

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE TABLEROS ELÉCTRICOS DE SINCRONISMO Y
PROTECCIÓN PARA 3 GRUPOS ELECTRÓGENOS DE 261 KVA, 480/277
Vac, 3F+N+T, 60 Hz. A IMPLANTAR EN EL LOTE PETROLERO 121,
REGIÓN DE HUÁNUCO, PERÚ”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

PORRAS CRUZ, ARMANDO IVÁN

Villa El Salvador
2018

DEDICATORIA

A mí madre Domitila Cruz Arenas, por ser muestra de lucha y esfuerzo constante; por dedicar su vida en mi formación y su ayuda incondicional.

A mis hermanas Elisa, Delia y Agripina, que me brindaron su apoyo, consejos y valores. Y porque estuvieron en momentos difíciles siendo así un soporte para seguir adelante.

A mi novia Kelyan Quezada Zárate, por haberme alentado y apoyado desde el inicio de mi formación profesional.

A mis cuñados Edgar, Crisanto; a mis sobrinos Eduardo y Angie.

A mi futura suegra Maura e hijos Ximena y Jheremmy.

A mis compadres Maycol y Jhumara e hijo Marddox.

AGRADECIMIENTO

A Dios, todopoderoso y dueño de mi vida, por darme la fortaleza espiritual y física. Por ser guía y luz en mi vida y por estar conmigo en cada momento.

A la “Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur”, en especial, a los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Por brindarnos el apoyo en nuestro desarrollo profesional y así ser personas productivas para la sociedad.

A la Empresa “Promotores Eléctricos S.A.”, en consideración a todas aquellas personas que laboran en el “Departamento de Presupuestos”, personal administrativo y técnico, que de alguna manera colaboraron conmigo en el transcurso de mi carrera.

Además, agradezco al MSc Ing. Estrada Domínguez J. por la asesoría brindada en el transcurso del programa de suficiencia profesional.

Y a la Dra. Murillo Manrique M. por los consejos y orientación, durante el desarrollo académico.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción de la Realidad Problemática.....	2
1.2 Justificación del Problema.....	3
1.3 Delimitación de la Investigación.....	4
1.3.1 Teórica.....	4
1.3.2 Espacial.....	4
1.3.3 Temporal.....	4
1.4 Formulación del Problema.....	5
1.4.1 Problema General.....	5
1.4.2 Problemas Específicos.....	5
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo General.....	5
1.5.2 Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.1.1 Antecedentes Nacionales.....	6
2.1.2 Antecedentes Internacionales.....	7
2.2 Bases teóricas.....	10
2.2.1 Tableros Eléctricos de Sincronismo y Protección	10
2.2.1.1 Tableros Eléctricos.....	10
2.2.1.1.1 Tipos Según la Fuente de Alimentación.....	11
2.2.1.1.2 Características Constructivas de los Tableros Eléctricos.....	15
2.2.1.1.3 Representaciones de los Tableros Eléctricos.....	16
2.2.1.2 Sistema de Sincronismo.....	18
2.2.1.2.1 Condiciones para Sincronización.....	19
2.2.1.3 Sistemas de Protección.....	24
2.2.1.3.1 Interruptores Automáticos.....	24
2.2.1.3.2 Funciones de Protección.....	28
2.2.1.3.3 Selección.....	30

2.2.1.3.4	Tipos de ITM Según su ejecución.....	48
2.2.2	Grupos Electr6genos.....	49
2.2.2.1	Generador.....	49
2.2.2.2	Funcionamiento.....	50
2.2.2.3	Características del Estator y Rotor.....	51
2.2.2.4	Número de Polos en el Rotor.....	54
2.2.2.5	Motor Primario.....	54
2.2.2.6	Aplicaciones.....	56
2.3	Marco conceptual	56

CAPÍTULO III: DISEÑO DE TABLEROS ELÉCTRICOS DE SINCRONISMO Y PROTECCIÓN.....67

3.1	Descripción del Proyecto.....	67
3.2	Recopilación de Información.....	68
3.3	Análisis de Recopilación de Información.....	72
3.4	Diseño de Tableros Eléctricos de Sincronismo y Protección.....	74
3.4.1	Selección del Módulo de Sincronismo.....	74
3.4.2	Selección de los Interruptores de Protección.....	76
3.4.2.1	Selección de Accesorios.....	89
3.4.3	Diseño de los Tableros Eléctricos.....	98
3.4.3.1	Diseño Mecánico de los Tableros Eléctricos.....	106
3.4.3.2	Diseño Eléctrico de los Tableros Eléctricos.....	110
3.4.3.3	Costos de los Tableros Eléctricos.....	112
3.4.3.4	Fabricación de los Tableros Eléctricos.....	114

SIMULACIÓN.....118

IMPLEMENTACIÓN.....123

CONCLUSIONES.....124

RECOMENDACIONES126

BIBLIOGRAFIA127

ANEXOS.....130

LISTADO DE FIGURAS

Figura n.º 1: Tablero eléctrico, tipo autosoportado.....	11
Figura n.º 2: Circuito de fuerza de un tablero eléctrico general alimentado por un transformador de potencia y grupo electrógeno.....	12
Figura n.º 3: Diagrama típico de una subestación eléctrica.....	13
Figura n.º 4: Circuito de fuerza de un tablero eléctrico general alimentado por un grupo electrógeno.....	14
Figura n.º 5: Plano mecánico de un tablero eléctrico.....	17
Figura n.º 6: Plano unifilar de un tablero eléctrico.....	18
Figura n.º 7: Módulo de control de sincronización y carga compartida, marca Deep Sea Electronics, modelo 8610.....	19
Figura n.º 8: Diagrama multifilar de conexión de un generador síncrono en un sistema eléctrico existente.....	20
Figura n.º 9: Secuencias de fases de 2 generadores, con igual sentido de giro.....	21
Figura n.º 10: Método de las 3 lámparas, para asegurar la secuencia de fase del sistema.....	22
Figura n.º 11: Sincronoscopio.....	23
Figura n.º 12: Esquema eléctrico de un interruptor termomagnético (lado izquierdo) y un interruptor seccionador (lado derecho)	25
Figura n.º 13: Relés de protección en un interruptor automático.....	26
Figura n.º 14: Interruptores automáticos modulares o Miniature Circuit Breaker (MCB).....	27
Figura n.º 15: Interruptores automáticos en caja moldeable o Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)	27
Figura n.º 16: Interruptores automáticos en bastidor abierto o Air Circuit Breaker (ACB)	28
Figura n.º 17: Relé térmico de un interruptor MCCB, regulable hasta el 70% de su capacidad.....	29
Figura n.º 18: Triángulo de potencias de una carga.....	34
Figura n.º 19: Tipos de lcc.....	46
Figura n.º 20: Relación del factor K con R/X.....	47
Figura n.º 21: Casos extremos de establecimiento del lcc, lado izquierdo lcc simétrica y lado derecho lcc asimétrica.....	47
Figura n.º 22: Parte móvil y fija de la versión enchufable (lado izquierdo) y versión extraíble (lado derecho)	49
Figura n.º 23: Estator de un alternador síncrono.....	52
Figura n.º 24: Rotor de polos salientes.....	53
Figura n.º 25: Rotor con 2 polos lisos en una máquina síncrona.....	53
Figura n.º 26: Grupos Electrógenos CAT instalados (25 de 1,825 MW)	55
Figura n.º 27: Diagrama unifilar referencial de sincronismo de 3 GE.....	73
Figura n.º 28: Interruptores tipo caja moldeable Tmax T5 de 400 A.....	77
Figura n.º 29: Interruptores tipo caja moldeable Tmax T6 de 800 A.....	79
Figura n.º 30: Referencia de un cortocircuito en la barra común del tablero.....	79
Figura n.º 31: Selección del valor X_d'' de alternadores de polos salientes.....	82

Figura n.º 32: Selección del valor de reactancia en conductores.....	83
Figura n.º 33: Selección del valor de resistividad en conductores.....	83
Figura n.º 34: Selección del valor de resistividad en conductores.....	84
Figura n.º 35: Interruptores tipo caja moldeable Tmax T5 de 400 A.....	86
Figura n.º 36: Intercepción del R/X para el valor K.....	87
Figura n.º 37: Interruptores tipo caja moldeable Tmax T5 de 400 A.....	88
Figura n.º 38: Parte fija para Tmax.....	90
Figura n.º 39: Selección de parte fija para Tmax T5 y T6.....	90
Figura n.º 40: Kit de transformación para Tmax.....	91
Figura n.º 41: Selección del kit de transformación para Tmax T5 y T6.....	91
Figura n.º 42: Mando motor de energía acumulada Tmax.....	92
Figura n.º 43: Selección de mando motor de energía acumulada Tmax.....	92
Figura n.º 44: Contactos auxiliares precableados para Tmax T5 y T6.....	93
Figura n.º 45: Selección de contactos auxiliares precableados para Tmax T5 y T6.....	93
Figura n.º 46: Relé de mínima tensión para Tmax.....	94
Figura n.º 47: Selección de relé de mínima tensión para Tmax T5 y T6.....	94
Figura n.º 48: Adaptadores para Tmax.....	95
Figura n.º 49: Selección de adaptadores para accesorios del Tmax.....	95
Figura n.º 50: Selección de adaptadores para Tmax.....	96
Figura n.º 51: Bloqueo a llave para mando motor de Tmax.....	96
Figura n.º 52: Selección de bloqueo a llave para mando motor de Tmax.....	97
Figura n.º 53: Designación del grado IP 55.....	101
Figura n.º 54: Selección de la barra de conexión con los GE.....	103
Figura n.º 55: Selección de la barra de conexión con a la carga.....	104
Figura n.º 56: Selección de la barra principal del tablero.....	105
Figura n.º 57: Vista frontal, sin puertas y sin mandil de protección del tablero.....	106
Figura n.º 58: Detalles de conexión de las barras entre los compartimientos.....	107
Figura n.º 59: Vista lateral sin paneles de los tableros.....	107
Figura n.º 60: Vista superior de los tableros.....	108
Figura n.º 61: Mandil abisagrado, para protección contra contactos directos.....	108
Figura n.º 62: Vista frontal a puerta cerradas, del tablero de protección.....	109
Figura n.º 63: Plano unifilar de tablero de sincronismo y protección.....	111
Figura n.º 64: Informe técnico-económico del diseño de los tableros eléctricos....	113
Figura n.º 65: Orden de compra de los tableros eléctricos.....	114
Figura n.º 66: Compartimiento modular para ITM.....	115
Figura n.º 67: Plano unifilar de tablero de sincronismo y protección.....	116
Figura n.º 68: Modulo de sincronismo DSE8610 y control manual en puerta.....	117
Figura n.º 69: Tableros eléctricos de sincronismo y protección para 3 GE.....	117
Figura n.º 70: Programa para el cálculo y diseño de sistemas eléctricos en BT.....	118

Figura n.º 71: Comandos de equipos en BT.....	119
Figura n.º 72: Información a ingresar para al generador síncrono.....	119
Figura n.º 73: Información a ingresar para las cargas.....	120
Figura n.º 74: Información a ingresar para los conductores.....	121
Figura n.º 75: Valores de cortocircuito en barra principal del tablero de sincronismo y protección por programa DOC.....	121

LISTADO DE TABLAS

Tabla n.º 1: Calificaciones para el grado de protección IP, en tableros eléctricos, según la norma IEC 60529.....	16
Tabla n.º 2: Funciones básicas de protección de MCCB y ACB, según la norma IEC 60947-2.....	30
Tabla n.º 3: Equivalencias para conversiones de unidades de potencia.....	35
Tabla n.º 4: Desclasificación por altitud para interruptores automáticos modelos Tmax de la marca ABB.....	36
Tabla n.º 5: Desclasificación por temperatura para interruptores automáticos con relé electrónico, modelo T5, de marca ABB.....	37
Tabla n.º 6: Desclasificación por temperatura para interruptores automáticos con relé electrónico, modelo T6, de marca ABB.....	37
Tabla n.º 7: Terminales de conexión de los Interruptores Tmax.....	39
Tabla n.º 8: Valores de X_d' de alternadores en %.....	42
Tabla n.º 9: Valores de reactancias de los cables, según el tipo de instalación.....	43
Tabla n.º 10: Valores de la resistividad de los conductores, según la lcc.....	43
Tabla n.º 11: Valores de reactancias de motores y compensadores síncronos en %.....	45
Tabla n.º 12: Información técnica Central Termoeléctrica Planta Pucallpa – Reserva Fría (40 MW)	55
Tabla n.º 13: Condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa del Lote Petrolero 121.....	69
Tabla n.º 14: Condiciones ambientales para un tablero, en instalaciones interiores.....	69
Tabla n.º 15: Información básica del GE, para calcular “I” en un sistema trifásico.....	76
Tabla n.º 16: Información básica de la carga, para calcular “I” en un sistema trifásico.....	78
Tabla n.º 17: Información complementaria de los GE, para calcular la impedancia.....	80
Tabla n.º 18: Información técnica de conductor N2XSY.....	81
Tabla n.º 19: Información de los conductores eléctricos, para calcular la impedancia.....	81
Tabla n.º 20: Información de los ITM, para calcular la impedancia.....	81
Tabla n.º 21: Sumatoria de reactancias calculadas	85
Tabla n.º 22: Sumatoria de resistencias calculadas.....	85
Tabla n.º 23: Selección de los ITM para los tableros eléctricos.....	89
Tabla n.º 24: Equipamiento y accesorios para la conversión del ITM fijo a versión extraíble para Tmax T5.....	97
Tabla n.º 25: Equipamiento y accesorios para la conversión del ITM fijo a versión extraíble para Tmax T6.....	98
Tabla n.º 26: Tabla comparativa de grados de protección NEMA 250 (lado izquierdo) y UL 50, 50E (lado derecho)	100
Tabla n.º 27: Capacidad amperimétrica de barrajes rectangulares de cobre para tableros eléctricos, norma DIN 46433.....	102

Tabla n.º 28: Selección de barras de cobre para los tableros eléctricos.....	105
Tabla n.º 29: Costos de interruptores de protección de los GE y accesorios.....	112
Tabla n.º 30: Costos de interruptores de protección de los GE y accesorios.....	112
Tabla n.º 31: Costo total de la solución integral de la fabricación de Tableros Eléctricos.....	113
Tabla n.º 32: Valores de cortocircuito calculados versus por programa DOC.....	122

INTRODUCCIÓN

La presente investigación abarca el desarrollo del “Diseño de Tableros Eléctricos de Sincronismo y Protección para 3 Grupos Electrógenos (GE), a implantar en el Lote Petrolero 121, ubicado en Región Huánuco, Perú”; por lo que la operación del lote petrolero, dependerá del funcionamiento de los mismos, debido a que la zona indicada no cuenta con el suministro de energía eléctrica, proveniente de la red nacional (SEIN).

La prioridad salvaguardar y garantizar el buen estado estos equipos, no solo por su valor económico considerable; sino por la continuidad de la actividad.

Los tableros eléctricos, consecuentemente deben priorizar la integridad física del personal operador, durante el arranque manual o automático de los GE.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

El Lote Petrolero 121 ubicado en la Región de Huánuco, en exploración, no cuenta con el suministro de energía eléctrica del SEIN, motivo por el cual opera con GE. Los trabajos de exploración se han incrementado, obligando a reducir el consumo energético y evitar riesgos operativos.

En la actualidad, se consumen 340 KVA en 480 Vac, utilizando para ello 2 GE de 261 KVA. Por otro lado, debido a los trabajos nocturnos, se aumentó la carga por iluminación, arrancando para ello el tercer GE en modo manual, generando problemas operativos por no contar con dispositivos de sincronismo automático y de seguridad con el personal operador.

1.2 Justificación del Problema

Para dar una solución integral al problema, se deben diseñar tableros eléctricos autoportados con equipamiento para sincronismo y protección eléctrica.

Las funciones de sincronismo serán las siguientes:

- Control automático de tensión y frecuencia.
- Control manual de tensión y frecuencia.
- Control y balance de carga.
- Intentos de sincronización.
- Comprobación de sincronización (Sync-Check).

Asimismo, las funciones de protección estarán compuestas por:

- Tableros eléctricos, encargados de proteger los equipos de control y fuerza del sistema eléctrico y de los contactos directos accidentales por el operario u objeto desconocido.
- Interruptores automáticos tipo extraíble, brindarán seguridad eléctrica, proporcionan la cualidad de ser reemplazados en caso de deterioro o mantenimiento sin necesidad de desmontar los conductores eléctricos.
- Motor de combustión del GE, protegiendo las variables más importantes como:
 - Temperatura alta y baja del refrigerante.
 - Presión alta y baja del aceite.
 - Sobrevelocidad.
 - Sobrearranque.
- Generador del GE:
 - Potencia inversa.

- Sobrecarga.
- Desbalance de cargas.
- Falla de fase/tierra.
- Sobretensión y baja tensión.
- Desajuste de velocidad y frecuencia.

1.3 Delimitación de la Investigación

1.3.1 Teórica

Para diseñar los tableros eléctricos recurriremos a manuales y normas en diseño de fabricantes, según las condiciones de operación, y atmosféricas.

1.3.2 Espacial

Se implantará en el Lote Petrolero 121 de la cuenca de Ucayali, Región Huánuco, provincia Puerto Inca, distrito Tournavista, Perú, para trabajos de exploración petrolera por parte de la empresa CEPESA PERUANA S.A.C., desde febrero del 2014.

1.3.3 Temporal

El diseño de los tableros eléctricos se inició en el mes de diciembre 2016 y finalizó en diciembre 2017.

1.4 Formulación del Problema

1.4.1 Problema General

- ¿Cómo será el diseño de los tableros eléctricos de sincronismo y protección para 3 grupos electrógenos de 261 KVA en el Lote Petrolero 121?

1.4.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo realizamos la maniobra de los 3 grupos electrógenos de 261 KVA en el Lote Petrolero 121?
- ¿Cómo seleccionamos los dispositivos de seguridad de los 3 grupos electrógenos de 261 KVA en el Lote Petrolero 121?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Diseñar los tableros eléctricos de sincronismo y protección para 3 grupos electrógenos de 261 KVA en el Lote Petrolero 121.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar el módulo de sincronismo para 3 grupos electrógenos de 261 KVA en el Lote Petrolero 121.
- Seleccionar los dispositivos de seguridad para 3 grupos electrógenos de 261 KVA en el Lote Petrolero 121.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Se ha recopilado información en referencia a la problemática de la tesis propuesta, por lo que, mencionamos los siguientes autores:

2.1.1 Antecedentes Nacionales

- Ponce y Montufar (2014), en su tesis titulada “*Diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de un sistema de control automatizado para un grupo electrógeno de 6.52 KVA de MOBHI GRIFOS*”, para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista en la Universidad Nacional del Altiplano, refiere en sus conclusiones: “El diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de un sistema de control automatizado para el grupo electrógeno de 6.5 kVA para el suministro continuo de energía eléctrica de MOBHI GRIFOS, hace que la transferencia de carga en caso de fallas del sistema sea de forma automática, con esto se logra tener suministro de energía eléctrica constante. El dimensionamiento y selección de los componentes de un sistema eléctrico

para mantener la tensión en sus valores permisibles, nos permite trabajar con confiabilidad, sin tener que preocuparnos por fallas posteriores en el tablero de control”.¹

- Cuadros (2014) en su tesis titulada *“Upgrade del Sistema de Control del Generador Diesel de Emergencia de una Central térmica de Generación”*, para optar por el título Ingeniero Electrónico en la Universidad Nacional de San Agustín, llega las siguientes conclusiones: “Se logro realizar la Modernización y automatización del Sistema de Generación de Emergencia a Diesel de una Central Térmica de Generación Eléctrica ENERSUR ILO21. Fue de suma importancia hacer el estudio del sistema de generación de emergencia a diesel, tanto en la parte operativa, es decir modos de trabajo, modos de operación y en la parte de ingeniería para poder mantener la filosofía de mantenimiento. Se logro realizar una mejora en comparación con el sistema anterior, ya que se logró añadir la sincronización cerrada, que es un modo de operación útil para la aplicación y parte del proceso, cabe mencionar que se obtuvo buenos resultados en la automatización de la sincronización, tanto de forma manual como automática”.²

2.1.2 Antecedentes Internacionales

- Luna (2006), en su tesis titulada *“Transferencia y sincronización automática de generadores de emergencia en instalaciones industriales”*, para optar por el título Ingeniero Electricista en la Universidad de San Carlos de Guatemala, presenta las siguientes conclusiones: “Desde el punto de vista económico, el empleo de un sistema de transferencia y sincronizaron automática, comparada con un sistema totalmente manual, se justifica mientras las pérdidas anuales

causadas por la falta del sistema automático exceden el costo de posesión más el costo del mantenimiento del sistema automático. Desde el punto de vista de la utilidad del sistema de transferencia y sincronización automática el costo del sistema no es importante, este criterio se aplica por ejemplo: a hoteles donde el prestigio del establecimiento está en juego y las repercusiones de un mal servicio son difíciles de cuantificar, otro caso particular son los hospitales puesto que sustentan la vida humana, debiendo tener total disponibilidad en caso de catástrofe (que puede durar varios días); las empresas dedicadas a prestar servicios de comunicaciones que por su utilidad tampoco pueden dejar de prestar servicios”.³

- Quintuña y Villacís (2012), en su tesis titulada “*Diseño y construcción de un tablero de transferencia automática de generadores de emergencia y monitoreo con sistema scada*”, para optar por el título de Ingeniero de Mantenimiento en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, llegando a las siguientes conclusiones: “El excelente diseño eléctrico, la adecuada selección de los equipos y elementos, que componen el tablero, permitió realizar una satisfactoria sincronización y transferencia de los generadores síncronos que dispone el laboratorio de Maquinas Eléctricas. La construcción del tablero es de gran utilidad, para tener un monitoreo constante de los parámetros eléctricos que intervienen en el proceso de sincronización y transferencia y nos permite tomar las respectivas acciones para llevar a cabo una práctica”.⁴

- León (2009), en su tesis con título “*Adecuación del sistema eléctrico de emergencia de la planta de distribución de combustible – Puerto La Cruz*”, para optar por el título de Ingeniero Electricista en la Universidad de Oriente, concluye lo siguiente: “El sistema eléctrico del llenadero de la Planta de Distribución de Combustible Puerto La Cruz, depende básicamente de la alimentación de patio de celdas de refinería, al no poder obtener esta fuente de energía, el equipo Generador entra en marcha alimentando las cargas más críticas del sistema”.⁵

¹Ponce, M. y Montufar J. (2014). *Diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de un sistema de control automatizado para un grupo electrógeno de 6.52 KVA de MOBHI GRIFOS*. (Tesis de pre Grado). Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

²Cuadros, A. (2014). *Upgrade del Sistema de Control del Generador Diesel de emergencia de una Central Térmica de Generación*. (Tesis de pre Grado). Universidad Nacional de San Agustín, Perú.

³Luna, C. (2006). *Transferencia y sincronización automática de generadores de emergencia en instalaciones industriales*. (Tesis de Pre Grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

⁴Quintuña, E. y Villacís W. (2012). *Diseño y construcción de un tablero de transferencia automática de generadores de emergencia y monitoreo con sistema scada*. (Tesis de Pre Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

⁵León, J. (2009). *Adecuación del sistema eléctrico de emergencia de la planta de distribución de combustible – Puerto La Cruz*. Universidad de Oriente, Venezuela.

2.2 Bases Teóricas

En esta sección mencionaremos información conceptual y técnica necesaria sobre tableros eléctricos autoportados y de los equipos encargados de realizar las funciones de sincronismo y protección.

Estos componentes serán los encargados de garantizar el servicio continuo del suministro eléctrico por medio del sincronismo de los GE y preservando la integridad de los componentes relacionados, frente a los riesgos y fallas eléctricas que se exponen.

2.2.1. Tableros Eléctricos de Sincronismo y Protección

2.2.1.1 Tableros Eléctricos

“Se entiende por tablero un gabinete metálico donde se colocan instrumentos, interruptores, arrancadores y/o dispositivos de control. (...) para lograr una instalación segura, confiable y ordenada” (Bratu y Campero, 1995, p. 14).

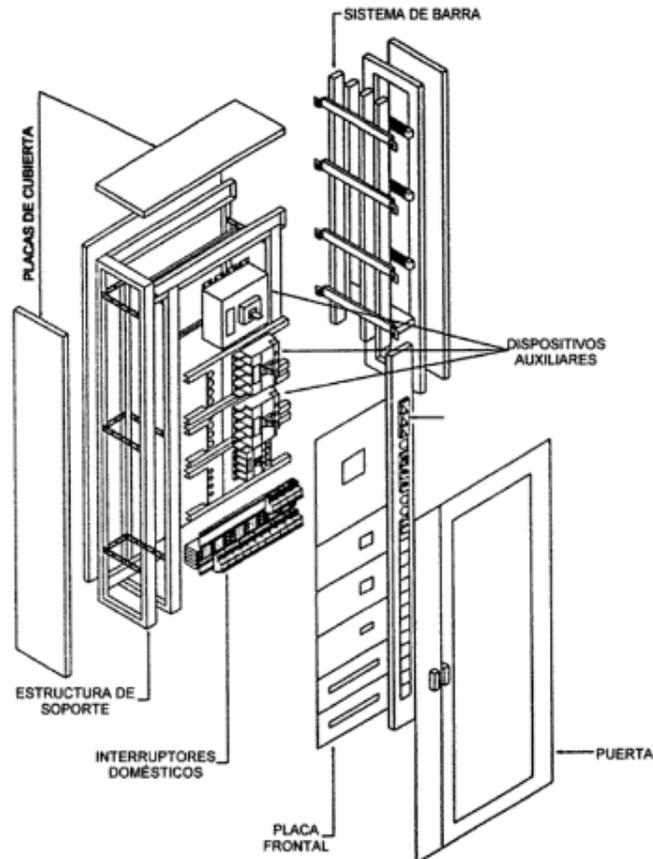
Estos elementos mecánicos, eléctricos y electromecánicos se encuentran conectados físicamente mediante conductores eléctricos como cable y barras de cobre. Los tableros deben ser diseñados de manera modular, para dar posibilidad de ampliar las conexiones eléctricas a futura las instalaciones. El ordenamiento interno de los equipos, dependerá de las circunstancias del suministro eléctrico, por ejemplo: si la llegada de la acometida es por la parte superior (techo), lo práctico es disponer del interruptor de recepción lo más próximo, igualmente si fuera por la parte inferior del tablero, debe acondicionarse para facilitar al operario.

Las normas (Anexo A) de fabricación de tableros, tienen como objetivo: formular definiciones, fijan condiciones de empleo, modelamientos o disposiciones constructivas, entre otros. Con el propósito de proteger a los equipos responsables

de la continuidad del servicio eléctrico, como el bienestar del personal involucrado.

En la Figura n.º 1, se muestra los elementos que protege en su interior.

Figura n.º 1: Tablero eléctrico, tipo autoportado



Fuente: Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión.
Kuznetsov

2.2.1.1.1 Tipos Según la Fuente de Alimentación

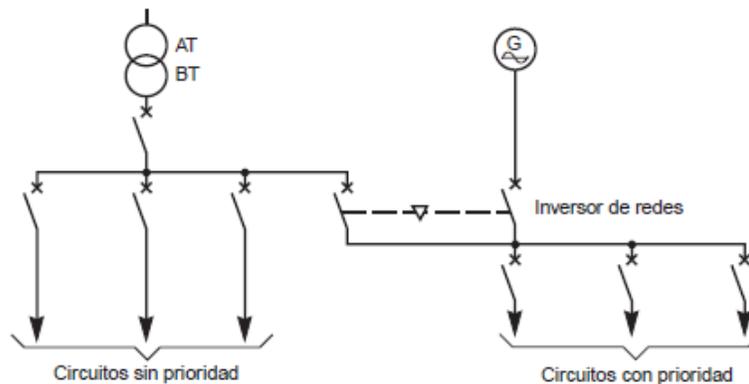
Los tableros generales normalmente van colocados en subestaciones o cuartos especiales para ubicar equipo eléctrico. Su alimentación se hace por medio de barras o cables directamente del secundario del transformador. Por lo general son autoportados y para su operación y mantenimiento requieren de espacio de circulación en la parte posterior (Bratu y Campero, 1995, p. 118).

La fuente de alimentación de una instalación eléctrica, puede derivar de la red pública, por medio de un transformador de potencia de media tensión (MT) a baja tensión (BT). Como también por GE, que generan corrientes en BT; las cuales no dependen de un servicio externo. Para usos de servicio comercial, industrial, residencial, otras.

En la Figura n.º 2, se observa un circuito eléctrico de fuerza típico para una instalación industrial y comercial, donde se dispone de ambas fuentes.

Entendiendo que en caso no disponga de una fuente, tiene la posibilidad de respaldar la ausencia por un sistema de alternativo o de emergencia.

Figura n.º 2: Circuito de fuerza de un tablero eléctrico general alimentado por un transformador de potencia y grupo electrógeno



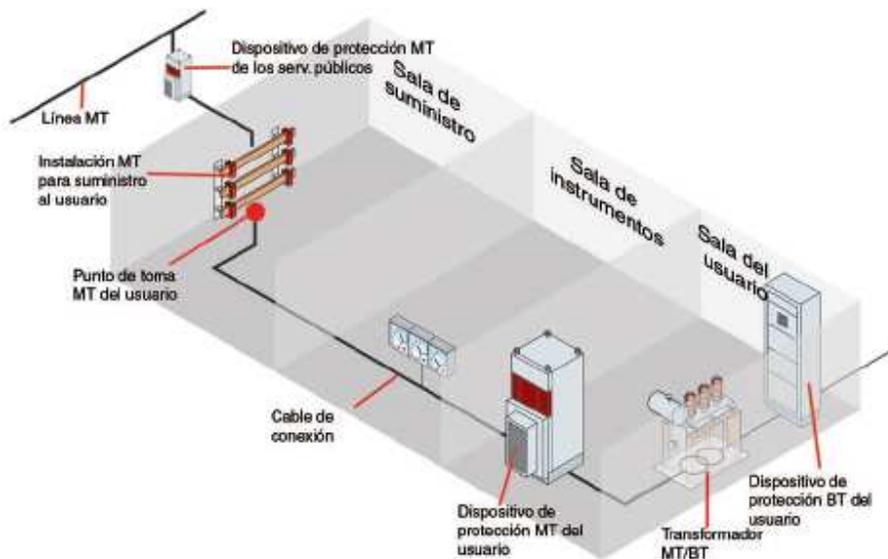
Fuente: Guía de diseño de instalaciones eléctricas. Schneider Electric

➤ **Tableros General de Red Normal**

El tablero general es aquél que se coloca inmediatamente después del transformador (...) y que contiene un interruptor general. El transformador se conecta a la entrada del interruptor y a la salida de éste se conectan barras que distribuyen la energía eléctrica a diferentes circuitos a través de interruptores derivados (Bratu y Campero, 1995, p. 14).

Se le conoce por red normal, a los tableros que derivan la alimentación a sus circuitos por la red eléctrica del concesionario, estos dejarán de ser alimentados por operación manual en sus interruptores de protección o en caso la red pública deje de suministrarla. En la Figura n.º 3, se puede observar el trayecto de los equipos de protección y maniobra en MT, hasta la conectividad con el tablero de protección aguas abajo del transformador de potencia.

Figura n.º 3: Diagrama típico de una subestación eléctrica



Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 2. ABB

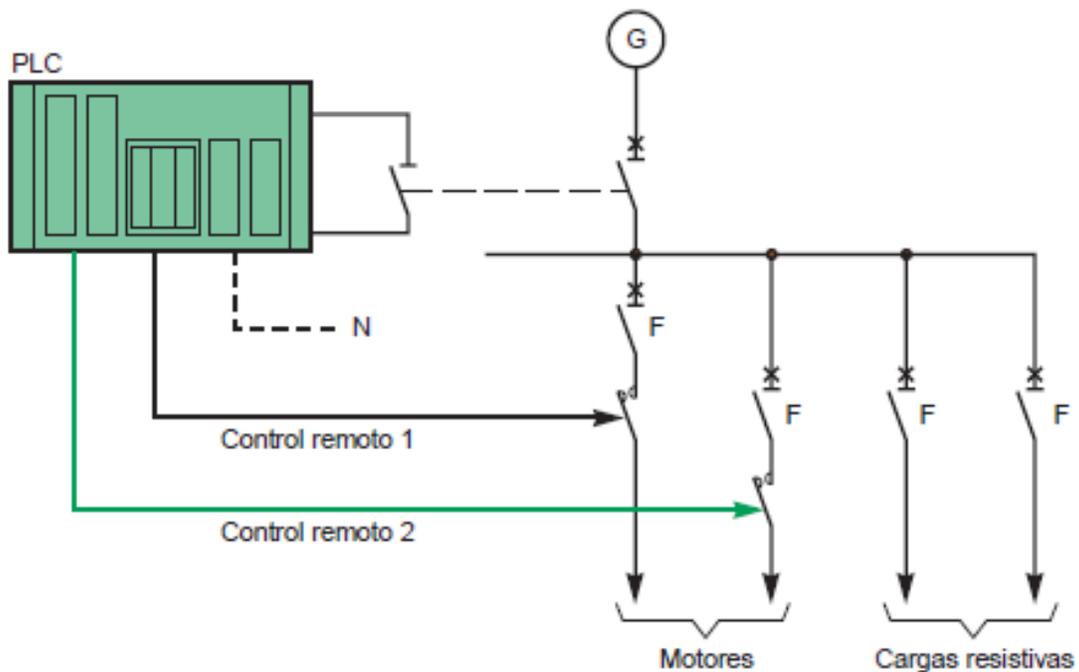
➤ **Tableros General de Red Emergencia**

Existen gran cantidad de instalaciones eléctricas que cuentan con una planta de emergencia para protegerse contra posibles fallas en el suministro de energía eléctrica. Normalmente en todos aquellos lugares de uso público (especialmente en hospitales), se requiere de una fuente de energía eléctrica que funcione mientras la red suministradora tenga caídas de voltaje importantes, fallas en alguna fase o interrupciones del servicio. (Bratu y Campero, 1995, p. 16).

Para realizar la maniobra de reposición del suministro, puede ser realizada de manera manual por un operador calificado; pero al retornar la red normal, esta debe ser deshabilitada, exponiendo sus facultades físicas. Como de manera automática por medio de módulos de control electrónico y equipamientos mecánicos de bloqueo. Estos sistemas de maniobra conocidos como: sistemas de transferencias automáticas.

En la Figura n.º 4, se puede entender que la alimentación principal es por medio del GE, a su lado izquierdo un controlador lógico programable (PLC), encargado de la automatización del funcionamiento del GE, como de las salidas en un tablero eléctrico.

Figura n.º 4: Circuito de fuerza de un tablero eléctrico general alimentado por un grupo electrógeno



Fuente: Guía de diseño de instalaciones eléctricas. Schneider Electric

2.2.1.1.2 Características Constructivas de los Tableros Eléctricos

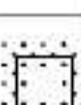
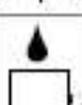
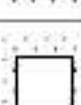
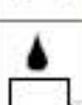
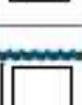
Las características constructivas de los tableros se basan en las condiciones generales de servicio, así por ejemplo, aquellos tableros eléctricos que utilizan el aire como medio aislante y refrigerante deben estar diseñados para operar en interiores, hasta una altura de 1000 metros sobre el nivel mar (msnm) y una temperatura no mayor de 40° C cuando operen a una altitud mayor y temperaturas superiores a la indicada, las condiciones se consideran como especiales y se deben indicar al fabricante (Harper, 2005, p. 412).

Estas características deben estar visibles en la puerta de todo tablero por placas metálicas, dentro del tablero por etiquetas y representada por planos mecánicos, eléctricos del diseño. Es común que las características eléctricas de un tablero, estén relacionadas con el interruptor general del tablero tales como nivel de tensión, número de fases del sistema, frecuencia de la red, potencia, entre otros.; señalas en puerta o como título principal en planos eléctricos. Mientras que sus características mecánicas como el grado de protección de la envolvente, dimensiones, materiales utilizados, acabados, distribución de los equipos mecánicos, son ubicables en sus planos mecánicos.

El grado de protección de los tableros esta basado en la norma (Anexo C), en la cual mediante calificativos numéricos. Podemos identificar los niveles de protección del diseño, consideración tomadas para evitar el ingreso de elementos sólidos y líquidos.

En la Tabla n.º 1, se detalla las consideraciones técnicas de diseño, para los tableros eléctricos, que establece la norma (Anexo C).

Tabla n.º 1: Calificaciones para el grado de protección IP, en tableros eléctricos, según la norma IEC 60529

Primer número		Segundo número	
IP	Prueba IP	IP	Prueba IP
0	 Sin protección	0	 Sin protección
1	 Protegido contra objetos sólidos de hasta 50 mm, p.ej. toque accidental con las manos	1	 Protegido contra gotas de agua que caen verticalmente, p.ej. condensación
2	 Protegido contra objetos sólidos de hasta 12 mm, p.ej. dedos	2	 Protegido contra el rocío directo de agua hasta 15° de la vertical
3	 Protegido contra objetos sólidos de más de 2.5 mm, p.ej. herramientas y alambres	3	 Protegido contra el rocío a 60° de la vertical
4	 Protegido contra objetos sólidos de más de 1 mm	4	 Protegido contra el rocío de agua desde todas las direcciones (se permite un ingreso limitado)
5	 Protegido contra el polvo (ingreso limitado, sin acumulación dañina)	5	 Protegido contra chorros a baja presión de agua desde todas las direcciones (se permite un ingreso limitado)
6	 Totalmente protegido contra el polvo	6	 Protegido contra chorros fuertes de agua
		7	 Protegido contra los efectos de inmersión entre 15 cm y 1 m

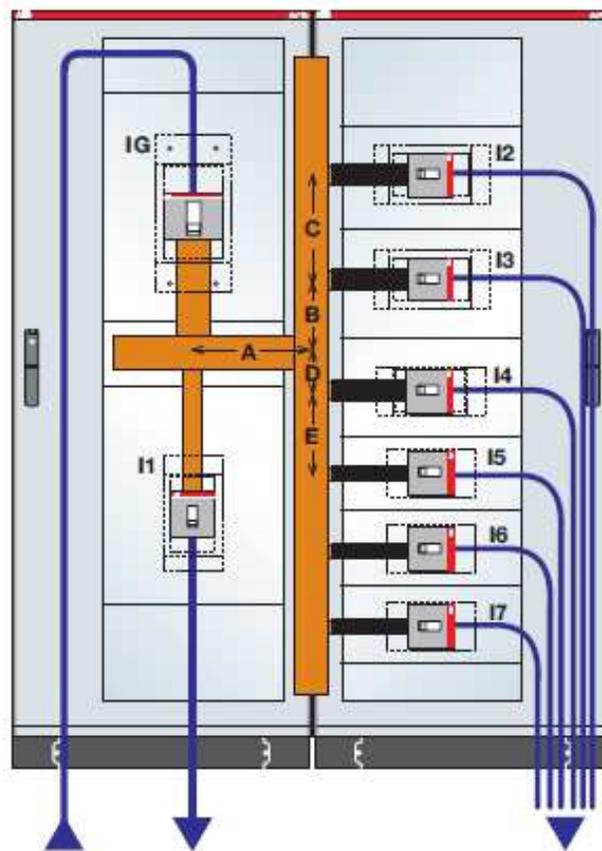
Fuente: Normas globales para gabinetes en la industria eléctrica. Hoffman

2.2.1.1.3 Representaciones de los Tableros Eléctricos

Los equipos de protección y de control, así como los instrumentos de medición, por lo general se instalan en tableros eléctricos, estos equipos e instrumentos se instalan tomando como referencia una serie de planos y dibujos, en donde se muestra la interconexión del equipo y el arreglo y disposición del mismo (Harper, 2005, p. 411).

Estas representaciones o esquemas ayudan en la simplificación de la lectura e interpretación de mecánico y eléctrico de un tablero. En los planos mecánicos, se detallan la ubicación de los interruptores, dimensiones del tablero, conexiones de llegada y salida, entre otros, como en la Figura n.º 5.

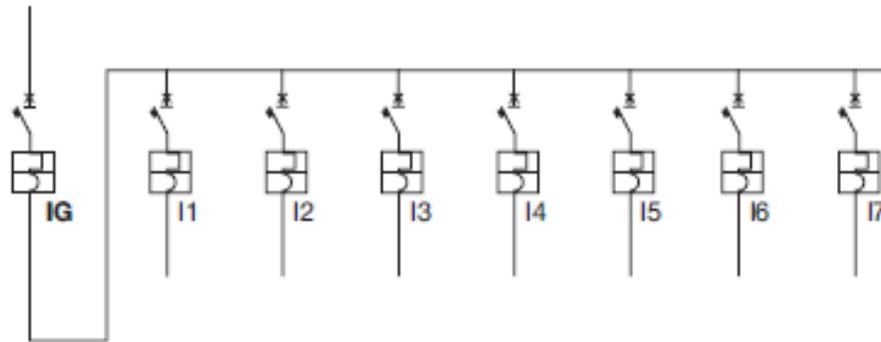
Figura n.º 5: Plano mecánico de un tablero eléctrico



Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 9. ABB

Y en la siguiente Figura n.º 6 podemos notar la representación eléctrica del tablero, en un solo trazo los equipos de fuerza como interruptores y el medio de conexión.

Figura n.º 6: Plano unifilar de un tablero eléctrico



Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 9. ABB

2.2.1.2 Sistema de Sincronismo

La entrada de una máquina al sistema requiere comprobar el cumplimiento de condiciones necesarias para realizar el acople, sin afectar la máquina o la estabilidad del sistema. La sincronización consiste en verificar el cumplimiento de estas condiciones, para permitir la orden de cierre del interruptor de potencia y acoplar de esta manera dos sistemas en paralelo (Caicedo, Brieva, Ruiz y Murcia, 2000, p. 28).

El módulo de sincronismo es un controlador electrónico, que permite y facilita al operador poner en funcionamiento a un generador síncrono o más en paralelo.

Supervisando las condiciones de sincronismo, mediante funciones de medición de parámetros eléctricos generados y del sistema existente de la carga; para su inserción en el sistema.

También monitorea los parámetros de funcionamiento del motor primo preservando su estado. Y funciones de comunicación del estado del sistema, localmente por la pantalla gráfica, alarmas auditivas y luminosas; como a distancia por PLC, computadoras. Siendo posible configurar programas de marcha automática de los GE disponibles en la red y el reparto automático de la carga, al igual que el

funcionamiento de modo manual. Ya que este módulo, se encarga de controlar los equipos de maniobra como su interruptor principal.

La Figura n.º 7, representa un dispositivo de control electrónico de última generación, para la sincronización de GE, encargado de cumplir las condiciones de sincronismo. Dependiendo del fabricante, sus funciones de protección, medición, comunicación pueden estar integradas al microprocesador o disponibles para su implementación.

Figura n.º 7: Módulo de control de sincronización y carga compartida, marca Deep Sea Electronics, modelo 8610



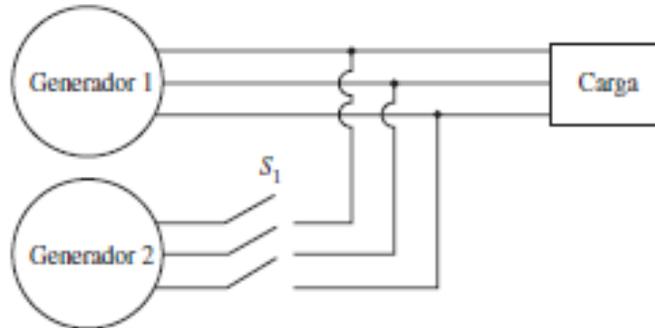
Fuente: DEEP SEA ELECTRONICS

2.2.1.2.1 Condiciones para Sincronización

Chapman (2012) menciona que: “Si el interruptor se cierra de manera arbitraria en cualquier momento, es posible que los generadores se dañen severamente y que la carga pierda potencia (p. 173)”.

En la Figura n.º 8, se entiende que la carga es alimentada por el generador 1, mientras se dispone de un segundo en reserva, el cierre de su interruptor no garantiza la sincronización con del generador síncrono existente. para lograrlo se procede a implementar equipos electromecánicos o gracias a la automatización la selección de un módulo inteligente.

Figura n.º 8: Diagrama multifilar de conexión de un generador síncrono en un sistema eléctrico existente



Fuente: Máquinas eléctricas. Chapman

Wildi (2007) refirió que: “Antes de conectar un generador a un bus infinito (o en paralelo a otro generador), debemos sincronizarlo. Se dice que un generador está sincronizado cuando satisface las siguientes condiciones (p. 361):”

1. La frecuencia del generador es igual a la frecuencia del sistema.
2. El voltaje del generador es igual al voltaje del sistema.
3. El voltaje del generador está en fase con el voltaje del sistema.
4. La secuencia de fases del generador es igual que la del sistema.

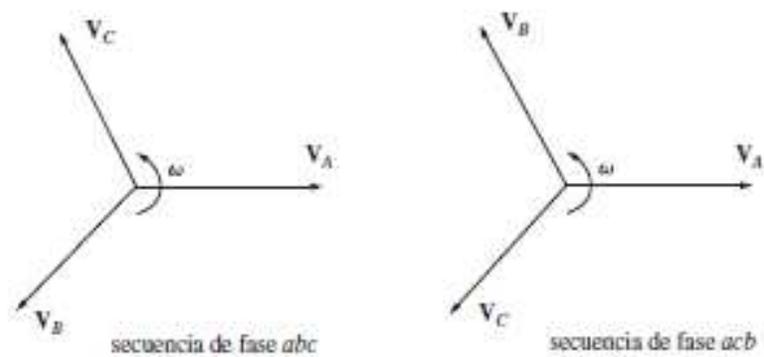
Estas condiciones tienen la finalidad de ingresar al sistema eléctrico un respaldo o incremento de carga por medio de un generador síncrono; evitando generar fallas eléctricas en el sistema eléctrico que ingresa y equipos involucrados. Para esto se utiliza métodos de control como, por ejemplo:

- Para comprobar que la frecuencia del generador síncrono se aproxime al valor del sistema, se debe ajustar el regulador de velocidad del motor primo; considerando regular un valor mayor al del sistema. Mediante un frecuencímetro conectado en sus bornes, podemos comprobar si el valor es igual a la del sistema.

- Para obtener valores iguales en el voltaje del generador y sistema; es recomendable que el nuevo generador síncrono, tenga las mismas características del existente.
- Regulando el sistema de control de tensión del generador, igualamos el valor del sistema.
- Utilizando motores de inducción, en los terminales de los generadores verificamos si ambos tienen el mismo sentido de giro, aseguramos que están en fase, al menos un par. En caso contrario se deberá cambiar 2 conductores de salida del generador.

Podemos comparar en la Figura n.º 9, a las secuencias de fase de 2 generadores. Observando que solo coinciden en la fase de tensión "A" y el sentido de giro. El uso de un motor de inducción, no garantiza que coincidan las 3 fases.

Figura n.º 9: Secuencias de fases de 2 generadores, con igual sentido de giro



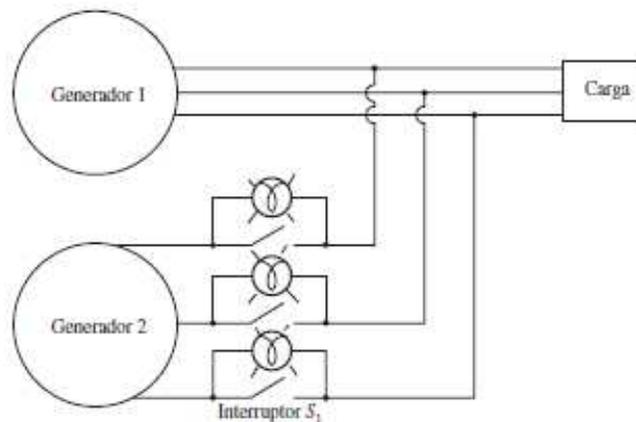
Fuente: Máquinas Eléctricas. Chapman

Chapman (2012) menciona: "Otra manera de revisar la secuencia de fase es el método de las tres lámparas. En este método, se conectan tres lámparas a través de las terminales abiertas del interruptor que conecta el generador al sistema, (...). Conforme la fase cambia entre

los dos sistemas, las lámparas lucirán primero brillantes (una gran diferencia de fase) y luego tendrán una luz tenue (una diferencia de fase pequeña). Si las tres lámparas lucen brillantes y se apagan al mismo tiempo, los sistemas tienen la misma secuencia de fase. Si las lámparas lucen brillantes sucesivamente, los sistemas tienen secuencias de fase opuestas y se debe invertir una de las secuencias (p. 175)”.

La Figura n.º 10, muestra el esquema de conexión eléctrica del método de las 3 lámparas.

Figura n.º 10: Método de las 3 lámparas, para asegurar la secuencia de fase del sistema



Fuente: Máquinas eléctricas. Chapman

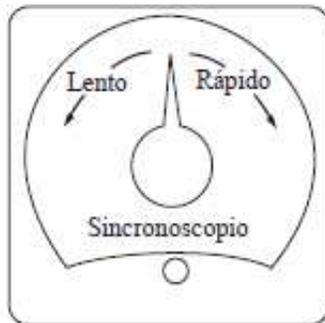
Chapman (2012) destaca una diferencia sobre el método de lámparas y el sincronoscopio: “Cuando se apagan las tres lámparas, la diferencia de voltajes a través de ellas es cero y los sistemas están en fase. Este sencillo esquema funciona, pero no es muy exacto. Un método mejor es la utilización de un sincronoscopio. (...). Si el generador o sistema en aproximación es más rápido que el sistema en operación (situación deseada), el ángulo de fase avanza y la aguja del sincronoscopio gira en el sentido de las manecillas del reloj. Si la máquina en aproximación es más lenta, la aguja gira en sentido contrario (...). Cuando la aguja del

sincronoscopio está en una posición vertical, los voltajes están en fase y se puede cerrar el interruptor para conectar el sistema.

(...) un sincronoscopio verifica las relaciones en sólo una fase. No brinda información sobre la secuencia de fases (p. 175)".

El sincronoscopio (Figura n.º 11) muestra si la tensión del generador y del sistema están en fase. Si a la frecuencia es mayor que el sistema, girará en sentido horario; si la frecuencia sea baja, será en sentido antihorario. Se regula la velocidad del motor primo, hasta que quede la aguja centrada.

Figura n.º 11: Sincronoscopio



Fuente: Máquinas Eléctricas. Chapman

Los módulos de sincronismo, integran estos procedimientos o condiciones a cumplir. Dependiendo del fabricante estos disponen de cualidades adicionales, supervisando la operación de los generadores durante su funcionamiento; realizando arranques y paradas, en caso de falla o por la demanda de la carga.

Implementados con sistemas de medición de los parámetros eléctricos generados y en el funcionamiento adecuado del motor primo. Estos deben ser solicitados al fabricante en su verificación.

2.2.1.3 Sistema de Protección

En relación con la seguridad de los equipos, debe hacerse un análisis técnico-económico para determinar la inversión en protecciones para cada equipo. Por ejemplo, para un equipo que represente una parte importante de la instalación y que sea muy costoso no deberá limitarse la inversión en protecciones (Bratu y Campero, 1995, p. 23).

En un sistema de sincronismo de GE, estos son considerados de mayor valor económico y prioritario para el desarrollo de una actividad. Aquellos están expuestos a fallas internas en sus componentes, debiendo supervisar su funcionamiento pertinente, acudiendo a los sistemas inteligentes de los módulos de sincronismo. En caso de fallas eléctricas en el sistema, pueden ser minimizados y evitados por interruptores automáticos. Para mantener la continuidad del servicio y la vida útil de los mencionados, los tableros eléctricos realizan esta función, evitando los contactos accidentales en elementos energizados y bloqueando el ingreso de objetos, animales o líquidos.

2.2.1.3.1 Interruptores Automáticos

➤ Definición

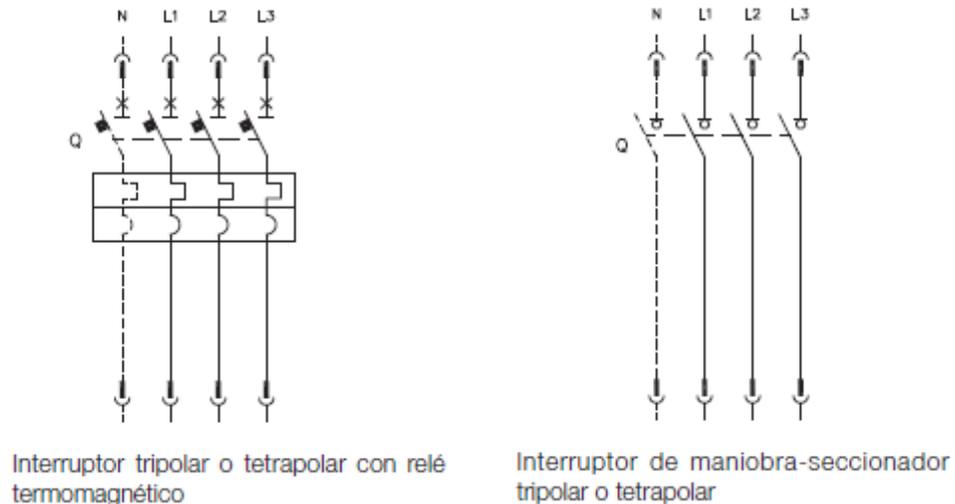
Un interruptor es un dispositivo que está diseñado para abrir o cerrar un circuito eléctrico por el cual está circulando una corriente. Puede utilizarse como medio de desconexión o conexión y, si está provisto de los dispositivos necesarios, también puede cubrir la función de protección contra sobrecargas y/o cortocircuitos (Bratu y Campero, 1995, p. 11).

Se le conoce como automático, por su desconexión frente a las fallas eléctricas de sobrecorrientes, pero para volver a cerrar el circuito será de modo manual, siendo posible al adicionar un mecanismo motorizado. La ventaja que

dispone comparado con otros aparatos de protección, como el fusible; consecuentemente al apertura una corriente de cortocircuito (I_{cc}), el interruptor tiene la posibilidad de reponerse por medio del enfriamiento natural, mientras que el fusible necesita ser reemplazado en su totalidad; pudiendo causar problemas en la reposición inmediata para la continuidad del servicio; si comparamos con un interruptor seccionador este solo permite la conexión y desconexión manual, no dispone de un sistema de protección eléctrica. Estas definiciones, funciones y características de diseño, son establecidas bajo normas (Anexo B).

La Figura n.º 12, muestra la simbología de interruptor (lado izquierdo) con sus relés de protección y a un seccionador (lado derecho), que no dispone de relés.

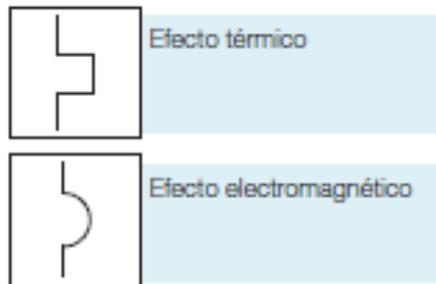
Figura n.º 12: Esquema eléctrico de un interruptor termomagnético (lado izquierdo) y un interruptor seccionador (lado derecho)



Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

La Figura n.º 13, muestra al relé de protección térmico (parte superior).
Y el relé de función de protección magnética de los interruptores.

Figura n.º 13: Relés de protección en un interruptor automático



Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

➤ Tipos Según su Construcción

Estos interruptores tienen una combinación de disparo térmico y magnético instantáneo en una caja moldeada (para baja tensión), proporcionando una operación con retardo de tiempo a valores de sobrecorrientes no muy altos y con operación instantánea para las corrientes de cortocircuito (Harper, 2003, p. 355).

Los interruptores automáticos, son también nombrados como interruptores termomagnéticos (ITM). Pudiendo identificarse en el mercado por su tipo de construcción, en las siguientes figuras.

Estos interruptores (Figura n.º 14), se fabrican bajo las normas industriales (Anexo B) y residenciales (Anexo F), conocidos como interruptores automáticos en miniatura (MCB). Utilizado en protecciones de cargas en tableros derivados en BT. No superan capacidades de 63 y 80 A.

Figura n.º 14: Interruptores automáticos modulares o Miniature Circuit Breaker (MCB)



Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 1. ABB

En la siguiente Figura n.º 15, se presentan los interruptores tipo caja moldeada (MCCB). Los cuales sus contactos de apertura y cierre, están sellados en su interior, contenidos por la caja aislante. Siendo solo de uso industrial. En caso de fallas eléctricas anormales o superiores a la de sus prestaciones; al igual que los MCB, deben ser cambiados en su totalidad. Estos disponen de capacidades desde los 16 A hasta 3200 A.

Figura n.º 15: Interruptores automáticos en caja moldeable o Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)



Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 1. ABB

Los interruptores de bastidor abierto (ACB), son de capacidades de 630 A hasta 6300 A. Sus contactos de apertura y cierre están al aire a presión atmosférica; disponiendo de unas ranuras para subdividir el arco eléctrico, a diferencia de los MCCB, que se encuentran encapsulados (Figura n.º 16).

Figura n.º 16: Interruptores automáticos en bastidor abierto o Air Circuit Breaker (ACB)



Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 1. ABB

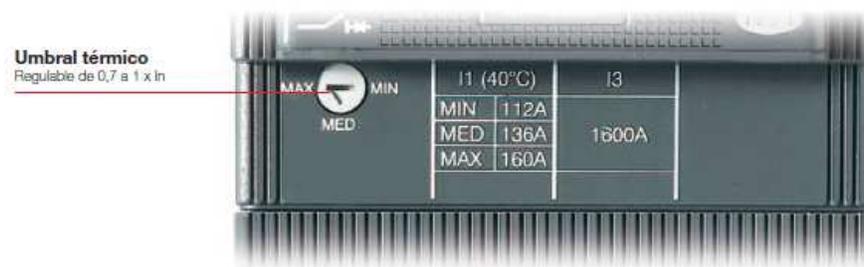
2.2.1.3.2 Funciones de Protección

La protección contra sobrecarga está constituida por una barra bimetálica que, dependiendo del valor que tenga la corriente, así como del tiempo que se mantenga, provoca el disparo que abre los contactos. Esta misma barra está colocada a cierta distancia de una pieza ferromagnética. Cuando la corriente se eleva a valores muy altos (cortocircuito) se crean fuerzas electromagnéticas de atracción capaces de provocar que los contactos se abran en un tiempo muy corto. De esta manera se logra la protección contra cortocircuito (Bratu y Campero, 1995, p. 177).

La protección térmica, se basa en un bimetálico diseñado para deformarse y abrir el circuito frente al aumento de temperatura lentamente (Efecto Joule), en el circuito más cercano a una sobrecarga.

En la siguiente Figura n.º 17, se muestra el relé de protección térmica de un MCCB, podemos observar que es posible regular hasta un 70% de la corriente permanente asignada (I_n) del ITM. En los MCB tienen un valor fijo.

Figura n.º 17: Relé térmico de un interruptor MCCB, regulable hasta el 70% de su capacidad



Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

En MCCB y ACB, es posible regular la protección desde un 40% por un relé electrónico.

Mientras que la protección magnética para los lcc, está diseñada mediante un electroimán que abre el circuito, al desplazarse en contra del contacto cerrado; por un campo magnético creado por el lcc.

En MCB, se encuentran clasificados según la aplicación de la carga, por curvas de disparo. Estas pueden variar desde 5 hasta 14 I_n . Pero en el caso de los tipos MCCB, en intervalos hasta 10 veces I_n y para ACB hasta 15 veces en los en la zona de cortocircuito del ITM (según el fabricante).

Harper (2003) menciona que: Cada interruptor tiene distintas características y puede ser, de acuerdo al fabricante, de distinto; dependiendo de esto, se pueden ajustar las unidades de disparo disponibles, que pueden ser (p. 358):

- De tiempo diferido largo (L).
- De tiempo diferido corto (S).
- Instantáneo (I).
- De protección contra fallas a tierra (G).

Estas funciones mostradas en la Tabla n.º 2, son características de los MCCB y ACB, donde es posible la regulación de las curvas de actuación; para mejorar el sistema de protección mediante la selectividad total.

Tabla n.º 2: Funciones básicas de protección de MCCB y ACB, según la norma IEC 60947-2

	<p>(L) Protección contra sobrecarga Esta función de protección actúa en caso de sobrecarga con intervención retardada a tiempo largo inverso ($I^2t=k$), de acuerdo con la norma IEC 60947-2. La función no puede excluirse.</p>
	<p>(S) Protección contra cortocircuito selectivo Esta función de protección actúa en caso de cortocircuito, con intervención retardada a tiempo corto inverso ($I^2t=k$ ON) o a tiempo independiente ($I^2t=k$ OFF). Esta función de protección puede excluirse.</p>
	<p>(I) Protección contra cortocircuito instantáneo Esta función de protección actúa de forma instantánea en caso de cortocircuito. Esta protección puede excluirse.</p>
	<p>(G) Protección contra defecto a tierra La protección contra defecto a tierra actúa en el caso que la suma vectorial de las corrientes que circulan a través de los sensores de corriente sobrepase el valor de umbral configurado, con intervención retardada a tiempo largo inverso ($I^2t=k$ ON) o a tiempo independiente ($I^2t=k$ OFF). Esta función puede excluirse.</p>

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

2.2.1.3.3 Selección

Deben seleccionarse de un valor un poco superior al que resulte del cálculo exacto, impidiendo con ello, abran el circuito en forma continua sin causa justificada, por ejemplo: prever que cuando arranca un motor eléctrico, toma en ese instante de la línea una corriente mayor que la indicada en sus datos de placa. Los listones fusibles y los interruptores termomagnéticos, se

clasifican de acuerdo a la corriente máxima que soportan en condiciones normales de trabajo, tensión entre conductores, forma, modo de operar, etc. (Becerril, 2005, p.70).

Para realizar la adecuada selección de un ITM, primero debemos conocer el sistema eléctrico donde conectará como:

- Niveles de tensión del tablero.
- Número de fases del sistema.
- Frecuencia del sistema.
- Lugar de la instalación (altitud en msnm).
- Condiciones ambientales de la instalación.
- Información de la carga (potencia, aplicación, otros).

Con esta información, ahora se realiza la verificación de los parámetros eléctricos del ITM, para la selección:

- In del ITM.
- Capacidad de corte del ITM.

➤ **In del ITM**

Al circular corriente eléctrica por o a través de un conductor, un elemento, un aparato, un motor, un equipo o todo un sistema eléctrico, se produce en todos y cada uno de ellos un calentamiento, al transformarse parte de la energía eléctrica en energía térmica (Becerril, 2005, p.69).

Esta corriente debe ser soportada de forma continua durante su servicio en condiciones normales, por lo cual es considerada un poco superior dependiendo de las normas (Anexo B) y aportes por el fabricante.

Por ejemplo, al conocer la potencia de la carga y el sistema de operación, trabajaremos con las siguientes ecuaciones en base a la Ley de ohm y Triángulo de Potencias, aplicadas a las cargas eléctricas, generadores y motores de corriente alterna (AC). Considerando que el sistema eléctrico se encuentra equilibrado (desfasados entre ellos 120°), como las impedancias de las cargas.

Con las Ecuaciones n.º 1, 3 y 5, podemos obtener los valores de potencia aparente, activa y reactiva respectivamente, en un sistema trifásico.

Y con las Ecuaciones n.º 2, 4 y 6, podemos obtener los valores de potencia aparente, activa y reactiva respectivamente, pero de un sistema monofásico.

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} * V_{3\phi} * I \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 1}$$

$$S_{1\phi} = V_{1\phi} * I \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 2}$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} * V_{3\phi} * I * \cos\phi \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 3}$$

$$P_{1\phi} = V_{1\phi} * I * \cos\phi \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 4}$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} * V_{3\phi} * I * \sin\phi \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 5}$$

$$Q_{1\phi} = V_{1\phi} * I * \sin\phi \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 6}$$

El $\cos\phi$, viene hacer el coseno del ángulo ϕ , que forman la potencia activa y aparente, mostrada en la Ecuación n.º 7.

Esta ecuación aplica igualmente a sistemas monofásicos. Si la onda de AC es perfectamente senoidal al $\cos\phi$, tiene el mismo valor que el factor de potencia de una carga.

$$\cos\phi = \frac{P_{3\phi}}{S_{3\phi}} = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2}} \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 7}$$

El triángulo de potencias (forma geométrica de un triángulo rectángulo) de la Figura n.º 18, ayuda a comprender de forma gráfica al $\cos\phi$ y factor de potencia. Y la ecuación n.º 8, muestra su relación.

$$S_{3\phi}^2 = P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 8}$$

Donde:

$S_{3\phi}$: Potencia aparente trifásica (VA).

$S_{1\phi}$: Potencia aparente monofásica (VA).

$P_{3\phi}$: Potencia activa trifásica (W).

$P_{1\phi}$: Potencia activa monofásica (W).

$Q_{3\phi}$: Potencia reactiva trifásica (VAr).

$Q_{1\phi}$: Potencia reactiva monofásica (VAr).

$V_{3\phi}$: Voltaje trifásico conectado a la carga (Vac).

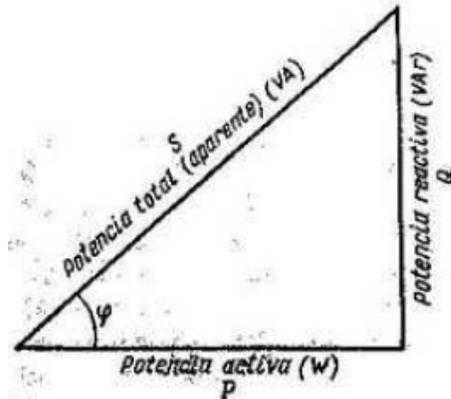
$V_{1\phi}$: Voltaje monofásico conectado a la carga (Vac).

I: Corriente nominal de la carga (A).

$\cos\phi$: Factor de potencia (W/VA).

$\text{sen}\phi$: Cociente de la potencia reactiva y aparente (VAr/VA).

Figura n.º 18: Triángulo de potencias de una carga



Fuente: Fundamentos de electrotecnia, Kuznetsov

La Ecuación n.º 9, ayuda a calcular la tensión de un sistema monofásico (línea viva y neutro). La tensión se reduce sobre $\sqrt{3}$, por ejemplo: 480/277 Vac, 380/220 Vac, 220/127 Vac.

$$V_{1\phi} = \frac{V_{3\phi}}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 9}$$

Para conocer la corriente nominal o que consume la carga “I”, en un sistema trifásico, despejamos la variable de las Ecuaciones n.º1 y 3, respectivamente. La Ecuación n.º 10, se utiliza cuando la carga esta denominada en unidades VA y la Ecuación n.º 11, cuando sus unidades están en W,

$$I = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} * V_{3\phi}} \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 10}$$

$$I = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} * V_{3\phi} * \cos\phi} \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 11}$$

Para conocer “I” de la carga monofásica, despejamos la variable de las Ecuaciones n.º 2 y 4, respectivamente. Igualmente, las Ecuaciones n.º 12 y 13 apoyan a calcular cuando la carga esta en unidades VA y W, respectivamente.

$$I = \frac{S_{1\phi}}{\sqrt{3} * V_{1\phi}} \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 12}$$

$$I = \frac{P_{1\phi}}{\sqrt{3} * V_{1\phi} * \cos\phi} \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 13}$$

La información de la potencia de carga puede estar en unidades VA o W (en múltiplos y submúltiplos), se debe prestar atención a otras unidades de potencia para su conversión. En la Tabla n.º 3, se muestran las de uso frecuente:

Tabla n.º 3: Equivalencias para conversiones de unidades de potencia

Kilowatt	Kilocaloría / hora	Btu (IT) / hora	Horse power (USA)	Caballo vapor métrico
KW	Kcal (IT) / h	Btu (IT) / h	HP	CV
1	859,84523	3412,1416	1,3410221	1,3596216
0,001163	1	3,9683207	0,0015596	0,0015812
0,00029307	0,2519958	1	0,00039301	0,00039847
0,7456999	641,18648	2544,4336	1	1,0138697
0,7354988	632,41509	2509,6259	0,9863201	1
3,5168	3023,9037	11999,82	4,7161065	4,7815173

Elaboración: Propia 2018

Por recomendación de la norma (Anexo D), en la Ecuación n.º 14. Se sobredimensiona, el valor de amperaje del dispositivo de sobrecarga, en un 25% adicional sobre la “I” calculada.

$$I_n = 1.25 * I \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 14}$$

Donde:

I_n : Corriente permanente asignada del ITM (A).

Recordando seleccionar el valor inmediato superior del ITM de fábrica, con respecto al calculado; o evaluado por situaciones técnicas y económicas.

El fabricante debe mencionar las cualidades adicionales del equipamiento como el desclasamiento por altitud y temperatura, en la verificación de la I_n calculada.

Por ejemplo, la siguiente Tabla n.º 4, se entiende que los ITM de la marca ABB, pueden trabajar hasta 2000 msnm, sin ser afectado en sus prestaciones de tensión de servicio y de corriente nominal del ITM.

Tabla n.º 4: Desclasificación por altitud para interruptores automáticos modelos Tmax de la marca ABB

Altitud	[m]	2000	2600	3000	3900	4000	5000
Reducción de los valores de la tensión de servicio, Ue	[%]	100	93	88	79	78	68
Reducción de los valores de la corriente ininterrumpida	[%]	100	99	98	94	93	90

Fuente: Tmax. Generación T. ABB

En la Tabla n.º 5, indica la desclasificación por temperatura, para el ITM modelo Tmax T5 de 400 A, para la versión fija, enchufable y extraíble. Y el tipo de terminal de conexión del ITM.

Tabla n.º 5: Desclasificación por temperatura para interruptores automáticos con relé electrónico, modelo T5, de marca ABB

Tmax T5 400

Fijo	hasta 40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	I_{max} [A]	I_t						
FC	400	1	400	1	400	1	368	0.92
F	400	1	400	1	400	1	368	0.92
HR	400	1	400	1	400	1	352	0.88
VR	400	1	400	1	400	1	352	0.88

Enchufable - Extraíble

FC	400	1	400	1	382	0.96	350	0.88
F	400	1	400	1	382	0.96	350	0.88
HR	400	1	400	1	368	0.92	336	0.84
VR	400	1	400	1	368	0.92	336	0.84

FC = Anteriores para cable; F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales.

Fuente: Manual técnico de instalaciones eléctricas. ABB

En la Tabla n.º 6 para el caso particular del modelo T6 de 800 A.

Tabla n.º 6: Desclasificación por temperatura para interruptores automáticos con relé electrónico, modelo T6, de marca ABB

Tmax T6 800

Fijo	hasta 40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	I_{max} [A]	I_t						
F	800	1	800	1	800	1	760	0.95
FC	800	1	800	1	760	0.95	720	0.9
R (HR - VR)	800	1	800	1	720	0.9	640	0.8
Extraíble								
EF	800	1	800	1	760	0.95	720	0.9
VR	800	1	800	1	760	0.95	720	0.9
HR	800	1	760	0.95	720	0.9	640	0.8

FC = Anteriores para cable; F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales; R = Posteriores; EF = Anteriores prolongados.

Fuente: Manual técnico de instalaciones eléctricas. ABB

Aplicando los factores de reducción por altitud, según la Tabla n.º 4 y por temperatura, en el caso de la Tabla n.º 5 y 6; según el modelo del ITM del fabricante, puede disponer de tablas independientes.

En la Ecuación n.º 15, se aplica los factores de reducción al valor “ I_n ”.
 Y en la Ecuación n.º 16, observamos que solo le afecta, el factor de reducción por altitud.

$$I_n * F_{R,A} * F_{R,T} \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 15}$$

$$U_E * F_{R,A} \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 16}$$

Donde:

$F_{R,A}$: Factor de reducción por altitud (%).

$F_{R,T}$: Factor de reducción por sobretemperatura (%).

U_E : Tensión de servicio del interruptor, según el modelo del ITM

Estos factores de reducción solo afectan a las prestaciones del ITM.

Comparando el resultado de la Ecuación n.º 15, con el “ I_n ” calculado anteriormente en la Ecuación n.º 14. Si el resultado es igual o superior en amperaje; no hay necesidad de sobredimensionar al ITM.

En las Tablas n.º 5 y 6, se puede observar cómo afecta las versiones extraíbles de los ITM, según el tipo de terminal de conexión, mostradas en la Tabla n.º 7.

Tabla n.º 7: Terminales de conexión de los Interruptores Tmax

	F	EF	ES	FC Cu	FC CuAl	FC CuAl	MC	RC CuAl	HR	VR	HR para RC221/222	R
												
	Terminales anteriores	Terminales anteriores prolongados	Terminales anteriores prolongados separadores	Terminales anteriores para cables de cobre	Terminales anteriores para cables de CuAl	Terminales anteriores para cables de CuAl ⁽¹⁾	Terminales multicable	Terminales posteriores para cables de CuAl	Terminales posteriores en pletina horizontales	Terminales posteriores en pletina verticales	Terminales posteriores en pletina horizontales	Terminales posteriores
T1		F		F ⁽²⁾		F			F		F	
T2	F ⁽²⁾	F	F	F	F	F						F
T3	F ⁽²⁾	F	F	F	F	F						F
T4	F ⁽²⁾	F	F	F	F	F	F					F
T5	F ⁽²⁾	F	F	F	F	F						F
T6 630	F ⁽²⁾	F	F		F			F				F
T6 800	F ⁽²⁾	F	F			F		F				F
T6 1000	F ⁽²⁾	F ⁽²⁾	F ⁽²⁾			F ⁽²⁾						F ⁽²⁾
T7	F ⁽²⁾	F	F			F			F	F		F

⁽¹⁾ Instalados externamente
⁽²⁾ Suministro estándar
⁽³⁾ El interruptor T6 1000 A (interruptor completo, elementos de corte y relé de protección separado) debe utilizar un tipo de terminal entre los indicados en la tabla
F = Fijo

Fuente: Tmax. Generación T. ABB

➤ Poder de Corte del ITM

Bratu (1995) menciona lo siguiente sobre la protección contra el cortocircuito: "Se dice que una instalación está preparada para soportar cortocircuitos cuando sus elementos cumplen con las siguientes características(p. 178)":

- Robustez suficiente para soportar los esfuerzos mecánicos de la máxima fuerza posible.
- Capacidad de los conductores para soportar los esfuerzos térmicos de la corriente más alta que pueda ocurrir.
- Rapidez de respuesta del sistema de protecciones para interrumpir y aislar la zona donde aparezca un cortocircuito.
- Capacidad de los interruptores para disipar la energía del arco.

También nombrado como poder asignado de corte último en cortocircuito (I_{cu}). Para contrarrestar una I_{cc} y proporcionar la efectividad del funcionamiento, debemos determinar su valor, en la selección de los ITM. Existen métodos matemáticos para calcular la I_{cc}.

El análisis dependerá de la ubicación de la falla, la cual comprometerá a las características de diseño de los componentes desde el punto de falla

hasta aguas arriba del suministro eléctrico, como: red pública, transformadores de potencia de MT a BT, generadores síncronos, conductores eléctricos (cables, barras de cobre), interruptores, contactos, motores, entre otros.

Bajo la norma (Anexo E), que describe los criterios a tener en cuenta para el cálculo de las lcc en sistemas de AC.

El método de las impedancias, calcula estas lcc en cualquier punto de un sistema, sumando parcialmente las resistencias y reactancias de todos los elementos del circuito eléctrico afectados, aplicando la Ley de ohm.

Con el fin de seleccionar equipos de protección y conducción adecuados para el sistema.

Se toman las siguientes hipótesis para justificar las aproximaciones de los cálculos:

- Según norma (Anexo E), la red es considerada radial y su tensión no sobrepasa los 230 KV.
- La lcc, se supone establecida simultáneamente en las 3 fases.
- Durante el lcc, el número de fases afectadas no sufre modificaciones permanece siendo trifásica.
- Durante el tiempo de cortocircuito las tensiones e impedancia, no varían de forma significativa.
- No se tendrán en cuenta las resistencias del arco.
- Se desprecian todas las capacidades de las líneas.
- Se desprecian corrientes de carga.

En el caso donde el suministro de energía es por medio de un generador síncrono o GE, podemos estimar la I_{cc} que genera, con la información indicada:

- Generador síncrono:
 - ✓ Tensión de línea (Vac)
 - ✓ Potencia aparente en vacío (VA)
 - ✓ Reactancia subtransitoria (%)
- Conductores eléctricos de BT:
 - ✓ Longitud de la trayectoria (m)
 - ✓ Sección del conductor (mm^2)
 - ✓ La resistividad del conductor ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
- Equipos de maniobra (Interruptores):
 - ✓ Reactancia ($\text{m}\Omega$)
- Motores asíncronos:
 - ✓ Tensión de operación (Vac)
 - ✓ Potencia activa (W)
 - ✓ Rendimiento (%)
 - ✓ Tensión de cortocircuito (%)

Para hallar las resistencias y reactancias, correspondientes nos apoyaremos con las siguientes ecuaciones:

- Generador síncrono: Con la Ecuación n.º 17, calculamos su reactancia estimada y con las Ecuaciones n.º 18 y 19, respectivamente, la resistencia en BT y MT.

$$X_{GS} = X_d'' * \frac{V_{GS}^2}{S_{GS}} \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 17}$$

$$R_{GS} = R_{GS,BT} = (0,1 \text{ al } 0,2) * X_{GS} \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 18}$$

$$R_{GS} = R_{GS,AT} = (0,05 \text{ al } 0,1) * X_{GS} \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 19}$$

Donde:

X_{GS} : Reactancia del generador síncrono (Ω).

X_d'' : Reactancia subtransitoria (%).

V_{GS} : Voltaje de salida (Vac).

S_{GS} : Potencia aparente (VA).

R_{GS} : Resistencia (Ω).

$R_{GS,BT}$: Resistencia estimada en BT, del orden de 0,1 al 0,2.

$R_{GS,AT}$: Resistencia estimada en AT, del orden de 0,1 al 0,2.

La Tabla n.º 8, entrega valores a estimar, según el tipo de generador

Tabla n.º 8: Valores de X_d'' de alternadores en %

	Reactancia subtransitoria	Reactancia transitoria	Reactancia permanente
Turboalternadores	10-20	15-25	150-230
Alternadores de polos salientes	15-25	25-35	70-120

Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

- Conductores eléctricos de BT: la ecuación n.º 20 y 21, permiten calcular la reactancia y resistencia del conductor, respectivamente.

$$X_C = X_{inst} * l \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 20}$$

$$R_C = \rho * \frac{l}{S} \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 21}$$

Donde:

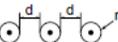
X_C : Reactancia del conductor (Ω).

X_{inst} : Reactancia del conductor, según el tipo de instalación ($m\Omega/m$).

- l: Longitud del conductor (m).
- R_C : Resistencia del conductor (Ω).
- ρ : Resistividad del conductor ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$).
- s: Sección del conductor por fase (mm^2).

En BT, los conductores de sección inferior a 150 mm^2 , solo se considera el valor de la resistencia ($R_C < 0,15 \text{ m}\Omega/\text{m}$, para $s > 150 \text{ mm}^2$). La Tabla n.º 9, entrega valores estimados, para el valor de la reactancia según el tipo de instalación.

Tabla n.º 9: Valores de reactancias de los cables, según el tipo de instalación

Tipo de instalación	Juego de barras	Cable trifásico	Cables unipolares separados	Cables unipolares colocados en triángulo	3 cables en línea juntos	3 cables en línea separados «d»:
						d = 2r d = 4r
Esquema						
Reactancia unitaria valores extremos en mΩ/m	0,15	0,08	0,15	0,085	0,095	0,145 0,19
Reactancia unitaria valores extremos en mΩ/m	0,12-0,18	0,06-01	0,1-0,2	0,08-0,09	0,09-01	0,14-0,15 0,18-0,20

Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

La Tabla n.º 10, estima el valor de resistividad de los conductores.

Tabla n.º 10: Valores de la resistividad de los conductores, según la lcc

Regla	Resistividad (*)	Valor de la resistividad ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)		Conductores afectados
		Cobre	Aluminio	
Corriente máxima de cortocircuito	$\rho_1 = 1,25 \rho_{20}$	0,0225	0,036	FASE-N
Corriente mínima de cortocircuito	$\rho_1 = 1,5 \rho_{20}$	0,027	0,043	FASE-N
Corriente de defecto en los esquemas TN e IT	$\rho_1 = 1,25 \rho_{20}$	0,0225	0,036	FASE-N (**) PE-PEN
Caída de tensión	$\rho_1 = 1,25 \rho_{20}$	0,0225	0,036	FASE-N (*)
Corriente de sobreintensidad para la verificación de las sollicitaciones térmicas de los conductores	$\rho_1 = 1,5 \rho_{20}$	0,027	0,043	Fase-Neutro PEN-PE si incorporado en un mismo cable multiconductores
	$\rho_1 = 1,5 \rho_{20}$	0,0225	0,036	PE separado

(*) ρ_{20} resistividad de los conductores a 20°C : $0,018 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ para el cobre y $0,029 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ aluminio.

(**) N la sección del conductor de neutro es inferior a la de los conductores de fase.

Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

- Equipos de maniobra: estos valores de las ecuaciones n.º 22 y 23, aplican para equipos de maniobra como los interruptores.

$$X_{ITM} = 0,15 \text{ m}\Omega \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 22}$$

$$R_{ITM} = 0 \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 23}$$

Donde:

X_{ITM} : Reactancia estimada para elementos de maniobra (Ω)

R_{ITM} : Resistencia estimada considerada (Ω)

- Motores asíncronos: La Ecuación n.º 24, permite calcular la reactancia producida por los motores; mientras las Ecuaciones n.º 25 y 26, para obtener la resistencia estimada en BT Y MT.

$$X_M = X'_d * \frac{V_M^2}{\left(\frac{P_M}{\eta * \cos\phi}\right)} \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 24}$$

$$R_M = R_{M,BT} = (0,1 \text{ al } 0,2) * X_M \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 25}$$

$$R_M = R_{M,AT} = (0,05 \text{ al } 0,1) * X_M \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 26}$$

Donde:

X_M : Reactancia del motor asíncrono (Ω).

V_M : Voltaje de operación (Vac).

P_M : Potencia activa (W).

η : Rendimiento (%).

R_M : Resistencia del motor asíncrono (Ω).

$R_{M,BT}$: Resistencia estimada en BT, del orden de 0,1 al 0,2.

$R_{M,AT}$: Resistencia estimada en AT, del orden de 0,1 al 0,2.

Teniendo en cuenta que el comportamiento del motor en condiciones de cortocircuito, este actúa como generador, suministrando a la red una X_d'' , como referencia en la Tabla n.º 11. La intensidad que incrementa el motor debe ser considerada con el cable conductor aguas arriba.

Tabla n.º 11: Valores de reactancias de motores y compensadores síncronos en %

	Reactancia subtransitoria	Reactancia transitoria	Reactancia permanente
Motores de alta velocidad	15	25	80
Motores lentos	35	50	100
Compensadores	25	40	160

Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

Con los valores establecidos en cada elemento efectuado, se procede a sumar todas las resistencias y reactancias (Ecuación n.º 28), que se encuentren aguas arriba del punto de falla por cortocircuito, obteniendo la impedancia equivalente afectadas por lcc.

$$Z_{CC} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 28}$$

Donde:

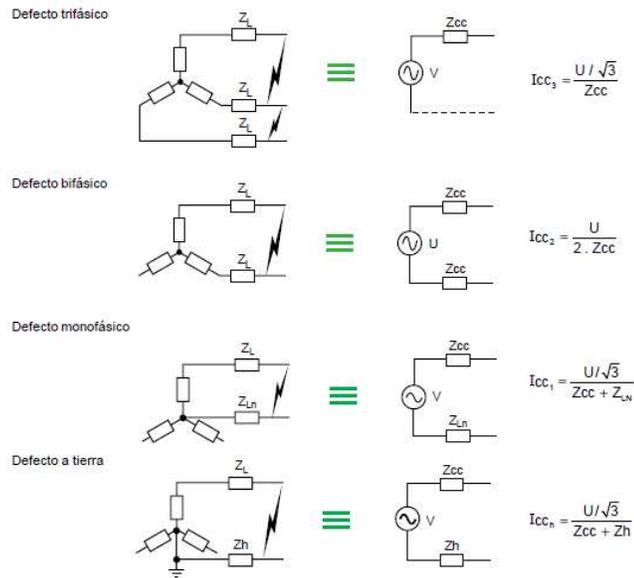
Z_{CC} : Impedancia equivalente afectada por la falla de cortocircuito (Ω).

Reemplazando en la Ecuación n.º 29, para obtener la lcc trifásica en un sistema equilibrado ($I_{CC,3\phi}$).

$$I_{CC,3\phi} = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot Z_{CC}} \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 29}$$

Consideramos la $I_{CC,3\phi}$ por generar frecuentemente las corrientes más elevadas, comparado con las I_{cc} bifásicos y monofásicos. En la Figura n.º 19, podemos observar las relaciones de I_{cc} , en el cual si asumimos un valor “ Z_{cc} ”, concluimos en que las $I_{CC,3\phi}$, son más elevadas que en los otros casos.

Figura n.º 19: Tipos de I_{cc}



Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

➤ Poder de Cierre del ITM

También denominado como poder asignado de cierre en cortocircuito (I_{cm}). En el caso extremo del establecimiento de la I_{cc} , es necesario calcular el valor máximo asimétrico del cortocircuito trifásico (i_p). En la Ecuación n.º 30.

$$i_p = K * \sqrt{2} * I_{CC,3\phi} \dots \dots \dots \text{Ecuación n.º 30}$$

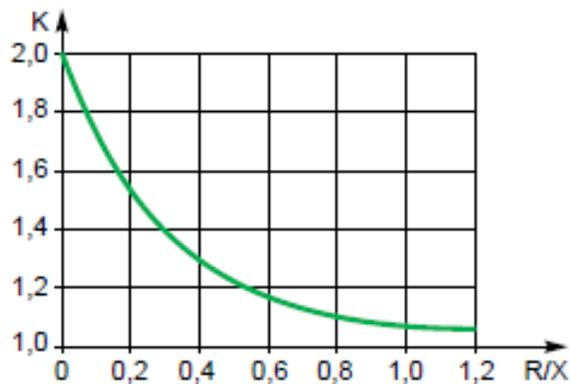
Donde:

K: Factor en función R/X o R/L.

$\sqrt{2}$: Valor eficaz del $I_{CC,3\phi}$

En la siguiente Figura n.º 20, observamos la curva en función de R/X . que intercepta a la constante K , establecida por la norma (Anexo E). Para el cálculo de la i_p .

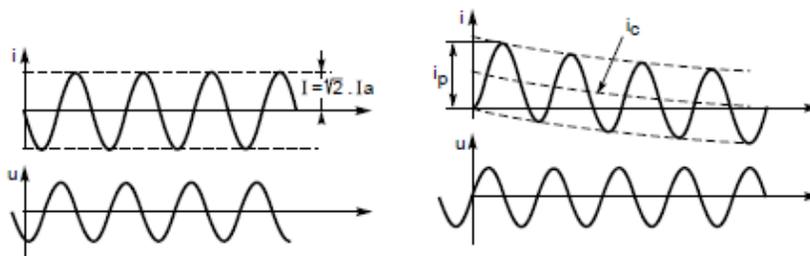
Figura n.º 20: Relación del factor K con R/X



Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

En la Figura n.º 21, se representa gráficamente los 2 casos extremos de la lcc.

Figura n.º 21: Casos extremos de establecimiento del lcc, lado izquierdo lcc simétrica y lado derecho lcc asimétrica



Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

La norma (Anexo E), proporciona la siguiente información para el cálculo del valor "K" (Ecuación n.º 31), para la obtención del i_p :

$$K = 1,02 + 0,98 * e^{\frac{-3 \cdot R}{x}} \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 31}$$

Con la información del $I_{CC,3\phi}$, podemos seleccionar I_{cu} de los ITM; con el valor del “ i_p ” seleccionamos el I_{cm} de los ITM.

Al día de hoy existen programas en computadora, con capacidad de realizar todo este procedimiento, recomendando los ITM adecuados para la operación; por ejemplo, el programa DOC WIN 3.5 de la marca ABB.

2.2.1.3.4 Tipos de ITM Según su ejecución

Según Becerril (2005): “Los interruptores termomagnéticos (pastillas), se distinguen por su forma de conectarse a las barras colectoras de los tableros de distribución o centros de carga, pudiendo ser” (p. 71):

- Tipo de enchufar.
- Tipo de atornillar.

Estos diseños permiten aumentar la seguridad de los equipamientos en el sistema de operación. Para el caso de los MCB, MCCB y ACB, existen los del tipo atornillable o conocidos como “Versión Fija”, estos son conectados directamente por medio de sus terminales de ingreso y salida; frente a las fallas eléctricas estas deben ser retiradas y reemplazados por una identidad en características.

Ocasionando problemas en la continuidad del servicio. La “Versión Enchufable”, es una mejora donde se dispone de una base fija que se encarga de conectar indirectamente los cables del circuito, el interruptor de versión fija se monta

sobre esta base; para en caso de cambios por deterioro solo se desatornilla la parte fija y reemplazando en un tiempo menor.

Y como también la “Versión Extraíble”, que es de la funcionalidad que la enchufable, salvo que la extracción de la parte se realiza mediante una palanca o manivela sobre unas guías mecánicas, a puertas cerradas del tablero, mejorando el proceso de reposición.

En la Figura n.º 22, observamos al ITM (parte móvil) con su elemento de fijación. Para transformar a la versión enchufable y extraíble.

Figura n.º 22: Parte móvil y fija de la versión enchufable (lado izquierdo) y versión extraíble (lado derecho)



Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

2.2.2 Grupos Electrónicos

2.2.2.1 Generador

“Los generadores síncronos trifásicos son la fuente principal de toda la energía eléctrica que consumimos. Estas máquinas son los convertidores de energía más grandes del mundo. Convierten energía mecánica en energía eléctrica, en potencias de hasta 1500 MW” (Wildi, 2007, p. 344).

Los GE también conocidos como alternadores, por producir energía eléctrica de AC, en base al principio de inducción electromagnética. Necesitan de una fuente de energía mecánica para la conversión, denominado motor primo. En las centrales de generación eléctrica disponen de fuentes primarias para el funcionamiento como las energías renovables como el agua de los ríos y energías no renovables como el gas natural, petróleo y mediante la desintegración de elementos pesados como el uranio.

2.2.2.2 Funcionamiento

“El funcionamiento de los generadores sincrónicos se basa en el fenómeno de inducción electromagnética. En principio, es lo mismo si un conductor en movimiento cruza un campo magnético inmóvil, o si un campo magnético en movimiento interseca un conductor inmóvil” (Kuznetsov, 1967, p. 335).

La Ley de Faraday sobre la inducción electromagnética, demostró que es posible generar corrientes eléctricas a través de la transformación del campo magnético de un elemento magnético, experimentando con un imán y un circuito cerrado (bobina de alambre conductor), al introducir dentro de la bobina se va induce un voltaje, proporcional a la rapidez del flujo magnético y en sentido contrario, igualmente al retirarlo. Los imanes disponen de un campo magnético estático, al proporcionarles movimiento mediante un motor primo en el caso de los generadores síncronos (turbinas hidráulicas, motor diesel, entre otros), se aumenta la producción de corriente alterna trifásica.

2.2.2.3 Características del Estator y Rotor

En un generador síncrono se produce un campo magnético en el rotor ya sea mediante el diseño de este como un imán permanente o mediante la aplicación de una corriente de cd a su devanado para crear un electroimán. En seguida, el rotor del generador gira mediante un motor primario, y produce un campo magnético giratorio dentro de la máquina. Este campo magnético giratorio induce un conjunto de voltajes trifásicos dentro de los devanados del estator del generador (Chapman, 2012, p. 147).

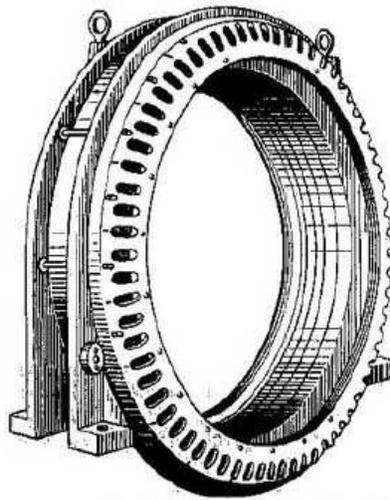
Las variaciones de diseño en el rotor y estator, se realizan para lograr generar pequeñas, medianas y grandes potencias, según la aplicación a determinar. Por ejemplo, los alternadores en automóviles, el giro mecánico lo pueden recepcionar desde el motor principal (integrado) como por medio de poleas y fajas.

➤ Estator

El estator del alternador sincrónico, igual que el de otras máquinas de corriente alterna, consta de un núcleo armado de chapas de acero electrotécnico, en cuyas ranuras está alojado un devanado de corriente alterna, y de una carcasa de hierro fundido o soldado de chapas de acero (Kuznetsov, 1967, p. 336).

También nombrado como inducido, es la parte fija (Figura n.º 23) donde se alojan los devanados trifásicos inducidos que generan la corriente eléctrica. Siendo diseñados en conexión estrella o triángulo.

Figura n.º 23: Estator de un alternador sincrónico



Fuente: Fundamentos de electrotecnia. Kuznetsov

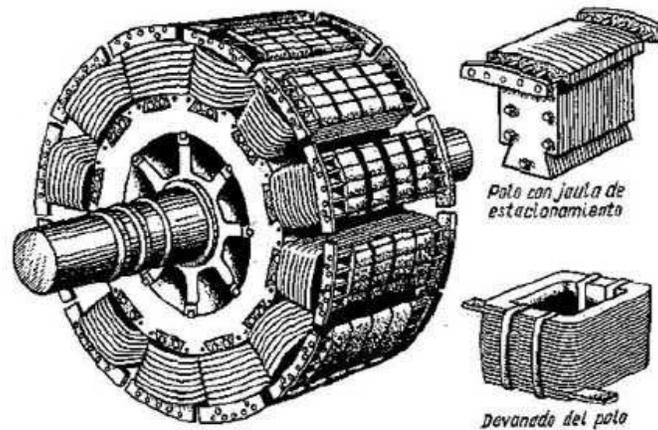
➤ **Rotor**

- **Rotor de polos salientes**

El rotor de polos salientes es una pieza maciza forjada de acero. A la llanta del rotor se fijan los polos sobre los cuales están puestas las bobinas de excitación que se unen entre sí en serie. Los extremos del devanado inductor se unen a dos anillos fijos en el árbol del rotor (Kuznetsov, 1967, p. 337).

Estos elementos (Figura n.º 24) son aplicadas en centrales hidroeléctricas, debido a que trabajan con bajas velocidades y grandes cantidades de polos, para aprovechar la máxima energía cinética del agua. No consumiendo algún combustible, ni contaminando el medio ambiente.

Figura n.º 24: Rotor de polos salientes



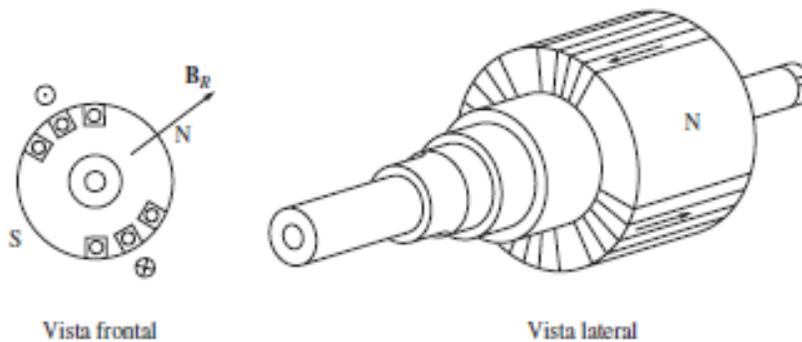
Fuente: Fundamentos de electrotecnia. Kuznetsov

- **Rotor de polos lisos:**

Es bien sabido que las turbinas de vapor de alta velocidad son más pequeñas y más eficientes que las de baja velocidad. Lo mismo sucede con los generadores síncronos de alta velocidad. Sin embargo, para generar la frecuencia requerida no podemos utilizar menos de dos polos y esto fija la velocidad más alta posible (Wildi, 2007, p. 350).

También conocidos como rotores cilíndricos (Figura n.º 25), generan altas velocidades a comparación con el anterior, son empleados en centrales térmicas.

Figura n.º 25: Rotor con 2 polos lisos en una máquina síncrona



Fuente: Máquinas Eléctricas. Chapman

2.2.2.4 Número de Polos en el Rotor

“El número de polos en un generador síncrono depende de la velocidad de rotación y de la frecuencia que deseemos producir” (Wildi, 2007, p. 344).

Los rotores en los generadores que dependen de un motor primario (acoplados mecánicamente), determinan el valor de velocidad de sincronismo. En la siguiente Ecuación n.º 39, podemos observar la relación de la frecuencia generada y el número de polos.

$$f = \frac{p \cdot n}{120} \dots\dots\dots \text{Ecuación n.º 39}$$

Donde:

f: frecuencia del voltaje inducido o generado (Hz).

p: número de polos del generador, rotor.

n: velocidad del rotor o sincrónica (r/min).

2.2.2.5 Motor Primario

➤ Generadores Diesel

“Los generadores diesel están movidos por medio de motores de combustión interna a velocidades que no superan las 1,500 r.p.m., habiéndose construido unidades con potencias próximas a 20 MVA” (Fraile, 2008, p. 429).

En el caso de aportar al sector de la generación se conoce casos de agrupamientos de GE, en centrales termoeléctricas convencionales. En la siguiente Figura n.º 26, se observa a los GE, de la Central Termoeléctrica de Pucallpa. En la Tabla n.º 12, notamos que está compuesta por 25 GE de 1,825 MW.

Tabla n.º 12: Información técnica Central Termoeléctrica Planta Pucallpa – Reserva Fría (40 MW)

DENOMINACIÓN	CENTRAL TERMOELÉCTRICA PLANTA PUCALLPA
EMPRESA CONCESIONARIA	INFRAESTRUCTURAS Y ENERGÍAS DEL PERÚ S.A.C.
TECNOLOGÍA	Generación Térmica a Diésel B5/Gas
UBICACIÓN	
Departamento	Ucayali
Provincia	Coronel Portillo
Distrito	Yarinacocha
Altitud	154 msnm
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL	
Potencia Instalada	45,63 MW
Unidades de Generación	Motores - Generador (Sistema Dual)
Fuente de Energía	Diésel B5 / Gas Natural (GN)
Operación	Ciclo Abierto (Simple)
Capacidad de Operación a Plena Carga	Mínimo 5 días
DATOS EQUIPO	
Marca	Caterpillar - Modelo 3516B
Tipo	Motor
Cantidad	25
Potencia Nominal	1,825 MW
Nivel de Tensión	480 V
Sistema	Dual (GN)/Diésel B5-GN
Capacidad del tanque de combustible	1250 galones
Capacidad del radiador	203 galones
Nivel de Ruido	74 dB

Fuente: Supervisión de contratos de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en operación. OSINERGMIN

Figura n.º 26: Grupos Electrógenos CAT instalados (25 de 1,825 MW)



Fuente: Supervisión de contratos de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en operación. OSINERGMIN

2.2.2.6 Aplicaciones

En la generación de energía eléctrica a pequeña escala se emplean alternadores acoplados a motores de combustión interna (que se denominan *grupos electrógenos*), que se utilizan como equipos de emergencia en hospitales, aeropuertos, salas de ordenadores, centrales telefónicas, etc., y entran en servicio en el momento que falta tensión de la red (Fraile, 2008, p. 425).

Los GE producen energía monofásica o trifásica, siendo útil para el uso residencial (monofásico) y en uso industrial, comercial (trifásico). Siendo estos encargados de suministrar energía eléctrica donde no se dispone de una red pública, como también de respaldo para evitar la ausencia de energización y en la necesidad de incrementar a futuro la carga. Los motores de combustión interna por diesel o gasóleo, son los encargados de generar la energía mecánica en los GE.

2.3 Marco conceptual

- **ACB:** Interruptores automáticos en bastidor abierto (Air Circuit Breaker), deben su nombre al hecho de que sus cámaras de corte se encuentran al aire para permitir una mejor disipación de la energía.
- **Aguas abajo:** Es una referencia a tomar desde un punto en un circuito eléctrico hacia la parte inferior del sistema, para conocer la trayectoria del análisis.
- **Aguas arriba:** Es una referencia a tomar desde un punto en un circuito eléctrico hacia la parte superior del sistema, para conocer de donde se origina.
- **Alta tensión:** Se emplea para transportar altas tensiones a grandes distancias, desde las centrales generadoras hasta las subestaciones de transformadores. Estas superan los 25KV (kilovoltios).

- **ANSI:** Instituto Nacional Americano de Estándares (American National Standards Institute), organización encargada de estandarizar productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos.
- **AVR:** Regulador de voltaje (Automatic Voltage Regulation), controla y envía la corriente de excitación del generador, con el fin de mantener constante la tensión de salida del generador, entre determinados rangos de frecuencia y de carga ya preestablecidos.
- **Baja tensión:** Son tensiones inferiores a 1 kV que se reducen todavía más para que se puedan emplear en la industria, el alumbrado público y el hogar.
- **Bus infinito:** Idealización de un sistema de potencia, el cual es tan grande que en él no varían ni el voltaje ni la frecuencia, siendo inmaterial la magnitud de las potencias activas o reactivas que se toman o suministran a él.
- **Campo eléctrico:** Un campo eléctrico es un campo de fuerza creado por la atracción y repulsión de cargas eléctricas (la causa del flujo eléctrico)
- **Campo magnético:** Un campo magnético es un campo de fuerza creado como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas (flujo de la electricidad).
- **CAN:** Controller Area Network, es un protocolo de comunicación en serie desarrollado por Bosch para el intercambio de información entre unidades de control electrónicas del automóvil.
- **Carga:** Es la parte terminal del sistema que convierte la energía eléctrica a otra forma de energía.
- **CNE:** Código Nacional de Electricidad.
- **Corriente alterna:** Es un tipo de corriente eléctrica, en la que la dirección del flujo de electrones va y viene a intervalos regulares o en ciclos. La corriente estándar utilizada en los EE.UU. es de 60 ciclos por segundo (es decir,

una frecuencia de 60 Hz); en Europa y en la mayor parte del mundo es de 50 ciclos por segundo (es decir, una frecuencia de 50 Hz.).

- **Corriente continua:** Es el tipo de corriente producida por generadores tales como pilas, baterías y dinamos. La corriente continua no cambia de valor ni de sentido a lo largo del tiempo, y siempre sigue la misma dirección.
- **Corriente de cortocircuito:** Conexión accidental o intencional, de 2 o más puntos de un circuito que normalmente están a distinto potencial, mediante una resistencia o impedancia de valor relativamente bajo.
- **DIN:** Instituto de Normalización Alemán (Deutsches Institut für Normung), organismo que elabora estándares técnicos para racionalizar y asegurar la calidad de la producción, estableciendo criterios de fabricación comunes internacionalmente.
- **Efecto joule:** Fenómeno irreversible por el cual, si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo.
- **Electroimán:** Es un dispositivo formado por un núcleo de hierro dulce, en el que se ha arrollado, en forma de bobina. Este dispositivo se comporta como un imán mientras se hace circular una corriente por la bobina, cesando el magnetismo al cesar la corriente.
- **Ethernet:** Estándar de redes de área local creadas por la unión de varios ordenadores a través de cable.
- **Factor de potencia:** Es la relación entre las potencias activa y aparente, si la onda de AC es perfectamente senoidal, el factor de potencia y $\cos\phi$ coinciden.

- **Governor:** El gobernador es un sistema de control asociado a la unidad generadora que permite mantener constante la velocidad de la máquina.
- **Hidrogeneradores:** Son generadores hidroeléctricos de configuración vertical u horizontal, adecuados para turbinas Kaplan, Pelton o Francis para alta o baja velocidad, con capacidad de sobrevelocidad.
- **IEC:** Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission), organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.
- **Imán permanente:** Es un material que puede ser imantado y que es capaz de generar un campo magnético persistente. pueden clasificarse en tipo natural, como la magnetita, y en artificiales con materiales ferromagnéticos.
- **Impedancia:** Es la resistencia que opone un componente pasivo (resistencia, bobina, condensador) al paso de la corriente eléctrica alterna. Y es la suma de una componente resistiva y una componente reactiva (debido a las bobinas y los condensadores).
- **Inductancia:** Se define como la oposición de un elemento conductor (una bobina) a cambios en la corriente que circula a través de ella. También se puede definir como la relación que hay entre el flujo magnético (Φ) y la corriente y que fluye a través de una bobina.
- **IP:** Grado de protección de la envolvente contra el acceso a las partes peligrosas, contra la penetración de cuerpos sólidos extraños y contra la penetración de agua a su interior.
- **LCD:** Liquid Cristal Display, Pantalla de Cristal Líquido.
- **LED:** Light Emitting Diode, Diodo Emisor de Luz.

- **Ley de Faraday:** Establece que, si un flujo atraviesa una espira de alambre conductor, se inducirá en ésta un voltaje directamente proporcional a la tasa de cambio del flujo con respecto al tiempo (Ley de inducción electromagnética).
- **Ley de Lenz:** Es el signo menos en la ecuación de Faraday, que el voltaje inducido se opone al cambio que lo produce u origina.
- **Ley de Ohm:** Es el valor que posee una resistencia eléctrica cuando al conectarse a un circuito eléctrico de un voltio de tensión provoca un flujo de corriente de un amperio.
- **MCB:** Interruptores automáticos modulares (Miniature Circuit Breaker), cuyas características de disparo se adecúan a la norma de uso industrial (Anexo B) y de uso residencial (Anexo F).
- **MCCB:** Interruptores automáticos en caja moldeada (Moulded Case Circuit Breaker), equipados con relés termomagnéticos o electrónicos.
- **Media tensión:** Se emplea para transportar tensiones medias desde las subestaciones hasta otras subestaciones o bancos de transformadores de baja tensión, a partir de los cuales se suministra la corriente eléctrica a las ciudades, siendo tensiones mayores de 1 kV y menores de 25 kV.
- **Modbus RTU:** Modbus RTU es un protocolo serie abierto (RS-232 o RS-485) basado en una arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor. El protocolo interconecta los equipos de campo, como son los sensores, los actuadores y los controladores y se usa ampliamente en la automatización de procesos y fabricación.
- **Modbus TCP:** Es un protocolo de comunicación diseñado que permite a equipos industriales tales como PLCs, PC, drivers para motores y otros tipos de dispositivos físicos de entrada/salida, comunicarse sobre una red Ethernet.

- **Motor asíncrono:** También nombrado de inducción es un tipo de motor eléctrico de AC. Está formado por un rotor, que puede ser de jaula de ardilla o bobinado, y un estátor, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120° .
- **Nave industrial:** Es una edificación donde se instala una fábrica, cubriendo necesidades de alojamiento y requerimientos específicos de una industria.
- **NEMA:** Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (National Electrical Manufacturers Association), organismo responsable de estándares industriales comunes usados en el campo de la electricidad, encapsulados de equipamientos eléctricos.
- **OSINERGMIN:** Organismo Supervisor de la Inversión en Energía, supervisa y fiscaliza las actividades desarrolladas por las empresas en los subsectores de electricidad e hidrocarburos.
- **Plano de control:** Es la representación gráfica de los elementos encargados de realizar funciones de maniobras, mediciones, automatismos, con niveles de tensiones igual o menores a la red (también en corriente continua) como: interruptores horarios, contactores, dispositivos electrónicos, relés de protección, pulsadores, selectores, voltímetros, amperímetros, entre otros.
- **Plano de fuerza:** Es la representación gráfica de los elementos encargados de distribuir la corriente del sistema de tensión principal como: interruptores, seccionadores, contactores, conmutadores, conductores eléctricos.
- **Plano unifilar:** Es una representación gráfica integral y sencilla del sistema eléctrico, en la cual se indican las subestaciones, transformadores, tableros, circuitos alimentadores y derivados, así como la interconexión entre ellos.

- **Poder de cierre:** Es la máxima intensidad de cortocircuito, asignada por el fabricante, a la que dicho interruptor es capaz de cerrar a la tensión asignada de empleo en las condiciones de la específicas En los sistemas de CA, este valor máximo está relacionado con el poder de corte y factor K (relación R/Z o R/X).
- **Poder de corte:** Es la máxima intensidad de cortocircuito que un interruptor, puede cortar 2 veces, con un ciclo de operación O-t-CO donde O representa una operación de desconexión automática, t un intervalo de tiempo y CO una operación de conexión seguida de una operación de desconexión automática.
- **Potencia activa:** Representa en realidad a la potencia útil medida en wattios (W), es decir, la energía que realmente se aprovecha cuando se pone a funcionar un equipo eléctrico y realiza un trabajo. Como la energía que entrega el eje de un motor cuando pone en movimiento un mecanismo o maquinaria, la del calor que proporciona la resistencia de un calentador eléctrico, la luz que proporciona una lámpara, entre otras similares.
- **Potencia aparente:** Es la potencia total consumida por la carga. Se obtiene de la suma vectorial de las potencias activa y reactiva. La unidad de medida es el voltioamperio (VA).
- **Potencia inversa:** Normalmente la energía fluye del generador hacia la carga. Sin embargo, en aplicaciones en donde hay varios generadores trabajando en paralelo puede ocurrir que uno de ellos empiece a trabajar no como generador sino como motor.
- **Potencia reactiva:** Es la potencia consumida por los motores, transformadores y todos los dispositivos o aparatos eléctricos que poseen

algún tipo de bobina para crear un campo electromagnético. La unidad de medida es el voltioamperio-reactivo (VAr).

- **Reactancia:** Es la oposición ofrecida al paso de la AC por inductores (bobinas) y condensadores, unidad en ohmios (Ω).
- **Resistividad:** Es el comportamiento de un material frente al paso de corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que es. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor.
- **Resistencia:** Es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de circulación de las cargas eléctricas o electrones.
- **Rigidez dieléctrica:** Rigidez electrostática es el valor límite de la intensidad del campo eléctrico en el cual un material pierde su propiedad aisladora y pasa a ser conductor.
- **RPM:** Revoluciones por minuto, cantidad de vueltas que un cuerpo giratorio completa alrededor de su eje cada minuto.
- **RS-232:** Interfaz que designa una norma para el intercambio de datos en serie (binarios), entre una computadoras y módem (convertidor de señales digitales en analógicas y viceversa), entre otros periféricos para el PC.
- **RS-485:** Interfaz de comunicación ideales para ensamblar los dispositivos que se encuentran a largas distancias y requieren altas velocidades de comunicación a comparación del RS-232.
- **RTU:** Unidad Terminal Remota. Dispositivo electrónico, diseñado para tomar o enviar datos de un proceso por medio de entradas y salidas, analógicos y/o digitales, y enviarlos a un controlador.

- **Seccionador:** Aparato mecánico de maniobra que asegura, en posición de abierto, una distancia de seccionamiento que satisface condiciones especificadas.
- **SEIN:** Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, es el conjunto de líneas de transmisión y subestaciones eléctricas conectadas entre sí, así como sus respectivos centros de despacho de carga, el cual permite la transferencia de energía eléctrica entre los diversos sistemas de generación eléctrica del Perú.
- **Selectividad:** Es la coordinación entre las características de funcionamiento de 2 o más dispositivos de protección contra sobreintensidad tal que, al verificarse una sobreintensidad dentro de los límites establecidos, actúa sólo el dispositivo destinado a funcionar dentro de esos límites y los demás no intervienen.
- **Sincronoscopio:** Es una herramienta utilizada para determinar el ángulo de fase y la sincronización de frecuencia entre las fuentes de alimentación de AC. Esta es una medida básica de seguridad cuando las redes de alimentación de CA o salidas del generador se combinan o unidos entre sí.
- **Sistema Bifásico:** Es aquel que tiene 2 sistemas monofásicos sinusoidales con semejantes valores de amplitud y frecuencia, pero desfasadas entre sí en 90 grados eléctricos.
- **Sistema eléctrico equilibrado:** Un sistema trifásico balanceado es aquel cuyas fuentes se encuentran desfasadas 120 grados entre sí, tienen la misma magnitud y operan a la misma frecuencia angular. Además, sus impedancias de carga y línea son las mismas para todas las fases.
- **Sistema Monofásico:** Es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por una única AC o fase y por lo tanto todo el

voltaje varía de la misma forma. La distribución monofásica de la electricidad se suele usar cuando las cargas son principalmente de iluminación y de calefacción, y para pequeños motores eléctricos.

- **Sistema Trifásico:** Es un sistema de energía eléctrica formado por 3 corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud (y, por consiguiente, valor eficaz) que presentan una cierta diferencia de fase entre ellas a 120° .
- **Sobrecarga:** Se presenta al utilizar un equipo eléctrico que consume más corriente que el valor indicado en el dispositivo de protección.
- **Sobretemperatura:** Es el incremento de temperatura sobre el valor de la temperatura de diseño de un equipo o componente electromecánico.
- **Sobretensión:** Es un aumento repentino y breve del voltaje y/o corriente a una carga conectada. Pueden ser producidas por fenómenos meteorológicos, como los rayos (transitorias) o por instalaciones eléctricas que reciben una elevación del voltaje no esperado, como conmutación de redes eléctricas, desconexión de grandes cargas inductivas, fallos en la red, etc. (permanentes).
- **Subtensión:** Se refiere cuando la tensión cae por debajo de un valor normal, llegando en algunos casos a la interrupción momentánea de la energía (microcortes).
- **Tablero autoportado:** Es un envoltorio metálico (o cuadro eléctrico) donde se encuentran dispositivos de protección y maniobra de los circuitos eléctricos, que está instalado sobre el suelo, diseñados de forma modular para un mejor ordenamiento del sistema a proteger.
- **TCP/IP:** Son las siglas de Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), es un sistema de

protocolos que hacen posibles servicios Telnet, FTP, E-mail, y otros entre ordenadores que no pertenecen a la misma red.

- **Temperatura ambiente:** Temperatura del aire o de otro medio en el lugar en el cual el componente eléctrico debe utilizarse. Estandarizada a 40 °C (104 °F).
- **Turbogeneradores:** Turbina unida a un generador. La turbina es un dispositivo mecánico que transforma una corriente de agua o de gas, a través de unas aspas o álabes, en energía cinética de un eje de giro. Si ese eje giratorio es el de un generador se convierte en energía eléctrica.
- **UL:** Underwriters Laboratories, es una consultoría de seguridad y certificación de la empresa con sede en Northbrook, Illinois. Se estableció en 1894 y ha participado en el análisis de la seguridad de muchas de las nuevas tecnologías, en particular la adopción pública de la electricidad y la elaboración de normas de seguridad para los aparatos y componentes eléctricos.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE TABLEROS ELÉCTRICOS DE SINCRONISMO Y PROTECCIÓN

3.1 Descripción del Proyecto

El proyecto a desarrollarse en el Lote Petrolero 121 ubicado en la Región de Huánuco, tiene la necesidad del suministro de energía para el desarrollo de exploración y explotación. Al no disponer de la energía por medio de un concesionario, la alternativa propuesta es la habilitación de 3 GE de capacidades 261 KVA en BT de 480/277 Vac, solicitando mecanismos que permitan el sincronismo y funcionamiento en paralelo de las unidades.

De las cuales 2 GE trabajarán entre el 30 a 65 % de su capacidad, teniendo al tercero en stand-by. Este tercer GE da la potestad de incrementar la carga cuando sea solicitada, la programación para facilitar el mantenimiento, sin sobrecargar un GE.

Estos mecanismos o tableros eléctricos, deben estar preparados para trabajar bajo las condiciones ambientales del lugar de instalación, manteniendo la preservación de los equipos involucrados para el funcionamiento, la continuidad ininterrumpida del suministro eléctrico y proteger la integridad del personal involucrado.

3.2 Recopilación de Información

Para el desarrollo de los tableros eléctricos, encargados del funcionamiento de sincronismo y protección, se ha revisado y verificado información necesaria de las instalaciones. Siendo estas las de mayor importancia en el diseño.

➤ Ubicación geográfica de la instalación

El proyecto se encuentra a 100 Km de Pucallpa y 40 Km del Río Pachitea. Con una altitud media de 250 msnm.

➤ Condiciones ambientales de la instalación

Los elementos del tablero están sometidos a las condiciones de utilización, las cuales refieren las limitaciones de sus condiciones de trabajo. Estas deben ser evaluadas con respecto a la información del lugar de instalación (Tabla n.º 13).

Tabla n.º 13: Condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa del Lote Petrolero 121

Variable		Valor
TEMPERATURA °C	Máxima	35
	Promedio	27,3
	Mínima	23,2
HUMEDAD RELATIVA %	Máxima	97
	Promedio	84,6
	Mínima	56

Elaboración: Propia 2018

La humedad relativa, es el vapor de agua que se encuentra en el aire de un ambiente, el cual al entrar en contacto con una superficie expuesta como un conductor eléctrico, estructura metálica de un tablero, provocan lentamente la corrosión. La norma (Anexo A), nos indica los valores que deben considerar los fabricantes para el diseño de los elementos (Tabla n.º 14).

Tabla n.º 14: Condiciones ambientales para un tablero, en instalaciones interiores

Humedad relativa	Temperatura ambiente del aire	Altitud
50% (a una temperatura máxima de 40 °C) 90% (a una temperatura máxima de 20 °C)	Temperatura máxima \leq 40 °C	2000 m como máximo
	Media de temperatura máxima durante un período de 24 h \leq 35 °C	
	Temperatura mínima \geq -5 °C	

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 9. ABB

➤ Información técnica del dispositivo de control y protección de los GE

El módulo de sincronismo debe estar preparado para realizar funciones de control como:

- Sincronismo de los GE.
- Arranque automático o programado de los GE.

- Control y balance de carga.

Funciones de protección al motor primo del GE:

- Temperatura alta y baja del refrigerante.
- Presión alta y baja del aceite.
- Sobrevelocidad.
- Sobrearranque.

Funciones de protección al GE:

- Protección de potencia inversa.
- Protección por sobrecorriente.
- Protección por desbalance de cargas.
- Protección por falla de fase y falla a tierra.
- Protección por sobretensión y subtensión.

Funciones de comunicación:

- Protocolo Modbus y puerto Ethernet.

➤ **Información técnica de los GE**

Se mencionan los parámetros eléctricos:

- Potencia del GE: 261 KVA
- Frecuencia: 60 Hz.
- Tensiones de operación: 480/277 Vac
- Tensión de mando del alternador: 24 Vdc.
- Tipo: De campo rotativo, sin escobillas, 4 polos.
- Motor primo: Tecnología DIESEL, enfriado por agua.
- Disposición de baterías.
- Regulador de tensión.

- Gobernador electrónico

➤ **Filosofía de funcionamiento de los GE**

- Poner en marcha a 2 GE, mientras el último se encuentra en Stand-By.
- Los GE en funcionamiento deben funcionar al 30 % y 65 % de su capacidad nominal.
- El control de carga deberá realizarse de modo automática.

➤ **Información técnica de los interruptores**

- Los interruptores serán del tipo caja moldeada, de ejecución extraíble.
- Los interruptores de protección de entrada, tendrán una capacidad de In de 400 A.
- El interruptor de protección de salida, tendrá una capacidad de In de 800 A.
- Los interruptores estarán preparados para interrumpir un cortocircuito simétrico de 20 KA.
- La tensión del sistema de control será de 220 Vac.

➤ **Información técnica del tablero eléctrico**

- La envolvente debe garantizar la protección contra el contacto con partes energizadas y contra el ingreso de sólidos y líquidos como mínimo grado de protección NEMA 3R.
- Deben disponer de bloqueos mecánicos en las puertas, mientras el sistema este energizado.
- Deben disponer de un diseño modular.

- Ventilación por rejillas (natural).

➤ **Condiciones del servicio del tablero eléctrico**

- Las estructuras deben ofrecer máxima seguridad del personal y operadores durante las condiciones de funcionamiento, inspección y mantenimiento.
- Los componentes electromecánicos deben ser capaces de soportar los esfuerzos térmicos y dinámicos resultantes de las corrientes de cortocircuito.
- El ingreso de la alimentación principal será por cables desde la parte inferior de los tableros.

➤ **Sistema de barras de Cobre**

- Las barras de alimentación y salida, deberán conducir el 125 % de la corriente nominal de sus cargas.
- Las barras de principales o de distribución, deben soportar una corriente nominal de 1200 A y para un cortocircuito simétrico de 20 KA.

3.3 Análisis de Recopilación de Información

Esta información técnica debe cumplir con el diseño de la solución, en este caso no se dispone de un plano unifilar para una interpretación más rápida y adecuada del funcionamiento, no siendo un obstáculo para el diseño.

El módulo de sincronización, siendo un equipo de alta tecnología, debido a que gestiona los procesos de condiciones de sincronismo en su PLC. Y funciones de control, protección, e incluso de medición de los parámetros generados, debe ser

3.4 Diseño de Tableros Eléctricos de Sincronismo y Protección

3.4.1 Selección del Módulo de Sincronismo

➤ Módulo DSE 8610

Es un controlador electrónico diseñado para que el operador pueda poner en marcha o desconectar a los GE, de manera manual y automática. Realiza funciones de monitoreo en su operación y condiciones de fallas, habilitando o deshabilitando a los GE ante una demanda de carga o una condición de falla.

Dispone de una pantalla LCD, con LED indicadores y/o una señal sonora, para la visualización de los parámetros generados y la comunicación de alarmas del sistema.

➤ Parámetros de medición

- Voltajes generados: Fase R - Neutro; Fase S - Neutro; Fase T - Neutro.
- Voltajes generados: Fase R – S; Fase S – T; Fase T – R.
- Amperios generados: Fase R, S, T.
- Frecuencia generada: Hz.
- Velocidad del motor: RPM.
- Potencias: kW, kVA, kVAr.
- Energía: kW h, kVA h, kVAr h.
- Presión aceite: PSI.
- Temperatura del motor: °C.
- Nivel de combustible: % y Gal.
- Voltaje de baterías: Vdc.
- Horómetro: Hrs.

- Factor de potencia generado.

➤ **Funciones de control del GE**

- Sincronismo de hasta 32 GE y posibilita la expansión del sistema.
- Arranque manual, automático y programado de los GE.
- Control y balance de carga.

➤ **Funciones de protección del GE**

- Protección de potencia inversa.
- Protección por sobrecorriente.
- Protección por desbalance de cargas.
- Protección por falla de fase y falla a tierra.
- Protección por sobretensión y subtensión.
- Protección por sobrefrecuencia y baja frecuencia.
- Falla del alternador.
- Parada de emergencia.
- Falla en barra de conexión de grupos.

➤ **Funciones de protección del motor primo**

- Temperatura alta y baja del refrigerante.
- Presión alta y baja del aceite.
- Sobrevelocidad.
- Sobrearranque.
- Bajo y alto voltaje de las baterías.
- Pérdidas de señal del sensor de velocidad.

➤ **Programación y comunicación**

- Posibilita la selección de temporizaciones y alarmas, mediante el panel frontal o por su programa DSE Configuration Suite (programa libre).
- Dispone de puertos RS-232, RS-485 y Ethernet, con protocolo de comunicaciones Modbus RTU/TCP.
- Registro de datos por memoria USB, del estado actual e histórico.

3.4.2 Selección de los Interruptores de Protección

➤ **Cálculo de la In de los ITM de llegada**

- **Cálculo de la corriente de la carga**

Los 3 GE son de iguales características, se adjunta en la Tabla n.º 15, la información necesaria para el diseño.

Tabla n.º 15: Información básica del GE, para calcular “I” en un sistema trifásico

Sistema de operación	3 F
Tensión de operación	480 Vac
Potencia aparente en vacío	261 KVA

Elaboración: Propia 2018

Utilizamos la Ecuación n.º 10, para hallar la corriente del GE a proteger, en un sistema trifásico y con potencia en unidades de VA.

$$I = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} * V_{3\phi}} = \frac{261 * 10^3}{\sqrt{3} * 480} = 313,93 \text{ A}$$

- **Cálculo de la In de los ITM**

Reemplazamos en la Ecuación n.º 14, para dimensionar la In.

$$I_n = 1.25 * I = 1.25 * 313,93 = 392,42 \text{ A}$$

Según la información de la ubicación geográfica, los tableros serán instalados a una altitud de 250 msnm y en la Tabla n.º 13, se menciona que la temperatura máxima es de 35° C. Conforme a la Tabla n.º 14, esta no será afectada al derrateo o desclasificación.

Con esta información revisamos en el catálogo en este caso en la marca ABB, un interruptor que cumpla con lo calculado. Observamos en la Figura n.º 28, en los cuadros marcados de color rojo, podemos destacar que el modelo del ITM será Tmax T5 dispone de valores de 400 A y 630 A, pero disponemos de 5 modelos que varían en su Icu.

Inicialmente seleccionaremos un ITM, de modelo Tmax T5, de 400 A, con Icu de 25 KA / 500 Vac.

Figura n.º 28: Interruptores tipo caja moldeable Tmax T5 de 400 A

		Tmax T5				
Corriente permanente asignada	[A]	400/630				
Polos	[Nº]	3/4				
Tensión asignada de servicio, Ue	(AC) 50-60 Hz [V]	690				
	(DC) [V]	750				
Tensión asignada soportada a impulso, Uimp	[kV]	8				
Tensión asignada de aislamiento, Ui	[V]	1000				
Tensión de prueba a frecuencia industrial 1 min.	[V]	3500				
Poder asignado de corte último en cortocircuito, Icu		N	S	H	L	V
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]	70	85	100	200	200
(AC) 50-60 Hz 380/400/415 V	[kA]	36	50	70	120	200
(AC) 50-60 Hz 440 V	[kA]	30	40	65	100	180
(AC) 50-60 Hz 500 V	[kA]	25	30	50	85	150
(AC) 50-60 Hz 690 V	[kA]	20	25	40	70	80

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

➤ **Cálculo del In del ITM de salida**

- **Cálculo de la corriente de la carga**

De igual manera, dimensionaremos el ITM. Adjuntamos la información necesaria para el cálculo en la Tabla n.º 16.

Tabla n.º 16: Información básica de la carga, para calcular “I” en un sistema trifásico

Sistema de operación	3 F
Tensión de operación	480 Vac
Potencia aparente	520 KVA

Elaboración: Propia 2018

Reemplazamos en la Ecuación n.º 10:

$$I = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} * V_{3\phi}} = \frac{520 * 10^3}{\sqrt{3} * 480} = 625,46 \text{ A}$$

- **Cálculo de la In del ITM**

Reemplazando en la Ecuación n.º 14.

$$I_n = 1.25 * I = 781,83 \text{ A}$$

Seleccionaremos un ITM (Figura n.º 29), de modelo Tmax T6, de 800 A, con Icu de 25 KA / 500 Vac. Posteriormente debemos verificar si el valor de Icu, en ambos casos.

Figura n.º 29: Interruptores tipo caja moldeable Tmax T6 de 800 A

		Tmax T6			
Corriente permanente asignada	[A]	630/800/1000			
Polos	[Nº]	3/4			
Tensión asignada de servicio, Ue	(AC) 50-60 Hz [V]	690			
	(DC) [V]	750			
Tensión asignada soportada a impulso, Uimp	[kV]	8			
Tensión asignada de aislamiento, Ui	[V]	1000			
Tensión de prueba a frecuencia industrial 1 min.	[V]	3500			
Poder asignado de corte último en cortocircuito, Icu		N	S	H	L
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]	70	85	100	200
(AC) 50-60 Hz 380/400/415 V	[kA]	36	50	70	100
(AC) 50-60 Hz 440 V	[kA]	30	45	50	80
(AC) 50-60 Hz 500 V	[kA]	25	35	50	65
(AC) 50-60 Hz 690 V	[kA]	20	22	25	30

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

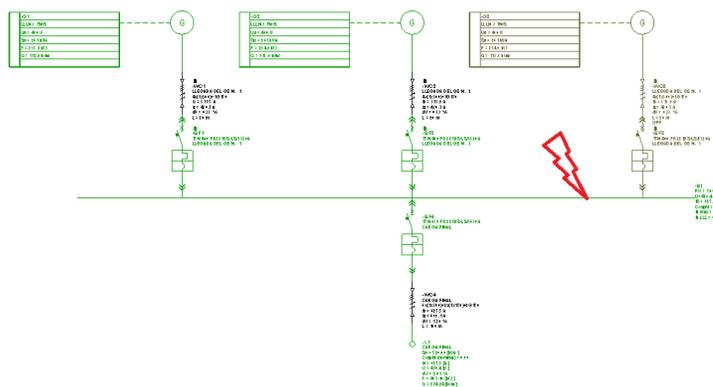
➤ **Cálculo del Icu de los ITM**

Para obtener este valor, utilizaremos el método de las impedancias, referido anteriormente. Los interruptores a seleccionar deben estar preparados para poder aperturar el circuito ante la lcc.

Por lo tanto, en el análisis se considera la falla en la barra común del tablero, como se indica en la Figura n.º 30.

Este defecto de lcc, involucra a todos los elementos aguas arriba del punto de falla; tales como fuentes generados, interruptores, conductores, entre otros.

Figura n.º 30: Referencia de un cortocircuito en la barra común del tablero



Elaboración: Programa de ingeniería DOC 3.5. ABB 2018

- **Información de los 2 GE para el cálculo de la impedancia**

Ya que son de iguales valores en sus magnitudes. En la Tabla n.º 17, colocamos la información proporcionada de 1 GE.

Tabla n.º 17: Información complementaria de los GE, para calcular la impedancia

Tipo de rotor	Polos salientes
Número de polos	4
Reactancia subtransitoria	No indicada

Elaboración: Propia 2018

- **Información de los conductores para el cálculo de la impedancia**

En cálculos anteriores se obtuvo el valor de la corriente que generan los GE, dimensionando con un exceso de 25 %. Esta información será la base para la selección de los conductores del sistema, como cables o barras de cobre.

El conductor de sección 120 mm², tiene la capacidad de 405 A, en la Tabla n.º 18; esta información puede variar dependiendo del fabricante.

Tabla n.º 18: Información técnica de conductor N2XS Y

TABLA DE DATOS TECNICOS N2XS Y 3.6/6 kV

PARAMETROS ELECTRICOS

SECCION NOMINAL	RESISTENCIA DC a 20°C	RESISTENCIA AC		REACTANCIA INDUCTIVA		AMPACIDAD ENTERRADO (20°C)		AMPACIDAD AIRE (30°C)	
		(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
10	1.83	2.333	2.333	0.3257	0.1806	110	95	105	90
16	1.15	1.466	1.466	0.3092	0.168	135	125	140	120
25	0.727	0.927	0.927	0.293	0.1562	180	160	190	160
35	0.524	0.668	0.669	0.2816	0.1484	210	190	230	195
50	0.387	0.494	0.494	0.2672	0.1378	250	220	280	235
70	0.268	0.342	0.342	0.2547	0.1301	305	270	345	290
95	0.193	0.247	0.247	0.2439	0.1239	360	320	420	355
120	0.153	0.196	0.197	0.2351	0.1186	405	365	480	405
150	0.124	0.159	0.16	0.2288	0.1162	440	405	540	460
185	0.0991	0.127	0.129	0.2217	0.1125	495	455	615	525
240	0.0754	0.098	0.099	0.213	0.1085	560	525	715	620
300	0.0601	0.078	0.081	0.2067	0.107	625	590	810	710

(A)= 3 cables unipolares en formación tripolar, tendidos paralelos con una separación de 7 cm.
 (B)= 3 cables unipolares en formación tripolar, tendidos, agrupados en triángulo, en contacto.

Fuente: INDECO. Empresa Nexans

De las cuales se rescata la siguiente información, en la Tabla n.º

19.

Tabla n.º 19: Información de los conductores eléctricos, para calcular la impedancia

Longitud del conductor	20 m
Sección del conductor	120 mm ²
Resistividad	No indicada

Elaboración: Propia 2018

- **Información de los ITM, para el cálculo de la impedancia**

Según las Ecuaciones n.º 22 y 23, adjuntamos la información en la Tabla n.º 20.

Tabla n.º 20: Información de los ITM, para calcular la impedancia

Reactancia del ITM	0,15 mΩ
Resistencia del ITM	0 mΩ

Elaboración: Propia 2018

- **Parámetros de la impedancia de los GE**

- Reactancia del GE: Al no disponer del valor de la reactancia subtransitoria, podemos estimar en la Tabla n.º 8, el valor promedio de 20 % (Figura n.º 31).

Figura n.º 31: Selección del valor X'_d de alternadores de polos salientes

	Reactancia subtransitoria	Reactancia transitoria	Reactancia permanente
Turboalternadores	10-20	15-25	150-230
Alternadores de polos salientes	15-25	25-35	70-120

Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

Reemplazando en la Ecuación n.º 17

$$X_{GS} = X'_d * \frac{V_{GS}^2}{S_{GS}} = 20\% * \frac{480^2}{261 * 10^3} = 0,18 \Omega$$

- Resistencia del GE: En la Ecuación n.º 18, para sistemas de BT. De igual manera utilizamos el promedio.

$$R_{GS} = R_{GS,BT} = (0,15) * X_{GS} = 0,15 * 0,18 = 0,027 \Omega$$

- **Parámetros de la impedancia de los conductores**

- Reactancia del conductor: en base a la Tabla n.º 9, podemos estimar el valor, según el tipo de instalación. Tomando como referencia la indicación que el ingreso de cables será por la parte inferior (Figura n.º 32).

Figura n.º 32: Selección del valor de reactancia en conductores

Tipo de instalación	Juego de barras	Cable trifásico	Cables unipolares separados	Cables unipolares colocados en triángulo	3 cables en línea juntos	3 cables en línea separados «d»: d = 2r d = 4r	
Esquema							
Reactancia unitaria valores extremos en mΩ/m	0,15	0,08	0,15	0,085	0,095	0,145	0,19
Reactancia unitaria valores extremos en mΩ/m	0,12-0,18	0,06-01	0,1-0,2	0,08-0,09	0,09-01	0,14-0,15	0,18-0,20

Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

Reemplazando en la Ecuación n.º 20.

$$X_C = X_{inst} * l = 0,15 * 20 = 3 \text{ m}\Omega = 3 * 10^{-3} \Omega$$

- Resistencia del conductor: Obteniendo el valor de resistividad de la Tabla n.º 10. En la Figura n.º 33, se detalla la selección del valor de resistividad.

Figura n.º 33: Selección del valor de resistividad en conductores

Regla	Resistividad (*)	Valor de la resistividad (Ω mm²/m)	
		Cobre	Aluminio
Corriente máxima de cortocircuito	$\rho_1 = 1,25 \rho_{20}$	0,0225	0,036
Corriente mínima de cortocircuito	$\rho_1 = 1,5 \rho_{20}$	0,027	0,043
Corriente de defecto en los esquemas TN e IT	$\rho_1 = 1,25 \rho_{20}$	0,0225	0,036
Caída de tensión	$\rho_1 = 1,25 \rho_{20}$	0,0225	0,036
Corriente de sobreintensidad	$\rho_1 = 1,5 \rho_{20}$	0,027	0,043

Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

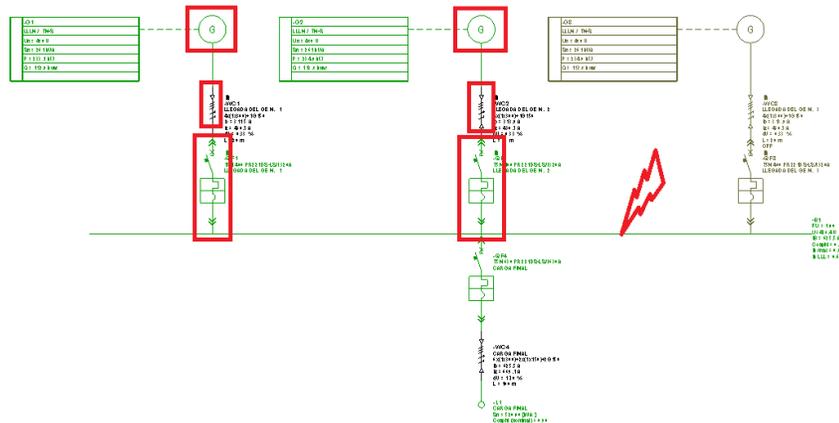
Según la Ecuación n.º 21, reemplazamos los valores obtenidos.

$$R_C = \rho * \frac{l}{s} = 0,0225 * \frac{20}{120} = 0,00375 \Omega$$

- **Cálculo de la impedancia total afectada por cortocircuito**

Recordando que los equipos afectados y que aportan valor a la lcc, son todos los que se encuentran aguas arriba de la referencia. En la Figura n.º 34, están referidas en color rojo.

Figura n.º 34: Selección del valor de resistividad en conductores



Elaboración: Programa de ingeniería DOC 3.5. ABB

La sumatoria de todas las reactancias y resistencias, serán reemplazadas en la Ecuación n.º 28.

Consolidando las reactancias y resistencias, recordando que son 2 unidades idénticas. Se adjunta las siguientes Tablas n.º 21 y 22 respectivamente.

Tabla n.º 21: Sumatoria de reactancias calculadas

Elemento	Cantidad	Reactancias (X)	Subtotal (X)
GE	2	0, 18 Ω	0, 36 Ω
Cable	2	0,003 Ω	0,006 Ω
ITM	2	0,00015 Ω	0,0003 Ω
Total (X)			0,3663 Ω

Elaboración: Propia 2018

Tabla n.º 22: Sumatoria de resistencias calculadas

Elemento	Cantidad	Resistencias (R)	Subtotal (R)
GE	2	0,027 Ω	0,054 Ω
Cable	2	0,00375 Ω	0,0075 Ω
ITM	2	0 Ω	0 Ω
Total (R)			0,0615 Ω

Elaboración: Propia 2018

Ecuación n.º 28:

$$Z_{CC} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} = \sqrt{(0,3663)^2 + (0,0615)^2} = 0,37 \Omega$$

- **Cálculo del $I_{CC,3\phi}$**

Para conocer el valor de $I_{CC,3\phi}$ generado en el punto de análisis, según la Figura n.º 30, reemplazamos el valor obtenido en la Ecuación n.º 28, en la n.º 29.

$$I_{CC,3\phi} = \frac{V}{\sqrt{3} * Z_{CC}} = \frac{480}{\sqrt{3} * 0,37} = 749 \text{ A} = 0,749 \text{ KA}$$

Con esta información podemos seleccionar el Icu en los ITM al nivel de tensión de operación. En la Figura n.º 35, podemos interceptar

la selección anterior en base al In, cual para el nivel de tensión de 500 Vac, en ambos modelos T5 y T6. Tienen un Icu de 25 KA / 500 Vac, siendo el valor mínimo seleccionado.

Figura n.º 35: Interruptores tipo caja moldeable Tmax T5 de 400 A

		Tmax T5					Tmax T6			
Corriente permanente asignada	[A]	400/630					630/800/1000			
Polos	[Nº]	3/4					3/4			
Tensión asignada de servicio, Ue	(AC) 50-60 Hz [V]	690					690			
	(DC)	750					750			
Tensión asignada soportada a impulso, Uimp	[kV]	8					8			
Tensión asignada de aislamiento, Ui	[V]	1000					1000			
Tensión de prueba a frecuencia industrial 1 min.	[V]	3500					3500			
Poder asignado de corte último en cortocircuito, Icu		N	S	H	L	V	N	S	H	L
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]	70	85	100	200	200	70	85	100	200
(AC) 50-60 Hz 380/400/415 V	[kA]	36	50	70	120	200	36	50	70	100
(AC) 50-60 Hz 440 V	[kA]	30	40	65	100	160	30	45	50	80
(AC) 50-60 Hz 500 V	[kA]	25	30	50	85	150	25	35	50	65
(AC) 50-60 Hz 690 V	[kA]	20	25	40	70	80	20	22	25	30
(DC) 250 V - 2 polos en serie	[kA]	36	50	70	100	150	36	50	70	100
(DC) 250 V - 3 polos en serie	[kA]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(DC) 500 V - 2 polos en serie	[kA]	25	36	50	70	100	20	35	50	65
(DC) 500 V - 3 polos en serie	[kA]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(DC) 750 V - 3 polos en serie	[kA]	16	25	36	50	70	16	20	36	50

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

➤ Cálculo del Icm de los ITM

Los ITM seleccionados ante su Icu, están preparados para interrumpir la Icc simétrico; quedando a calcular el último caso extremo de la Icc, referido en la Figura n.º 21. Calculando en la Ecuación n.º 30.

$$i_p = K * \sqrt{2} * I_{CC,3\phi} = K * \sqrt{2} * 0,749 \text{ KA}$$

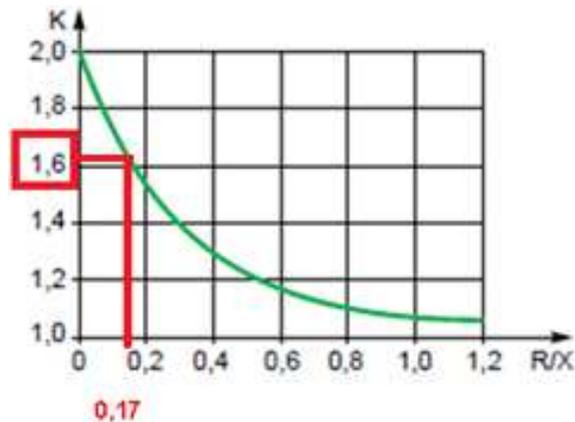
El valor de la constante K (Figura n.º 20), lo obtenemos de la curva en función de R/X.

El valor de R/X se obtiene de la división de los valores, de las tablas n.º 21 y 22.

$$\frac{R}{T} = \frac{\text{Resistencia total}}{\text{Reactancia total}} = \frac{0,0615 \Omega}{0,3663 \Omega} = 0,17$$

Interceptamos el valor R/X en la Figura n.º 20. Obteniendo un valor aproximado de $K = 1,6$; ver Figura n.º 36.

Figura n.º 36: Intercepción del R/X para el valor K



Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

Como también podemos calcular el valor K, en la Ecuación n.º 31.

$$K = 1,02 + 0,98 * e^{\frac{-3 * R}{X}} = 1,02 + 0,98 * e^{-3 * 0,17} = 1,61$$

Concluimos la Ecuación n.º 30, para hallar el valor pico de la componente asimétrica.

$$i_p = K * \sqrt{2} * I_{CC,3\phi} = 1,61 * \sqrt{2} * 0,749 = 1,71 \text{ KA}$$

Verificamos el valor de diseño de los ITM T5 y T6, confirmando que los interruptores disponen de un $I_{cm} = 52,5 \text{ KA} / 500 \text{ Vac}$, siendo superior al calculado. En la Figura n.º 37.

Figura n.º 37: Interruptores tipo caja moldeable Tmax T5 de 400 A

		Tmax T5					Tmax T6			
Corriente permanente asignada	[A]	400/630					630/800/1000			
Polos	[Nº]	3/4					3/4			
Tensión asignada de servicio, Ue	(AC) 50-60 Hz [V]	690					690			
	(DC) [V]	750					750			
Tensión asignada soportada a impulso, Uimp	[kV]	8					8			
Tensión asignada de aislamiento, Ui	[V]	1000					1000			
Tensión de prueba a frecuencia industrial 1 min.	[V]	3500					3500			
Poder asignado de corte último en cortocircuito, Icu	[kA]	N	S	H	L	V	N	S	H	L
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]	70	85	100	200	200	70	85	100	200
(AC) 50-60 Hz 380/400/415 V	[kA]	36	50	70	120	200	36	50	70	100
(AC) 50-60 Hz 440 V	[kA]	30	40	65	100	180	30	45	50	80
(AC) 50-60 Hz 500 V	[kA]	25	30	50	85	150	25	35	50	65
(AC) 50-60 Hz 690 V	[kA]	20	25	40	70	80	20	22	25	30
(DC) 250 V - 2 polos en serie	[kA]	36	50	70	100	150	36	50	70	100
(DC) 250 V - 3 polos en serie	[kA]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(DC) 500 V - 2 polos en serie	[kA]	25	36	50	70	100	20	35	50	65
(DC) 500 V - 3 polos en serie	[kA]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(DC) 750 V - 3 polos en serie	[kA]	16	25	36	50	70	16	20	36	50
Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito, Ics	[%Icu]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[%Icu]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%
(AC) 50-60 Hz 380/400/415 V	[%Icu]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%
(AC) 50-60 Hz 440 V	[%Icu]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%
(AC) 50-60 Hz 500 V	[%Icu]	100%	100%	100%	100%	100% ⁽²⁾	100%	100%	100%	75%
(AC) 50-60 Hz 690 V	[%Icu]	100%	100%	100% ⁽¹⁾	100% ⁽¹⁾	100% ⁽²⁾	75%	75%	75%	75%
Poder asignado de cierre en cortocircuito, Icm	[kA]	154	187	220	440	660	154	187	220	440
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]	75,6	105	154	264	440	75,6	105	154	220
(AC) 50-60 Hz 440 V	[kA]	63	84	143	220	396	63	94,5	105	176
(AC) 50-60 Hz 500 V	[kA]	52,5	63	105	187	330	52,5	73,5	105	143
(AC) 50-60 Hz 690 V	[kA]	40	52,5	84	154	176	40	46	52,5	63

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

Confirmando la selección de los siguientes ITM, ante los parámetros In, Icu, Icm. Como observación en la Figura n.º 37: el poder asignado de corte de servicio en cortocircuito (Ics), esta información está basada en el valor del Icu, mediante pruebas eléctricas dependiendo del fabricante. El cual esta expresada en %. El Icu, ante una falla igual o superior al valor asignado de Icu, no garantiza la continuidad del servicio. El Ics, si garantiza la continuidad del servicio al % indicado.

En resumen, en la siguiente Tabla n.º 23, se detallan los ITM seleccionados.

Tabla n.º 23: Selección de los ITM para los tableros eléctricos

Equipo de protección	In	Icu	Modelo	Cantidad
ITM de protección de los GE	400 A	25 KA / 500 Vac	T5N 400 PR221DS-LS/I, 3p F F	3
ITM de protección de la Carga	800 A	25 KA / 500 Vac	T6N 800 PR221DS-LS/I,3p F F	1

Elaboración: Propia 2018

3.4.2.1 Selección de Accesorios

Los interruptores tipo extraíbles, son estructuralmente interruptores de ejecución fija, complementadas mecánicamente para su extracción inmediata, sin desconectarlos de manera directa de los conductores de energización. Este listado se aplica para los modelos Tmax T5 y T6.

➤ Accesorios Principales Para la Conversión a Ejecución Extraíble

- **Interruptores versión fija:**

Ya definidos anteriormente, estos serán complementados mecánicamente, para su conversión.

- **Parte fija**

Mecanismo encargado de posicionar al ITM, para su conversión de manera extraíble o enchufable (Figura n.º 38). Estos consideran a los terminales de conexión (Tabla n.º 7), con las barras conductoras, de ingreso y salida. Considera una manivela como mecanismo de extracción, está sola se puede introducir cuando el ITM está en posición abierto.

Figura n.º 38: Parte fija para Tmax



Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

En la Figura n.º 39, observamos la selección de las partes fijas, para los ITM modelos T5 y T6 de 3 polos.

Figura n.º 39: Selección de parte fija para Tmax T5 y T6

HR = Terminales posteriores de pletina horizontales

	1SDA..... R1	
	3 polos	4 polos
T4 W FP HR	054745	054748
T5 400 W FP HR	054757	054761
T5 630 W FP HR ⁽¹⁾	054770	054774
T6 630/800 W FP VR	060385	060388

⁽¹⁾ Para el interruptor en versión enchufable In máx = 570 A

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

- **Kit de transformación para parte fija a extraíble**

Encargado de desconectar al ITM de la parte fija, mediante unas guías laterales (Figura n.º 40). Esta es accionada por una manivela, que permite insertar o extraerlo; con la puerta cerrada.

Figura n.º 40: Kit de transformación para Tmax



Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

En la Figura n.º 41, observamos la selección de los kits de transformación, para los ITM modelos T5 y T6 de 3 polos.

Figura n.º 41: Selección del kit de transformación para Tmax T5 y T6

Kit de transformación de fijo en parte móvil de extraíble T4...T7

Tipo	1SDA.....R1	
	3 polos	4 polos
Kit W MP T4	054841	054842
Kit W MP T5 400	054845	054846
Kit W MP T5 630 ^(*)	054849	054850
Kit W MP T6 630/800	060390	060391
Kit W MP T7-T7M	062162	062163

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

- **Mando motor de energía acumulada “MOE”**

Posibilita accionar la apertura y cierre del ITM, por medio de automatismo. El modelo “MOE”, durante la apertura del ITM, este se carga automáticamente, cerrando el ITM. Es necesario disponer de este equipo (Figura n.º 42) para poder realizar la maniobra de introducción y extracción del ITM., también se puede disponer de un accesorio de montaje frontal como opción al mando motor.

Figura n.º 42: Mando motor de energía acumulada Tmax



Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

En la Figura n.º 43, observamos la selección del mando motor, para los ITM modelos T5 y T6.

Figura n.º 43: Selección de mando motor de energía acumulada Tmax

Mando motor de energía acumulada - MOE		1SDA....R1	
Tipo	T4-T5	T6	
MOE 24 V DC	054894	060395	
MOE 48...60 V DC	054895	060396	
MOE 110...125 V AC/DC	054896	060397	
MOE 220...250 V AC/DC	054897	060398	
MOE 380 V AC	054898	060399	

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

➤ **Accesorios Eléctricos Complementarios para la Ejecución Extraíble**

Estos elementos son de diseño precableado para la ejecución extraíble; en la versión fija se instalan directamente en el interior del ITM, ya que estos no serán removidos.

- **Contactos auxiliares “AUX”**

Estos elementos (Figura n.º 44) permiten llevar información sobre el estado de funcionamiento del ITM. Para los Tmax T5 y T6 son los modelos “AUX”.

Figura n.º 44: Contactos auxiliares precableados para Tmax T5 y T6



Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

En la Figura n.º 45, seleccionamos a los contactos auxiliares, para los ITM modelos T5 y T6.

Figura n.º 45: Selección de contactos auxiliares precableados para Tmax T5 y T6

Señalizaciones eléctricas

Contactos auxiliares - AUX

Tipo	1SDA.....R1		
	T1-T2-T3	T4-T5-T6	T7
versión no cableada¹⁾			
AUX 1Q 1SY 250 V AC/DC	051368	051368	
AUX 3Q 1SY 250 V AC/DC	051369	051369	
AUX 1Q 1SY 400 V AC			062104
AUX 2Q 400 V AC			062102
AUX 1Q 1SY 24 V DC		068797	062103
AUX 3Q 1SY 24 V DC	054914	054914	
AUX 2Q 24 V DC			062101
versión cableada¹⁾ con cables de 1 metro de longitud			
AUX-C 1Q 1SY 250 V AC/DC	051370	054910	
AUX-C 3Q 1SY 250 V AC/DC	051371	054911	
AUX-C 1Q 1SY 400 V AC		054912	
AUX-C 2Q 400 V AC		054913	
AUX-C 1Q 1SY 24 V DC		066075	
AUX-C 3Q 1SY 24 V DC	055361	054915	

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

- **Relé de mínima tensión “UVR”**

Este dispositivo de seguridad (Figura n.º 46), abre al interruptor por disminución en los valores de tensión, inferiores al 70 % de su tensión de nominal. Después de la apertura, el relé permitirá cerrar el ITM, si supera el 85 % de la tensión nominal.

Figura n.º 46: Relé de mínima tensión para Tmax



Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

En la Figura n.º 47, seleccionamos para los modelos T5 y T6.

Figura n.º 47: Selección de relé de mínima tensión para Tmax T5 y T6

Relé de mínima tensión - UVR		1SDA.....R1		
Tipo	T1-T2-T3	T4-T5-T6	T7-T7M	
versión no cableada				
UVR 24 V AC / DC				062087
UVR 24...30 V AC / DC	051345	054880		
UVR 30 V AC / DC				062088
UVR 48 V AC / DC	051346	054881		062089
UVR 60 V AC/DC	052333	054882		062090
UVR 110...120 V AC / DC				062091
UVR 110...127 V AC - 110...125 V DC	051347	054883		
UVR 120...127 V AC / DC				063551
UVR 220...240 V AC / DC				063552
UVR 220...240 V AC - 220...250 V DC	051348	054884		
UVR 240...250 V AC / DC				062092
UVR 380...400 V AC				062093
UVR 380...440 V AC	051349	054885		
UVR 415...440 V AC				062094
UVR 480...525 V AC	051350	054886		
versión cableada⁽¹⁾				
UVR-C 24...30 V AC / DC	051351	054887		
UVR-C 48 V AC / DC	051352	054888		
UVR-C 60 V AC/DC	052335	054889		
UVR-C 110...127 V AC - 110...125 V DC	051353	054890		
UVR-C 220...240 V AC - 220...250 V DC	051354	054891		
UVR-C 380...440 V AC	051355	054892		
UVR-C 480...525 V AC	051356	054893		

Nota: Para T7-T7M en ejecución extraíble, son necesarios los bloques de contactos deslizantes para las partes fija y móvil. Ver páginas 3/4 y 7/43.
⁽¹⁾ Obligatorios con T4-T5-T6 en versión extraíble o motorizada.

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

➤ **Accesorios Mecánicos Complementarios para la Ejecución Extraíble**

- **Adaptadores “ADP”**

Estos elementos (Figura n.º 48), permiten la conexión precableada de los accesorios eléctricos como relés de apertura, cierre, mando motor, contactos auxiliares.

Figura n.º 48: Adaptadores para Tmax



Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

En la Figura n.º 49, se detallan los modelos de pines a considerar, según los accesorios seleccionados anteriormente.

Figura n.º 49: Selección de adaptadores para accesorios del Tmax

Adaptadores ADP para accesorios cableados de T4, T5 y T6	5 pin	6 pin	10 pin	12 pin
lado izquierdo				
SOR	■			
UVR	■			
SA para diferencial RC222	■			
SOR o UVR + SA para diferencial RC222	■			
MOE (MOE-E)			■	
MOE (MOE-E) + SOR o UVR			■	
MOE (MOE-E) + SOR o UVR + SA para diferencial RC222			■	
AUE			■	
AUE + SOR o UVR			■	
AUE + SOR o UVR + SA para diferencial RC222			■	
lado derecho				
AUX 1Q + 1SY 1 contacto conmutado abierto/cerrado + 1 contacto conmutado relé disparado		■		
AUX 2Q 2 contactos conmutados abierto/cerrado		■		
AUX 3Q + 1SY 3 contactos conmutados abierto/cerrado + 1 contacto conmutado relé disparado				■

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

En la Figura n.º 50, observamos los códigos de selección de los adaptadores.

Figura n.º 50: Selección de adaptadores para Tmax

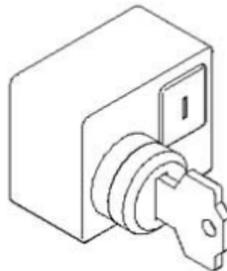
Adaptadores - ADP	
Tipo	1SDA.....R1
	T4-T5-T6
ADP - Adaptador 5pin	055173
ADP - Adaptador 6pin	054922
ADP - Adaptador 12pin	054923
ADP - Adaptador 10pin	054924

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

- **Bloqueo a llave para mando motor “MOL-S”**

Equipo encargado de bloquear por llave al ITM en posición abierto (Figura n.º 51). Inhabilitando cualquier mando local o a distancia.

Figura n.º 51: Bloqueo a llave para mando motor de Tmax



Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

En la Figura n.º 52, seleccionamos los códigos de producto de los bloqueos de mando motor.

Figura n.º 52: Selección de bloqueo a llave para mando motor de Tmax

Bloqueo a llave para mando motor - MOL		1SDA.....R1	
Tipo	T4-T5	T6	
MOL-D - llave diferente	054904	060611	
MOL-S - llave igual para grupos de interruptores (N. 20005)	054905	060612	
MOL-S - llave igual para grupos de interruptores (N. 20006)	054906	060613	
MOL-S - llave igual para grupos de interruptores (N. 20007)	054907	060614	
MOL-S - llave igual para grupos de interruptores (N. 20008)	054908	060615	
MOL-M - bloqueo sólo maniobra manual con llave igual	054909	054909	

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

Se consolida la información de selección para la conversión en versión extraíble, en las siguientes Tablas n.º 24 y 25,

Tabla n.º 24: Equipamiento y accesorios para la conversión del ITM fijo a versión extraíble para Tmax T5

Equipos	Modelo	Código	Cantidad
Interruptor fijo	T5N 400 PR221DS-LS/I, 3p F F	1SDA054317R1	3
Parte fija	T5 400 W FP HR	1SDA054757R1	3
Kit de transformación para parte fija a extraíble	Kit W MP T5 400	1SDA054845R1	3
Mando motor de energía acumulada - MOE	MOE 220...250 V AC/DC	1SDA054897R1	3
Contactos auxiliares - AUX (Versión cableada)	AUX-C 3Q 1SY 24 V DC	1SDA054915R1	3
Relé de mínima tensión - UVR	UVR-C 220...240 V AC - 220...250 V DC	1SDA054891R1	3
Adaptadores	ADP - Adaptador 5pin	1SDA055173R1	3
	ADP - Adaptador 10pin	1SDA054924R1	3
	ADP - Adaptador 12pin	1SDA054923R1	3
Bloqueo a llave para mando motor	MOL-S	1SDA054905R1	3

Elaboración: Propia 2018

Tabla n.º 25: Equipamiento y accesorios para la conversión del ITM fijo a versión extraíble para Tmax T6

Equipos	Modelo	Código	Cantidad
Interruptor fijo	T6N 800 PR221DS-LS/1,3p F F	1SDA060268R1	1
Parte fija	T6 630/800 W FP HR	1SDA060385R1	1
Kit de transformación para parte fija a extraíble	Kit W MP T6 630/800	1SDA060390R1	1
Mando motor de energía acumulada - MOE	MOE 220...250 V AC/DC	1SDA060398R1	1
Contactos auxiliares - AUX (Versión cableada)	AUX-C 3Q 1SY 24 V DC	1SDA054915R1	1
Relé de mínima tensión - UVR	UVR-C 220...240 V AC - 220...250 V DC	1SDA054891R1	1
Adaptadores	ADP - Adaptador 5pin	1SDA055173R1	1
	ADP - Adaptador 10pin	1SDA054924R1	1
	ADP - Adaptador 12pin	1SDA054923R1	1
Bloqueo a llave para mando motor	MOL-S	1SDA060612R1	1

Elaboración: Propia 2018

3.4.3 Diseño de los Tableros Eléctricos

El diseño de los tableros, es consecuente del análisis del lugar de establecimiento del proyecto y sus condiciones ambientales, complementada con la selección de los equipos de control y protección; estas últimas definen el dimensionamiento del diseño.

La siguiente información aportara en consideración el diseño de las estructuras, para el

➤ Características mecánicas

- **Diseño Modular**

Preparado para su fácil desmontaje y posibilidades de extenderse lateralmente a futuros incrementos.

- **Compartimiento Independiente**

- **Protección ante los Contactos Directos a las Partes Energizadas**

Los mandiles de protección, son los encargados de limitar el acceso a las partes energizadas de los ITM, dejando permisible el control que puedan conllevar los ITM, entre otros.

- **Grado de Protección o de Hermeticidad NEMA 3R**

El grado de protección solicitado, bajo la norma (Anexo G), mencionada no puede ser comparada mediante tablas; con el grado de protección IP (Tabla n.º 1). Debido a que las pruebas y solicitudes de diseño son mas exigentes. Pero pueden ser interpretadas por el fabricante, para una fabricación equivalente.

En la siguiente Tabla n.º 26, se describe estos criterios, como también proporciona información comparativa con otra norma (Anexo H) de calificaciones similares, ya que esta basada en las normas NEMA.

Esta última, se diferencia con las anteriores; en que éstas pueden ser fabricadas bajo interpretaciones únicas y no se les exige la prueba de terceros para la certificación del elemento.

Tabla n.º 26: Tabla comparativa de grados de protección NEMA 250 (lado izquierdo) y UL 50, 50E (lado derecho)

	NEMA		Calificación del gabinete	UL	
	Sólidos	Líquidos		Sólidos	Líquidos
INTERIORES	Proporciona un grado de protección contra el acceso a piezas peligrosas y contra el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae)	Sin protección	Tipo 1	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor) y suciedad que cae	Sin protección
	Proporciona un grado de protección contra el acceso a piezas peligrosas y contra el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae)	Proporciona un grado de protección contra el ingreso de agua (goteo y salpicaduras ligeras)	Tipo 2	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor) y suciedad que cae	Proporciona un grado de protección contra goteos y salpicaduras ligeras de líquidos no corrosivos
	Proporciona un grado de protección contra el acceso a piezas peligrosas y contra el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae y asentamiento de polvo, pelusa, fibras y contaminantes aéreos)	Proporciona un grado de protección contra el ingreso de agua (goteo y salpicaduras ligeras)	Tipo 5	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor) y suciedad que cae, asentamiento de polvo, pelusa, fibras y contaminantes en el aire	Proporciona un grado de protección contra goteo y salpicaduras ligeras de líquidos no corrosivos
	Proporciona un grado de protección contra el acceso a piezas peligrosas y el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae y polvo, pelusa, fibras y contaminantes circulantes)	Proporciona protección contra el ingreso de agua (goteo y salpicaduras ligeras) y salpicaduras ligeras o filtración de aceite y refrigerantes no corrosivos	Tipo 12	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor) y suciedad que cae, polvo, pelusa, fibras y contaminantes circulantes	Proporciona un grado de protección contra goteo y salpicaduras ligeras de líquidos no corrosivos; y contra salpicaduras ligeras y filtración de aceite y refrigerantes no corrosivos.
	Proporciona un grado de protección contra el acceso a piezas peligrosas y el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae y polvo, pelusa, fibras y contaminantes circulantes)	Proporciona protección contra el ingreso de agua (goteo o salpicaduras ligeras) y rocío, salpicaduras y filtración de aceite y refrigerantes no corrosivos	Tipo 13	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor) y la caída de suciedad, polvo, pelusa, fibras y contaminantes circulantes	Proporciona un grado de protección contra rocío, salpicaduras y filtración de agua, aceite y refrigerantes no corrosivos INTERIORES O AL AIRE LIBRE
	Proporciona un grado de protección contra el acceso a piezas peligrosas y el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae y polvo soplado por el viento)	Proporciona un grado de protección contra el ingreso de agua (lluvia, aguanieve o nieve llevada por el viento)	Tipo 3	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor), suciedad que cae y polvo soplado por el viento	Proporciona un grado de protección contra lluvia, aguanieve y nieve
INTERIORES O AL AIRE LIBRE	Proporciona un grado de protección contra el acceso a piezas peligrosas y el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae)	Proporciona un grado de protección contra el ingreso de agua (caída de lluvia, aguanieve o nieve)	Tipo 3R	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor) y suciedad que cae	Proporciona un grado de protección contra lluvia, aguanieve y nieve
	Proporciona un grado de protección contra el acceso a piezas peligrosas y el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae y polvo soplado por el viento)	Proporciona un grado de protección contra el ingreso de agua (lluvia, aguanieve, salpicadura de agua y agua dirigida con manguera)	Tipo 4	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor), suciedad que cae y polvo soplado por el viento	Proporciona un grado de protección contra lluvia, aguanieve, nieve, salpicadura de agua y agua dirigida con manguera
	Proporciona un grado de protección contra el acceso a piezas peligrosas y el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae y polvo soplado por el viento)	Proporciona un grado de protección contra el ingreso de agua (lluvia, aguanieve, nieve, salpicadura de agua, y agua dirigida con manguera) y proporciona un mayor nivel de protección contra la corrosión	Tipo 4X	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor), suciedad que cae y polvo soplado por el viento	Proporciona un grado de protección contra lluvia, aguanieve, nieve, salpicadura de agua, agua dirigida con manguera y corrosión
	Proporciona un grado de protección contra el acceso a piezas peligrosas y el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae)	Proporciona un grado de protección contra el ingreso del agua (dirigido con manguera y la inmersión temporal esporádica a profundidad limitada)	Tipo 6	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor) y suciedad que cae	Proporciona un grado de protección contra el ingreso del agua (dirigido con manguera y la inmersión temporal esporádica a profundidad limitada)
	Proporciona un grado de protección contra el acceso a piezas peligrosas y el ingreso de objetos extraños sólidos (suciedad que cae)	Proporciona un grado de protección contra el ingreso del agua (dirigido con manguera y la inmersión prolongada a una profundidad limitada)	Tipo 6P	Proporciona un grado de protección contra el contacto incidental (menor) y suciedad que cae	Proporciona un grado de protección contra lluvia, aguanieve, nieve, agua dirigida con manguera y la inmersión prolongada a profundidad limitada

Fuente: Normas globales para gabinetes en la industria eléctrica. Hoffman

A interpretación de la norma (Anexo G) con respecto a la Tabla n.º 1, el grado equivalente considerado es el IP 55.

Según el análisis del proyecto, la instalación se encuentra expuesta a la intemperie, el diseño del tablero debe contemplar un techo

inclinado en su fabricación. En la Figura n.º 53, se señala la descripción del grado IP 55.

Figura n.º 53: Designación del grado IP 55

Primer número		Segundo número	
IP	Prueba IP	IP	Prueba IP
0	 Sin protección	0	 Sin protección
1	 Protegido contra objetos sólidos de hasta 50 mm, p.ej. toque accidental con las manos	1	 Protegido contra gotas de agua que caen verticalmente, p.ej. condensación
2	 Protegido contra objetos sólidos de hasta 12 mm, p.ej. dedos	2	 Protegido contra el rocío directo de agua hasta 15° de la vertical
3	 Protegido contra objetos sólidos de más de 2.5 mm, p.ej. herramientas y alambres	3	 Protegido contra el rocío a 60° de la vertical
4	 Protegido contra objetos sólidos de más de 1 mm	4	 Protegido contra el rocío de agua desde todas las direcciones (se permite un ingreso limitado)
5	 Protegido contra el polvo (ingreso limitado, sin acumulación dañina)	5	 Protegido contra chorros a baja presión de agua desde todas las direcciones (se permite un ingreso limitado)
6	 Totalmente protegido contra el polvo	6	 Protegido contra chorros fuertes de agua

Fuente: Normas globales para gabinetes en la industria eléctrica. Hoffman

- **Estructura Protegida Externamente con Pintura Anticorrosiva y No inflamables**

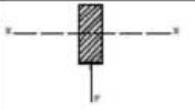
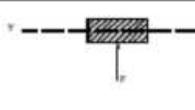
La Pintura en Polvo es una mezcla homogénea de cargas minerales, pigmentos y resinas en forma sólida, en forma de partículas finas, que se aplica con un equipamiento especial-pistola electrostática para polvo-en el que se mezcla con aire y se carga eléctricamente. Cuando la pintura se funde los componentes químicos, en este caso las resinas, reaccionan entre si formando una película. Recordando que las

pinturas convencionales, dependen de los derivados del petróleo, dando posibilidades a la propagación del fuego, frente al ambiente expuesto.

➤ **Barras Conductoras de Cobre**

Siendo solicitadas con el sobredimensionamiento del 25 %. Este porcentaje adicional para “I” de la carga ya fue calculado anteriormente para la selección de los ITM, se tendrá en cuenta para la selección, mediante la siguiente Tabla n.º 27, establecida bajo la Norma (Anexo I).

Tabla n.º 27: Capacidad amperimétrica de barrajes rectangulares de cobre para tableros eléctricos, norma DIN 46433

ANCHO X ESPESOR	AREA mm ²	PESO kg/m	CORRIENTE ALTERNA 60Hz				CARACTERISTICAS DEL ELEMENTO			
			BARRAS							
			PINTADA		DESNUDA		I _x cm ⁴	W _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³
			1 I	2 II	1 I	2 II				
12 x 2	23,5	0,209	123	202	108	182	0,0288	0,0480	0,000800	0,00800
15 x 2	29,5	0,262	148	240	128	212	0,0563	0,0750	0,00100	0,00100
15 x 3	44,5	0,396	187	316	162	282	0,0844	0,113	0,00388	0,0225
20 x 2	39,5	0,351	189	302	162	264	0,133	0,133	0,00133	0,0133
20 x 3	59,5	0,529	237	394	204	348	0,200	0,200	0,00450	0,0300
20 x 5	99,1	0,882	319	560	274	500	0,333	0,333	0,0208	0,0833
20 x 10	199	1,77	497	924	427	825	0,667	0,667	0,167	0,333
25 x 3	74,5	0,663	287	470	245	412	0,391	0,313	0,00563	0,0375
25 x 5	124	1,11	384	662	327	586	0,651	0,521	0,0260	0,104
30 x 3	89,5	0,796	337	544	285	476	0,675	0,450	0,00675	0,0450
30 x 5	149	1,33	447	760	379	672	1,13	0,750	0,0313	0,125
30 x 10	299	2,66	676	1200	573	1060	2,25	1,50	0,250	0,500
40 x 3	119	1,06	435	692	366	600	1,60	0,800	0,00900	0,0600
40 x 5	199	1,77	573	952	482	836	2,67	1,33	0,0417	0,167
40 x 10	399	3,55	850	1470	715	1290	5,33	2,67	0,333	0,667
50 x 5	249	2,22	697	1140	583	994	5,21	2,08	0,0521	0,208
50 x 10	499	4,44	1020	1720	852	1510	10,4	4,17	0,417	0,833
60 x 5	299	2,66	826	1330	688	1150	9,00	3,00	0,0625	0,250
60 x 10	599	5,33	1180	1960	985	1720	18,00	6,00	0,500	1,00
80 x 5	399	3,55	1070	1680	885	1450	21,3	5,33	0,0833	0,33
80 x 10	799	7,11	1500	2410	1240	2110	42,7	10,7	0,667	1,33
100 x 5	499	4,44	1300	2010	1080	1730	41,7	8,33	0,104	0,417
100 x 10	999	8,89	1810	2850	1490	2480	83,3	16,66	0,833	1,67
120 x 10	1200	10,7	2110	3280	1740	2860	144	23,9	1,00	2,00
160 x 10	1600	14,2	2700	4130	2220	3590	341	42,7	1,33	2,67
200 x 10	2000	17,8	3290	4970	2690	4310	667	66,7	1,67	3,33

Fuente: CIPERMI S.A.C.

- **Dimensiones de las Barras en la Llegada a los GE**

Según la Tabla n.º 23, la protección asignada del ITM, es el modelo Tmax T5 es 400 A; considerando protección de pintura; la barra sería de dimensión 30x5 mm², por fase.

Esta barra será seleccionada (Figura n.º 54), para recibir a los cables de llegada de los GE y la conexión a la barra principal.

Figura n.º 54: Selección de la barra de conexión con los GE

ANCHO X ESPESOR	AREA mm ²	PESO kg/m	CORRIENTE ALTERNA 60Hz BARRAS			
			PINTADA		DESNUDA	
			1 I	2 II	1 I	2 II
12 x 2	23,5	0,209	123	202	108	182
15 x 2	29,5	0,262	148	240	128	212
15 x 3	44,5	0,396	187	316	162	282
20 x 2	39,5	0,351	189	302	162	264
20 x 3	59,5	0,529	237	394	204	348
20 x 5	99,1	0,882	319	560	274	500
20 x 10	199	1,77	497	924	427	825
25 x 3	74,5	0,663	287	470	245	412
25 x 5	124	1,11	384	662	327	586
30 x 3	89,5	0,796	337	544	285	476
30 x 5	149	1,33	447	760	379	672
30 x 10	299	2,66	676	1200	573	1060
40 x 3	119	1,06	435	692	366	600

Fuente: CIPERMI S.A.C.

- **Dimensión de Barra en la Salida a la Carga**

Según la Tabla n.º 23, la protección asignada del ITM, es el modelo Tmax T6 es 800 A; considerando protección de pintura; la barra sería de dimensión 40x10 mm², por fase. Indicada en la Figura n.º 55.

Figura n.º 55: Selección de la barra de conexión con a la carga

ANCHO X ESPESOR	AREA mm ²	PESO kg/m	CORRIENTE ALTERNA 60Hz BARRAS			
			PINTADA		DESNUDA	
			1	2	1	2
			I	II	I	II
12 x 2	23,5	0,209	123	202	108	182
15 x 2	29,5	0,262	148	240	128	212
15 x 3	44,5	0,396	187	316	162	282
20 x 2	39,5	0,351	189	302	162	264
20 x 3	59,5	0,529	237	394	204	348
20 x 5	99,1	0,882	319	560	274	500
20 x 10	199	1,77	497	924	427	825
25 x 3	74,5	0,663	287	470	245	412
25 x 5	124	1,11	384	662	327	586
30 x 3	89,5	0,796	337	544	285	476
30 x 5	149	1,33	447	760	379	672
30 x 10	299	2,66	676	1200	573	1060
40 x 3	119	1,06	435	692	366	600
40 x 5	199	1,77	573	952	482	836
40 x 10	399	3,55	850	1470	715	1290
50 x 5	249	2,22	697	1140	583	994
50 x 10	499	4,44	1020	1720	852	1510

Fuente: CIPERMI S.A.C.

- **Dimensión de Barra principal o común del Tablero Eléctrico**

Recordando que, a futuro, pueden entrar en funcionamiento los 3 GE, la barra común será dimensionada para tal caso. Siendo un aporte de 1200 A, ya considerado el sobredimensionamiento del 25 %.

Considerando la protección de pintura; la barra sería de dimensión 2(30x10) mm², por fase. Indicada en la Figura n.º 56.

Figura n.º 56: Selección de la barra principal del tablero

ANCHO X ESPESOR	AREA mm ²	PESO kg/m	CORRIENTE ALTERNA 60Hz BARRAS			
			PINTADA		DESNUDA	
			1 I	2 II	1 I	2 II
12 x 2	23,5	0,209	123	202	108	182
15 x 2	29,5	0,262	148	240	128	212
15 x 3	44,5	0,396	187	316	162	282
20 x 2	39,5	0,351	189	302	162	264
20 x 3	59,5	0,529	237	394	204	348
20 x 5	99,1	0,882	319	560	274	500
20 x 10	199	1,77	497	924	427	825
25 x 3	74,5	0,663	287	470	245	412
25 x 5	124	1,11	384	662	327	586
30 x 3	89,5	0,796	337	544	285	476
30 x 5	149	1,33	447	780	379	672
30 x 10	299	2,66	676	1200	573	1060
40 x 3	119	1,06	435	692	366	600
40 x 5	199	1,77	573	952	482	836
40 x 10	399	3,55	850	1470	715	1290

Fuente: CIPERMI S.A.C.

Resumiendo, en la siguiente Tabla n.º 28. Las barras seleccionadas:

Tabla n.º 28: Selección de barras de cobre para los tableros eléctricos

Material Conductor de Cu	Dimensiones (ancho x espesor)	Capacidad de Barra Pintada	Capacidad del ITM relacionado
Barras de conexión de los GE	30x5 mm ²	447 A	400 A
Barras de conexión de la Carga	40x10 mm ²	850 A	800 A
Barras Principal	2(30x10) mm ²	1200 A	1200 A (Nota 1)

Nota 1: Se prevé, para futura ampliación del proyecto, en poner en funcionamiento a los 3 GE. Este dimensionamiento es considerado al 100 % de capacidad de los GE. Los GE trabajarán entre el 30 al 65 % de capacidad.

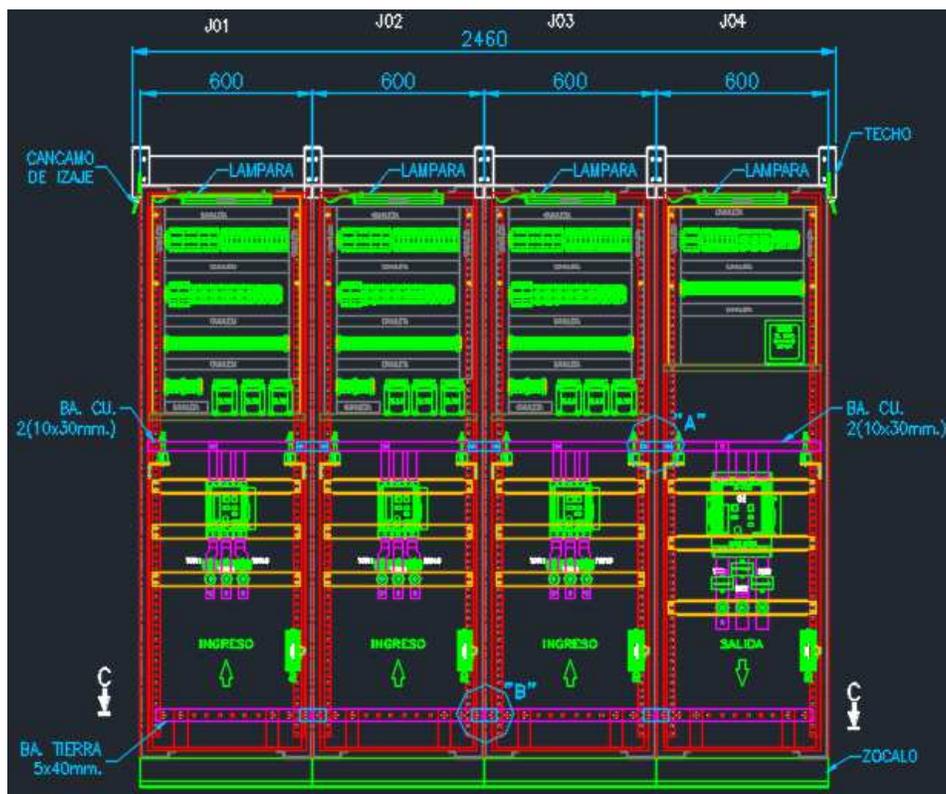
Elaboración: Propia 2018

3.4.3.1 Diseño Mecánico de los Tableros Eléctricos

En base a los análisis detallados anteriormente, se procede a diseñar mediante el programa "AutoCAD". La disposición mecánica de los equipamientos comprometidos.

En la Figura n.º 57, se visualiza los tableros del tipo autosoportado, de fabricación nacional y diseño modular. Con los ITM en compartimientos independientes (todas las medidas están en milímetros).

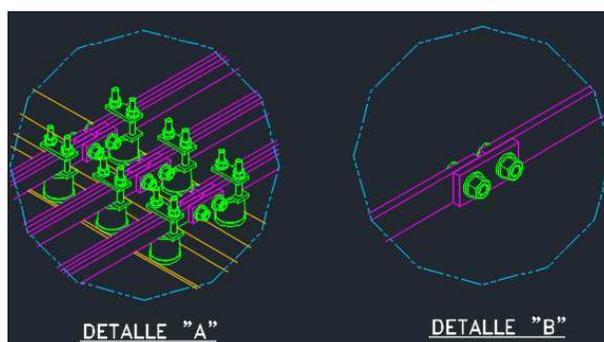
Figura n.º 57: Vista frontal, sin puertas y sin mandil de protección del tablero



Elaboración: Fabricante Promotores Eléctricos S.A. 2017

Los tableros siendo modulares, deben ser de fácil desmontaje. En la Figura n.º 58, se detallan las interconexiones de las barras principales y la barra de tierra, entre los compartimientos individuales.

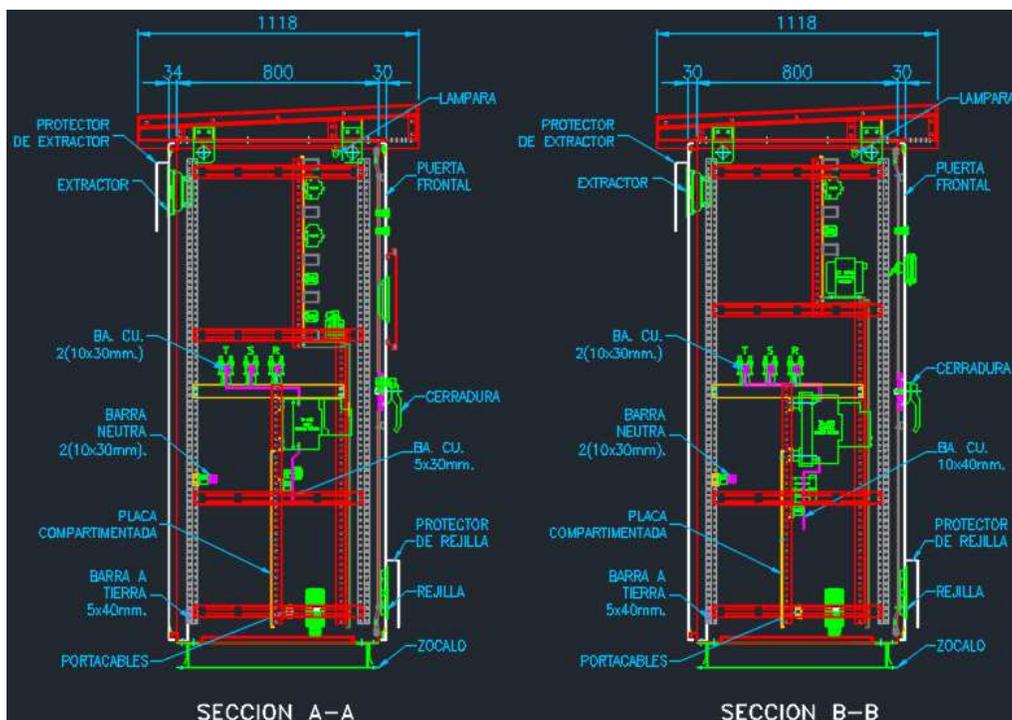
Figura n.º 58: Detalles de conexión de las barras entre los compartimientos



Elaboración: Fabricante Promotores Eléctricos S.A. 2017

La Figura n.º 59, muestra el espaciamiento de la parte posterior. En el lado izquierdo observamos al tablero de protección de los GE; y lado derecho a la protección de la carga.

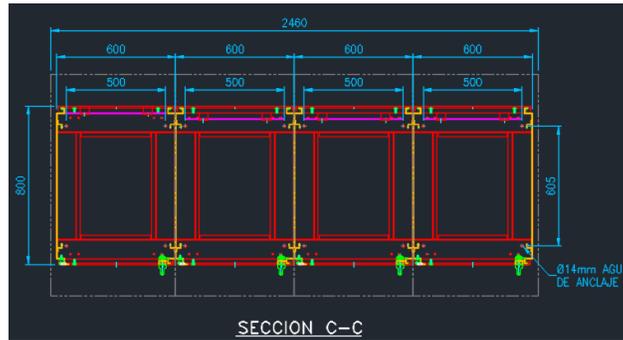
Figura n.º 59: Vista lateral sin paneles de los tableros



Elaboración: Fabricante Promotores Eléctricos S.A. 2017

La Figura n.º 60, proporcionara el área estimada donde se debe instalar los tableros.

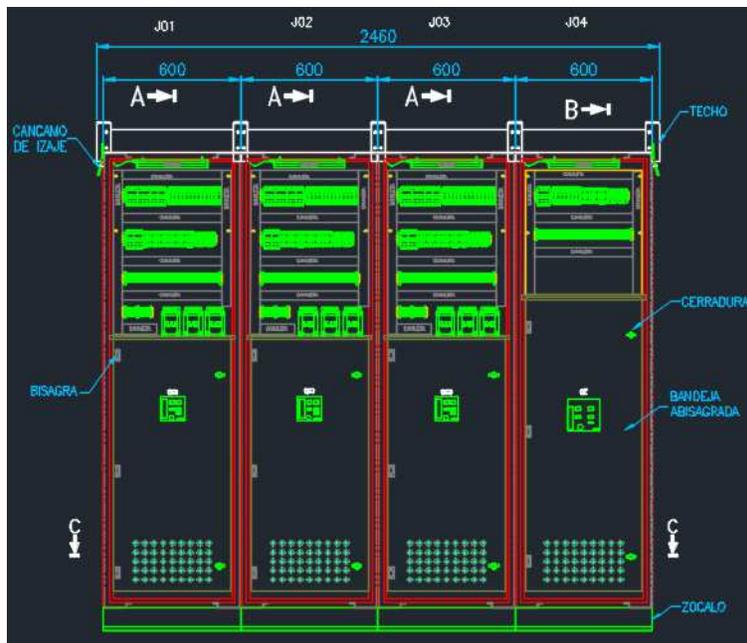
Figura n.º 60: Vista superior de los tableros



Elaboración: Fabricante Promotores Eléctricos S.A. 2017

Los mandiles o bandejas abisagrados, observados en la Figura n.º 61. Limitan el acceso a las partes energizadas del tablero, como barras de cobre y cables de alimentación.

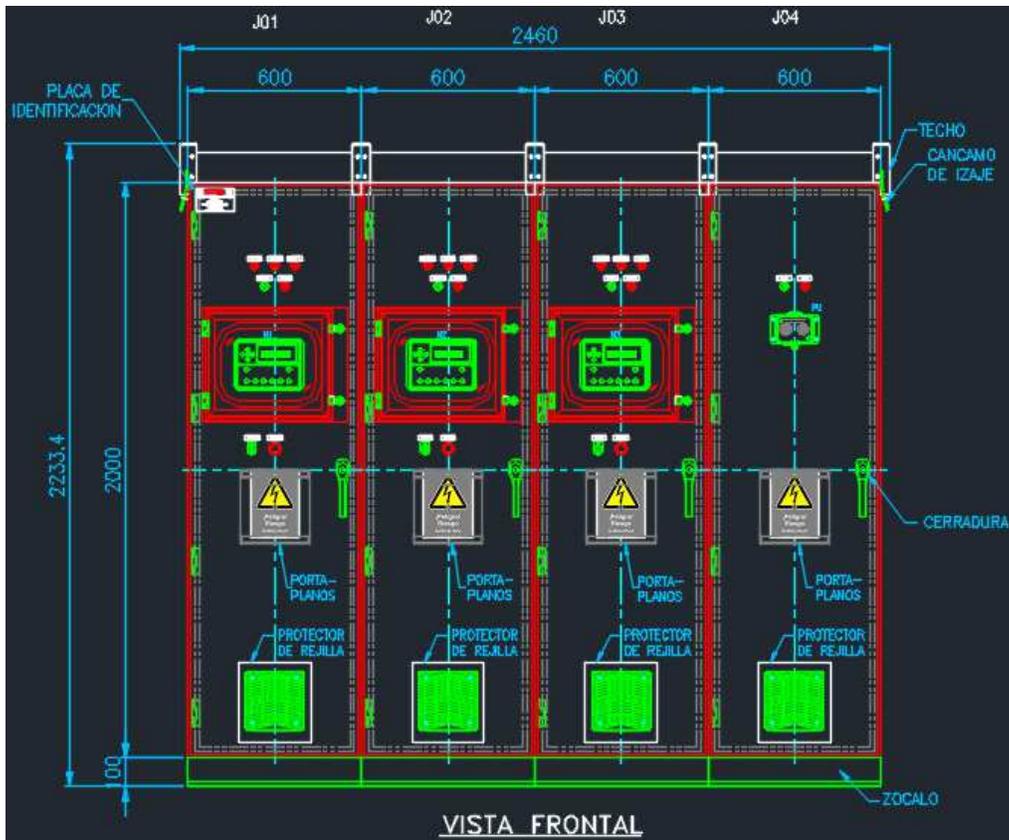
Figura n.º 61: Mandil abisagrado, para protección contra contactos directos



Elaboración: Fabricante Promotores Eléctricos S.A. 2017

A puertas cerradas se puede visualizar 3 recuadros en color rojo, de la Figura n.º 62. Se ha previsto esta protección mecánica adicional para los módulos de sincronismo DSE 8610. Ya que conllevan la responsabilidad del funcionamiento de los GE y son de un costo considerable; a comparación de los equipos de control visibles como pulsadores, lamparas en puerta.

Figura n.º 62: Vista frontal a puerta cerradas, del tablero de protección



Elaboración: Fabricante Promotores Eléctricos S.A. 2017

3.4.3.2 Diseño Eléctrico de los Tableros Eléctricos

En la Figura n.º 63, se detalla por medio de un plano unifilar, la conexión eléctrica entre los ITM de protección de los GE y la salida a la carga.

➤ Filosofía de Funcionamiento de los Tableros de Sincronismo y Protección

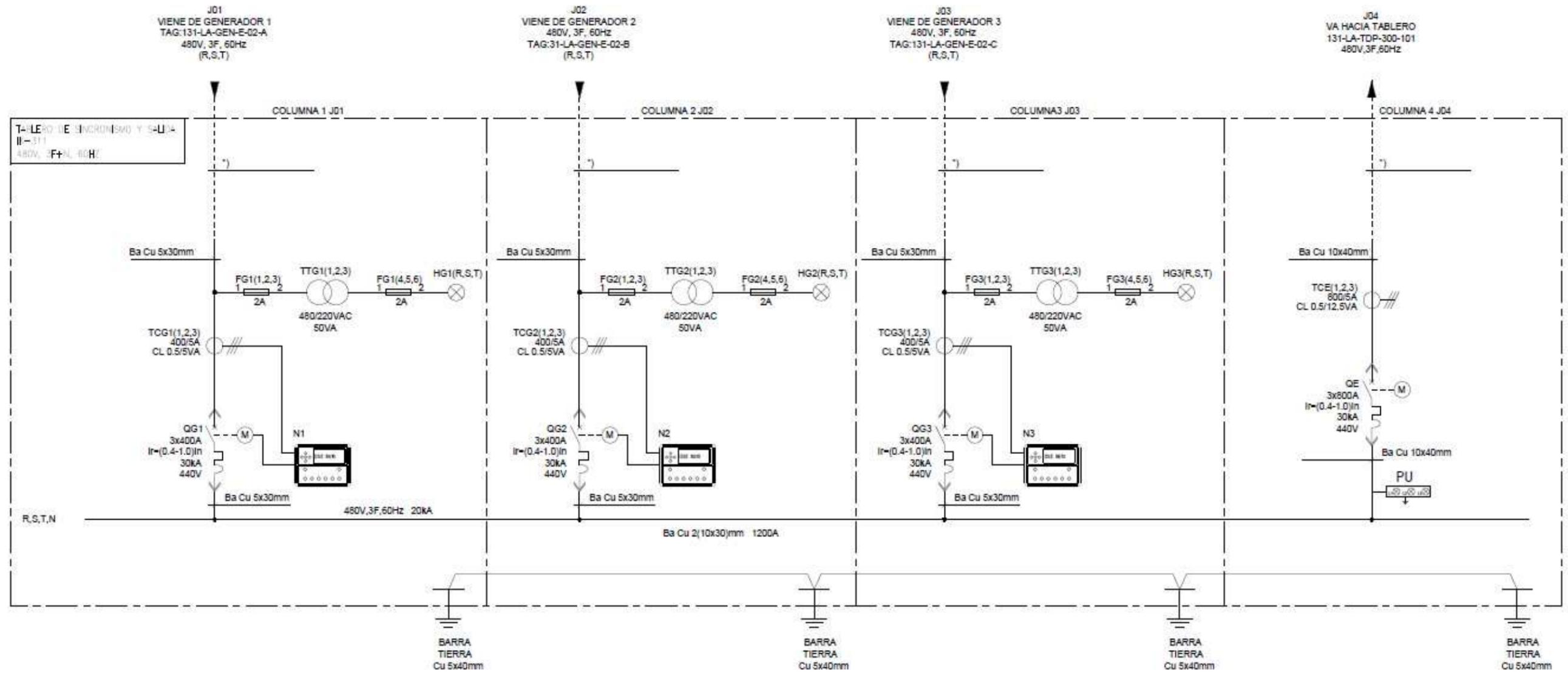
El sistema eléctrico dispone de 3 GE, para el suministro de energía eléctrica. Las cuales solo 2 GE trabajaran alternando con el tercero, que inicialmente se encontrara en “Stand by”.

Para arrancar a los GE de manera automática, se deben pasar al “Modo automático”; ubicado en el panel del módulo DSE 8610, en cada uno de los tableros. Los GE, sincronizaran sus parámetros de tensión y frecuencia, con la barra común, de modo que logrado el sincronismo. Estos comandaran a sus respectivos ITM, cerrando el circuito y energizando la carga. Estarán programados para proporcionar hasta un 65 %, de su potencia; los módulos reparten la carga de igual proporción.

Los módulos cuentan con el modo “Demanda de carga”, el cual permite que los GE, trabajen dependiendo de la cantidad de carga solicitada por el sistema.

Para arrancar de manera manual, se debe selección “Modo manual” en el panel, de cada DSE 8610. Se puede realizar desde el panel, en este caso se ha implementado un sistema de arranque manual, por medio de pulsadores de arranque y parada; para facilitar al operador. En ambos casos disponen de un botón de parada de emergencia, los cuales detienen a los GE y abren el ITM.

Figura n.º 63: Plano unifilar de tablero de sincronismo y protección



Elaboración: Fabricante Promotores Eléctricos S.A. 2017

3.4.3.3 Costos de los Tableros Eléctricos

En la siguientes Tablas n.º 29 y 30, se indica los costos parciales de los equipamientos de los interruptores de protección y accesorios; de los GE y la carga, respectivamente.

Tabla n.º 29: Costos de interruptores de protección de los GE y accesorios

Modelo	Código	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total por equipos
T5N 400 PR221DS-LS/I, 3p F F	1SDA054317R1	3	\$ 428.03	\$ 1,284.08
T5 400 W FP HR	1SDA054757R1	3	\$ 216.94	\$ 650.81
Kit W MP T5 400	1SDA054845R1	3	\$ 87.26	\$ 261.79
MOE 220...250 V AC/DC	1SDA054897R1	3	\$ 526.01	\$ 1,578.04
AUX-C 3Q 1SY 24 V DC	1SDA054915R1	3	\$ 66.06	\$ 198.17
UVR-C 220...240 V AC - 220...250 V DC	1SDA054891R1	3	\$ 129.19	\$ 387.56
ADP - Adaptador 5pin	1SDA055173R1	3	\$ 9.26	\$ 27.79
ADP - Adaptador 10pin	1SDA054924R1	3	\$ 9.99	\$ 29.98
ADP - Adaptador 12pin	1SDA054923R1	3	\$ 9.99	\$ 29.98
MOL-S	1SDA054905R1	3	\$ 32.42	\$ 97.26
			Costo Total	\$ 4,545.45

Elaboración: Propia 2018

Tabla n.º 30: Costos de interruptores de protección de los GE y accesorios

Modelo	Código	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total por equipos
T6N 800 PR221DS-LS/I,3p F F	1SDA060268R1	1	\$ 1,012.54	\$ 1,012.54
T6 630/800 W FP HR	1SDA060385R1	1	\$ 892.13	\$ 892.13
Kit W MP T6 630/800	1SDA060390R1	1	\$ 291.53	\$ 291.53
MOE 220...250 V AC/DC	1SDA060398R1	1	\$ 1,023.51	\$ 1,023.51
AUX-C 3Q 1SY 24 V DC	1SDA054915R1	1	\$ 66.06	\$ 66.06
UVR-C 220...240 V AC - 220...250 V DC	1SDA054891R1	1	\$ 129.19	\$ 129.19
ADP - Adaptador 5pin	1SDA055173R1	1	\$ 9.26	\$ 9.26
ADP - Adaptador 10pin	1SDA054924R1	1	\$ 9.99	\$ 9.99
ADP - Adaptador 12pin	1SDA054923R1	1	\$ 9.99	\$ 9.99
MOL-S	1SDA060612R1	1	\$ 40.46	\$ 40.46
			Costo Total	\$ 3,484.65

Elaboración: Propia 2018

Consolidando los costos de las Tablas n.º 29 y 30, con los módulos de sincronismo y el diseño de los tableros eléctricos. En la Tabla n.º 31.

Tabla n.º 31: Costo total de la solución integral de la fabricación de Tableros Eléctricos

Costo Total de los Interruptores y accesorios	\$ 8,030.10
Costo Total de los 3 Módulos de Sincronismo	\$ 5,310.00
Costo Total de los Tableros Eléctricos	\$ 15,159.90
Costo Final de la Solución Integral	\$ 28,500.00

Elaboración: Propia 2018

La solución mecánica y eléctrica de los tableros eléctricos de sincronismo y protección, es presentada bajo un informe técnico-económico (Figura n.º 64).

Figura n.º 64: Informe técnico-económico del diseño de los tableros eléctricos



Diseño y fabricación de transformadores de distribución refrigerados en aceite y secos.
Diseño y fabricación de tableros eléctricos de baja tensión y celdas eléctricas de media tensión.
Comercialización de productos eléctricos y de iluminación.
Servicio de calibración de instrumentos eléctricos de medición.

ISO 9001:2008

Lima, 07 de Agosto de 2017

Nº Cotización: 011-11100-AP-Rev.04

Señores:

DISTRIBUIDORA CUMMINS PERU S.A.C

Presente:

Atn. : **ING. ANDREE DECURT**

Ref. : "16401 INGENIERÍA BÁSICA DESARROLLO DEL CAMPO LOS ÁNGELES"

Estimado señores:

En atención a su amable solicitud les enviamos nuestra Oferta del asunto en referencia.

CUADRO DE PRECIOS:

Item	Descripción	Cant.	V. Unitario USD	Valor Total USD
01	CENTRAL DE DISTRIBUCION DE POTENCIA DE 1200A 1K-311 480Vac, 60Hz, 3F+T Tablero Tipo: Autosoportado. Incluido zócalo. Dimensiones: 2100x600x800mm3 (04 columnas) Grado de Protección: NEMA 3R. Marca: Promelsa – Perú.	1	28,500.00	28,500.00
Valor Venta Total USD				28,500.00

Elaboración: Propia 2018

El diseño fue evaluado y aceptado, para proceder con la fabricación de los mismos. La Figura n.º 65, da la conformidad de la solución para proceder con la fabricación.

Figura n.º 65: Orden de compra de los tableros eléctricos

		N° Página : 1 / 1								
Distribuidora Cummins Perú S.A.C. RUC: 20543725821 Av. Argentina N°4453, Callao, Callao-Perú Teléfono: (051-1) 615-8400 E-mail: compras@kmmp.com.pe Página Web: www.kmmp.com.pe		Motivo : Pedido Local PEDIDO DE COMPRA N° 2040118620 Consignar este N° en su Guía de Remisión y Facturas Fecha de Orden : 24.08.2017 Moneda : Dólar USA								
Proveedor: PROMOTORES ELECTRICOS S.A. Dirección: AV. PROL PARINACOCCHA 785 Dist.Dpto.Prov.: LA VICTORIA / LIMA / LIMA Atención Sr.(ta): / Referencia/Cotización N°: /		RUC: 20100084172 Teléfono 1 : 7125555 Teléfono 2 : Fax : Forma de Pago : Factura 60 días								
N° Item	Imputación	Código	Descripción Producto y/o Servicio	Unid Med	Cantidad	Precio Unitario	Descuento Unitario	Precio Unitario Neto	Sub Total Neto	Fecha de Entrega
00010	MATERIAL	AC80TSIL0103	TABLERO DE SINCRONISMO IK-311	UN	1.00	28,500.00	0.00	28,500.00	28,500.00	23.10.2017
REF. N° Cotización: 011-11100-AP-Rev.04										

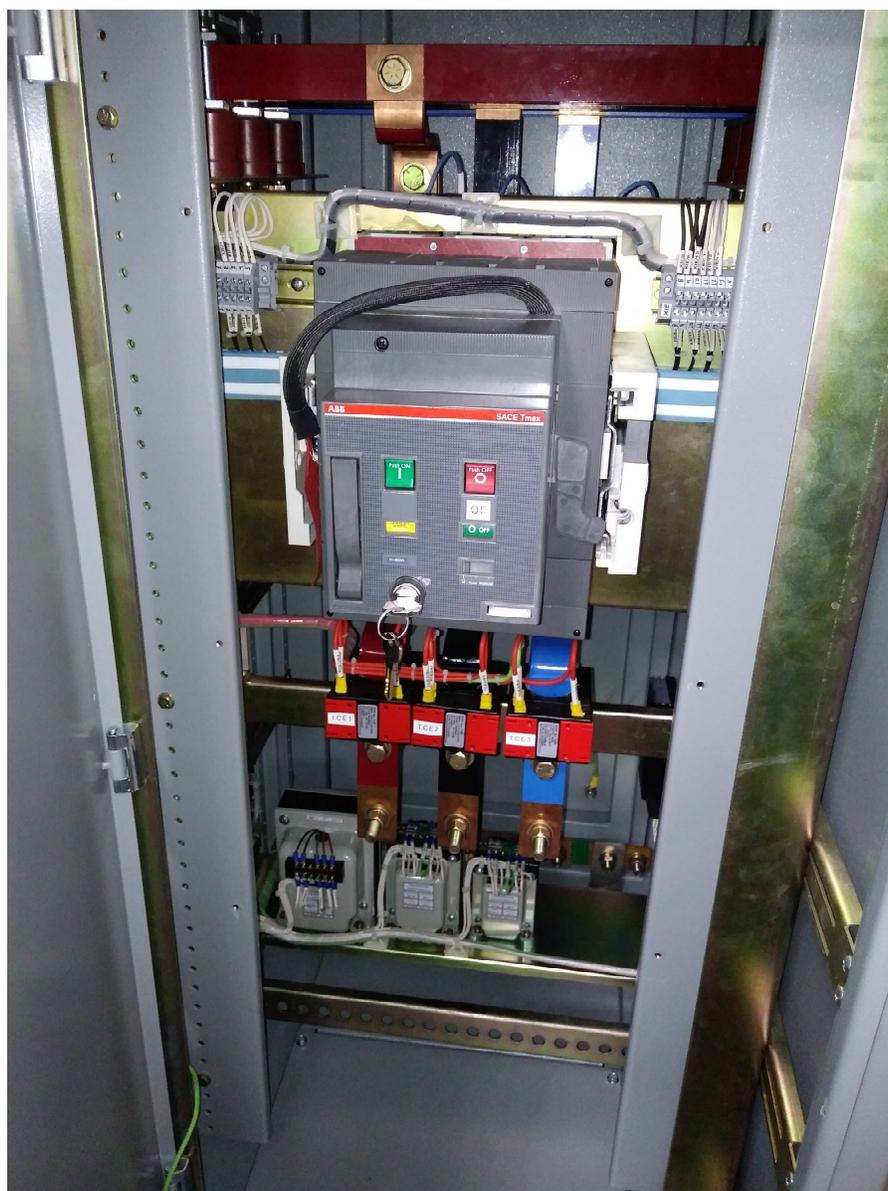
Elaboración: Propia 2018

3.4.3.4 Fabricación de los Tableros Eléctricos

En base a los análisis realizados, a la retroalimentación del diseño propuesto. Los ingenieros responsables del proyecto, confirman la fabricación de los tableros en mención, en las siguientes imágenes podremos observar lo planteado.

En la Figura n.º 66, se observa el interior del tablero al ITM, con sus accesorios de conversión a ejecución extraíble, en la parte lateral. En la parte frontal el mando motor, con un juego de llaves de bloqueo MOL-S. en la parte baja los equipos de control y un tramo de barra para facilitar la conexión con el cable de llegada del GE.

Figura n.º 66: Compartimiento modular para ITM



Elaboración: Fabricante Promotores Eléctricos S.A. 2017

Se observa en la Figura n.º 67, la disposición de un mandil de protección, con el fin de evitar contactos directos con las partes energizadas, solo disponiendo al control del mando motor. A un costado se observa uno agujero, que tiene la función de recibir la manivela para la extracción o inserción del ITM, cuando este desenergizado.

Figura n.º 67: Plano unifilar de tablero de sincronismo y protección



Elaboración: Fabricante Promotores Eléctricos S.A. 2017

En la Figura n.º 68, se observa al modulo de sincronismo con una protección mecánica adicional, para que su display no quede expuesto a la intemperie. También se ha implementado el mando manual en puerta, de manera opcional.

Finalizando con la Figura n.º 69, donde se observa el conjunto de los compartimientos para la protección de los GE y la salida para la carga.

Figura n.º 68: Modulo de sincronismo DSE8610 y control manual en puerta



Elaboración: Fabricante Promotores Eléctricos S.A. 2017

Figura n.º 69: Tableros eléctricos de sincronismo y protección para 3 GE



Elaboración: Fabricante Promotores Eléctricos S.A. 2017

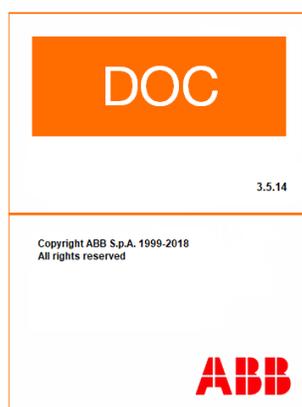
SIMULACIÓN

El programa de ingeniería para el diseño en BT “DOC 3.5”, de la marca ABB. Permite representar esquemas eléctricos para el cálculo y diseño de tableros en BT, como de celdas de MT; seleccionando de manera intuitiva a los equipos de protección como interruptores, seccionadores, contactores, conductores eléctricos, tableros, entre otros. Y logrando desarrollar la “Selectividad total o parcial del sistema”.

Teniendo en cuenta los efectos de cortocircuitos, para el dimensionamiento de los ITM.

En la Figura n.º 27, podemos observar la representación de los tableros de sincronismo y protección de los 3 GE, diseñados en el programa de ABB. La siguiente Figura n.º 70, representa al programa en el cual se desarrolla el cálculo de dimensionamientos de tableros de BT y equipamiento ABB.

Figura n.º 70: Programa para el cálculo y diseño de sistemas eléctricos en BT

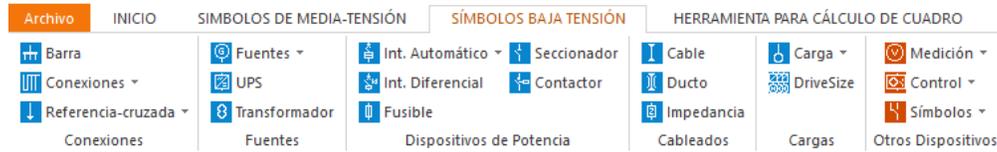


Elaboración: Programa de ingeniería DOC 3.5. ABB 2018

Para proceder a utilizar programa de ABB, debe solicitarse a la empresa en mención; siendo un programa libre y las capacitaciones son constantes.

En este programa podemos representar, circuitos de fuerza de un tablero eléctrico; los sistemas de control, no son aplicables. En la siguiente Figura n.º 71 podemos observar los dispositivos de BT, para representar nuestro tablero eléctrico.

Figura n.º 71: Comandos de equipos en BT



Elaboración: Programa de ingeniería DOC 3.5. ABB 2018

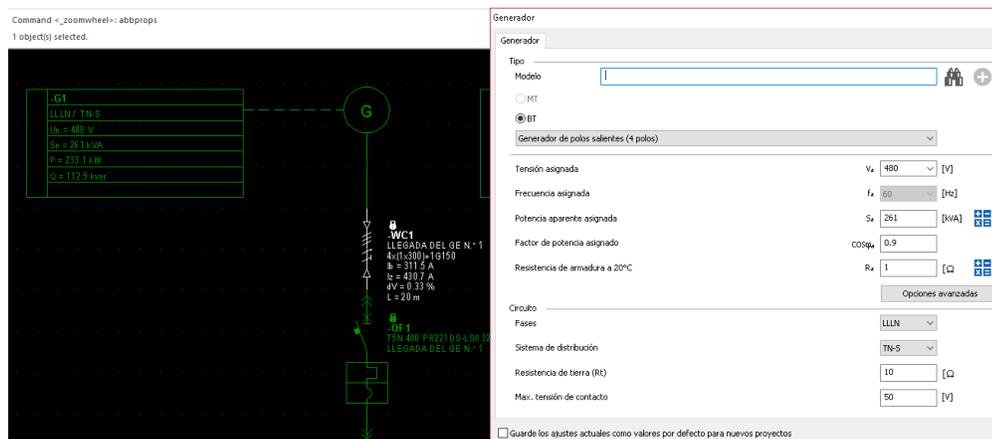
Para diseñar tableros, es necesario la siguiente información:

- Datos de la fuente de energía (parámetros eléctricos) que solicite el programa.

En la Figura n.º 72, observamos una ventana emergente, solicitando ingresar información de la fuente de energización eléctrica.

Ejemplos: Transformadores de potencia y generadores.

Figura n.º 72: Información a ingresar para al generador síncrono



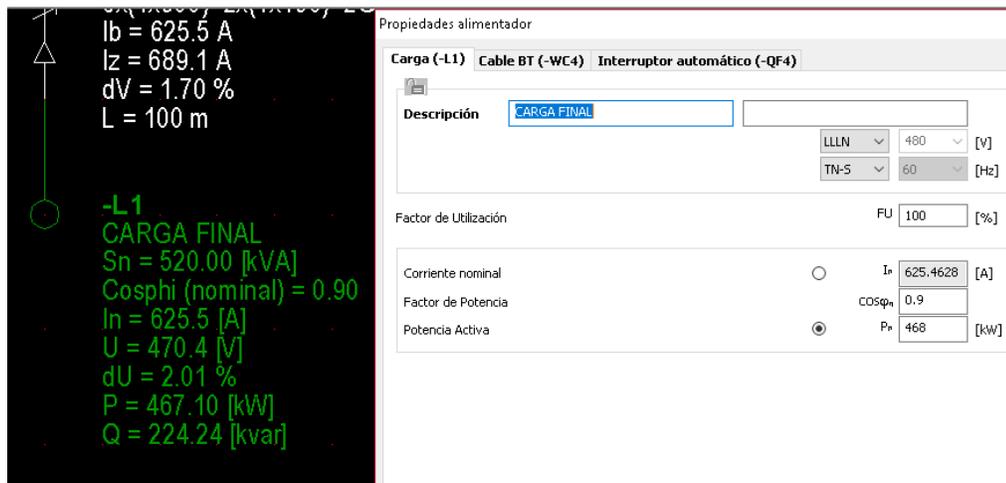
Elaboración: Programa de ingeniería DOC 3.5. ABB 2018

- Los niveles de distribución del sistema. En caso el tablero disponga de sub niveles de distribución o se desee calcular un grupo de tableros eléctricos.

- Datos de la carga, como: potencias, factor de potencia, sistema de operación de las cargas a proteger. como motores, luminarias, entre otros.

En la Figura n.º 73, observamos una ventana emergente, solicitando ingresar información de la carga a proteger.

Figura n.º 73: Información a ingresar para las cargas

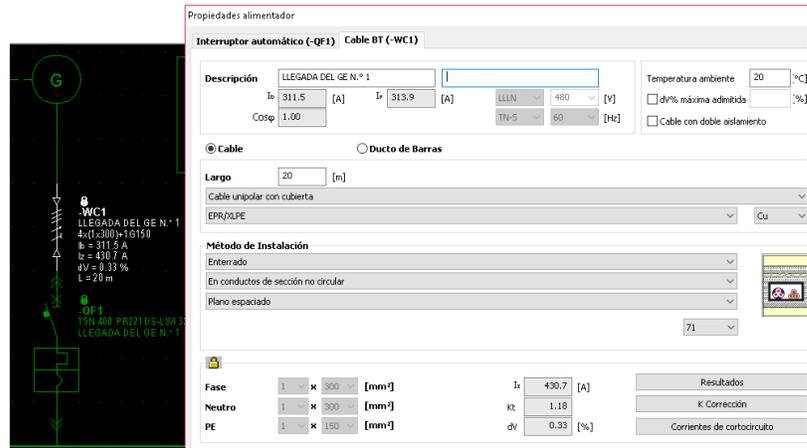


Elaboración: Programa de ingeniería DOC 3.5. ABB 2018

- Distanciamiento entre la fuente, los tableros y cargas. Sino está definido el tipo de conductor, es parte del programa calcular el seccionamiento y proporcionar información.

En la Figura n.º 74, observamos la información que debe ser completada, siendo de mayor importancia la distancia y tipo de instalación del conductor. El programa, calculará el dimensionamiento de los conductores.

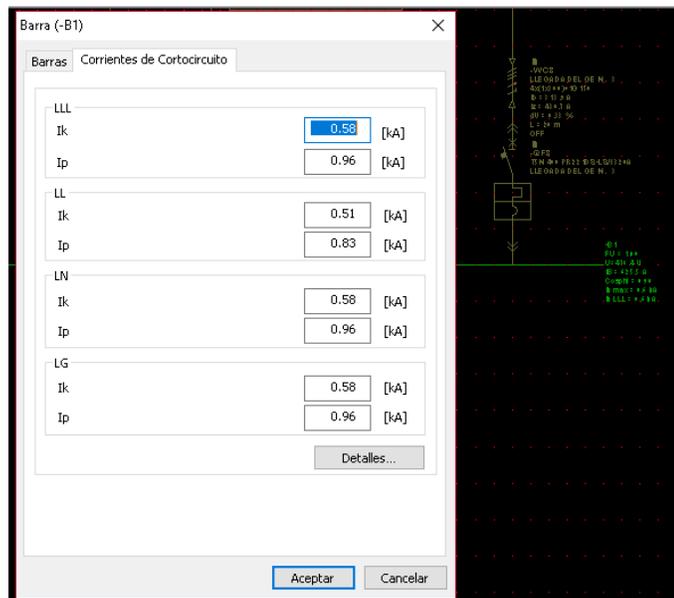
Figura n.º 74: Información a ingresar para los conductores



Elaboración: Programa de ingeniería DOC 3.5. ABB 2018

- Se realizó la simulación del proyecto, en el programa DOC 3.5 ABB. En la Figura n.º 75, observamos que los valores cortocircuito en barra principal. Indicando un valor de $I_{CC,3\phi}$ de 0,58 KA y i_p de 0,96 KA, para fallas trifásicas. Siendo valores aproximados a los calculados.

Figura n.º 75: Valores de cortocircuito en barra principal del tablero de sincronismo y protección por programa DOC



Elaboración: Programa de ingeniería DOC 3.5. ABB 2018

En la Tabla n.º 32, podemos verificar que los valores calculados por el método de impedancias, bajo norma (Anexo E) y el programa DOC 3.5, son próximos en resultados.

Tabla n.º 32: Valores de cortocircuito calculados versus por programa DOC

Valores Calculados por:	Método de Impedancias	DOC 3.5 ABB
Corriente de cortocircuito trifásico	0,749 KA	0,56 KA
Valor máximo asimétrico del cortocircuito trifásico	1,71 KA	0,92 KA

Elaboración: Propia 2018

IMPLEMENTACIÓN

Adicionalmente se ha implementado los siguientes circuitos de control, en beneficio de los operados y personal responsable.

- Sistema de señalización de tensión por lámparas, para los GE.
Apoyo de manera visual, la información de que tableros o GE están energizados. Sin manipular el módulo de sincronismo.
- Iluminación interna por fluorescentes en compartimientos.
Si el tablero es analizado, cuando no se dispone una buena iluminación. Al abrir la puerta del tablero, accionara un final de carrera que energizara una iluminación por lámpara led.
- Protección mecánica en puerta para el panel de los módulos de sincronismo.
El panel del módulo de sincronismo, debe estar visible para el operador. Sin necesidad de aperturar el tablero constantemente. Se considera esta protección adicional, garantizando la seguridad y buen estado del módulo.
- Sistema de calefacción interna por resistencia 100W, para limitar los parámetros indicados, en la Tabla n.º 14.

CONCLUSIONES

- Se concluye, que el uso de los interruptores automáticos de versión extraíble, garantizan una mejor solución inmediata, comparado con la versión fija, frente a la reposición del suministro eléctrico.

Si comparamos con el peor caso que puedan ocurrir en las instalaciones eléctricas, por corrientes de cortocircuito.

Al quedar fuera de servicio ambos interruptores, solo el extraíble, podrá ser retirado con facilidad. Debido a su tecnología mecánica, para su reemplazo oportuno; por ende, la reconexión del sistema.

Sus elementos de conexión con las barras de energización, no están directamente acopladas. En cambio, para los interruptores de versión fija, si estará conectado directamente por medio de pernos; generando un tiempo mayor en la reposición, como la cantidad de personal calificado.

Estos interruptores de versión extraíble, permiten realizar programas de mantenimiento, a comparación de la versión fija.

- Los módulos de sincronismo, de última tecnología; no solo integran funciones de control para el funcionamiento de generadores síncronos, como los grupos electrógenos. Sino que consideran funciones de protección, supervisión y comunicación, repartición de carga, entre otras; concluyendo que estos equipos inteligentes simplifican, mejoran y generan mayor seguridad, en la generación de energía eléctrica.

- Podemos concluir que, para mantener el buen estado de los equipos encargados de la funcionalidad del sistema eléctrico alterno, en este caso por grupos electrógenos. Debe considerarse una construcción minuciosa y ergonómica del tablero eléctrico.

RECOMENDACIONES

- Por estas razones de seguridad y de garantizar la reconexión de la continuidad del servicio eléctrico, para proyectos de gran importancia; se recomienda el uso de los interruptores tipo extraíble. Adicionalmente, promueven el mantenimiento preventivo (inspecciones de rutina, medidas, reajustes, posibles reemplazos) y predictivo (recopilación de informes de falla, para el cambio oportuno).
- El uso del programa DOC 3.5 de ABB, se recomienda para el aprendizaje de la selección adecuada de los equipos de protección; proporcionará una mejora en el análisis del cortocircuito en tableros eléctricos de BT; ya que evitará al máximo errores humanos de cálculo. En caso de modificaciones e incrementos de cargas, en diferentes puntos de un sistema eléctrico; este actualizará los cálculos en toda la instalación.
- En la selección de los módulos de sincronismo, es recomendable y prioritario conocer las funciones adicionales que disponen; con un fin académico y laboral, ya que esta tecnología va incrementando mejoras en su integración.

BIBLIOGRAFIA

- ❖ Bratu, N. y Campero, E. (1995). Instalaciones Eléctricas. México: Alfaomega Grupo Editor.
- ❖ Harper, G. (2003). Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales. México: Editorial Limusa.
- ❖ Caicedo, G., Andrés, C., Briera, M., y Murcia, F. (2000, enero). Criterio para ajustes en relés de sincronización. *Energía y computación*, 9(1), 28.
- ❖ Harper, G. (2005). Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de mediana y alta tensión. México: editorial Limusa.
- ❖ Chapman, S. (2012). Maquinas Eléctricas. Madrid: McGraw-Hill//Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- ❖ Wildi, T. (2007). Maquinas Eléctricas y Sistema de Potencia. México: Pearson Educación.
- ❖ Becerril, D. (2005). Instalaciones Eléctricas Practicas. México: Col. S. Diaz Miron.
- ❖ Kusnetsov, M. (1967). Fundamentos de Electrotecnia. Moscú: Editorial Mir.
- ❖ Fraile, J. (2008). Maquinas Eléctricas. España: McGraw-Hill//Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- ❖ Osinerming. (2016). Supervisión de Contratos de Proyectos de Generación y Transmisión de energía eléctrica en operación. Lima, [s.n.].
- ❖ Schneider Electric Perú, S.A. (2010). Guía de Diseño de Instalaciones Eléctricas. Recuperado de <http://www.schneider-electric.com>.

- ❖ Hoffman a Penta Ir Company. (2009). Normas Globales para Gabinetes en la Industria Eléctrica. Recuperado de www.hoffmanonline.com/stream_document.aspx?rRID=245286&pRID=245285.
- ❖ ABB. (2011). Manual técnico de instalaciones eléctricas. Recuperado de <https://library.e.abb.com/public/79e9d70830db5707c125791f0038dfff/Manual%20tecnico%20de%20instalaciones%20electricas.pdf>.
- ❖ INDECO. (s.f.). El Valor de la Calidad. Recuperado de <http://www.incoresa.com.pe/descargas/catalogos/indeco.pdf>.
- ❖ Schneider Electric España S.A. (1999). Cálculos de corriente de cortocircuito. Recuperado de <https://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/cuadernostecnicos/ct1581.pdf>.
- ❖ Schneider Electric S.A. (1998). Estudio térmico de los tableros eléctricos bt. Recuperado de <https://www.schneider-electric.com.co/documents/soporte/ct-145>.
- ❖ ABB. (2011). Selectividad en baja tensión con interruptores automáticos ABB. Recuperado de <http://www.abb.es/ablibrary/DownloadCenter/default.aspx?CategoryID=9AA C124466&View=Result&DocumentKind=Technical+Publication&SortBy=Dockind&ExpandAllResults=True>.
- ❖ ABB. (2011). Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439, Parte 1 y Parte 2. Recuperado de <http://www.abb.es/ablibrary/DownloadCenter/default.aspx?CategoryID=9AA C124466&View=Result&DocumentKind=Technical+Publication&SortBy=Dockind&ExpandAllResults=True>

- ❖ ABB. (2011). Tmax. Generación T Interruptores automáticos en caja moldeada de baja tensión hasta 1600 A. Recuperado de <https://library.e.abb.com/public/3b08be451a18368bc1257b49002f683f/1SDC210015D0705.pdf>
- ❖ CIPERMI S.A.C. (s.f.). Capacidad Amperimétrica de Barrajes Rectangulares de Cobre para Armarios Eléctricos. Recuperado de <http://cipermi.com/Capacidad%20de%20Barras%20-%20CIPERMI.pdf>
- ❖ Deep Sea Electronics (2018) *DSE 8610 auto start load share module*. England & Wales. Recuperado de <https://www.deepseapl.com/genset/load-sharing-synchronising-control-modules/dse8610>

ANEXOS

Anexo A: Norma IEC 61439-1

Anexo B: Normas IEC 60947-1 y 60947-2

Anexo C: Norma IEC 60529

Anexo D: Norma CNE, Regla 160-306

Anexo E: Norma IEC 60909

Anexo F: Norma IEC 60898

Anexo G: Norma NEMA 250

Anexo H: Norma UL 50, 50E

Anexo I: Norma DIN 46433