.1.3. Encerramiento de gabinetes y terminales de alambrado |
| NTC 2050 | Sección 373. Armarios, cajas de corte y tableros de medidores enchufables. |
| CREG 025 | Comisión de regulación de energía y gas. |
| IEEE 280 | Símbolos estandarizados de cantidades utilizadas en ciencia e ingeniería eléctrica |

Tabla 6. Normativa aplicable a tableros de S/E

Teniendo clara toda la normativa aplicable a la construcción de los tableros y al funcionamiento de los sistemas inmersos en ellos, es necesario revisar de manera general algunos requerimientos mínimos de diseño expuestos por empresas y entidades gubernamentales tales como la Empresa de Energía de Bogotá [4], la Empresa Electrificadora del Meta [10], Empresas Públicas de Medellín [13], Celec EP Transelectric [2] y el Consejo Federal de Energía Eléctrica – Argentina [14] para ver la condiciones generales requeridas y para identificar aspectos en donde se observe la necesidad de aplicar la normativa consultada.

### 3.4.5. EJEMPLO: Requerimientos constructivos de tableros de control y protección - Empresa de Energía de Bogotá (EEB)

En esta sección se muestran algunas características mínimas para los gabinetes que hacen parte de la EEB [4]. Sin embargo, hay elementos constitutivos de los tableros que no se tienen en cuentan y serán aclarados en las secciones de Procedimientos y Protocolos.

***Requerimientos generales***

- ✓ Todos los materiales implementados deben ser nuevos y libres de imperfecciones
- ✓ Cables deben indicar grados (°C) y clasificación
- ✓ Elementos y equipos distribuidos de forma uniforme y compacta dentro del tablero
- ✓ Descripción detallada de los tableros (de elementos y equipos)
- ✓ Planos con la distribución
- ✓ Dimensiones de los tableros de acuerdo a planos
- ✓ En el conexionado en patio solo será posible manipular las borneras asignadas para conexión con otros tableros

- ✓ Cableado técnicamente desarrollado, sin empalmes y arreglo uniforme de circuitos
- ✓ Haces de cables debidamente alineados y llevados en canaleta, evitando cruces
- ✓ Canaletas con ángulos de 90° cuando se requiera cambios de dirección
- ✓ Haces de cables debidamente sujetados con amarres en posiciones uniformes
- ✓ Canaletas conductoras deberán ser dimensionadas de forma tal que permitan el cierre sin requerir elementos externos
- ✓ Separación entre elementos debe permitir el fácil acceso a estos
- ✓ Se debe contar con una barra de cobre para tierra con bordes de conexión de cables de mínimo 35 mm^2, teniendo puertas, bastidores y basculante aterrillados a ella.
- ✓ Todos los equipos montados deberán ser identificados de acuerdo a nomenclatura de ingeniería
- ✓ Gabinetes de tipo interno deberán tener un grado de protección IP64
- ✓ Gabinetes de tipo exterior deberán tener un grado de protección IP65
- ✓ En el uso de perforaciones no deben quedar rebabas
- ✓ Ajuste y cierre adecuado de las puertas
- ✓ Dimensiones de gabinetes de control y protección deberán ser de mínimo 2200x800x800 mm, los MK deberán contar con un mínimo de 2200x1000x1000 mm (Alto x Ancho x Profundo)
- ✓ Espesor estructura en lámina de acero mínimo de 2,5mm, para techo y laterales mínimo 1,5mm, para puertas y laminas que soportan equipos 2,0 mm
- ✓ Vidrios frontales de puertas debe ser templado y tener un espesor mínimo de 6,0 mm
- ✓ Puertas frontales con manija y con una rotación de 120°
- ✓ Pintura del tablero debe ser RAL 7032

***Bloques de prueba***

- ✓ Protecciones deberán ir asociadas a los bloques de pruebas necesarios en los esquemáticos
- ✓ Para las protecciones que requiere doble bloque de prueba, uno estará destinado a señales análogas y otro a señales digitales
- ✓ Los bloques deben disponer de un ping de seguridad (mecanismo de presión)
- ✓ Bloques de pruebas deberán ser RTXP
- ✓ Deberán contar con bornes de alimentación DC

***Mini Circuit Breakers***

- ✓ Deberán tener un mínimo de 2 contactos auxiliares para disparo y posición
- ✓ Capacidad de acuerdo al estudio de protecciones
- ✓ Capacidad de interrupción de corriente de hasta 15kA (10 kA en DC y 5 en AC) según IEC 60947 2
- ✓ MCB's DC deberán ser de montaje rápido tipo riel, curva de disparo tipo C, apto para funcionamiento a 400V entre fases y 250 V fase neutro a tensión nominal, apto para unas 20.000 operaciones
- ✓ MCB's AC deberán ser de montaje rápido tipo riel, curva de disparo tipo C, apto para funcionamiento a 400V entre fases y 230 V fase neutro a tensión nominal, apto para unas 20.000 operaciones
- ✓ Todos deben tener la capacidad de conexión para conductores de calibres 8 a 14 AWG

***Borneras***

- ✓ Cada gabinete debe tener las borneras para cortocircuitar los secundarios de los CT's

- ✓ Los cortocircuitos deben ser visibles
- ✓ Cada gabinete debe tener borneras para agrupar señales de los PT's
- ✓ Se debe dejar como mínimo un 20% de puntos de borneras libres como reserva
- ✓ Las borneras para polaridades deberán ser de referencia UK10N-UK5N (Phoenix Contact) o WDU (Weidmuller)
- ✓ Las borneras para control y protección deberán ser de referencia UK5-MTK P/P (Phoenix Contact) o WTR 4SL (Weidmuller)
- ✓ Las borneras para señales de corriente y tensión deberán ser de referencia URTK-SP (Phoenix Contact) o WTQ 6/1 (Weidmuller)
- ✓ Las borneras para tierra deberán ser de referencia UDK-4PE (Phoenix Contact) o WPE (Weidmuller)
- ✓ Las borneras de tensiones y corrientes deberán ser las mismas en todo el recorrido de los circuitos
- ✓ Bornera de control de color gris del tipo seccionable con cuchilla
- ✓ Borneras de tensión de color gris tipo seccionable
- ✓ Borneras de corriente de color gris seccionable con puente visible
- ✓ Las borneras deberán estar debidamente enumeradas y marcadas de acuerdo a sus grupos
- ✓ Las borneras de corriente y tensión deberán ser marcadas/enumeradas en ambos costados (interior y exterior)
- ✓ No deben haber más de dos conexiones por punto, exceptuando criterios de diseño

***Terminales***

- ✓ Color del terminal acorde al calibre del conductor empleado
- ✓ Deberán ser apropiados de acuerdo a la conexión (tipo de bornera o conexión a IED)
- ✓ Tipo de señal:
  - Corrientes: terminal de ojo aislada
  - Tensiones: terminal tipo espada aislada
  - Control: terminal de espada aislada
  - Especiales: terminal hembra o macho aislada
  - Puestas a Tierra: terminal de ojo o espada sin aislar
- ✓ Nivel de aislamiento de acuerdo al calibre del conductor

***Cables y conexionado***

- ✓ Debe ser de fácil acceso de tal forma que permita mantenimiento preventivo y correctivo
- ✓ Ningún punto de conexión de un aparato debe tener conectado más de un cable por el mismo lado, exceptuando criterios aprobados por la empresa
- ✓ En caso de tener la necesidad de conectar borneras deberá hacerse mediante puentes metálicos y no por cables
- ✓ Los conductores deberán cumplir la clase 2 estipulada en la IEC 60228
- ✓ Los cables deberán tener reserva de longitud en caso de presentarse cambios
- ✓ Aislamiento de conductores tipo PVC/A según IEC 60502
- ✓ Cables con nivel de aislamiento de 300/500 V deberán cumplir con la IEC 60227
- ✓ Aislamiento de conductores tipo THW
- ✓ Deberán tenerse en cuenta los estudios de regulación de tensión y efecto térmico
- ✓ Calibre mínimo para circuitos de disparo será de 12 AWG
- ✓ Calibre mínimo para circuitos de corrientes será de 12 AWG

- ✓ Calibre mínimo para tierras será de 14 AWG
- ✓ Calibre mínimo para control y tensiones será de 14 AWG
- ✓ Calibre mínimo para alimentación AC y DC será de 14 AWG
- ✓ Cables de aterrizaje de puertas expuestos a cortes deberán ser debidamente protegidos
- ✓ El color de los conductores para los sistemas AC deberá corresponder con el código de colores según el país (en Colombia aplica el RETIE)

***Marquillado***

- ✓ Todos los puntos de conexión deben tener marquillas bien sujetas al cable, de tal forma que estas no tengan la posibilidad de ser dañadas o retiradas del cable.
- ✓ La nomenclatura debe ser la utilizada tal y como se encuentra en los diseños de la ingeniería reflejando punto de origen y punto destino
- ✓ No se aceptan cables con material adhesivo ni marquillas de tipo inserción (sobreponer)
- ✓ Las marquillas deben ser del tipo termo-encogible de material anti-deflagrante, color amarillo
- ✓ Marquillas para fibra óptica deben ser de color blanco, indicando punto de origen y punto de destino
- ✓ Marquillas de redes PRP de comunicaciones (redes paralelas redundantes) deberán ser de colores distintos, siendo rojas las de la red LAN A y azules las de la red LAN B según la IEC62439-3 (ítem 4.2).

***Calefacción***

- ✓ Cada gabinete deberá contar con una resistencia de calefacción de 50 a 100 W
- ✓ La resistencia será ubicada en la parte inferior de los gabinetes con su debida protección metálica que evite el contacto
- ✓ La resistencia deberá ser acompañada por un termóstato o un higrostato para el control automático de la temperatura y su respectivo MCB asociado.

***Iluminación y tomacorriente***

- ✓ Cada gabinete deberá contar con un tomacorriente dúplex de 20A de dos polos y tierra con una tensión de operación de hasta 240V
- ✓ Los gabinetes deberán contar con lámpara de iluminación fluorescente en AC, con encendido automático cuando se abra la puerta del gabinete

Relés auxiliares

- ✓ Nivel de aislamiento de 600 V para relés sin conexiones hacia patio de la S/E
- ✓ Nivel de aislamiento de 1000 V para relés con conexiones hacia patio de la S/E
- ✓ Tensión para protección y mando deberá ser de 125 VDC:
  - Operación entre el 80 y 100% de Vn
  - Contactos con nivel de trabajo III
  - Corriente permanente asignada 10A
  - Corriente máxima de operación 30 A durante 0,5 s
  - Vida eléctrica: 1 millón de operaciones
  - Top = 8 ms
- ✓ Tensión para control y protección deberá ser de 15 VDC:
  - Operación entre el 80 y 100% de Vn
  - Contactos con nivel de trabajo II
  - Corriente permanente asignada 5 A
  - Vida eléctrica: 1 millón de operaciones

- Top = 20 ms

### 3.4.6. EJEMPLO: Especificaciones constructivas aplicables a tableros – Consejo Federal de Energía Eléctrica (CFEE / Argentina)

En esta sección se mostrarán algunos criterios tenidos en cuenta en Argentina, con el fin de no perder la visión internacional y de observar las generalidades presentes en Suramérica para la construcción de este tipo de tableros, esto debido a que finalmente los tableros entrarán en funcionamiento en la S/E de Puerto Napo Ecuador.

***Características generales***

- ✓ Espesor de chapa plegable mínimo de 2,10 mm (BWG 14), cerrados en 6 o 5 lados según el tipo
- ✓ Estructuras auto soportadas deberán tener un espesor de 3 mm
- ✓ Si alguna parte de la estructura sobresale deberá ser desmontable
- ✓ Si existen calados laterales se deberá contar con elementos de sujeción y obturación de los mismos
- ✓ Puertas y bandejas contarán con bisagras interiores y exteriores, contando con refuerzos para evitar la deformación de las mismas
- ✓ Manijas tipo empuñadura
- ✓ Seguro de máxima apertura de tableros a 90° que impida el cierre y/o apertura intempestiva
- ✓ Cada reverso de las puertas deberá contar con un bolsillo portaplanos de dimensiones A4
- ✓ Toda superficie deberá ser lisa excepto aquellas que contengan agujeros de anclaje
- ✓ Vidrios de las puertas deberán tener un mínimo de 6,0 mm de espesor, siendo este vidrio templado

***Superficies y terminados***

- ✓ Todo acabado deberá tener una imprimación de por lo menos 10 micrones
- ✓ Pintados interiores de 30 micrones de espesor
- ✓ Pintura externa deberá ser de un mínimo de 40 micrones
- ✓ Para tableros de tipo exterior la lámina deberá ser de acero galvanizado
- ✓ EL color de los tableros deberá cumplir con el RAL 7032 exceptuando criterios del contratista
- ✓ No es permitido superficies con abolladuras ni excesos de pintura en ellas

***Disposición de elementos***

- ✓ Accesibles a manejo y mantenimiento
- ✓ Elementos desmontables (cambio de terminales, botoneras, etc.)
- ✓ No se acepta la colocación de dispositivos de protección en puertas o bandejas removibles
- ✓ Todos los IED’s deben ser visibles y de fácil acceso
- ✓ Todos los instrumentos pulsadores, MCB’s, señalización, relés y equipos de protección deberán ir a una altura superior de 1,10m y a una altura inferior de 2 m

***Identificación de elementos***

- ✓ Todos los MCB’s y equipos de control y protección deberán estar identificados con chapas de un espesor de 3 mm con la nomenclatura de ingeniería, fondo gris y letras negras
- ✓ Conductores deberán ser marcados en sus extremos previniendo desprendimientos involuntarios

- ✓ En la parte frontal de cada tablero se deberá identificar el número y funcionalidad
- ✓ Todos los bornes deberán estar convenientemente numerados
- ✓ Todas las borneras y grupos de ellas deberán estar identificadas con un código respectivo

***Cableado***

- ✓ No se aceptarán empalmes en sus recorridos
- ✓ Los cables serán de tipo anti-incendio
- ✓ La sección mínima de los cables será de 1,5 mm^2 (16 AWG) para circuitos de comandos, señalización y alarmas
- ✓ La sección mínima de los cables será de 2,5 mm^2 (14 AWG) para circuitos de tensión y corriente
- ✓ La sección mínima de los cables será de 4 mm^2 (12 AWG) para circuitos de protección y medición
- ✓ Cables de conexionado interno deberán ser flexibles

***Canaletas***

- ✓ Canaletas de plástico con ranuras en los laterales hasta el borde superior de las mismas
- ✓ Canaletas deben cerrar adecuadamente sin esfuerzo externos
- ✓ Deberán ser autoextinguibles
- ✓ El área ocupada deberá ser no mayor al 50% en los recorridos internos del tablero, para cableado exterior no se debe exceder el 75%

***Borneras***

- ✓ Todas deberán estar convenientemente numeradas y dispuestas en cada panel
- ✓ Al existir tensiones de control diferentes a 125V se deberán separar los grupos de borneras
- ✓ Los circuitos de medición de corriente deberán contar con borneras cortocircuitables para la proteccion de los CT's
- ✓ Para cada grupo deberá existir por lo menos una bornera adicional para la conexión de un elemento adicional

### 3.4.7. EJEMPLO: Especificaciones constructivas contempladas por EMSA y EPM en tableros de control y protección

En esta sección se muestran otras consideraciones tenidas en cuenta por grandes empresas del país. [10] [13]

***Requisitos generales***

- ✓ Láminas de acero moldeadas en frío, convenientemente fijados y asegurados
- ✓ Estructura libre de abolladuras, grietas y otros defectos
- ✓ Dimensiones adecuadas que den suficiente espacio para la entrada del cable y el alambrado hasta las borneras facilitando la inspección y mantenimiento
- ✓ Equipos dimensionados para contener equipos de control, protección y medida en una sola columna, es decir, cada gabinete contará con dichos equipos en su puerta frontal
- ✓ Los tableros previstos para instalación interior deberán contar con puerta y ventana firme de vidrio

***Cableado***

- ✓ Todos los conductores no deberán tener un calibre menor a 14 AWG
- ✓ Cableado aislado para tensiones de 600V

- ✓ Para señales de los CT's el calibre mínimo deberá ser de 10 AWG
- ✓ Todo el cableado debe estar debidamente Marquillado e identificado según nomenclatura de ingeniería
- ✓ No se acepta más de un cable por punto de conexión

***Borneras***

- ✓ Cada bornera deberá estar debidamente identificada por su número correspondiente
- ✓ Cada punto de bornera no deberá tener dos cables asociados, exceptuando criterios de diseño

***Resistencia de calefacción***

- ✓ Deberá proveerse en conjunto a un sistema de calefacción contra humedad
- ✓ La resistencia debe estar localizada en la parte más baja del tablero en forma de que no sea un peligro para el cableado
- ✓ La resistencia debe estar fuera del alcance de los relés para que esta no afecte el rango de temperatura y/o calibración de los mismos
- ✓ Deberá estar asociada con un controlador automático para un rango de temperatura de 10 °C a 40 °C
- ✓ Debe estar acompañado con su respectivo MCB switch de control principal y una lámpara de indicación de funcionamiento.

***Acabados***

- ✓ El color final deberá ser igual a los tableros existentes en la subestación
- ✓ Todas las superficies deben ser lisas
- ✓ Las superficies no deben tener abolladuras

***Placas de identificación***

- ✓ Cada placa debe ser de aluminio y en bajo relieve
- ✓ Se debe identificar funciones
- ✓ Se debe identificar cubículo
- ✓ Se debe identificar datos de fabricación y elementos internos

***Iluminación y tomas***

- ✓ Todos los tableros deberán iluminarse con lámparas incandescentes a 120 VAC
- ✓ Los circuitos de tomas y alumbrado deberán protegerse con su respectivo MCB asociado
- ✓ Cada tablero deberá contar con control de iluminación mediante un switch actuado por la puerta

### 3.4.8. Requisitos constructivos para tableros del sistema SAS – CELEC EP TRANSELECTRIC

Para observar los mínimos requerimientos establecidos por el cliente final de estos tableros, se tomarán en cuenta algunas recomendaciones encontradas en el manual de automatización de subestaciones elaborado por Transelectric. [2]

***Requisitos generales***

- ✓ Clasificación de tableros de tipo interior y exterior
- ✓ Tableros de tipo interior para casetas cubiertas
- ✓ El/los tableros de rack de switches serán de tipo interior
- ✓ Tableros de tipo exterior (a la intemperie) o Junction Box

***Estructuras***

- ✓ Los tableros deben ser completamente encerrados, teniendo en cuenta que por la base se harán las conexiones con otros tableros y mediante cobre o fibra óptica
- ✓ Los tipo Junction Box deberán contar con un grado de protección IP 65
- ✓ Paneles de equipos sujetos con pernos (remaches) a canales de acero
- ✓ No se aceptan perforaciones o soldaduras para fijar alambres, resistencias u otros dispositivos
- ✓ Cubiertas laterales serán de chapa de acero laminada en frio con espesor mínimo de 2 mm
- ✓ Aristas verticales con desviaciones no mayores a 0,8 mm
- ✓ Superficies planas no se desviarán más de 1,6 mm
- ✓ Acceso mediante puertas ubicadas en el frente
- ✓ Bisagras deberán permitir una apertura mínima de 105 grados desde la posición cerrada
- ✓ Cada puerta debe tener una manilla de tipo "T" y su respectiva cerradura
- ✓ Cada cerradura debe contar con su respectivo juego de llaves, todas las cerraduras deben tener llaves del mismo tipo
- ✓ Los tableros contarán pernos de anclaje según sea requerido
- ✓ Para evitar deflexiones de equipos y elementos se contará con soportes o ménsulas asociadas
- ✓ Apariencia nítida y uniforme
- ✓ Disposición normalizada de fases ABC (de izquierda a derecha, de arriba a abajo y del frente hacia atrás)
- ✓ Cables de fibra óptica deberán estar tendidos en canaletas independientes a los cables eléctricos
- ✓ Cables de fibra óptica se concentrarán en cajas de distribución ODF, disponiendo del espacio suficiente para acomodar los cables en uso y para acomodar los cables de reserva
- ✓ El color de la pintura par el acabado exterior será RAL 7032

***Puesta a Tierra***

- ✓ Barras de tierra conectadas a armazón mediante pernos
- ✓ Sección mínima de barra de 25 x 6,5 mm (Ancho x Profundo)
- ✓ Puntos de conexión de las barras deben ser anticorrosivos
- ✓ Las barras deben conectarse entre sí al extremo de cada tablero
- ✓ La barra debe tener perforaciones y conexiones libres para su conexión con el sistema de puesta a tierra (SPT)
- ✓ Las perforaciones de la barra deben permitir la conexión de conductores de calibres 2 a 2/0 AWG

***Iluminación, Tomacorriente y Calefactores***

- ✓ Cada tablero contará con una lámpara de iluminación LED de 120 VAC controlada por un interruptor.
- ✓ Cada tablero contará con una lámpara de iluminación LED de emergencia de 125 VDC controlada por un interruptor.
- ✓ Cada tablero y rack de switches (comunicaciones) deberán tener por lo menos un tomacorriente polarizado de 15 A 120 VAC
- ✓ Los tableros tendrán calefactores a base de resistencias. EL objeto es minimizar la condensación en todos los compartimentos por medio de sensores higrostatos asociados a sus respectivos circuitos y MCB's

***Alambrado y Conexionado***

- ✓ Todos los cables de control y de instrumentos serán de 19 hilos de sección no menor a 1,31 mm^2 (16 AWG)
- ✓ Todos los cables para circuitos de corriente deben tener una sección no menor a 3,31 mm^2 (12 AWG)
- ✓ El aislamiento de los cables será para 600 V y tendrán el tamaño adecuado para conectar los terminales
- ✓ Todas las borneras para secundarios de CT's serán de tipo cortocircuitables y seccionables
- ✓ Todas las borneras para secundario de voltaje serán de tipo seccionables
- ✓ Se incluirán por lo menos un 10% de borneras de reserva de cada tipo y como mínimo un extra de 12 borneras para cada tablero
- ✓ Cada cable será identificado mediante marquillas termo encogibles de color amarillo
- ✓ Se usarán terminales de ojo para los cables
- ✓ Todos los pernos deberán contar con arandelas y tuercas de contacto
- ✓ Deben disponerse de los medios necesarios para sujetar los cables desde la entrada de los quipos/elementos hasta las regletas
- ✓ Las regletas deberán identificarse mediante inscripciones numéricas como se expresa en la ingeniería
- ✓ Los contactos de reserva de relés, dispositivos y relés de reserva serán alambrados a regletas de terminales

***Placas de Identificación***

- ✓ Placas en láminas plásticas de aproximadamente 2,0 mm de espesor con letras blancas y fondo negro
- ✓ Las placas se sujetarán mediante tornillos
- ✓ Se usarán placas de menor tamaño para identificación de dispositivos y elementos, mientras que placas más grandes para identificación de paneles
- ✓ Se deberán suministrar el 10% de placas en blanco para ser grabadas en sitio
- ✓ Las placas de cada equipo deberán coincidir con la nomenclatura prevista en la ingeniería

Como podemos observar existen grandes similitudes y criterios paralelos en la construcción de estos tableros, por lo que se mostrarán las normas más representativas para cada uno ellos (Normativa aplicable), dejando abierta la elección de ellas en la elaboración de los procedimientos y protocolos.

### 3.4.8.1. Normativa aplicable

En este apartado se mostrarán algunas de las normas aplicadas al proyecto, haciendo énfasis en la construcción de los tableros, debido a que el criterio para la elección de las normas y pruebas aplicables a los sistemas que componen el SAS estuvieron a cargo del personal de GE. En la Tabla 7 se presentarán de manera general algunas de las normas aplicadas durante la ejecución del proyecto.

| **Control y Protección** | |
|---|---|
| **Norma** | **Descripción** |
| IEC 60255 | Relés eléctricos |
| IEC 60255 22 2 | Interferencia Electromagnética |

| | |
|---|---|
| IEC 60255 22 5 | Pruebas de sobretensiones |
| IEC 60255 22 27 | Aislamiento de relés |
| IEC 60831 | Integración del sistema de control / Señales Analógicas |
| IEC 60478 | Estabilidad de fuentes DC de alimentación |
| IEEE C37.118 | Sincrofasores para SEP |

**Medida**

| Norma | Descripción |
|---|---|
| IEC 62052 22 | Equipo eléctrico de medida/requerimientos particulares de medida de energía activa (clases 0,2s y 0,5s) |
| IEC 62052 23 | Equipo eléctrico de medida/requerimientos particulares de medida de energía reactiva (clases 0,2s y 0,5s) |

**Comunicaciones**

| Norma | Descripción |
|---|---|
| IEC 60793 | Fibras ópticas |
| IEC 60794 | Cables de fibra óptica |
| IEC 61850 | Redes de comunicaciones y sistemas en S/E |
| IEC 62439 3 | Protocolo de redundancia paralela PRP y redundancia HSR |
| IEEE 1613 | Requisitos ambientales y de prueba para dispositivos de redes de comunicaciones en S/E |
| IEEE 802 | Estándar y requerimientos para comunicación entre redes LAN y MAN |
| ITU-T G.652 | Características de cables y fibras ópticas monomodo |

**Gabinetes / Tableros**

| Norma | Descripción |
|---|---|
| IEC 60439 | Montaje de interruptores y equipos de control de bajo voltaje |
| IEC 60439 1 | Montaje de interruptores y equipos de control de bajo voltaje. Parte 1: Generalidades |
| IEC 60439 2 | Montaje de interruptores y equipos de control de bajo voltaje. Parte 2: Alimentación y montaje |
| IEC 61000 | Compatibilidad Electromagnética |
| IEC 61000 4 2 | Parte 4-2: Pruebas y técnicas de medida para prueba de inmunidad ante descargas electrostáticas |
| IEC 61000 4 5 | Parte 4-5: Pruebas y técnicas de medida para prueba de inmunidad contra sobretensiones |
| IEC 60068 2 27 | Pruebas ambientales de equipos electrónicos. Parte 2-27: Prueba Ea: choque y debilidad mecánica |
| IEC 600947 | Interruptores y equipos de control de bajo voltaje. |
| IEC 60255 0 20 | Contactos de relés eléctricos |
| IEC 60227 1 | Cables aislados con policloruro de vinilo para tensiones de hasta 450/750 V |
| IEC 60228 | Conductores de cables aislados |
| IEC 60297 | Estructuras mecánicas para equipos electrónicos. Dimensiones de estructuras mecánicas |
| IEC 60529 / NTC 3279 | Grados de protección |
| IEC 60603 | Conexiones para equipos electrónicos |
| IEC 60668 | Dimensiones de áreas y cortes para instrumentos de control y medición de procesos industriales montados en rack |

| | |
|---|---|
| IEC 60715 | Dimensiones de interruptores y equipos de control. Estándares de montaje en rieles mecánicos |
| IEC 61082 | Preparación de documentos utilizados en electrotecnia |
| UNE 60204-1 | Demarcación de conexionado de equipos |
| IEC/EN 81346 | Nomenclatura de instalaciones y equipos industriales |
| IEC/EN 61439 1 | Montaje de interruptores y equipo de control de bajo voltaje. Parte 1: Generalidades |
| IEC/EN 61439 2 | Montaje de interruptores y equipo de control de bajo voltaje. Parte 2: Alimentación y montaje de interruptores y equipos de control |
| UL-891 | Cuadros de distribución hasta 600V |
| UL-508 | Estándar para equipos de control industrial |
| UL-67 | Estándar para paneles de control y protección. Circuitos de control, protección e iluminación |
| NTC 811 | Método para medir la adherencia del recubrimiento de pintura. Ensayo cinta. |
| IEEE 280 | Símbolos estandarizados de cantidades utilizadas en ciencia e ingeniería eléctrica |

Tabla 7. Normativa elegida para la ejecución del proyecto y elaboración de procedimientos y protocolos

## 3.5. ANÁLISIS DEL DIAGRAMA UNIFILAR

En esta sección se mostrarán de manera general algunas de las cualidades del diagrama unifilar que pueden ayudar a entender el funcionamiento y operación de la S/E Puerto Napo. Además, se complementarán algunos de los conceptos e ideas descritas en la sección ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN PUERTO NAPO.

### 3.5.1. Análisis configuración y disposición de tableros

Un diagrama unifilar es un documento que expresa en términos generales la configuración de un sistema, para el caso de S/E este diagrama expresa la información básica ya que es posible observar la descripción y disposición de los equipos de patio, cantidad y ubicación de equipos de medida (CT's y PT's), conexiones de protecciones, circuitos asociados (líneas), equipos y tableros eléctricos de control y protección, entre otros.

Inicialmente lo primero que se analiza es la configuración, tratando de inferir como es la disposición de todos los elementos y como se encuentran ubicados y asociados entre sí. Como se mostró previamente en la Figura 9 y en la Figura 10 se aprecia que la subestación tiene una configuración de doble barra con seccionador de bypass y las respectivas protecciones asociadas a cada una de las bahías.

A pesar de presentar dichos aspectos y algunos de los tableros de control y protección, es necesario evidenciar la existencia de los veintiún tableros que componen el sistema automatizado de la S/E. En la Figura 14 se puede observar que cada campo/bahía tiene asociado un tablero de control y protección, un tablero marshalling kiosk y los tableros de agrupamiento de señales de los CT's y PT's presentes en cada una de ellas.

Adicionalmente se presentan tres tableros con los nombres de supervisión y control, facturación o medida y comunicaciones, siendo estos parte fundamental del sistema de automatización de subestaciones (SAS).

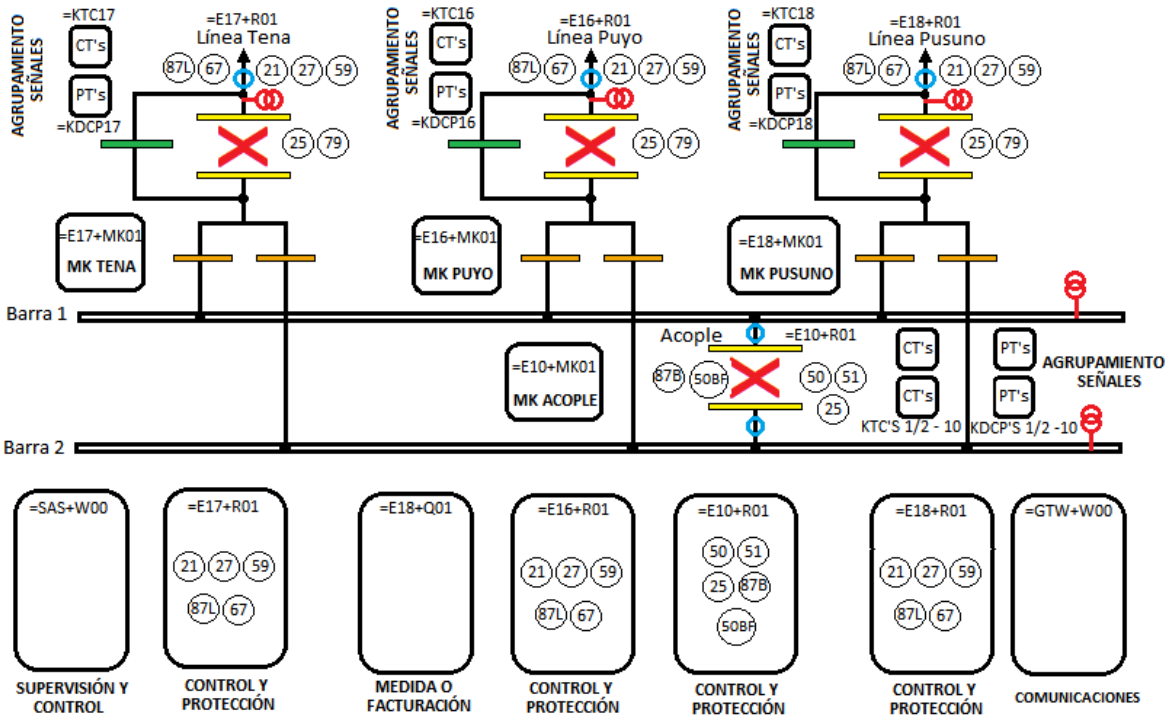



Figura 14. Diagrama unifilar del proyecto subestación Puerto Napo

### 3.5.2. Análisis de protecciones

Es posible observar en la Figura 15, que el tablero de control y protección asociado a la bahía de acople tiene protecciones diferentes a las bahías de línea, esto debido a que dicho campo asocia las protecciones con mayor relevancia dentro del sistema. Como se expone en el glosario de términos las protecciones 50, 51, 25, 87B y 50BF hacen referencia a protecciones de sobrecorriente, sobrecorriente temporizada, sincronismo, diferencial de barras y falla de interruptor respectivamente, dejando presente que el único interruptor que tiene protección asociada a su falla es el de acople (50BF) y que la protección con mayor peso (87B) se encuentra en dicho tablero.

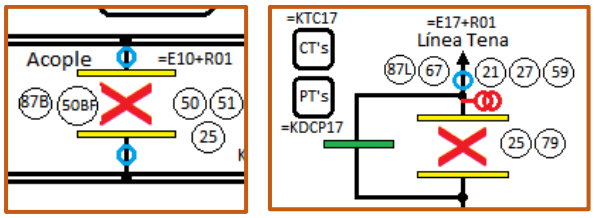



Figura 15. Protecciones bahía de acople y línea

También es posible apreciar la aplicación de la protección diferencial de línea (87L) inusualmente vista en sistemas protecciones convencionales, debido a que la coordinación se hace compleja por el traslape de las mismas (protecciones). Por lo general esta se encuentra acompañada de protecciones de distancia (21) y sobrecorriente (para este caso sobrecorriente direccional/67).

Por último, se muestra la protección 67 implementada en cada una de las líneas haciendo evidente el uso debido a que la actuación de una protección de sobrecorriente debe estar condicionada a un

sentido o flujo de corriente establecido por los circuitos, ya que Puyo y Tena son conexiones al sistema (con la corriente en sentido del SEP) y Pusuno una conexión a una central (con la corriente en sentido de la S/E).

### 3.5.2.1. Ejemplo Relé Numérico

Con el avance de la tecnología se tiene la inclusión de los relés de tipo numérico como el que se puede observar en la Figura *16*, en el cual en un solo dispositivo se encuentra una gran variedad de protecciones incluidas, por esta razón se hace necesario la instalación de solo un tablero de control y protección por cada una de las líneas.

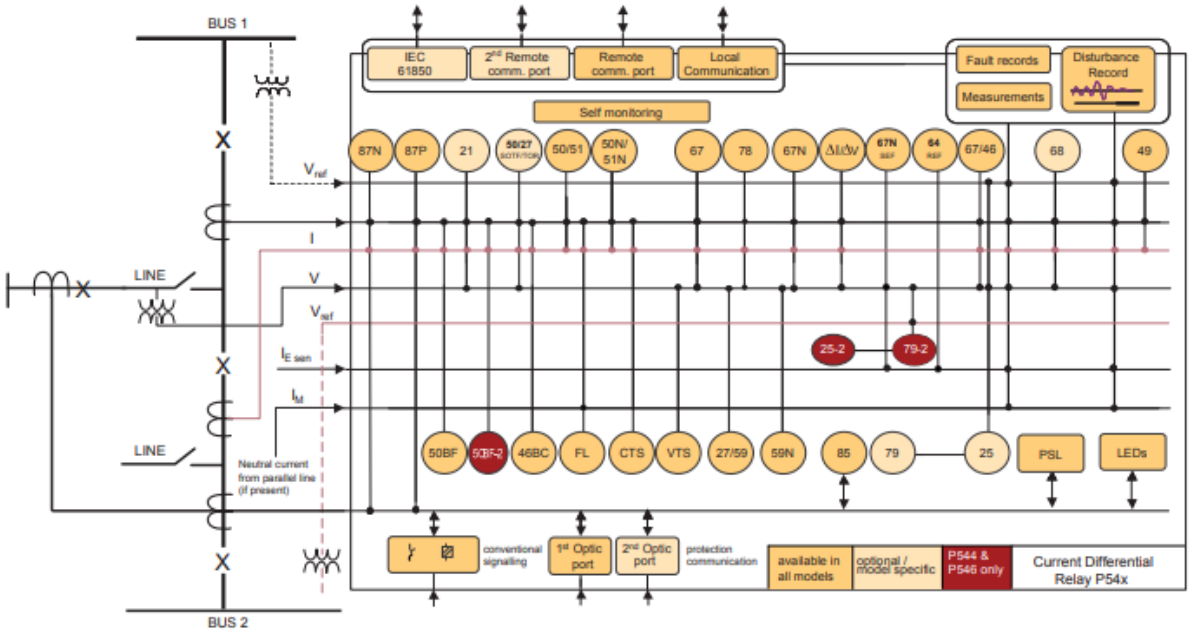



Figura 16. Diagrama funcional relé numérico P546 marca Alstom

### 3.5.3. Análisis ubicación CT's y PT's

Del diagrama unifilar también se puede obtener información de los transformadores de tensión y corriente, como su ubicación, las señales que captan del sistema, relaciones de transformación, clase y demás información propia de los transformadores. Al observar el diagrama se tiene que el proyecto tiene contemplado la utilización de cinco transformadores de tensión (PT´s) y cinco transformadores de corriente (CT´s), distribuidos de la siguiente manera:

- 1 CT y 1 PT en la bahía de línea Pusuno.
- 1 CT y 1 PT en la bahía de línea Puyo.
- 1 CT y 1 PT en la bahía de línea Tena.
- 1 CT y 1 PT en la barra 1 de la subestación asociado al acople.
- 1 CT y 1 PT en la barra 2 de la subestación asociado al acople.

Teniendo en cuenta esta distribución y por solicitud del cliente se tiene un tablero de agrupamiento para señales por cada uno de los transformadores de tensión y corriente, obteniendo un total de diez tableros de agrupamiento para señales de CT´s y PT´s

## 3.6. ANÁLISIS DE DIAGRAMAS DE PRINCIPIO

Los diagramas de principio son planos en los cuales se representa información del proyecto relacionada con las alimentaciones de los diferentes circuitos, maniobras de operación establecidas, niveles de mando de la subestación y los diagramas lógicos de enclavamientos.[15]

En esta sección se mostrarán como se componen los diagramas de principio, el análisis de los niveles de control de la subestación, las secuencias de mando, los diagramas lógicos de enclavamiento y como se da la alimentación AC y DC de los tableros.

### 3.6.1. Alimentaciones AC

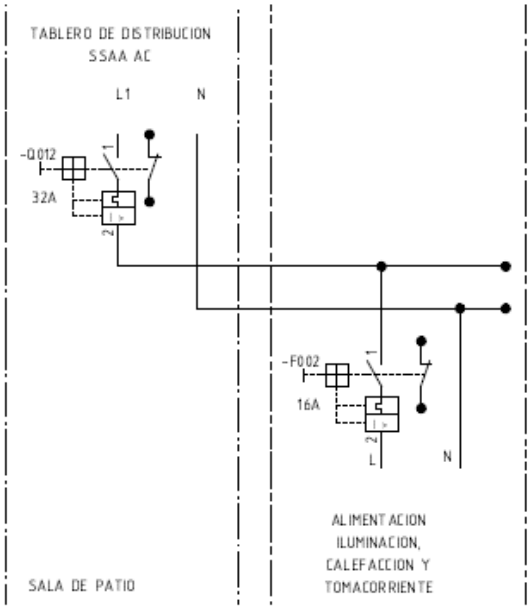



Figura 17. Ejemplo de alimentación AC Diagramas de Principio

En los diagramas se encuentran las alimentaciones AC desde el tablero de servicio auxiliares hasta los demás, indicando las conexiones AC de los interruptores termomagnéticos (MCB) de los servicios auxiliares y de cada uno de los MCB's de los tableros.

En estos se puede inferir el MCB del tablero de Servicios Auxiliares que alimenta ciertos circuitos de control de los tableros. Para la alimentación de los circuitos monofásicos se debe tener en cuenta que debe haber una distribución de cargas uniforme, es decir, la alimentación de estos se hace similar para cada una de las fases.

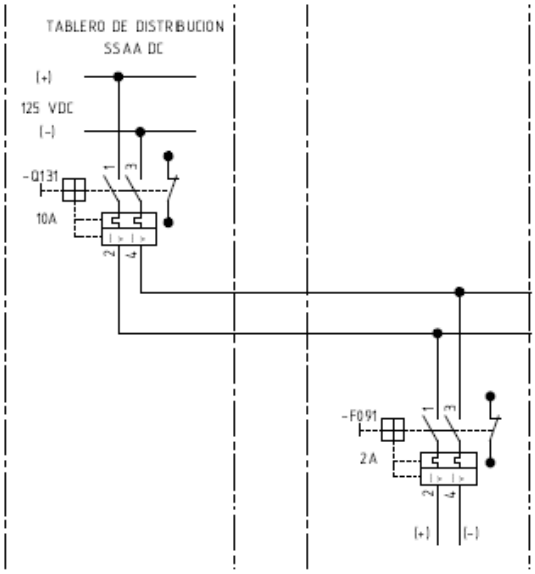
En la Figura 17 se puede observar un ejemplo de lo expresado anteriormente.

Entre los circuitos que se alimentan en AC se encuentran:

- Iluminación, calefacción y tomacorriente 1ϕ
- Alimentación de equipos de patio
- Alimentación rectificadores
- Alimentación inversores

### 3.6.2. Alimentaciones DC

De la igual forma que la alimentación AC, en la alimentación DC se pueden observar las conexiones existentes con el tablero de servicios auxiliares. En la se puede observar un ejemplo de alimentación en DC.




Entre los circuitos que se alimentan en DC se encuentran:

- Alimentación de protecciones principales
- Alimentación de protecciones secundarias
- Iluminación de emergencia de los tableros
- Alimentación de los equipos asociados a la protección 87B
- Alimentación de circuito de cierre y disparo
- Alimentación de motores de los seccionadores
- Alimentación de los equipos de comunicaciones
- Alimentación de los controladores de bahía
- Alimentación de los equipos de medida
- Alimentación de registradores de falla

### 3.6.3. Análisis niveles de control

En esta sección se analizan los niveles de mando que fueron designados de acuerdo a la jerarquía del SAS tal y como se muestra a continuación:

- Nivel 0: Patio.
- Nivel 1: Controlador de bahía.
- Nivel 2: IHM (Interfaz Humano-Máquina).
- Nivel 3: Centro de control remoto.

#### 3.6.3.1. Nivel 0 (Patio)

Se le asigna el nombre de patio, ya que hace referencia a que es un nivel en el cual los accionamientos u operaciones se realizan directamente sobre los equipos de potencia (transformadores, autotransformadores, reactores), la instrumentación (transformadores de tensión y corriente) y en los elementos de conexión y desconexión (Interruptores de potencia y Seccionadores), equipos que se encuentran ubicados en el patio de la subestación y que son accionados de manera mecánica o eléctrica. [16]

### 3.6.3.2. Nivel 1 (IED's de Control)

Este nivel corresponde a los controladores de bahía. En este nivel jerárquico se encuentran los IED´s (Dispositivos electrónicos inteligentes), las protecciones, los equipos de medición, registradores de fallas y switches de comunicación.

El objetivo de esta pasantía se enfoca en el desarrollo de este nivel, debido a que en los diferentes tableros de control y protección, tableros de medición, tableros Marshalling Kiosk, la actividad que se realiza es la concentración de todas las señales provenientes de los diferentes equipos de patio, para llevarlos a todos estos dispositivos inteligentes que se mencionan, con el fin de crear una red de comunicaciones para la interacción de estos dispositivos y así llegar a ejecutar operaciones de modo remoto sobre la subestación.

Algunos de estos equipos cuentan con una pequeña IHM y una serie de botones programables, mediante los cuales se permita generar comandos de control que actúan sobre los equipos de patio permitiendo maniobras en la S/E.

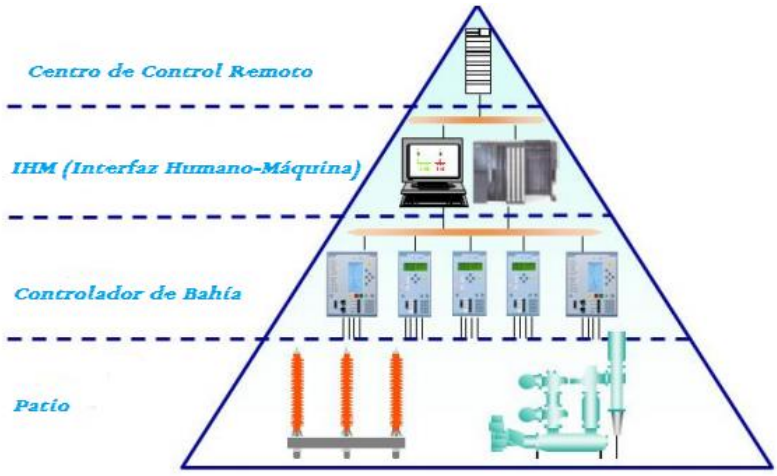



Figura 18. Niveles de control Subestaciones Eléctricas

### 3.6.3.3. Nivel 2 (Interfaz Humano Máquina)

Este nivel se denomina nivel de mando de la subestación, en donde se agrupa toda la información de la subestación tal como:

- Eventos
- Alarmas
- Oscilaciones del sistema
- Registro en servidores (bases de datos)

En este nivel de mando mediante una estación de operación se puede tener acceso a toda esta información y tomar decisiones sobre el comportamiento de la subestación como se puede observar en la Figura 18.

El nivel 2 también se encuentra dentro del alcance del proyecto, ya que todo este proceso se realiza en el tablero de supervisión y control, mediante la red de comunicaciones que se crea con la conexión de los otros tableros, contando con un monitor (enlazado con un KVM a los PC/IHM presentes) ubicado en la sala de control y en donde se puede visualizar el comportamiento de sistema. En la sección ANÁLISIS DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES se puede identificar mejor la relación descrita anteriormente.

#### 3.6.3.4. Nivel 3 (Centro de Control Remoto)

Este nivel corresponde al centro de control remoto en donde se tiene acceso al SEP y a las S/E que lo componen, permitiendo el control de forma remota desde este nivel. Para este nivel al igual que los niveles de mando anteriores (1 y 2) se tiene como condición principal para realizar cualquier tipo de operación, que los niveles inferiores se encuentren en modo remoto. Este nivel se encuentra fuera del alcance del proyecto.

### 3.6.4. Secuencias de Mando

Adjunto a los diagramas de principio se encuentran las diferentes secuencias de mandos que fueron establecidas para la operación de la subestación, estas secuencias de mando son también conocidas como las ***maniobras de la subestación***. Estas maniobras son una sucesión de pasos o mandos que se deben cumplir cuando se desea realizar cualquier accionamiento en los elementos de conexión y desconexión de cada uno de los circuitos de las líneas y en la S/E en general.

Se puede observar que para la energización de una bahía se debe tener en cuenta el procedimiento a seguir (secuencia de pasos) y las condiciones iniciales de operación antes de realizar dicha maniobra (estado de operación del interruptor y de los seccionadores), teniendo en cuenta que si se omite información se puede llegar a generar una falla en los equipos de la subestación.

| EQUIPO | CONDICIONES INICIALES | PASO 1 CERRAR | PASO 2 CERRAR | PASO 3 CERRAR | PASO 4 CERRAR | CONDICIONES FINALES |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 89-1*1 | ABIERTO | - | X | - | - | CERRADO |
| 52-1*2 | ABIERTO | - | - | - | X | CERRADO |
| 89-1*3 | ABIERTO | - | - | X | - | CERRADO |
| 89-1*4 | ABIERTO | - | - | - | - | ABIERTO |
| 89-1*5 | ABIERTO | - | - | - | - | ABIERTO |
| 89-1*7 | ABIERTO | - | - | - | - | ABIERTO |
| 89-1*9 | ABIERTO | X | - | - | - | CERRADO |

Figura 19. Ejemplo de energización de una bahía / Secuencia de Mando

Las condiciones iniciales para realizar la energización de los equipos se establecen en el sistema de la subestación mediante ***diagramas lógicos de enclavamientos***, por medio de funciones lógicas con las cuales se programan las operaciones de acuerdo al nivel de mando desde donde se vaya a realizar la maniobra. Ver Anexo 9. Diagrama de principio para apertura de seccionador.

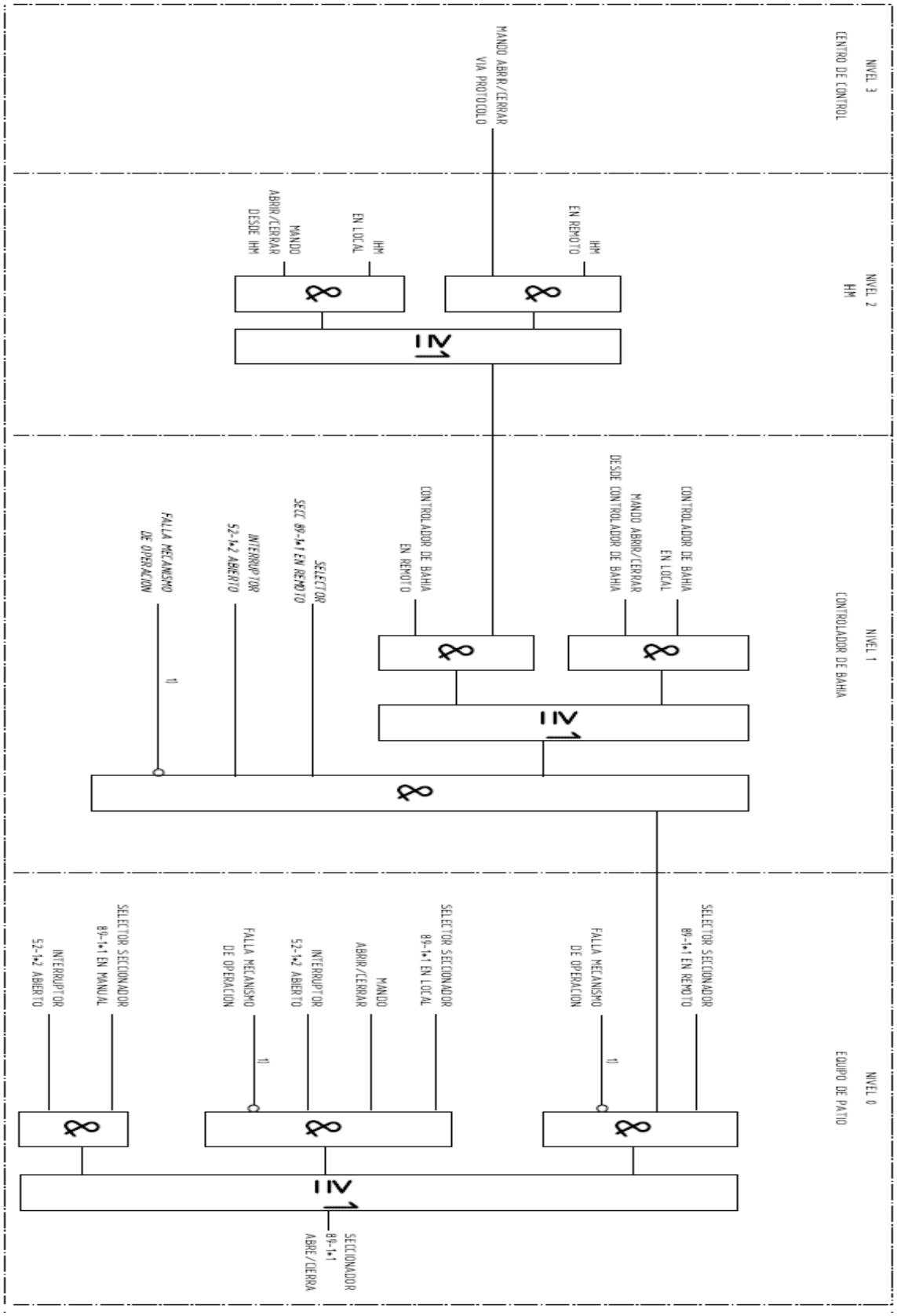



Figura 20. Ejemplo diagrama lógico de enclavamiento

#### 3.6.4.1. Diagramas lógicos de enclavamientos

Estos diagramas hacen referencia a los enclavamientos para la apertura o cierre de los equipos de patio. [15] Estos planos representan los enclavamientos por nivel de control que deben tener los equipos por nivel (patio, equipos de control, etc.) para ordenar la apertura o cierre de los equipos de patio.

Como se puede observar en la Figura 19 se presenta uno de los diagramas de principio que fueron establecidos en el proyecto. Este consiste en el cierre de un seccionador de línea (89) y todas las condiciones que deben ser cumplidas para la realización de esta maniobra.

Se tiene que, si se desea operar este seccionador desde el nivel 0 de mando, se puede realizar siempre y cuando se cumpla una de estas dos condiciones; la primera verificar si se esté operando de forma manual o de forma local. Como se conoce un seccionador no puede operar bajo carga por lo cual una condición para operar el seccionador en cualquiera de los niveles de mando establecidos, es que el interruptor que tienen asociado directamente se debe encontrar en estado abierto, por eso se observa que en todos los niveles esta condición se encuentra con la función lógica AND.

Si la intención es operar en modo remoto se continua con el nivel 1 de mando, en donde aparecen nuevas condiciones que deben cumplirse para realizar la maniobra, la primera a considerar es que el nivel 0 se debe encontrar en modo remoto y que el nivel 1 se encuentre en local, desde el controlador de bahía se pueden realizar esta acción.

Para operar desde un nivel superior se realiza desde la IHM, verificando que el nivel 1 y el nivel 2 se encuentren en modo remoto y local respectivamente. Finalmente, sí el nivel 2 se encuentra en modo remoto se pueden hacer estas actividades desde el centro de control en donde se realizan las maniobras finales mediante protocolo.

## 3.7. ANÁLISIS DE DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS

Los diagramas esquemáticos muestran el cableado/conexionado que se debe realizar en cada uno de los tableros presentes en el sistema, por esta razón son diagramas que evidencia señales netamente eléctricas. [15]

En esta sección se describirán de manera general los circuitos o subsistemas inmersos dentro de cada uno de los tableros, indicando previamente la simbología utilizada y la conexión de los tableros a los servicios auxiliares.

Luego de haber analizado la configuración y elementos constitutivos de la subestación, la ubicación y distribución, las protecciones asociadas, la nomenclatura a utilizar durante del desarrollo del proyecto, el funcionamiento de la S/E a partir diagramas de principio, se procede con quizá una de las etapas más enriquecedoras de la pasantía, entender cómo se va a realizar todo el control, como debe ser el cableado de todas las señales provenientes del patio de conexiones, que especificaciones se deben seguir, como se realiza la protección de cada uno de los equipos electrónicos instalados y la aplicación en campo de muchos de los conceptos aprendidos durante la etapa académica en la Universidad.

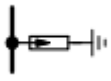
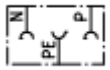
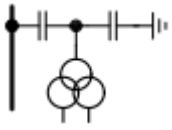
A continuación, se encuentra una clasificación de los aspectos más importantes del análisis de los diagramas esquemáticos de cada uno de los tableros del proyecto:

- Análisis de simbología utilizada en el proyecto.
- Conexión de equipos a servicios auxiliares.
- Funciones de los IED's en el sistema
- Tableros de control y protección.
- Tablero de medida.
- Tablero de supervisión y control.
- Tablero de comunicaciones.
- Tableros Marshalling Kiosk.
- Tableros de agrupamiento de señales.

### 3.7.1. Análisis de simbología utilizada en el proyecto

El primer paso para empezar a analizar los diagramas esquemáticos de cada uno de los tableros, es entender la simbología que es utilizada en cada uno de los planos del proyecto subestación Puerto Napo. Para esto se analizan los diagramas tomando como referencia la simbología IEC, presente en todos los diagramas e ingeniería del proyecto (diagramas unifilares, diagramas esquemáticos, diagramas de principio y arquitectura de comunicaciones).

Por esto fue necesario revisar toda la simbología para identificar los elementos que ya se conocían previamente y algunos otro que no es común verlos en el ámbito académico. Fue de gran importancia el realizar esta actividad para la lectura de los planos y poder lograr comprender a profundidad las conexiones y demás información que presentan los planos de cada tablero y los diagramas Z (diagrama de conexiones de cada equipo) de los equipos electrónicos. En la Tabla 8 se relacionan algunos de los símbolos que se encuentran con frecuencia en los diferentes diagramas del proyecto.

| SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN |
|---|---|---|---|
|  Figura 21.Seccionador con cuchilla de puesta a tierra | Seccionador con cuchilla de puesta a tierra |  Figura 22. Interruptor automático con protección térmica y magnética | Interruptor automático con protección térmica y magnética |
|  Figura 23. Pararrayos | Pararrayos (DPS) |  Figura 24. Tomacorriente monofásica | Tomacorriente monofásica |
|  Figura 25. Transformador de tensión – 2 devanados | Transformador de tensión de acople capacitivo, 2 devanados secundarios |  Figura 26. Termóstato | Termóstato |

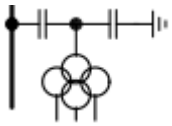
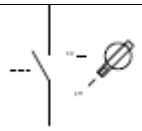
| | | | |
|---|---|---|---|
|  Figura 27. Transformador tridevanado de tensión | Transformador de tensión de acople capacitivo, 3 devanados secundarios |  Figura 28. Higróstato | Higróstato |
|  Figura 29 Convertidor fuente | Convertidor fuente |  Figura 30. Interruptor de potencia | Interruptor de potencia |
|  Figura 31. Transformador de corriente | Transformador de corriente |  Figura 32. Seccionador | Seccionador |
|  Figura 33. Elemento a tierra | Elemento a tierra |  Figura 34. Elemento a masa | Elemento a masa |
|  Figura 35. Lámpara led | Lámpara led |  Figura 36. Resistencia | Resistencia |
|  Figura 37. Bobina | Bobina |  Figura 38. Interruptor manual | Interruptor manual |
|  Figura 39. Contacto N.A. | Contacto normalmente abierto |  Figura 40. Contacto N.C. | Contacto normalmente cerrado |
|  Figura 41. Contacto de paso | Contacto de paso |  Figura 42. Borne | Borne |

Tabla 8. Simbología de diagramas esquemáticos *[17]*

### 3.7.2. Conexión circuitos de servicios auxiliares

Un aspecto en común de todos los diagramas esquemáticos de los tableros, es que en ellos la primera sección relaciona la conexión de los elementos asociados a los circuitos de servicios auxiliares, tales como el circuito de iluminación led AC y DC (120V) con su respectivo interruptor, el circuito de calefacción con su respectivo higróstato/termóstato y resistencia, y por último el circuito para el tomacorriente debidamente aterrizado.

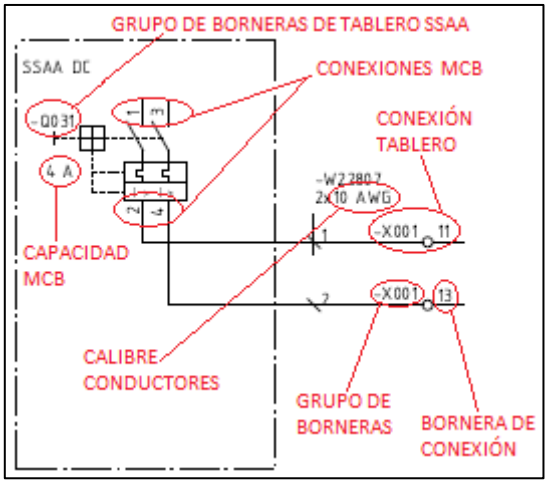



Figura 43. Indicación de elementos de los circuitos de un diagrama esquemático

En los servicios auxiliares se encuentra incluido también un sistema de calefacción debido a que el lugar final en donde se van a instalar los tableros cuenta con condiciones ambientales que deben ser controladas en el interior de los tableros.

Este control está basado en el accionamiento de un termostato o un higrostato dependiendo si se superan los límites programados de temperatura o humedad relativa respectivamente al interior del tablero, la activación del termostato o higrostato dan inicio al calentamiento de una resistencia de calefacción que se encarga de regresar nuevamente las condiciones en el interior, todo esto por protección de los equipos electrónicos que se encuentran instalados en cada uno de los tableros.

Finalmente, se tiene un sistema de iluminación de emergencia en donde se encuentra instalada una lampara LED a 125 VDC que cuenta con su respectivo interruptor independiente para ser activada en condiciones en las cuales la fuente principal de energía se encuentre ausente y se requieran condiciones óptimas de iluminación en el interior del tablero.

La conexión de estos servicios auxiliares se presenta de igual manera en todos los tableros del proyecto, tableros de control y protección, medida, supervisión y control, comunicaciones, Marshalling Kiosk, a excepción de los tableros de agrupamiento de señales de CT´s y PT´s en donde no se cuenta con el sistema de iluminación de emergencia.

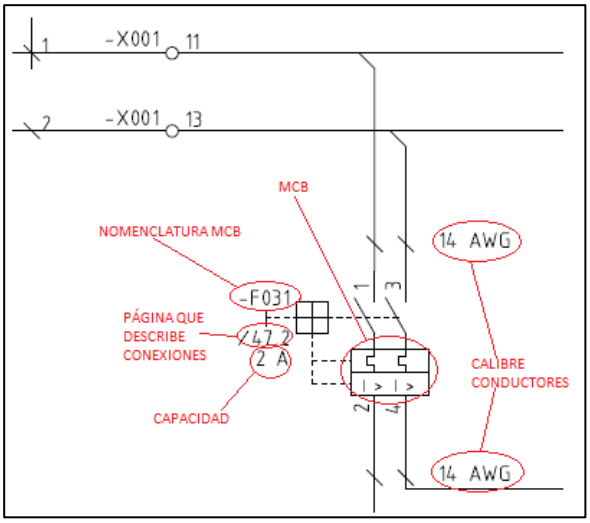



Figura 44. Ejemplo de lectura de conexión de un MCB

Si bien estos circuitos están asociados a MCB’s para su protección la manera correcta de leer los diagramas se encuentra en la Figura 43 y en la Figura 44. Los circuitos descritos anteriormente se encuentran en el Anexo 3.

### 3.7.3. Tableros de Control y Protección

Los tableros de control y protección para cada una de las bahías del proyecto, tienen instalados equipos inteligentes, lo cuales deben ser alimentados a 125 VDC, por lo tanto, es indispensable crear circuitos que les provean de energía y los protejan en caso de presentarse cortocircuitos. En la Tabla 9 se presentan algunos de los IED’s que deben ser alimentados con dicha tensión y sus funciones dentro del sistema de control y protección.

| Equipo | Función |
|---|---|
| Switch de Comunicaciones | Comunicar los dispositivos del tablero con alguna de las dos redes paralelas (A - B) |
| Controlador de Bahía | Permitir la visualización de estado de los equipos de patio y realizar maniobras |
| Relés multifuncionales | Proteger los equipos de patio mediante las funciones programadas |
| Medidor multifuncional | Medir parámetros eléctricos con fines de control y monitoreo del sistema |
| Registrador de fallas | Registrar todos los eventos de la línea y enviar datos a los |
| Bloques de pruebas | Permitir la inyección de corrientes y voltajes en puntos del conexionado |

Tabla 9. IED's tableros de control y protección

El primer cableado de control que se identifica corresponde a todas las ***señales de posición*** que se tienen del tablero, que son realizadas con los contactos auxiliares NA y NC (normalmente abierto y normalmente cerrado) que tienen todos los equipos instalados y los MCB´s de protección para los circuitos de alimentación. Todas estas señales son conducidas hacia las entradas digitales del controlador de bahía el cual necesita conocer el estado de todos los equipos y algunas de las salidas de los relés de protección para efectuar las respectivas acciones de disparo o alarma.

También es posible identificar como se realiza el proceso de llevar la información captada por los transformadores de tensión y corriente y ser llevados hasta los diferentes IED's instalados en los tableros, los cuales necesitan como dato de entrada los valores obtenidos para poder realizar su función.

#### 3.7.3.1. Señales de Corriente

Para el caso de las señales provenientes de los transformadores de corriente se debe respetar el principio que al tratarse de corrientes deben ser manejadas mediante un circuito serie que debe ser cerrado al circular por todos los equipos que necesitan de esta variable.

Además, al tratarse de un circuito serie no se puede interrumpir la señal que está en circulación por dos motivos principales; ***el primero*** obedece a uno de los principales conceptos de subestaciones eléctricas, en donde al tener los bornes secundarios abiertos del transformador, circula un flujo magnético por el núcleo generado por el primario, produciendo tensiones elevadas en el secundario, fuerte calentamiento en el núcleo, que a su vez genera tensiones que puedan llegar a ser peligrosas para personas o dispositivos y destrucción del núcleo respectivamente.

***El segundo*** corresponde a que al abrirse el circuito se verían afectados todos los equipos del tablero, debido a que se cuenta con una conexión de tipo serie en donde la desconexión de un elemento interrumpe el flujo de corriente. Ver Anexo 7. Conexión de señales provenientes de una transformador de corriente.

### 3.7.3.2. Señales de Tensión

Para el caso de los transformadores de tensión la conexión con los diferentes equipos debe realizarse mediante conexión de tipo paralelo por lo cual no hay problemas con la salida de funcionamiento de un equipo.

*Por solicitud del cliente final son cableadas todas las entradas de los equipos del tablero hacia borneras de control sin importar si se van a poner en uso o no, todo esto pensando en la modularidad del tablero, ya que se deben tener en cuenta posibles ampliaciones o modificaciones que se le realicen al tablero (una gran parte de los diagramas esquemáticos posee esta característica de diseño).* Ver Anexo 6. Conexión de señales provenientes de un transformador de tensión.

### 3.7.3.3. Planos Z

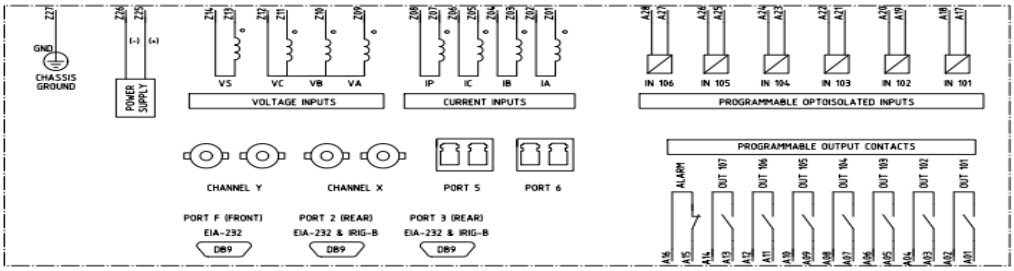



Figura 45. Ejemplo de plano Z para un equipo (Relé SEL 311)

Por último, en los diagramas esquemáticos se encuentran ubicados los planos z de los equipos instalados en el tablero, estos muestran toda la información relacionada con el dispositivo como lo es fuentes de alimentación, tipos de puertos que posee el equipo, entradas y salidas (ya sean digitales o analógicas). Mediante este tipo de diagramas es que se hace más fácil llegar a entender y comprender como deben ser las conexiones de cada uno de estos equipos.

### 3.7.4. Tablero de Medida

El tablero de medición está compuesto principalmente por dos medidores de energía y un switch de comunicaciones, elementos asociados al registro de variables y/o parámetros necesarios para la facturación de la energía suministrada por parte de la central de generación correspondiente a la línea Pusuno. Los diagramas esquemáticos de este tablero son más sencillos respecto a los tableros de control y protección debido a que cuenta con menos circuitos debido a que hay menos equipos.

En los diagramas esquemáticos para este tablero se tienen en cuenta las mismas consideraciones que en los tableros de control y protección con relación a aspectos como los servicios auxiliares, alimentación de equipos mediante los respectivos MCB´s, las conexiones para las señales provenientes de los núcleos de los transformadores de tensión y corriente (señales de tensión y corriente).

| Equipo | Función |
|---|---|
| Switch de Comunicaciones | Comunicar los medidores con la red de medida |
| Medidores | Medir parámetros eléctricos con fines de facturación de energía |

Tabla 10. IED’s tablero de medida

### 3.7.5. Tablero de Supervisión y Control

En el tablero de supervisión y control tiene instalados equipos como GPS, IHM´s (computadores de rack) y los switches de comunicación los cuales permiten el acceso de las IHM's presentes a las dos redes locales.

| Equipo | Función |
|---|---|
| Switch de Comunicaciones | Comunicar dar acceso |
| GPS's | Sincronizar el reloj de los equipos de control |
| IHM's | Supervisar, monitorear y controlar el comportamiento del sistema |

Tabla 11. IED's tablero de supervisión y control

En este caso el cableado que se debe realizar en este tablero es muy mínimo reduciéndose a las alimentaciones de los equipos instalados y a la conexión de todas las entradas de estos equipos a borneras de control (modularidad). En este tablero se hace énfasis en la conexión de las comunicaciones que se realizan por fibra óptica y cable UTP para concentrar toda la información de las redes LAN y tener acceso desde las IHM instaladas.

### 3.7.6. Tablero de Comunicaciones

En el tablero de comunicaciones se encuentran instalados los respectivos switches de comunicación de las redes A y B, los Gateway, y un computador para el registrador de fallas.

| Equipo | Función |
|---|---|
| Switch de Comunicaciones | Comunicar los IED's presentes con todas las redes (A, B, medida y registro) |
| PC registrador de fallas | Almacenar la información de eventos de toda la S/E |
| Gateways | Otorgar acceso remoto y comunicar a las redes locales con el centro de control (nivel 3 del SAS) |
| KVM's | Otorgar conectividad de múltiples periféricos a una misma IHM |

Tabla 12. IED's tablero de comunicaciones

Este tablero es similar al tablero de supervisión y control, ya que no posee equipos que necesiten señales de tensión y corriente y por ende estos solo necesitan ser alimentados desde sus respectivos circuitos. Todos los circuitos de alimentación tienen el mismo criterio de modularidad (conexionado a borneras) y tienen asociado sus respectivas protecciones (MCB's). Todo el sistema de control se realiza mediante las redes de comunicación, por lo tanto, todas las conexiones son por medio fibra óptica y cable UTP.

### 3.7.7. Tableros Marshalling Kiosk

Los tableros Marshalling Kiosk son muy importantes en el proyecto, ya que en ellos se encuentran instalados los equipos Merging Unit, mediante los cuales es posible enviar señales digitales desde el patio de la S/E a las casetas de control, realizando la conversión de señales análogas en digitales para su procesamiento.

Adicionalmente en estos tableros se encuentran las unidades de control que son las encargadas de recibir las señales que entregan los relés de protección para realizar los intentos de recierre y la función de bloqueo cambiando de estado los equipos de patio de la S/E.

| Equipo | Función |
|---|---|
| Unidades de Control | Recibir señales de las protecciones de los tableros de control y protección para realizar las funciones de recierre y bloqueo |
| Merging Unit | Convertir señales analógicas en digitales y enviarlas a los tableros de control y protección. Además, recibir señales de las protecciones de los tableros de control y protección para disparar |

Tabla 13. IED's tableros marshalling kiosk

El cableado y conexionado de los diagramas esquemáticos de estos tableros conservan los mismos principios de modularidad, separación de señales de corriente y tensión y planos z vistos en los tableros de control y protección. Anexo 8. Conexión de servicios auxiliares de tableros marshalling kiosk.

Una característica que se aprecia de los tableros Marshalling Kiosk, es que estos realizan la alimentación de los circuitos de los equipos de patio seccionadores (motores) e interruptores asociados a las bahías, así como la alimentación de los circuitos de cierre y disparo. Ver Anexo 4.

En las unidades de control (denominadas SCU por nomenclatura) se reciben las señales provenientes de los equipos de patio mostrando estados de los elementos y posibles fallas que se puedas presentar como bloqueos por SF6, estados de los resortes, falla en motores (cargado-descargado), y alarmas además de recibir también las señales de los PT´s y CT´s.

### 3.7.8. Tableros de agrupamiento de señales

Por último, se encuentran los tableros de agrupamiento para las señales de los transformadores de tensión y corriente. Estos tableros presentan variaciones en los circuitos de los servicios auxiliares debido a que no presentan iluminación led de emergencia, y en lugar de poseer un termohigróstato se tiene un termóstato.

En estos tableros no se encuentran IED's debido a que su objetivo es el seguimiento de las señales de los transformadores de instrumentos. La característica de modularidad del conexionado sigue estando presente en ellos (conexionado a borneras).

#### 3.7.8.1. KDCP'S – CT's

Para el caso de las señales provenientes de los CT's hay que tener presente que los bornes secundarios de estos no pueden quedar abiertos y por tal motivo las señales deben ir a borneras cortocircuitables.

El análisis de los diagramas esquemáticos se enfoca en el análisis de la toma de señales de los CT's debido a que el conexionado es muy básico; en estos diagramas se muestra que las señales son tomadas y conectadas en estrella de tal manera que se puedan realizar los cortocircuitos para la protección de los núcleos del transformador.

#### 3.7.8.2. KTC'S – PT's

Para el caso los PT´s (tipo capacitivo) el análisis nuevamente se enfoca en la toma de las señales de los núcleos debido a que el conexionado es muy básico. Las medidas de los tres núcleos de cada PT se toman y se conectan a un MCB´s tripolar con el fin de proteger los equipos que se utilicen para realizar las medidas de dichas señales.

## 3.8. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES

En esta sección se mostrarán de manera simplificada los aspectos/consideraciones del sistema de comunicaciones tenidos en cuenta para el análisis y entendimiento del mismo, con la finalidad de incluir aquellos que son más relevantes en la elaboración de los procedimientos y protocolos de pruebas (PRE-FAT Y FAT). Sin embargo, no todos los aspectos mencionados serán incluidos debido a la limitante existente por el dominio de los conceptos de redes de comunicaciones presentes en el sistema.

Para lograr entender el funcionamiento e interacción entre equipos, es necesario retomar los conceptos expuestos en la sección "Sistema de Automatización de Subestaciones (SAS)".

### 3.8.1. Arquitectura de comunicaciones

Una de las consideraciones para el entendimiento de redes de comunicaciones es el conocimiento de la arquitectura (sistema compuesto de equipos que permite la transmisión de datos entre ellos) y la topología (ordenamiento radial o en malla de los nodos/equipos) de red, ya que a partir de estas se puede observar la manera en que los equipos envían y reciben información.

Para S/E existen topologías y arquitecturas basadas en los protocolos PRP y HSR permitiendo la alta disponibilidad de la red para el envío y la recepción de datos (tramas de información) entre equipos. Dichos protocolos basados en la redundancia del sistema, permiten tener un tiempo de recuperación de la red igual cero segundos ante cualquier fallo, debido a que los equipos poseen dos conexiones de tal forma que las tramas se envíen mediante dos canales (direcciones) simultáneamente hasta llegar a su receptor.

Generalmente los sistemas de comunicaciones de S/E digitales se basan en el protocolo de red PRP permitiendo el envío de datos por ambas redes de manera simultánea, teniendo como premisa que la velocidad (latencia) de ellas debe ser similar. En la Figura 46 podemos observar un ejemplo de red que muestra equipos conectados con el protocolo PRP siendo la red A y B las principales.

Adicionalmente se observa que algunos equipos a pesar de tener conexión para redes paralelas, como se evidencia con los registradores de falla, solo se emplean en redes exclusivas para el registro de eventos del sistema, y otros equipos a pesar de no contar con los puertos PRP tienen que utilizar caja de redundancia (Red Box) para poder extender sus funciones a las dos redes. [18]

Por último, se logra apreciar la existencia de dispositivos GPS que sincronizan las redes existentes A, B y de registro mediante el protocolo PTP, permitiendo a los equipos tener un reloj actualizado. Caso

contrario ocurre con la red de medición la cual va conectada a la sala de control, en donde será sincronizada por un PC con el protocolo SNTP.

### 3.8.2. Señales de comunicaciones

En esta sección se mencionarán los tipos de mensajes que se pueden enviar a través de la red, teniendo claro que para el caso de pruebas al sistema es necesario saber la configuración y estado de cada uno de los equipos (direcciones IP, MAC, conectividad, sampled values, firmware, etc). Cabe resaltar que los encargados de la integración de este sistema con el SAS son los ingenieros y personal de GE Colombia.

***Mensajería GOOSE***

Los mensajes GOOSE por sus siglas en inglés Generic Object Oriented Substation Event, son paquetes de datos que permiten transmitir a través del sistema de comunicaciones Ethernet de forma cíclica y controlada 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, tal como es el caso de disparos y eventos requeridos para enclavamientos en los sistemas eléctricos que oscilan desde los 150ms. [19]

Los mensajes GOOSE en sistemas de control y protección integrados al SAS de la S/E pueden utilizarse para:

- Disparo de interruptor
- Cierre de Interruptor
- Estados lógicos de relés que interactúan con el sistema de supervisión
- Falla de interruptor
- Iniciación de reconexión
- Cruce de supervisión de los sistemas redundantes
- Estados lógicos de seccionadores e interruptores
- Etiquetados de bloqueo para mantenimiento
- Pruebas a la red LAN

***Sampled Values***

Los Sampled Values (valores muestreados) se utilizan para transmitir valores instantáneos digitalizados de magnitudes del sistema eléctrico, principalmente corrientes y tensiones primarias. Por lo tanto, estos pueden reemplazar las magnitudes secundarias clásicas.

Los Sampled Values se publican en la red LAN de la subestación y están disponibles para que cualquier dispositivo que pueda utilizarlos se suscriba a ellos. Es necesario probar los publicadores y suscriptores de los Sampled Values y los casos de prueba pueden darse en cualquier entorno, desde el desarrollo a la puesta en servicio.

### 3.8.3. Redes existentes

Como se muestra en la Figura 46, existen redes paralelas para la interacción de equipos, tales como la red A y B, sin embargo, el concepto de redes paralelas permite crear redes exclusivas para sistemas tales como el de medida y registro, teniendo la posibilidad de visualizar la información de cada una de ellas en las IHM dispuestas en la sala de control de la S/E.

Para entender un poco el funcionamiento de las redes existentes es necesario saber el funcionamiento de cada uno de los equipos que componen el sistema. Las funciones principales de estos se encuentran en la Tabla 14.

| Red (es) | Equipo | Función en el Sistema de Comunicaciones | Sistema | Nivel |
|---|---|---|---|---|
| Registro | Merging Unit | Convertir señales análogas en digitales y publicarlas en la red | Control | 0 |
| A - B | Unidad de Control | Publicar señales de control digitales en las redes redundantes | Control | 0 |
| Medida | Multimedidor | Enviar medidas de manera digital con fines de control | Control | 1 |
| Medida | Switch de Medida | Conectar y conmutar señales de medida de equipos | SAS | 1 |
| Medida | Medidor | Enviar medidas de manera digital con fines de facturación | Medida | 1 |
| A - B | Switch Red A | Conectar y conmutar señales de control y protección de equipos | Control | 1 |
| A - B | Switch Red B | Conectar y conmutar señales de control y protección de equipos | Control | 1 |
| A - Registro | Switch 87B | Conectar y conmutar señales de control y protección de equipos asociados a las barras | Control | 1 |
| Registro | Switch Registro F | Conectar y conmutar señales de registro de eventos de equipos | Registro | 1 |
| A - B | Protección Ppal | Suscribirse a señales de las unidades de control | Control y Protección | 1 |
| A - B | Protección Rte | Suscribirse a señales de las unidades de control | Control y Protección | 1 |
| A - B | Controlador Bahía | Publicar señales de control digitales en las redes redundantes | Control y Protección | 1 |
| Registro | Registrador Fallas | Publicar señales de registro de eventos de bahías | Registro | 1 |
| Registro | Registrador Fallas B | Publicar señales de registro de eventos de bahía de acople | Registro | 1 |
| A - B | Protección 87B | Suscribirse a señales de las unidades de control | Control y Protección | 1 |
| A - B | Relé Sincronismo | Publicar señales de control digitales en las redes redundantes | Control y Protección | 1 |
| A - B | Red Box | Permitir conexión de dispositivos a las redes redundantes | Control | 1 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A - B | Gateway | Comunicar otros equipos (externos a las redes) con distintos protocolos y arquitecturas de red | Control y Supervisión | 2 |
| A - B | IHM | Visualizar, supervisar y controlar todos los equipos de las redes | Todos | 2 |
| Todas | GPS | Sincronizar el tiempo (reloj) de todos los equipos de las redes | Todos | 1 y 2 |

Tabla 14. Dispositivos y equipos inmersos en el sistema de comunicaciones

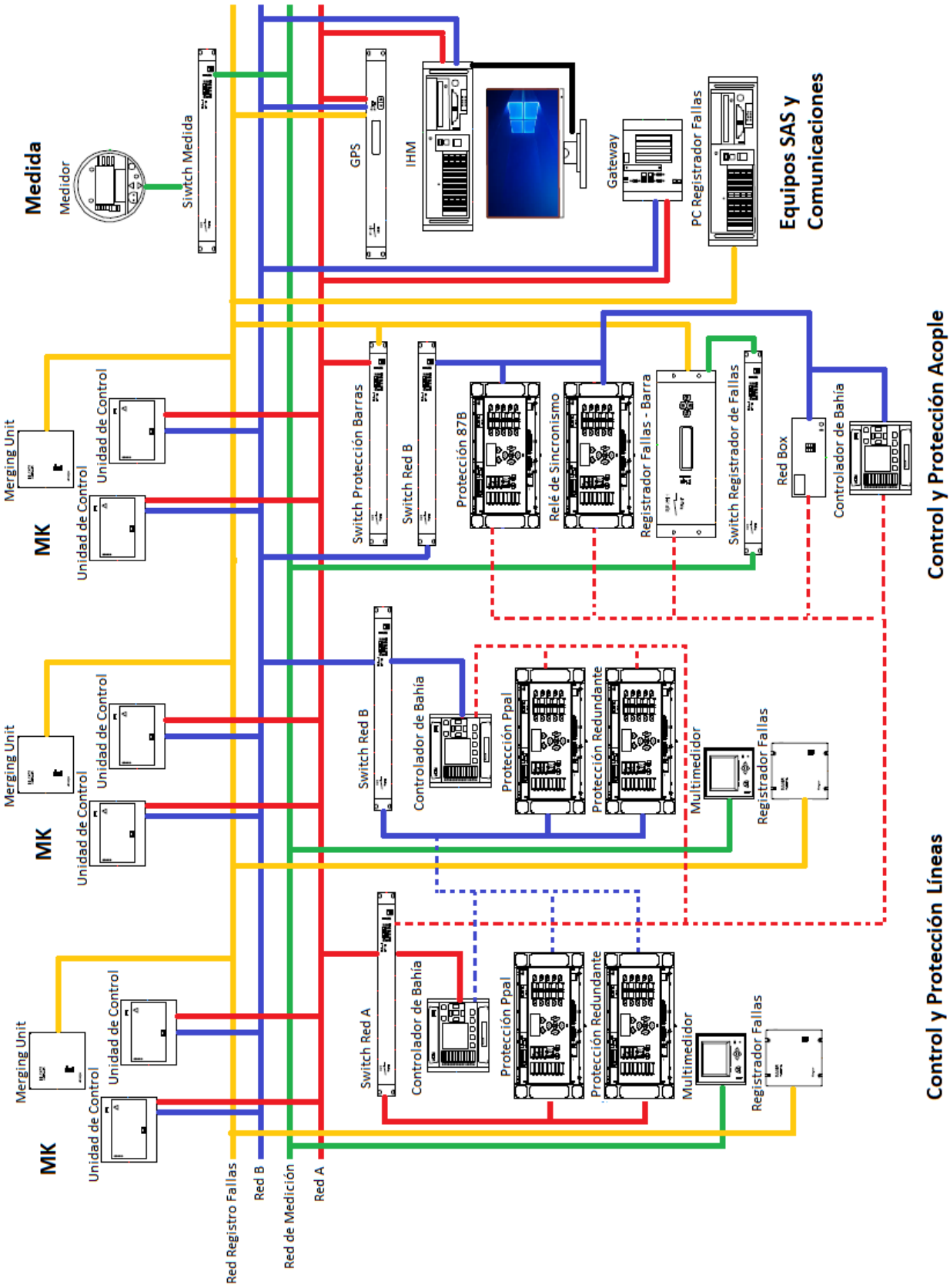



Figura 46. Ejemplo arquitectura de red con protocolo PRP para S/E. Nota: Imagen elaborada por los autores

### 3.8.4. Tipos de conectores para equipos

Finalmente es pertinente conocer los tipos de conectores asociados a los equipos inmersos en el sistema, con el fin de evaluar las conexiones y su respectivo rotulado cuando se ejecuten las pruebas PRE-FAT y FAT de los tableros. Este análisis se enfoca en la parte constructiva de los tableros.

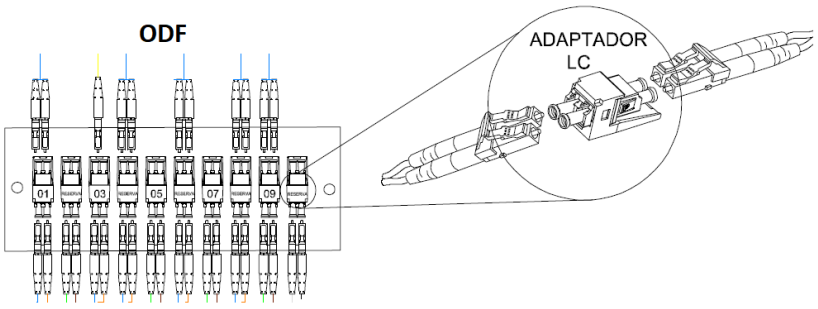



Figura 47. Caja de distribución de fibra óptica y sus conectores *[18]*

La gran mayoría de los tableros cuentan con cajas de distribución de fibras ópticas (ODF), exceptuando el caso de los tableros de agrupamiento de señales (CT's y PT's), por este motivo se muestra en la Figura 47 como se simbolizan dichas cajas y sus tipos de conectores.

Existen diferentes tipos de equipos que presentan puertos de conexión de fibra óptica distintos, por lo cual se hace necesario conocer un poco de los diferentes tipos de conectores que pueden llevar los cables de fibra óptica. En la Figura 48, la Figura 49 y la Figura 50 se muestran los conectores utilizados para los equipos mencionados en la Tabla 14, adicionalmente se presentan algunos conectores utilizados en fibras ópticas para conectar otro tipo de dispositivos de control y protección de S/E (Figura 51).

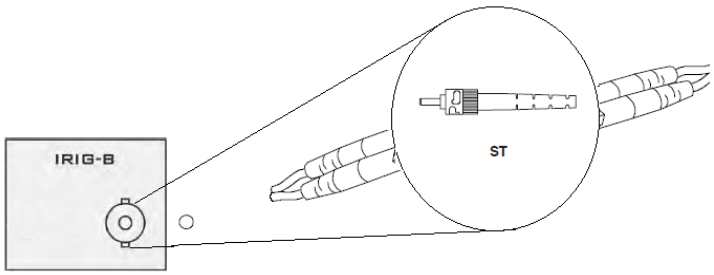



Figura 48. Terminales – Conectores de fibra óptica (ST)

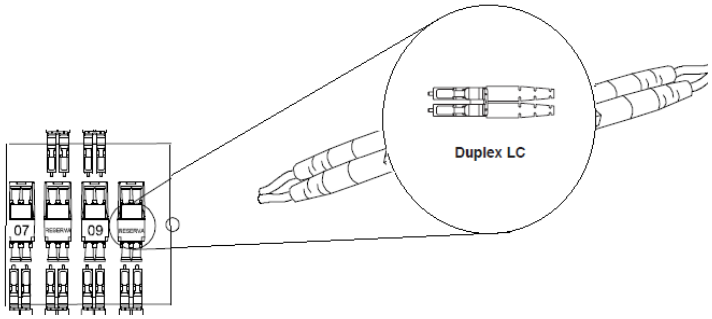



Figura 49. Terminales – Conectores de fibra óptica (Dúplex LC)

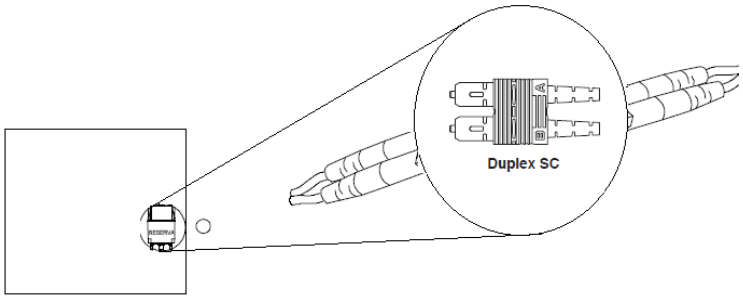



Figura 50. Terminales – Conectores de fibra óptica (Dúplex SC)

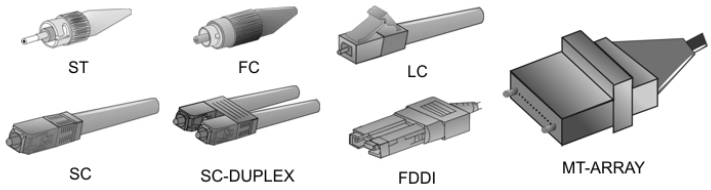



Figura 51. Conectores de fibra óptica

## 3.9. ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS METALMECÁNICAS

En esta sección se mostrarán aspectos relevantes en las estructuras mecánicas de los tableros, considerando las dimensiones, características, disposición física de los elementos y la clasificación de los elementos como partes fundamentales. Muchos de los aspectos constitutivos fueron tomados en cuenta para la elaboración de los procedimientos y protocolos.

**Nota:** Las imágenes presentadas en esta sección fueron tomadas de los manuales de operación e instalación, así que los derechos de estas son propiedad de E.P.C. INGENIERÍA S.A.S. [18] [17]

### 3.9.1. Tableros de agrupamiento de señales

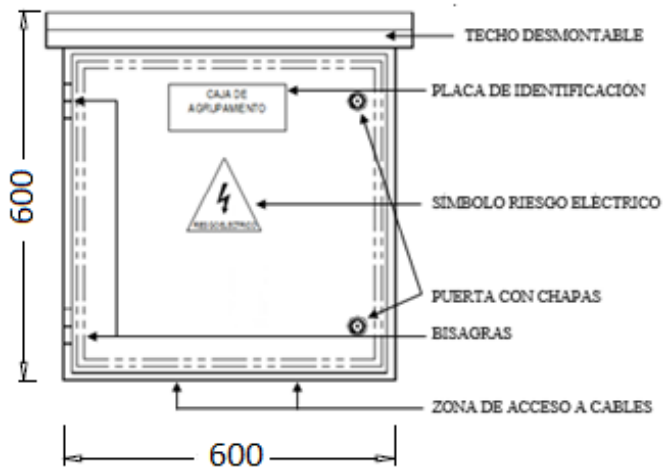



Figura 52. Vista frontal - exterior tablero de agrupamiento.

Los tableros de agrupamiento de señales de CT's y PT's tienen dimensiones de 600 x 600 x 200 mm como se observa en las imágenes.

Estos tableros son de tipo exterior, por lo tanto, están fabricados en lámina de acero galvanizado doblada en frío.

Además, cuentan con doble cerradura, sus respectivas señales de precaución, pintura RAL 7032 y la respectiva placa de identificación exterior con los colores negro (fondo) y blanco (letras).

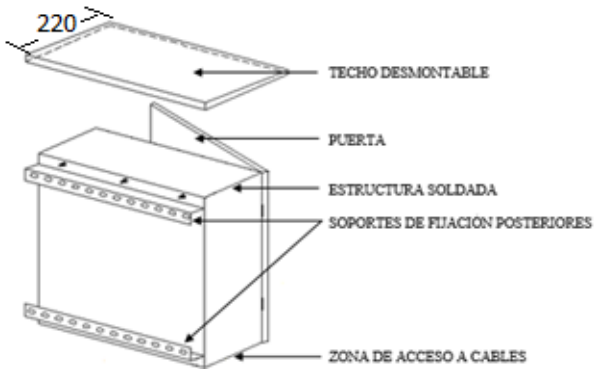



Figura 53. Vista posterior - exterior tableros de agrupamiento

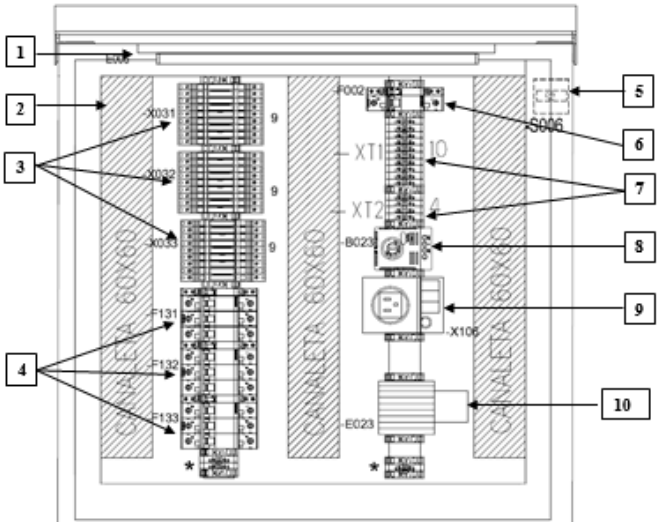



Figura 54. Disposición de elementos de un tablero de agrupamiento para PT's

| Ítem | Descripción |
|---|---|
| 1 | Lámpara LED |
| 2 | Canaleta de conexionado |
| 3 | Bornera conmutable para tensiones |
| 4 | MCB tripolar con bloque auxiliar |
| 5 | Interruptor basculante |
| 6 | MCB monopolar con bloque auxiliar |
| 7 | Borneras de control servicios auxiliares |
| 8 | Termohigróstato Digital |
| 9 | Tomacorriente monofásica |
| 10 | Resistencia calefactora |

Tabla 15. Descripción de elementos para Figura 53 y Figura 54

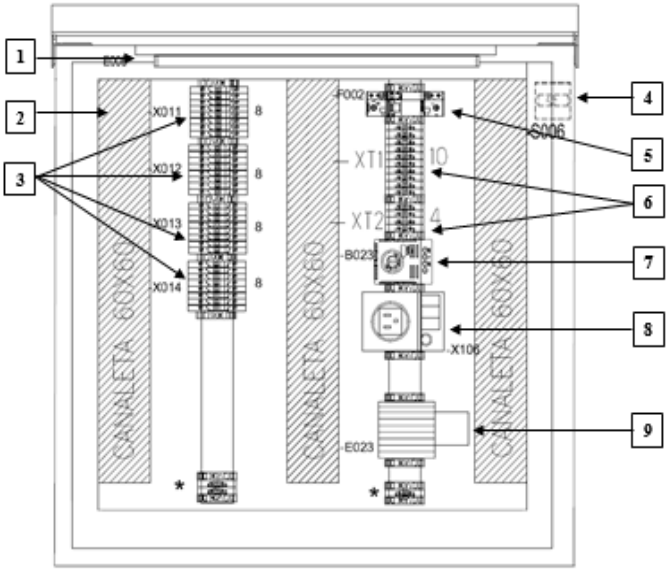



Figura 55. Disposición de elementos de un tablero de agrupamiento para CT's

| Ítem | Tipo de pieza |
|---|---|
| 1 | Bornera conmutable conexión por tornillo |
| 2 | Conector puente |
| 3 | Puente peine |
| 4 | Bornera de control conexión por tornillo |
| 5 | Bornera de tierra conexión por tornillo |
| 6 | Tope final o freno |
| 7 | Interruptor basculante |
| 8 | Lámpara LED |
| 9 | MCB monopolar |
| 10 | MCB tripolar |
| 11 | Bloque auxiliar 1NO / 1NC |
| 12 | Bloque auxiliar 2NC |
| 13 | Termohigróstato digital |
| 14 | Resistencia calefactora |
| 15 | Tomacorriente |

Tabla 16. Descripción elementos para Figura 56

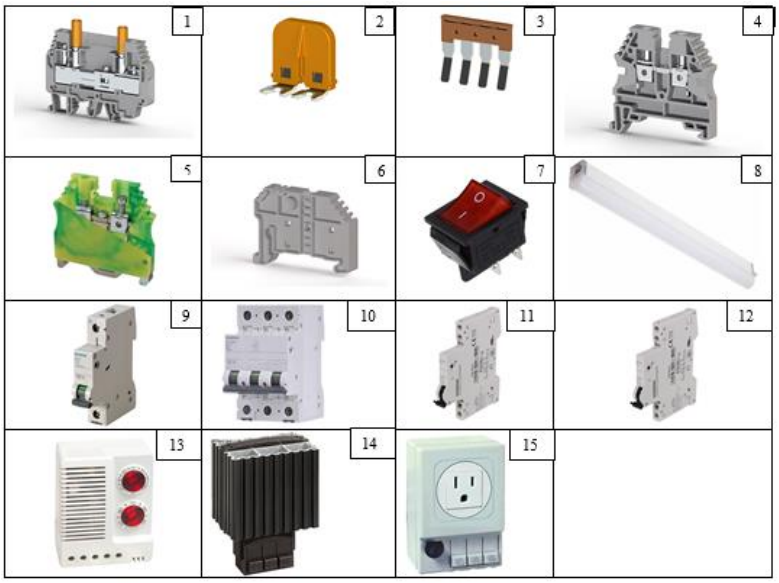



Figura 56. Elementos tableros de agrupamiento

### 3.9.2. Tableros Marshalling Kiosk

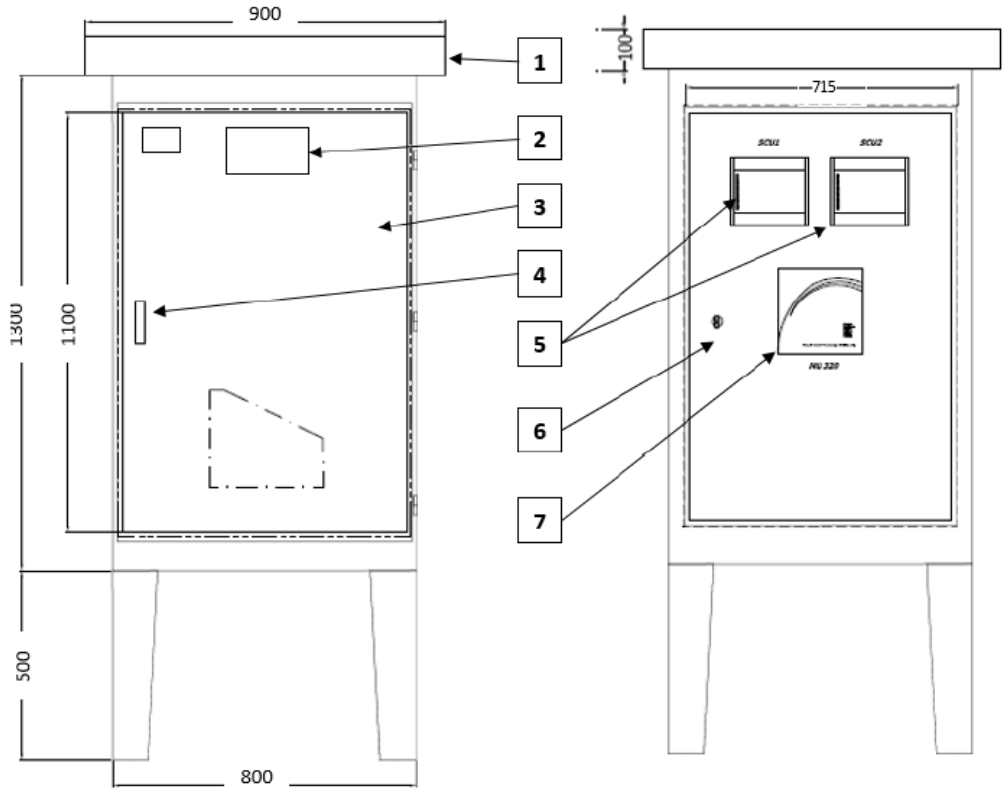



Figura 57. Vista frontal y frente muerto (exterior) de tableros marshalling kiosk.

Como se puede observar en las imágenes mostradas, los tableros marshalling kiosk tienen dimensiones de 1800 x 800 x 900 mm. Igual que los tableros de agrupamiento, estos son de tipo exterior, cuentan con señalización de precaución y están construidos en lámina de acero galvanizado, además de estar pintados con pintura RAL 7032.

Una de las características particulares de este tablero es que cuenta con un frente muerto (detrás de la puerta frontal) en donde se montan los IED's como se puede observar en la Figura 57. Estos tableros tienen placas de montaje de elementos en la parte posterior y frontal por lo que la parte posterior también cuenta con su respectiva puerta.

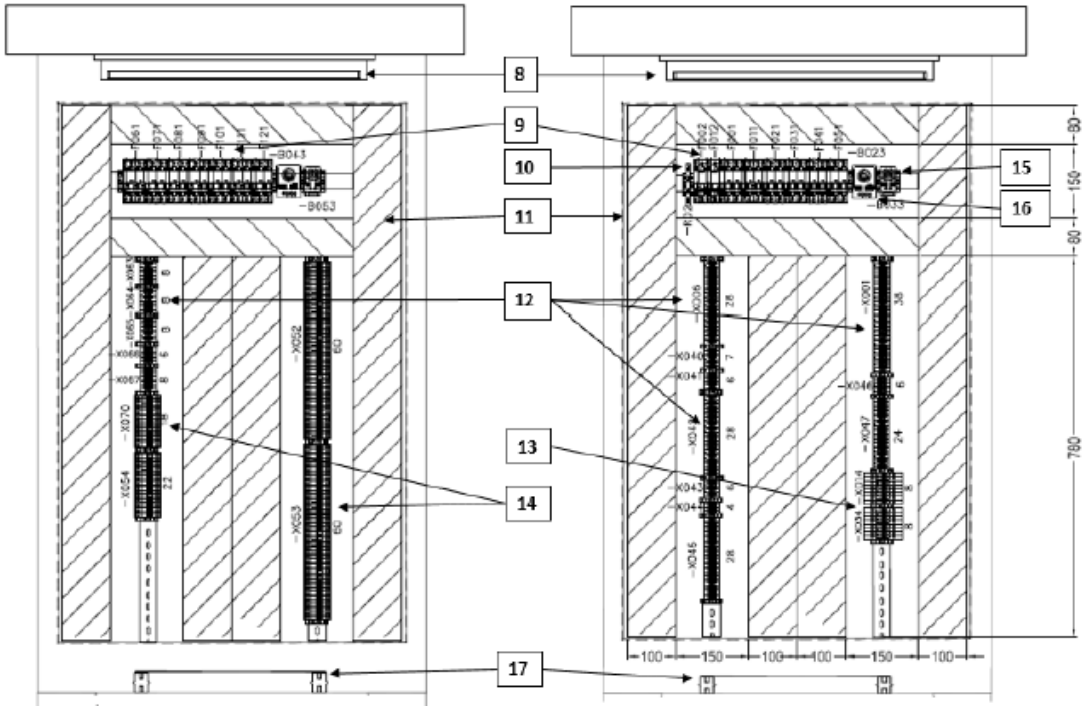



Figura 58. Vista posterior y frontal placas de montaje de tableros marshalling kiosk

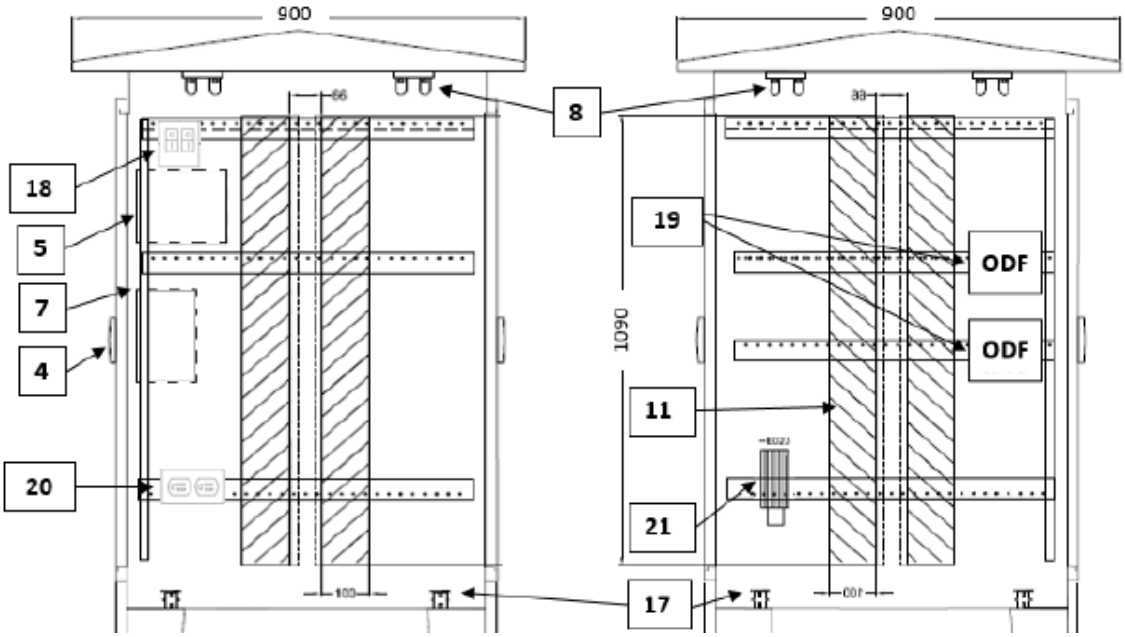



Figura 59. Vista lateral izquierda y lateral derecha de tableros marshalling kiosk

| Ítem | Descripción |
|---|---|
| 1 | Techo doble caída |
| 2 | Placa de identificación |
| 3 | Puerta Frontal |
| 4 | Cerradura |
| 5 | Swtichgear control Unit (SCU) – Unidad de Control |
| 6 | Cerradura para llave triangular |
| 7 | Merging Unit (MU) |
| 8 | Luminarias LED |
| 9 | Mini-interruptores (MCB's) con bloques auxiliares |
| 10 | Relé de supervisión de tensión |
| 11 | Canaleta de conexionado |
| 12 | Borneras de control |
| 13 | Borneras cortocircuitables |
| 14 | Borneras seccionables |
| 15 | Termostato |
| 16 | Higrostato |
| 17 | Barra de tierra |
| 18 | Interruptor basculante |
| 19 | Cajas de agrupamiento de comunicaciones |
| 20 | Tomacorriente monofásica |
| 21 | Resistencia calefactora |

Tabla 17. Descripción de elementos para Figura 57, Figura 58 y Figura 59

En esta sección no se describirán ni analizarán los elementos constitutivos de los tableros marshalling kiosk debido a que muchos de ellos son presentados en la Figura 56.

### 3.9.3. Tableros de tipo interior (control y protección, medida, supervisión y control y comunicaciones)

El análisis de estos tableros sede manera conjunta debido a que las estructuras metálicas son iguales, y por ende solo cambian las disposiciones físicas de los elementos inmersos en cada uno de ellos.

Igual que las estructuras de los tableros anteriores, estos tableros cuentan con placas de identificación, señalización de precaución, cerraduras y pintura RAL 7032. Una diferencia notable, es que los tableros cuentan con un vidrio frontal resistente a impactos, permitiendo ver los IED's presentes.

Como es evidente en las figuras mostradas, las dimensiones de estos tableros son de 2200 x 800 x 800 mm. Todos estos tableros son de tipo interno lo cual hace que estos tengan un grado de protección menor.

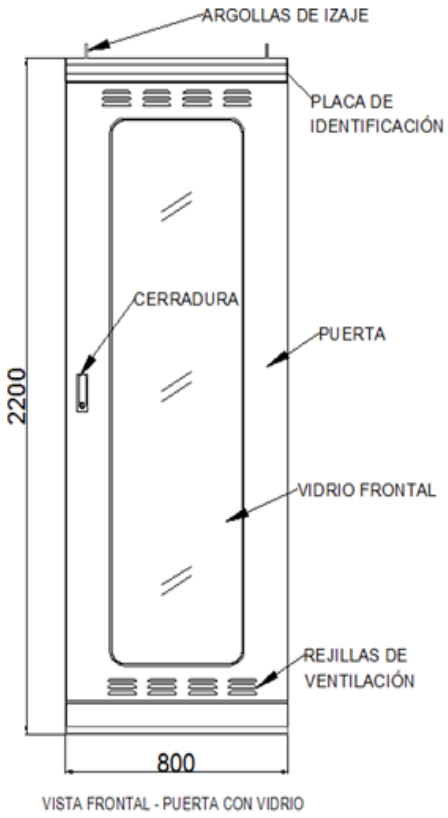



Figura 60. Vista frontal tableros tipo interno

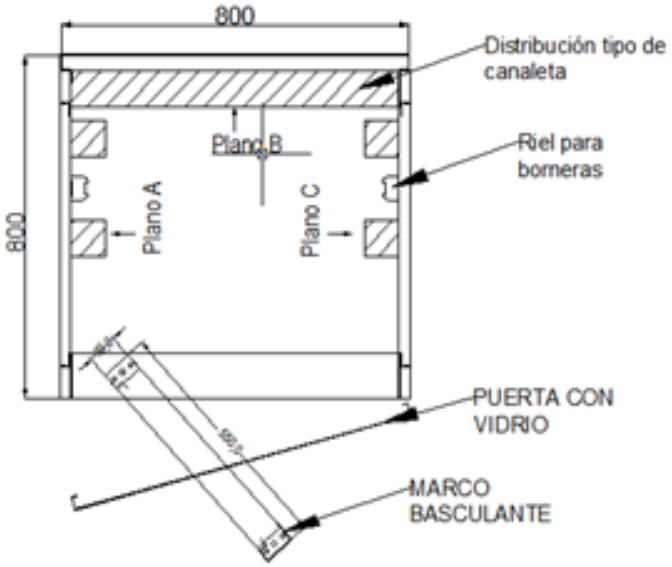



Figura 61. Vista superior tableros tipo interno

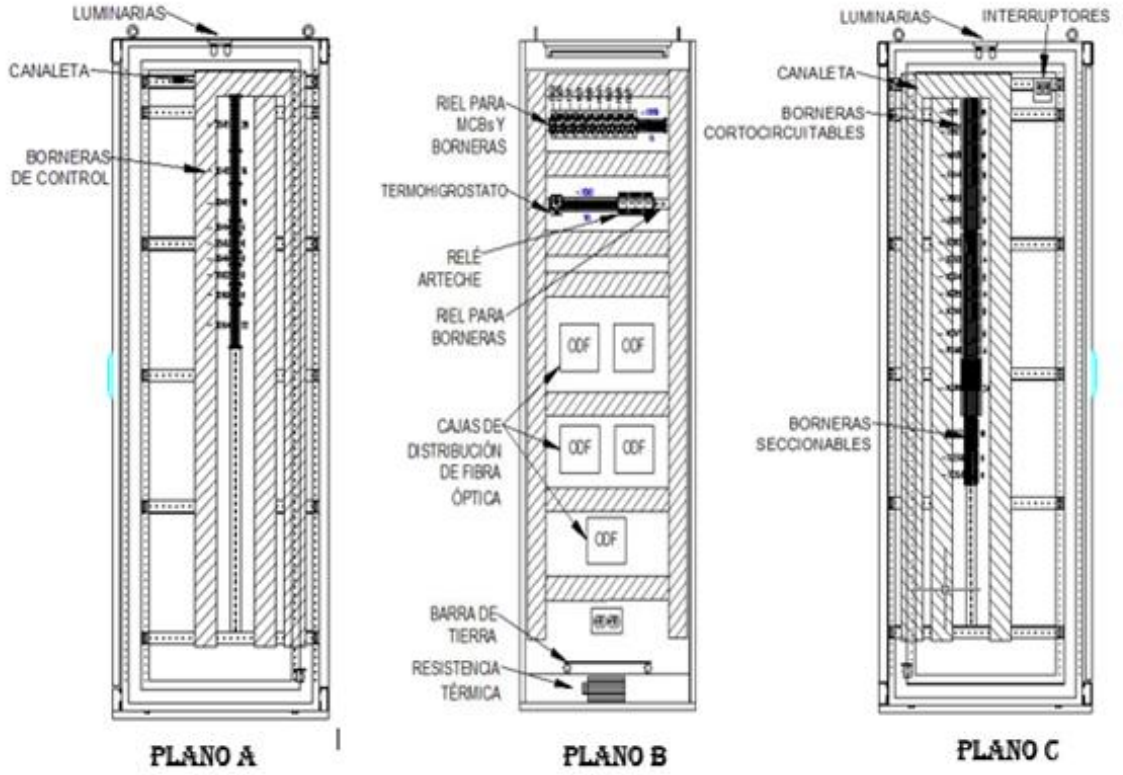



Figura 62. Ejemplo de disposición de elementos internos de tableros de tipo interior

Cabe resaltar que la disposición y enumeración de elementos de estos tableros no se presenta de manera detallada por cuestiones de simplicidad. Por lo tanto, se recurre a la presentación de un ejemplo general de la disposición de elementos de este tipo de tableros, como se puede observar en la Figura 62.

## 3.10. GRADOS DE PROTECCIÓN DE LOS TABLEROS

En esta sección se mostrarán los grados de protección aplicables a los tableros, con el objetivo de dar una idea basada en los conceptos y criterios de diseño exigidos por el cliente final.

Es importante mencionar que solo se mostrarán los grados, sin hacer énfasis en las pruebas que se pueden aplicar a los tableros, de acuerdo a las normativa IEC 60529 (envolturas de los equipos y materiales eléctricos contra el ingreso de materiales sólidos) y su paralelo NTC 3279.

Dichas normas en su desarrollo establecen (para envolventes y equipos eléctricos):

- Designación de cada grado de protección
- Requisitos para cada designación
- Ensayos a efectuar para verificar el grado de protección

Por ende, esta no establece:

- Protección contra impactos mecánicos (IEC 62262)
- Protección contra radiación solar
- Protección contra la corrosión
- Protección contra hongos y factores biológicos presentes (fauna y flora)
- Protección contra humedad
- Protección contra atmósferas explosivas

Según la IEC 60529, un grado de protección es el nivel de protección proporcionado por una envolvente contra el acceso a partes peligrosas, contra el ingreso de elementos sólidos extraños y/o contra el ingreso de agua (verificado por los métodos de ensayos normalizados). La presentación de estos se realiza mediante la codificación IP mostrada en la Figura 63.

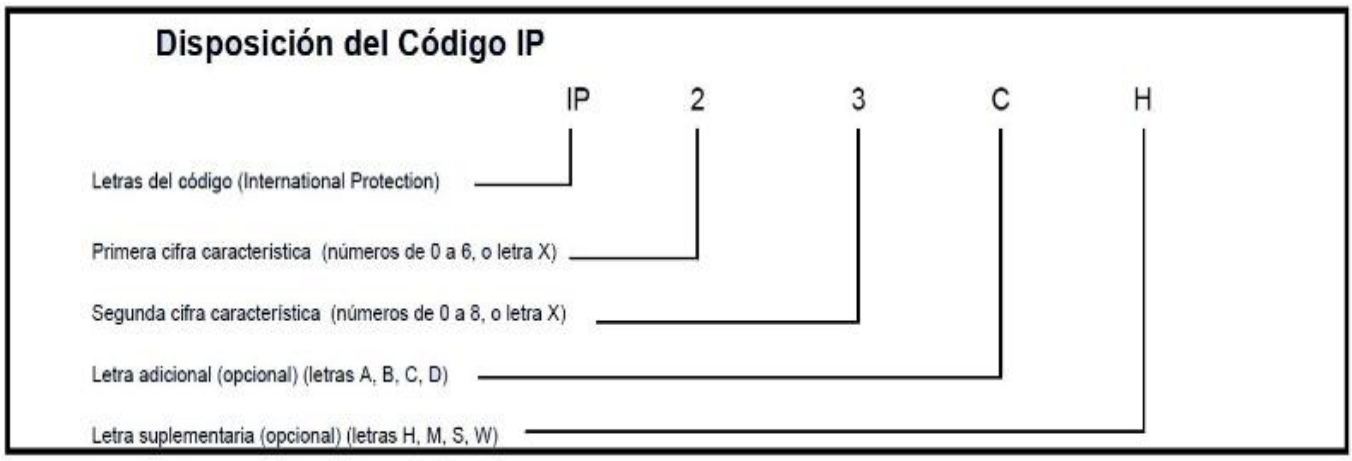



Figura 63. Disposición código IP

Como se muestra en la anterior figura, la codificación puede presentarse mediante las letras IP acompañadas por 4 codificaciones alfanuméricas, las primeras dos numéricas y las segundas dos alfabéticas, estas significan:

- ***Primera codificación*** puede hacer referencia a dos enfoques, a la ***protección contra el acceso a partes peligrosas*** (envolturas de materiales eléctricos) o a la ***protección contra los cuerpos sólidos extraños*** (envoltura de quipos eléctricos).
- ***Segunda codificación*** se refiere a la protección contra la penetración de agua.
- ***Tercera codificación*** hace referencia a la protección contra acceso a partes peligrosas (protección para las personas)
- ***Cuarta codificación*** hace referencia a cuatro factores ambientales de prueba

| Grados de Protección | | | |
|---|---|---|---|
| **Grado** | | **Materiales** | **Equipos** |
| Primera cifra | 0 | Sin protección | Sin protección |
| | 1 | Diámetro ≥ 50 mm | El dorso de la mano |
| | 2 | Diámetro ≥ 12,5 mm | Dedo (12x80mm) |
| | 3 | Diámetro ≥ 2,5 mm | Herramienta (2,5 mm) |
| | 4 | Diámetro ≥ 1 mm | Alamabre (1 mm) |
| | 5 | Protegido parcialmente contra polvo | |
| | 6 | Protegido completamente contra polvo | |
| Segunda cifra | 0 | No protegido | |
| | 1 | Caidas verticales de gotas de agua | |
| | 2 | Caidas de agua con inclinación máxima de 15° (desde eje vertical) | |
| | 3 | Caidas de agua con inclinación máxima de 60° (desde eje vertical) | |
| | 4 | Agua en diferentes direccciones (sin efectos perjudiciales) | |
| | 5 | Chorro de agua desde cualquier direccción (sin efectos perjudiciales) | |
| | 6 | Chorro fuerte de agua desde cualquier direccción (sin efectos perjudiciales) | |
| | 7 | Inmersión temporal en agua (sin ingreso perjudicial con presión y tiempo) | |
| | 8 | Inmersión prolongada en agua (sin ingreso de cantidad perjudicial) | |
| Tercera cifra | A | Dorso de la mano | |
| | B | Dedo (12x80mm) | |
| | C | Herramienta (2,5mm) | |
| | D | Alambre (1mm) | |
| Cuarta cifra | H | Equipos y materiales de alta tensión | |
| | M | Movimiento durante el ensayo de agua | |
| | S | Inmóvil durante el ensayo de agua | |
| | W | Intemperie | |

Tabla 18. Especificaciones grados de protección IP *[20]*

En el Anexo 10 se muestran representaciones gráficas de lo previamente mencionado en esta sección.

Una vez comprendido el concepto correspondiente a los grados de protección se analiza las cifras utilizadas en cada uno de los tableros del proyecto evidenciando tres grandes grupos.

El primer grado asignado fue IP44, el cual corresponde a los tableros de tipo interior, esto debido a que su instalación en sitio se realiza en casetas de control, por lo cual no requiere que el tablero cuente con alta protección y resistencia al ingreso de agua u otras partículas.

En segundo lugar, se tiene el IP64 asignado a los tableros marshalling kiosk instalados a la intemperie, en donde se cuenta con techo de protección para el ingreso de agua en diferentes direcciones sin llegar a tener efectos perjudiciales en el funcionamiento del tablero.

Finalmente se tiene el IP65, asignado a los tableros de agrupamientos para señales de tensión y corriente, a pesar de contar con techo, el grado de este tipo de tableros es superior debido a su instalación a la intemperie y las fuertes condiciones ambientales en la zona, hacen necesario una protección contra chorros de agua provenientes de cualquier dirección.

## 3.11. PROCEDIMIENTOS

En esta sección se mostrará una guía de los aspectos fundamentales para la construcción de procedimientos de pruebas PRE-FAT y FAT para tableros de S/E, presentando la lógica y criterio para la selección de la normativa, pruebas, equipos - sistemas a probar y equipos necesarios para desarrollar las pruebas.

### 3.11.1. Alcance

En primera medida es importante revisar el alcance de los procedimientos, ya que en estos se indica cómo realizar las pruebas, inspecciones y demás criterios establecidos en la creación de los protocolos. Si bien, existe una gran cantidad de pruebas que se le pueden efectuar a los tableros de una S/E, es necesario delimitarlas y definir un correcto alcance basándose en criterios como:

- Equipos eléctricos disponibles para pruebas
- Entorno – laboratorio de pruebas
- Sistemas de seguridad (a nivel industrial)
- Personal técnico capacitado
- Personal de pruebas capacitado
- Instalaciones eléctricas capaces de suministrar la suficiente energía

### 3.11.2. Análisis de estándares de aceptación exigidos

Un concepto fundamental dentro de la construcción de procedimientos son los estándares de aceptación, también conocidos como requisitos de construcción y funcionamiento establecidos por el cliente final.

Si bien en la sección 3.4.8 se establecen los requisitos constructivos de los tableros, surge la necesidad de ver los aspectos de integración y funcionamiento del sistema SAS, verificando por un lado la integración de los sistemas de comunicaciones, supervisión y medida y por otro lado el funcionamiento del sistema de control y protección de la S/E.

Para observar un correcto funcionamiento debe haber una unificación del sistema en general, que garantice el funcionamiento de los tableros y del sistema SAS. Algunos de los aspectos que generalmente se verifican son:

- Requisitos constructivos (ver sección 3.4.8)
- Integración del sistema de comunicaciones

- Pruebas de comunicaciones (goose y sampled values)
- Pruebas de publicación de datos en la red
- Respuesta de equipos a eventos de la red
- Respuesta de equipos a información de la red

➢ Funcionamiento del sistema de control y protección
- Pruebas de funcionamiento de alarmas
- Pruebas de funcionamiento de disparos
- Pruebas de señales de control
- Pruebas de señales de protección
- Pruebas de funcionamiento de equipos (IED's) de maniobra

➢ Integración del sistema de supervisión y control
- Permisos a niveles de control (0, 1, 2 y 3)
- Acceso remoto a equipos (IED's) de la S/E
- Mando remoto de equipos de patio

➢ Integración del sistema de medida
- Registro de medidas de variables y/o parámetros eléctricos con fines de control
- Registro de medidas de variables y/o parámetros eléctricos con fines de facturación

### 3.11.3. Selección de normatividad

La normativa aplicable a los tableros sirve como guía para lograr ajustar los lineamientos y parámetros constructivos empleados por las empresas (fabricantes) con los lineamientos y requerimientos establecidos por el cliente final.

Una de las pautas más significativas para la elección de la normativa aplicable, es el alcance de los procedimientos y protocolos, ya que en estos se definen las condiciones para la selección de las pruebas y de la normativa que conllevan.

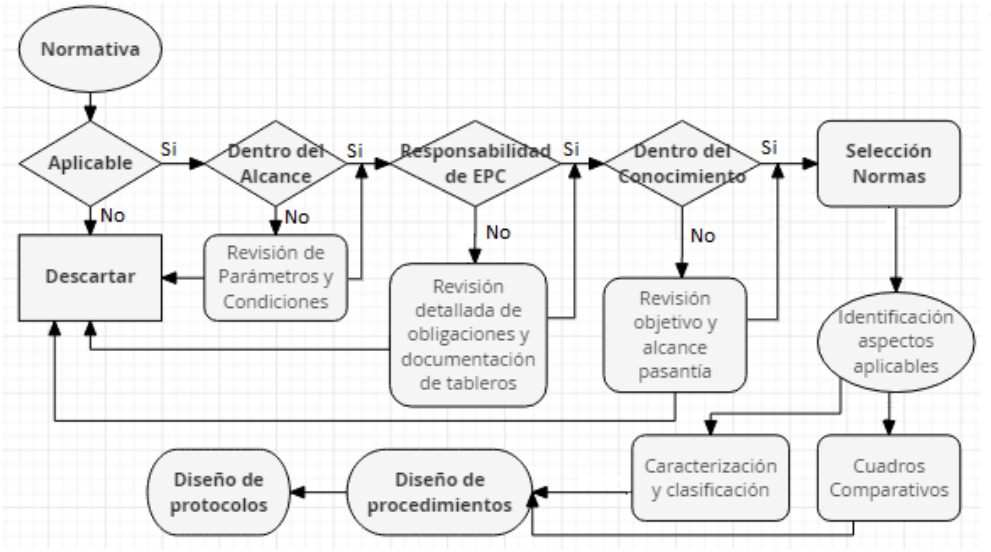



Figura 64. Diagrama de flujo para elección de normativa

Tomando como referencia la Tabla 7 que contiene una normativa previamente consultada y clasificada, es posible aplicar el diagrama de flujo contemplado en la Figura 64, teniendo como resultado la selección de las normas esenciales mostradas en la Tabla 19.

| **Control y Protección** | |
|---|---|
| **Norma** | **Descripción** |
| IEC 60831 | Integración del sistema de control / Señales Analógicas |
| IEC 60478 | Estabilidad de fuentes DC de alimentación |
| IEEE C37.118 | Sincrofasores para SEP |
| **Medida** | |
| **Norma** | **Descripción** |
| IEC 62052 22 | Equipo eléctrico de medida/requerimientos particulares de medida de energía activa (clases 0,2s y 0,5s) |
| IEC 62052 23 | Equipo eléctrico de medida/requerimientos particulares de medida de energía reactiva (clases 0,2s y 0,5s) |
| **Comunicaciones** | |
| **Norma** | **Descripción** |
| IEC 60794 | Cables de fibra óptica |
| IEC 61850 | Redes de comunicaciones y sistemas en S/E |
| ITU-T G.652 | Características de cables y fibras ópticas monomodo |
| **Gabinetes / Tableros** | |
| **Norma** | **Descripción** |
| IEC 60439 1 | Montaje de interruptores y equipos de control de bajo voltaje. Parte 1: Generalidades |
| IEC 60439 2 | Montaje de interruptores y equipos de control de bajo voltaje. Parte 2: Alimentación y montaje |
| IEC 600947 | Interruptores y equipos de control de bajo voltaje. |
| IEC 60255 0 20 | Contactos de relés eléctricos |
| IEC 60227 1 | Cables aislados con policloruro de vinilo para tensiones de hasta 450/750 V |
| IEC 60297 | Estructuras mecánicas para equipos electrónicos. Dimensiones de estructuras mecánicas |
| IEC 60529 / NTC 3279 | Grados de protección |
| IEC 60603 | Conexiones para equipos electrónicos |
| IEC 60715 | Dimensiones de interruptores y equipos de control. Estándares de montaje en rieles mecánicos |
| IEC 61082 | Preparación de documentos utilizados en electrotecnia |
| UNE 60204-1 | Demarcación de conexionado de equipos |
| IEC/EN 81346 | Nomenclatura de instalaciones y equipos industriales |
| IEC/EN 61439 2 | Montaje de interruptores y equipo de control de bajo voltaje. Parte 2: Alimentación y montaje de interruptores y equipos de control |
| UL-891 | Cuadros de distribución hasta 600V |
| UL-67 | Estándar para paneles de control y protección. Circuitos de control, protección e iluminación |
| NTC 811 | Método para medir la adherencia del recubrimiento de pintura. Ensayo cinta. |

| | |
|---|---|
| IEEE 280 | Símbolos estandarizados de cantidades utilizadas en ciencia e ingeniería eléctrica |

Tabla 19. Normativa seleccionada para el proyecto de tableros S/E Puerto Napo

### 3.11.4. Selección de elementos, estructuras y equipos a probar

Como se observa en la normativa aplicable, el enfoque esta dado a las pruebas estructurales y/o constructivas para los tableros, dejando claro que los aspectos a tener en cuenta serán las estructuras metalmecánicas, la integración del sistema de control (funcionamiento de IED's y control desde controladores de bahía) y las pruebas a los elementos constitutivos de cada tablero.

Los equipos a probar son:

- IED's (Dispositivos electrónicos inteligentes)
- PL1 (Protección principal)
- PL2 (Protección redundante)
- MDD (Medidor multifuncional)
- SWA (Switch red A)
- SWB (Switch red B)
- RAP (Registrador de fallas)
- PC/RAP (Computador registrador de fallas)
- PB1/UC (Protección de barras)
- PB1/25 (Protección de verificación de sincronismo)
- PB1/87B (Protección diferencial de barras)
- MU (Merging unit)
- SCU (Switch control unit)
- BCU (Controlador de bahía)
- BP1 (Bloque de prueba 1)
- BP2 (Bloque de prueba 2)
- SW/M (Switch de medida)
- SW/RAP (Switch registro de fallas)

- Elementos constitutivos de los circuitos
- ODF's
- Cables de fibra óptica
- MCB's
- Borneras
- Cableado
- Tomacorrientes
- Termóstatos
- Higróstatos
- Termohigróstatos
- Lámparas de iluminación

- Estructuras mecánicas (puertas, laterales, techos, bases, etc)
- Estructura tablero marshalling kiosk
- Estructura tablero de agrupamiento
- Estructura tablero tipo interior (control y protección)

**Nota:** Los nombres de los IED's y elementos mencionados de manera abreviada, pueden ser consultados en las abreviaturas del documento. Ver X.

### 3.11.5. Selección de pruebas a desarrollar

Una vez seleccionados los elementos y estructuras a probar, es evidente que se tendrán que evaluar los aspectos más relevantes de las pruebas y definir si se encuentran dentro del alcance del documento. En caso de no estar dentro del alcance, es posible mirar si se pueden incluir como pruebas no estructuradas (pruebas que se realizan sin necesidad de incluir procedimientos ni protocolos).

Las pruebas seleccionadas son:

- Pruebas de energización
  - Energización de circuitos (conexionado)
  - Energización de IED's (descritos en la anterior sección)
  - Energización de MCB's
  - Energización de higróstato, termóstato y/o termohigróstato
  - Energización de resistencia de calefacción
  - Energización de circuitos de iluminación
- Pruebas a elementos internos
  - Funcionamiento de higróstato, termóstato y/o termohigróstato
  - Funcionamiento de resistencia de calefacción
  - Funcionamiento iluminación principal y de emergencia
  - Torque a tornillería interna (barras de tierra)
- Pruebas a IED's
  - Verificación y funcionamiento de interfaces IHM (controladores de bahía, relés, etc)
  - Verificación de lógicas de enclavamientos
  - Prueba de funciones programadas a las botoneras de los IED's
- Pruebas de Control
  - Realización de maniobras desde controlador de bahía
  - Verificación de niveles de mando 1 y 2
  - Inyección de corrientes secundarias bloques de prueba
  - Inyección de tensiones secundarias en bloques de prueba
- Pruebas de Protección
  - Disparo de protecciones al detectar señales de falla
  - Alarmas de IED's
  - Ajuste de parámetros de IED's

Adicional a las pruebas mencionadas se encuentra un apartado de verificación de elementos constitutivos, el cual contempla:

- Inspección de conexionado
- Inspección de terminales del conexionado
- Inspección de marquillado conexionado
- Inspección de marquillado cables de fibra óptica
- Inspección terminados del tablero

- Inspección del estado de la pintura
- Verificación de dimensiones del tablero
- Verificación de grados de protección (IP)
- Verificación de apriete de conexiones (en borneras)
- Verificación de placas de identificación de elementos
- Inspección estética del cableado
- Inspección de espacio de canaletas
- Verificación de uso de espiral
- Verificación estado (visual) de IED's
- Inspección de tipos y grupos de borneras
- Verificación de símbolos de precaución del tablero
- Verificación de disposición de elementos

### 3.11.6. Selección de equipos a utilizar en las pruebas

También es importante resaltar algunos equipos con los cuales se hicieron las pruebas, así algunas de ellas no se encuentren inmersas dentro de los procedimientos y protocolos elaborados. Es posible que esta sección no tenga mayor relevancia, pero puede ser fuente de orientación para futuras aplicaciones.

Algunos de los equipos utilizados son:

- OMICRON CM356 para pruebas de protecciones
- Interfaz de auto pintura (medidor de espesor de pintura - micras)
- Torquímetro
- Fuente de tensión DC, fija a 125 V
- Multímetro
- Flexómetro

### 3.11.7. Clasificación de pruebas

Como se observa en la sección de selección de pruebas, la gran mayoría están enfocadas a la construcción de los tableros y no a la integración del SAS, ya que este tipo de pruebas (SAS) se hicieron de manera no estructurada y estaban fuera del alcance de la pasantía.

Si bien, las pruebas efectuadas eran básicas y comprobaban el funcionamiento de los tableros, la mayoría de ellas fueron aceptadas por los ingenieros responsables del proyecto en EPC INGENIERÍA y por el ingeniero encargado del proyecto por parte de la empresa GE Colombia. Las pruebas mencionadas se clasificaron en 4 grupos específicos.

- Inspección visual
- Pruebas eléctricas
- Pruebas mecánicas
- Chequeo a elementos menores

## 3.12. ESTRUCTURA DE LOS PROCEDIMIENTOS

En esta sección se mostrarán los aspectos importantes tenidos en cuenta en la estructura de los procedimientos para tableros de S/E, además de mencionar los presentes en los procedimientos elaborados durante la ejecución de este proyecto. Es posible que se evidencien características básicas que pueden llegar a ser omitidas por las empresas, pero que son de gran relevancia al ejecutar pruebas PRE-FAT y FAT.

### 3.12.1. Nomenclatura y documentos relacionados

Para cualquier elaboración de procedimientos, es importante tener en cuenta la contextualización del lector, ya que este será una de las personas encargadas de realizar las pruebas y consignar los resultados en los protocolos.

Por esta razón surge la necesidad de establecer una nomenclatura clara y asociada a todos los diagramas presentes en la ingeniería y así facilitar la interpretación de las pruebas expuestas.

Adicionalmente, en la estructura de los procedimientos se hace pertinente mencionar los planos asociados a las pruebas (ya sean diagramas de principio, unifilar, esquemáticos o mecánicos), con el objetivo de disponer de una herramienta para el entendimiento de las pruebas.

### 3.12.2. Definiciones previas

Igual que la nomenclatura y planos asociados, es fundamental dar definiciones previas a la descripción de las pruebas, haciendo más sencillo identificar y comprender los aspectos y parámetros que se pretenden probar.

### 3.12.3. Descripción Inspección Visual

Existen apartados en los procedimientos dedicados exclusivamente a verificar los aspectos visuales y constructivos de los tableros, haciendo necesaria la revisión de estos debido a que por más simples que parezcan, la falla de alguno de ellos puede ocasionar fallos en el funcionamiento eléctrico de los sistemas de control y protección.

En la inspección visual se debe observar el estado general del tablero respecto a las condiciones del proyecto, teniendo en cuenta los documentos de referencia como planos y diagramas pertenecientes al tablero.

Además, se exponen algunas características básicas de los protocolos para que puedan ser diligenciados. Tal es el caso de las casillas correspondientes a "**Resultado de Inspección**" y a "**observaciones**" las cuales deben ser diligenciada de acuerdo a la nomenclatura previamente establecida en la estructura. [18]

A continuación, se nombran algunos de los ítems correspondientes al apartado de inspección visual.

- Dimensiones metalmecánicas del tablero
- Integridad y homogeneidad de la pintura del tablero
- Estado de vidrio frontal

- Rejillas de ventilación
- Verificación de barra de tierra
- Instalación de tapas U
- Disposición física de los IED’s
- Disposición física de borneras
- Disposición física de canaletas
- Disposición física de ODF’s
- Numeración de borneras
- Identificación de grupo de borneras
- Placas de identificación de elementos eléctricos
- IED’s aterrizados
- Borneras de tierra (rieles), y circuitos auxiliares aterrizados
- Puertas y estructuras aterrizadas
- Soportes internos bien fijados
- Marquillado del conexionado
- Marquillado del sistema de comunicaciones
- Terminados y estética del tablero
- Ubicación de cerraduras, puntos de izaje y seguros
- Inspecciones elementos menores (MCB’s y equipos de control)
- Inspección visual de estado de IED’s

En cada uno de los ítems anteriormente descritos se ilustran los pasos y las indicaciones de como se deben hacer las inspecciones, el objeto y como diligenciar los protocolos de acuerdo a los criterios establecidos.

### 3.12.4. Descripción Pruebas Mecánicas

En esta sección se busca probar algunos elementos clave en la metalmecánica del tablero, teniendo en cuenta hasta los más mínimos detalles constructivos tales como las cerraduras y seguros de las puertas. Para ejecutar este tipo de pruebas se debe asegurar que el tablero se encuentre completamente desenergizado.

Algunas de las pruebas mecánicas estructuradas fueron:

- Correcto cierre y apertura de puertas de los tableros
- Correcto cierre y apertura de marco basculante
- Correcto bloqueo y desbloqueo de cerraduras
- Torque y fijación de barras de tierra

Algunas pruebas mecánicas no estructuradas fueron:

- Fijación de argollas de izaje
- Fijación de techos
- Fijación de tapas laterales
- Fijación de puertas
- Fijación de vidrio frontal

- Fijación de rejillas de ventilación
- Comprobación grados de protección IP
- Fijación de soportes para IED's y elementos constitutivos

Esta sección las pruebas son muy sencillas, pero estas se realizan con la finalidad de evitar daños en el transporte de los tableros.

### 3.12.5. Descripción Pruebas Eléctricas

Esta sección puede que sea una de las más importantes, ya que estas pruebas tienen como finalidad probar el funcionamiento de los diferentes IED's, elementos constitutivos y circuitos de cada tablero. Con estas pruebas se pueden verificar indirectamente factores como el conexionado, la correcta lectura de variables por parte de equipos (IED's), polaridades, entre otros.

Algunas de las pruebas eléctricas estructuradas fueron:

- Alimentación circuitos AC: Energización de borneras (tensión de servicio)
- Alimentación de circuito de tomacorriente
- Alimentación de circuitos DC: Energización de borneras (tensión de control)
- Verificación de polaridades de los MCB's
- Alimentación de circuito de iluminación de emergencia DC
- Alimentación de circuito de iluminación AC
- Alimentación sistema de calefacción (resistencia y termóstato/higróstato/termohigróstato)
- Encendido de IED's
- Pruebas a relés biestables (conmutadores de circuitos)

Algunas pruebas eléctricas no estructuradas fueron:

- Inyecciones de corrientes en bloques de pruebas
- Inyecciones de tensiones en bloques de pruebas
- Pruebas de control de mando a nivel 1
- Pruebas de control de mando a nivel 2
- Pruebas de disparos de protecciones principales y redundantes
- Pruebas de alarmas de protecciones principales y redundantes
- Pruebas de conversión de señales análogas a digitales
- Registro de variables y parámetros eléctricos por parte de los IED's

Para las pruebas estructuradas se especificaron las borneras a energizar, las polaridades, las conexiones de cada uno de los IED's (comúnmente denominados como "cocidos"), el respectivo método de medición y por último el registro de los valores dentro de los protocolos diseñados. Cabe resaltar que para las pruebas de energización de los equipos (IED's) se contaba con solo una fuente (125 VDC – tensión de control) y por ende todas las conexiones se realizaban en paralelo.

### 3.12.6. Descripción Chequeo Equipos Menores

Por último, se encuentra la sección de chequeo de equipos menores o bien conocidos como elementos constitutivos del tablero. El objetivo de este chequeo es verificar las cantidades de elementos menores instalados en el tablero.

Para esto hay que verificar todas las cantidades de elementos presentes en el tablero, con ayuda de los planos mecánicos y los planos de las disposiciones físicas de dichos elementos. Cabe resaltar que en este apartado se pueden verificar las normativas aplicables al diseño buscando comprobar la modularidad del tablero mediante la cantidad de borneras de reserva.

## 3.13. PROTOCOLOS

En esta sección se presentarán la clasificación y características de los formatos de los protocolos presentados y aprobados para la realización de las pruebas PRE-FAT y FAT.

### 3.13.1. Tableros de Tipo Interior

Para este formato de tableros en primer lugar se procede a identificar las condiciones de pruebas, mencionando las condiciones técnicas de los equipos de prueba y las condiciones medioambientales presentadas en fábrica, estás contrastadas con las condiciones requeridas por el fabricante en campo.

Cabe aclarar que las condiciones requeridas fueron identificadas en el manual de automatización de subestaciones de Transelectric [2] y las condiciones medioambientales fueron asumidas por los datos de la ciudad de Puerto Napo - Ecuador (Figura 1). Para ilustrar lo anteriormente descrito ver Tabla 20.

| **Condiciones Prueba** | | **Condiciones Requeridas** | |
|---|---|---|---|
| **Tensión de control** | 123,5 VDC | **Tensión de control** | 125 VDC |
| **Tensión servicio** | 124,5 VAC | **Tensión servicio** | 120 VAC |
| **Frecuencia** | 60Hz | **Frecuencia** | 60 Hz |
| **Grado de protección (IP)** | 44 | **Grado de protección (IP)** | 44 |
| **Temperatura Ambiente** | °C | **Temperatura Ambiente** | 33,5 °C |
| **Altura sobre el nivel del mar** | 2600 msnm | **Altura sobre el nivel del mar** | 510 msnm |
| **Humedad relativa** | % | **Humedad relativa** | 82% |

Tabla 20. Condiciones de pruebas PRE-FAT y FAT.

Dichas condiciones son expuestas para tener una referencia y para que se realicen las respectivas correcciones por factores medioambientales al momento de ejecutar las pruebas SAT.

En segundo lugar, se exponen dos cuadros en donde se consignan los datos y/o valores obtenidos durante la etapa de la inspección visual, en el primero se consignan los datos del tablero y sus elementos menores y en el segundo se consignan los datos de los IED’s asociados.

En el primer cuadro se evidencia un aspecto importante concerniente a las dimensiones de los tableros y a la homogeneidad de la pintura (prueba realizada con la interfaz medidora de espesor de pintura) en la cual se realizan varias mediciones, tomando el promedio de las mismas como el valor final; siendo aspectos variables en cada una de las estructuras, pero estando dentro de los límites de desviación exigidos por Transelectric. A continuación, se mostrará el encabezado de dicho cuadro.

| INSPECCIÓN VISUAL TABLERO DE TIPO INTERIOR | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Ítem** | **Parámetro de Evaluación** | | **Resultado Inspección** | **OBS** |
| 1 | Dimensiones de la metalmecánica del tablero | | √ | |
| 1.1 | Altura Requerida (m) | 2.2 | 2.205 | |
| 1.2 | Ancho Requerido (m) | 0.8 | 0.798 | |
| 1.3 | Profundidad Requerida (m) | 0.8 | 0.796 | |
| 2 | Verificar la integridad y homogeneidad de la pintura del tablero.<br>Color Pintura (RAL 7032) con mínimo 70 um | | √ | |
| 3 | Estado Vidrio frontal | | √ | |

Tabla 21. Encabezado del cuadro de inspección visual de tableros de tipo interior

En el segundo cuadro se evidencia la inspección a los equipos, registrando las características y modelos de estos. A continuación, se presenta el encabezado de dicho cuadro.

| INSPECCIÓN VISUAL EQUIPOS MAYORES | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ítem** | **Equipo** | **Marca** | **Tipo** | **N° serie** | **Resultado Inspección** | **OBS** |
| 1 | Switch Medición (-SWM) | GE-REASON | T100xxxxxx | 900xxxxx | √ | |

Tabla 22. Encabezado del cuadro de inspección visual de IED's (tablero de tipo interior)

En tercer lugar, se expone un cuadro en donde se consignan los datos y/o parámetros obtenidos para las pruebas mecánicas. A continuación, se mostrará el encabezado de dicho cuadro.

| PRUEBAS MECÁNICAS | | | |
|---|---|---|---|
| **Ítem** | **Parámetro de Evaluación** | **Resultado prueba** | **OBS** |
| 1 | Correcto cierre y apertura puerta tablero. | √ | |

Tabla 23. Encabezado del cuadro de pruebas mecánicas

En cuarto lugar, se expone un cuadro en donde se consignan los datos y/o parámetros obtenidos para las pruebas eléctricas. A continuación, se mostrará el encabezado de dicho cuadro.

| PRUEBAS ELÉCTRICAS | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Ítem** | **Parámetro de Evaluación** | **Resultado Esperado** | **Resultado obtenido** | **OBS** |
| **1** | Alimentación del tablero y Medición de la tensión de servicio AC | 120 VAC | 124,4 VAC | |
| **2** | Medición de tensión en el Tomacorriente | 120 VAC | 124,5 VAC | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **3** | Medición tensión de control DC | 125 VDC | 123,5 VDC | |

Tabla 24. Encabezado del cuadro de pruebas eléctricas

En quinto y último lugar se expone un cuadro en donde se consignan los datos y/o parámetros obtenidos en el chequeo de los elementos menores. A continuación, se mostrará el encabezado de dicho cuadro.

| LISTA DE CHEQUEO DE DISPOSITIVOS Y ELEMENTOS MENORES | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Ítem** | **DESCRIPCIÓN** | **Referencia** | **Cantidad** | **Verificado** | **OBS** |
| 1 | Bornera de paso conexión por tornillo. avk | AVK 4 K304130 | xxx | √ | |
| 2 | Bornera de paso seccionable por cuchilla. ask | ASK-3A K353109 | xxx | √ | |
| 3 | Bornera cortocircuitable. wgo3 | WGO3-K375692 | xxx | √ | |
| 4 | Bornera de conexión por tornillo para tierra. Avk | AVK 2.5/4T K334120 | xxx | √ | |

Tabla 25. Encabezado del cuadro de chequeo de elementos menores.

### 3.13.2. Tableros Marshalling Kiosk

El formato de los protocolos de los tableros marshalling kiosk es muy similar al formato de los tableros de tipo interior, teniendo las mismas consideraciones, identificando las condiciones para la realización de las pruebas, exponiendo los cuadros de inspección visual de IED's y del tablero, exponiendo los cuadros de las pruebas mecánicas y eléctricas, y concluyendo con el listado de chequeo de equipos menores.

Sin embargo, hay diferencias significativas en algunos ítems debido a que este tipo de tablero solo cuenta con 3 IED's, el grado de protección IP cambia de 44 a 65, su estructura mecánica tiene 2 puertas y un frente muerto, no cuenta con vidrios frontales, sus dimensiones cambian, y el mínimo del espesor de la pintura pasa a ser de 90 um (valor de medida promedio), entre otros. En la Tabla 26 se muestran algunas de las diferencias mencionadas.

| **Condiciones Prueba** | | | **Condiciones Requeridas** | |
|---|---|---|---|---|
| **Grado de protección (IP)** | 65 | | **Grado de protección (IP)** | 65 |
| **INSPECCIÓN VISUAL TABLERO DE TIPO EXTERIOR (MK)** | | | | |
| **Ítem** | **Parámetro de Evaluación** | | **Resultado Inspección** | **OBS** |
| 1 | Dimensiones de la metalmecánica del tablero | | √ | |
| 1.1 | Altura Requerida (m) | 1.8 | 1.8 | Sin contar el techo |
| 1.2 | Ancho Requerido (m) | 0.8 | 0.79 | |
| 1.3 | Profundidad Requerida (m) | 0.8 | 0.8 | |
| 2 | Verificar la integridad y homogeneidad de la pintura del tablero.<br>Color Pintura (RAL 7032) con mínimo 90 um | | √ | |
| 3 | Estado Vidrio frontal | | **X** | No aplica |

Tabla 26. Diferencias de cuadros de tableros de tipo interior y tableros marshalling kiosk.

Cabe aclarar que, en el cuadro de chequeo de elementos menores de todos los tableros, independientemente del tipo (interior, MK o agrupamiento) cambia sus cantidades, esto debido a

varios factores tales como la utilización de diferentes señales de corriente y tensión, el tipo de relés multifuncionales inmersos en cada tablero, el tipo de IED's presentes, la bahía asociada al tablero, entre otros.

### 3.13.3. Tableros de Agrupamiento para señales de CT's y PT's

El formato de protocolo presentado para este tipo de tableros cambia en otros aspectos, teniendo en cuenta que este también es de tipo exterior y cuenta con un grado de protección IP 65, un espesor de la pintura de 90 um(valor de medida promedio), y el cambio significativo de su estructura y dimensiones (Ver Figura 52).

Sin embargo, el cambio más notable se presenta en la estructura del protocolo, ya que no se cuenta con la inspección visual de IED's puesto que estos tableros no los poseen, haciéndose un mayor énfasis en el listado de chequeo de elementos menores e inspecciones visuales.

## 3.14. ASPECTOS CLAVE (SEGURIDAD, EQUIPOS, ESTRUCTURA PROTOCOLO)

Esta sección busca presentar de manera ordenada los aspectos requeridos en la construcción de los protocolos de los distintos tipos de tableros construidos. Adicionalmente se verán algunos aspectos clave que definen los protocolos previos a la realización de cualquier tipo de prueba.

### 3.14.1. Identificación y trazabilidad de tableros

Un aspecto fundamental en los protocolos es la correcta identificación de los tableros y/o equipos a probar, por esta razón surge la necesidad de generar cuadros en donde se exprese tal información teniendo en cuenta el código del proyecto, descripción del tablero/equipo, año de fabricación, y código asociado al mismo.

Dichos datos pueden otorgar una correcta trazabilidad (seguimiento) a los equipos/tableros, permitiendo encontrar rápidamente los documentos asociados a cada uno de ellos y organizando la información en caso de ser requerida en proyectos futuros. En la Tabla 27 se puede observar un ejemplo de ello.

| | |
|---|---|
| **Cliente Final** | TRANSELECTRIC EP |
| **Proyecto No** | EPC-17-16 |
| **Cliente:** | General Electric |
| **Descripción del equipo** | Tablero de Facturación Línea PUSUNO (=E18+Q01) |
| **Año de fabricación** | 2017 |
| **Nº Identificación del Tablero** | EPCI-DI-170160206 |

Tabla 27. Ejemplo de datos de trazabilidad

### 3.14.2. Condiciones de pruebas

Si bien en la sección de protocolos de tableros de tipo interior (3.13.1 ) se mencionan las condiciones técnicas y medioambientales requeridas para las pruebas, estas solo hacen referencia a los equipos y tableros presentes, dejando de lado la protección de las personas involucradas dentro de las pruebas.

Por esta razón surge la necesidad de realizar cuadros que presenten información básica con factores de salud ocupacional de las personas involucradas (permiso de trabajo) y riesgos presentes (aspectos

de seguridad) en la ejecución de dichas pruebas, con el fin de proteger a las personas. En las siguientes tablas es posible encontrar ejemplos de lo anteriormente mencionado.

| Permiso de Trabajo - Pruebas Internas | | | | | | | | Reviso | Verifico | Aprobó |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Responsable: | | | | | | | | | | |
| Fecha Inicio | | Hora Inicio | 10:00 | Fecha Finaliz. | | Hora Finaliz. | | | | |
| Personal autorizado área de Pruebas | | | | | | | | | | |
| **Empresa** | | **Nombre** | **Cédula** | **EPS** | **ARL** | **AFP** | **Dependencia** | | | |
| EPC INGENIERÍA | | | | | | | Ingeniería | X | | |
| EPC INGENIERÍA | | | | | | | Ingeniería | | X | |
| EPC INGENIERÍA | | | | | | | Ingeniería | | | X |
| GE Colombia | | | | | | | Ingeniería | | | X |

Tabla 28. Ejemplo de permiso de trabajo

| Aspectos de Seguridad | Verificado | Observación |
|---|---|---|
| Se informa que sólo personal autorizado estará presente | √ | |
| El personal autorizado utiliza elementos de protección: | √ | |
| Calzado dieléctrico | √ | |
| Tapa-oidos | NA | |
| Guantes dieléctricos | √ | |
| El piso se encuentra seco | √ | |
| Extintor en el lugar de pruebas | √ | |

Tabla 29. Ejemplo de aspectos de seguridad

### 3.14.3. Resultados inspección visual, pruebas mecánicas y eléctricas

Como se observó en el apartado de protocolos los resultados pueden ser de tipo numérico para el registro de variables/parámetros eléctricos, cantidades y medidas que reflejen el estado y/o comportamiento de los sistemas inmersos (circuitos, sistemas de protecciones, de control, etc.) en el tablero.

Sin embargo, puede haber resultados que solo exijan una verificación, necesitando de un símbolo para su respectiva aprobación/denegación. Ambos tipos de resultados pueden ser efectuados para todo tipo de pruebas, basándose en el alcance de los procedimientos y en el criterio de las personas que elaboran los protocolos.

### 3.14.4. Estructura general protocolos

Para finalizar se presentará de manera sencilla la estructura de los protocolos elaborados, mostrando un ejemplo del cierre y aprobación de estos.

Un protocolo de pruebas de PRE-FAT y FAT puede estar compuesto por:

- Indicación de procedimientos / guías o manuales de pruebas
- Permisos de trabajo
- Aspectos de seguridad
- Clasificación y separación de pruebas
  - Inspección visual

- Pruebas mecánicas
- Pruebas eléctricas
- Chequeo de elementos

➢ Resultados de pruebas
➢ Firmas y cierre

Estos aspectos pueden ser modificados dependiendo del criterio del diseñador. Además, en ellos se pueden incluir previamente documentos que indiquen el objeto y manera de realizar las pruebas.

El último ítem (firmas y cierre) da por terminado el proceso y en él se acepta por parte del cliente, que todas las pruebas ejecutadas se realizaron de manera satisfactoria de acuerdo al procedimiento y fueron validadas correctamente. En la Tabla 30 se muestra un ejemplo de lo descrito.

| Las pruebas realizadas pueden ser consideradas como aprobadas | SI ◯ | NO ◯ |
|---|---|---|
| Comentarios adicionales: | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Revisado por: | Sebastián Bernal | Revisado por: | Jonatan Florián |
| Cargo: | | Cargo: | |
| Empresa: | EPC Ingeniería SAS | Empresa: | EPC Ingeniería SAS |
| Firma: | | Firma: | |
| Fecha: | | Fecha: | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Verificado por: | Ángel David Rodríguez | Aprobado por: | Ernesto Pinzón |
| Cargo: | Ingeniero de proyectos | Cargo: | Gerente General |
| Empresa: | EPC Ingeniería SAS | Empresa: | EPC Ingeniería SAS |
| Firma: | | Firma: | |
| Fecha: | | Fecha: | |

| | |
|---|---|
| Aprobado por: | |
| Cargo: | |
| Empresa: | |
| Firma: | |
| Fecha: | |

Tabla 30. Ejemplo de firmas y cierre de protocolo aplicado al proyecto S/E Puerto Napo

**Nota:** La firma de este documento implica la aceptación de todos los resultados aquí consignados.

# 4. RESULTADOS, ANÁLISIS DE RESULTADOS, ALCANCES E IMPACTOS

Para dar por finalizada la pasantía se presentarán de manera ordenada los resultados alcanzados, el análisis de los resultados y algunos alcances e impactos generados dentro y fuera de EPC INGENIERÍA SAS.

## 4.1. RESULTADOS ALCANZADOS

Conforme fue desarrollada la pasantía se lograron obtener los siguientes resultados:

- Elaboración de los procedimientos y protocolos para pruebas PRE-FAT y FAT de los tableros eléctricos construidos.
- Documentar los procedimientos y protocolos de pruebas PRE-FAT y FAT de los tableros de control, protección, medida, comunicaciones, supervisión, marshalling kiosk y de agrupamiento para lograr la aprobación del cliente y para servir como guía en futuros proyectos ejecutados por EPC INGENIERÍA SAS.

- Identificación de la normativa aplicable a la construcción de tableros eléctricos de una S/E, para su respectiva selección, basada en los alcances y responsabilidades de EPC INGENIERÍA SAS.

- Definición del contenido mínimo necesario exigido en la construcción de procedimientos y protocolos de pruebas de tableros eléctricos de una S/E.

- Trazabilidad y documentación de los tableros eléctricos construidos.

## 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el transcurso de la pasantía fueron producto de la identificación y el análisis de distintos aspectos constructivos de todos y cada uno de los tableros descritos anteriormente, así como las actividades realizadas para la indagación de información.

Para lograr obtener los resultados previamente descritos, se tuvo que pasar por una serie de actividades que permitieron el desarrollo del proyecto.

Muchas de estas estas actividades lograron orientar la elaboración de los procedimientos y protocolos pasando así por el análisis de toda la ingeniería asociada los tableros y por la búsqueda objetiva de todos los requerimientos necesarios para la construcción de los mismos, dejando a criterio propio la elección de los parámetros y/o aspectos fundamentales incluidos en la documentación presentada.

Las actividades más relevantes dentro del desarrollo de la pasantía fueron:

- Se realizó una revisión bibliográfica de los requisitos mínimos para la construcción de tableros de control, protección, medida, comunicaciones, supervisión, marshalling kiosk y de agrupamiento exigidos por grandes empresas como la EEB, EMSA y EPM, para identificar aspectos fundamentales y así aplicarlos en la elaboración de los procedimientos y protocolos.

- Se analizaron de manera detallada todos los diagramas de ingeniería para identificar aspectos funcionales tenidos en cuenta en la elaboración de los procedimientos y protocolos.

- Se realizó una revisión bibliográfica de la normativa aplicable a la construcción de tableros de control, protección, medida, comunicaciones, supervisión, marshalling kiosk y de agrupamiento para identificar aspectos fundamentales y así aplicarlos en la elaboración de los procedimientos y protocolos.

- Se identificaron y corrigieron errores de ingeniería en los diagramas esquemáticos, de principio y de comunicaciones (rojo-verde), aportando al desarrollo del proyecto.

- Se identificaron y seleccionaron las pruebas PRE-FAT y FAT aplicables a los tableros de control, protección, medida, comunicaciones, supervisión, marshalling kiosk y de agrupamiento.

- Se elaboraron los procedimientos de pruebas PRE-FAT y FAT para cada uno de los tableros de control, protección, medida, comunicaciones, supervisión, marshalling kiosk y de agrupamiento.

- Se elaboraron los protocolos de pruebas PRE-FAT y FAT para cada uno de los tableros de control, protección, medida, comunicaciones, supervisión, marshalling kiosk y de agrupamiento.

- Se ejecutaron los protocolos para cada uno de los tableros de control, protección, medida, comunicaciones, supervisión, marshalling kiosk y de agrupamiento, logrando identificar aspectos corregibles durante la etapa de pruebas PRE-FAT.

- Se logró la aceptación de los tableros de control, protección, medida, comunicaciones, supervisión, marshalling kiosk y de agrupamiento mediante la firma y cierre de los protocolos.

Esta serie de actividades descrita cronológicamente aporto observaciones y recomendaciones en cada una de las etapas de ejecución del proyecto, logrando una documentación significativa para EPC INGENIERÍA SAS sirviendo esta como respaldo en temas de garantías de los tableros construidos.

Adicionalmente se identifica que se deja un trabajo completamente documentado sirviendo como referencia estructural para la futura construcción de procedimientos y protocolos de tableros eléctricos para subestaciones digitales.

## 4.3. ALCANCES E IMPACTOS

### 4.3.1. Alcance

El desarrollo de esta pasantía tiene como alcance documentar el funcionamiento de los tableros eléctricos construidos, con el fin de proporcionar información de primera mano al cliente final sobre el estado de cada uno de los tableros. Además, el alcance se ve reflejado y soportado en la documentación existente, dando herramientas a la empresa en eventuales escenarios legales.

Por otra parte, también se observa que el desarrollo de la pasantía permitió a los pasantes participar en la construcción de los tableros, otorgándoles conocimientos del estado y funcionamiento de estos, logrando así que los pasantes adquirieran una formación adicional en su proceso de aprendizaje como ingenieros eléctricos.

### 4.3.2. Impactos

El impacto de esta pasantía favorece a muchas partes, teniendo presente que para EPC INGENIERÍA SAS el registro documental es de vital importancia, sentando un precedente en la elaboración de este tipo de documentos. Adicionalmente se favorecen los pasantes y la universidad teniendo en sus registros criterios para la construcción de procedimientos y protocolos de pruebas PRE-FAT y FAT de tableros, enriqueciendo así la base de datos bibliográfica dado por el conocimiento otorgado en el presente documento.

# 5. EVALUACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

En el presente documento se refleja el cumplimiento a cabalidad de los cuatro objetivos propuestos (sección 2), los cuales hacen referencia a la estructuración y elaboración de los procedimientos y protocolos para la ejecución de pruebas PRE-FAT y FAT, consultando la normativa aplicable, analizando la ingeniería disponible y documentando todo el proceso.

Se ve claramente que todos y cada uno de los objetivos propuestos fueron desarrollados a través de una serie de actividades como se indica en el análisis de resultados, para el 100% del cumplimento de estos.

Para realizar la respectiva evaluación hay que tener presente el conjunto de actividades propuestas en el anteproyecto (Tabla 31) y contrastarlas con las actividades desarrolladas y expuestas en la sección de análisis de resultados para así determinar si se efectuaron de la manera prevista.

Es evidente que todas las actividades fueron llevadas a cabo cumpliendo con el 100% de ellas, además de ser efectuadas en las doce semanas propuestas y establecidas en el anteproyecto.

| | **SEMANAS** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ACTIVIDADES** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** |
| Identificación de la necesidad o problema, como propuesta para proyecto de grado en la modalidad pasantía. | | | | | | | | | | | | | | |
| Recolección de información relacionada con procedimientos y pruebas PRE-FAT y FAT. | | | | | | | | | | | | | | |
| Analizar la ingeniería básica y de detalle del proyecto en ejecución. | | | | | | | | | | | | | | |
| Identificar todos los equipos y analizar la funcionalidad en cada uno de los tableros. | | | | | | | | | | | | | | |
| Consultar y analizar la normatividad aplicable en el desarrollo de procedimientos y protocolos para tableros. | | | | | | | | | | | | | | |
| Establecer la estructura a utilizar en el desarrollo de procedimientos y protocolos de pruebas. | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseñar los procedimientos y protocolos para las pruebas PRE-FAT y FAT en los tableros de control y protección. | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseñar los procedimientos y protocolos para las pruebas PRE-FAT y FAT en los tableros Marshalling Kiosk (MK) | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseñar los procedimientos y protocolos para las pruebas PRE-FAT y FAT en los tableros de agrupamiento para CT´s y PT´s. | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Presentar los diseños de procedimientos y protocolos para evaluación y posterior conformidad del cliente final del proyecto. | | | | | | | | | | | | | | |
| Realizar las correcciones necesarias de acuerdo a las observaciones presentadas. | | | | | | | | | | | | | | |
| Realización y entrega del documento "*Elaboración de procedimientos y protocolos para pruebas PRE-FAT y FAT de tableros de control, protección, medición y registro de la subestación Puerto Napo*" de los tableros construidos. | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 31. Actividades propuestas para el desarrollo de la pasantía

# 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por último, se hace necesario dar las respectivas conclusiones de la pasantía, sugiriendo algunas recomendaciones en el desarrollo de la misma y en la ejecución de este tipo de proyectos.

## 6.1. CONCLUSIONES

- En la construcción de procedimientos y protocolos para la ejecución de pruebas PRE-FAT y FAT de los tableros mencionados, se hace necesario analizar previamente toda la ingeniería, sin dejar de lado ninguno de los sistemas inmersos, para así poder tener una visión completa del funcionamiento y permitir la correcta selección de aspectos a incluir en ellos.

- Los procedimientos y protocolos generales diseñados en esta pasantía, brindan al personal de pruebas las herramientas necesarias para llevar el control de las pruebas a cargo, ya que muestran los datos a diligenciar, los principales requisitos y las actividades previas a la realización de cualquier tipo de prueba contenida en ellos.

- La extensa normativa aplicable a los tableros dificulta la elección, puesto que muchas de ellas abordan temáticas similares desde puntos de vista diferentes, dejando a criterio de diseñador todos lo ítems previstos para la elaboración de los procedimientos y protocolos.

- Aunque no se logran pruebas estructuradas muy elaboradas, si se implementan de la manera correcta estas pueden comprobar el funcionamiento eléctrico de los diferentes sistemas de control y protección de los tableros construidos.

- Debido a la interacción de tantos subsistemas, es difícil elaborar unos procedimientos y protocolos que contengan y satisfagan todos los aspectos necesarios para la integración de los mismos.

## 6.2. RECOMENDACIONES

### 6.2.1. Elaboración de protocolos

- Se recomienda actualizar la lista de las normas seleccionadas, de igual manera los procedimientos y protocolos, manteniendo en constante evolución la documentación presentada.

- El análisis de la ingeniería debe hacerse de manera completa si se desean contemplar todos los sistemas inmersos en la normativa IEC 61850.

- Se debe complementar los procedimientos y protocolos con la integración de pruebas para los sistemas de comunicaciones, medida y control.

### 6.2.2. Complementos y enfoques futuros

- Se recomienda la elaboración de manuales y guías indicativas para el desarrollo de las pruebas, sirviendo estas para la consulta bibliográfica y el enriquecimiento de las bases de datos por parte de EPC INGENIERÍA SAS.

- Se recomienda la elaboración de un manual normativo en donde se evidencien aspectos fundamentales de los tableros construidos, con el fin de aplicarlo en la construcción de futuros procedimientos y protocolos.

### 6.2.3. Estudios futuros

- Se recomienda realizar pruebas estructuradas de la integración de todo el sistema de control y protección, dando así garantías del completo funcionamiento de los tableros y reduciendo el tiempo de ejecución de las pruebas SAT.

- Se recomienda analizar a fondo aspectos inmersos en la IEC 61850 para una correcta integración de los sistemas de comunicaciones, supervisión y medida.

- Se recomienda comprender a fondo las pruebas fundamentales de mensajes GOOSE y de Sampled Values teniendo herramientas para la elección de pruebas sencillas al sistema de comunicaciones en futuras aplicaciones.

- Es necesario indagar sobre equipos y elementos de otras marcas para poder realizar pruebas de protecciones de mejor manera.

# BIBLIOGRAFÍA


[1] Mejía Villegas S.A., Subestaciones de Alta y Estra Alta Tensión, Segunda ed., C. F. Ramirez, Ed., Bogotá: HMV INGENIEROS, 2003.

[2] Celec EP Transelectric, «Especificaciones Técnicas para Sistema de Automatización de Subestaciones,» CELEC EP, Quito, 2016.

[3] S. Electric, «Descripción números ANSI/IEEE Schneider Electric,» 15 Enero 2000. [En línea]. Available: http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/222000/FA222080/es_ES/Tabla%20de%20Codigos%20ANSI.PDF. [Último acceso: 01 Julio 2018].

[4] Empresa de Energía de Bogotá, «Requerimientos - Especificaciones Técnicas Sistemas de Control, Protección, Medida y Comunicaciones en Subestaciones de Alta Tensión,» EEB, Bogotá D.C., 2014.

[5] E. Energy, «Corporación Eléctrica del Ecuador,» 04 Julio 2017. [En línea]. Available: https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/SNT/Proyecto%20Hidroel%C3%A9ctrico%20Pusuno.pdf. [Último acceso: 18 Junio 2018].

[6] I. d. c. d. España, «PRP y HSR: Protocolos redundantes,» INCIBE, Madrid, 2017.

[7] Perle Systems, «Protocolo de tiempo de precisión,» PERLE, España, 2010.

[8] General Electric - Grid Solution, «Diseño, Fabricación, Suministro, Cableado, Pruebas Constructivas, Amarillado, Pruebas de Protecciones en FAT del Proyecto Puerto Napo,» Grid Solution, Bogotá, 2015.

[9] Comisión Federal de Electricidad, «Tableros de Protección, Control, Medición, Supervisión y Registro para Unidades Generadoras y Subestaciones Eléctricas,» CFE, Ciudad de México, 2016.

[10] Electrificadora del Meta S.A. E.S.P., «ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TABLEROS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y MEDIDA,» EMSA, Villavicencio, 2017.

[11] Comisión Federal de Electricidad, «SISTEMA DE INFORMACIÓN Y CONTROL LOCAL DE ESTACIÓN (SICLE),» CFE, Ciudad de México, 1999.

[12] Comisión Federal de Electricidad, «Características Generales para Tableros de Protección, Control y Medición,» CFE, Ciudad de México, 2010.

[13] Empresas Públicas de Medellin, «Tableros y Celdas de Medida,» EPM, Medelín, 2015.

[14] Consejo Federal de Energía Eléctrica, «Anexo:Especificaciones Técnicas Generales para Tableros de Uso Eléctrico,» CFEE, Buenos Aires, 2010.

[15] A. D. L. Cassier, Diseño de los sistemas de Protección, Control, Medición y Señalización de la Subestación PALAVECINO 115KV - ENELBAR, Sartenejas: Universidad Simon Bolivar, 2006.

[16] G. ICE, «Norma para el diseño de sistemas de control de subestaciones,» 2010.

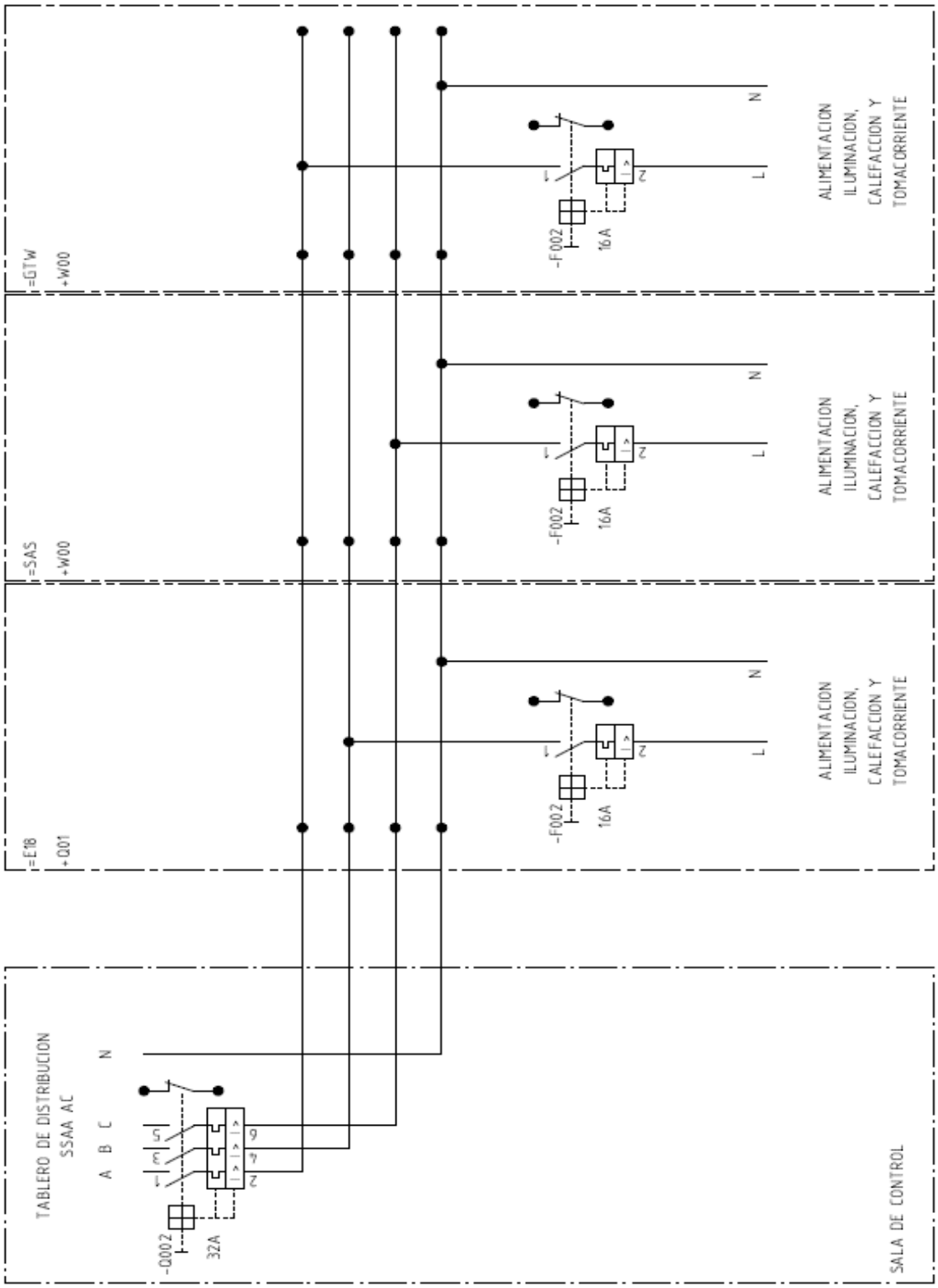
[17] Elit Energy - SEL Colombia - GE Colombia, *Documentación confidencial del proyecto,* Bogotá: GE, 2017.

[18] EPC INGENIERÍA SAS, *Manuales y documentación de equipos del proyecto S/E Puerto Napo,* Bogotá: EPC ING, 2018.

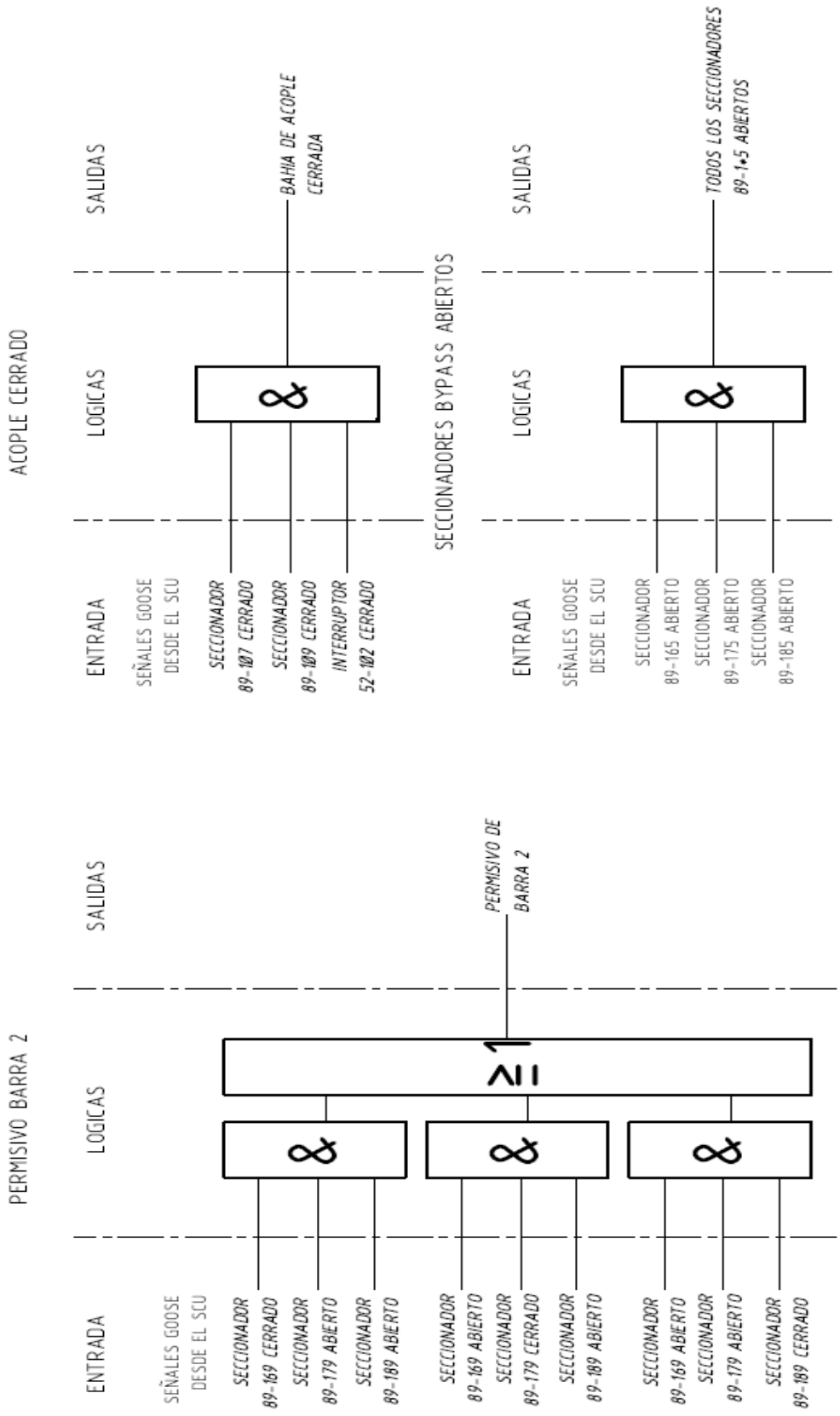
[19] J. L. Yepes Nicola y K. A. Granda Bayas, Implementación de mensajería Goose bajo la norma IEC61850 en relés SEL para esquemas de protección de Barra, Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana, 2017, pp. 50 - 60.

[20] Legrand, «Grados de Protección,» Legrand, Santiago de Chile, 2011.

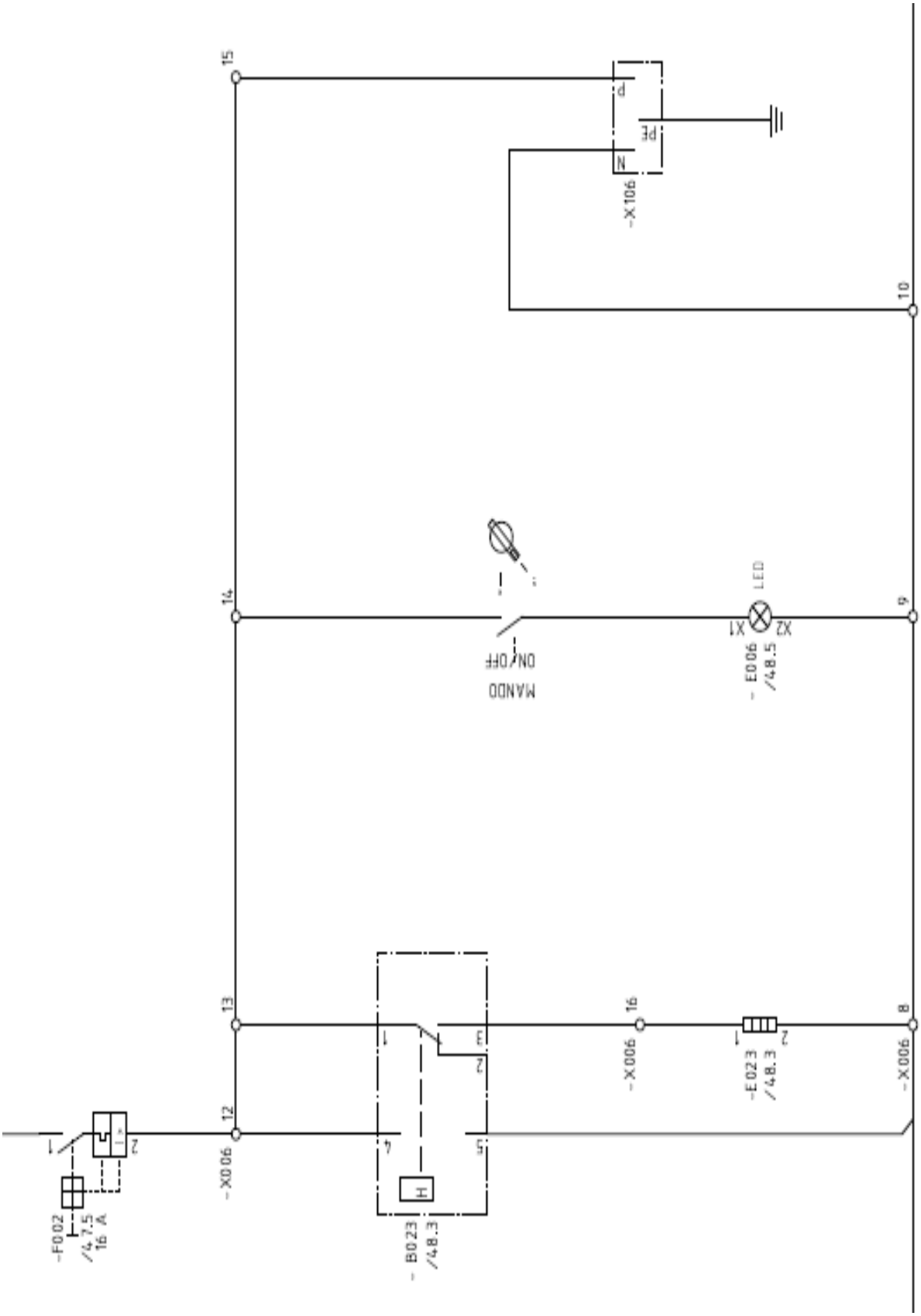
# ANEXOS



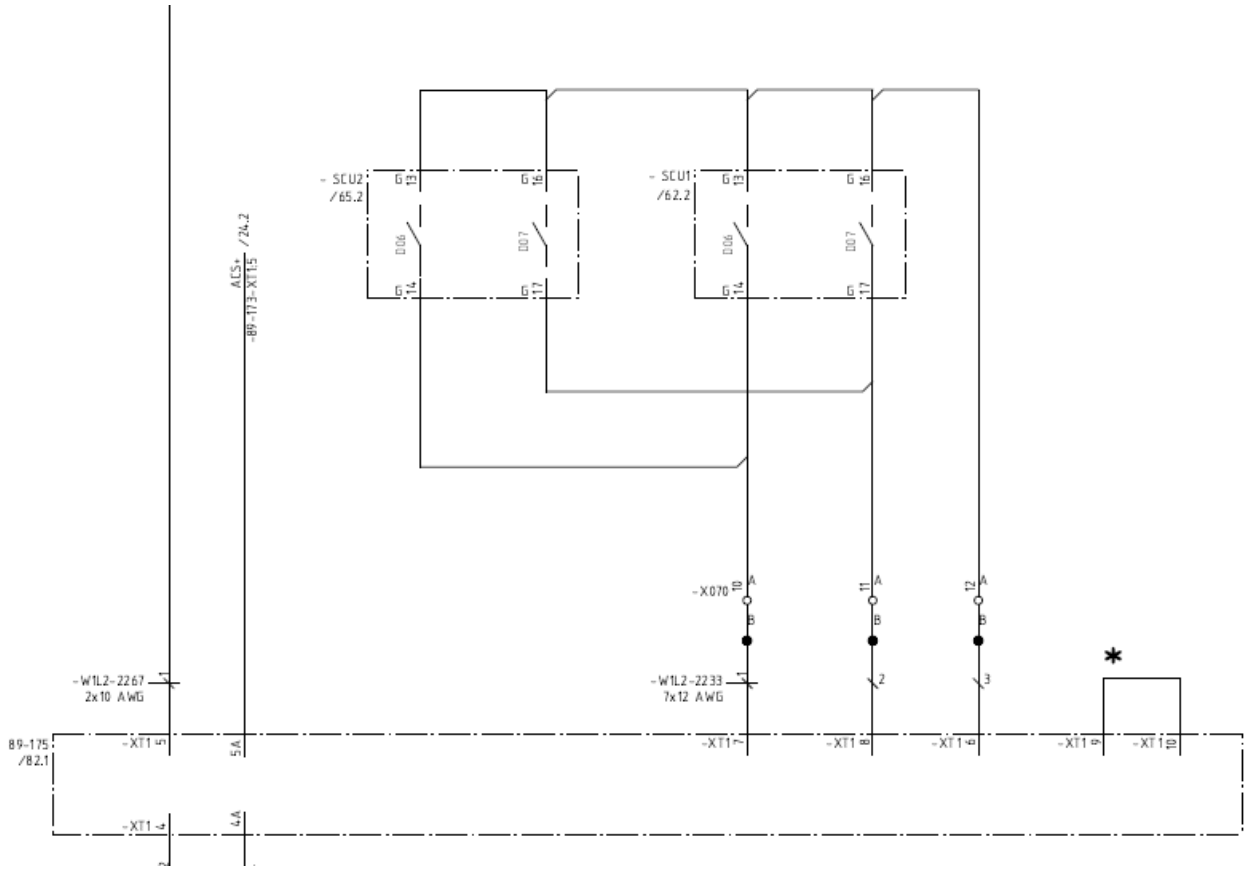

Anexo 1. Ejemplo Alimentación diagrama de principio



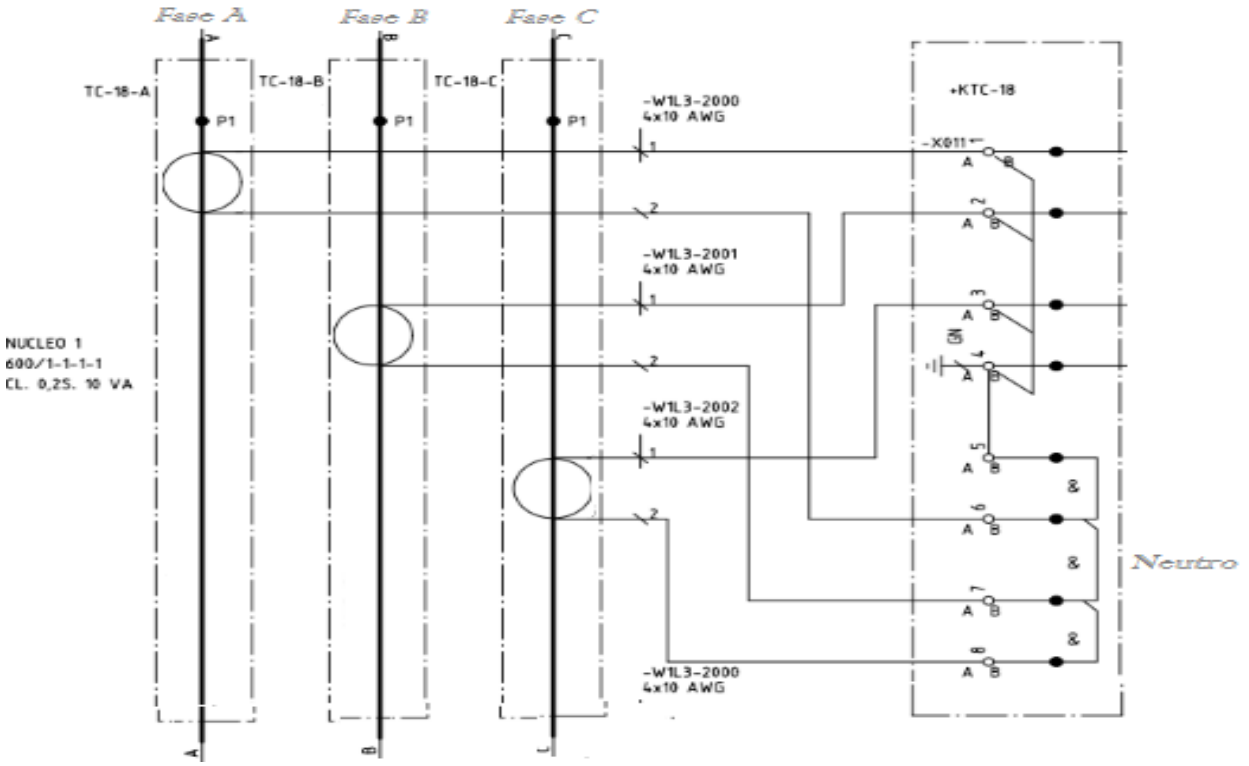

Anexo 2. Ejemplo lógica de enclavamiento a partir de equipos



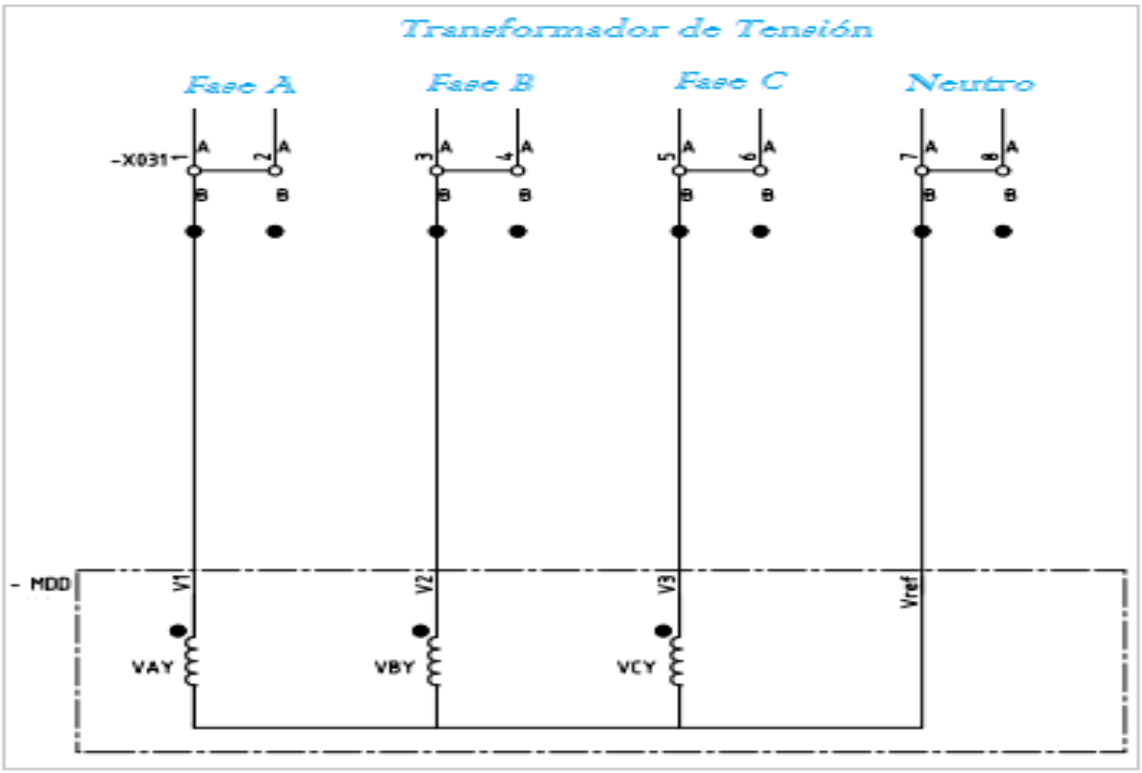

Anexo 3. Circuitos de Servicios Auxiliares en Tableros de S/E



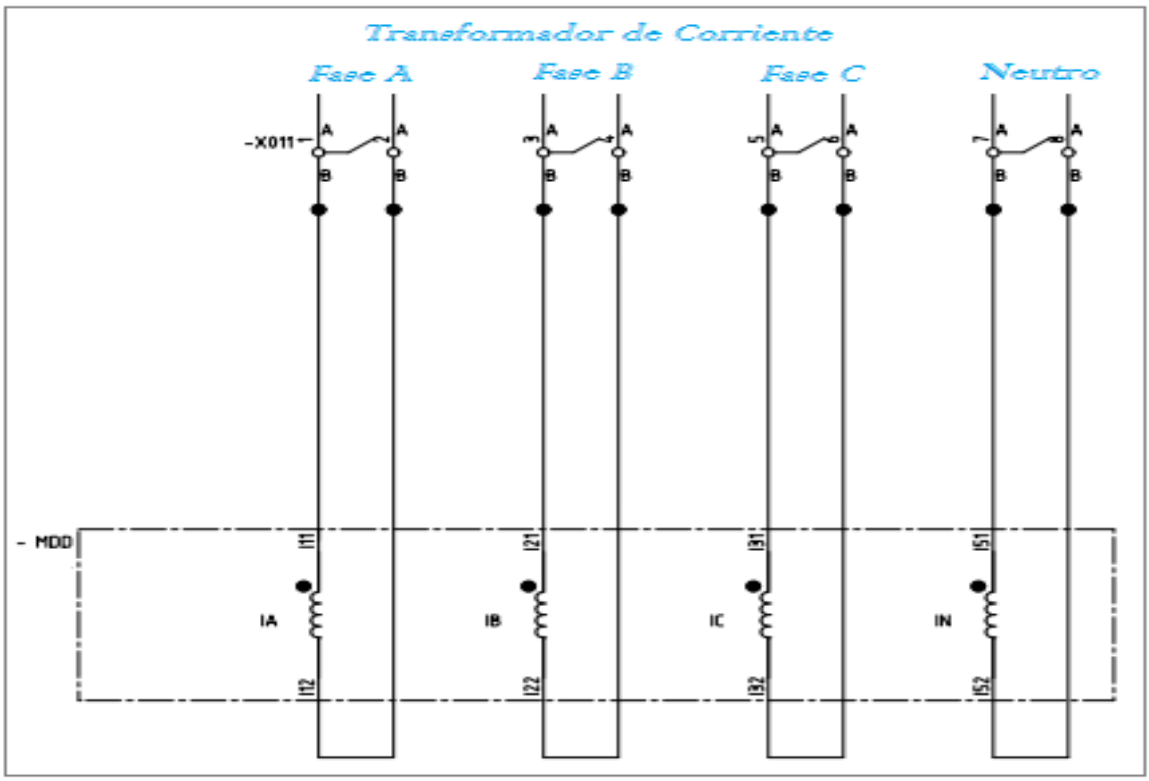

Anexo 4. Conexión de un SCU a un seccionador (89) – MK



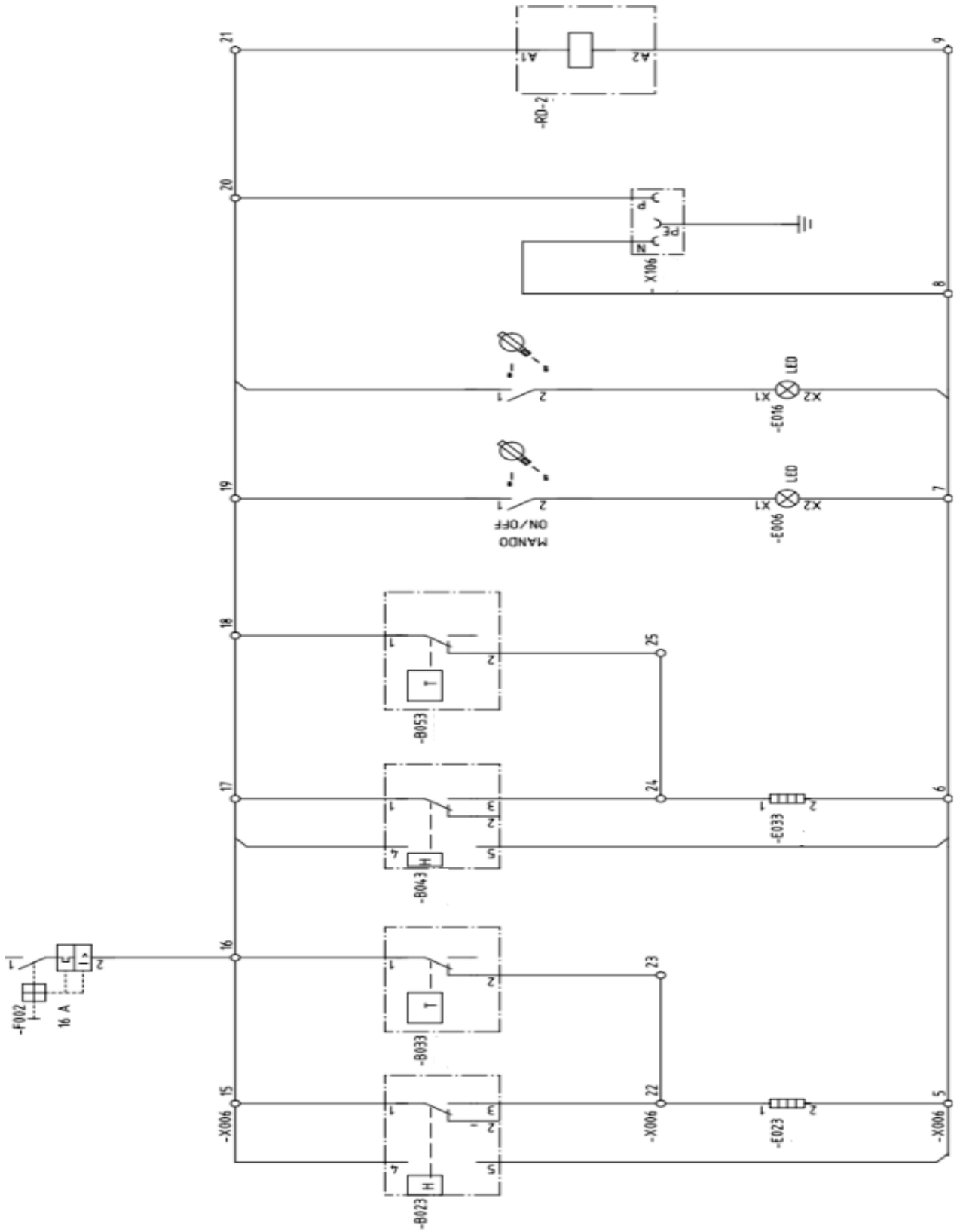

Anexo 5. Diagrama esquemático tablero de agrupamiento de señales para CT´s.



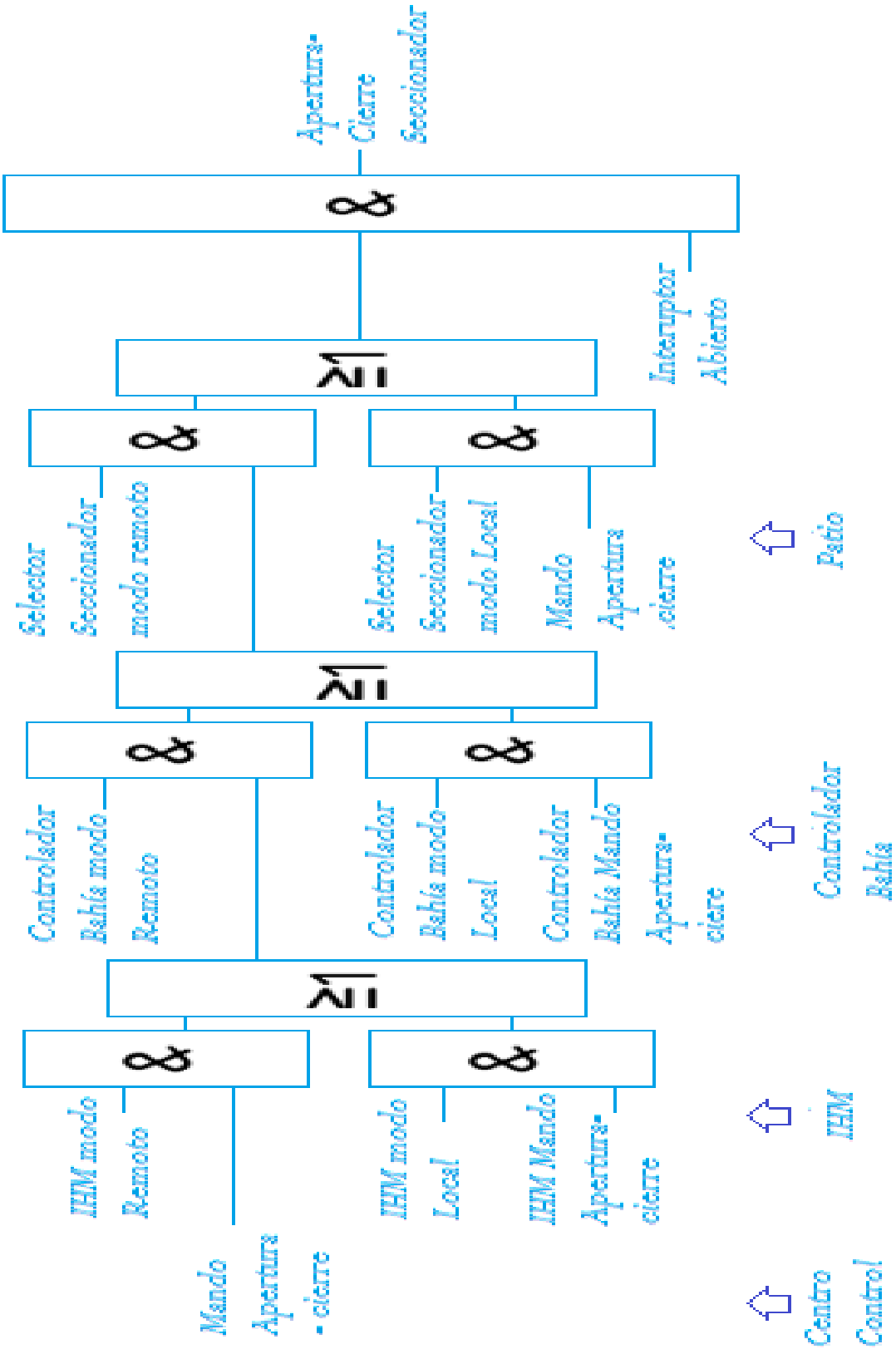

Anexo 6. Conexión de señales provenientes de un transformador de tensión




Anexo 7. Conexión de señales provenientes de una transformador de corriente




Anexo 8. Conexión de servicios auxiliares de tableros marshalling kiosk




Anexo 9. Diagrama de principio para apertura de seccionador

# GRADOS DE PROTECCIÓN

**IP: grado de protección**

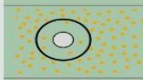
## IP

Los armarios de protección se clasifican (IEC 60529) de acuerdo con su grado de protección frente a las condiciones climáticas y los agentes externos. El grado de protección se indica con dos dígitos (protección contra cuerpos sólidos y líquidos) siguiendo al símbolo IP.

Para facilitar la selección de la canalización eléctrica más adecuado para los requisitos de instalación, se incluye más abajo un resumen de sus prestaciones basado en el grado de protección IP según la norma IEC 60529.

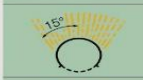
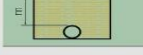
### 1.er dígito IP

**Protección contra el acceso de cuerpos sólidos**

| | | |
|---|---|---|
| | 0 | Sin protección |
|  | 1 | Protección contra cuerpos sólidos con un tamaño superior a 50 mm (p. ej., contacto accidental) |
|  | 2 | Protección contra cuerpos sólidos con un tamaño superior a 12 mm (p. ej.,dedo) |
|  | 3 | Protección contra cuerpos sólidos con un tamaño superior a 2,5 mm |
|  | 4 | Protección contra cuerpos sólidos con un tamaño superior a 1 mm |
|  | 5 | Protección contra el polvo |
|  | 6 | Protección total contra el polvo |

### 2.° dígito IP

**Protección contra el acceso de líquidos**

| | | |
|---|---|---|
| | 0 | Sin protección |
|  | 1 | Protección contra la caída vertical de gotas de agua (condensación) |
|  | 2 | Protección contra gotas de agua que caen con hasta 15° respecto a la vertical |
|  | 3 | Protección contra gotas de agua que caen con hasta 60° respecto a la vertical |
|  | 4 | Protección contra agua pulverizada desde todas las direcciones |
|  | 5 | Protección contra chorros de agua desde todas las direcciones |
|  | 6 | Protección contra chorros de agua (fuerza similar a mar gruesa) |
|  | 7 | Protección contra los efectos de la inmersión |
|  | 8 | Protección contra los efectos de la inmersión bajo presión |

Anexo 10. Representación grados de protección Legrand