



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de un tablero de distribución en baja
tensión para una planta de procesamiento de
residuos orgánicos urbanos**

TESINA

Que para obtener el título de
Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Jesús Emiliano Escobar Ventura

DIRECTOR DE TESINA

Dr. Hoover Mujica Ortega



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado DISEÑO DE UN TABLERO DE DISTRIBUCION EN BAJA TENSION PARA UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS ORGANICOS URBANOS que presenté para obtener el título de INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

JESUS EMILIANO ESCOBAR VENTURA
Número de cuenta: 317109746

Jurado asignado

Presidente: Ing. Benjamín Ramírez Hernández

Secretario: Dr. Paul Rolando Maya Ortiz

Vocal: Dr. Hoover Mujica Ortega

1^{er} suplente: Mtra. Gloria Correa Palacios

2^{do} suplente: Ing. Arturo Vélez Fajardo

Ciudad Universitaria, Departamento de Control y Robótica, Laboratorio de Automatización.

Ciudad de México.

Director de tesis

Dr. Hoover Mujica Ortega

Dedicatoria

A mi padre Jesús por su cariño y enseñanza del esfuerzo y perseverancia.

A mi madre Isabel por su amor y motivación.

A mi hermana Gaby por apoyo y compañía.

A mis amigos, Sebastián y Abraham, por los momentos compartidos.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme las herramientas necesarias para consolidar mi formación profesional.

En especial, expreso mi gratitud al Dr. Hoover Mujica por sus enseñanzas, apoyo y consejos.

Agradezco también al Laboratorio de Automatización del Departamento de Control y Robótica de la Facultad de Ingeniería por la oportunidad de participar en diversos proyectos. Asimismo, agradezco a los colaboradores del laboratorio, con quienes trabajé y compartí experiencias que enriquecieron mi formación.

Resumen

La presente tesina tiene como propósito desarrollar el diseño y la propuesta técnica de un sistema de distribución eléctrica en baja tensión destinado a una planta dedicada al procesamiento de residuos orgánicos. El trabajo parte del análisis del sistema eléctrico existente, identificando sus características operativas y de seguridad. Finalmente, se desarrolló una propuesta integral que garantice la continuidad del servicio, la flexibilidad en la operación y la posibilidad de supervisión remota.

El sistema propuesto se compone de tres tableros principales: un tablero de transferencia, encargado de la conmutación entre las fuentes de alimentación; un tablero de distribución general, responsable del suministro a las diferentes áreas de la planta; y un tablero de subdistribución dedicado al proceso de carbonización hidrotermal (HTC), donde se concentran las mayores demandas energéticas.

Con el fin de asegurar la fiabilidad y seguridad del suministro eléctrico, se incorporan interruptores automáticos equipados con unidades de protección avanzadas, mecanismos de montaje extraíble y accesorios de comunicación que facilitan las tareas de mantenimiento y diagnóstico. Asimismo, la solución propuesta integra tecnología de ABB, destacando el sistema de monitoreo remoto ABB Ability, el cual permite visualizar y optimizar los parámetros eléctricos desde cualquier ubicación, mejorando la gestión energética de la planta.

La selección del equipo se realiza mediante herramientas de configuración digital provistas por el fabricante, garantizando la compatibilidad y el dimensionamiento adecuado de cada componente. Además, se presenta una estimación económica elaborada con la plataforma E-Quoter, que permite evaluar la viabilidad financiera del proyecto. Finalmente, se analizan alternativas tecnológicas y se destacan las ventajas de adoptar una arquitectura escalable, segura y alineada con los estándares internacionales de eficiencia y calidad de la energía eléctrica.

Índice general

Índice de figuras	xiii
Índice de tablas	xv
Acrónimos	xvii
1. Introducción	1
1.1. Sistema eléctrico en México	2
1.1.1. Generación eléctrica en México	2
1.1.2. Principales causas de fallas eléctricas	2
1.2. Antecedentes	3
1.2.1. Antecedente 1: Schneider Electric y el hospital infantil Nemours	3
1.2.2. Antecedente 2: Gestión de cargas con Ekip controller para SACE Emax 2	5
1.3. Motivación	7
1.4. Formulación del problema	7
1.5. Objetivos	8
1.5.1. Objetivo general	8
1.5.2. Objetivos específicos	8
1.6. Contribuciones	8
2. Interruptores automáticos y tableros eléctricos	9
2.1. Interruptores automáticos	9
2.1.1. Definición	9
2.1.2. Tipos de interruptores automáticos	10
2.1.3. Componentes internos de un interruptor automático	11
2.1.4. Unidades de protección	12
2.1.5. Fallas eléctricas	14
2.1.6. Accesorios	15
2.1.7. Terminología	17
2.1.8. Placa de datos de los interruptores	18
2.2. Tableros eléctricos	20
2.2.1. Definición	20
2.2.2. Clasificación de los tableros	20
2.2.3. Segregación	21
2.3. Arreglos de transferencia	21
2.3.1. Transferencia abierta	22

2.3.2. Transferencia cerrada	23
2.3.3. Tipos de transferencias	23
3. Normativa referente a los tablero eléctricos	25
3.1. Introducción	25
3.2. Identificación de normativa	25
3.3. Marco Europeo	25
3.3.1. IEC 61439	27
3.3.2. IEC 60947	27
3.3.3. IEC 60529	27
3.3.4. IEC 60204-1	27
3.4. Marco Americano	27
4. Desarrollo del diseño eléctrico	29
4.1. Caso de estudio: planta de procesamiento de residuos orgánicos urbanos	29
4.2. Análisis de los tableros actuales de la planta	31
4.2.1. Tablero de distribución principal	31
4.2.2. Tablero de subdistribución	32
4.2.3. Unidades de protección	33
4.3. Propuesta de sistema nuevo	34
4.4. Especificación de tableros	36
4.4.1. Tablero de distribución principal	36
4.4.2. Tablero de transferencia	37
4.4.3. Tablero de subdistribución	39
4.5. Propuesta de interruptores	39
4.5.1. Selección de interruptores	39
4.6. Propuesta digital	42
4.7. Desglose de materiales	44
4.7.1. Pasos para la configuración en E-Quoter	44
4.7.2. Sugerencias para realizar una cotización	46
4.8. Precios	46
5. Conclusiones y trabajo futuro	49
5.1. Conclusiones	49
5.2. Trabajo futuro	50
Referencias	51

Índice de figuras

1.1. Sistema eléctrico	3
1.2. Niveles de energía	4
1.3. Tablero de distribución SACE	6
1.4. Esquema del proceso de carbonización y gasificación	7
2.1. Curva de disparo MCB	10
2.2. Curvas de disparo de un MCB	11
2.3. Componentes de un MCCB	12
2.4. Bi-metal y bobina de interruptor	13
2.5. MCCB con protección regulable	13
2.6. Curva de disparo de interruptor con protección TMD	13
2.7. Interruptor con protección electrónica	14
2.8. Curva de disparo para protección electrónica	14
2.9. Instalación de accesorios en MCCB	16
2.10. Accesorios disponibles para interruptores	16
2.11. Placa de datos de un interruptor	19
2.12. Tipos de segregación	21
2.13. Ejemplo de transferencia	22
2.14. Seccionador de ABB	22
2.15. Interruptor automático de ABB	22
2.16. Transferencia tipo A	24
2.17. Transferencia tipo B	24
2.18. Transferencia tipo C	24
2.19. Transferencia tipo D	24
3.1. Normas utilizadas a nivel global	26
3.2. Certificado UL de interruptor página 1	28
3.3. Certificado UL de interruptor página 2	28
4.1. Diagrama unifilar de planta de procesamiento	30
4.2. Tablero QED2	32
4.3. Tablero I-line	33
4.4. Montaje I-line	33
4.5. Micrologic 6.0	34
4.6. Micrologic 3.0	34
4.7. Diagrama unifilar seccionado de la planta de procesamiento	35

4.8. Tablero Tmax Link	36
4.9. Tablero Tmax Link como transferencia	37
4.10. Conexión de estación de trabajo con interruptor	38
4.11. Conexión con maleta de pruebas	38
4.12. Conexión con Ekip Connect	38
4.13. Marketplace ABB	38
4.14. Enlace de interruptores	38
4.15. Configuración de tiempos	38
4.16. Interruptor Emax y accesorios	38
4.17. Descarga de configuración al interruptor	38
4.18. Selección de interruptor para tablero principal	40
4.19. Selección de interruptor para proceso HTC	40
4.20. Pantalla de inicio de ABB Ability	42
4.21. Funciones preconfiguradas	44
4.22. Diagrama unifilar en ABB Ability	44
4.23. Ejemplo de mantenimiento predictivo	44
4.24. Histograma	44
4.25. Inicio de sesión en E-Quoter	45
4.26. Página de inicio de E-Quoter	45
4.27. Vista de página de presupuesto	45
4.28. Selección del tipo de tablero	45
4.29. Visualización de la configuración Tmax link	45
4.30. Visualización de configuración Artu L Panel Board	45
4.31. Selección de interruptores derivados	46
4.32. Selección de espacio a futuro	46
4.33. Lista de código y hoja de especificaciones	46
4.34. Listado de materiales	46
4.35. Precio total de la solución	47

Índice de tablas

4.1. Interruptores automáticos del tablero de distribución principal actual	32
4.2. Interruptores del tablero de subdistribución actual	33
4.3. Especificaciones del tablero Tmax Link de distribución principal	36
4.4. Especificaciones del tablero Artu L Panelboar para el proceso HTC	39
4.5. Lista de interruptores automáticos para tablero de distribución principal	41
4.6. Lista de interruptores automáticos para tablero de transferencia	41
4.7. Especificaciones del tablero Tmax Link de distribución principal	41
4.8. Lista de interruptores automáticos para tablero de subdistribución para proceso HTC	42

Acrónimos

IMF Fondo Monetario Internacional. 1
IEA Agencia internacional de la energía. 1
SEN Sistema Eléctrico Nacional. 2
CFE Comisión Federal de Electricidad. 2, 31
CENACE Centro Nacional de Control de Energía. 2
UPS Uninterruptable Power Supply. 5
MCCB Molded Case Circuit Breaker. 5, 11, 22, 31, 32
ACB Air Circuit Breaker. 5, 11, 22, 31
HVAC Heating Ventilation Air Conditioner. 5
HTC Hydrothermal Carbonization. 7, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 39, 41
MCB Miniature Circuit Breaker. 10, 11
kA Kilo Ampers. 11
RMS Raíz Cuadrada Media. 15, 17
LOTO Lock out Tag Out. 16
Un Tensión nominal. 17
Ue Tensión nominal de empleo. 17
Ui Tensión asignada de aislamiento. 17
Uim Tensión asignada de impulso. 17
Iu Intensidad nominal. 17
Ipk Intensidad nominal de pico admisible. 17
Icu Poder asignado de corte último en cortocircuito. 17, 18, 39, 41
Ics Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito. 18
Icw Intensidad asignada de corta duración. 18
Icm Intensidad asignada de corta duración. 18
MT Media tensión. 20
BT Baja tensión. 20
MCC Centro de control de motores. 20
ATS Automatic Transfer Switch. 22, 37, 41, 49, 50
IEC International Electrotechnical Commission. 25
NFPA National Fire Protection Association. 27, 31
NEC National Electrical Code. 27, 31
UL International Electrotechnical Commission. 27, 31
ANSI American National Standards Institute. 27
IEEE International Electrotechnical Commission. 27
NEMA National Electrical Manufacturers Association. 31

BOM Bill of materials. 44

Capítulo 1

Introducción

Al comenzar nuestro día, interactuamos de forma constante con sistemas que requieren energía eléctrica: desde encender la luz de la recámara y utilizar asistentes virtuales para acceder a información, hasta preparar alimentos con electrodomésticos y trabajar en oficinas climatizadas con equipos de cómputo y comunicación. Estas acciones, que forman parte de nuestra rutina diaria, dependen completamente de un suministro eléctrico continuo. Sin embargo, pocas veces se analiza con profundidad la importancia que tiene la energía en el desarrollo de las actividades diarias y en el funcionamiento de la sociedad actual.

La dependencia del ser humano hacia la energía ha crecido de forma exponencial. Hoy en día, resulta impensable llevar a cabo nuestras actividades sin acceso a sistemas de iluminación, conectividad, refrigeración, movilidad o automatización industrial [Isgró, 2006]. Este incremento responde tanto a los hábitos contemporáneos como a los requerimientos esenciales para impulsar el crecimiento económico y social de los países. [Ramírez, 2014].

No obstante, el rápido crecimiento económico y urbano ha ejercido una presión creciente sobre la infraestructura eléctrica, evidenciando la necesidad de un sistema capaz de garantizar no solo el suministro, sino también la calidad y continuidad del mismo [Gutiérrez, 2019]. Esto es especialmente crítico en plantas industriales, donde una interrupción eléctrica puede provocar pérdidas significativas en productividad y costos operativos.

Un estudio del Fondo Monetario Internacional (IMF) encontró que las interrupciones eléctricas en empresas de países en desarrollo reducen la productividad laboral entre un 6% y 10%, y la productividad total entre 4% y 9% [Fund, 2022]. En el ámbito industrial, incluso cortes de corta duración pueden convertirse en pérdidas monetarias sustanciales. Según un informe de Wärtsilä, un corte de 30 minutos podría significar hasta 15.7 mil USD para medianas y grandes empresas industriales, y de 5 millones USD por hora en sectores de alto riesgo como centros de datos o salud [Wärtsilä, 2023].

Asimismo, la mayor incorporación de fuentes renovables introduce retos adicionales para la operación y administración del sistema eléctrico. Diversos informes de la Agencia internacional de la energía (IEA) muestran que la integración de fuentes como solar y eólica, con variabilidad estacional y meteorológica, pone presión sobre los sistemas de suministro, destacando la necesidad de fortalecer la confiabilidad y la resiliencia del sistema [International Energy, 2022]

A escala regional, las pérdidas eléctricas en transmisión y distribución representan un problema económico importante. En América Latina, estas pérdidas pueden alcanzar hasta el 17% de la electricidad generada, lo que se traduce en costos anuales de entre 9.600 y 16.500 millones de USD, y en México alcanzan entre 656 y 2.346 millones de USD en 2019 [CAF, 2021]

Ante este contexto, resulta esencial implementar estrategias que garanticen la continuidad del servicio eléctrico, especialmente en instalaciones industriales y centros de operación. Esto incluye soluciones como tableros de transferencia automática, fuentes de respaldo (generadores, UPS), monitoreo en tiempo real y adopción de infraestructura digital inteligente.

El presente trabajo aborda el estudio, diseño y planteamiento de un sistema de distribución eléctrica en baja tensión destinado a una planta dedicada al procesamiento de residuos orgánicos utilizando una arquitectura de la marca ABB. El objetivo es lograr un sistema que proporcione continuidad, calidad, flexibilidad y capacidad de supervisión, alineado con las demandas modernas de eficiencia y confiabilidad eléctrica.

1.1. Sistema eléctrico en México

La electricidad es un recurso indispensable para una industria de cualquier país. Su generación, transmisión, distribución y consumo dependen de una infraestructura compleja, cuya operación debe ser segura, eficiente y confiable.

En México, la estructura del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se integra por diversos organismos que abarca desde centrales generadoras hasta los puntos de consumo final. Las instituciones encargadas de operar y administrar este sistema son:

- Comisión Federal de Electricidad (CFE): Entidad productiva del Estado encargada de suministrar, transportar y distribuir energía eléctrica en todo el país. Así mismo, a través de su subsidiaria CFE Distribución, se encarga de llevar la energía hasta los consumidores finales.
- Centro Nacional de Control de Energía (CENACE): Institución pública autónoma responsable de administrar el mercado eléctrico mayorista y coordinar el despacho de generación, garantizando la operación segura y el equilibrio entre oferta y demanda en tiempo real.

1.1.1. Generación eléctrica en México

La generación eléctrica en México se lleva a cabo mediante distintas tecnologías y fuentes energéticas. Las principales fuentes generadoras en México incluyen: **Ciclo combinado, hidroeléctrica, geotérmica, nuclear, eólica y solar.**

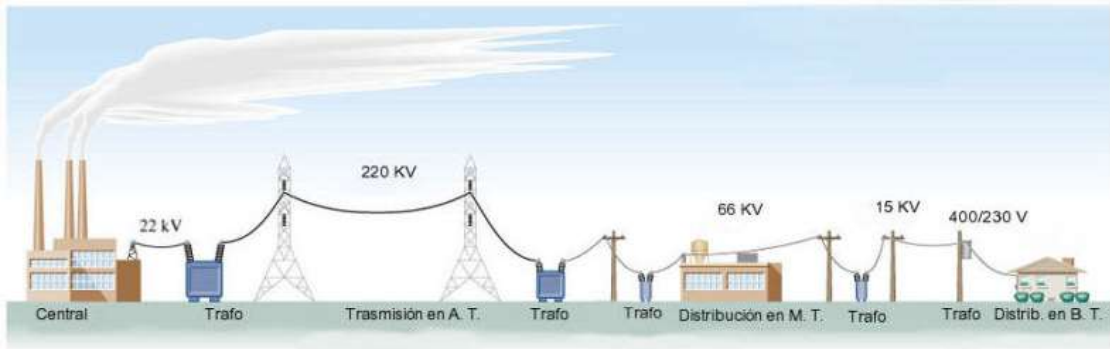
Una vez generada, la energía es transportada por líneas de alta tensión hasta subestaciones de transformación, donde se reduce el voltaje para permitir su distribución segura hacia industrias, comercios y hogares.

La Figura 1.1 se presenta una representación general de la composición del sistema eléctrico, desde la generación hasta la distribución final. Es importante destacar que este tipo de sistemas suelen estar diseñados con una arquitectura ramificada, lo que permite una mayor conectividad, redundancia y flexibilidad operativa ante fallas o mantenimientos programados.

1.1.2. Principales causas de fallas eléctricas

A pesar de la solidez del sistema eléctrico, existen múltiples factores que pueden provocar fallas en el suministro, entre las más comunes se encuentran:

¹Tomada de [Veras, 2025]

Figura 1.1 Sistema eléctrico ¹

- **Sobrecarga de red:** Ocurre cuando la demanda supera la capacidad instalada o disponible.
- **Fallas en líneas de transmisión o distribución:** Ya sea por fallas técnicas, árboles, accidentes o vandalismo.
- **Condiciones climáticas extremas:** Lluvias intensas, viento, tormentas eléctricas o heladas.
- **Fallas en subestaciones o transformadores:** Por envejecimiento de equipos, falta de mantenimiento o errores de operación.
- **Interrupciones programadas o desconexiones manuales:** Necesarias para mantenimiento o para evitar colapsos.

1.2. Antecedentes

A continuación, se presentan dos casos de aplicación que muestra el alcance que se puede llegar a tener con una solución homogénea basada en el uso de tableros de distribución e interruptores automáticos con funciones avanzadas de monitoreo, control y automatización, integrados en plataformas digitales. Estos ejemplos ilustran cómo estas tecnologías pueden implementarse en entornos reales, y cómo su correcta configuración se traduce en mejoras operativas, eficiencia energética y reducción de costos.

1.2.1. Antecedente 1: Schneider Electric y el hospital infantil Nemours

El Hospital Infantil Nemours, ubicado en Florida, fue inaugurado en 2013 con el propósito de brindar atención médica de clase mundial.

Uno de los mayores retos para su funcionamiento era garantizar un suministro de energía limpia, confiable y continua para operar equipos hospitalarios de alta tecnología las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

Objetivo

Diseñar e implementar un sistema eléctrico avanzado que garantice:

- Seguridad y resiliencia energética.

- Eficiencia operativa y sostenibilidad.
- Un entorno seguro y confortable para pacientes y personal médico.

Desafíos

- Construcción de un hospital innovador, resistente y seguro.
- Suministro de energía ininterrumpida y de calidad para equipos médicos de alta precisión.
- Implementación de mecanismos de seguridad y monitoreo para la infraestructura eléctrica.

Solución

Para cumplir con los requisitos energéticos del hospital, Schneider Electric diseñó un sistema eléctrico de tres niveles basado en su arquitectura *EcoStruxure* para el sector salud. Figura 1.2:

- Energía crítica: Suministro para quirófanos y dispositivos esenciales, debe garantizar continuidad en procedimientos vitales.
- Energía para equipos: Alimentación de ventiladores y climatización.
- Energía de uso general: Iluminación así como servicios que no forman parte de los procesos esenciales.

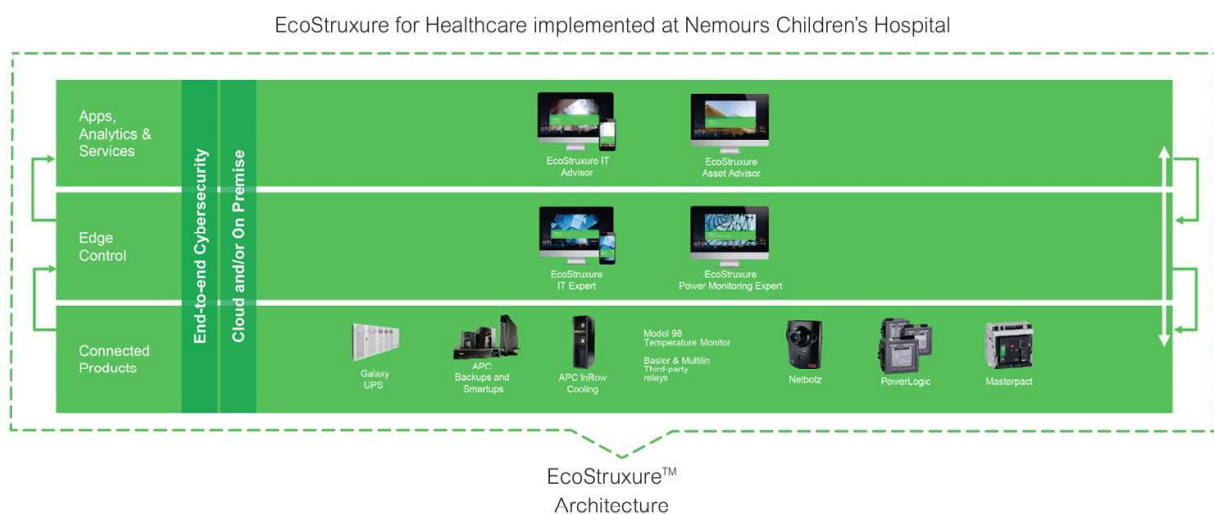


Figura 1.2 Niveles de energía *EcoStruxure* ²

Monitoreo inteligente y automatización El sistema es monitoreado en tiempo real mediante *EcoStruxure Power Monitoring Expert* y *Asset Advisor*. Estas herramientas permiten:

- Visualizar el estado de la infraestructura eléctrica con gráficos intuitivos.
- Generar informes y análisis predictivos para anticipar fallos.
- Optimizar la eficiencia y seguridad operativa del hospital.

²Tomada de [Schneider-Electric, 2018]

Resiliencia ante cortes de energía: Respaldo en 10 segundos: en caso de una interrupción en la red eléctrica, los generadores restauran la energía en menos de 10 segundos de forma automática.

Sistema de Alimentación Ininterrumpida (UPS) para los equipos críticos: para evitar cualquier interrupción en dispositivos vitales; los sistemas de alimentación ininterrumpida UPS proporcionan energía inmediata a: incubadoras, máquinas de soporte vital, quirófanos, equipos de radiología, centro de datos.

Resultados y beneficios

- Suministro de energía 24/7, asegurando la continuidad en la atención médica.
- Hospital certificado LEED Gold, gracias a su eficiencia energética y sostenibilidad.
- Aumento del 30 % en eficiencia operativa, optimizando costos y consumo energético.
- Sistema eléctrico seguro, fiable y automatizado, que minimiza riesgos y garantiza la operatividad del hospital en todo momento.

Este caso demuestra cómo la innovación y tecnología de Schneider permiten crear entornos hospitalarios más eficientes, seguros y resilientes, mejorando la atención médica [Schneider-Electric, 2018].

1.2.2. Antecedente 2: Gestión de cargas con Ekip controller para SACE Emax 2

La división de ABB SACE, dedicada a investigación y desarrollo de Interruptor Automático de caja moldeada (MCCB) e Interruptor Automático en bastidor abierto (ACB) en baja tensión, construyó un nuevo edificio en Bérgamo, Italia. En este proyecto se integró una plataforma de automatización de alto nivel para optimizar la gestión de cargas, particularmente el control de sistemas de Calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) de manera automática y eficiente.

Objetivo

El principal objetivo de la instalación fue reducir la potencia total consumida por el edificio, optimizando el uso de la energía sin alterar la configuración de la red eléctrica. Esto permite un ahorro económico significativo en el costo de la electricidad.

Desafío

- Incorporar un esquema de administración energética que permita disminuir el consumo global del inmueble.
- Controlar y administrar las cargas de manera automática sin afectar la operatividad del sistema.
- Integrar el nuevo sistema con la infraestructura eléctrica existente, que incluye 4 transformadores de media tensión a baja tensión.
- Garantizar una solución flexible y escalable sin necesidad de sistemas de control adicionales o *software* externo.

Solución

Para abordar estos desafíos, ABB implementó la función *Ekip Power Controller*, una solución integrada en la unidad de disparo electrónica de los interruptores SACE Emax. La solución se estructuró de la siguiente manera:

- 4 interruptores automáticos SACE Emax 1.2 con *Ekip Hi-Touch*, instalados como interruptores generales de baja tensión.
- 1 función *Ekip Power Controller*, activada en uno de los cuatro interruptores principales para monitorear el consumo total y gestionar las cargas automáticamente.
- Módulo de comunicación *Ekip Link*, encargado de la comunicación entre los cuatro interruptores y de enviar señales de control a dispositivos aguas abajo.
- 2 módulos *Ekip Signalling 10K*, con 10 salidas a relé programables para activar o desactivar cargas de manera remota.
- 1 *switch Ethernet* para facilitar la comunicación del sistema con una única conexión de red.

La Figura 1.3 ilustra la disposición del equipo dentro del tablero eléctrico.

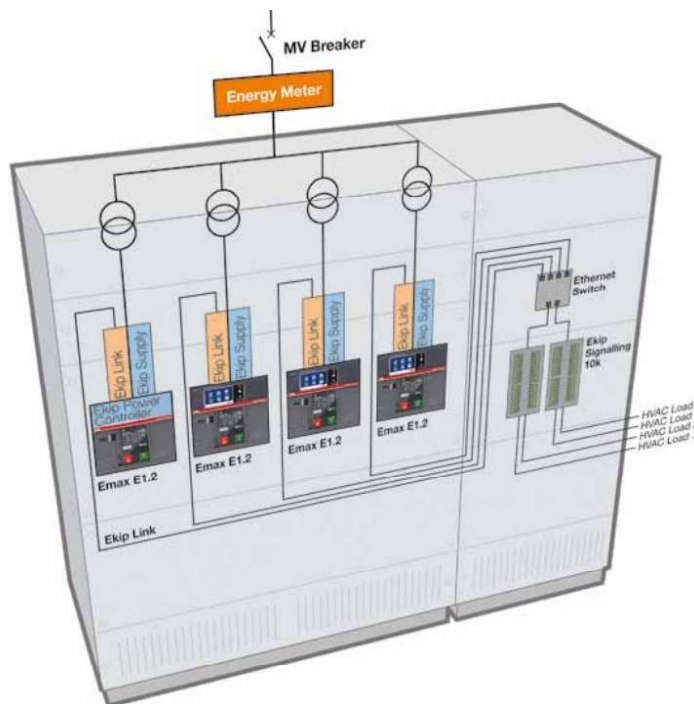


Figura 1.3 Tablero de distribución SACE ³

El módulo de *Ekip Power Controller* monitorea la energía total absorbida por el edificio y decide, según los parámetros predefinidos, cuándo y qué cargas deben desconectarse para optimizar el consumo. Con el módulo de comunicación *Ekip Link*, se pueden ejecutar comandos remotos de apertura y cierre de los interruptores automáticos, simplificando el cableado y reduciendo costos de instalación.

³Tomada de [ABB, 2025]

Resultados y beneficios

La implementación del sistema permitió lograr los siguientes beneficios:

- Ahorro anual de 11,000 € en costos de energía.
- Reducción de hasta 400 kW en el consumo de energía, equivalente a la electricidad necesaria para alimentar 133 apartamentos.
- Optimización en la eficiencia del sistema eléctrico utilizando la infraestructura ya instalada.
- Mayor flexibilidad y control remoto sobre las cargas no prioritarias del edificio.

El caso de éxito 2 se obtuvo de [ABB, 2025]

1.3. Motivación

Esta tesina surge del interés por diseñar un sistema que asegure un servicio eléctrico continuo, seguro y confiable en entornos industriales. El desarrollo parte del análisis de cargas eléctricas y la selección adecuada de tableros y dispositivos de protección, incluyendo la formulación de una propuesta comercial acorde con los requisitos de la aplicación y conforme a la normatividad aplicable.

1.4. Formulación del problema

En la zona periférica de la Ciudad de México se localiza una planta dedicada al procesamiento de residuos orgánicos urbanos para su transformación en biocarbón. Esta planta opera a través de dos procesos principales: el Proceso de carbonización (HTC) y el proceso de gasificación.

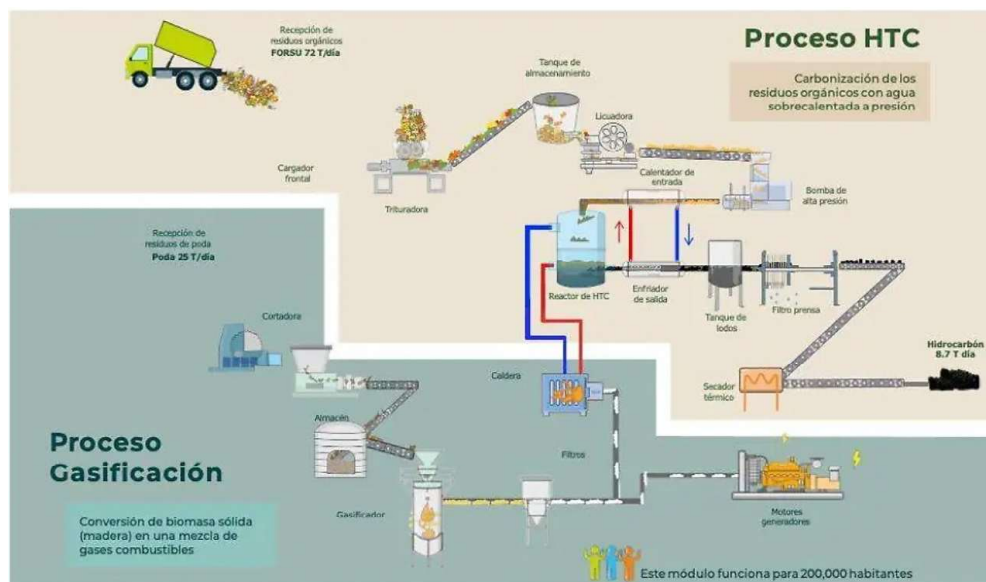


Figura 1.4 Esquema del proceso de carbonización y gasificación ⁴

⁴Tomada de [Pardo, 2022]

La Figura 1.4 permite visualizar como cada proceso está compuesta por diversas etapas que, en conjunto, permiten la obtención del biocarbón. Estas etapas representan cargas eléctricas distribuidas dentro de la planta, las cuales están centralizadas en un tablero de subdistribución eléctrico, asegurando la centralización y suministro eléctrico en cada etapa del procesamiento. En caso de interrupciones o falta de suministro eléctrico, se cuenta con un grupo electrógeno que alimenta únicamente a las cargas críticas.

Partiendo de lo anterior, se busca diseñar y proponer una solución de distribución en baja tensión destinada a la planta de procesamiento de residuos orgánicos; específicamente en el proceso de carbonización hidrotermal que cuenta con una transferencia automática y un grupo electrógeno.

La propuesta debe cumplir con los requerimientos de protección para cada etapa del proceso, contemplar planes de escalabilidad futura, contar con capacidades de supervisión remota y continuidad del suministro eléctrico, integrando un sistema de transferencia automática entre la red eléctrica y un grupo electrógeno, utilizando una arquitectura basada en tecnología ABB.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Definir las características y componentes de los tableros eléctricos, interruptores automáticos así como la arquitectura que se necesita para tener un sistema seguro, confiable y que garantice continuidad de servicio.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Evaluar la infraestructura eléctrica existente en la planta y sus necesidades operativas.
2. Diseñar la arquitectura del sistema eléctrico.
3. Integrar la opción de monitoreo remoto mediante la plataforma ABB Ability, que permita supervisión, control y análisis en tiempo real del sistema eléctrico.
4. Realizar un listado de material de la propuesta utilizando herramientas de configuración digital como E-Quoter.

1.6. Contribuciones

Este trabajo se propone como una referencia técnica que abarca todas las etapas involucradas en el diseño de un tablero de distribución eléctrica en baja tensión, partiendo desde el análisis de la instalación hasta la propuesta final de arquitectura, selección de equipos y cotización de la propuesta.

Como resultado, se elabora un listado detallado de materiales, una propuesta de distribución física y funcional de los interruptores dentro de los tableros, así como la correspondiente cotización de la arquitectura. Finalmente, se analizan los beneficios técnicos y operativos de incorporar funciones de monitoreo remoto y control inteligente en instalaciones industriales.

Este enfoque busca no solo cumplir con los requisitos técnicos del caso de estudio, sino también brindar una guía práctica para estudiantes, ingenieros y profesionales que quieran comprender el proceso de diseño y especificación de sistemas eléctricos industriales desde cero.

Capítulo 2

Interruptores automáticos y tableros eléctricos

Los interruptores eléctricos son dispositivos fundamentales dentro de los sistemas de distribución, pues permiten la protección automática frente a fallas como **sobrecargas y cortocircuitos**. Su correcta selección e instalación resulta esencial para salvaguardar la integridad de los equipos, las máquinas, los conductores y, en general, toda la infraestructura eléctrica de una instalación.

Por su parte, los tableros eléctricos se encargan de alojar y proteger los dispositivos eléctricos dentro de una envolvente, restringiendo el acceso de agentes externos como polvo, humedad, fauna o personal no calificado.

Este capítulo aborda los tipos de fallas más comunes en una instalación eléctrica, define y clasifica los dispositivos de protección, describe la conformación de los tableros eléctricos y, por último, analiza los sistemas de transferencia utilizados para mantener la continuidad del suministro.

2.1. Interruptores automáticos

2.1.1. Definición

Es un dispositivo mecánico diseñado para **cerrar, mantener y abrir** el paso de corriente tanto en condiciones normales como durante situaciones de falla, dentro de un intervalo definido. [ABB, 2025f]. Cada uno de estos dispositivos incorpora una curva de disparo que define el tiempo de actuación en función de la magnitud de la corriente que circula. Dichas curvas se representan comúnmente en gráficas logarítmicas de tiempo inverso.

La Figura 2.1 ilustra un ejemplo de curva de disparo, en la que se distinguen dos zonas de operación.

- Protección contra sobrecarga (área verde): Corresponde al disparo térmico del interruptor, activado por un bimetálico. Esta área muestra que cuanto mayor se la corriente de sobrecarga, menor será el tiempo de disparo.
- Protección contra cortocircuito (área roja): Corresponde al disparo magnético del interruptor, activado por una bobina interna. Esta zona indica que, al superarse el umbral de corriente de cortocircuito establecido, el interruptor se abrirá casi de forma instantánea, generalmente en un rango de milisegundos.

¹Tomada de [Schneider Electric Chile, 2018]

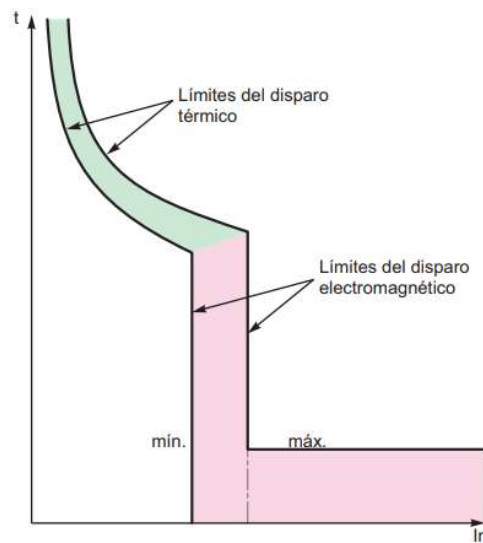


Figura 2.1 Curva de disparo MCB ¹

2.1.2. Tipos de interruptores automáticos

En niveles de baja tensión se pueden identificar 3 tipos de interruptores automáticos para la industria.

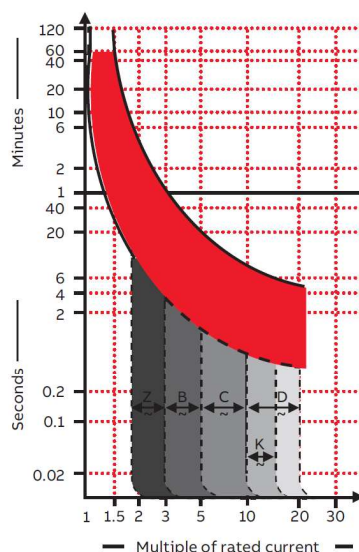
MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

Se utilizan para corrientes entre 0.5 y 125 Amperes. La principal característica del Interruptor Automático en Miniatura (MCB) es que sus curvas de disparo son fijas; éstas se clasifican en cinco curvas según la carga que quieras proteger.

- **Curva B:** Aplicada principalmente en la protección de generadores o tramos extensos de cableado, con un umbral de actuación entre 3 y 5 veces la corriente nominal.
- **Curva C:** Empleada con frecuencia para la protección de circuitos y cables en instalaciones generales. Tiene un umbral para cortocircuito entre 5 a 10 veces la corriente nominal.
- **Curva D:** Se utiliza para la protección de cables cuyas cargas tienen altos picos de corrientes como motores y transformadores. Tiene un umbral para cortocircuito entre 10 a 20 veces la corriente nominal.
- **Curva MA:** Se utiliza para la protección de arranque motores. Tiene un umbral para cortocircuito entre 10 y 15 veces la corriente nominal.
- **Curva Z:** Se utiliza para la protección de circuitos electrónicos. Tiene un umbral para cortocircuito entre 2 y 3 veces la corriente nominal.

La Figura 2.2 presenta varias curvas de disparo superpuestas para facilitar su comparación.

²Tomada de [ABB, 2020a]

Figura 2.2 Curvas de disparo de un MCB ²

MCCB (*Molded Case Circuit Breaker*)

Se utilizan para corrientes entre 16 y 1600 Amperes. Los MCCB, tienen la flexibilidad de utilizar unidades de protección con bimetales y bobinas o con tarjetas electrónicas. La construcción del interruptor permite incorporar una serie de accesorios tanto mecánicos como eléctricos, lo cual permite que el interruptor tenga más funciones además de abrir o cerrar un circuito eléctrico. Los accesorios se instalan dentro del interruptor de forma que no intervienen con su función principal.

La clasificación de estos interruptores se suele encontrar según el tipo de aplicación. Las cuales son:

- MCCB para motores
- MCCB para generadores
- MCCB para distribución

ACB (*Air Circuit Breaker*)

Finalmente, los ACB son dispositivos que están diseñados para soportar corrientes de 250 hasta 6300 Amperes. Estos interruptores únicamente cuentan con unidades de protección con tarjetas electrónicas. De igual forma se pueden adicionar accesorios y mecánicos eléctricos y se alojan dentro del interruptor.

Una de las principales diferencias entre los tres tipos de interruptores automáticos es la capacidad de soportar corrientes de cortocircuito. Ya que el interruptor tipo MCB tiene una capacidad de 10 Kilo Amperes (kA), mientras que los MCCB y ACB pueden soportar 64 kA y 100 kA respectivamente.

2.1.3. Componentes internos de un interruptor automático

Los interruptores automáticos están conformados por los siguientes elementos:

- **Bastidor:** Envoltorio que protege los componentes internos y accesorios frente a agentes externos.

- **Mecanismo de operación:** Sistema encargado de abrir y cerrar el interruptor.
- **Contactos:** Son piezas conductoras encargadas de permitir el flujo de corriente cuando el interruptor permanece cerrado.
- **Extintor de arco:** Dispositivo que interrumpe y extingue el arco eléctrico generado durante la apertura.
- **Unidad de disparo (relé):** Detecta condiciones anómalas como sobrecargas o cortocircuitos y activa la apertura automática del interruptor.

En la Figura 2.3 se observan las partes mencionadas.



Figura 2.3 Componentes de un MCCB ³

2.1.4. Unidades de protección

También conocido como relé de protección, es el mecanismo encargado de accionar la apertura automática del interruptor ante la detección de fallas eléctricas. Las unidades de protección pueden ser regulables en interruptores termo-magnéticos o programables en interruptores con protección electrónica, lo que permite ajustar los parámetros de disparo con mayor precisión y adaptarlos a las condiciones específicas de la instalación.

Termo-magnéticos

Esta unidad se compone de un bi-metal y una bobina (véase Figura 2.4), cada uno encargado de detectar distintos tipos de fallas. El bi-metal actúa ante sobrecargas, ya que se deforma con el aumento de temperatura provocado por el paso de corriente excesiva, lo que eventualmente activa la apertura del interruptor. Por su parte, la bobina se encarga de la protección contra cortocircuitos: al circular una corriente muy elevada, se genera un campo magnético que se encarga de disparar el mecanismo de apertura de forma casi instantánea.

Los fabricantes de interruptores incorporan la posibilidad de ajustar las protecciones contra sobrecarga y cortocircuito mediante potenciómetros integrados en la unidad de disparo (Figura 2.5). De acuerdo con la **IEC 60947-2**, la corriente asociada al disparo por sobrecarga se designa como **I1** y la corriente de cortocircuito instantáneo **I3** [IEC, 2020b].

³Tomada de [Eaton, 2025]

⁴Tomada de [ABB, 2020a]

1. Bi-metal
2. Toggle
3. Bobina
4. Contactor
5. Cámara de extinción de arco eléctrico

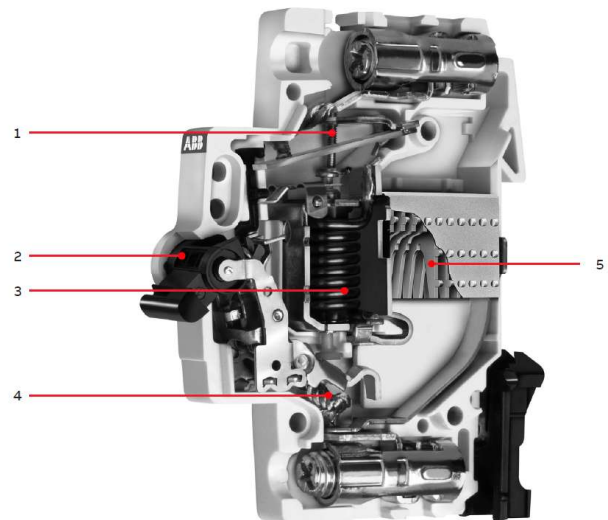


Figura 2.4 Bi-metal y bobina de interruptor ⁴

Al modificar estos parámetros, la curva de disparo del interruptor se ajusta en consecuencia, permitiendo una protección más precisa. Un ejemplo de esta curva ajustada se muestra Figura 2.6



Figura 2.5 MCCB con protección regulable ⁵

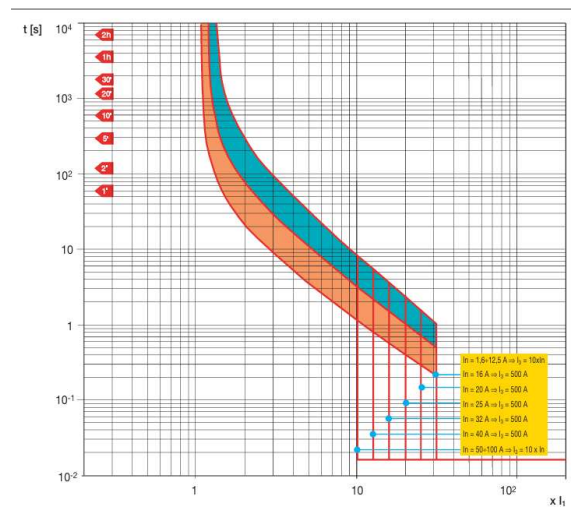


Figura 2.6 Curva de disparo de interruptor con protección TMD ⁶

Electrónicos

Esta unidad incorpora una tarjeta electrónica que permite medir, parametrizar y comparar la corriente que atraviesa el interruptor. Generalmente, estos dispositivos utilizan sensores tipo Rogowski ubicados en las terminales, los cuales detectan con precisión el valor de corriente sin contacto directo.

⁵Tomada de [ABB, 2007]

⁶Tomada de [ABB, 2007]

Gracias a esta tecnología, es posible configurar una curva de disparo ajustada a las necesidades específicas de la instalación.

Las unidades electrónicas ofrecen diversos tipos de protección avanzados; sin embargo, las protecciones básicas que suelen incorporar son:

- **I1 o L (Long-time):** Protección contra sobrecargas. Actúa con retardo para evitar disparos innecesarios ante corrientes ligeramente superiores a la nominal.
- **I2 o S (Short-time):** Protección contra cortocircuitos con retardo. Permite coordinación selectiva entre dispositivos de protección aguas abajo.
- **I3 o I (Instantaneous):** Protección contra cortocircuitos de gran magnitud, con actuación inmediata para limitar daños.
- **Ig o G (Ground fault):** Protección contra fallas a tierra, basada en la detección de corrientes residuales anormales.

Según las necesidades de la instalación, se pueden seleccionar interruptores con combinaciones de protección como LI, LS, LSI o LSI_G, que integran distintas funciones de disparo. Al configurarse estos parámetros, la curva final obtenida puede ajustarse para adecuarse con exactitud al nivel de protección requerido por la instalación, como se aprecia en las Figuras 2.7 y 2.8.



Figura 2.7 Interruptor con protección electrónica ⁷

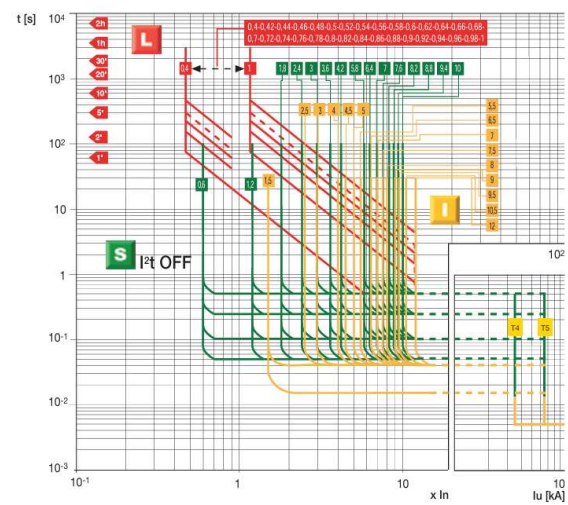


Figura 2.8 Curva de disparo para protección electrónica ⁸

2.1.5. Fallas eléctricas

Una falla eléctrica se define como cualquier condición anómala que afecta el funcionamiento normal de un sistema eléctrico, ocasionando interrupciones, daños a los equipos o afectaciones en la calidad de la energía suministrada. Éstas pueden clasificarse en dos grandes grupos: fallas por

⁷Tomada de [ABB, 2007]

⁸Tomada de [ABB, 2007]

sobrecorriente como cortocircuitos o sobrecargas así como problemas vinculados a la calidad de la energía, entre ellos variaciones de tensión, armónicos u otras perturbaciones [IEE, 2019], [IEC, 2015], [Comisión Reguladora de Energía, 2024].

- **Sobrecarga:** Se produce cuando la corriente excede la capacidad nominal del interruptor por un periodo prolongado. Puede deberse al funcionamiento simultáneo de múltiples cargas o a un mal dimensionamiento del sistema.
- **Cortocircuito:** Es un contacto de baja impedancia entre conductores a diferente potencial (por ejemplo, fase-fase o fase-tierra), lo que genera corrientes elevadas que pueden provocar daños severos en el sistema eléctrico.
- **Fuga a tierra:** Corriente que fluye por trayectos no deseados, como tierra o el cuerpo humano.
- **Caídas de tensión (*Sags*):** Reducción momentánea del voltaje Raíz Cuadrada Media (RMS) por debajo del 90 % de su valor nominal. Son comunes por arranque de motores o fallas en líneas.
- **Elevaciones de tensión (*Swells*):** Aumento temporal de la tensión RMS por encima del 110 % del valor nominal, generalmente provocado por la desconexión repentina de grandes cargas o mala compensación reactiva.
- **Parpadeo luminoso (*Flicker*):** Fluctuaciones de tensión de baja frecuencia que causan cambios visibles en la iluminación, generadas por cargas variables como hornos de arco o motores grandes.
- **Distorsión armónica total (THD):** Es la deformación que se presenta en la forma sinusoidal de la energía. Estas alteraciones afectan la calidad de la energía eléctrica.

Estas fallas y perturbaciones no solo reducen la eficiencia operativa, sino que también comprometen la continuidad del servicio, especialmente en instalaciones críticas como hospitales, centros de datos e industrias. Por ello, es fundamental implementar dispositivos de protección adecuados.

2.1.6. Accesorios

Los accesorios permiten adaptar el interruptor a diversas necesidades de operación, protección, monitoreo y control remoto, lo que incrementa notablemente su funcionalidad dentro de un sistema eléctrico.

Los accesorios pueden clasificarse, de manera general, en mecánicos y eléctricos. Véase Figura 2.9 y 2.10). Los más utilizados son:

Mecánicos

- **Mando rotativo:** Permite operar el interruptor desde el exterior del gabinete, facilitando su accionamiento sin necesidad de abrir la puerta del tablero.
- **Mando motorizado:** Aunque tiene componentes eléctricos, su función está asociada al accionamiento mecánico a distancia del interruptor.
- **Bloqueo mecánico:** Evita que dos interruptores puedan cerrarse al mismo tiempo, lo cual es útil en esquemas de transferencia o redundancia.

- **Sistema de enclavamiento con candado:** Permite mantener el interruptor en posición abierta de forma segura, siguiendo los procedimientos de bloqueo y etiquetado Lock out Tag Out (LOTO).
- **Enclavamientos de puerta:** Impiden la apertura de la puerta del tablero mientras el interruptor esté cerrado, mejorando la seguridad operativa.
- **Contacto auxiliar (*Auxiliary contact*):** Componente que informa a sistemas externos de monitoreo o control el estado del interruptor, ya sea abierto o cerrado.

Eléctricos

- **Bobina de apertura por bajo voltaje (*Undervoltage trip*):** Actúa desconectando el interruptor automáticamente cuando la tensión del sistema cae por debajo de un valor definido, garantizando la seguridad del equipo ante condiciones anómalas de tensión.
- **Disparador por sobrevoltaje o bobina de disparo (*Shunt trip*):** Permite la apertura remota del interruptor al recibir una señal eléctrica externa desde un sistema de control o protección.
- **Bobina de apertura y cierre motorizado:** Habilita la operación remota del interruptor (apertura y cierre) mediante señales de control, útil en sistemas automatizados o de transferencia.
- **Módulos de comunicación:** Permiten la integración del interruptor a redes de comunicación industrial mediante protocolos como Modbus, Profibus o Ethernet/IP, facilitando el monitoreo, diagnóstico y control remoto.

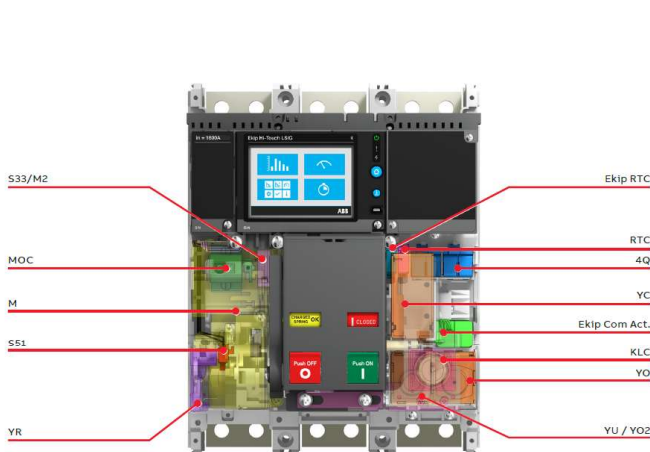


Figura 2.9 Instalación de accesorios en MCCB⁹

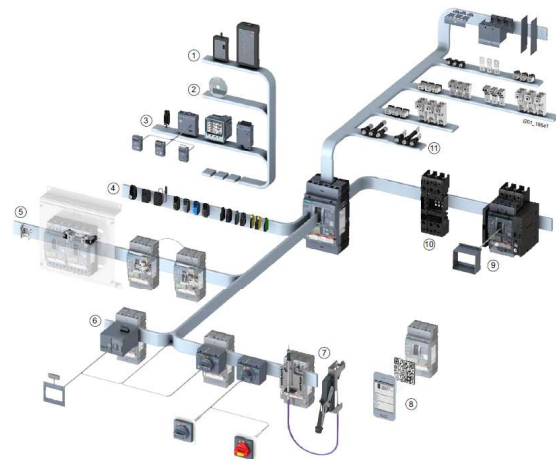


Figura 2.10 Accesorios disponibles para interruptores¹⁰

⁹Tomada de [ABB, 2023]

¹⁰Tomada de [Siemens, 2024]

Módulos de comunicación

Una característica que incorporan muchos interruptores automáticos modernos es la posibilidad de integrar módulos de comunicación, los cuales permiten su conexión con sistemas digitales de supervisión y control. Entre los protocolos más comunes se encuentran: **Ethernet TCP/IP**, **Profinet**, **Modbus TCP**, **Modbus RTU**, **Profibus**, **DeviceNet** e **IEC 61850**.

Estos módulos permiten que los interruptores se comuniquen con sistemas de automatización industrial, control distribuido (DCS) o plataformas SCADA, habilitando tanto la supervisión remota como el control operativo del sistema eléctrico.

Esta capacidad permite supervisar en tiempo real parámetros como tensión, corriente, potencia, energía, frecuencia, factor de potencia y calidad de la energía, así como recibir alarmas y estados del interruptor (disparo, operación manual/remota, fallos). Además, los módulos permiten ejecutar acciones de apertura o cierre de los interruptores de forma remota, lo cual resulta esencial para estrategias de gestión energética, mantenimiento predictivo y respuesta ante fallas.

En resumen, los módulos de comunicación transforman al interruptor automático en un dispositivo inteligente, integrable en arquitecturas de control modernas y adaptado a los requerimientos de la Industria 4.0.

2.1.7. Terminología

Las normas **IEC 60947-1**, **IEC 60947-2** e **IEC 60947-3** establecen los parámetros y definiciones fundamentales asociados a estos equipos, [IEC, 2020b].

A continuación, se presentan los conceptos principales, considerando su aplicación dentro de un tablero de distribución:

- Tensión nominal (U_n): Es la tensión de operación en condiciones normales, ya sea corriente alterna (CA) en RMS o corriente directa (CC). Este voltaje es declarado por el fabricante.
- Tensión nominal de empleo (U_e): Corresponde al nivel de tensión presente en un tablero durante su operación normal.
- Tensión asignada de aislamiento (U_i): Valor de tensión aplicado durante pruebas de rigidez dieléctrica para verificar la capacidad de aislamiento del tablero.
- Tensión asignada de impulso (U_{imp}): Valor máximo de impulso que el tablero puede resistir en condiciones específicas.
- Frecuencia asignada: Valor de la frecuencia de funcionamiento en condiciones normales.
- Intensidad nominal (I_u): Valor de corriente que puede ser transportada por un circuito en condiciones normales sin generar anomalías eléctricas.
- Intensidad nominal de pico admisible (I_{pk}): Corriente máxima instantánea de cortocircuito que el tablero puede soportar según especificación del fabricante.

Parámetros específicos del interruptor:

- Poder asignado de corte último en cortocircuito (I_{cu}): Valor máximo de corriente de cortocircuito que el interruptor puede abrir de forma segura en al menos dos ocasiones.

En términos prácticos, el valor de I_{cu} indica la capacidad del dispositivo para interrumpir una corriente de falla sin sufrir daños térmicos o mecánicos.

- Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito (I_{cs}): Corriente de cortocircuito que el interruptor es capaz de interrumpir tres veces consecutivas y continuar funcionando adecuadamente.
- Intensidad asignada de corta duración (I_{cw}): Corriente que el interruptor puede soportar en posición cerrada durante un tiempo determinado. Generalmente 1 o 0.5 segundos sin sufrir daños térmicos o mecánicos.
- Poder asignado de cierre en cortocircuito (I_{cm}): Máxima corriente que el interruptor puede cerrar de manera segura durante una condición de falla.
- Categoría de utilización:
 - Categoría A: Sin selectividad ni retardo intencional frente a cortocircuitos.
 - Categoría B: Diseñada para selectividad y retardos, requiere especificar I_{cw} .
- Durabilidad:
 - Durabilidad mecánica: Número de ciclos de apertura y cierre sin carga.
 - Durabilidad eléctrica: Número de ciclos con carga que puede soportar, definiendo la resistencia al desgaste de los contactos.

2.1.8. Placa de datos de los interruptores

En la placa de datos de un interruptor (véase Figura 2.11), se encuentra la terminología técnica correspondiente. Aunque la disposición de la información puede variar entre fabricantes, los datos esenciales que se presentan son equivalentes y cumplen con los mismos estándares.

¹¹Tomada de [ABB, 2007]

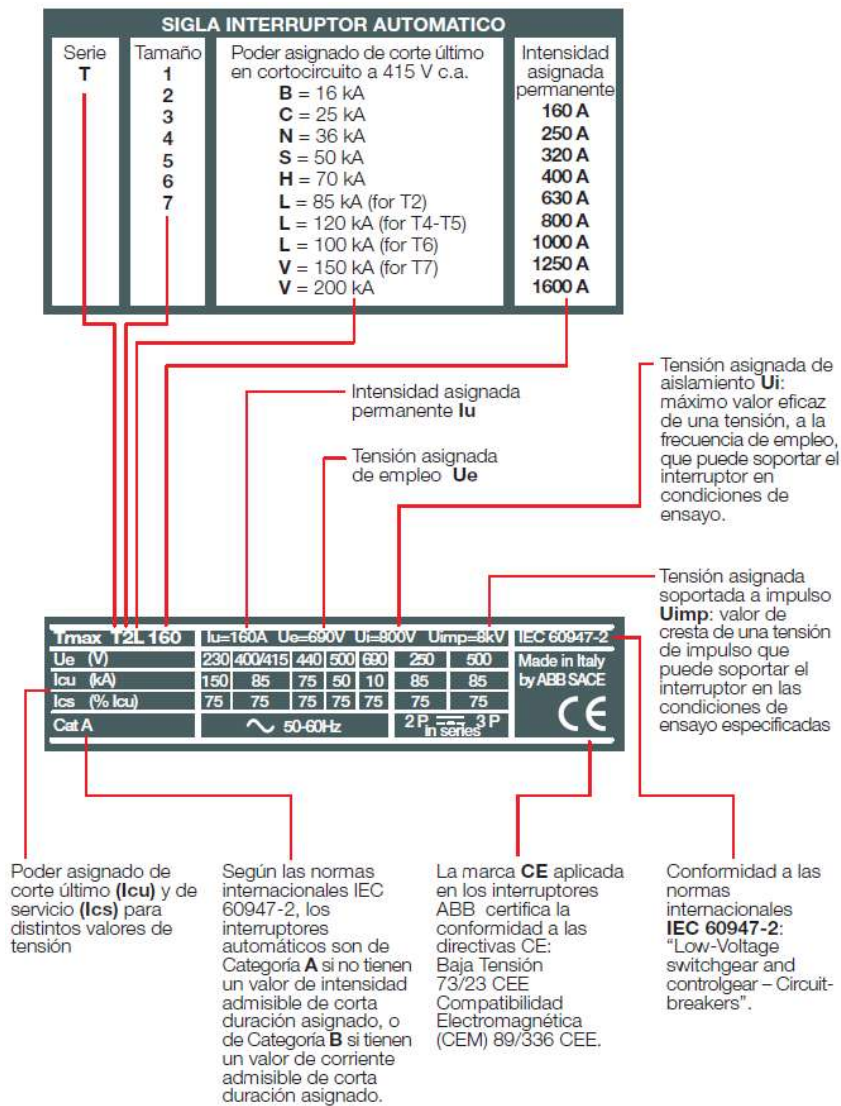


Figura 2.11 Placa de datos de un interruptor ¹¹

2.2. Tableros eléctricos

2.2.1. Definición

Un tablero eléctrico se compone de diversos equipos de protección y maniobra organizados en una o varias columnas que conforman una unidad funcional. [ABB, 2024]. Estas columnas, o secciones, están diseñadas para proteger los componentes internos frente a agentes externos que puedan afectar su funcionamiento mecánico o eléctrico, como polvo, arena, humedad, insectos u otras sustancias nocivas.

Los elementos principales que conforman un tablero son:

Envolvente: Proporciona soporte estructural, protección mecánica y seguridad tanto para los equipos como para los usuarios.

Bornes o conexiones de entrada y salida: Encargados de distribuir la energía hacia los distintos circuitos.

Equipo eléctrico: Incluye interruptores, seccionadores, medidores, unidades de protección, entre otros.

2.2.2. Clasificación de los tableros

Los tableros eléctricos se clasifican conforme a su función y al tipo de instalación donde se implementan [ABB, 2025f].

Tableros primarios de distribución

También denominados como tableros de potencia, se instalan habitualmente a la salida de transformadores de Media tensión (MT) a Baja tensión (BT) o de generadores, alimentando tableros secundarios o cargas principales.

Tableros secundarios de distribución

También denominado como *panelboard* están diseñados para distribuir energía hacia diversas cargas dentro de una instalación. Generalmente constan de una entrada y múltiples salidas.

Tableros de control de motores

Los Centro de control de motores (MCC), son diseñados para el arranque, protección y operación de motores eléctricos.

Tableros de control, medición y protección

Estos tableros alojan dispositivos que permiten controlar procesos, supervisar parámetros eléctricos y proteger equipos e instalaciones frente a condiciones anómalas.

Tableros de automatización

Integrados a maquinaria o procesos, estos tableros actúan como interfaz entre los operadores y el sistema, incluyendo elementos como PLC, módulos de entradas/salidas, HMI y sistemas de comunicación industrial.

Para todos los tipos de tableros mencionados, existen dos configuraciones constructivas generales:

- Tipo cerrado: Cuenta con paneles envolventes en todos sus lados, aumentando la protección contra contactos directos, indirectos y agentes externos.
- Tipo abierto: Su estructura es más expuesta, pudiendo o no incluir cubierta frontal. El equipo eléctrico es accesible, por lo que su uso está restringido en zonas controladas.

2.2.3. Segregación

La segregación es la subdivisión interna del tablero mediante compartimentos o barreras, diseñada para aislar eléctricamente las barras principales y los componentes activos.

Este tipo de diseño permite:

- Incrementar la protección frente a contactos indirectos.
- Reducir el riesgo de formación de arcos eléctricos internos.
- Evitar la intrusión de cuerpos sólidos en las barras colectoras.

La norma IEC 61439-2 establece los distintos tipos de segregación interna en tableros eléctricos, definidos en función del grado de separación entre barras, equipos funcionales y terminales de conexión. En la Figura 2.12 se ilustran de forma simplificada las configuraciones más comunes. Cabe destacar que la forma 4b proporciona el mayor nivel de compartimiento y seguridad [IEC, 2020c].

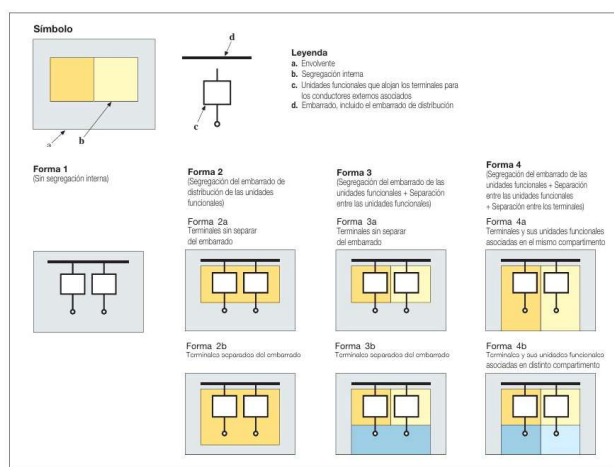


Figura 2.12 Tipos de segregación ¹³

2.3. Arreglos de transferencia

Los tableros de transferencia son sistemas integrados por componentes eléctricos cuya función principal es garantizar la continuidad del suministro eléctrico. Esto se consigue mediante la conmutación automática entre la fuente principal, proporcionada por la red, y una fuente alterna, como una planta de emergencia, cuando ocurre una falla en el suministro (véase Figura 2.13). De esta manera, se asegura el funcionamiento ininterrumpido de los procesos que requieren un suministro eléctrico constante.

¹³Tomada de [ABB, 2025f]

¹⁴Tomada de [ABB, 2020b]

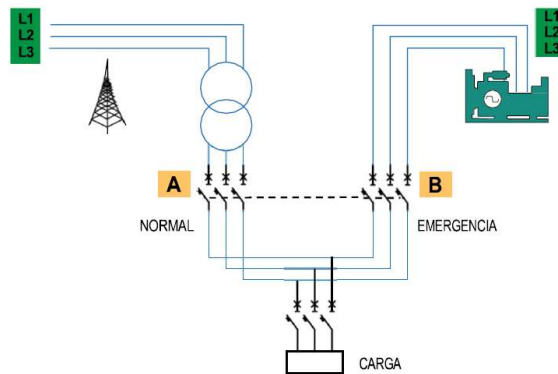


Figura 2.13 Ejemplo de transferencia ¹⁴

Para lograr una transferencia entre fuentes se puede optar por cuatro métodos.

1. Seccionadores motorizados
2. Interruptores automáticos y accesorios
3. Dispositivos Automatic Transfer Switch (ATS)
4. Lógica con contactores

Los dispositivos que realicen la transferencia pueden ser seccionadores como en la (Figura 2.14) o con interruptores automáticos tipo ACB o MCCB, Figura (2.15).



Figura 2.14 Seccionador de ABB¹⁵



Figura 2.15 Interruptor automático de ABB¹⁶

De esta forma podemos clasificar el tipo de transferencias en dos clasificaciones: abiertas y cerradas. Donde su selección depende de la aplicación del usuario.

2.3.1. Transferencia abierta

Cuando se habla de transición abierta, se hace referencia a una conmutación en la que, ante una falla eléctrica, existe un breve lapso durante el cual la instalación queda sin suministro de energía. Este fenómeno es comúnmente conocido en la industria como cruce por cero. Sus efectos son perceptibles

¹⁵Tomada de [ABB, 2023]

¹⁶Tomada de [ABB, 2023]

visualmente, ya que se observa momentáneamente la interrupción del servicio eléctrico, seguida de su restablecimiento.

2.3.2. Transferencia cerrada

Por el contrario, la transición cerrada no presenta cruce por cero, lo que significa que la continuidad del suministro eléctrico debe mantenerse en todo momento. Para lograrlo, se requiere el uso de dispositivos de conexión que no estén enclavados mecánicamente, permitiendo una breve superposición entre la fuente principal y la fuente de respaldo, sin que se interrumpa el flujo de energía.

2.3.3. Tipos de transferencias

Los tipos de transferencia se refieren a cómo operan los interruptores o seccionadores al cambiar entre distintas fuentes de alimentación: principal, secundaria y/o planta de emergencia. Esta clasificación ayuda a definir la estrategia de continuidad eléctrica en una instalación.

Tipo A

En esta configuración (Figura 2.16) se cuenta con una fuente principal y un generador como respaldo. Solo uno de los interruptores puede estar cerrado a la vez.

No es posible realizar una transferencia cerrada, ya que el generador necesita tiempo para estabilizarse tras el arranque. Por ello, la transferencia debe ser abierta.

Tipo B

En esta configuración (Figura 2.17) incluye tres fuentes: principal, secundaria y emergencia.

- Si el interruptor del generador (2) está cerrado, solo uno entre los interruptores 1 o 3 puede estar cerrado.
- Si el interruptor 2 está abierto, los interruptores 1 y 3 pueden estar cerrados al mismo tiempo

Esta configuración permite cierta flexibilidad, pero no admite el funcionamiento en paralelo del generador con otras fuentes.

Tipo C

También llamada configuración *Main-Tie-Main* (Figura 2.18), es comúnmente utilizada en centros de datos, hospitales e infraestructuras críticas donde la continuidad del suministro eléctrico es esencial.

Incluye un interruptor de acoplamiento (2) entre dos *buses* alimentados por fuentes independientes (1 y 3).

- Normalmente, los interruptores 1 y 3 están cerrados y el 2 abierto.
- Si falla una fuente, puede cerrarse el interruptor 2, pero solo una de las otras fuentes debe permanecer conectada con él, para evitar paralelismo.

Tipo D

En esta configuración (Figura 2.19) solo se permite:

- Un interruptor cerrado a la vez.
- Los tres interruptores cerrados solo si están conectados a la misma fuente (por ejemplo, durante pruebas)

A diferencia del tipo B, aquí no se permite que dos fuentes diferentes operen juntas, ni siquiera parcialmente.

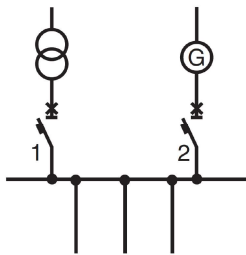


Figura 2.16 Transferencia tipo A

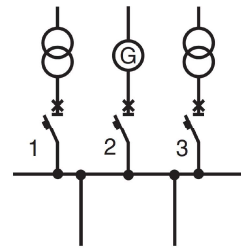


Figura 2.17 Transferencia tipo B

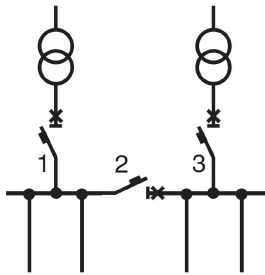


Figura 2.18 Transferencia tipo C

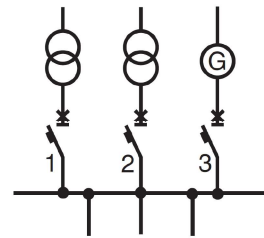


Figura 2.19 Transferencia tipo D

En transferencias cerradas, la barra de distribución del tablero debe estar dimensionada para soportar la corriente combinada de las dos fuentes, ya que pueden operar simultáneamente por un corto periodo.

Las Figuras 2.16, 2.17, 2.18, 2.19 fueron tomadas de [ABB, 2020b].

Capítulo 3

Normativa referente a los tablero eléctricos

3.1. Introducción

La observancia de los estándares técnicos resulta esencial para asegurar que los sistemas eléctricos operen de forma segura, confiable y compatible. Estas normativas establecen parámetros de calidad y lineamientos precisos para el diseño, pruebas, instalación, funcionamiento y mantenimiento de los equipos.

En este capítulo se analizan las normas más relevantes aplicables a tableros eléctricos de baja tensión e interruptores automáticos, destacando las principales diferencias entre la normativa europea (IEC) y la normativa americana (UL/NEMA).

3.2. Identificación de normativa

En prácticamente todas las regiones del mundo, las instalaciones eléctricas están sujetas a reglamentos y normas técnicas emitidos por autoridades competentes u organismos especializados. [Schneider-Electric, 2010].

En la Figura 3.1, obtenida de [Siemens, 2024], se presenta un mapa que muestra las normas utilizadas en distintas regiones del mundo. Puede apreciarse que en Europa, África, varias zonas de Sudamérica y una amplia región de Asia se rigen por normas IEC, mientras que en Estados Unidos predominan las normas UL.

Existen países como México y algunas naciones de Centroamérica que adoptan ambas normativas debido a su cercanía e intercambio comercial con Estados Unidos.

3.3. Marco Europeo

La International Electrotechnical Commission (IEC) es una organización mundial con sede en Suiza que publica normas internacionales en las áreas eléctrica, electrónica y tecnologías relacionadas. Para efectos de este trabajo, se destacan las siguientes normas relevantes:

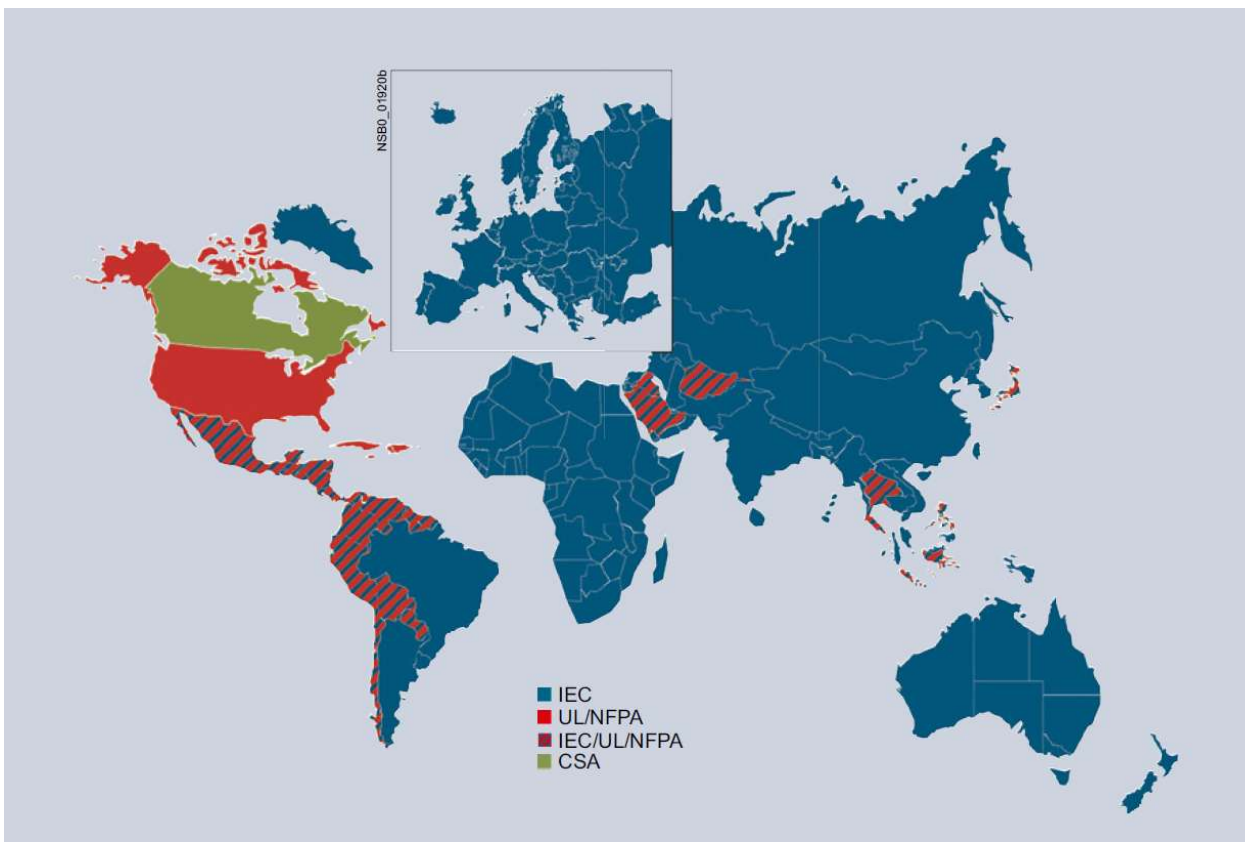


Figura 3.1 Normas utilizadas a nivel global

3.3.1. IEC 61439

Esta norma trata sobre el ensamblaje de tableros de baja tensión y está compuesta por varias partes que establecen criterios de diseño, verificación y aplicación [IEC, 2020c]:

IEC 614391-1: Requisitos generales para cuadros de distribución y control.

IEC 614391-2: Especificaciones para cuadros de potencia.

IEC 614391-3: Lineamientos para cuadros destinados a instalaciones terminales.

IEC 614391-4: Cuadros utilizados en obras y aplicaciones provisionales.

IEC 614391-5: Cuadros destinados a redes públicas de distribución.

IEC 614391-6: Sistemas de canalización mediante barras o embarrados.

3.3.2. IEC 60947

Esta norma regula los tableros de baja tensión [IEC, 2020b]. En particular, la parte 2 se enfoca en interruptores automáticos, incluyendo sus características eléctricas, métodos de ensayo, categorías de utilización y parámetros de operación. Estos conceptos se abordan con mayor detalle en el Capítulo 2, dedicado a la terminología.

3.3.3. IEC 60529

Establece la clasificación IP, la cual determina el nivel de protección que ofrece una envolvente frente a la penetración de polvo y agua en el interior de los equipos eléctricos.

3.3.4. IEC 60204-1

Especifica las condiciones de seguridad eléctrica que deben cumplir los equipos asociados a maquinaria industrial.

3.4. Marco Americano

En el contexto normativo estadounidense, diversas organizaciones regulan la fabricación, instalación y certificación del equipo eléctrico.

La National Fire Protection Association (NFPA) es la organización responsable de la seguridad contra incendios y de la publicación del National Electrical Code (NEC) o **NFPA 70**, el cual constituye el código eléctrico de referencia en Estados Unidos. El NEC exige que los equipos instalados estén certificados por laboratorios reconocidos, siendo Underwriters Laboratories (UL) uno de los más importantes.

UL se encarga de probar, evaluar y certificar dispositivos eléctricos, garantizando que cumplen con los requisitos de seguridad establecidos. En las Figuras 3.2 y 3.3 se muestra un ejemplo de certificado UL para interruptores.

Por otro lado, la American National Standards Institute (ANSI) actúa como entidad coordinadora y se encarga de acreditar de normas desarrolladas por otras organizaciones como UL o la Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Para efectos de este trabajo, las normas UL más relevantes en el diseño de tableros eléctricos son:

¹Tomada de [ABB, 2024]

²Tomada de [ABB, 2024]

CERTIFICADO NOM

Certificado No. / Certificate No. : ULM-NOM-17513
 Página / Page : 1/3
 Referencia No. / Reference No. : 4791226297
 Fecha de Emisión / Date of Issue : 2024-04-30

Emitido a / Certificate holder: ABB MEXICO, S.A. DE C.V.
 PARQUE INDUSTRIAL LOGÍSTICO, AVENIDA CENTRAL NO. 310
 LA PILA, SAN LUIS POTOSÍ, 78395, MEXICO.

Producto Certificado / Certified Product: Interruptor Automático en Caja Moldeada
 Modelo / Model: Ver Página 2 / See Page 2
 Marca / Trademark: ABB

Tensión Nominal, Frecuencia, Corriente Nominal, Potencia / Rated Voltage, Frequency, Rated Current, Power: Ver Página 2 / See Page 2

Categoría / Category: Nuevo (New)

Esquema de Certificación / Certification Scheme: Esquema de certificación con seguimiento del producto en fábrica o bodega

Evaluated bajo la Norma / Tested According to: NOM-003-SCFI-2014 (NMX-J-266-ANCE-2014)

Informe de Pruebas / Test Report No.: E93565 V1S25 20240417

Emitido por el Laboratorio / Issued by the laboratory: UL LLC

Información Adicional / Additional Information: N / A

País de Origen / Country of Origin: ITA

Fecha de Expiración / Expiration Date: 2025-04-30

País de Procedencia / Country of Provenance: USA

Fracción Arancelaria / Harmonized Tariff Code: 8536 20 99

Signatario / Signatory
 Manuel Velázquez Moreno

El producto cumple con los requerimientos de la marca UL-MX, NOM y de esquema de certificación bajo el cual fue evaluado y el contrato de Prestación de Servicios. El titular de certificado está autorizado a usar en los productos incluidos en este certificado la marca de conformidad indicada en el Apéndice UL de México, S.A. de C.V. debe ser informado por escrito de cualquier cambio que se realice al producto de acuerdo con el contrato de Prestación de Servicios de Certificación.

The product comply with the requirements of the UL, UL-MX, NOM and the Certification Scheme under which the product was evaluated and the service provision agreement. The holder of the certificate is entitled to use the Conformity Mark indicated in the Appendix for the products listed in this certificate. UL de México, S.A. de C.V. must be informed in writing about any changes to the product in accordance with the Services Provision Agreement.

Organismo de Certificación Acreditado por SEMA, a.c. con No. de Acreditación: 57111
 Vigente a partir del: 02-08-2011

Organismo de Certificación / Certification Body: UL de México, S.A. de C.V., Blas Pascal No. 205, Piso 3, Col. Polanco I Sección, C.P. 11510, Ciudad de México.
 Tel. +52 (55) 3000 5400, Fax +52 (55) 3000 5491

Form-ULID-007285 (DCS-42-FC-F0419) REV. 13.2



Figura 3.2 Certificado UL de interruptor página 1¹

- UL 508A: Tableros de control industrial.
- UL 489: Interruptores de bajo tensión.
- UL 1060: Interruptores de potencia.

CERTIFICADO NOM

Certificado No. / Certificate No. : ULM-NOM-17513
 Página / Page : 3/3
 Referencia No. / Reference No. : 4791226297
 Fecha de Emisión / Date of Issue : 2024-04-30

Marca / Certification Mark

Domicilio de fábrica (cuando aplique) / Where applicable, address of the factory: No Aplica

Organismo de Certificación / Certification Body: UL de México, S.A. de C.V., Blas Pascal No. 205, Piso 3, Col. Polanco I Sección, C.P. 11510, Ciudad de México.
 Tel. +52 (55) 3000 5400, Fax +52 (55) 3000 5491

Form-UL ID-007286 (DCS-42-FC-F0419) REV. 13.2

Figura 3.3 Certificado UL de interruptor página 2²

Capítulo 4

Desarrollo del diseño eléctrico

En esta sección se integra todo lo abordado previamente mediante un caso de estudio aplicado al diseño de un tablero de distribución eléctrica para una planta de procesamiento de residuos orgánicos urbanos. El objetivo es ilustrar de manera clara y estructurada el proceso completo que conlleva la elaboración de un tablero, desde el análisis de la instalación eléctrica, la especificación de componentes, hasta la cotización la propuesta.

4.1. Caso de estudio: planta de procesamiento de residuos orgánicos urbanos

Para realizar el diseño de un tablero eléctrico, es fundamental conocer cómo está compuesto el sistema de distribución eléctrica, así como identificar el tipo de cargas que se desea alimentar. Para ello, se utiliza un diagrama unifilar que permite visualizar e identificar la estructura del sistema eléctrico.

Como se mencionó en el capítulo 1; El proceso de la planta de procesamiento se dividen en las siguientes etapas:

1. Recepción de residuos orgánicos
2. Cargador frontal
3. Trituradora
4. Tanque de almacenamiento
5. Licuadora
6. Bomba de alta presión
7. Calentador de entrada y salida
8. Reactor HTC
9. Tanque de ácido sulfúrico
10. Filtro prensa
11. Secador térmico

Estas etapas las clasificaremos como proceso HTC.

A primera vista, enumerar estas etapas podría sugerir un proceso complejo que requeriría un análisis detallado de cada una. No obstante, al analizarlo desde la perspectiva eléctrica, cada etapa del proceso corresponde a una carga independiente especificadas por el fabricante de cada equipo. Por tanto, lo más relevante para el diseño del tablero es conocer las características eléctricas de dichas cargas: potencia, tensión nominal y tipo de arranque por mencionar algunos parámetros.

Sin embargo, el proceso HTC no es el único que se debe alimentar, ya que la planta cuenta con circuitos secundarios como:

- Servicios de oficina
- Extractor
- Grúa
- Ventiladores
- Cargas criticas

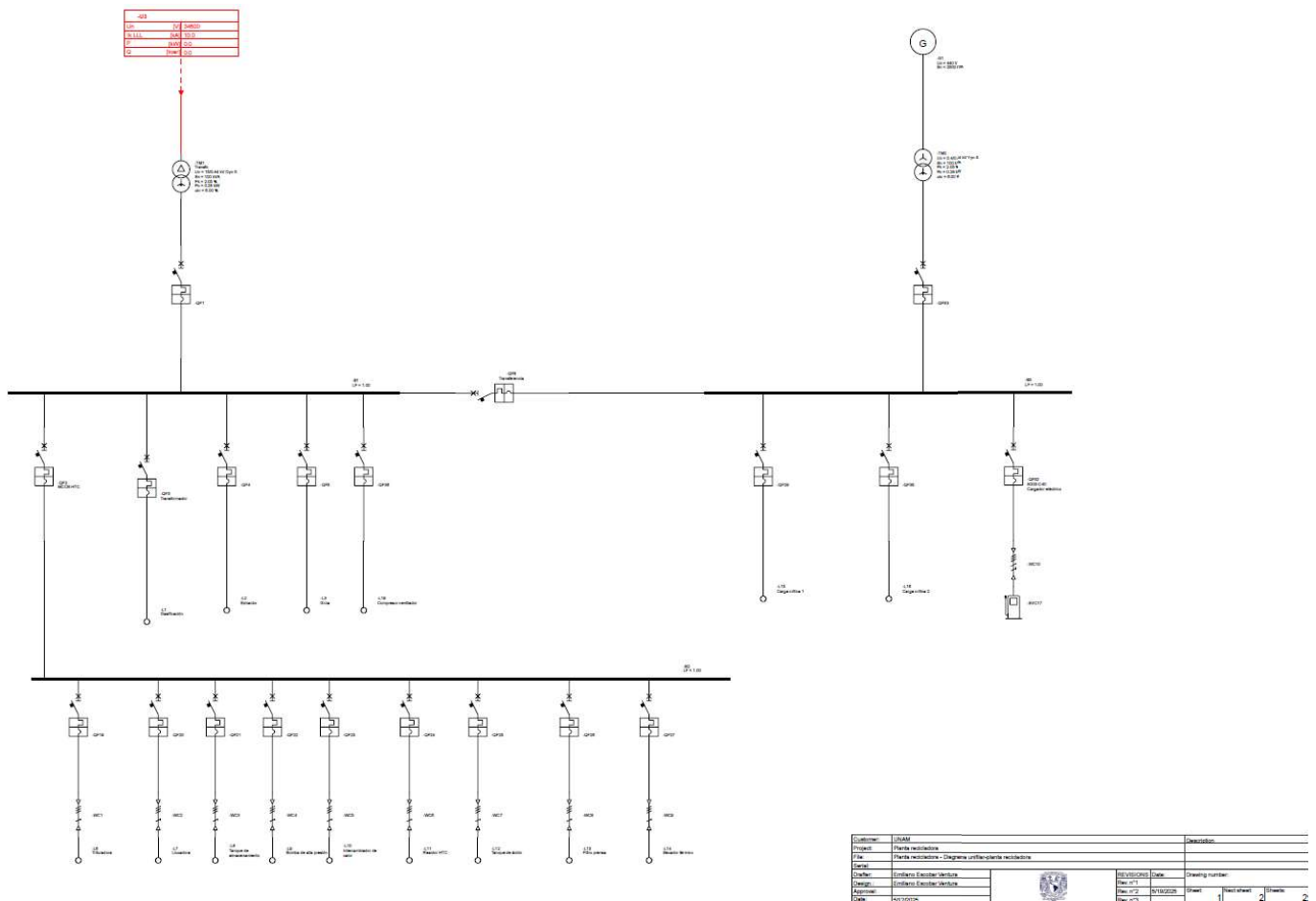


Figura 4.1 Diagrama unifilar de planta de procesamiento ¹

¹Diagrama elaborada por el autor

A partir de la figura 4.1, se puede realizar un análisis más completo de la distribución eléctrica de la planta. Observamos que el suministro de energía proviene de la interconexión con la subestación eléctrica de la CFE. Dado que el voltaje entregado excede los 1000 volts, se requiere la incorporación de un transformador reductor para disminuir los niveles de media tensión a baja tensión; en este caso, a 440 volts.

Desde el devanado secundario del transformador, la energía se dirige a un *bus* principal. Este *bus* se encarga de distribuir la energía hacia los diversos circuitos del sistema, razón por la cual se denomina **tablero de distribución principal**.

Desde el *bus* principal, se observan diferentes ramificaciones que alimentan cargas como: el extractor, un segundo transformador, la grúa, las cargas críticas y el proceso HTC.

En lado derecho del diagrama, se cuenta con un generador eléctrico conectado al *bus* principal, seccionado mediante un interruptor central. Este arreglo corresponde al tipo C de transferencia. El generador se ha seleccionado con capacidad suficiente para alimentar las cargas críticas cuando ocurre una interrupción del servicio proveniente de la CFE, asegurando así la continuidad de operación.

El interruptor automático situado en el centro del *bus* principal permite separar las cargas prioritarias de las no prioritarias en caso de pérdida del suministro principal. De esta manera, se asegura que las cargas prioritarias permanezcan energizadas incluso ante una interrupción prolongada del servicio.

Finalmente, el primer interruptor del bus principal, alimenta a un **tablero de subdistribución**, cuya función es suministrar energía exclusivamente al proceso HTC.

4.2. Análisis de los tableros actuales de la planta

En esta sección se analiza la disposición del equipo actualmente instalado en la planta, enfocándonos en los tipos de interruptores, tableros eléctricos y accesorios empleados.

Por motivos de confidencialidad, no se incluyen fotografías que muestren la distribución de los dispositivos eléctricos.

La planta emplea una arquitectura completamente basada en Schneider Electric, lo que implica que tanto los interruptores como los tableros pertenecen a esta marca.

La información técnica de los dispositivos fue obtenida de los catálogos de Schneider Electric [Schneider-Electric, 2021], [Schneider-Electric, 2014] y [Schneider-Electric, 2015].

4.2.1. Tablero de distribución principal

A partir de la placa de datos, es posible identificar características como la tensión nominal, corriente de asignación, frecuencia de operación y número de hilos.

El tablero corresponde a un modelo *QED-2* autosoportado con una capacidad de 1600 Amperes; cumpliendo con las normas UL, National Electrical Manufacturers Association (NEMA), NFPA y NEC. Este tablero aloja un interruptor principal tipo ACB de 1600 A y cuenta con seis circuitos derivados, protegidos por interruptores tipo MCCB con las siguientes capacidades (Tabla 4.1):

Amperaje	Cantidad
1200 A	1
500 A	1
150 A	4

Tabla 4.1 Interruptores automáticos del tablero de distribución principal actual

Uno de los interruptores de 150 Amperios corresponde al acoplamiento entre cargas prioritarias y no prioritarias. El interruptor de 1200 Amperios alimenta directamente al proceso HTC.

Cabe señalar que no se ha identificado la presencia de un interruptor dedicado para el generador, lo que indica que su operación es manual y que no existe un enclavamiento mecánico entre la fuente principal y el generador.

Con la finalidad de ilustrar, se presenta un tablero tipo QED 2. Figura 4.2



Figura 4.2 Tablero QED2 ²

4.2.2. Tablero de subdistribución

El tablero de subdistribución corresponde a un modelo *I-Line* serie B (Figura 4.3). Este tablero no cuenta con interruptor principal, ya que su alimentación proviene directamente del tablero de distribución principal mediante zapatas de conexión. Su función es distribuir la energía entre las diferentes cargas del proceso HTC.

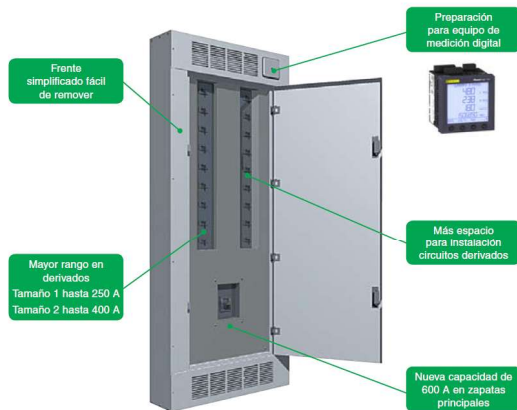
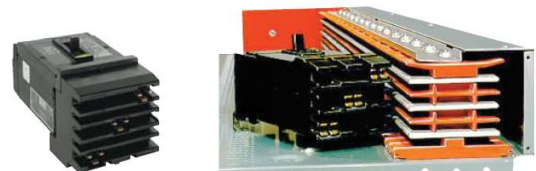
Una característica de la serie *I-Line*, es el tipo de montaje *plug in* que tienen los interruptores MCCB, esto permite una instalación rápida sin necesidad de cableado adicional, ya que los interruptores se conectan directamente a las barras de cobre o aluminio. Figura 4.4

Los interruptores utilizados en este tablero tienen las siguientes capacidades (Tabla 4.2):

²Tomada de [Schneider-Electric, 2014]

³Tomada de [Schneider-Electric, 2015]

⁴Tomada de [Schneider-Electric, 2015]

Figura 4.3 Tablero I-line ³Figura 4.4 Montaje tipo I-line ⁴

Amperaje	Cantidad
40 A	1
60 A	1
90 A	1
125 A	2
200 A	1
225 A	1
250 A	1
315 A	1

Tabla 4.2 Interruptores del tablero de subdistribución actual

4.2.3. Unidades de protección

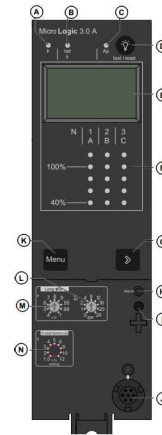
El interruptor de 1600 Ampers está equipado con una unidad de protección *Micrologic 6.0* (Figura 4.5), la cual incluye protecciones del tipo *LSIG*.

Además de su función de protección, esta unidad posibilita la adquisición de diversos parámetros eléctricos, entre ellos corriente por fase, tensiones fase-fase y fase-neutro, potencias activa, reactiva y aparente, factor de potencia y niveles de distorsión armónica [Schneider-Electric, 2020].

Por otro lado, el interruptor de 1200 Ampers posee una unidad de protección *Micrologic 3.0A* (Figura 4.6), que incluye únicamente protecciones de tipo *LI* (sobrecarga y cortocircuito instantáneo). Esta unidad permite la medición de corriente por fase y corriente pico [Schneider-Electric, 2024].

⁵Tomada de [Schneider-Electric, 2020]

⁶Tomada de [Schneider-Electric, 2024]

Figura 4.5 Micrologic 6.0 ⁵Figura 4.6 Micrologic 3.0 ⁶

4.3. Propuesta de sistema nuevo

Durante el análisis del sistema se identificaron únicamente dos tableros eléctricos. Como parte de la propuesta, se plantea incorporar un tercer tablero dedicado exclusivamente a realizar la función de transferencia entre la fuente principal y el generador. La Figura 4.7 presenta la clasificación correspondiente a los tableros eléctricos previstos para la planta.

1. Tablero de transferencia.
2. Tablero de distribución principal.
3. Tablero de subdistribución para el proceso HTC.

La inclusión de un tablero de transferencia mejora considerablemente la confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico. Este tablero permitirá establecer un enclavamiento mecánico entre la fuente principal y el generador, evitando así que ambas fuentes operen en paralelo, lo que podría representar un riesgo para el personal y los equipos.

⁷Diagrama elaborado por el autor

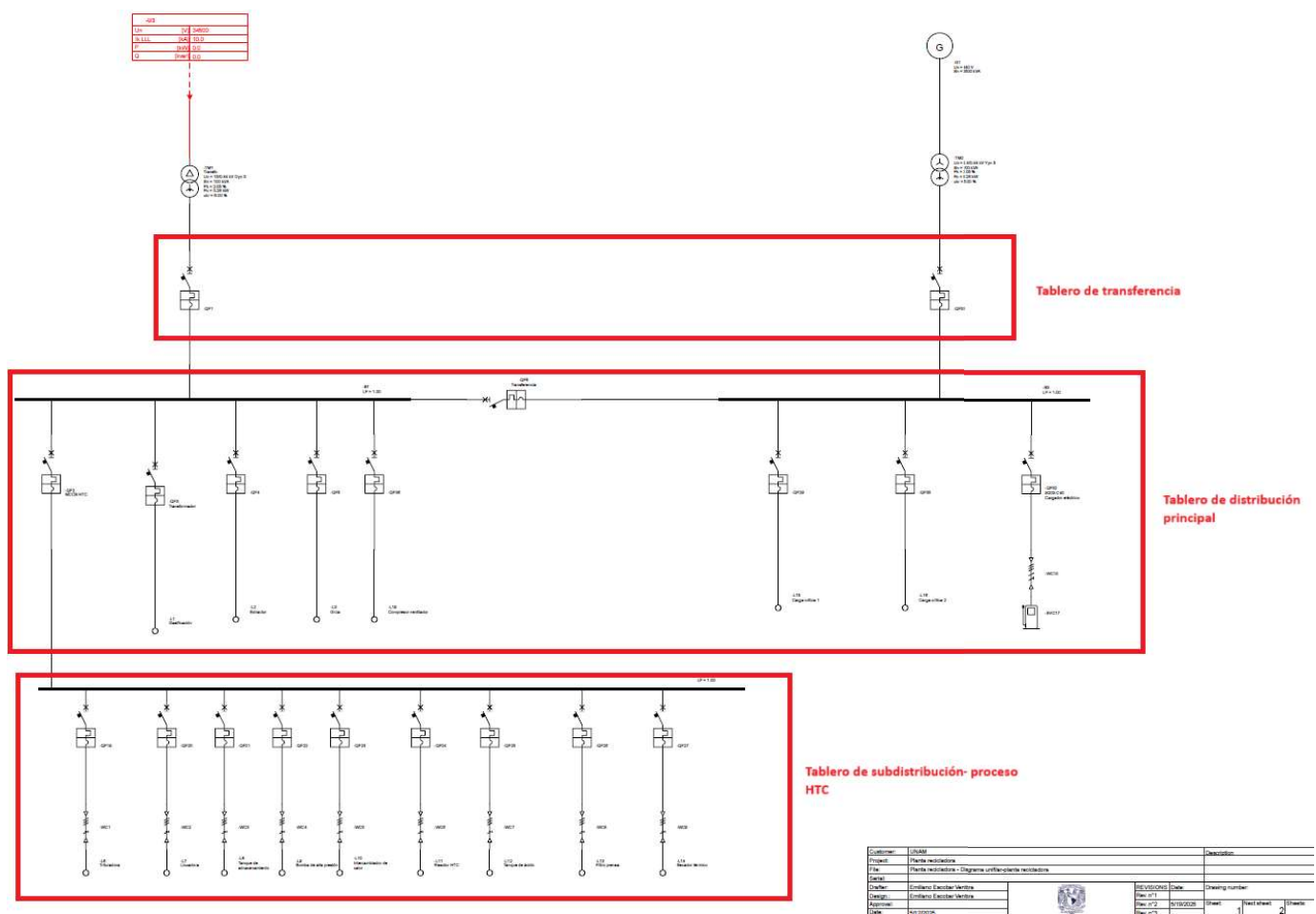


Figura 4.7 Diagrama unifilar seccionado de la planta de procesamiento ⁷

4.4. Especificación de tableros

Ya que tenemos clasificados los tableros e interruptores automáticos, debemos escoger el tipo de tablero que deseamos utilizar en nuestra solución.

4.4.1. Tablero de distribución principal

Para el tablero principal y de transferencia se ha seleccionado el modelo *Tmax Link*, el cual se encargará de distribuir energía a los siguientes circuitos: proceso HTC, transformador, grúa, ventiladores, extractores, y de hacer la conmutación de fuentes.

La elección de este tablero se debe a su flexibilidad y capacidad de expansión. En particular, el sistema *Tmax Link* permite incorporar espacio adicional para futuros interruptores, lo que facilita ampliaciones o reconfiguraciones del sistema eléctrico sin requerir una sustitución completa del tablero.

Se mantiene una acometida mediante zapatas, ya que este tablero estará directamente acoplado al tablero de transferencia.

Las especificaciones eléctricas del tablero de distribución principal se observan en la Tabla 4.3

Parámetros	Valores
Corriente nominal de operación	1600 A
Tipo de acometida	Mediante zapatas
Tensión de operación	440 V
Capacidad de cortocircuito	32 kA

Tabla 4.3 Especificaciones del tablero Tmax Link de distribución principal

En la Figura 4.8 se puede ver la estructura el tipo de tablero que tendría.



Figura 4.8 Tablero Tmax Link ⁸

⁸Tomada de [ABB, 2015]

4.4.2. Tablero de transferencia

Para aprovechar el equipo existente, utilizaremos las funciones integradas de los interruptores automáticos para realizar la transferencia de fuentes. Esto permite la disminución de conexiones, espacio y rápida configuración.

Se utilizará de la misma forma un tablero tipo *Tmax Link*, sin embargo se debe especificar que el tablero es para una aplicación de transferencia. Tal como se aprecia en la Figura 4.9.

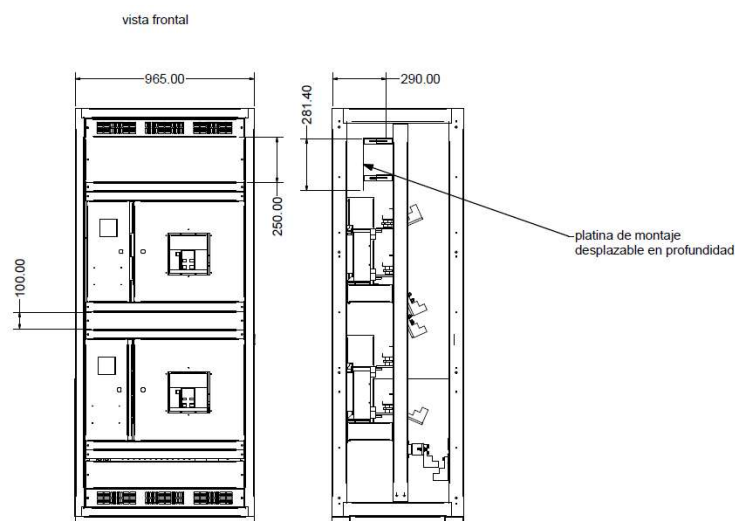


Figura 4.9 Tablero Tmax Link como transferencia ⁹

Puesta en marcha de la función ATS de los interruptores

Para activar la función ATS en los interruptores se deben seguir las siguientes instrucciones:

1. Establecer conexión con los interruptores con la maleta de pruebas (Figura 4.10).
2. Escanear los dispositivos en la aplicación *Ekip Connect* (Figuras 4.11 y 4.12).
3. Ir a *marketplace* o *tools* y seleccionar la opción de ATS (Figura 4.13).
4. Asociar interruptores (Figura 4.14).
5. Configurar tiempos de apertura y cierre (Figura 4.15).
6. Verificar los accesorios necesarios en la (Tabla 4.7) y (Figura 4.16).
7. Descargar la configuración en el interruptor (Figura 4.17).

⁹Tomada de [ABB, 2025e]

¹⁰Tomada de [ABB, 2023]

¹¹Tomada de [ABB, 2025d]

¹²Tomada de [ABB, 2025d]

¹³Tomada de [ABB, 2025d]

¹⁴Tomada de [ABB, 2025d]

¹⁵Tomada de [ABB, 2025d]

¹⁶Imagen elabora por el autor

¹⁷Tomada de [ABB, 2025d]



Figura 4.10 Conexión de estación de trabajo con interruptor ¹⁰

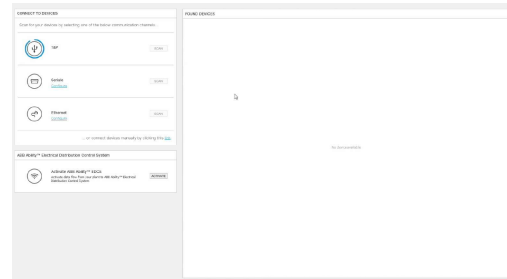


Figura 4.11 Conexión con maleta de pruebas ¹¹

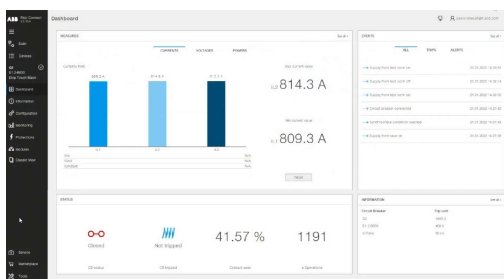


Figura 4.12 Conexión con Ekip Connect ¹²

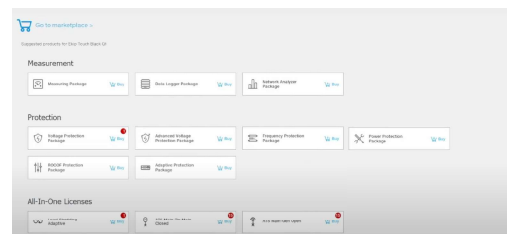


Figura 4.13 Marketplace ABB ¹³

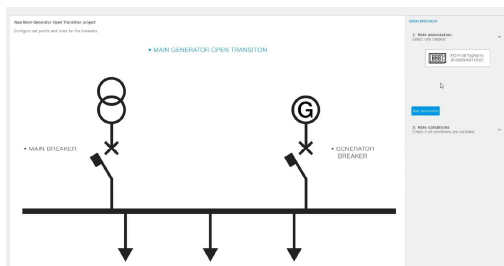


Figura 4.14 Enlace de interruptores ¹⁴

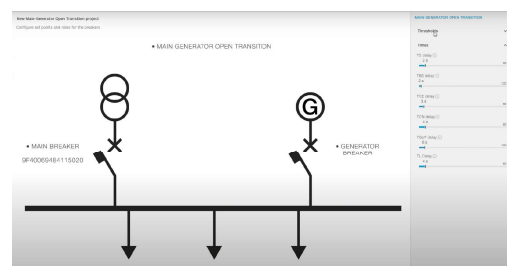


Figura 4.15 Configuración de tiempos ¹⁵

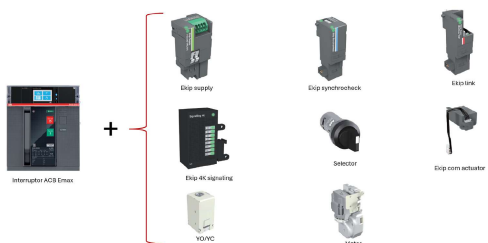


Figura 4.16 Interruptor Emax y accesorios ¹⁶

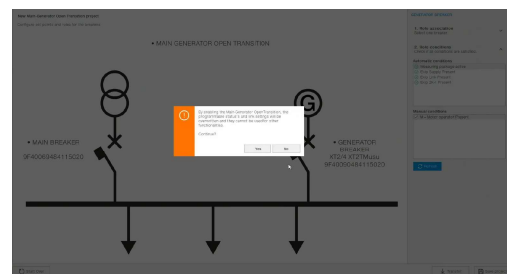


Figura 4.17 Descarga de configuración al interruptor ¹⁷

Para configurar el interruptor correspondiente al generador, se sigue el mismo procedimiento previamente descrito [ABB, 2020] y [ABB, 2025c].

4.4.3. Tablero de subdistribución

Para el proceso HTC se utilizará un tablero Artu L Panelboard que se puede colocar en la pared. Es un tablero cerrado con protección IP31 o IP43 para tableros con o sin puerta respectivamente [ABB, 2013].

Las especificaciones del tablero de subdistribución para el proceso HTC se ven mostradas en la Tabla 4.4:

Parámetros	Valores
Corriente nominal de operación	1250 A
Tipo de acometida	Mediante zapatas
Tensión de operación	440 V
Capacidad de cortocircuito	18 kA

Tabla 4.4 Especificaciones del tablero Artu L Panelboard para el proceso HTC

4.5. Propuesta de interruptores

4.5.1. Selección de interruptores

El paso posterior implica la **selección de los interruptores automáticos y accesorios**. Para ello, es fundamental conocer dos parámetros clave: la corriente nominal de empleo y la capacidad de cortocircuito del sistema, información que dependerá del tipo de tablero seleccionado.

Con base en el catálogo del fabricante, se realiza una referencia cruzada que permite determinar la **capacidad de interrupción** adecuada para el interruptor.

El procedimiento de selección consiste en:

1. Identificar en el catálogo el valor de I_{cu} correspondiente.
2. Ubicar la fila asociada al **voltaje de operación** del sistema (por ejemplo, 415 V o 690 V).
3. En esa misma fila, buscar la **capacidad de cortocircuito del tablero**.
4. Trazar una columna hacia arriba desde ese valor hasta encontrar la **letra de clasificación** del interruptor que cumple con dicha capacidad.


Es importante que el valor de I_{cu} del interruptor sea **igual o superior** a la capacidad de cortocircuito del tablero, para garantizar la seguridad del sistema.

En las figuras 4.18 y 4.19 se presenta un ejemplo gráfico del proceso de selección a partir del catálogo del fabricante.

¹⁸Tomada de [ABB, 2023]

¹⁹Tomada de [ABB, 2023]


Interruptores automáticos SACE Tmax XT para distribución de corriente alterna (CA)



Tamaño	XT5	XT6 SM	XT7	XT7 M
Corriente permanente asignada [A]	400 / 630	800 / 1000 SM	800 / 1000 / 1250 / 1600	800 / 1000 / 1250 / 1600
Polos [N/S]	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4
Tensión nominal de servicio, Ue (CA) 50-60 Hz [V]	690	690	690	690
Tensión nominal de aislamiento UI [V]	1000	1000	1000	1000
Tensión nominal de resistencia a impulsos, Uimp [kV]	8	8	8	8
Versiones	Fijo, extraíble, enchufable SM		Fijo, extraíble	
Poder de corte según IEC 60947-2	N S H L V X		N S H L V X	
Poder asignado de corte definido en cortocircuito, Icu	N S H L V X		N S H L V X	
Icu @ 220-230-240V 50-60Hz (CA)	[kA] 70 85 100 150 200 200	70 85 100	85 100 200	85 100 200
Icu @ 380V 50-60Hz (CA)	[kA] 36 50 70 100 200 200	36 50 70	50 70 100	50 70 100
Icu @ 415V 50-60Hz (CA)	[kA] 36 50 70 100 200 200	36 50 70	50 70 100	50 70 100
Icu @ 440V 50-60Hz (CA)	[kA] 36 50 70 100 180 200	30 45 50	50 65 100	50 65 100
Icu @ 500V 50-60Hz (CA)	[kA] 25 30 40 50 100 150	25 30 40	45 50 85	45 50 85
Icu @ 525V 50-60Hz (CA)	[kA] 25 30 40 50 100 150	25 30 40	45 50 85	45 50 85
Icu @ 690V 50-60Hz (CA)	[kA] 20 25 40 70 80 100	20 22 25	30 42 50	30 42 50
Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito, Ics	N S H L V X		N S H L V X	
Ics @ 220-230-240V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 100% 100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%
Ics @ 380V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 100% 100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%
Ics @ 415V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 100% 100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%
Ics @ 440V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 100% 100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%
Ics @ 500V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 100% 100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%
Ics @ 525V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 100% 100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%
Ics @ 690V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 100% SM 100% SM 100% SM 100% SM	100% 100% 100%	100% 100% 100%	100% 100% 100%
Poder de corte según NEMA-AB1	N/A		N/A	
@ 240V 50-60Hz (CA)	[kA]	10	20	20
@ 480V 50-60Hz (CA)	[kA]	5	10	10
Categoría de uso (IEC 60947-2)	A (hasta 630 A), B (hasta 500 A) SM		B	
Line (L=)	E		E	
Norma de referencia	IEC 60947-2		IEC 60947-2	
Comportamiento del aislamiento	✓		✓	
Figuras en perfil DIN	✓		✓	
Durabilidad mecánica (N.F. de maniobras)	20.000		20.000	
(N.F. de maniobras/hora)	120		120	
Durabilidad eléctrica @ 415 V (CA) (N.F. de maniobras)	7.000 (400 A), 3.000 (630 A)		3.000	
(N.F. de maniobras/hora)	60		60	
Dimensiones	140 x 103 x 205		210 x 103,5 x 268	
Polo 3 polos (Anchura x Profundidad x Altura)	186 x 103 x 205		280 x 103,5 x 268	
4 polos			280 x 166 x 268	
Características de protección para distribución eléctrica	TMD/TMA		TMD/TMA	
Equip. Dip	■		■	
Equip. Touch	■		■	

Figura 4.18 Selección de interruptor para tablero principal 18

Interruptores automáticos SACE Tmax XT para distribución de corriente alterna (CA)



Tamaño	XT1	XT2	XT3	XT4
Corriente permanente asignada [A]	160	160	250	160 / 250
Polos [N/S]	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4
Tensión nominal de servicio, Ue (CA) 50-60 Hz [V]	690	690	690	690
Tensión nominal de aislamiento UI [V]	800	800	800	1000
Tensión nominal de resistencia a impulsos, Uimp [kV]	8	8	8	8
Versiones	Fijo, enchufable SM		Fijo, Extraíble, Enchufable	
Poder de corte según IEC 60947-2	N S H L V X		N S H L V X	
Poder asignado de corte definido en cortocircuito, Icu	N S H L V X		N S H L V X	
Icu @ 220-230-240V 50-60Hz (CA)	[kA] 85 85 100 150 200 200	85 85 100 150 200 200	85 85 100 150 200 200	85 100 150 200 200
Icu @ 380V 50-60Hz (CA)	[kA] 18 25 36 50 70 70	36 50 70 100 150 150	36 50 70 100 150 150	36 50 70 100 150 200
Icu @ 415V 50-60Hz (CA)	[kA] 18 25 36 50 70 70	36 50 70 100 150 150	36 50 70 100 150 150	36 50 70 100 150 200
Icu @ 440V 50-60Hz (CA)	[kA] 15 25 36 50 65	36 50 65 100 150 150	36 50 65 100 150 200	36 50 65 100 150 200
Icu @ 500V 50-60Hz (CA)	[kA] 8 10 10 30 36 50	30 36 50 60 70 80	25 30 30 36 50 60	30 36 50 60 85 100
Icu @ 525V 50-60Hz (CA)	[kA] 6 8 8 22 32 35	20 25 30 36 50 50	15 20 20 25 30 36	20 25 45 50 70 100
Icu @ 690V 50-60Hz (CA)	[kA] 3 4 4 6 8 10	10 12 15 18 20 25	8 10 12 15 20 20	10 15 20 30 SM 100
Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito, Ics	N S H L V X		N S H L V X	
Ics @ 220-230-240V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 75% (50) 75% 75%	100% 100% 100% 100% 100%	75% 50% 100% 100% 100%	100% 100% 100% 100% 100%
Ics @ 380V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 100% 100% 100%	100% 100% 100% 100% 100%	75% 50% (27) 100% 100%	100% 100% 100% 100%
Ics @ 415V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 100% 100% 100%	100% 100% 100% 100% 100%	75% 50% (27) 100% 100%	100% 100% 100% 100%
Ics @ 440V 50-60Hz (CA)	[kA] 75% 50% 50% 50% 50%	100% 100% 100% 100% 100%	75% 50% 100% 100% 100%	100% 100% 100%
Ics @ 500V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 50% 50% 50% 50%	100% 100% 100% 100% 100%	75% 50% 100% 100% 100%	100% 100% 100%
Ics @ 525V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 50% 50% 50%	100% 100% 100% 100% 100%	75% 50% 100% 100% 100%	100% 100% 100%
Ics @ 690V 50-60Hz (CA)	[kA] 100% 100% 75% (3) 50% (3) 50%	100% 100% 75% (13) 50% (3) 50%	100% 100% 50% 100% 100%	100% 100% 100%
Poder de corte según NEMA-AB1	N/A		N/A	
@ 240V 50-60Hz (CA)	[kA] 25 40 65 85 100	65 85 100 150 200	65 85 85 85 100 150	100 150 200 200
@ 480V 50-60Hz (CA)	[kA] 8 10 30 36 65	30 36 65 100 150	25 35 30 36 65 100	150 150 100
Categoría de uso (IEC 60947-2)	A		A	
Norma de referencia	IEC 60947-2		IEC 60947-2	
Comportamiento del aislamiento	✓		✓	
Figuras en perfil DIN	DIN EN 50022		DIN EN 50022	
Durabilidad mecánica (N.F. de MANIOBRAS)	25.000		25.000	
(N.F. de MANIOBRAS/hora)	240		240	
Durabilidad eléctrica @ 415 V (CA) (N.F. de MANIOBRAS)	8.000		8.000	
(N.F. de MANIOBRAS/hora)	120		120	
Dimensiones	76,2 x 70 x 130		105 x 70 x 160	
Polo 3 polos (Anchura x Profundidad x Altura)	101,6 x 70 x 130		140 x 70 x 160	
4 polos			140 x 82,5 x 160	

Figura 4.19 Selección de interruptor para proceso HTC 19

Distribución Principal: Para el tablero de distribución principal se deben tener interruptores con una Icu mayor o igual a 32kA, para un voltaje de empleo de 440V (Véase Tabla 4.5).

Descripción	Cantidad	Código de interruptor
Tmax XT7S 1250 A Ekip Dip LS/I	1	1SDA100828R1
Tmax XT5S 500 A TMA	1	1SDA100828R1
Tmax XT4H 160 A TMA	4	1SDA068342R1

Tabla 4.5 Lista de interruptores automáticos para tablero de distribución principal

Transferencia: El fabricante menciona que se deben incluir lo siguientes accesorios para que la función ATS de los interruptores opere correctamente (Véase Tabla 4.6 y 4.7).

Descripción	Cantidad	Código de interruptor
Emax1.2 B 1600A Ekip Hi-Touch LSIG	2	1SDA070869R1

Tabla 4.6 Lista de interruptores automáticos para tablero de transferencia

Accesorio	Código
Paquete de medición	1SDA107525R1
Ekip Supply	1SDA074173R1
Ekip Link	1SDA074163R1
Ekip 4K signaling	1SDA074170R1
Ekip COM actuator	1SDA074166R1
Motor	1SDA073708R1
Bobina de apertura	1SDA073681R1
Bonina de cierre	1SDA073668R1

Tabla 4.7 Especificaciones del tablero Tmax Link de distribución principal

Subdistribución: Para el tablero del proceso HTC se deben tener interruptores con una Icu mayor o igual a 24kA, para un voltaje de empleo de 440V (Véase Tabla 4.8).

Descripción	Cantidad	Código de interruptor
Tmax XT1C 40 A TMD	1	1SDA067393R1
Tmax XT1C 63 A TMD	1	1SDA067395R1
Tmax XT1C 100 A TMD	1	1SDA067397R1
Tmax XT1C 125 A TMD	2	1SDA067398R1
Tmax XT3N 200 A TMD	1	1SDA068058R1
Tmax XT3N 250 A TMD	2	1SDA068059R1
Tmax T5N 320 A TMD	1	1SDA054436R1

Tabla 4.8 Lista de interruptores automáticos para tablero de subdistribución para proceso HTC

4.6. Propuesta digital

Una opción con importantes beneficios consiste en incorporar un sistema de supervisión remota para la instalación eléctrica. Esto es posible debido a que las unidades de protección *Ekip Hi-Touch* son compatibles con la plataforma digital **ABB Ability** (véase Figura 4.20).

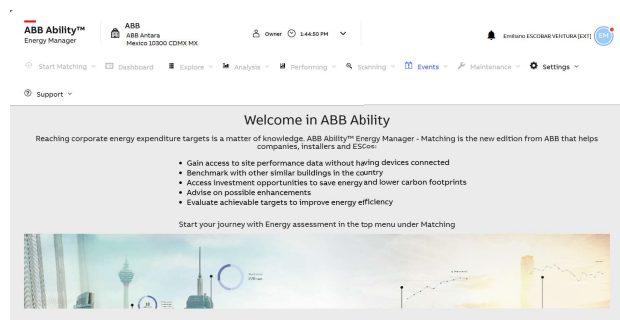


Figura 4.20 Pantalla de inicio de ABB Ability ²⁰

ABB Ability es una solución digital creada por ABB que permite la supervisión en tiempo real de equipos eléctricos desde cualquier ubicación, mediante computadoras, tabletas o dispositivos móviles. Esta herramienta facilita la operación mediante tres funciones clave: **Monitorear**, **Optimizar** y **Controlar**.

Monitoreo La plataforma permite visualizar de forma remota los principales parámetros eléctricos del sistema, como:

- Corrientes por fase.
- Tensión entre fase-fase y fase-neutro.
- Potencias activa, reactiva y aparente.
- Energía consumida.
- Frecuencia.

²⁰Tomada de [ABB, 2025a]

- Contenido armónico.
- Datos de calidad de energía mediante funciones de analizador de red.

Optimización ABB Ability ofrece funciones para mejorar la eficiencia operativa de la instalación, como:

- Programación automática de reportes diarios, semanales o mensuales
- Análisis de desempeño con base en indicadores clave
- Toma de decisiones informada para la gestión energética

Control El sistema también permite definir acciones automáticas o asistidas en caso de eventos críticos:

- Generación de alertas por condiciones anormales.
- Envío de notificaciones vía SMS o correo electrónico.
- Definición de protocolos de acción para operadores ante fallas.

Además, la plataforma cuenta con una interfaz intuitiva y personalizable, que pueden integrarse mediante un sistema de diseño tipo *drag-and-drop*, facilitando la visualización de datos clave (Figura 4.21).

Cuando incorporamos ABB Ability al sistema eléctrico también se puede diseñar diagramas unifilares (Figura 4.22) donde se pueden visualizar la disposición, estado y condición del equipo y generar gráficos (Figura 4.23) y (Figura 4.24).

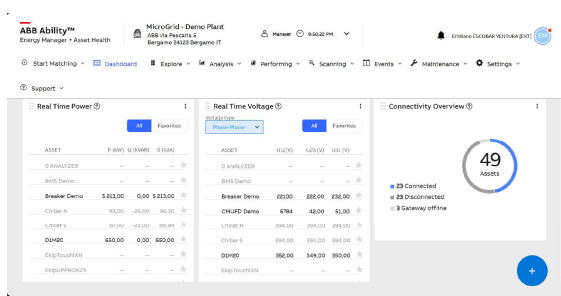
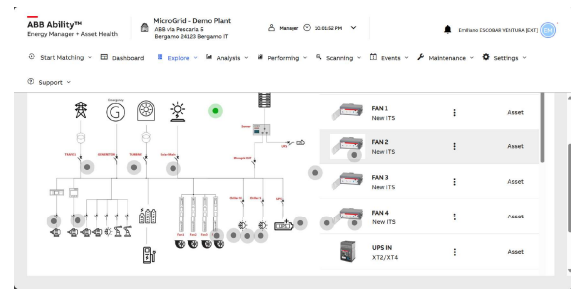
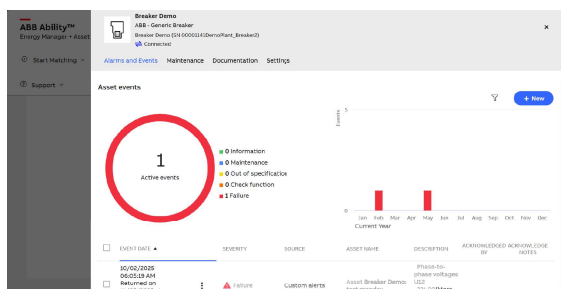
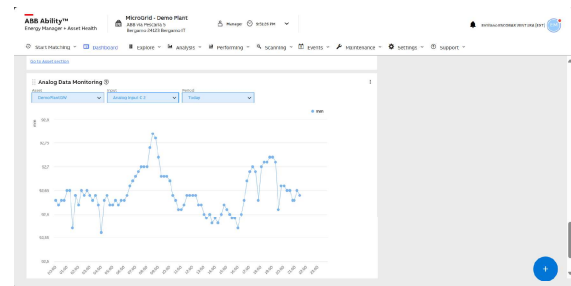
En conjunto, ABB Ability contribuye a mejorar la **confiabilidad, eficiencia y visibilidad** operativa del sistema eléctrico, alineándose con los requerimientos actuales de continuidad de servicio y gestión inteligente de la energía [ABB, 2023].

²¹Tomada de [ABB, 2025a]

²²Tomada de [ABB, 2025a]

²³Tomada de [ABB, 2025a]

²⁴Tomada de [ABB, 2025a]

Figura 4.21 Funciones preconfiguradas ²¹Figura 4.22 Diagrama unifilar en ABB Ability ²²Figura 4.23 Ejemplo de mantenimiento predictivo ²³Figura 4.24 Histograma ²⁴

4.7. Desglose de materiales

Ya que definimos el tipo de tablero, interruptores automáticos y accesorios a utilizar, el siguiente paso es realizar el Bill of Materials (BOM) de la solución propuesta.

Para el proyecto, se utilizará la herramienta **E-Quoter** el cual permite realizar configuraciones a los tableros. Es importante señalar que cada fabricante cuenta con su propia herramienta de configuración y cotización, por lo que el procedimiento puede variar ligeramente entre marcas (por ejemplo, Schneider Electric, Siemens o Eaton).

A continuación, se detalla el procedimiento general utilizado para llevar a cabo la configuración de los tableros eléctricos.

4.7.1. Pasos para la configuración en E-Quoter

1. Acceder al portal *E-Quoter* (Figura 4.25).
2. Iniciar una nueva cotización en el apartado de presupuesto (Figura 4.27).
3. Seleccionar el tipo de tablero requerido (por ejemplo: Tmax Link, Artu L Pane Board, Mistral, Protecta) (Figura 4.28).
4. Definir los parámetros eléctricos principales: tensión nominal, corriente nominal, corriente de cortocircuito, tipo de acometida, medición (Figura 4.29).
5. Añadir los interruptores principales y derivados, seleccionando sus capacidades, tipo de unidad de protección (Figura 4.31).

6. Configurar espacio adicional para futuras expansiones (Figura 4.32).
7. Generar el listado de materiales, hoja técnica del proyecto y precios estimados (Figura 4.33 y 4.34).

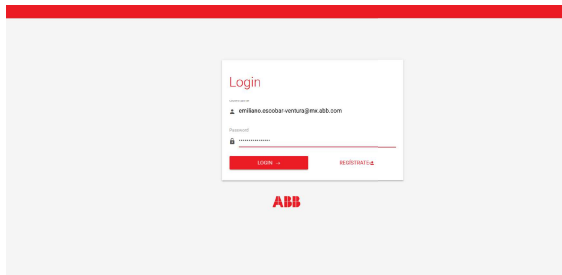


Figura 4.25 Inicio de sesión en E-Quoter ²⁵

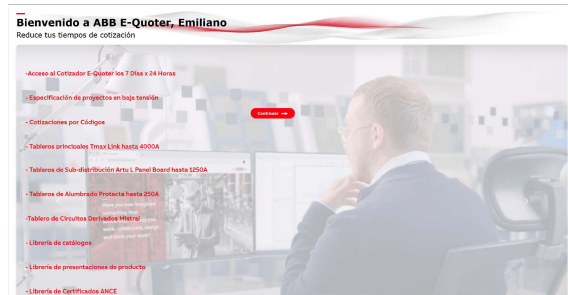


Figura 4.26 Página de inicio de E-Quoter ²⁶



Figura 4.27 Vista de página de presupuesto ²⁷

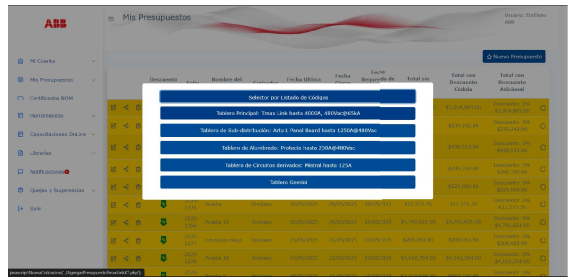


Figura 4.28 Selección del tipo de tablero ²⁸

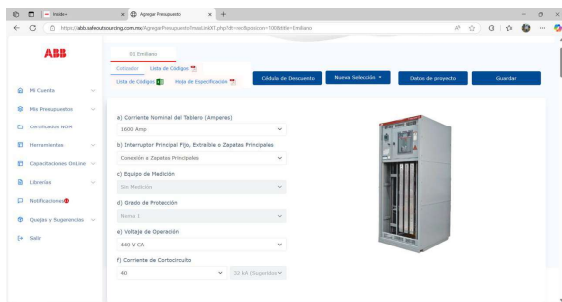


Figura 4.29 Visualización de la configuración Tmax link ²⁹

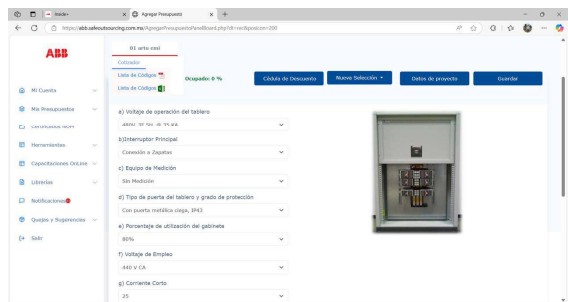


Figura 4.30 Visualización de configuración Artu L Panel Board ³⁰

²⁵Tomada de [ABB, 2025b]

²⁶Tomada de [ABB, 2025b]

²⁷Tomada de [ABB, 2025b]

²⁸Tomada de [ABB, 2025b]

²⁹Tomada de [ABB, 2025b]

³⁰Tomada de [ABB, 2025b]

e) Interruptores Derivados

Tabla de Protección	Cantidad	Asignado	Descripción	EA	No. Catálogo
Interrup. magnetotérmico	5	18	Interruptor Term 4731, 100, 3 Polos, Rotacional TRD, No. Sección Terminado para Cable	69	12048000301
Interrup. magnetotérmico	5	18	Interruptor Term 4731, 100, 3 Polos, Rotacional TRD, No. Sección Terminado para Cable	69	12048000301
Interrup. magnetotérmico	5	25	Interruptor Term 4731, 25, 3 Polos, Rotacional TRD, No. Sección Terminado para Cable	69	12048000301
Interrup. magnetotérmico	5	25	Interruptor Term 4731, 25, 3 Polos, Rotacional TRD, No. Sección Terminado para Cable	69	12048000301
Interrup. magnetotérmico	5	25	Interruptor Term 4731, 25, 3 Polos, Rotacional TRD, No. Sección Terminado para Cable	69	12048000301
Interrup. magnetotérmico	5	25	Interruptor Term 4731, 25, 3 Polos, Rotacional TRD, No. Sección Terminado para Cable	69	12048000301

Figura 4.31 Selección de interruptores derivados ³¹

f) Índice los Espacios Futuros (con conectores incluidos futuros)

Cantidad	Descripción	Metro-00 panel	Panel(s)
1	Espacio futuro para 2 Fases, Interruptores Term 4731 (250-100-A)	100	071
1	Espacio futuro para 2 Fases, Interruptores Term 4731 (250-100-A)	100	072
1	Espacio futuro para 2 Fases, Interruptores Term 4731 (250-100-A)	100	073
1	Espacio futuro para 2 Fases, Interruptores Term 4731 (250-100-A)	100	074
1	Espacio futuro para 2 Fases, Interruptores Term 4731 (250-100-A)	100	075
1	Espacio futuro para 2 Fases, Interruptores Term 4731 (250-100-A)	100	076
1	Espacio futuro para 2 Fases, Interruptores Term 4731 (250-100-A)	100	077
1	Espacio futuro para 2 Fases, Interruptores Term 4731 (250-100-A)	100	078
1	Espacio futuro para 2 Fases, Interruptores Term 4731 (250-100-A)	100	079
1	Espacio futuro para 2 Fases, Interruptores Term 4731 (250-100-A)	100	080

Figura 4.32 Selección de espacio a futuro ³²

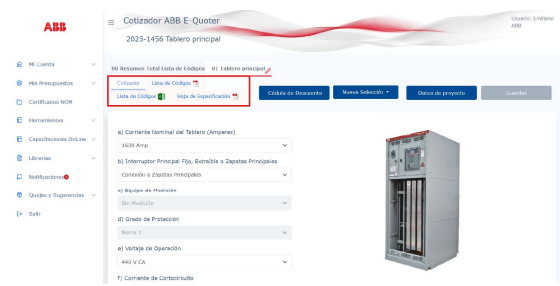


Figura 4.33 Lista de código y hoja de especificaciones ³³

Hoja de especificaciones

Material	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor	Valor Total
1	Interruptor magnetotérmico 100A 3P	5	Unidad	20000	100000
2	Interruptor magnetotérmico 25A 3P	15	Unidad	10000	150000
3	Interruptor magnetotérmico 100A 1P	5	Unidad	20000	100000
4	Interruptor magnetotérmico 25A 1P	15	Unidad	10000	150000
5	Interruptor magnetotérmico 100A 2P	5	Unidad	20000	100000
6	Interruptor magnetotérmico 25A 2P	15	Unidad	10000	150000
7	Interruptor magnetotérmico 100A 3P	5	Unidad	20000	100000
8	Interruptor magnetotérmico 25A 3P	15	Unidad	10000	150000
9	Interruptor magnetotérmico 100A 1P	5	Unidad	20000	100000
10	Interruptor magnetotérmico 25A 1P	15	Unidad	10000	150000
11	Interruptor magnetotérmico 100A 2P	5	Unidad	20000	100000
12	Interruptor magnetotérmico 25A 2P	15	Unidad	10000	150000
13	Interruptor magnetotérmico 100A 3P	5	Unidad	20000	100000
14	Interruptor magnetotérmico 25A 3P	15	Unidad	10000	150000
15	Interruptor magnetotérmico 100A 1P	5	Unidad	20000	100000
16	Interruptor magnetotérmico 25A 1P	15	Unidad	10000	150000
17	Interruptor magnetotérmico 100A 2P	5	Unidad	20000	100000
18	Interruptor magnetotérmico 25A 2P	15	Unidad	10000	150000
19	Interruptor magnetotérmico 100A 3P	5	Unidad	20000	100000
20	Interruptor magnetotérmico 25A 3P	15	Unidad	10000	150000

Figura 4.34 Listado de materiales ³⁴

4.7.2. Sugerencias para realizar una cotización

- Comparar cotizaciones entre al menos dos fabricantes para evaluar precio, disponibilidad y soporte técnico.
- Incluir márgenes de crecimiento o módulos adicionales si se prevé una futura expansión de carga.
- Solicitar apoyo técnico del fabricante para validar que los interruptores y gabinetes cumplen con normativas locales y con los requerimientos específicos del proyecto.
- Integrar los códigos de catálogo en el plano unifilar o en la hoja de especificaciones del proyecto.

4.8. Precios

Una vez concluida la configuración de los tableros eléctricos propuestos para la planta, se obtuvo un costo total estimado de la solución de *\$1,830,849 MXN* (Figura 4.35).

³¹Tomada de [ABB, 2025e]

³²Tomada de [ABB, 2025e]

³³Tomada de [ABB, 2025e]

³⁴Tomada de [ABB, 2025e]

³⁵Tomada de [ABB, 2025e]

Oferta: Planta de procesamiento orgánico



Cliente: ABB
Proyecto: Tablero transferencia

Fecha: 28/05/2025
Folio: 2025-01458

No.	Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario de Lista	Cédula de Descuento	Factor de Descuento	Precio Unitario con Descuento	Subtotal con Descuento	
Tablero de transferencia									
1	ABBTLENL-2000	Kit de conexión entre 2 columnas Bus1600y2000A	1	\$94,005.00	S06	1.000	\$94,005.00	\$94,005.00	
2	ABBTLENL-1250	Kit de conexión entre 2 columnas Bus 1250A	1	\$71,031.00	S06	1.000	\$71,031.00	\$71,031.00	
3	ABBTLT-1600	TMAX LINK 1600 Transferencia sin control	1	\$540,166.00	S06	1.000	\$540,166.00	\$540,166.00	
4	1SDA073668R1	YO E1.2..E6.2 24V AC/DC	2	\$5,188.00	S06	1.000	\$5,188.00	\$10,376.00	
5	1SDA073681R1	YC E1.2..E6.2 24V AC/DC	2	\$5,096.00	S06	1.000	\$5,096.00	\$10,192.00	
6	1SDA073715R1	M E1.2 24-30V AC/DC + S33 M/2 24V DC	2	\$25,715.00	S06	1.000	\$25,715.00	\$51,430.00	
7	1SDA073885R1	Tipo A vertical	2	\$5,042.00	S06	1.000	\$5,042.00	\$10,084.00	
8	1SDA074173R1	Ekip Supply 24-48V DC	2	\$4,386.00	S06	1.000	\$4,386.00	\$8,772.00	
9	1SDA074166R1	Ekip Com Actuator	2	\$4,446.00	S06	1.000	\$4,446.00	\$8,892.00	
10	1SDA074163R1	Ekip Link	2	\$25,805.00	S06	1.000	\$25,805.00	\$51,610.00	
11	1SDA074168R1	Ekip Signalling 2K-2	2	\$2,983.00	S06	1.000	\$2,983.00	\$5,966.00	
12	1SDA074183R1	Ekip Synchrocheck	2	\$27,474.00	S06	1.000	\$27,474.00	\$54,948.00	
13	1SDA082889R1	ATS línea de distribución sin acoplador abierta	2	\$12,983.00	S06	1.000	\$12,983.00	\$25,966.00	
14	1SDA107525R1	Measuring Package	2	\$10,000.00	S06	1.000	\$10,000.00	\$20,000.00	
15	1SDA105227R1	Voltage Protection	2	\$10,000.00	S06	1.000	\$10,000.00	\$20,000.00	
								Total	\$983,438.00
Tablero principal									
16	ABBTLZ-1600	Tmax Link, acometida zapatas principales Barras 1600A, NEM/	1	\$241,139.00	S06	1.000	\$241,139.00	\$241,139.00	
17	1SDA068342R1	XT4H 160 TMA 160-1600 3 Polos, F F	3	\$16,626.00	S06	1.000	\$16,626.00	\$49,878.00	
18	1SDA100416R1	Interruptor XT5S TMA, In=500A, 3 Polos, No Incluye terminale	1	\$38,812.00	S06	1.000	\$38,812.00	\$38,812.00	
19	1SDA100828R1	Interruptor XT7S 1250 Ekip Dip LS/1 In=1250A, 3 Polos, No In	1	\$71,827.00	S06	1.000	\$71,827.00	\$71,827.00	
20	1SDA067191R1	Juego 3 terminales para alojar 1 cable de Cobre/Aluminio (Cu/	4	\$1,576.00	S06	1.000	\$1,576.00	\$6,304.00	
21	1SDA104748R1	KIT FC CuAl, Juego de terminales para Cable, Tipo Borne Exter	1	\$2,115.00	S06	1.000	\$2,115.00	\$2,115.00	
22	1SDA104758R1	KIT FC CuAl, XT7-XT7M, Juego de terminales para Cable, Tipo	1	\$5,521.00	S06	1.000	\$5,521.00	\$5,521.00	
23	ABBCG-XT4-150	Conector gemelo, para dos interruptores Tmax XT4, hasta 320	2	\$17,719.00	S06	1.000	\$17,719.00	\$35,438.00	
24	ABBCT-XT7-300	Conector individual 300mm XT7, hasta 1600A, incluye panel	1	\$27,292.00	S06	1.000	\$27,292.00	\$27,292.00	
25	ABBTFC-250	Panel ó Tapa ciega fija 250mm	3	\$2,523.00	S06	1.000	\$2,523.00	\$7,569.00	
26	ABBTFC-200	Panel ó Tapa ciega fija 200mm	1	\$2,165.00	S06	1.000	\$2,165.00	\$2,165.00	
27	ABBCT-XT5-200	Conector Individual 200mm XT5, hasta 630A, incluye panel	1	\$20,374.00	S06	1.000	\$20,374.00	\$20,374.00	
28	1SDA100829R1	Interruptor XT7S 1600 Ekip Dip LS/1 In=1600A, 3 Polos	1	\$99,735.00	S07	1.000	\$99,735.00	\$99,735.00	
								Total	\$608,169.00
Tablero HTC									
29	PB1250-528CD-ME	Artu PB, acometida por zap. principales de 1250 A, para deriv	1	\$119,624.00	S06	1.000	\$119,624.00	\$119,624.00	
30	PC1836	L Puerta ciega 1800x800mm	1	\$4,952.00	EL20	1.000	\$4,952.00	\$4,952.00	
31	1SDA067393R1	Interruptor Tmax XT1C, 40AA, 3 Polos, Relevador TMD, No Inc	1	\$2,897.00	S06	1.000	\$2,897.00	\$2,897.00	
32	1SDA067395R1	Interruptor Tmax XT1C, 63A, 3 Polos, Relevador TMD, No Incl	1	\$2,897.00	S06	1.000	\$2,897.00	\$2,897.00	
33	1SDA067397R1	Interruptor Tmax XT1C, 100A, 3 Polos, Relevador TMD, No Inc	1	\$4,211.00	S06	1.000	\$4,211.00	\$4,211.00	
34	1SDA067398R1	Interruptor Tmax XT1C, 125A, 3 Polos, Relevador TMD, No Inc	2	\$4,211.00	S06	1.000	\$4,211.00	\$8,422.00	
35	1SDA068058R1	XT3N 250 TMD 200-2000 3 Polos, F F	1	\$10,624.00	S06	1.000	\$10,624.00	\$10,624.00	
36	1SDA068059R1	XT3N 250 TMD 250-2500 3 Polos, F F	2	\$11,669.00	S06	1.000	\$11,669.00	\$23,338.00	
37	1SDA054436R1	TSN 320 A, Relevador TMA, 3 Polos, sin terminales	1	\$22,214.00	S06	1.000	\$22,214.00	\$22,214.00	
38	1SDA066907R1	Juego de terminales para cables de Cobre FC Cu, (Tipo Cuadra	2	\$345.00	S06	1.000	\$345.00	\$690.00	
39	1SDA067157R1	Juego de 6 terminales para cable, Tipo: borne Externo, para a	3	\$1,357.00	S06	1.000	\$1,357.00	\$4,071.00	
40	1SDA067181R1	Juego de 6 terminales FC CuAl XT3, para alojar cable 1x90...1	3	\$1,686.00	S06	1.000	\$1,686.00	\$5,058.00	
41	1SDA055022R1	Juego de terminales frontales FC CuAl para alojar 1 cable de 9	1	\$2,808.00	S06	1.000	\$2,808.00	\$2,808.00	
42	AL1000	L argollas elevación 4pz	1	\$536.00	EL20	1.000	\$536.00	\$536.00	
43	PLT13P-MX	Kit Conector gemelo 3P XT1	3	\$2,936.00	S06	1.000	\$2,936.00	\$8,808.00	
44	PLT33P-MX	Kit Conector gemelo 3P XT3	2	\$3,364.00	S06	1.000	\$3,364.00	\$6,728.00	
45	PLT53PT-MX	Kit Conector gemelo 3P T5	1	\$5,893.00	S06	1.000	\$5,893.00	\$5,893.00	
46	MODT1-MX	Tapón ciego para kit conector gemelo de XT1 10pz	1	\$916.00	S06	1.000	\$916.00	\$916.00	
47	MODT3-MX	Tapón ciego para kit conector gemelo de XT3 10pz	1	\$916.00	S06	1.000	\$916.00	\$916.00	
48	MODT5-MX	Tapón ciego para kit conector gemelo de T5 10pz	1	\$916.00	S06	1.000	\$916.00	\$916.00	
49	AD1088	3pcs Coverd in 24mod panel RAL7035	1	\$639.00	S07	1.000	\$639.00	\$639.00	
50	SH630-MX	Pb Cubierta Bus Barras	1	\$2,084.00	S06	1.000	\$2,084.00	\$2,084.00	
								Total	\$239,242.00
Total de tableros								\$1,830,849.00	

Figura 4.35 Precio total de la solución ³⁵

Capítulo 5

Conclusiones y trabajo futuro

5.1. Conclusiones

Conclusión

Contar con un sistema eléctrico confiable y continuo es fundamental para cualquier infraestructura industrial, ya que la mayoría de los procesos dependen directamente del suministro eléctrico. Las interrupciones en la red no solo comprometen la productividad, sino que también generan pérdidas económicas considerables. En este contexto, se vuelve esencial incorporar sistemas capaces de monitorear constantemente la calidad de la energía y responder ante fallas mediante mecanismos como la transferencia automática entre la fuente principal y un grupo electrógeno. No obstante, dicha incorporación debe considerar criterios de seguridad y operación, especialmente cuando ambas fuentes pueden operar en paralelo, lo cual podría generar inestabilidades o fallas si no se gestiona adecuadamente.

A partir del estudio realizado en una planta de procesamiento de residuos orgánicos urbanos, se desarrolló una propuesta de diseño para un tablero de distribución en baja tensión, alineado con los requerimientos específicos de la planta. Este análisis permitió identificar los parámetros clave para el diseño, como el nivel de tensión, la corriente nominal, la cantidad de circuitos derivados y la capacidad de interrupción ante cortocircuitos, los cuales son determinantes para la correcta selección del tipo de tablero eléctrico y dispositivos de protección.

La selección de los interruptores no solo respondió a las condiciones técnicas de la planta, sino también a las funcionalidades adicionales tales como módulos de medición integrados, funciones de protección avanzadas y opciones de conectividad. Estas características permiten optimizar el uso del espacio, reducir cableado, facilitar la implementación de sistemas de transferencia automática ATS y abrir la posibilidad de integrar la instalación a un entorno digital. Este último aspecto resulta especialmente relevante, ya que permite el monitoreo remoto de procesos y equipos, favoreciendo estrategias de mantenimiento basado en condición y una mayor disponibilidad operativa.

Finalmente, es importante señalar que la factibilidad del proyecto está condicionada no únicamente por la solución técnica propuesta, sino también de su costo y de la oferta comercial disponible en el mercado mexicano. Afortunadamente, el país cuenta con una amplia gama de fabricantes y distribuidores que facilitan la adquisición de equipos con tecnología avanzada, lo cual permite implementar soluciones robustas, escalables y digitalmente integradas para instalaciones industriales.

5.2. Trabajo futuro

Contar con la solución actual y la propuesta desarrollada en este trabajo representa un primer paso para futuras plantas de procesamiento de residuos orgánicos. No obstante, este diseño puede servir como base para explorar alternativas que respondan a la misma necesidad mediante diferentes métodos de transferencia de energía, tales como seccionadores motorizados, dispositivos ATS preconfigurados o sistemas de lógica de transferencia mediante contactores. La utilización de estos esquemas permitirá, en desarrollos posteriores, efectuar una comparación integral que abarque no solo el desempeño técnico y funcional, sino también el análisis económico, considerando su eficiencia, simplicidad de implementación y el costo global del sistema.

Asimismo, se considera de gran valor realizar una propuesta para la misma solución eléctrica, pero considerando equipos equivalentes ofrecidos por distintos fabricantes como Siemens, Schneider Electric, Eaton, Bticino, entre otros. Este análisis permitirá determinar las ventajas técnicas y comerciales de cada proveedor en términos de escalabilidad, robustez, disponibilidad, soporte técnico y relación costo-beneficio.

Referencias

- [IEC, 2002] (2002). Iec 62262: Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (ik code). International Standard. (No citado.)
- [IEC, 2015] (2015). Iec 61000-4-30: Electromagnetic compatibility (emc) – part 4-30: Testing and measurement techniques – power quality measurement methods. ISBN: 978-2-8322-2569-3. (Citado en página 15.)
- [IEE, 2019] (2019). Ieee recommended practice for monitoring electric power quality. DOI: 10.1109/IEEESTD.2019.8759653. (Citado en página 15.)
- [IEC, 2020a] (2020a). Iec 60529: Degrees of protection provided by enclosures (ip code). International Standard. (No citado.)
- [IEC, 2020b] (2020b). Iec 60947: Low-voltage switchgear and controlgear – parts 1, 2, and 3. International Standard. (Citado en páginas 12, 17 y 27.)
- [IEC, 2020c] (2020c). Iec 61439-1: Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – part 1: General rules. International Standard. (Citado en páginas 21 y 27.)
- [ABB, 2007] ABB (2007). *Manual técnico de instalaciones eléctricas: Aparatos de protección y maniobra*. Bérgamo, Italia: ABB SACE, 2ª edición en español edition. Tomo 1. (Citado en páginas 13, 14 y 18.)
- [ABB, 2013] ABB (2013). Tablero de subdistribución artu l panel board. (Citado en página 39.)
- [ABB, 2015] ABB (2015). Tablero de distribución de energía eléctrica en baja tensión tipo switchboard tmax link. (Citado en página 36.)
- [ABB, 2020] ABB (2020). *1SDH002288A1002 Rev. A - Technical Manual*. Product technical manual https://library.e.abb.com/public/ad86e630776342f6b47f226501597f8e/1SDH002288A1002_revA.pdf. (Citado en página 39.)
- [ABB, 2020a] ABB (2020a). *Circuit Protection Characteristics of UL 489 Miniature Circuit Breakers (Branch Circuit Protective Devices)*. White Paper 1TQC2039E0001, ABB Electrification Business, Cary, NC, USA. Document code: 1TQC2039E0001, Rev. A, November 2020 <https://electrification.us.abb.com>. (Citado en páginas 10 y 12.)
- [ABB, 2020b] ABB (2020b). *Función ATS integrada con Emax 2: Solución All-in-one*. Nota técnica, ABB Electrification Business, Madrid, España. Documento técnico sobre la función digital ATS integrado Red-Grupo de los interruptores automáticos Emax 2. (Citado en páginas 21 y 24.)
- [ABB, 2023] ABB (2023). *SACE Tmax XT: Interruptores automáticos en caja moldeada de baja tensión*. ABB SACE Division. Catálogo técnico <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/interruptores-automaticos/xt>. (Citado en páginas 16, 22, 37, 39 y 43.)
- [ABB, 2024] ABB (2024). Ct9 - technical guide: Characteristics of the various electric power supply systems. Available at ABB Library. (Citado en página 20.)

- [ABB, 2024] ABB (2024). Xt2n 160 tmd 20-300 3p f f (1sda067011r1). <https://new.abb.com/products/es/1SDA067011R1/xt2n-160-tmd-20-300-3p-f-f>. (Citado en página 27.)
- [ABB, 2025a] ABB (2025a). Abb ability — gestión energética y de activos. <https://new.abb.com/low-voltage/es/lanzamiento-de-productos/abb-ability/gestion-energetica-y-de-activos>. Consultado el 17 de marzo de 2026. (Citado en páginas 42 y 43.)
- [ABB, 2025b] ABB (2025b). Abb e-quoter – portal de proveedores / login. <https://www.abb.safeoutsourcing.com.mx/loginA.php>. Consultado el 17 de marzo de 2026. (Citado en página 45.)
- [ABB, 2025c] ABB (2025c). Ekip connect - herramienta de configuración para interruptores tmax xt. Accedido el 17 de junio de 2025 <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/interruptores-automaticos/tmax-xt/ekip-connect>. (Citado en página 39.)
- [ABB, 2025d] ABB (2025d). Ekip connect — interruptores automáticos tmax xt (abb). <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/interruptores-automaticos/tmax-xt/ekip-connect>. Consultado el 17 de marzo de 2026. (Citado en página 37.)
- [ABB, 2025e] ABB (2025e). Empower — plataforma e-business de abb. <https://empower.abb.com/>. Consultado el 17 de marzo de 2026. (Citado en páginas 37 y 46.)
- [ABB, 2025f] ABB (2025f). Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas iec 61439, parte 1 y parte 2 (cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 9). ABB Group. Recuperado de <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1TXA007101G0701&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch>. (Citado en páginas 9, 20 y 21.)
- [ABB, 2025] ABB (2025). Technical document - 1sdc200040l0201. Accessed: 2025-03-25 <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SDC200040L0201&LanguageCode=&DocumentPartId=&Action=Launch>. (Citado en páginas 6 y 7.)
- [CAF, 2021] CAF, CEPAL, B. (2021). Pérdidas de energía eléctrica en américa latina y el caribe. <https://publications.iadb.org/es/perdidas-de-energia-electrica-en-america-latina-y-el-caribe>. Informe técnico conjunto. (Citado en página 1.)
- [Comisión Reguladora de Energía, 2024] Comisión Reguladora de Energía, C. (2024). Taller: Código de red, eficiencia energética y requerimientos para centros de carga. Presentación en sitio web. Presentación del taller realizado el 2 de julio de 2024 <https://www.gob.mx/cre/documentos/taller-codigo-de-red-eficiencia-energetica-y-requerimientos-para-centros-de-carga>. (Citado en página 15.)
- [Eaton, 2025] Eaton (2025). Circuit breaker fundamentals. <https://www.eaton.com/mx/es-mx/products/electrical-circuit-protection/circuit-breakers/circuit-breakers-fundamentals.html>. (Citado en página 12.)
- [Fund, 2022] Fund, I. M. (2022). Power outages and productivity: Evidence from firm-level data. <https://www.imf.org/>. Disponible en: <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2022/12/12/power-outages-are-holding-back-growth-in-developing-economies>. (Citado en página 1.)
- [Gutiérrez, 2019] Gutiérrez, K. (2019). Continuidad del servicio eléctrico en sistemas industriales. *Ingeniería Energética*, 10(1), 15–22. (Citado en página 1.)
- [International Energy, 2022] International Energy, A. (2022). World energy outlook 2022. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. Sección sobre integración de renovables y estabilidad de red. (Citado en página 1.)
- [Isgró, 2006] Isgró, F. (2006). La crisis de la energía en el siglo xxi. *Revista Internacional de Energía*, 12(3), 45–58. (Citado en página 1.)

- [Pardo, 2022] Pardo, C. S. (2022). Proceso planta de carbonización hidrotermal. <https://www.youtube.com/watch?v=CSfytiNxpPg>. (Citado en página 7.)
- [Ramírez, 2014] Ramírez, L. M. (2014). Análisis de la dependencia energética en américa latina. *Revista Latinoamericana de Energía*, 8(2), 25–36. (Citado en página 1.)
- [Schneider-Electric, 2010] Schneider-Electric (2010). *Guía de diseño de instalaciones eléctricas*. Barcelona, España: Schneider Electric, 4 edition. Según normas internacionales IEC. (Citado en página 25.)
- [Schneider-Electric, 2014] Schneider-Electric (2014). Qed-2 specification guide. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=Especificacion_QED2&p_enDocType=Specification+guide&p_File_Name=QED227032014.pdf. Doc. Ref. QED227032014. (Citado en páginas 31 y 32.)
- [Schneider-Electric, 2015] Schneider-Electric (2015). Tableros de distribución i-line serie b. Document No.SCHC180 https://www.se.com/mx/es/download/document/_SCHC180/. (Citado en páginas 31 y 32.)
- [Schneider-Electric, 2018] Schneider-Electric (2018). Nemours children’s hospital case study. Accessed: 2025-03-25 https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=Nemours-Childrens-Hospital&p_enDocType=EDMS. (Citado en páginas 4 y 5.)
- [Schneider-Electric, 2020] Schneider-Electric (2020). Micrologic 6.0x control unit, masterpact mtz1/mtz2/mtz3, fixed circuit breakers, lsig protections. LV847288 https://www.se.com/us/en/product/LV847288/micrologic-6-0x-control-unit-masterpact-mtz1-mtz2-mtz3-fixed-circuit-breakers-lsig-protections/?utm_source=pdf&utm_medium=referral&utm_campaign=ww_pdf_links&utm_content=LVMKT215EN. (Citado en página 33.)
- [Schneider-Electric, 2021] Schneider-Electric (2021). Powerpact™ h-, j-, and l-frame circuit breakers catalog. Document No. 0611CT1001 <https://www.se.com/mx/es/download/document/0611CT1001/>. (Citado en página 31.)
- [Schneider-Electric, 2024] Schneider-Electric (2024). Micrologic 2.0a, 3.0a, 5.0a, and 6.0a electronic trip units instruction bulletin. (Citado en página 33.)
- [Schneider Electric Chile, 2018] Schneider Electric Chile (2018). ¿qué son las curvas de disparo en interruptores riel din? <https://www.se.com/cl/es/faqs/FA363567/>. (Citado en página 9.)
- [Siemens, 2024] Siemens (2024). *Catalog LV 18: Air Circuit Breakers and Molded Case Circuit Breakers with UL Certification*. Germany: Siemens, 2025 edition. SENTRON low-voltage systems, with UL Certification <https://www.siemens.com/lowvoltage/catalogs>. (Citado en páginas 16 y 25.)
- [Veras, 2025] Veras, T. (2025). Sistema eléctrico <https://www.tuveras.com/lineas/sistemaelectrico.htm>. (Citado en página 2.)
- [Wärtsilä, 2023] Wärtsilä, C. (2023). The cost of power outages. <https://www.wartsila.com/insights/white-paper/the-cost-of-power-outages>. Technical brief. (Citado en página 1.)