

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 TRIFÁSICOS DE
550KW – 460VAC, PARA EL ABASTECIMIENTO PERMANENTE DE
ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DISTRITO DE SAN LORENZO,
PROVINCIA DE DATEM DEL MARAÑON, PERÚ”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CASTRO QUITO, JEFERSON HORACIO

Villa el Salvador

2019

DEDICATORIA

A mis padres Julio Castro de la cruz y Yanina Quito Huaycañe, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y privilegio de ser su hijo.

AGRADECIMIENTO

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible este proyecto y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para ustedes. A mis padres Julio y Yanina por todo su amor, comprensión y apoyo pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas, otras locas. Gracias por darme la libertad de desenvolverme como ser humano.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	3
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.....	4
1.4.1. Problema general.	4
1.4.2. Problemas específicos.....	5
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes	7
2.1.1. Antecedentes nacionales.	7
2.1.2. Antecedentes internacionales	8
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	14
2.2.1.1.3. Representación de los tableros eléctricos.....	16
2.2.1.2. Sistema de sincronismo.....	17
2.2.1.2.1. Condiciones para Sincronismo.....	18
2.2.1.3. Sistema de Protección.....	22
2.2.1.3.1. Interruptores Automáticos	23
2.2.1.3.2. Funciones de Protección.....	27
2.2.1.3.3. Selección.....	29

2.2.1.3.4. Tipos de ITM Según su ejecución	44
2.2.2. Grupos Electrógenos	45
2.2.2.1. Generador.....	45
2.2.2.2. Funcionamiento	45
2.2.2.3. Características del Estator y Rotor	46
2.2.2.4. Número de Polos en el Rotor	49
2.2.2.5. Motor Primario.....	49
2.2.2.6. Aplicaciones	49
2.3. Definición de términos básicos.....	50
CAPÍTULO III.....	56
DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	56
3.1. Modelo de solución propuesto.....	56
3.1.1. Descripción del proyecto	56
3.1.2. Recopilación de información.....	56
3.1.3. Análisis de recopilación de información.....	59
3.1.4. Diseño de tableros eléctricos de sincronismo y protección	61
3.1.4.1. Selección del módulo de sincronismo	61
3.1.4.2. Selección de los interruptores de protección	64
3.1.4.3. Selección de accesorios.....	75
3.1.4.4. Diseño mecánico y selectividad de barra de cobre.....	77
3.1.4.5. Diseño Eléctrico De Los Tableros.....	84
3.2. Resultados.....	87
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES	89
ANEXO.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Tablero eléctrico, tipo autosoportado	11
Figura 2: circuito de fuerza de un tablero eléctrico general alimentador por un transformador de potencia y G.E.....	12
Figura 3: Diagrama típico de una subestación eléctrica	13
Figura 4: Circuito de fuerza de un tablero eléctrico general alimentado por una red comercial y un G.E	14
Figura 5: Plano mecánico de un tablero eléctrico	16
Figura 6: Plano unifilar de un tablero eléctrico	17
Figura 7: Módulo de control de sincronización y carga compartida, marca Comap, InteliGen Ntc BaseBox	18
Figura 8: Diagrama multifilar de conexión de un generador síncrono en un sistema eléctrico existente	19
Figura 9: Secuencias de fases de 2 generadores, con igual sentido de giro	20
Figura 10: Método de las 3 lámparas, para asegurar la secuencia de fase del sistema	21
Figura 11: Sincronoscopio	22
Figura 12: Esquema eléctrico de un interruptor termomagnético (lado izquierdo) y un interruptor seccionador (lado derecho)	24
Figura 13: Relés de protección en un interruptor automático	25
Figura 14: Interruptores automáticos modulares o Miniature Circuit Breaker (MCB)	26
Figura 15: Interruptores automáticos en caja moldeable o Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)	26
Figura 16: Interruptores automáticos en bastidor abierto o Air Circuit Breaker (ACB)	27
Figura 17: Relé térmico de un interruptor MCCB, regulable hasta el 70% de su capacidad	28
Figura 18: Triángulo de potencias de una carga	32
Figura 19: Tipos de Icc	42
Figura 20: Relación del factor K con R/X	43
Figura 21: Casos extremos de establecimiento del Icc, lado izquierdo Icc simétrica y lado derecho Icc asimétrica	43

Figura 22: Parte móvil y fija de la versión enchufable (lado izquierdo) y versión extraíble (lado derecho)	45
Figura 23: Estator de un alternador sincrónico	47
Figura 24: Rotor de polos salientes	48
Figura 25: Rotor con 2 polos lisos en una máquina síncrona	48
Figura 26: Diagrama unifilar I de sincronismo de 3 GE	60
Figura 27: interruptores tipo regulable Tmax T7	65
Figura 28: Referencia de un cortocircuito en la barra común del tablero	66
Figura 29: Selección del valor X_d de alternadores de polos salientes	68
Figura 30: Selección del valor de reactancia en conductores	69
Figura 31: Selección del valor de resistividad en conductores	70
Figura 32: Interruptores tipo caja moldeable Tmax T7 de 1250 A	72
Figura 33: Intercepción del R/X para el valor K	73
Figura 34: interruptores tipo caja moldeable Tmax T7	74
Figura 35: accesorios para Interruptor motorizado	75
Figura 36: motor para resorte	76
Figura 37: relé de apertura y cierre	76
Figura 38: contactos auxiliares	76
Figura 39: Designación del grado IP 55	78
Figura 40: vista frontal, sin puerta y sin mandil de protección del tablero	82
Figura 41: vista lateral derecha	83
Figura 42: vista superior de los tableros	83
Figura 43: mandil abisagrado, para protección contra contactos directos	84
Figura 44: plano eléctrico	86

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Se detalla las consideraciones técnicas de diseño, para los tableros eléctricos, que establece la norma (Anexo C)	15
Tabla 2: Funciones básicas de protección de MCCB y ACB, según la norma IEC 60947-2	29
Tabla 3: Equivalencias para conversiones de unidades de potencia.....	33
Tabla 4: Desclasificación por altitud para interruptores automáticos modelos Tmax de la marca ABB	34
Tabla 5: Desclasificación por temperatura para interruptores automáticos con relé electrónico, modelo T5, de marca ABB	34
Tabla 6: Desclasificación por temperatura para interruptores automáticos con relé electrónico, modelo T7S, de marca ABB	35
Tabla 7: Valores de X_d de alternador en %	38
Tabla 8: Valores de reactancias de los cables, según el tipo de instalación	39
Tabla 9: Valores de la resistividad de los conductores, según la Icc	40
Tabla 10: Valores de reactancias de motores y compensadores síncronos en %	41
Tabla 11: Condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa de la Provincia Datem Del Marañón.....	57
Tabla 12: Condiciones ambientales para un tablero, en instalaciones interiores.	58
Tabla 13: Información básica del GE, para calcular “I” en un sistema trifásico...	64
Tabla 14: Información complementaria de los GE, para calcular la impedancia..	66
Tabla 15: información técnica de conductor N2XOH.....	67
Tabla 16: Información de los conductores eléctricos, para calcular la impedancia	67
Tabla 17: Información de los ITM, para calcular la impedancia.....	68
Tabla 18: Sumatoria de reactancias calculadas	70
Tabla 19: Sumatoria de resistencias calculadas.....	71
Tabla 20: Selección de los ITM para los tableros eléctricos.....	75
Tabla 21: Capacidad amperimétrica de barrajes rectangulares de cobre para tableros eléctricos, norma DIN 46433	79
Tabla 22: Selección de la barra de conexión con los GE.....	80

Tabla 23: Selección de la barra principal del tablero	81
Tabla 24: Selección de barras de cobre para los tableros eléctricos	81

INTRODUCCIÓN

Resulta difícil imaginar un mundo sin electricidad, pues ésta influye en el quehacer diario de las personas, la electricidad es utilizada de diferentes formas tanto en las casas, oficinas, centros comerciales, en la operación de todos los equipos eléctricos y electrónicos, la mayor cantidad de energía eléctrica es utilizada por la industria y minería en nuestro país (Ponce y Montufar, 2014, p 14).

La implementación de grupos electrógenos se ha vuelto una solución común para las poblaciones que no cuentan con energía eléctrica, ya que con ello, logran suministrar cierta cantidad de energía para abastecer los puntos más importantes como hospitales y actividades mineras (Porráz, 2018, p 28).

Por ello el paralelismo de generadores de gran capacidad es el principal método empleado para el abastecimiento de grandes cargas, pues con esto se logra: voltaje y frecuencia estable en la barra de carga, la demanda de potencia se divide equitativamente de acuerdo a la capacidad de cada alternador (Fernández y Loayza, 2010, p 135).

Los tableros de sincronismo garantizan el buen estado de los equipos, no solo por su valor económico considerable; si no por la continuidad de las actividades y mantener una calidad de vida buena (Fernandez y Loayza, 2010, p 85).

Consecuentemente se debe priorizar la integridad física del personal operador, durante el arranque manual o automático de los Grupos electrógenos, por ello se tendrán equipos de protección, por interruptores motorizados y módulos de sincronismo que cuentan con lecturas de parámetros para un óptimo rendimiento de los grupos electrógenos (Porráz, 2018, p 20)

En ese sentido el presente trabajo de suficiencia profesional tiene como prioridad Diseñar los tableros eléctricos de sincronismo y protección para 3 grupos electrógenos trifásicos de 550KW-460VAC, para abastecer permanente de energía eléctrica en el distrito de san Lorenzo, provincia de Datem del Marañón.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La provincia Datem del Marañón, no cuenta con un suministro eléctrico proporcionado por el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), su fuente de energía es suministrada por Grupos electrógenos, la población es de aprox. 49,571 habitantes, y su producción minera ha ido creciendo en el transcurso del tiempo, por ello su demanda en el factor energético ha ido en aumento.

En la actualidad su consumo de carga en horas normales es de 380kw, utilizando para ello 1 G.E de 550kw. Por otro lado su consumo e horas puntas llegan a los 1080kw, ya que se requiere mayor energía eléctrica se enciende un segundo y tercer grupo electrógeno de 550kw en modo manual, generando problemas operativos y de sobre carga, finalmente esto con lleva a apagones, por no contar con dispositivos de sincronismo automáticos y de seguridad con el personal operador.

Al no contar con un abastecimiento permanente y estable de energía eléctrica, se contara con problemas de salud ya que las pocas entidades de salud pública, no contarán con energía eléctrica y esto aumentara el índice de mortalidad en la zona, por la falta de atención.

Al no disponer con tableros de sincronismo, los mantenimientos de los grupos electrógenos serán perjudiciales ya que, al momento de llevar acabo estos, se tendrán que hacer cortes de energías, poniendo en total desamparo la provincia Datem del Marañón.

1.2. Justificación del problema

El presente proyecto se justifica ya que si se logra diseñar los tableros de sincronismo y protección para los 3 grupos electrógenos, esto daría un abastecimiento permanente de energía a la población, con control automática de encendido y sincronismo de grupos electrógenos.

Estos tableros contarán con protección para los grupos electrógenos nivel de aceite, refrigerante, revoluciones, tensión de fases, entre otros, así no haya problemas y pérdidas económicas por fallas de componentes.

Los tableros sincronismo garantizarán un mantenimiento óptimo cuando los grupos electrógenos cumplan sus horas de trabajo, ya que se podrán alternar uno del otro en funcionamiento, así no exista momentos en que la población se quede sin energía eléctrica.

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1. Teórica

Para diseñar los tableros eléctricos recurriremos a manuales y catálogos de diferentes marcas abb, Schneider, rittal, entre otros así como también, normas internacionales como IEC 61439-1, IEC 60947-1, entre otras. Y se tomara en cuenta el código nacional de electricidad en el diseño, según las condiciones de operación, y atmosférica.

1.3.2. Espacial

Se implantara la ciudad de San Lorenzo, capital de la Provincia de Datem del Marañón, además del distrito de Barranca, ubicada en el Departamento de Loreto, en el Perú, con ello se obtendrá la protección hacia los grupos electrógenos y el abastecimiento permanente de energía eléctrica a dicho distrito.

1.3.3. Temporal

El diseño de los tableros eléctricos de sincronismo se inició en el mes de diciembre del 2018, finalizando con su instalación y pruebas en campo, el 1 de octubre del 2019.

1.4. Formulación del problema.

1.4.1. Problema general.

¿Cómo diseñar los tableros eléctricos de sincronismo y protección, para 3 grupos electrógenos trifásicos de 550KW – 460VAC, para el abastecimiento permanente de energía eléctrica en el distrito de san Lorenzo, provincia Datem del Marañón, Perú?

1.4.2. Problemas específicos.

- ¿Cuál es el dimensionamiento del interruptor de seguridad a utilizar como protección de los tableros eléctricos de sincronismo y protección, para 3 grupos electrógenos trifásicos de 550KW – 460VAC, para el abastecimiento permanente de energía eléctrica en el distrito de san Lorenzo, provincia Datem del Marañón?
- ¿Cuál es el módulo de sincronismo determinado, a partir del análisis de la lógica de operación de los 3 grupos electrógenos trifásicos de 550KW – 460VAC, para el abastecimiento permanente de energía eléctrica en el distrito de san Lorenzo, provincia Datem del Marañón?
- ¿Cuál será el dimensionamiento de la platina de cobre para el ingreso de carga y salida común de los interruptores termomagnéticos de los tableros eléctricos de sincronismo y protección, para 3 grupos electrógenos trifásicos de 550KW – 460VAC, para el abastecimiento permanente de energía eléctrica en el distrito de san Lorenzo, provincia Datem del Marañón?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar los tableros eléctricos y protección, para 3 grupos electrógenos trifásicos de 550KW - 460VAC, para el abastecimiento permanente de energía eléctrica en el distrito de san Lorenzo, provincia Datem del Marañón, Peru.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar el dimensionamiento del interruptor de seguridad a utilizar como protección de los tableros eléctricos de sincronismo, para 3 grupos electrógenos trifásicos de 550KW – 460VAC, para el abastecimiento permanente de energía eléctrica en el distrito de san Lorenzo, provincia Datem del Marañón

- Determinar el módulo de sincronismo a partir del análisis de la lógica operación de 3 grupos electrógenos trifásicos de 550KW – 460VAC, para el abastecimiento permanente de energía eléctrica en el distrito de san Lorenzo, provincia Datem del Marañón.
- Determinar el dimensionamiento de la platina de cobre para el ingreso de carga y salida común de los interruptores termomagneticos de los tableros eléctricos de sincronismo y protección, para 3 grupos electrógenos trifásicos de 550KW – 460VAC, para el abastecimiento permanente de energía eléctrica en el distrito de san Lorenzo, provincia Datem del Marañón?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes nacionales.

Porras (2018) en su trabajo de suficiencia profesional para optar su título profesional *“diseño de tableros eléctricos de sincronismo y protección para 3 grupos electrógenos de 261KVA, 480/277 Vac, 3F+n+t, 60Hz. A implantar en el lote petrolero 121, región de Huánuco, Perú”*, en la facultad de ingeniería y gestión de la universidad nacional tecnológica de lima sur-Perú.

Da a la conclusión que los interruptores automáticos de versión extraíble, garantizan una mejor solución inmediata, comparado con la versión fija, frete a la reposición de suministro eléctrico.

Si comparamos con el peor caso puedan ocurrir en las instalaciones eléctricas, por corriente 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 programa de mantenimiento, a comparación de la versión fija”.

Inga (2014), en su informe de suficiencia para optar su título profesional *“Instalación y puesta en servicio de un sistema de sincronismo de dos grupos electrógenos de 350KW en nuevo hospital Tarapoto”*, en la facultad de ingeniería mecánica de la universidad Nacional de ingeniería-Lima

El reciente enunciado final concluye que se ha logrado solucionar el problema de respaldo mediante el sincronismo de dos grupos electrógenos de 350KW al ocurrir el corte de energía de la red comercial en nuevo hospital Tarapoto, la demostración de esta conclusión o tesis queda documentada en el siguiente informe.

Un sistema de gobernación mecánica tiene menos control sobre la regulación necesaria que un sistema con gobernación electrónica y en sistemas con sincronismo de dos grupos electrógenos y transferencia cerrada ya que es determinante su utilización.

Las normas NFPA determinan y especifican el tipo de instalación necesaria para cada aplicación

Ponce y Montufar (2014) en su trabajo de investigación para optar el título profesional "*diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de un sistema de control automatizado para un grupo electrógeno de 6.5KVA de Mobhi grifos*", en la facultad mecánica eléctrica, electrónica y sistemas de la universidad nacional del altiplano – Puno

El diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de un sistema de control automatizado para el grupo electrógeno de 6.5KVA para el suministro continuo de energía eléctrica de MOBSHI GRIFOS, hace que la transferencia de carga en caso de fallas del sistema sea de forma automática, con eso 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, no permite trabajar con confiabilidad, sin tener que preocuparnos por fallas posteriores en el tablero de control".

2.1.2. Antecedentes internacionales

Rivera y Espinoza (2017) en su trabajo de investigación para optar el título profesional titulado "*Diseño de un sistema de*

transferencia de energía eléctrica para el respaldo por fallo de la energía comercial”, en la facultad de electrotecnia y computación, de la universidad nacional de ingeniería – Managua

Con base en el análisis presentado en esta tesis podemos concluir que es posible garantizar el fluido continuo y confiable en una instalación eléctrica, cumpliendo con el dimensionamiento de nuestro grupo electrógeno y UPS, se cumple con los requerimientos de seguridad y funcionalidad dentro del sistema con base en las normas eléctricas vigentes.

Además en el desarrollo de la tesis se logró estudiar la teoría de sistema de transferencia de energía eléctrica, elementos de fuerza y control.

Luna (2006) en su trabajo de investigación titulado “*transferencia y sincronización automática de generadores de emergencia en instalaciones industriales*”, en la facultad de ingeniería de la universidad de san Carlos de Guatemala.

Desde el punto de vista económico, se concluye que el empleo de un sistema de transferencia y sincronización automática, comparada con un sistema totalmente manual, se justifica mientras las pedidas anuales causadas por la falta del sistema automática exceden el costo de posesión más el costo del mantenimiento del sistema automática.

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 hotel 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.”

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tableros eléctricos de Sincronismo y protección

2.2.1.1. Tableros eléctricos.

En una instalación eléctrica, los tableros eléctricos son la parte principal, en ellos se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de dicha instalación.

En términos generales se entiende por tablero un gabinete metálico donde se colocan instrumentos, interruptores, arrancadores y/o instrumento de control. El tablero es un elemento auxiliar (en algunos casos obligatorio) para lograr una instalación segura y ordenada (Bratu y Campero, 1995, p 128).

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 futuras 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.

Para elaborar los tableros eléctricos se debe cumplir con una serie de normas (anexo A) que permitan su actividad de forma adecuada cuando ya se le ha proporcionado energía eléctrica. El cumplimiento de estas normas respalda la seguridad tanto de las instalaciones en las que haya presencia de tableros eléctricos como de los operarios.

En la figura 1, se muestra una vista isométrica de la parte exterior de un tablero autosoportado.

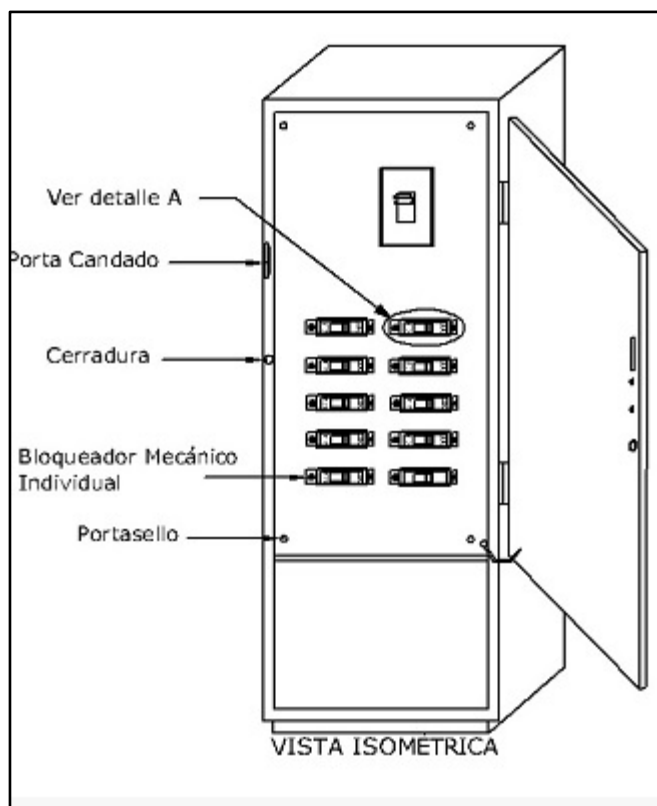


Figura 1: Tablero eléctrico, tipo autosoportado.

Fuente: https://ikinormas.micodensa.com/Norma/acometidas_medidores/cajas_armarios_celdas/ae311_tablero_general_acometidas

2.2.1.1.1. Tipos según la fuente de alimentación

Los tableros generales normalmente van colocados en subestaciones o cuartos especiales para ubicar equipos eléctricos. Su alimentación se hace por medio de barras o cables directamente del secundario del transformador. Por lo general son autosoportados 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 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.

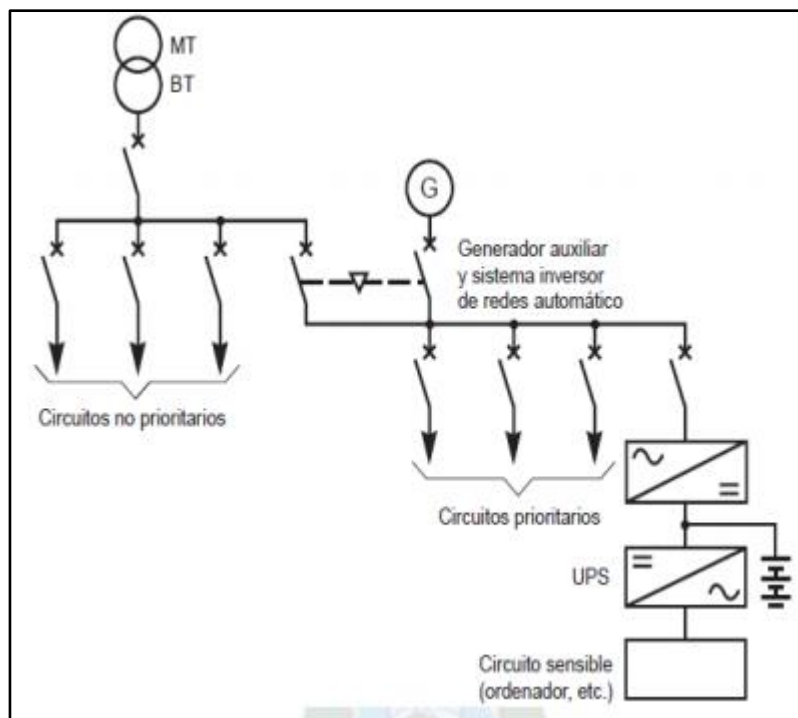


Figura 2: circuito de fuerza de un tablero eléctrico general alimentador por un transformador de potencia y G.E

Fuente: Guía de diseño de instalaciones eléctricas SOCOMEC

• Tablero general de red normal

El tablero general es aquel que se coloca inmediatamente después del transformador o acometida y que contienen un interruptor general. El transformador o la acometida se conecta a la entrada del interruptor y a la salida de este se conectan barras que distribuyen la energía eléctrica a diferentes circuitos a través de interruptores para

su posterior derivación en cargas menores (Bratu y Campero, 1995, p 14).

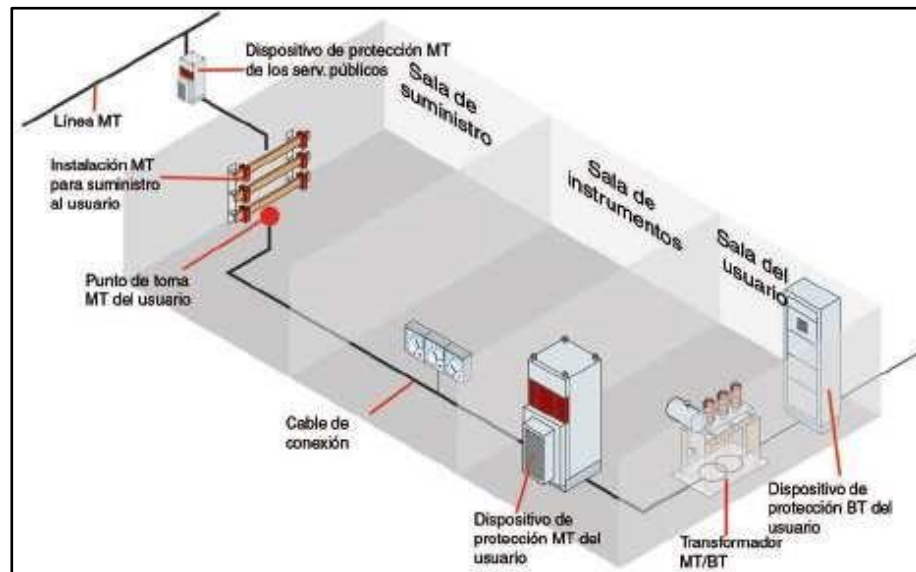


Figura 3: Diagrama típico de una subestación eléctrica

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

• Tablero general de red emergencia

Existen variedad de instalaciones eléctricas que tienen un suministro de energía eléctrica de emergencia para protegerse contra posibles fallas en el suministro de energía eléctrica. Normalmente esto se da en aquellos lugares de uso público como hospitales, que requieren una fuente de energía que funcione en caso haya fallas de la red, ante caídas de voltajes importantes, fallas en alguna fase o interrupciones del mismo (Bratu y Campero, 1995, p 16).

Para realizar la operación de reposición del suministro, puede ser realizada de manera manual o automática por un operador adiestrado; pero al retornar la red normal, esta debe ser deshabilitada, exponiendo su seguridad. Existen maneras seguras y rentables de manera automática por medio de módulos de control electrónico y equipamiento mecánicos de seguridad. A estos sistemas de maniobras se les conoce como Transferencias automáticas.

En la figura 4, se puede entender que la alimentación principal viene dado por la red comercial, a su lado izquierdo tenemos un controlador lógico programable, que se encarga de realizar la conmutación y entra el G.E en cuando exista alguna falla con la red comercial.

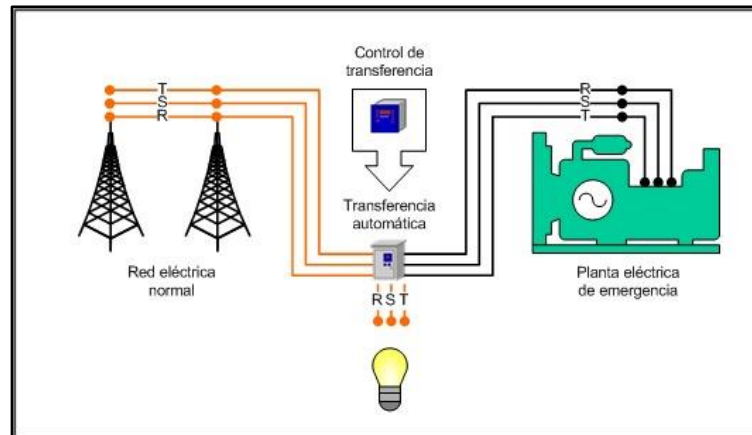


Figura 4: Circuito de fuerza de un tablero eléctrico general alimentado por una red comercial y un G.E

Fuente: guía de diseño de instalaciones eléctricas, SOCOMEC

2.2.1.1.2. Características constructivas de los tableros eléctricos

Las propiedades constructivas de los tableros se basan en las condiciones generales de servicio (donde estarán trabajando), 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 (Porra, 2018, p 35)

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

Tabla 1: Se detalla las consideraciones técnicas de diseño, para los tableros eléctricos, que establece la norma (Anexo C).

Grados de protección IPXY	
IP (x) Protección al polvo	IP (y) Protección a líquidos
1  (esfera de 50 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.	1  No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200 mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto)
2  (esfera de 12,5 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.	2  No debe entrar el agua cuando se la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto).
3  (esfera de 2,5 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.	3  No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical
4  (esfera de 1 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.	4  arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto
5  La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe interferir con el correcto funcionamiento.	5  No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo)
6  El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia	6  No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro
 http://incared.net	7  No debe entrar agua.
	8  No debe entrar agua.

Fuente: <https://incared.net/wp-content/uploads/2015/08/ipxx.jpg>

2.2.1.1.3. Representación 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 5

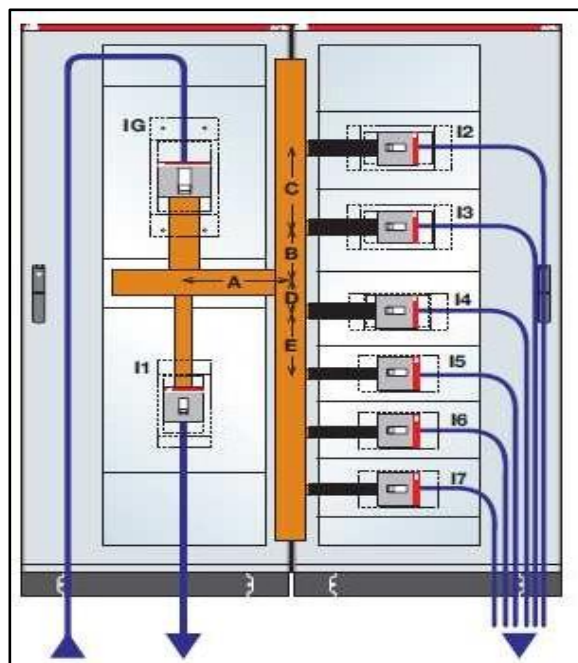


Figura 5: Plano mecánico de un tablero eléctrico

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°9. ABB

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

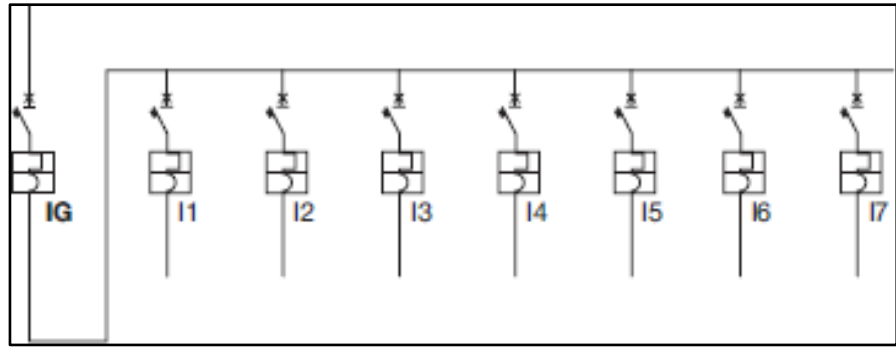


Figura 6: Plano unifilar de un tablero eléctrico

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N° 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. 30).

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 (Porraz, 2018, p. 55).

La Figura 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 7: Módulo de control de sincronización y carga compartida, marca Comap, IntelliGen Ntc BaseBox

Fuente: [https://www.comap-control.com/products/detail/inteligen-ntc-basebox#prettyPhoto\[pp_gal\]/0/](https://www.comap-control.com/products/detail/inteligen-ntc-basebox#prettyPhoto[pp_gal]/0/)

2.2.1.2.1. Condiciones para Sincronismo

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”.

En la Figura 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.

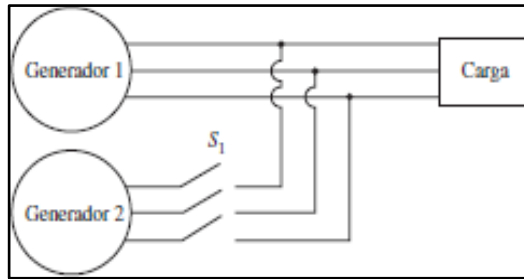


Figura 8: Diagrama multifilar de conexión de un generador síncrono en un sistema eléctrico existente

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”

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 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.

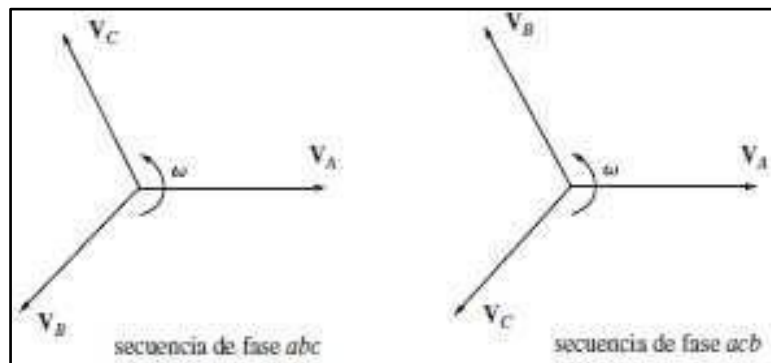


Figura 9: Secuencias de fases de 2 generadores, con igual sentido de giro

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”

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

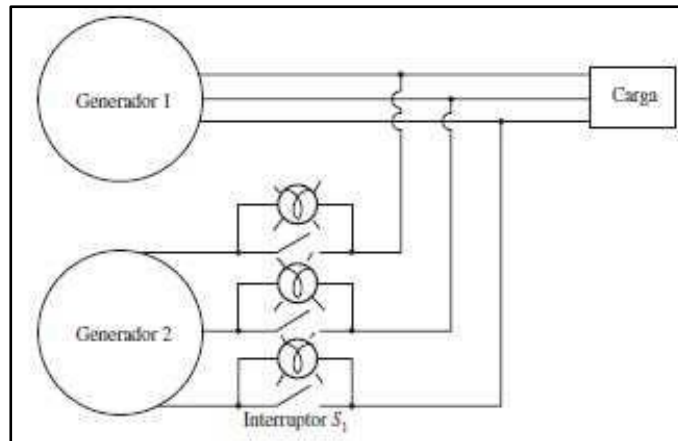


Figura 10: Método de las 3 lámparas, para asegurar la secuencia de fase del sistema

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”.

El sincronoscopio (Figura 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 (Chapman, 2012, p. 175).

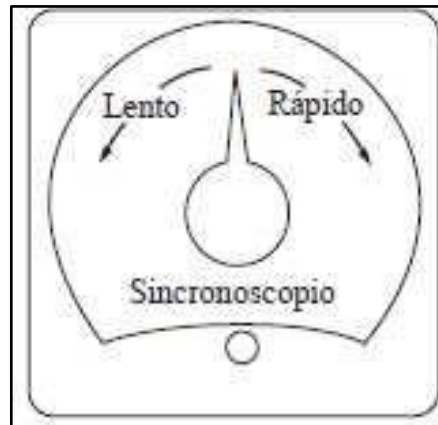


Figura 11: Sincronoscopio

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 66)

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

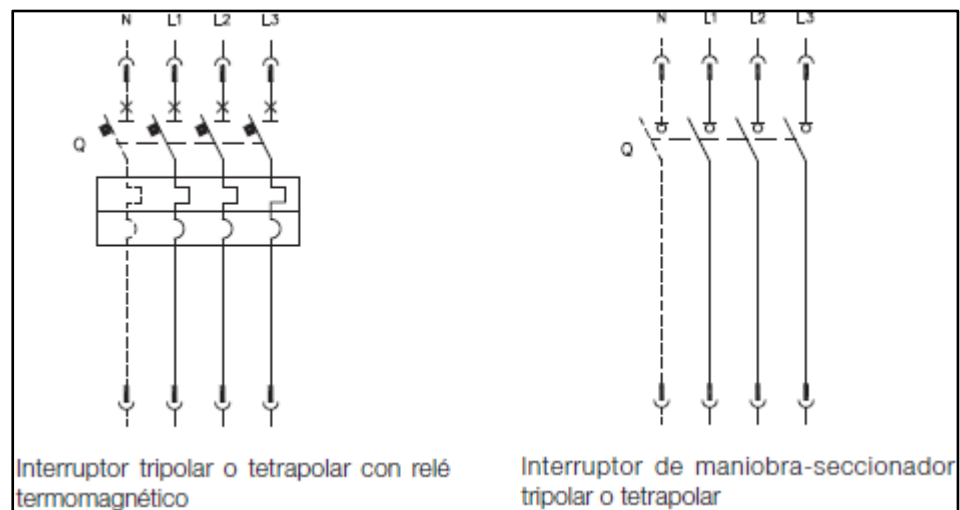


Figura 12: Esquema eléctrico de un interruptor termomagnético (lado izquierdo) y un interruptor seccionador (lado derecho)

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

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

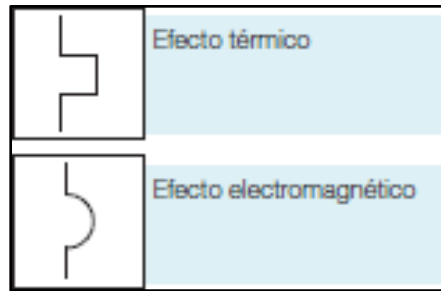


Figura 13: Relés de protección en un interruptor automático

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 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.

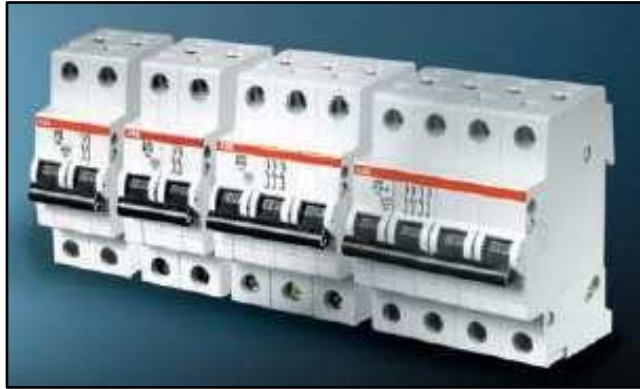


Figura 14: Interruptores automáticos modulares o Miniature Circuit Breaker (MCB)

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

En la siguiente Figura 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 15: Interruptores automáticos en caja moldeable o Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°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 16).



Figura 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. 179).

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 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.

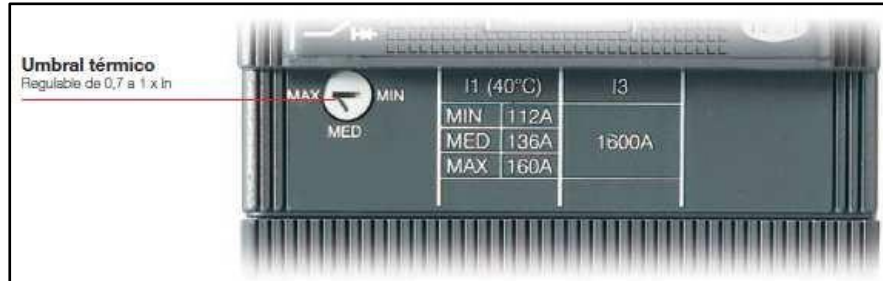


Figura 17: Relé térmico de un interruptor MCCB, regulable hasta el 70% de su capacidad

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:

- 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 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 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. 75).

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. 71).

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° 1, 3 y 5, podemos obtener los valores de potencia aparente, activa y reactiva respectivamente, en un sistema trifásico.

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

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_{3\phi} \times I \dots\dots\dots \text{Ecuación N}^\circ 1$$

$$S_{1\phi} = V_{1\phi} \times I \dots\dots\dots \text{Ecuación N}^\circ 2$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_{3\phi} \times I \times \cos\phi \dots\dots\dots \text{Ecuación N}^\circ 3$$

$$P_{1\phi} = V_{1\phi} \times I \times \cos\phi \dots\dots\dots \text{Ecuación N}^\circ 4$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_{3\phi} \times I \times \sin\phi \dots\dots\dots \text{Ecuación N}^\circ 5$$

$$Q_{1\phi} = V_{1\phi} \times I \times \sin\phi \dots\dots\dots \text{Ecuación N}^\circ 6$$

El $\cos\phi$, viene hacer el coseno del ángulo ϕ , que forman la potencia activa y aparente, mostrada en la ecuación N^o7.

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.

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

El triángulo de potencias (forma geométrica de un triángulo rectángulo) de la Figura 18, ayuda a comprender de forma gráfica al $\cos\phi$ y factor de potencia. Y la ecuación N^o8, muestra su relación.

$$S_{3\phi}^2 = P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación N}^\circ 8$$

$S_{3\phi}$: 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).

$\sin\phi$: Cociente de la potencia reactiva y aparente (VAr/VA).

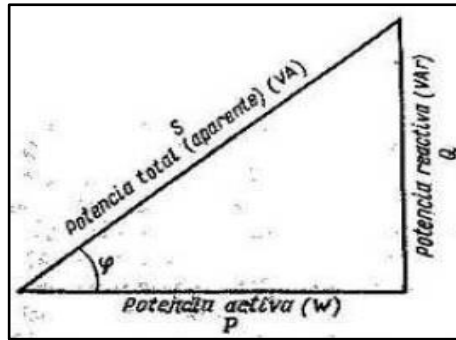


Figura 18: Triángulo de potencias de una carga

Fuente: Fundamentos de electrotecnia, Kuznetsov

La Ecuación N°9, ayuda a calcular la tensión de un sistema monofásico (Línea viva y neutro). La tensión se reduce sobre $\sqrt{3}$.

$$V_{1\phi} = \frac{V_{3\phi}}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots \text{Ecuación N°9}$$

Para conocer la corriente nominal o que consume la carga “I”, en un sistema trifásico, despejamos la variable de las Ecuaciones N°1 y 3, respectivamente. La Ecuación N° 10, se utiliza cuando la carga esta denominada en unidades VA y la Ecuación N° 11, cuando sus unidades están en W,

$$I = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V_{3\phi}} \dots \dots \dots \text{Ecuación N°10}$$

$$I = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V_{3\phi} \times \cos\phi} \dots \dots \dots \text{Ecuación N°11}$$

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

$$I = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V_{1\phi}} \dots \dots \dots \text{Ecuación N°12}$$

$$I = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V_{1\phi} \times \cos\phi} \dots \dots \dots \text{Ecuación N°13}$$

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 3, se muestran las de uso frecuente:

Tabla 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
0,0002930 7	0,2519958	1	0,0003930 1	0,0003984 7
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 2019

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

$$I_n = 1.25 \times I \dots\dots\dots \text{Ecuación N } ^\circ 14$$

Dónde:

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° 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 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 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 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		It
	I _{max} [A]	It	I _{max} [A]	It	I _{max} [A]	It	I _{max} [A]	It	
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 6 para el caso particular del modelo T7S de 1250 A.

Tabla 6: Desclasificación por temperatura para interruptores automáticos con relé electrónico, modelo T7S, de marca ABB

Tmax T7 1250 (versiones S-H-L)								
	hasta 40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
Fijo	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t
VR	1250	1	1250	1	1250	1	1118	0,89
EF-HR	1250	1	1250	1	1118	0,89	980	0,78
Extraíble								
VR	1250	1	1250	1	1141	0,91	1021	0,82
EF-HR	1250	1	1250	1	1118	0,89	980	0,78

EF=Anteriores prolongados; HR=Posteriores horizontales; VR=Posteriores verticales

Fuente: Manual técnico de instalaciones eléctricas. ABB

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

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

$$I_n \times F_{R,A} \times F_{R,T} \dots\dots\dots \text{Ecuación N°15}$$

$$U_E \times F_{R,A} \dots\dots\dots \text{Ecuación N°16}$$

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

- **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”:

- a) Robustez suficiente para soportar los esfuerzos mecánicos de la máxima fuerza posible.
- b) Capacidad de los conductores para soportar los esfuerzos térmicos de la corriente más alta que pueda ocurrir.
- c) Rapidez de respuesta del sistema de protecciones para interrumpir y aislar la zona donde aparezca un cortocircuito.
- d) 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 lcc y proporcionar la efectividad del funcionamiento, debemos determinar su valor, en la selección de los ITM. Existen métodos matemáticos para calcular la lcc.

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:

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

- a) Generador síncrono:
 - Tensión de línea (Vac)
 - Potencia aparente en vacío (VA)
 - Reactancia subtransitoria (%)
- b) Conductores eléctricos de BT:
 - Longitud de la trayectoria (m)
 - Sección del conductor (mm^2)
 - La resistividad del conductor ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)
- c) Equipos de maniobra (Interruptores)
 - Reactancia ($\text{m } \Omega$)
- d) 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° 17, calculamos su reactancia estimada y con las Ecuaciones N° 18 y 19, respectivamente, la resistencia en BT y MT.

$$X_{GS} = X_d'' \times \frac{V_{GS}^2}{S_{GS}} \dots\dots\dots \text{Ecuación N°17}$$

$$R_{GS} = R_{GS,BT} = (0,1 \text{ al } 0,2) \times X_{GS} \dots\dots\dots \text{Ecuación N°18}$$

$$R_{GS} = R_{GS,AT} = (0,05 \text{ al } 0,1) \times X_{GS} \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 19}$$

Dónde:

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 ()

$R_{GS,BT}$: 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 7, entrega valores a estimar, según el tipo de generador

Tabla 7: Valores de X_d de alternador 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

e) Conductores eléctricos de BT: la ecuación N° 20 y 21,

permiten calcular la reactancia y resistencia del conductor, respectivamente.

$$X_C = X_{int} \times I \dots\dots\dots \text{Ecuación N}^\circ 20$$

$$R_C = \rho \times \frac{l}{S} \dots\dots\dots \text{Ecuación N}^\circ 21$$

Dónde:

X_C : Reactancias del conductor (Ω)

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

l : Longitud del conductor (m)








R_C : Resistencia del conductor (Ω)

ρ : Resistencia del conductor ($\Omega mm^2/m$)

S : sección del conductor por fase (mm^2)

En BT, los conductores de sección inferior a 150 mm², solo se considera el valor de la resistencia ($R_C < 0,15 m \Omega /m$, para $s > 150 mm^2$). La Tabla 8, entrega valores estimados, para el valor de la reactancia según el tipo de instalación.

Tabla 8: 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	0,06-0,1	0,1-0,2	0,08-0,09	0,09-0,1	0,14-0,15	0,18-0,20

Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

La Tabla 9, estima el valor de resistividad de los conductores.

Tabla 9: Valores de la resistividad de los conductores, según la lcc

Regla	Resistividad (*)	Valor de la resistividad (Ω mm ² /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 solicitaciones 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 Ω mm²/m para el cobre y 0,029 Ω mm²/m aluminio.
(**) N la sección del conductor de neutro es inferior a la de los conductores de fase.

Fuente: Cuaderno técnico N° 158. Schneider

- f) Equipos de maniobra: estos valores de las ecuaciones N° 22 y 23, aplican para equipos de maniobra como los interruptores.

$$X_{ITM} = 0,15m\Omega \dots \dots \dots \text{Ecuación N } ^\circ 22$$

$$R_{ITM} = 0 \dots \dots \dots \text{Ecuación N } ^\circ 23$$

Dónde:

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

R_{ITM} : Reactancia estimada considerada (Ω)

- g) 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.

$$X_M = X''_d \times \frac{V_M^2}{\frac{P_M}{n \times \cos \phi}} \dots \dots \dots \text{Ecuación N}^\circ 24$$

$$R_M = R_{M,BT} = (0,1 \text{ al } 0,2) \times X_M \dots \dots \dots \text{Ecuación N}^\circ 25$$

$$R_M = R_{M,AT} = (0,05 \text{ al } 0,1) \times X_M \dots \dots \dots \text{Ecuación N}^\circ 26$$

Dónde:

X_M : Reactancia del motor asíncrono (Ω).

V_M : Voltaje de operación (Vac).

P_M : Potencia activa (W).

n : 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 10. La intensidad que incrementa el motor debe ser considerada con el cable conductor aguas arriba.

Tabla 10: 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° 28), que se encuentren aguas arriba del punto de falla por cortocircuito, obteniendo la impedancia equivalente afectadas por I_{cc} .

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

Dónde:

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

Reemplazando en la ecuación N°29, para obtener la I_{cc} trifásica en un sistema equilibrado ($I_{CC3\phi}$).

$$I_{CC3\phi} = \frac{V}{\sqrt{3} \times Z_{CC}} \dots \dots \dots \text{Ecuación N}^\circ 29$$

Consideramos la $I_{CC3\phi}$ por generar frecuentemente las corrientes más elevadas, comparado con las I_{cc} bifásicos y monofásicos. En la Figura 19, podemos observar las relaciones de I_{cc} , en el cual si asumimos un valor “ Z_{cc} ” concluimos en que las $I_{CC3\phi}$ son más elevadas que en los otros casos.

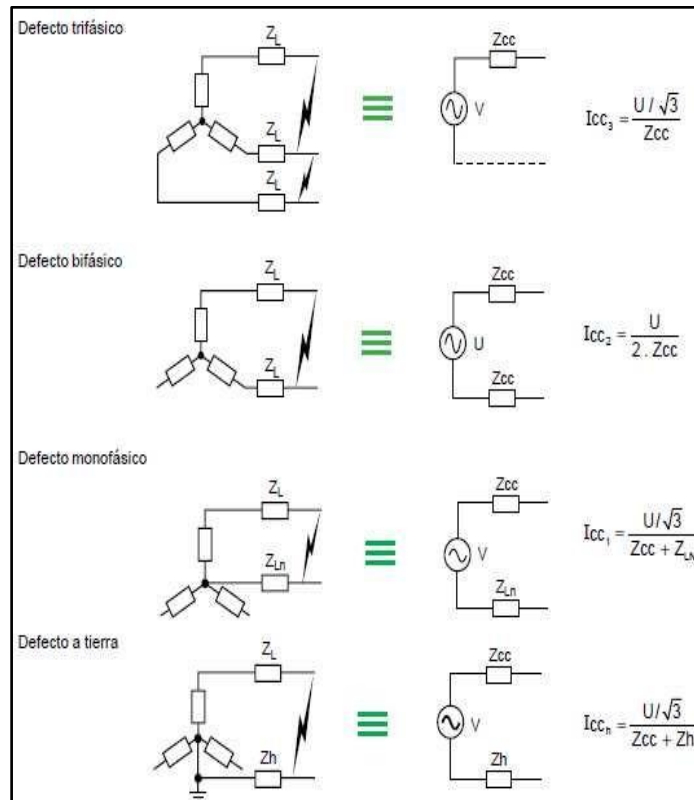


Figura 19: Tipos de I_{cc}

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° 30.

$$i_p = K \times \sqrt{2} \times I_{CC,3\phi} \dots \dots \dots \text{Ecuación N}^\circ 30$$

Dónde:

K : Factor en Función R/X o R/L

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

En la siguiente Figura 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 .

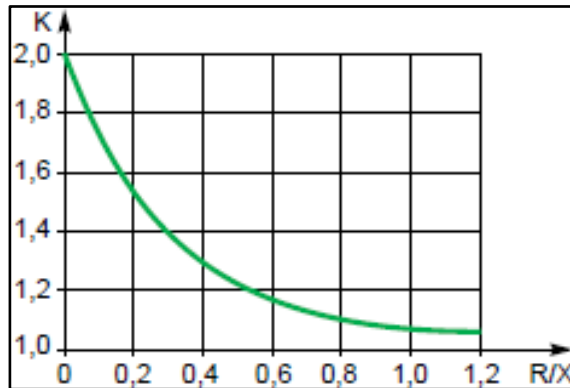


Figura 20: Relación del factor K con R/X

Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

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

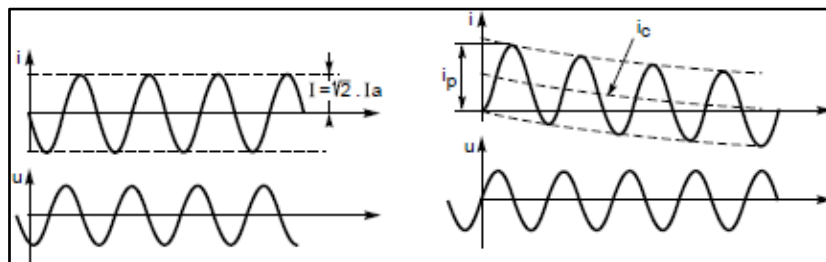


Figura 21: Casos extremos de establecimiento del lcc, lado izquierdo lcc simétrica y lado derecho lcc asimétrica

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 :

$$K = 1,02 + 0,98 \times e^{\frac{-3 \times R}{X}} \dots\dots\dots \text{Ecuación N}^\circ 31$$

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”:

- 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 reemplazadas 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 22, observamos al ITM (parte móvil) con su elemento de fijación. Para transformar a la versión enchufable y extraíble.



Figura 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 Electr6genos

2.2.2.1. Generador

“Los generadores s6ncronos trif6sicos son la fuente principal de toda la energ6a el6ctrica que consumimos. Estas m6quinas son los convertidores de energ6a m6s grandes del mundo. Convierten energ6a mec6nica en energ6a el6ctrica, en potencias de hasta 1500 MW” (Wildi, 2007, p. 346).

Los GE tambi6n conocidos como alternadores, por producir energ6a el6ctrica de AC, en base al principio de inducci6n electromagn6tica. Necesitan de una fuente de energ6a mec6nica para la conversi6n, denominado motor primo. En las centrales de generaci6n el6ctrica disponen de fuentes primarias para el funcionamiento como las energ6as renovables como el agua de los r6os y energ6as no renovables como el gas natural, petr6leo y mediante la desintegraci6n de elementos pesados como el uranio.

2.2.2.2. Funcionamiento

“El funcionamiento de los generadores s6ncronos se basa en el fen6meno de inducci6n electromagn6tica. 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. 144).

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 23) donde se alojan los devanados trifásicos inducidos que generan la corriente eléctrica. Siendo diseñados en conexión estrella o triángulo.

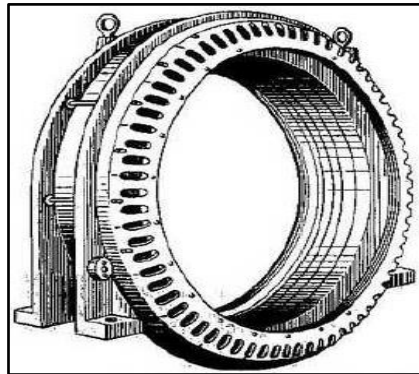


Figura N° 23: Estator de un alternador sincrónico

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 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.

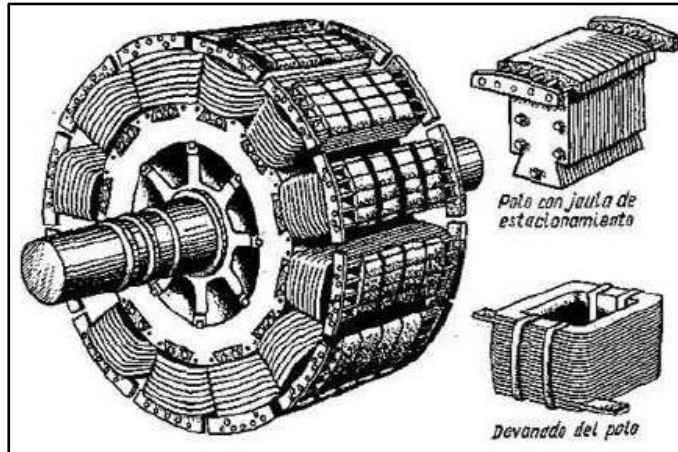


Figura 24: Rotor de polos salientes

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. 358)

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

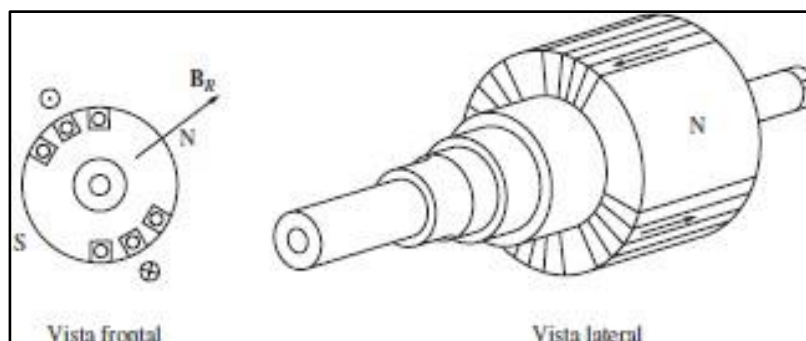


Figura 25: Rotor con 2 polos lisos en una máquina síncrona

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. 349)

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° 39, podemos observar la relación de la frecuencia generada y el número de polos.

$$f = \frac{p \cdot n}{120} \dots\dots\dots \text{Ecuación N°32}$$

Dónde:

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

p : Número de polos del generador, rotor.

n : Velocidad de rotor o sincronica (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 Mora, 2008).

En el caso de aportar al sector de la generación se conoce casos de agrupamientos de GE, en centrales termoeléctricas convencionales.

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. 455).

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. Definición de términos básicos

- **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.
- **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.
- **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.
- **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.
- **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.
- **IEC:** Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission), organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.
- **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 que fluye a través de una bobina.
- **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.
- **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° .
- **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.
- **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.
- **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 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°.
- **Tablero autoportado:** Es un envolvente metálica (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.
- **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).
- **Norma IEC 61439-1:** Es un estándar definido por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) destinado a garantizar la concepción óptima y el buen funcionamiento de tableros armados.
- **Norma IEC 60947-1 y 60947-2:** Agrupan las definiciones, las prescripciones y los test comunes a todo el material eléctrico en baja tensión, se aplican a los interruptores y a sus unidades de control. Características de funcionamiento de los interruptores dependen de las unidades de control o de los relés que comandan la apertura en las condiciones definidas.
- **Norma IEC 60529:** Establece cómo clasificar los grados de protección

proporcionados por los contenedores que resguardan los materiales eléctricos de su equipo.

- **Norma CNE, regla 160-306:** Capacidad nominal o selección de disparo de los dispositivos de sobrecarga
- **Norma IEC 60909:** Establece el método de cálculo de las corrientes de cortocircuito en un sistema trifásico.
- **Norma IEC 60898:** Se relaciona con la corriente alterna (AC) e interruptores de circuito de baja tensión (MCB): Podemos encontrarlos en viviendas, pequeñas tiendas u oficinas.
- **Norma NEMA 250:** La National Electrical Manufacturers Association (NEMA) es una organización de normalización en Washington, EE.UU., que publica una serie de estándares técnicos, hace referencia básicamente a la protección de personas contra el contacto involuntario con objetos del equipo, así como a la protección frente a influencias externas sobre un armario.
- **Norma UL 50, 50E:** Las normas UL 50, 50E se basan en las normas NEMA 250. Mientras que se ocupan de muchos de los mismos puntos, NEMA simplemente indica la intención del diseño pero no exige el cumplimiento a través de las pruebas de un tercero y visitas de cumplimiento en el sitio
- **Norma DIN 46433:** Corriente admisible para platina de cobre.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1. Modelo de solución propuesto

3.1.1. Descripción del proyecto

El proyecto a desarrollarse en la provincia Datan Del Marañón, tiene la necesidad del suministro de energía para el desarrollo las actividades necesarias como minería, salud, etc. Al no disponer de la energía por medio de un concesionario, la alternativa propuesta es la habilitación de 3 GE de capacidades 550 KW en BT de 460V, solicitando mecanismos que permitan el sincronismo y funcionamiento en paralelo de las unidades.

De las cuales 2 GE trabajaran 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.

3.1.2. 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.

A. Ubicación geográfica de la instalación

La provincia del Datem del Marañón es una de las ocho

que conforman el departamento de Loreto en el Nororiente del Perú. Limita con la República del Ecuador al Norte, con las provincias de Loreto y Alto Amazonas el Este, con el departamento de San Martín al Sur y el departamento de Amazonas al Oeste

La capital, San Lorenzo, se encuentra situada a 133 msnm y cuenta con una población de 6 532 habitantes.

B. 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 11).

Tabla 11: *Condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa de la Provincia Datem Del Maraón*

Variable		Valor
TEMPERATURA °C	Máxima	35
	Promedio	26.6
	Mínima	21.9
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 12).

Tabla 12: *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 periodo de 24 h \leq 35 °C	
	Temperatura mínima \geq -5 °C	

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

C. 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.

D. 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 IPP 55.

- Deben disponer de bloqueos mecánicos en las puertas, mientras el sistema este energizado.
- Deben disponer de un diseño modular.
- Ventilación por rejillas (natural).

E. 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.

F. 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 1250 A y para un cortocircuito simétrico de 20 KA.

3.1.3. Análisis de recopilación de información

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 seleccionado con certeza, ya que este será el gestor principal de los GE y responsable del suministro eléctrico.

Los interruptores de potencia, deben garantizar la protección de los equipos de alta prioridad y valor económico como los GE, frente a las fallas eléctricas. Estos también deben estar preparados, para ser comandados por los módulos de sincronismo, en la apertura y bloqueo de los GE; cuando cumplen las condiciones de sincronismo. Para la selección de los ITM, procedemos a verificar los parámetros

solicitados; garantizando la protección del sistema.

La Figura 26, representa mediante un esquema unifilar, el sistema eléctrico del diseño, en donde observamos en la parte superior a los 3 GE y aguas abajo sus respectivas protecciones por ITM. Los interruptores de llegada y salida están conectados mediante una barra principal, finalmente aguas abajo del ITM de salida, la carga a energizar.

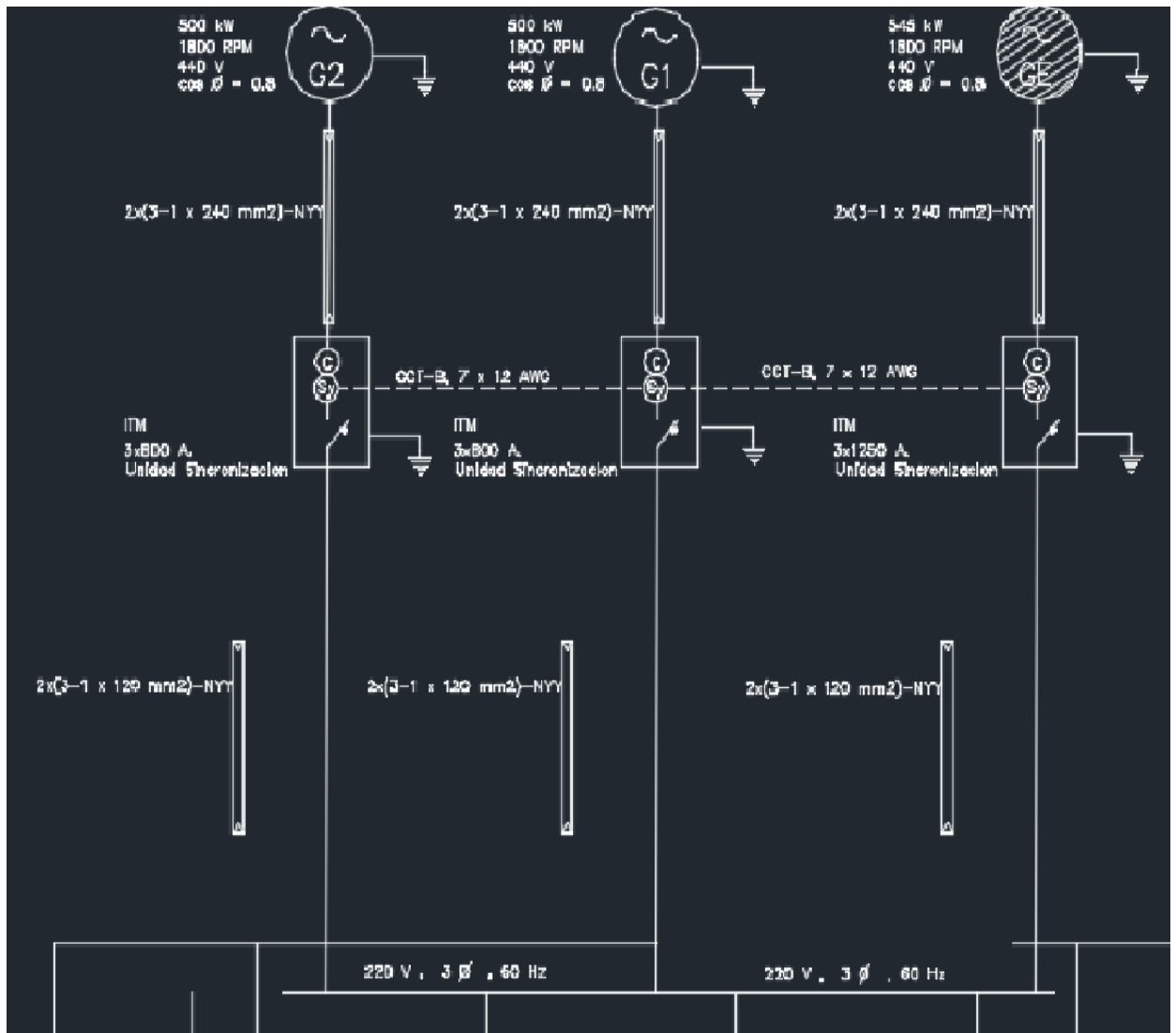


Figura 26: Diagrama unifilar I de sincronismo de 3 GE

Elaboración: DATEM DEL MARAÑÓN

3.1.4. Diseño de tableros eléctricos de sincronismo y protección

3.1.4.1. Selección del módulo de sincronismo

Módulo de Sincronismo InteliGen NTC Base BOX

De acuerdo a la filosofía del funcionamiento de los grupos electrógenos se elige el modulo Sincronismo InteliGen NTC Base BOX por sus siguientes características y ventajas:

- Comunicación CAN con motores electrónicos
- Conexión directa con pantallas remotas InteliVison
- PLC integrado con funciones programables

Funciones del módulo:

- Control y monitoreo completo de grupo electrógeno

Modo MINT

- Sincronización automático de grupos electrógenos
- Paralelismo entre grupos electrógenos
- Optimizador y balanceo de horas de operación
- Repartidor de carga activa entre grupos electrógenos.

Modo SPTM (grupo electrógeno + red comercial)

- Capacidad de realizar transferencia automática y manual; y re transferencia cerrada.
- Control automático y manual del interruptor principal de la red comercial
- Control automático y manual del interruptor de protección del grupo electrogeno

Modo SPI:

- Sincronismo automatico entre grupos electrógenos con red comercial presente sin necesidad de control del interruptor de la red comercial
- Paralelismo entre grupos electrógenos
- Optimizador y balanceo de horas de operación

Gestión de potencia

Basado en Kw, Kva o % de la potencia nominal

- **Baseload:** ajuste potencia fija entregada por el grupo electrógeno y variaciones entregada por red comercial
- **Peak shaving:** ajuste potencia fija entregada por la red comercial y variaciones entregadas por grupo electrógeno

Parámetros de medición digitales del grupo electrógeno.

- Potencia de salida kW/kVA/kVAr.
- Revoluciones del motor
- Factor de potencia
- Presión de aceite
- Nivel de combustible
- Contador de horas de operación
- Contador de energia kWh, KVAhr
- Tensión de salida
- Corriente de salida
- Temperatura de motor
- Consumo de combustible

- Voltaje de batería

Protección de apagado y alarma por Seguridad

- Sobre o baja revoluciones
- Baja Presión de Aceite
- Alta Temperatura del motor
- Bajo nivel de combustible.
- Sobre o Bajo Voltaje de Baterías.
- Sobre intentos de arranque (overcrank)
- Asimetría de voltaje y rotación de fases.

Protección de apagado y alarma por Seguridad

- Interfaz de usuario personalizable, intuitivo, con display gráfico y de fácil manipulación.
- Controlador Completo: Control, monitoreo remoto de Equipo, Transferencia Automática y Sincronismo en un solo modulo.
- Redundancia de controlador para aplicaciones de control critico de energía.
- 7 niveles de seguridad con contraseña, para bloqueo del controlador y configuración.
- Registro de hasta 1,000 eventos, ejecuciones y parámetros de medición con fecha y hora configurable según necesidad.
- Monitoreo y control remoto vía puertos de comunicación integrados: 01 x RS232, 02 x RS485, RJ-45 y USB.
- Acceso a Internet a través de Ethernet, GPRS, 3G.

3.1.4.2. Selección de los interruptores de protección

A. Calculo de la In de los ITM

- Calculo de la corriente de la carga

Los 3 GE son de iguales características se adjunta en la tabla 13, la información necesaria para el diseño.

Tabla 13: Información básica del GE, para calcular "I" en un sistema trifásico

Sistema de operación	3 F
Tensión de operación	460 Vac
Potencia aparente en vacío	550KW

Elaboración: Propia 2018

Utilizamos la ecuación N°11, para hallar la corriente del G.E a proteger, en un sistema trifásico y con potencia en unidades de kW.

$$I = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V_{3\phi} \times \cos\phi} = \frac{550000}{\sqrt{3} \times 460 \times 0.8} = 862,88 \text{ A}$$

- Calculo de la In de los ITM

Reemplazamos en la ecuación N°14, para dimensionar la In.

$$I_n = 1.25 \times I = 1.25 \times 862,88 \text{ A} = 1078,61$$

Según la información de la ubicación geográfica, los tableros será instalados a una altitud de 133 msnm y en la tabla 11, se menciona que la temperatura máxima es de 35C°. Conforme a la tabla 12, esta no será afectada al derrateo o desclasificación.

Con esta información revisamos en el catalogo en este caso en la marca ABB, un interruptor que cumpla con lo calculado. Observamos en la figura 27, en los cuadros marcados de color rojo, podemos destacar que el modelo del ITM será Tmax T7 dispone de valores de 800A a 1250A, pero disponemos de 5 modelos que varían en su Icu.

Inicialmente seleccionaremos un ITM, de modelo Tmax T7, de 1250A, con Icu de 40 KA/500V

Protección motores		Tmax T7			
Corriente permanente asignada, Iu	[A]	800/1000/1250			
Corriente asignada de servicio, Ih	[A]	-			
Polos	[N°]	3			
Tensión asignada de servicio, Ue	(AC) 50-60 Hz	690			
	(DC)	-			
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		S	H	L	V
	(AC) 50-60 Hz 220/230 V	85	100	200	200
	(AC) 50-60 Hz 380/415 V	50	70	120	150
	(AC) 50-60 Hz 440 V	50	65	100	130
	(AC) 50-60 Hz 500 V	40	50	85	100
	(AC) 50-60 Hz 690 V	30	42	60	60

Figura 27: interruptores tipo regulable Tmax T7

Fuente: catalogo Técnico Tmax

B. Calculo 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 28.

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

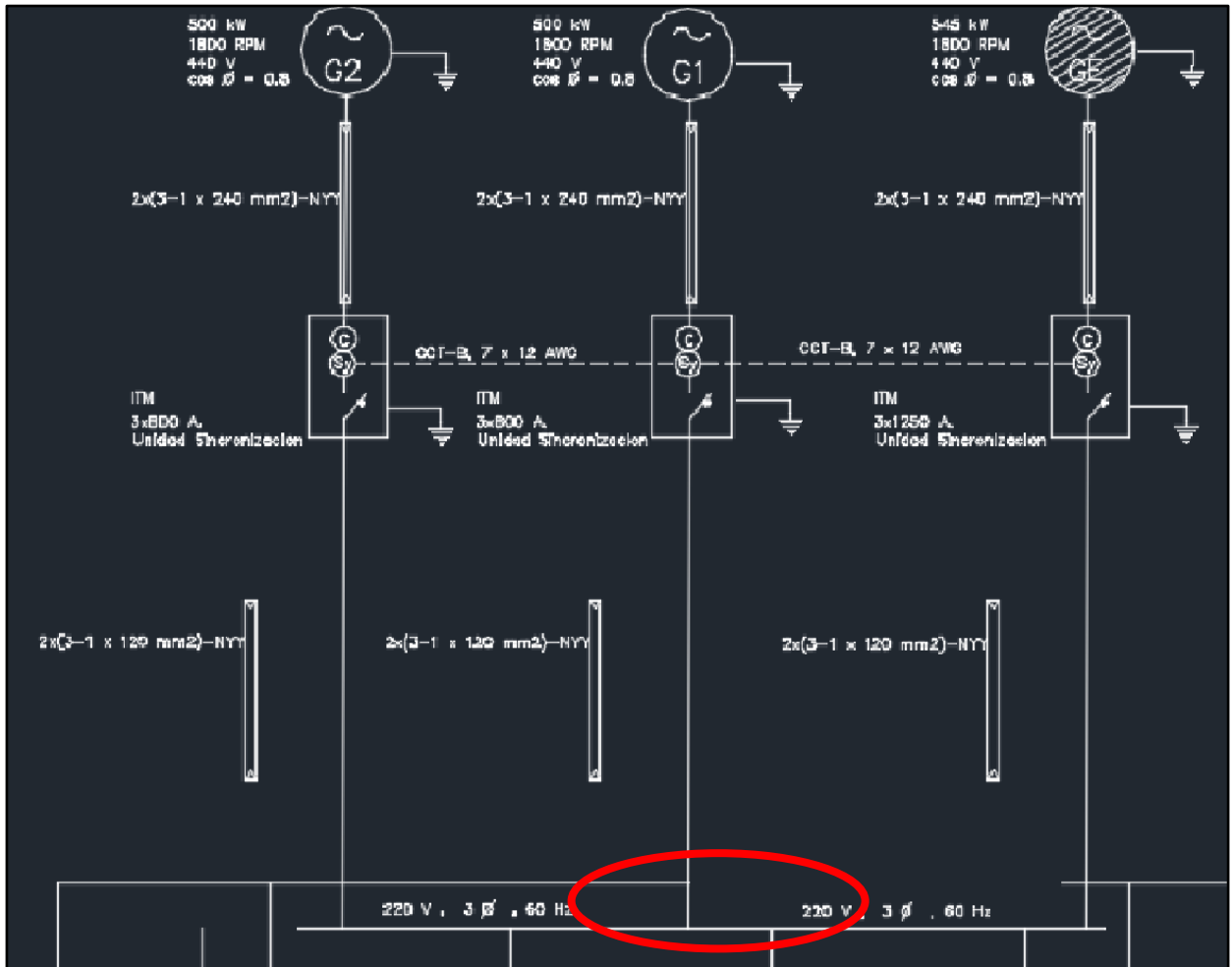


Figura 28: Referencia de un cortocircuito en la barra común del tablero

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 14, colocamos la información proporcionada de 1 GE

Tabla 14: 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 240 mm², tiene la capacidad de 1380 A, en la Tabla N° 18; esta información puede variar dependiendo del fabricante.

Tabla 15: *información técnica de conductor N2XOH*

Datos Eléctricos FREETOX N2XOH 0,6/1 kV Triple

Sección [mm ²]	Amperaje enterrado 20°C [A]	Amperaje aire 30°C [A]	Amperaje ducto a 20°C [A]
4	65	55	55
6	85	65	68
10	115	90	95
16	155	125	125
25	200	160	160
35	240	200	195
50	280	240	230
70	345	305	275
95	415	375	330
120	470	435	380
150	520	510	410
185	590	575	450
240	690	690	525
300	775	790	600
400	895	955	680
500	1010	1100	700

Fuente: INDECO

De las cuales se rescata la siguiente información, en la Tabla 16.

Tabla 16: *Información de los conductores eléctricos, para calcular la impedancia*

Longitud del conductor	20 m
Sección del conductor	2-3x240 mm ²
Resistividad	No indicada

Elaboración: Propia 2018

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

Según las Ecuaciones N° 22 y 23, adjuntamos la información en la Tabla 17.

Tabla 17: 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 8, el valor promedio de 20 % (Figura 29).

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

Figura 29. Selección del valor X_d de alternadores de polos salientes

Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

Reemplazando en la Ecuación N°17

$$X_{GS} = X_d'' \times \frac{V_{GS}^2}{S_{GS}} = 20\% \times \frac{460^2}{687,5 \times 10^3} = 0,31\Omega$$

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

$$R_{GS} = R_{GS,BT} = (0,15) \times X_{GS} = 0,15 \times 0,31 = 0,0465\Omega$$

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

Reactancia del conductor: en base a la Tabla N° 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 30).

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	0,06-0,1	0,1-0,2	0,08-0,09	0,09-0,1	0,14-0,15 0,18-0,20

Figura 30: Selección del valor de reactancia en conductores
Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

Reemplazando en la Ecuación N° 20.

$$X_C = X_{int} \times I = 0,15 \times 20 = 3 \times 10^{-3} \Omega$$

Resistencia del conductor: Obteniendo el valor de resistividad de la Tabla n.º 10. En la Figura 31, se detalla la selección del valor de resistividad.

Regla	Resistividad (*)	Valor de la resistividad (Ω mm ² /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

Figura 31: Selección del valor de resistividad en conductores
Fuente: Cuaderno técnico n.º 158. Schneider

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

$$R_C = \rho \times \frac{I}{S} = 0,0225 \times \frac{20}{240} = 1,875 \times 10^{-3} \Omega$$

- **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 31, están referidas en color rojo.

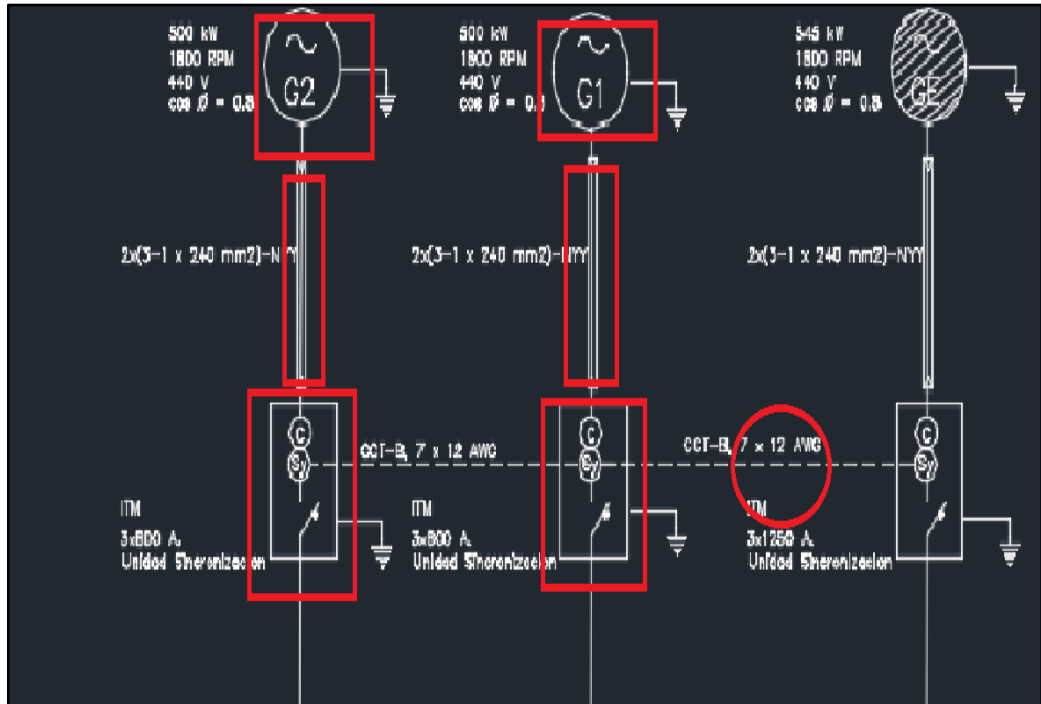


Figura 31: Selección del valor de resistividad en conductores
Elaboración: Propia

La sumatoria de todas las reactancias y resistencias, serán reemplazadas en la Ecuación N° 31.

Consolidando las reactancias y resistencias, recordando que son 2 unidades idénticas. Se adjunta las siguientes Tablas 18 y 19 respectivamente.

Tabla 18: Sumatoria de reactancias calculadas

Elemento	Cantidad	Reactancias (X)	Subtotal (X)
GE	3	0,31 Ω	0,93 Ω
Cable	3	$3 \times 10^{-3} \Omega$	$9 \times 10^{-3} \Omega$
ITM	3	$15 \times 10^{-3} \Omega$	$45 \times 10^{-3} \Omega$
		Total (X)	0,984 Ω

Elaboración: Propia 2018

Tabla 19: Sumatoria de resistencias calculadas

Elemento	Cantidad	Resistencias (R)	Subtotal (R)
GE	3	0,0465Ω	0,1395Ω
Cable	3	1,875x10 ⁻³ Ω	5,625x10 ⁻³ Ω
ITM	3	0Ω	0Ω
		Total (R)	0,145125Ω

Elaboración: Propia 2018

Ecuación N 28:

$$Z_{CC} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} = \sqrt{(0,984)^2 + (0,145125)^2} = 0,995 \Omega$$

- **Cálculo del $I_{CC3\phi}$**

Para conocer el valor de $I_{CC3\phi}$ generado en el punto de análisis, según la Figura 30, reemplazamos el valor obtenido en la Ecuación N 28, en la N 29.

$$I_{CC3\phi} = \frac{V}{\sqrt{3} \times Z_{CC}} = \frac{460}{\sqrt{3} \times 0,995} = 266,9A = 0,267KA$$

Con esta información podemos seleccionar el Icu en los ITM al nivel de tensión de operación. En la Figura 32, podemos interceptarla selección anterior en base al In, cual para el nivel de tensión de 500 Vac, Tmax T7. Tienen un Icu de 40 KA / 500 Vac, siendo el valor mínimo seleccionado.

Protección motores			Tmax T7			
Corriente permanente asignada, Iu	[A]		800/1000/1250			
Corriente asignada de servicio, Ih	[A]		-			
Polos	[N°]		3			
Tensión asignada de servicio, Ue	(AC) 50-60 Hz	[V]	690			
	(DC)	[V]	-			
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			S	H	L	V
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]		85	100	200	200
(AC) 50-60 Hz 380/415 V	[kA]		50	70	120	150
(AC) 50-60 Hz 440 V	[kA]		50	65	100	130
(AC) 50-60 Hz 500 V	[kA]		40	50	85	100
(AC) 50-60 Hz 690 V	[kA]		30	42	50	60

Figura 32: Interruptores tipo caja moldeable Tmax T7 de 1250 A

Fuente: Catálogo técnico Tmax. Generación T. ABB

C. 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 21. Calculando en la Ecuación N° 30.

$$i_p = K \times \sqrt{2} \times I_{CC,3\phi} = k \times \sqrt{2} \times 0,267KA$$

El valor de la constante K (Figura 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.

$$\frac{R}{T} = \frac{\text{Resistencia Total}}{\text{Reactancia Total}} = \frac{0,145125\Omega}{0,984\Omega} = 0.147$$

Interceptamos el valor R/X en la Figura 20. Obteniendo un valor aproximado de K = 1,65; ver Figura 33.

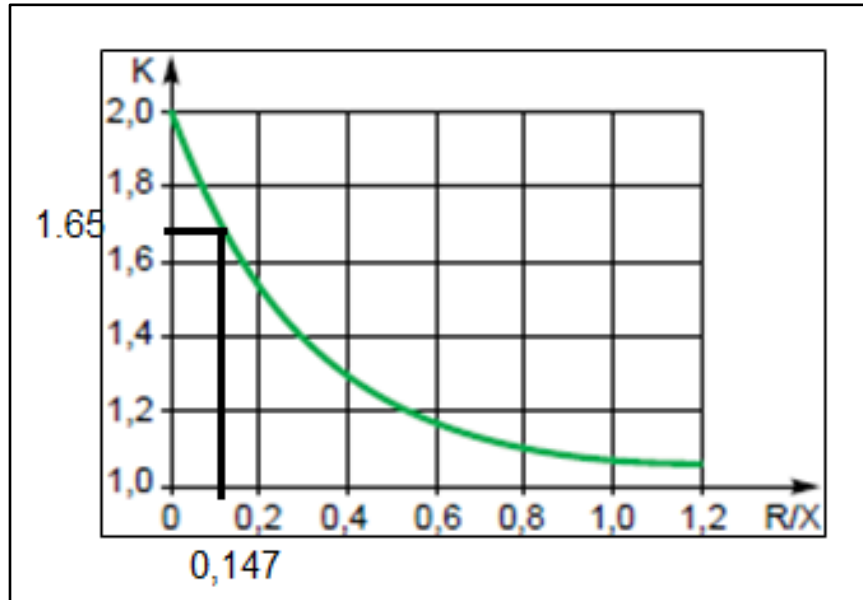


Figura 33: Intercepción del R/X para el valor K

Fuente: propia

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

$$K = 1,02 + 0,98 \times e^{\frac{-3 \times R}{X}} = 1,02 + 0,98 \times e^{\frac{-3 \times 0,145}{0,984}} = 1,65$$

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

$$i_p = K \times \sqrt{2} \times I_{CC,3\phi} = 1,65 \times \sqrt{2} \times 0,267 = 0,623 \text{ KA}$$

Verificamos el valor de diseño de los ITM T7, confirmando que los interruptores disponen de un lcm = 84 KA / 500 Vac, siendo superior al calculado. En la Figura 34.

			Tmax T7			
Corriente permanente asignada, Iu	[A]		800/1000/1250			
Corriente asignada de servicio, In	[A]		-			
Polos	[N°]		3			
Tensión asignada de servicio, Ue	(AC) 50-60 Hz	[V]	690			
	(DC)	[V]	-			
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			S	H	L	V
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]		85	100	200	200
(AC) 50-60 Hz 380/415 V	[kA]		50	70	120	150
(AC) 50-60 Hz 440 V	[kA]		50	65	100	130
(AC) 50-60 Hz 500 V	[kA]		40	50	85	100
(AC) 50-60 Hz 690 V	[kA]		30	42	50	60
Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito, Ics						
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[%Icu]		100%	100%	100%	100%
(AC) 50-60 Hz 380/415 V	[%Icu]		100%	100%	100%	100%
(AC) 50-60 Hz 440 V	[%Icu]		100%	100%	100%	100%
(AC) 50-60 Hz 500 V	[%Icu]		100%	100%	75%	100%
(AC) 50-60 Hz 690 V	[%Icu]		100%	75%	75%	75%
Poder asignado de cierre en cortocircuito, Icm						
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]		187	220	440	440
(AC) 50-60 Hz 380/415 V	[kA]		105	154	264	330
(AC) 50-60 Hz 440 V	[kA]		105	143	220	286
(AC) 50-60 Hz 500 V	[kA]		84	105	187	220
(AC) 50-60 Hz 690 V	[kA]		63	88,2	105	132
Tiempo de apertura (415 V)	[ms]		15	10	8	8

Figura 34: interruptores tipo caja moldeable Tmax T7

Fuente: catalogo técnico Tmax, Generacion T.ABB

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

En resumen, en la siguiente Tabla 20, se detallan los ITM seleccionados.

Tabla 20: Selección de los ITM para los tableros eléctricos

Equipo de protección	In	Icu	Modelo	Cantidad
ITM de protección de los GE	1250 A	40 KA / 500 Vac	1SDA062882R1 T7S 1250 M PR231/P LS/I In=1250A 3p F F 1250	3

Elaboración: Propia 2018

3.1.4.3. Selección de accesorios

Cabe resaltar que los interruptores motorizados sirven para el control remoto, cierre y apertura de este mismo.

Este listado se aplica para los modelos Tmax T7S

Kit de transferencia para rangos desde 1250 hasta 1600 A, equipado con:		
Código	Descripción	Cant
según selección	Interruptores automáticos de 3polos, T7M, según corriente	2
1SDA062116R1	Motor para la carga de resortes, 220...250 Vac, T7M	2
1SDA063548R1	Relé de apertura, 220...240 Vac AC/DC, T7M	2
1SDA063550R1	Relé de cierre, 220...240 Vac AC/DC, T7M	2
1SDA062102R1	Contactos auxiliares 2 O/C	2
1SDA063553R1	Contactos de señalización de actuación del relé	2
1SDA062129R1	Placa de enclavamiento para Int. Fijo.	2
1SDA062127R1	Kit de cables para enclavamiento horizontal	1
1SBL137001R1301	Contactador AF09-30-01-13 mas contacto 1NC	2
1SBN010110R1010	Contacto 1NA para AF09	2
1SBN030111R1000	Kit de enclavamiento para contactores VEM4	1

Nota:

- Los interruptores se pueden solicitar de acuerdo a la necesidad del cliente según la capacidad de ruptura y la corriente nominal.
- En stock se presenta los kits líneas abajo.

Figura 35: accesorios para Interruptor motorizado

Fuente: lista de precios ABB 2018

A) Motor para la carga de resortes, 220...250 Vac, T7M

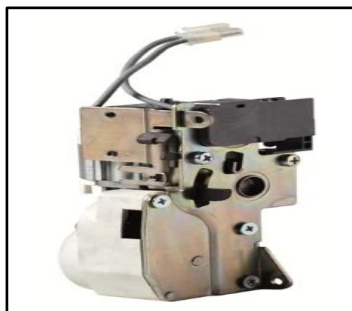


Figura 36: motor para resorte
Fuente: lista de precios ABB 2018

B) Relé de apertura y Relé de apertura



Figura 37: relé de apertura y cierre
Fuente: lista de precios ABB 2018

C) Contactos auxiliares

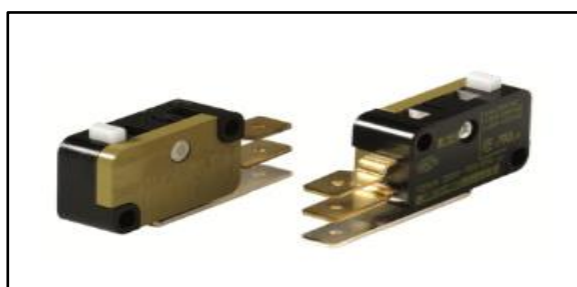


Figura 38: contactos auxiliares
Fuente: lista de precios ABB 2018

3.1.4.4. Diseño mecánico y selectividad de barra de cobre.

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.

A. Características mecánicas

- Diseño Modular

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

- Compartimiento Independiente

Cada gabinete tendrá control de un grupo electrógeno

- 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 IP 55

Nota: el gabinete será de la marca RITTAL con certificación internacional y estándares globales para un alto rendimiento.















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

Figura 39: Designación del grado IP 55











Fuente: Normas globales para gabinetes en la industria eléctrica.

Hoffman

B. 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 21: Capacidad amperimétrica de barrajes rectangulares de cobre para tableros eléctricos, norma DIN 46433

TABLA DE CAPACIDADES EN SISTEMAS DE BARRAS DE COBRE											
ANCHO X ALTO  (Milímetros)	AISLADOR  Resina Colada (Tipo OB)	AREA (Milímetros cuadrados)	PESO (Kg/m)	CAPACIDAD DE CORRIENTE ALTERNA 60HZ (Amperios)							
				SIN PINTAR				PINTADAS DE NEGRO MATE			
				1 	2 	3 	4 	1 	2 	3 	4 
15X3	1009	44.5	0.396	162	282	361		187	316	381	
25X3	1009	74.5	0.663	245	412	498		287	470	525	
30X5	1009	149	1.33	379	672	896		447	760	944	
40X5	1015	199	1.77	482	836	1090		573	952	1140	
40X10	1015	399	3.55	715	1290	1770	2280	850	1470	2000	2580
50X10	1030	499	4.44	852	1510	2040	2600	1020	1720	2320	2950
60X10	1030	599	5.33	985	1720	2300	2900	1180	1960	2610	3290
80X10	1030	799	7.11	1240	2110	2790	3450	1500	2410	3170	3980
100X10	FIBRA	999	8.89	1490	2480	3260	3980	1810	2850	3720	4530
120X10	FIBRA	1200	10.7	1740	2860	3740	4500	2110	3280	4270	5130

Fuente: https://issuu.com/jaimempaiz/docs/barra_de_cobre_y_sus_capacidades

- **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 T7S es 1250 A; considerando protección de pintura; la barra sería de dimensión 2 unidades de 50x10 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.

Tabla 22: Selección de la barra de conexión con los GE

ANCHO X ALTO (Milímetros)	AISLADOR Resina Colada (Tipo CB)	AREA (Milímetros cuadrados)	PESO (Kg/m)	PINTADAS DE NEGRO MATE			
				1	2	3 *	4 *
15X3	1009	44.5	0.396	187	316	381	
25X3	1009	74.5	0.663	287	470	525	
30X5	1009	149	1.33	447	760	944	
40X5	1015	199	1.77	573	952	1140	
40X10	1015	399	3.55	850	1470	2000	2580
50X10	1030	499	4.44	1020	1720	2320	2950
60X10	1030	599	5.33	1180	1960	2610	3290
80X10	1030	799	7.11	1500	2410	3170	3980
100X10	FIBRA	999	8.89	1810	2850	3720	4530
120X10	FIBRA	1200	10.7	2110	3280	4270	5130







Fuente: https://issuu.com/jaimepaiz/docs/barra_de_cobre_y_sus_capacidades

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

Recordando que, a futuro, pueden entrar en funcionamiento los 3 GE trabajando a un 90% de eficiencia, la barra común será dimensionada para tal caso. Siendo un aporte de 4218.7 A, ya considerado el sobredimensionamiento del 25 %.

Considerando la protección de pintura; la barra sería de dimensión 3(120x10) mm², por fase. Indicada en la Figura n.º 56.

Tabla 23: Selección de la barra principal del tablero

ANCHO X ALTO  (Milímetros)	AISLADOR  Resina Colada (Tipo OB)	AREA (Milímetros cuadrados)	PESO (Kg/m)	PINTADAS DE NEGRO MATE			
				1 	2 	3 	4 
15X3	1009	44.5	0.396	187	316	381	
25X3	1009	74.5	0.663	287	470	525	
30X5	1009	149	1.33	447	760	944	
40X5	1015	199	1.77	573	952	1140	
40X10	1015	399	3.55	850	1470	2000	2580
50X10	1030	499	4.44	1020	1720	2320	2950
60X10	1030	599	5.33	1180	1960	2610	3290
80X10	1030	799	7.11	1500	2410	3170	3980
100X10	FIBRA	999	8.89	1810	2850	3720	4530
120X10	FIBRA	1200	10.7	2110	3280	4270	5130

Fuente: https://issuu.com/jaimepaiz/docs/barra_de_cobre_y_sus_capacidades

Resumiendo, en la siguiente Tabla 24.Las barras seleccionadas:

Tabla 24: 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	2(50x10) mm ²	1720 A	1250 A
Barras Principal	3(120x10) mm ²	4270 A	1250 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 90 % de capacidad de los GE. Los GE trabajaran entre el 30 al 65 % de capacidad.			

Elaboración: Propia

C. Dibujo 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 40, se visualiza los tableros del tipo autoportado, importados de la marca RITTAL con estándares internacionales y certificación. Con los ITM en compartimientos independientes (todas las medidas están en milímetros).

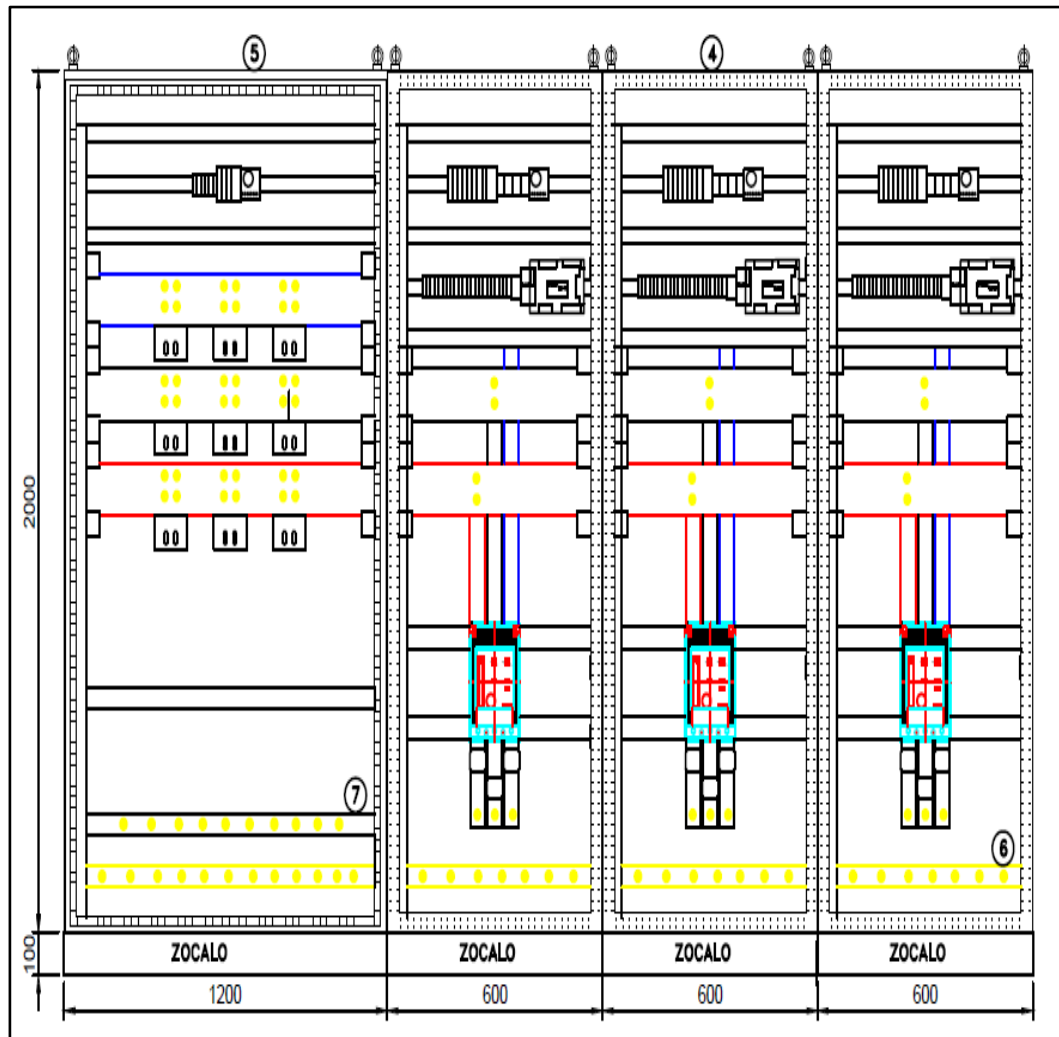


Figura 40: vista frontal, sin puerta y sin mandil de protección del tablero.

Elaboración: Propia.

Los tableros siendo modulares, deben ser de fácil desmontaje. En la figura 41. Se detallan las interconexiones de las barras principales.

En la figura 41, se muestra el espaciado de la parte posterior.

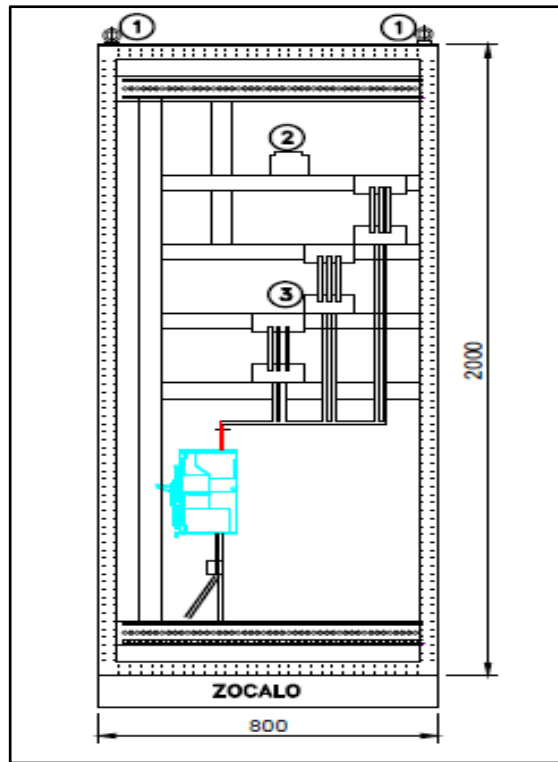


Figura 41: vista lateral derecha

Fuente: propia

En la figura 42, proporciona el área estimada donde se debe instalar los tablero

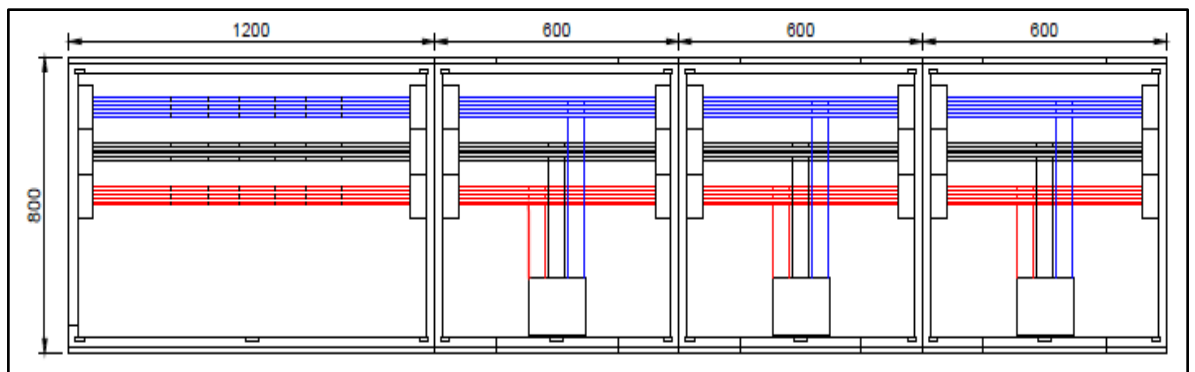
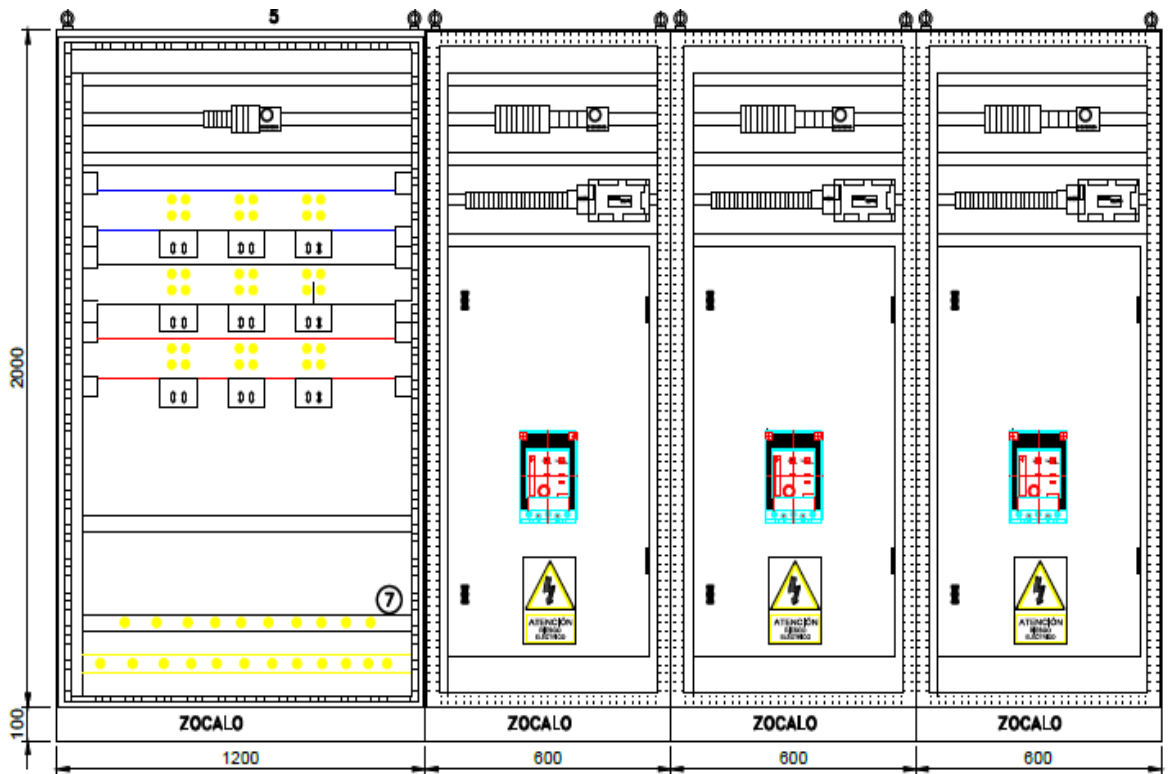


Figura 42: vista superior de los tableros

Fuente: propia

Los mandiles o bandejas abisagrados, observados en la figura 43. Limitan el acceso a las partes energizadas del tablero, como barras de cobre y cables de alimentación.

Figura 43: mandil abisagrado, para protección contra contactos directos



Fuente 43: mandil abisagrado, para protección contra contactos directos.

Fuete: propia

3.1.4.5. Diseño Eléctrico De Los Tableros

En la Figura n.º 63, se detalla por medio de un plano eléctrico, 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 trabajarán alternando con el tercero, que inicialmente se encontrará en “Stand by”.

Para arrancar a los GE de manera automática, se deben pasar al “Modo automático”; ubicado en el panel del módulo, en cada uno de los tableros. Los GE, sincronizarán 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. En ambos casos disponen de un botón de parada de emergencia, los cuales detienen a los GE y abren el ITM.

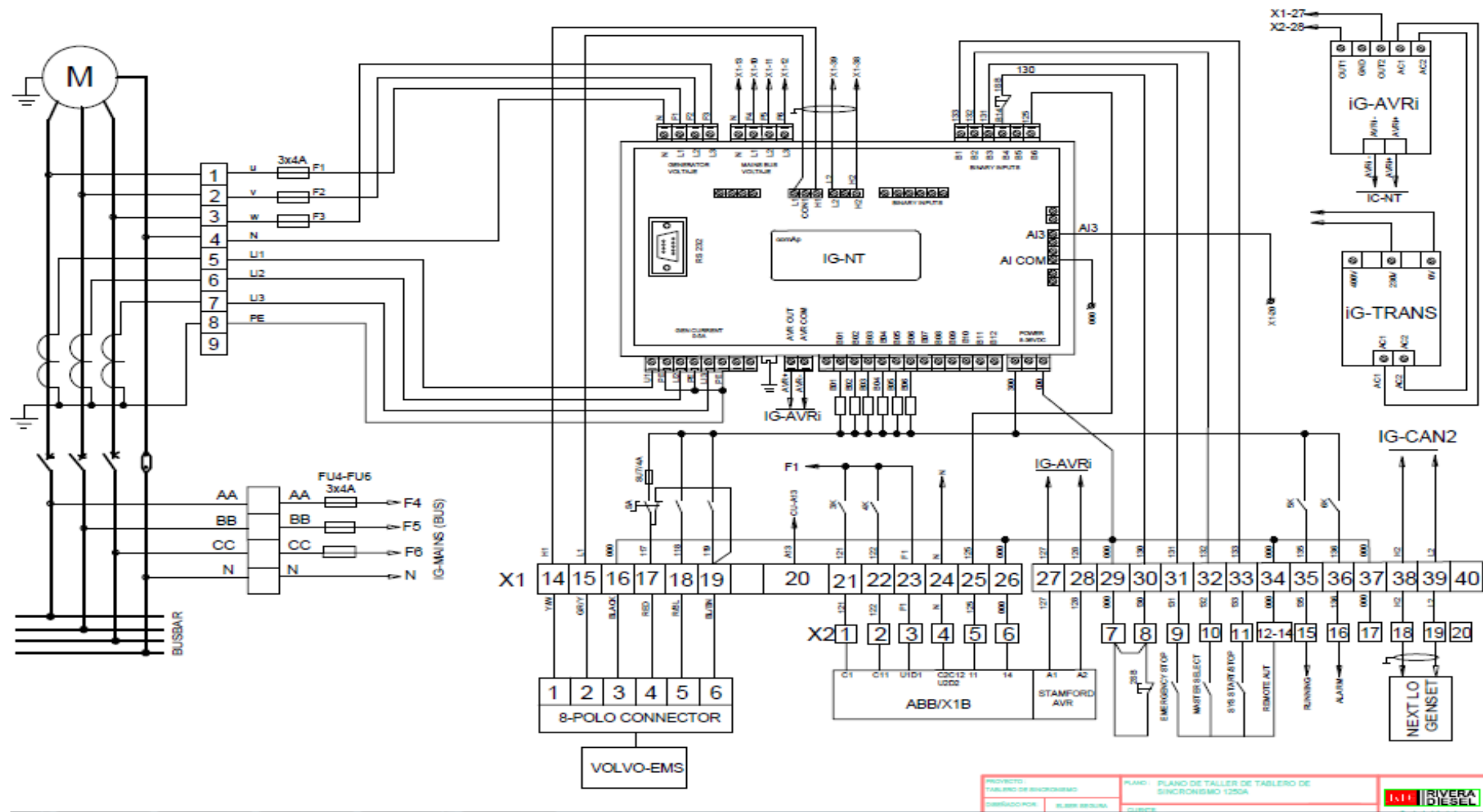


Figura 44: plano eléctrico

Fuente: propia.

3.2. Resultados

La investigación se desarrolló bajo las pautas que nos da las normas IEC 61439-1, IEC 60947-1, 60947-2, Norma IEC 60529, Norma CNE, regla 160-306, Norma IEC 60909, Norma IEC 60898, Norma NEMA 250, Norma UL 50, 50E, Norma DIN 46433.

Ello nos sirvió para realizar un diseño óptimo con los estándares de calidad y seguridad establecidos internacionalmente y nacional.

Para el diseño se tomó en cuenta la geografía donde se van a instalar los tableros, ya que con ello permitimos realizar, el diseño modular y la eficiencia de los accesorios como lo indica (Porraz Cruz , 2018) en su investigación donde diseña tableros en un poblado de la serranía peruana y toma como referencia importante la geografía, ya que su diseño cuenta con techo por las depreciaciones fluvial.

Así mismo en el caso de los parámetros eléctricos obtenidos en base a los cálculos realizados para la selección del interruptor termomagnético motorizado T7S que son I_{cu} , I_{cc} y I_{cs} , estos fueron mayores a los calculados por el trabajo de investigación de (Porraz Cruz , 2018), ya que la potencia de los Grupos electrógenos es superior, esto es porque la población requiere mayor consumo de energía eléctrica.

Al conocer la filosofía de trabajo de los grupos electrógenos se considera un módulo inteligente de la marca COMAP modelo InteliGen NTC BaseBox este mismo es superior en lectura de parámetros y protección de grupos electrógenos a los utilizados en los trabajos de investigación de (Fernandez Bravo & Loayza Lara , 2010) y (Ponce Sandoval & Montufar Chata, 2014)

A su vez este trabajo de investigación opto por diseñar los gabinetes con la marca Rittal ya que cuenta con certificación internacional y garantiza su grado de protección IPP55, en comparación con la investigación de (Porraz Cruz , 2018) donde su diseño del gabinete es de fabricación nacional, donde no hay un certificado que garantice el grado de protección

El diseño de los tableros de sincronismo garantizan la protección de los grupos electrógenos, y estos a su vez garantiza el abastecimiento permanente de energía eléctrica a la población.

CONCLUSIONES

El módulo de sincronismo InteliGen NTC BaseBox, no solo realiza el trabajo lógico entre generadores eléctricos. Si no que también consideraran las 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 con ello el diseño de los tableros eléctricos de sincronismo, realizan su función automática sin necesidad de tener a un operador, con ello se logra un abastecimiento permanente y continuo de energía en la población.

El diseño, dimensionamiento y selectividad de los componentes eléctricos y mecánicos tales como el interruptor motorizado de 1250A T7S con poder de ruptura 40KA y las barras de conexión de los G.E 2(50x10) mm² y barra principal 3(120x10)mm², nos dan una confiabilidad de trabajar sin fallas a futuro.

Podemos concluir que, para mantener la `protección de los grupos electrógenos y el abastecimiento permanente de energía eléctrica en el Distrito de San Lorenzo provincia Datem del Maraón se debe considerarse una construcción minuciosa y ergonómica del tablero eléctrico de sincronismo para que no ocurra fallas a futuro y esto repercuta en la población.

RECOMENDACIONES

- Para fines prácticos y de seguridad se recomienda interruptores de tipo extraíble, ya que promueven el mantenimiento preventivo (inspección de rutina, medidas, reajustes, posible reemplazo) y predictivo (recopilación de información de falla, para el cambio oportuno).
- Se recomienda un gabinete con certificación, dependiendo el grado de protección a evaluar, ya que garantizan su fabricación con procesos de producción adecuados y mayor duración, en corrosión y conductividad eléctrica.
- En la selección de los módulos de sincronismo, es recomendable y prioritario conocer la lógica de trabajo, con fin académico y laboral, ya que esta tecnología va incrementando mejoras en su integración.
- Para fines de cálculos se recomienda utilizar el programa DOC 3.5 de ABB, debido a que nos da una selección adecuada de los equipos de protección; proporciona un análisis del cortocircuito en tableros de baja tensión; ya que evita los errores de cálculos echo por uno mismo.

ANEXO

Anexo A: Norma IEC 61439-1

Anexo B: Norma 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

BIBLIOGRAFÍA

- 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 Prácticas. México: Cal. S. Díaz Mirón
- Kusnetsov, M, (1967). Fundamentos de electrotecnia. Moscú: Editorial Mir.
- Fraile, J. (2008). Maquinas Eléctricas. España: MxGraw-Hill//Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Shneider Electric Peru, S.A. (2010). Guía de Diseño de instalaciones eléctricas. Recuperando de <http://www.Shneider-electric.com>
- Holfman a Penta Ir company. (2010). 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](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.schneiderelectric.com.ar/documents/recursos/cuadernostecnicos/ct1581.pdf>.
- Schneider Electric S.A. (1998). Estudio térmico de los tableros eléctricos bt. Recuperado de [https://www.schneiderelectric.com.co/documents/soporte/ct- 145](https://www.schneiderelectric.com.co/documents/soporte/ct-145).
- ABB. (2011). Selectividad en baja tensión con interruptores automáticos ABB. Recuperado de <http://www.abb.es/abblibrary/DownloadCenter/default.aspx?CategoryID=9AAC124466&View=Result&DocumentKind=Technical+Publication&SortBy=Default&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/abblibrary/DownloadCenter/default.aspx?CategoryID=9AAC124466&View=Result&DocumentKind=Technical+Publication&SortBy=Default&ExpandAllResults=True>
- BB. (2011). Tmax. Generación T Interruptores automáticos en caja moldeada de baja tensión hasta 1600 A. Recuperado de https://library.e.abb.com/public/3b08be451a18368bc1257b49002f683f/1SC2_10015D0705.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>