

Informe de práctica de especialidad para optar por el grado académico de
Licenciatura en Mantenimiento Industrial

Diseño del sistema eléctrico, análisis de cortocircuito y estudio de arco eléctrico para nueva planta de MATRA

Gabriel Bermúdez Chacón

Coordinador de Práctica Profesional:
Ing. Greivin Barahona G.

2017



Canadian Engineering Accreditation Board
Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie

Carrera evaluada y acreditada por:

CEAB

Información del estudiante y de la empresa

Datos del estudiante

Nombre: Juan Gabriel Bermúdez Chacón

Número de cédula: 1 1529 0174

Carné estudiantil: 201252829

Dirección de residencia: Residencial Nuevo horizonte, casa 62, Bello Horizonte de Escazú.

Celular: 87933279

Correo electrónico: gbermudezch@gmail.com gbermudez@tecnoconsultcr.com

Información del proyecto

Nombre del Proyecto: Diseño del sistema eléctrico, análisis de cortocircuito y estudio de arco eléctrico para nueva planta de MATRA

Profesor Asesor: Nicolas Vaquerano

Horario de trabajo del estudiante: Lunes a Viernes de 8:00 am – 5:00 pm

Información de la empresa

Nombre: Tecnoconsult.

Dirección: 600S de Multiplaza Escazú Plaza Acuarium segundo piso local 17, San José, San Rafael, Costa Rica.

Teléfono: 506 2201 7200

Actividad: Consultoría electromecánica.

Dedicatoria

A mi familia, que siempre me ha impulsado esforzarme con pasión.

A mis padres, que siempre me apoyaron con entusiasmo

A mis hermanos mayores, que siempre han actuado como apoyo y como ejemplo.

A mis hermanas menores, a quienes espero inspirar a avanzar.

*A mi hermano menor Rafael, que siempre tuvo una sonrisa donde muchos no
tienen palabras.*

Agradecimiento

Me es grato agradecer a todas las personas que se vieron involucradas en mi desarrollo profesional, tanto profesores como amigos y a mis madres adoptivas dentro del TEC.

Agradezco a todo el personal de Tecnoconsult, en especial a Don Daniel Ulate que me permitió desarrollar mi proyecto dentro de la empresa y siempre demostró real interés por el desarrollo del mismo, además a todos mis compañeros de piso, siempre fueron un apoyo ante mis consultas, Samantha, Edgar y Priscilla.

Agradezco muy encarecidamente al Ingeniero Jorge Uribe, quien se desarrolló como mi tutor dentro de la empresa y quién siempre se mantuvo a mi lado para guiarme.

Finalmente, agradezco a Dios por la bendición de permitirme encontrarme con todos en este instante de mi vida.

Tabla de contenido

Información del estudiante y de la empresa	1
Datos del estudiante	1
Información del proyecto.....	1
Información de la empresa.....	1
Dedicatoria	2
Agradecimiento	3
Capítulo 1. Generalidades.....	14
1.1. Reseña de la empresa	14
□ Misión.....	14
□ Visión	14
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. Objetivo general	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Descripción del proyecto.....	16
1.4. Metodología	17
1.4.1. Investigación.....	17
1.4.2. Tabulación y ordenamiento.....	18
1.4.3. Aplicación de normativa	18
1.4.4. Cálculo manual	18
1.4.5. Simulación por software.....	18
1.4.6. Comparación.....	18
1.4.7. Dibujo y planos	18

1.5.	Cronograma	19
1.6.	Alcance del proyecto.....	19
1.7.	Limitaciones del proyecto.....	20
1.8.	Necesidad de recursos	20
Capítulo 2. Marco teórico		21
2.1.	Disposiciones de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos ...	21
2.1.1.	Frecuencia	22
2.1.2.	Tensión.....	22
2.1.3.	Desequilibrio de cargas	23
2.2.	Planos eléctricos.....	23
2.2.1.	Diseño eléctrico	25
2.2.2.	Diseño de Iluminación.....	25
2.2.3.	Canalizaciones.....	25
2.2.4.	Detalles eléctricos.....	26
2.2.5.	Plano unifilar	26
2.3.	Instalación eléctrica.....	26
2.4.	Acometida	27
2.5.	Conductor eléctrico	28
2.6.	Transformador	29
2.6.1.	Transformadores secos	30
2.6.2.	Transformadores en aceite	30
2.7.	Conjunto electrógeno	31
2.8.	Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS).....	32
2.8.2.	En línea (On line)	33
2.9.	Cargas a instalar	33

2.10.	Arranque de motores	34
2.10.2.	Arranque suave.....	35
2.10.4	Arranque estatórico por resistencias.....	36
2.10.5	Arranque por autotransformador.....	36
2.11.	Disyuntor.....	36
2.11.1.	Estándar	37
2.11.2.	Falla a tierra.....	37
2.11.3	Falla de arco	38
2.12.	Tablero eléctrico	38
2.13.	Transferencias.	39
2.14.	Análisis de cortocircuito	41
2.15.	Aporte a la falla	43
2.15.1.	Máquinas de inducción.....	44
2.15.2.	Empresa de suministro eléctrico.....	44
2.15.3.	Transformadores	45
2.15.4.	Máquinas sincrónicas y condensadores.....	45
2.15.5.	Generadores síncronos	45
2.16.	Método de las impedancias.	46
2.17.	Estudio de coordinación de protecciones.....	47
2.17.1.	Coordinación de protecciones.....	47
2.18.	Estudio de arco eléctrico.....	48
Capítulo 3.	Diseño eléctrico.....	53
3.1.	Formato Technoconsult.	53
3.2.	Normativa.....	56
3.3.	Limpieza de plantas.	56

3.4.	Actualización de plantas y reacomodo de circuitos según variaciones .	57
3.5.	Instalación de cargas monofásicas y trifásicas	57
3.5.1.	Uso hojas de datos.....	57
3.5.2.	Colocación de salidas estándar, ups y especiales por zona.....	57
3.5.3.	Cargas por diseños simultáneos.....	58
3.5.4.	Conductores eléctricos	59
3.5.5.	Trazado de circuitos y consideraciones.....	59
3.5.6.	Selección de calibres.....	60
3.6.	Tableros.....	66
3.6.1.	Rellenado de tableros.....	66
3.6.2.	Selección.....	67
3.6.3.	Instalación de motores.....	70
3.6.4.	Protecciones.....	73
3.6.5.	Cuartos eléctricos.....	75
3.6.6.	UPS	77
3.6.7.	Transformadores	78
3.6.8.	Grupo electrógeno.....	80
3.6.9.	Transferencias automáticas-manuales	81
Capítulo 4.	Estudio de fallas.....	84
4.1.	Análisis de cortocircuito.....	84
4.2.	Impedancias de conductores eléctricos	85
4.3.	Impedancias de motores y equipos especiales.....	86
4.4.	Impedancia de la red.....	87
4.5.	Impedancia de transformadores y generadores.....	88
4.5.1.	Generador diésel	88

4.6.	Sistema P.U.	88
4.7.	Cálculo manual de corriente de cortocircuito	97
4.8.	Estudio de arco eléctrico.....	107
4.8.1.	Selección de equipo de protección personal basado en estudio de arco eléctrico	111
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones		112
5.1.	Conclusiones.....	112
5.2.	Recomendaciones	114
Bibliografía		115

Índice de Figuras

Figura 1. Cronograma de desarrollo del proyecto.	19
Figura 2. Intervalos normales y tolerables del valor de tensión de servicio.	22
Figura 3. Conexión de generador a Subestación A.	31
Figura 4. Conexión de transferencia automática de tablero TED.	40
Figura 5. Diagramas de conexión de los segmentos hipotéticos para diferentes fallas a través de una impedancia.	42
Figura 6. Simbología eléctrica parte 1.	54
Figura 7. Simbología eléctrica parte 2.	55
Figura 8. Propiedades atmosféricas en El Coyol, Alajuela.	62
Figura 9. Circuito TNE/15 ejemplificando cantidad de salidas.	63
Figura 10. Especificación de transferencias.	83
Figura 11. Unifilar de cortocircuito ramal Subest-TIH-TIG.	98
Figura 12., Unifilar de cortocircuito ramal TESPE.	99
Figura 13. Unifilar de cortocircuito ramal TESP.	100
Figura 14. Unifilar de cortocircuito ramal TIJ.	101
Figura 15. Acercamiento unifilar ETAP.	103
Figura 16. Unifilar de MATRA en ETAP.	104
Figura 17. Acercamiento a evento en la barra.	109
Figura 18. Impedancias de transformadores comerciales.	122
Figura 19. Selección de transformadores.	124
Figura 20. Unifilar de UPS.	125

Indice de tablas

Tabla 1. Calibres posibles a seleccionar.	65
Tabla 2. Selección de conductor a tierra.	66
Tabla 3. Tableros principales.	68
Tabla 4. Selección de tableros aguas abajo.	69
Tabla 5. Selección de tableros aguas abajo.	69
Tabla 6. Selección de tableros aguas abajo.	69
Tabla 7. Selección de tableros aguas abajo.	70
Tabla 8. Contactores para motores.	72
Tabla 9. Arrancadores para motores.	72
Tabla 10. Disyuntores en subestaciones y ramales.	73
Tabla 11. Disyuntores para circuitos ramales.	74
Tabla 12. Disyuntores para circuitos ramales.	74
Tabla 13. Disyuntores para circuitos ramales.	74
Tabla 14. Disyuntores para circuitos ramales.	75
Tabla 15. Dimensiones de tableros.	77
Tabla 16. UPS requeridos para instalación.	78
Tabla 17. Transformadores requeridos para la instalación.	80
Tabla 18. Tabla de selección de equipos.	82
Tabla 19. Selección de transferencias eléctricas.	83
Tabla 20. Datos para cálculo de cortocircuito TESPE.	91
Tabla 21. Datos para cálculo de cortocircuito TESP.	92
Tabla 22. Datos para cálculo de cortocircuito TIIJ.	93
Tabla 23. Datos para cálculo de cortocircuito TIH-TIG.	94
Tabla 24. Datos para cálculo de cortocircuito Aguas arriba.	94
Tabla 25. Cálculo de corriente de cortocircuito.	105
Tabla 26. Resumen corrientes de Cortocircuito.	106
Tabla 27. Métodos de cálculo por Excel.	109
Tabla 28. Resumen de datos de falla de arco.	111
Tabla 29. Conductores eléctricos y sus ampacidades.	116
Tabla 30. Factores de corrección por temperatura.	117

Tabla 31. Factores de agrupamiento para selección de conductor.	117
Tabla 32. Corrientes nominales de motores trifásicos.	118
Tabla 33. Corrientes de arranque para motores.	119
Tabla 34. Características de impedancia de conductores eléctricos.	120
Tabla 35. Ejemplo de tablero de MATRA.	121
Tabla 36. Tamaño de equipos según unidades x.	122
Tabla 37. Tablero eléctrico.	123
Tabla 38. Datos de cálculo de arco eléctrico.	124

Resumen

En el presente documento se demuestran los pasos tomados para la realización del diseño eléctrico de la nueva planta de MATRA en el Coyol de Alajuela, contemplando desde las cargas de oficina hasta equipos pesados de producción.

La empresa MATRA, con central en Santa Ana, San José, requiere el diseño total de la nueva planta productiva a levantarse en el área de El Coyol de Alajuela, esto implica considerar tanto los cambios del entorno, como temperatura, en la selección de equipos.

Se realizará también la demostración manual del cálculo de corrientes de cortocircuito y se comprobará por medio de la utilización del software ETAP, de vital importancia para evitar en caso de un evento, pérdidas materiales y humanas, manteniendo la integridad de todos los componentes productivos.

Complementando el estudio de cortocircuito, se realiza el estudio de arco eléctrico, fenómeno ampliamente dado pero que no en todos los casos es realizado como estudio de ingeniería, esto para definir condiciones de seguridad a la hora de aproximarse a los tableros eléctricos para dar mantenimiento.

Palabras clave: instalación eléctrica, NFPA 70, cortocircuito, arco eléctrico

Abstract

In this document it is shown the steps taken to make the electrical design of the new productive plant of MATRA, located in El Coyal, Alajuela, taking into consideration not only the office electrical load, but also the heavy duty production equipment.

The company MATRA, with central headquarters in Santa Ana, San José, require the total design of the new productive plant to be built in El Coyal, Alajuela, this implies considering the changes of the environment, as temperature, in the equipment selection.

Shortcircuit currents are going to be calculated by hand, as a demonstration, and using software ETAP this calculation is going to be proven, it is important because it helps to avoid in a failure event, material and human loses, keeping integrity of all the productive components.

Complementing the short-circuit current study, arc flash study is going to be demonstrated, this phenomenon highly frequent but that not in all the cases it is done as engineering study, this to define security conditions when workers have to approach to panelboards to make maintenance routines.

Keywords: Electrical installation, NFPA 70, Short-circuit, Arc flash.

Capítulo 1. Generalidades

1.1. Reseña de la empresa

MATRA es una empresa con más de 65 años en el mercado, contribuyendo en diferentes épocas y sectores productivos del país, formando parte de la maquinaria de prestigiosas marcas como Caterpillar, John Deere, Mack, International y Metso.

MATRA cuenta con equipos para construcción, agricultura, transporte e industria entre otros, ofreciendo equipos nuevos, usados o en renta. MATRA se ha caracterizado por ofrecer un amplio stock de repuestos y un moderno taller de servicio especializado.

Además, para cubrir todo el territorio nacional cuenta con 10 sucursales ubicadas en Santa Ana, Cartago, Pérez Zeledón, Guápiles, Orotina, Liberia, San Carlos, Naranjo, Santa Cruz y Parrita.

➤ Misión

Mantenerse como el proveedor líder de soluciones de maquinaria con las mejores opciones financieras y tecnológicas, para los mercados de construcción, agrícolas, transporte y generación eléctrica en Costa Rica. Maximizar las relaciones de valor con nuestros clientes, el bienestar y desarrollo de nuestro personal, de nuestra comunidad y la rentabilidad de la empresa.

➤ Visión

Ser líderes y realizar aportes para posicionar líderes a todos los clientes.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Diseñar el sistema eléctrico, análisis de cortocircuito y estudio de arco eléctrico para nueva planta de MATRA ubicada en El Coyol de Alajuela.

1.2.2. Objetivos específicos

- Clasificar y estandarizar las cargas requeridas en el proceso productivo de la planta de MATRA.
- Seguir los lineamientos establecidos en el Código Eléctrico Nacional para la cuantificación de los equipos consumidores de energía eléctrica.
- Dimensionar los diferentes elementos eléctricos para equipo monofásico y trifásico, seleccionar transformador y generador eléctrico para la nueva planta de MATRA.
- Evaluar las corrientes de cortocircuito en los diferentes puntos de la instalación eléctrica de la totalidad de la empresa basado en la norma IEEE 141-1993.
- Realizar el estudio de arco eléctrico para las diferentes barras que constituyen la instalación eléctrica.

1.3. Descripción del proyecto

Se realizará el diseño de las líneas de alimentación eléctrica de los motores y demás equipos propios de la nueva planta de la empresa MATRA, considerando las normas NFPA 70 y los requerimientos de disponibilidad, aplicando un enfoque de alta demanda para equipos tanto trifásicos como monofásicos.

Además se realizará el análisis de cortocircuito en las diferentes barras presentes en la nueva planta, considerando el efecto de la totalidad de los equipos según se especifique en los apartados pertinentes, esto corroborando los resultados del software ETAP mediante la aplicación de cálculos manuales.

La realización de mantenimiento desde el diagnóstico de los equipos pesados y agrícolas, como la reparación de los mismos y el seguimiento con mantenimiento preventivo son en sí mismo parte de la calidad que representa la marca, mediante la realización de un diseño eléctrico completo brindará seguridad y confiabilidad que requerirá la empresa para mantener su proceso productivo en funcionamiento.

Al existir equipos de potencias de hasta 100 hp, además de tableros con cargas mayores a los 677 kVA, es requerido analizar posibles escenarios de fallas, en los que se pueda obtener consideraciones para evitar pérdidas materiales y humanas, el análisis de cortocircuito según procedimientos indicados en Kothari (2014) y Grainger (2008) permitirá identificar la magnitud de las fallas en puntos específicos, lo que será una herramienta esencial para seleccionar protecciones de los equipos, evitando propagar el daño en los demás equipos.

Otro estudio importante a considerar es el de arco eléctrico, el análisis de arcos producidos en las barras, según se estima el tamaño de los transformadores rondará en la magnitud de los 500-1000 kVA, por lo que la delimitación de espacios de cercanía en las barras será importante y permitirá ampliar los periodos de trabajos eléctricos a los momentos en los que la línea no se encuentre detenida, disminuyendo los paros por mantenimiento.

El impacto económico del diseño eléctrico de la nueva planta de MATRA no se limita a la producción, a la que abastecerá de energía eléctrica, sino también al beneficio económico al salvaguardar tanto vidas humanas mediante el estudio de arco eléctrico como equipos instalados mediante el análisis de cortocircuito, es por esto que el presente proyecto impactará en la economía de la empresa en tres focos: al ser esencial para realizar operaciones, al proteger la integridad humana y de equipo.

Al ser la edificación una compra reciente en la zona de Coyol de Alajuela, MATRA inició el proceso de acondicionamiento de la misma para la instalación de los equipos requeridos en aras de brindar labores de mantenimiento y montaje, es por esto que la instalación eléctrica constituye el primer paso en el acondicionamiento para iniciar operaciones.

1.4. Metodología

1.4.1. Investigación

Investigación y determinación de los estándares propios de la empresa, con el fin de realizar el diseño eléctrico considerando tanto la normativa costarricense como los criterios de la empresa, además, obtener la mayor cantidad de información respecto a datos de placa de equipos, distribución y conexión de los mismos.

La parte importante en el proceso de investigación es la de definir características que se ajusten y aproximen a los datos propios de los equipos a instalar en la empresa, puesto que, aunque se especifiquen equipos para el diseño, la instalación se dará con equipos seleccionados después.

Por esto, es importante durante el proceso de investigación determinar con máxima aproximación los datos de tamaño, cantidad de motores, alimentación, y características físicas de los equipos que se sabe se instalarán, la presencia de motores de corriente directa en equipos de grúas, la necesidad de tomacorrientes a prueba de explosiones y aproximaciones de expansión de las plantas son ejemplos de consideraciones de este tipo.

1.4.2. Tabulación y ordenamiento

Generación de tablas para generalizar las cargas existentes en la planta, para así poseer resúmenes de los equipos y agilizar la búsqueda de datos, además, realizar un plano con la distribución esperada de equipos en el que se pueda observar el ordenamiento de la planta.

1.4.3. Aplicación de normativa

Realizar la selección de conductores, protecciones, contactores, y demás elementos propios de la empresa considerando la norma NFPA 70.

1.4.4. Cálculo manual

Corroboración manual por medio del método de las impedancias según recomienda la norma IEEE 141-1993, realizar el análisis de arco eléctrico y corroboración manual según indicaciones de la norma IEEE1584-2002.

1.4.5. Simulación por software

Se realizará el montaje y simulación de fallas eléctricas utilizando el software ETAP, además de esto, con la función derivada de estudio de arco eléctrico, se estimarán las distancias de seguridad y corrientes de arco inherentes a las fallas dadas en cada tablero.

1.4.6. Comparación

Comparar los datos obtenidos por software y por métodos manuales para verificar la veracidad de la simulación.

1.4.7. Dibujo y planos

Generar el conjunto de planos propios del diseño eléctrico, el cual será un entregable para la empresa.

1.5. Cronograma

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Investigación																
Tabulación y ordenamiento																
Aplicación de normativa																
Cálculo manual																
Simulación por software																
Comparación																
Dibujo y planos																
Preparar presentación																

Figura 1. Cronograma de desarrollo del proyecto.

Fuente: elaboración propia

1.6. Alcance del proyecto

Como parte del proyecto, se incluye el diseño total del área eléctrica, dimensionando tanto los elementos monofásicos como trifásicos para la totalidad de la planta, que ronda los 20 000 m², se realizará la selección grupo electrógeno diesel, transformadores no se considerarán ni el estudio de factor de potencia ni de iluminación, además de dimensionamiento de puesta a tierra debido a que estos serán realizados por otros profesionales en paralelo a este proyecto.

Además, se realizará el análisis de cortocircuito mediante el cálculo manual y la verificación por medio de software en las barras más críticas.

Igualmente como parte del proyecto, se realizará un análisis de arco eléctrico considerando la documentación pertinente y la distribución de cargas, esto a solicitud de la empresa MATRA.

Como entregables del proyecto se tendrán los planos eléctricos de la planta de MATRA, además, el listado de elementos requeridos, modelos, y características básicas para seleccionar otro.

1.7. Limitaciones del proyecto

La mayor limitante del proyecto es la obtención de software certificado para estudio de ingeniería, si bien es cierto la utilización de ETAP para estudio de corto es adecuado, la versión disponible en la empresa es la 11, que permite únicamente 50 barras; se considera barra tanto los tableros eléctricos como los puntos de conexión de motores a conductores, y para el diagrama Unifilar supera las 200 barras, por esto el estudio se limitará a equipos o conjunto de los mismos con potencias mayores a 5 hp.

Otra gran limitante es la falta de información o ilegibilidad de datos de placa de algunos motores de equipos de la empresa, en estos casos se tomarán los datos de la norma NFPA 70 para datos generales de motores, y de la IEEE 141-1993 para datos de estudio de cortocircuito.

1.8. Necesidad de recursos

Se requiere de manera inmediata el acceso a una computadora con el programa ETAP y AutoCAD, además de un espacio físico para realizar el diseño, el requerimiento de mano de obra es nulo.

Se requiere acceso a las bases de datos de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) anexas a la biblioteca del TEC, en específico las normas IEEE 141-1993 y IEEE 1584-2002 y a la norma NFPA 70 (National Fire Protection association) para ubicar en sus tablas los datos requeridos para motores cuyas placas no sean legibles.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1. Disposiciones de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos

Para realizar la conexión de las plantas residenciales e industriales, es requerido contar con el debido permiso de la compañía proveedora de servicios, cual, se apega a diferentes estatutos que garantizan el buen estado del equipo y la disponibilidad de la energía.

En Costa Rica, el ente encargado de establecer tarifas de energía, regular los servicios públicos, y facilitar normativas para la correcta conexión a la red nacional es la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP).

La ARESEP, si bien no es una compañía distribuidora de energía, es el ente encargado de regular las acciones de las mismas, establecer tarifas e imponer normativas tanto para el abonado como para la empresa distribuidora, bajo la norma “Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión” (AR-NT-SUCAL) este ente establece las condiciones para garantizar la calidad de la energía, las características físicas principales de la tensión eléctrica, límites de variación de tensión y valores tolerables, distorsiones y demás.

La AR-NT-SUCAL menciona que, ante eventos de fuerza mayor, la empresa distribuidora no será responsable de los daños y perjuicios que se originen en el suministro eléctrico, algunos de estos son:

- Incumplimiento de la instalación eléctrica del abonado
- Uso de equipos con características diferentes a las normadas.
- Condiciones especiales a notificar y justificar en un plazo no mayor a 8 días naturales.
- Eventos de fuerza mayor.

Será obligación de la empresa suministradora la de respetar los valores límites a discutir a continuación, siempre y cuando no se den eventos relacionados a los puntos anteriores, lo cual escapa de sus exigencias.

2.1.1. Frecuencia

La frecuencia nominal será de 60 Hertz (Hz), según establece ARESEP “Durante la operación normal, el 90 % de las variaciones de la frecuencia promedio en periodos de 10 minutos, deberán estar dentro del rango de $(60 \pm 1.65\sigma)$ Hz”, donde $\sigma=0.03$ Hz, siendo la desviación estándar de la frecuencia en periodos de 10 minutos.

2.1.2. Tensión

La tensión nominal, además de los rangos normales y tolerables de distribución son presentados en la Figura 2, los valores normales representan las variaciones aceptables y a esperar durante operación, los valores tolerables son los límites máximos en desviación.

Sistema - V _s /Intervalo	Normal (Volt)		Tolerable (Volt)	
	V _{min}	V _{máx}	V _{min}	V _{máx}
Trifásico 4 conductores				
4160/2400	4050/2340	4370/2520	3950/2280	4400/2540
13200/7620	12870/7430	13860/8000	12504/7240	13970/8070
13800/7970	13460/7770	14490/8370	12110/7570	14520/8320
24940/14400	24320/14040	26190/15120	23690/13680	26400/15240
34500/19920	33640/19420	36230/20920	32780/18930	36510/21080
69000/39840	67280/38845	72460/41835	65560/37850	73020/42160

Figura 2. Intervalos normales y tolerables del valor de tensión de servicio.

Fuente: ARESEP.

En condiciones normales de operación, las tensiones suministradas deben encontrarse en el intervalo normal, esto promediando cada semana que el 95% de los valores eficaces en 10 minutos se encuentre en este rango.

2.1.3. Desequilibrio de cargas

Las líneas trifásicas serán proporcionadas con un desbalance no mayor al 3%, esto tomando en cuenta que cada 7 días consecutivos, el 95% de los valores eficaces calculados en 10 minutos no se exceda este valor, la fórmula 01 es facilitada por ARESEP y pretende medir dicha variable.

$$D = \frac{100x[\Delta m\acute{a}x]}{V_{prom}} \quad (1)$$

D= Porcentaje de desbalance (%)

$[\Delta m\acute{a}x]$ = Valor absoluto de la mayor diferencia entre cualquiera de los valores de tensión fase a fase y el valor promedio de las tensiones fase a fase.

V_{prom} = Tensión promedio de las tres tensiones fase a fase

A su vez, la normativa AR-NT-SUCOM establece que, es obligación del abonado la de mantener la red equilibrada, en caso de no ser así y la empresa eléctrica determina desequilibrio, y este excede el 10% de la corriente entre dos líneas en un periodo de 7 días naturales, se le indicará al abonado el desbalance existente, entre cuales fases y se definirá un plazo de 30 días para la corrección, de no realizarse dicha corrección, la empresa facturará el triple de consumo de la demanda de la fase más cargada.

2.2. Planos eléctricos

Como entregable del proyecto se tiene una serie de planos eléctricos, no solo del diseño eléctrico de la planta, sino también de otras disciplinas asociadas, es de gran importancia la realización del conjunto en planos industriales, porque facilitarán la labor del contratista en la interpretación del diseño, aportará agilidad a los procesos de montaje y proveerá información a ser consultada antes, durante y después de la finalización de la instalación, estas láminas se enlistan a continuación.

El “Reglamento para el trámite de planos y la conexión de los servicios eléctricos, telecomunicaciones y de otros en edificios”, la norma que establece en sus pautas las condiciones mínimas que deben cumplir los planos para ser presentados al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, establece los requisitos mínimos que debe cumplir un plano eléctrico como se puntualiza a continuación.

- Simbología de la totalidad de los elementos, características eléctricas y altura de montaje.
- Distribución de las plantas físicas con la información gráfica de circuitos.
- Detalle de tableros de distribución según:
 - Características físicas y eléctricas del tablero.
 - Carga eléctrica conectada y demandada.
 - Factor de potencia y factor de demanda.
 - Corriente total por fase.
 - Protección, alimentadores por fase y conductor a tierra.
 - Detalle de cada circuito eléctrico conectado con la posición en el tablero, calibre y aislamiento de alimentadores, canalización, protecciones, carga, tensión y caída de tensión.
- Diagrama unifilar eléctrico según:
 - Calibre de acometida, elementos de protección, elementos de medición, alimentadores principales, subalimentadores, sistema de puesta a tierra, tableros y centros de carga.
 - En diseños con transformador, tipo de conexión, tensiones, capacidad, factor de potencia, detalles constructivos.
 - Trayectoria de canalizaciones.

- Notas aclaratorias que complementen la información.
- Diagramas adicionales.
- Escala.

Además de estos puntos, dicho documento presenta más datos importantes, para conocimiento de los mismos ver anexos.

2.2.1. Diseño eléctrico

Es el conjunto de láminas que contempla el dimensionamiento, ubicación relativa y conexiones de los circuitos, además de indicar las direcciones de los mismos y sus componentes, para la realización de los planos de diseño eléctrico se propusieron las ubicaciones de los elementos, se trazaron los circuitos y se direccionaron mediante la utilización de tableros eléctricos.

2.2.2. Diseño de Iluminación

Láminas de diseño en las que se indican las salidas de iluminación, el tipo de salidas y las conexiones entre las mismas, además, indica la potencia de cada circuito para ser consideradas en los tableros.

Si bien el diseño de iluminación no es concerniente al desarrollo de este proyecto, las cargas a considerar serán relevantes, al ser elementos eléctricos los tableros a los que se asocien deberán soportar su carga, y en algunos casos esta podrá ser trifásica o monofásica.

2.2.3. Canalizaciones

Mediante la utilización del plano de canalizaciones, se pretende dar un apoyo al contratista respecto a las rutas que seguirá la tubería de los conductores eléctricos o la canasta por la que se trasieguen estas.

El plano de canalizaciones presenta la ubicación de los tableros, la ruta de canalizaciones, diámetros de tuberías y demás información pertinente.

2.2.4. Detalles eléctricos

En respuesta al artículo 3.2.6 del capítulo 3 del “Reglamento para el trámite de planos y la conexión de los servicios eléctricos telecomunicaciones y de otros en edificios”, las láminas de detalles eléctricos presentan información importante y aclaratoria con el fin de facilitar el montaje de los elementos indicados en el diseño eléctrico.

Los detalles eléctricos resumen las características de montaje especiales de los elementos, dan pautas de interconexión y presentan diagramas unifilares de telecomunicaciones.

2.2.5. Plano unifilar

Para facilitar la interpretación del contratista (o el usuario final al que se destina el diseño), se realiza un esquema Unifilar, el cual, pretende por medio de líneas y simbología la representación del circuito, las dependencias de alimentación de tableros, y demás componentes, de manera que se puedan observar las conexiones entre cada uno.

2.3. Instalación eléctrica

Actualmente, la mayoría de las máquinas industriales utilizadas en la producción, manufactura y prestación de servicios corresponde al tipo eléctrico, que requiere de energía eléctrica para su funcionamiento.

Debido a esto, es requerida la implementación de una serie de elementos que aseguren el suministro de dicha energía y que a su vez, resguarden la integridad de otros equipos y las personas que lo operan.

Según comenta Zavala (2001) se entiende por instalación eléctrica al “conjunto de conductores eléctricos, canalizaciones de control, conexión y protección necesarios para interconectar una fuente de energía eléctrica con aparatos receptores eléctricos” y establece una condición importante a cumplir con respecto a la protección del equipo.

El organismo encargado de controlar la normativa que resguarde dicha condición es el Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, mediante el “Reglamento para el Trámite de Planos y la Conexión de Servicios Eléctricos Telecomunicaciones y de Otros en Edificios” que establece los requisitos mínimos a cumplir.

Es importante puntualizar, como lo hace Garcia (2016) que se pueden categorizar las instalaciones eléctricas dentro de 3 clases: baja tensión, media tensión y alta tensión, que respectivamente representan tensiones menores a 1 kV en baja, entre 1 kV hasta 50 kV en media, y más de 50 kV en alta tensión.

2.4. Acometida

Se comprende como acometida a la parte de la instalación eléctrica encargada de conectar la red exterior al tablero principal en el proyecto eléctrico o al transformador principal, para la distribución del fluido eléctrico a los tableros dependientes y con esto, alimentar los equipos.

Existen dos tipos de acometidas y estas dependerán principalmente de conveniencia en la instalación y posibilidad por parte del proveedor de servicios, estas acometidas son “subterráneas y aéreas” (Croft, 1958) la necesidad de la utilización de acometida subterránea implicará, sobre la aérea, la necesidad de conocimiento topográfico, además de la utilización de las Tablas B310.2, B310.3 y B310.4 además de las Tablas B310.5 y B310.10 para dimensionamiento y espaciamiento.

La comisión de distribución eléctrica del CIEMI (2015) establece en su Manual para redes de distribución eléctrica los ordenamientos para instalación en alimentadores industriales; para media tensión, como es el caso de MATRA, el conductor cumplirá con los siguientes lineamientos.

- a) Cobre recocido ASTM B3.
- b) Cableado tipo B para calibres AWG y Clase 2 para calibres en mm².
- c) Sin estañar.

- d) Redondo comprimido o compacto.
- e) Pantalla metálica.
- f) Aislamiento EPR al 100% para calibres de 50 mm² (AWG 1/0) y 93 mm² (AWG 3/0).
- g) Pantallas de bloqueo de humedad.

La acometida eléctrica será responsabilidad de la empresa suministradora, en este caso el ICE por medio de la subestación el Coyoil, la instalación de la misma se dará por medio de conductor eléctrico AWG EPR calibre 1/0 como indica el “manual para redes de distribución eléctrica subterránea.”

2.5. Conductor eléctrico

El conductor eléctrico, dentro de la instalación eléctrica, es el elemento por el cual se suministra y distribuye la corriente eléctrica, son construcciones empaquetadas de alambres protegidos por una chaqueta que, en función de la temperatura, proveerá protección a la integridad del elemento.

Según se comenta en la norma NFPA 70, los calibres de los conductores eléctricos están reglamentados según la especificación AWG (NFPA), “cuando los conductores no sean de material especificado, el material y tamaños dados serán aplicados a cables de cobre, cuando otros materiales son usados, el tamaño deberá ser cambiado de acuerdo al mismo.”

Se tiene entonces, que los conductores eléctricos para instalaciones residenciales e industriales se encuentran separados en cobre y aluminio, las tablas presentadas en el NEC 2008 corresponden a conductores de cobre, si embargo, las notas especifican los cambios a realizar en el proceso de cálculo para seleccionar conductores de aluminio.

En Anexos, Tabla 29 se presentan los diferentes conductores eléctricos respecto a la corriente máxima que estos soportan antes de dañarse, y en general, todas las tablas en el anexo C del NEC 2008 indican las dimensiones normalizadas para perfiles de área de conductores y selección de tubería según cantidad de líneas.

Para la selección de conductores eléctricos, es importante realizar la corrección mediante la utilización de dos factores, temperatura y agrupamiento, esto debido a que el aumento de la temperatura del conductor afectará las propiedades eléctricas del conductor, además, al agrupar dichos conductores en tuberías para su protección, existe una transferencia y acumulación de calor que en muchos casos tendrá efectos en la ampacidad de los conductores.

2.6. Transformador

Según comentan autores “el transformador es utilizado para incrementar o reducir la tensión de la red de suministro del sistema de potencia utilizada para transmitir electricidad sobre grandes distancias” (Wildi, 2006), con esto, el transformador percibe la potencia demandada, y al aumentar la tensión, por medio de la fórmula 2.

$$V_{in} * I_{in} = V_{out} * I_{out} \quad (2)$$

Los transformadores, al igual que los motores y equipos, pueden ser clasificados según el número de fases para las que está construido, cita5 comenta en su libro la existencia de dos tipos o clasificaciones:

- Monofásico: Transformadores de potencia o de distribución que son conectados a una línea fase y un neutro o tierra, tienen un solo devanado de alta tensión y uno de baja tensión.

- Trifásico: Conectados a 3 líneas o fases y pueden estar o no conectados a un neutro o tierra común. Tienen 3 devanados de alta tensión y 3 de baja.

Debido a que su función principal es la de realizar cambios en la tensión de los ramales de los sistemas eléctricos, los transformadores presentan relaciones estandarizadas de tensiones de entrada y salida.

Mediante el artículo 10 del capítulo 2, la ARESEP en su norma técnica “Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión” (ARESEP, 2015) menciona que será obligación del abonado la de brindar el mantenimiento necesario para la correcta operación del transformador, en caso de fallo que dañe los equipos de la empresa suministradora, el abonado incurrirá en la obligación de compensar el daño.

2.6.1. Transformadores secos

Comunes en instalaciones de tipo industrial seccionadas, hospitales, escuelas y zonas residenciales, son equipos diseñados para suministrar potencia a cargas inferiores a los de aceite, permiten la instalación en prácticamente cualquier lugar sin la necesidad de preparar trampas de aceite en caso de fallas.

Debido a que no requiere materiales inflamables, se considera potencialmente más seguro que los transformadores en aceite, además puede ser instalado tanto en interiores como exteriores, no presenta riesgo de contaminación ambiental y cumple con los requerimientos eléctricos para operar hasta los 36 kV.

2.6.2. Transformadores en aceite

Como su nombre lo indica, son equipos que se encuentran surgidos y protegidos por un volumen de aceite dentro de su estructura, lo que permite un mejor enfriamiento en comparación con los transformadores secos.

En comparación con los transformadores secos, los de aceite permiten la operación a mayores tensiones y cantidades de energía, siendo óptimos para industria donde la carga sea muy grande, o en centros de distribución.

Los transformadores en aceite generan menos ruido que los secos, sin embargo requieren la implementación de posos de captación de aceite en caso de fugas, además de mayores riesgos por inflamabilidad.

2.7. Conjunto electrógeno

El conjunto electrógeno es el mayor respaldo con el que cuenta un sistema eléctrico antes desconexiones de la red, consiste en un equipo de generación, además de la transferencia a los tableros a respaldar, y los tanques de combustible en caso de generadores por diésel.

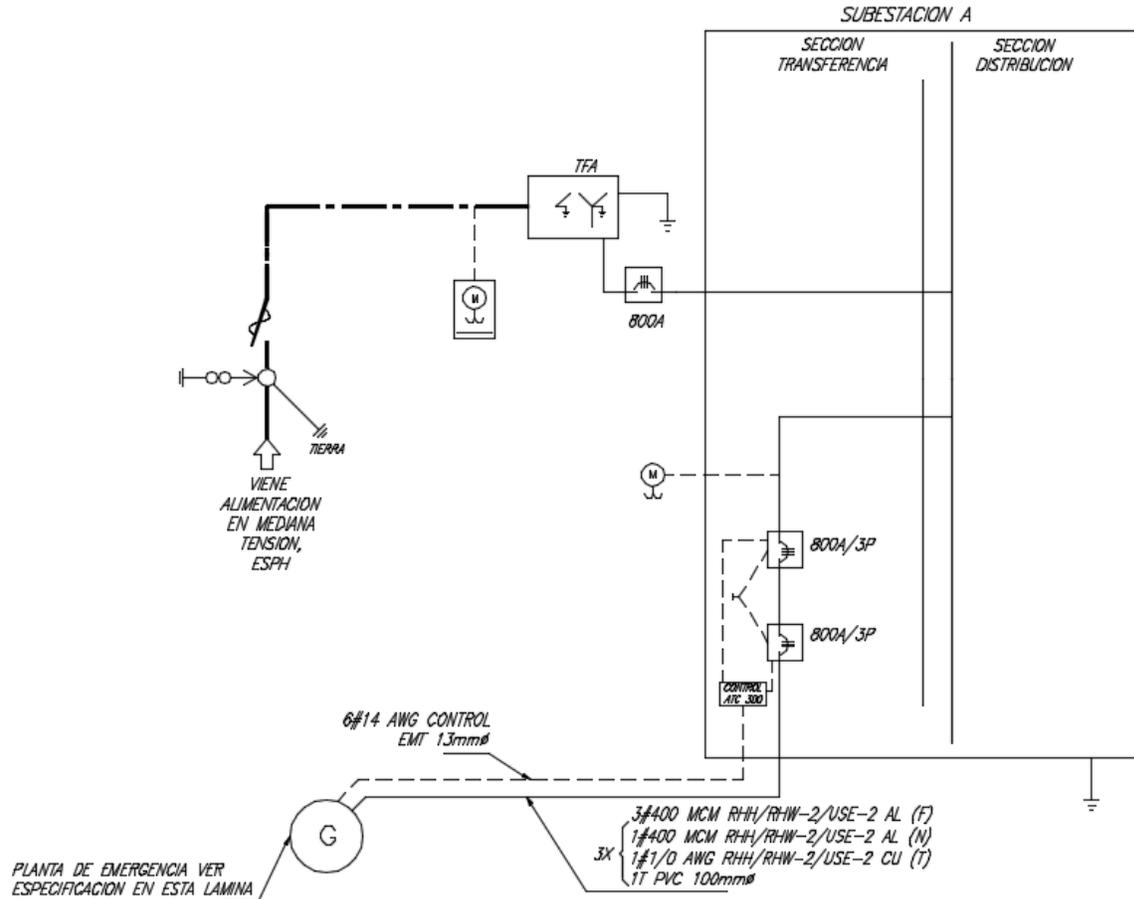


Figura 3. Conexión de generador a Subestación A.

Fuente: elaboración propia

Se distingue en el diseño realizado la necesidad de respaldar ciertos equipos, como las computadoras, estos equipos tienen conexión a ups, además de que estos tableros serán respaldados al generador.

Al igual que los transformadores, los generadores pueden clasificarse como monofásicos y trifásicos, esto está dado más que todo por el tipo de cargas que se requiere respaldar, en MATRA, por la naturaleza de los equipos. Es requerida la utilización de generador trifásico.

Otro factor a considerar es la tensión de selección, al ser generador trifásico se requiere una tensión de generador de 277/480 V.

Para la selección del generador, es requerido tener conocimiento de la potencia a suplir, dada por las cargas demandadas a respaldar, la tensión ya antes comentada como 277/480 V y el tipo de combustible a utilizar, en este caso diésel.

2.8. Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS)

Ante fluctuaciones y caídas en el suministro eléctrico, los equipos requieren de protecciones que aseguren su funcionamiento, y que provean estabilidad y protección ante operaciones con datos.

La UPS (Sistema de alimentación ininterrumpida traducido) es un sistema de protección y respaldo eléctrico utilizado, según cita para “proveer de manera ininterrumpida, segura y de alta calidad potencia para cargas vitales, además, protegen cargas sensibles contra fluctuaciones de potencia así como sobrevoltajes y bajovoltajes” (Emadi, Nasiri, & Bekiarov, 2005) .

Aun cuando ya se cuenta con un sistema de respaldo eléctrico, la existencia de cargas para la operación de información como computadoras, impresoras y servidores, implica la atención en la disponibilidad energética en caso de caídas de funcionamiento en la red.

Si bien, un sistema de alimentación ininterrumpido podría no funcionar durante periodos extensos, los cuales dependen del modelo, permitirán la operación

de los equipos de cómputo activándose de manera casi inmediata, con el fin de resguardar la información y realizar las operaciones finales antes de apagar el equipo, el tiempo de respuesta de la ups las divide en dos categorías.

2.8.1. En espera (Off line)

La corriente de la carga se suministra directamente de la línea eléctrica y por medio del conmutador realiza el paso para suministrar energía por medio de la batería interna, el inversor se encuentra normalmente apagado por lo que, ante un evento de fallo, transcurrirá un lapso durante el conmutado y encendido de inversor, normalmente se podrá considerar de 5 milisegundos, aunque este tiempo es ínfimo y no supone problema para la mayoría de las cargas, muchas de control se ven afectadas al generarse transitorios y variaciones de tensión en el proceso de reconexión, además de esto les afectará la caída de tensión, siempre y cuando esta sea considerable.

2.8.2. En línea (On line)

El inversor suministra la totalidad de la corriente a la carga, y este es alimentado por la línea de la instalación eléctrica, todos los elementos que componen la UPS se encuentran en línea directa con la alimentación, por lo que, no existe un periodo de espera para conmutar la carga desde la línea hasta la batería, ya que se encuentran “en serie”.

2.9. Cargas a instalar

En el apartado 3.5.1 se detallan las fuentes de información respecto a las cargas a instalar, estas mismas se presentan como dos configuraciones, cargas trifásicas y cargas monofásicas.

Además de encontrarse como cargas monofásicas-trifásicas, los motores pueden encontrarse en gran variedad de tipos, los principales y más encontrados en la industria son:

- Motores de inducción.

- Motores síncronos.
- Motores de corriente directa.

En su mayoría las cargas presentes en las instalaciones industriales corresponden a motores de inducción, los cuales mueven los procesos en la industria, alimentados por energía eléctrica.

Equipos como grúas, bombas o aires acondicionados componen las principales fuentes de trabajo para realizar acciones concretas, estos elementos además corresponden a las principales fuentes de aporte a una falla por cortocircuito por medio de los motores que los componen, es por esto que al especificar un equipo como parte del aporte a la falla, el que realmente se especifica es su motor interno.

Además de los equipos motorizados, las cargas resistivas corresponden a gran parte del circuito eléctrico, salidas de tomacorrientes e iluminación corresponden a cargas de este tipo, estas cargas podrán ser alimentadas tanto a 120/208 V como a 480/277 V.

2.10. Arranque de motores

El arranque de motores corresponde al método por el cual se acciona un equipo motorizado, en aras de iniciar labores y además evitar que se den picos de corriente debido a accionamientos simultáneos, al ser de efecto acumulativo, esto llevaría a desgaste en conductores, dispararse las protecciones o en el peor de los casos en la pérdida de alimentación a toda una línea debido a efecto cascada en la falla, los diferentes métodos de arranque según autor comenta (Cortes, 2003) son.

2.10.1. Arranque directo

El arranque directo es uno de los métodos más sencillos y debido a esto, de los más utilizados en la industria, no supone más que una conexión directa a la red de alimentación sin un control de frecuencia ni variaciones en la resistencia del equipo.

Se puede comprender un motor en su estado de reposo como un cortocircuito, esto predispone que, ante un arranque, la corriente existente en el motor para romper la inercia es igual a la corriente de cortocircuito en dicho punto, (Cortes, 2003) comenta que esta puede encontrarse entre las 3 y 8 veces la corriente nominal, es basado en esto que la norma IEEE 141-1993 establece las recomendaciones para definir la impedancia del equipo como la relación de la corriente nominal entre la corriente de rotor bloqueado.

2.10.2. Arranque suave.

Es la respuesta electrónica al problema de los arranques de motores industriales, mediante la utilización de variadores de frecuencias basado en tiristores, se manipula la frecuencia con la que la tensión ingresa al equipo.

Mediante la implementación del arranque suave, se reducen los esfuerzos mecánicos en el equipo y los soportes, esto porque la tensión es suministrada de manera gradual por medio de una rampa previamente configurada que relaciona la frecuencia con la aceleración.

Aunque tiene muchas ventajas, en aplicaciones en las que el par de arranque requiere ser de gran magnitud los arrancadores suaves tiene funcionalidad limitada, por esto se recomienda para motores ligeros.

2.10.3. Arranque estrella-delta.

En motores trifásicos, además de la manipulación de la resistencia durante el arranque, es posible controlar el tipo de conexión del equipo, sea esta estrella (γ), o delta (Δ).

Es requerido entonces que, para realizar dicho arranque los motores sean trifásicos, y permitan la manipulación de las conexiones de bornes en la carcasa de los equipos, mediante este cambio de conexión, es posible reducir la tensión de fase de alimentación según la relación $\frac{1}{\sqrt{3}}$.

Cuando el equipo realiza el arranque, las conexiones de los bornes se encuentran en tipo estrella, por lo que la tensión será $\frac{V}{\sqrt{3}}$, y cuando el motor llega a cierta velocidad, las conexiones se convierten a delta, alimentando a V .por fase.

Este método de arranque será aplicado a equipos en los que el par de arranque se encuentra cerca de la mitad del par nominal.

2.10.4 Arranque estático por resistencias.

En respuesta al problema de las elevadas corrientes de arranque, surge el método de inserción de resistencias en el estator del equipo.

Al agregar una resistencia variable en el estator, se manipula la corriente durante el periodo de arranque, esto reducirá el par de arranque, sin embargo, el objetivo es el de manipular la resistencia disminuyendo su valor conforme el motor se acelera.

2.10.5 Arranque por autotransformador.

Como su nombre lo indica, para el arranque de equipos se utiliza un autotransformador, equipo con el que, variando la relación de espiras, se controla la tensión del secundario,

Es este control el que permitirá reducir la tensión que se suministra al motor, por lo general, a relaciones del 55%, 65% y 80% de la tensión de la red.

El proyecto de implementación de métodos de arranque debe ser tomado gradualmente, equipos como variadores de frecuencias tienen efectos nocivos en la red, por esto, deben considerarse las implicaciones del caso.

Por disposición de la empresa, y debido a la naturaleza de la utilización y cargas de los equipos, los arranques de los motores serán directos.

2.11. Disyuntor

Además de establecer las medidas de distribución de corriente en un circuito, se deben considerar los elementos de protección del mismo, con el fin de cuidar la

integridad de los equipos que participan en los procesos derivados, y la integridad física de las personas que laboran con dichos elementos.

Los disyuntores, breakers o protecciones son los elementos encargados de frenar, desconectar y separar los ramales de un circuito eléctrico ante anomalías en el flujo de corriente que pasa por ellos, estos, al detectar una corriente mayor a la permitida, separan la línea en falla

Además de los fusibles, los cuales, ante una falla protegen al destruir un filamento de material especial y deben ser reemplazados, los breakers corresponden a otro método de protección, sin embargo, como lo comenta (Fowler, 1994), “cuando abren pueden volver a su estado original. No se necesita sustituir nada”

Se reconocen dos tipos de disyuntores:

- **Térmicos:** Utilizan tiras bimetálicas o discos como elementos sensibles, por medio de la deformación de dichas tiras efectúan el cierre al paso.
- **Magnéticos:** Por medio de la acción de campos magnéticos inducidos por el paso de la corriente, generan fuerzas que abren el circuito.

Otra clasificación existente para los disyuntores eléctricos es por su funcionalidad, los más comunes son: STD (Estándar), GFCI (Falla a tierra) y AFCI (Falla de arco).

2.11.1. Estándar

Es el típico disyuntor utilizado para proteger cargas especiales, las cuales, no ameritan la acción contra algún fenómeno mayor, cargas como motores, tomacorrientes, equipos pequeños y alejados del agua requerirán este tipo de disyuntor.

2.11.2. Falla a tierra

Es el disyuntor encargado de cerrar el paso de corriente eléctrica cuando detecta que esta se desplaza en un sentido diferente al configurado (sentido normal), en este sentido, el propósito del mismo es la protección de personas en caso de potencial electrocución.

Cargas cercanas a sitios húmedos como cocinas, patios traseros a bajo nivel, garajes y salidas eléctricas cercanas a tuberías de líquidos utilizarán este tipo de disyuntor.

2.11.3 Falla de arco

Debido a que los disyuntores estándar solamente reaccionan ante sobrecargas y cortocircuitos, y las fallas a tierra ante eventos de flujo de corriente, los arcos eléctricos se utilizarán cuando se desee proteger en caso de presencia de arcos eléctricos peligrosos para la instalación.

La norma NFPA establece que los disyuntores por falla de arco deberán ser utilizados para proteger recámaras, librerías, salas, y demás espacios similares, en MATRA serán utilizados para la protección de los circuitos de iluminación.

2.12. Tablero eléctrico

Cuando un alimentador eléctrico llega a una zona para suplir de energía eléctrica los dispositivos que la requieran, es instalada en un gabinete especial en el que, se encuentran las salidas de las protecciones de los diferentes circuitos, este gabinete, junto con su protección es llamado tablero eléctrico, y funciona como “nodo del que la corriente se reparte a los circuitos que conformen la instalación” (Mullin & Smith, 2005).

Según el NEC 2008, establece que el tablero está “diseñado como uno o un grupo de unidades incluidas las barras y los dispositivos de protección, para el control de luces, y circuitos”.

Comercialmente, y bajo la marca EATON, se encuentran tableros dependiendo de la corriente máxima a suplir a los circuitos, limitada en las barras de la misma, además de la tensión de entrada y operación, y la cantidad de circuitos.

En casos especiales, en tableros como el PRL4a es requerido conocer el espacio que ocuparán los breakers que en ésta se instalaran, pero la selección de estos será profundizada más adelante.

2.13. Transferencias.

Con el objetivo de garantizar el suministro de energía para la red eléctrica a alimentar, se utilizan las transferencias automáticas, en conjunto con ups o sistema de generación, estos elementos permiten limitar el tiempo de intercambio de fuente de energía al mínimo, permitiendo la continuidad del proceso.

Según lo comenta EATON en la descripción de su producto, las transferencias automáticas son componentes críticos para cualquier sistema que requiera de energía, además el acceso a fuentes secundarias en casos de emergencias, esto debido a que representan el canal de detección e interconexión entre las cargas requeridas y las fuentes secundarias, algunas de sus ventajas son:

- a) Mantiene evaluación en la tensión de entrada.
- b) Gobierno sobre el arrancador automático de la planta de emergencia.
- c) Conecta el suministro de emergencia automáticamente.
- d) Regresa al suministro de red cuando se restablezca.
- e) Permite que la planta de emergencia se enfríe mediante la operación en vacío.
- f) Realización del proceso de corroboración periódica, con el fin de evaluar el buen funcionamiento del componente.

Como tal, las transferencias automáticas constan de un sistema de detección de continuidad de suministro de energía, una vez que este deja de ser percibido, los elementos de contacto realizan el paso al sistema secundario de energía, sean estas ups o generadores, además de realizar esto de manera automática, estas tienen un elemento para su activación de manera manual para casos de pruebas, mantenimiento o incluso falla del sistema automático.

Se deben distinguir los diferentes tipos de trasferencias en función de la carga a manejar y serán de contactores para cargas pequeñas y con disyuntores motorizados para cargas mayores.

Es imperante recalcar que estos dispositivos son seleccionados en función de la tensión a la que operarán, además de la cantidad de líneas que entrarán y salen a este, esto está definido por si el sistema es trifásico, monofásico o bifásico.

Además de considerar lo anteriormente comentado, la selección requiere el conocimiento de la corriente máxima a suplir en ese punto, si se requiere protección mediante fusibles, la categoría NEMA

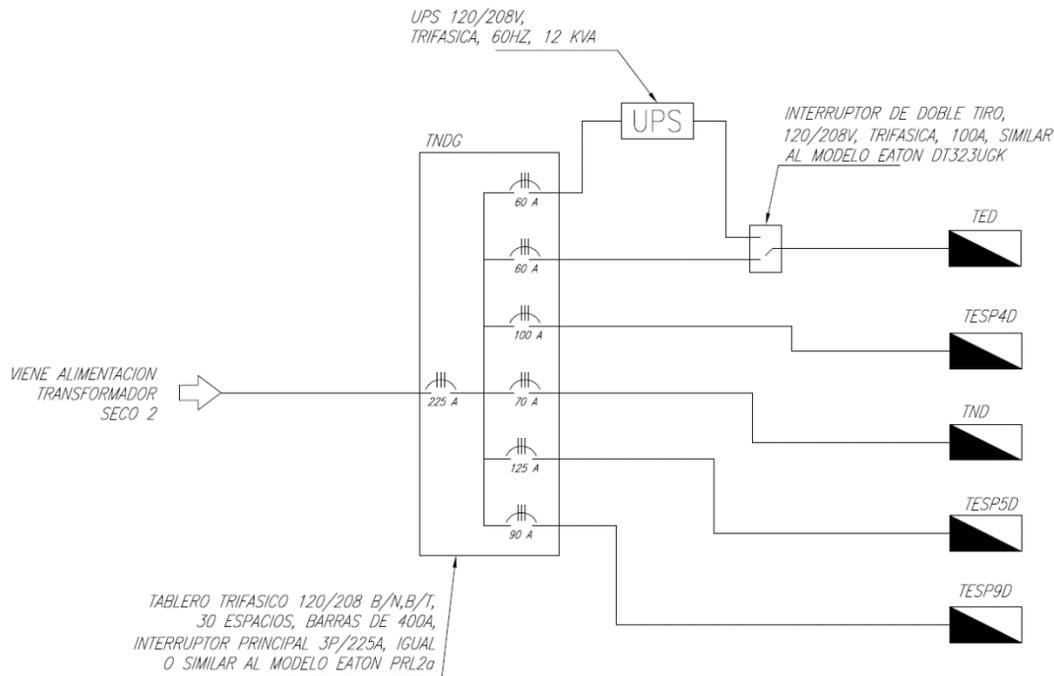


Figura 4. Conexión de transferencia automática de tablero TED.

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4 se ejemplifica la conexión de la transferencia mediante un diagrama unifilar, se observa como esta se puede representar como un conector de

dos vías, requiriendo las conexiones tanto de la ups como de la alimentación convencional.

2.14. Análisis de cortocircuito

Las fallas por cortocircuito predominan entre las causas más devastadoras que pueden afectar los circuitos eléctricos en una instalación, este efecto aumenta cuando en la etapa de diseño no se han realizado los estudios pertinentes para predecir el comportamiento de la falla.

Cuando se desarrolla una falla por cortocircuito en una instalación, la impedancia percibida en un punto de falla específico se reduce a valores cercanos a cero, y ante la diferencia de tensión que haya en el mismo, la magnitud de la corriente se comportará según la ley de ohm, es decir, ante una tensión constante y una impedancia cercana a cero, la magnitud de la corriente incrementará de manera abrupta.

$$I = \frac{V}{Z} \quad (3)$$

Se distinguen 4 principales tipos de fallas por cortocircuito, como lo ilustra (Grainger, 1996), las mismas son dependientes de la cantidad de líneas que se vean involucradas en el incidente, para cada una de las fallas mostradas en la Figura 5 se generan modelos dependientes de las impedancias de cada elemento.

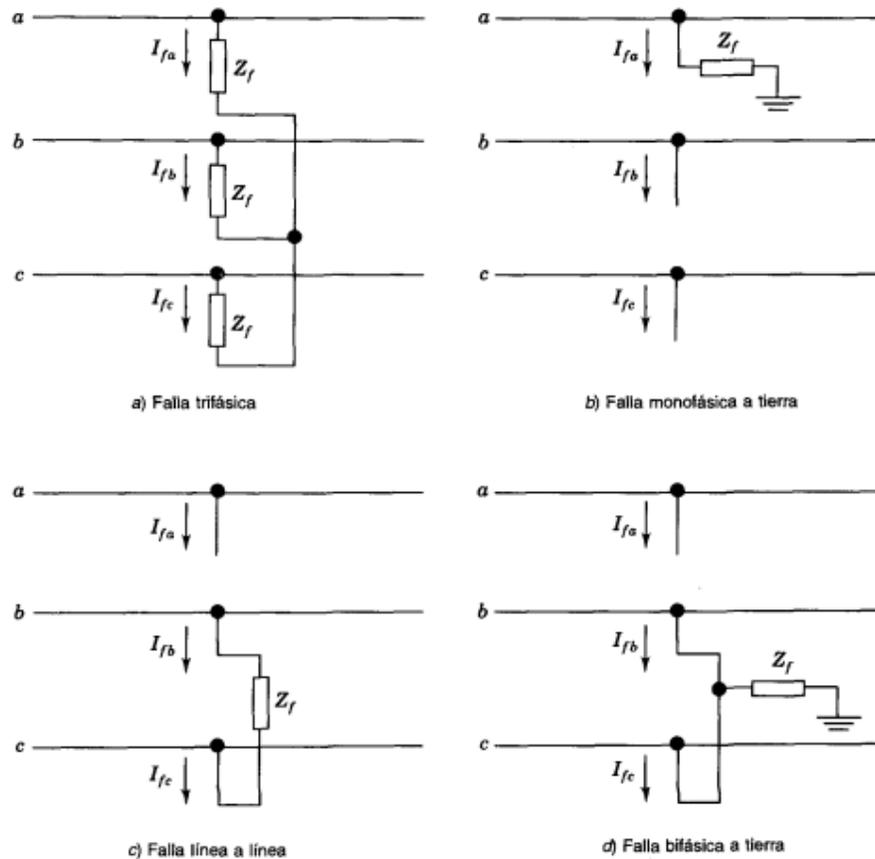


Figura 5. Diagramas de conexión de los segmentos hipotéticos para diferentes fallas a través de una impedancia.

Fuente: Johnson

Para el estudio de cortocircuito en conjunto con la figura anterior es requerido realizar el modelado por componentes simétricas, que describe las componentes de una falla como la suma vectorial de 3 componentes independientes, según la norma IEEE 141-1993 y sabiendo que la falla más crítica será la trifásica, será esta la requerida a estudiar para determinar la corriente de cortocircuito más dañina, el modelo para el estudio de dicha falla no requiere de las componentes simétricas, únicamente de la de secuencia positiva.

En caso de estudio de otras de las fallas presentes en la Figura 5 es requerido contemplar las conexiones a tierra de cada uno de los elementos, además de las impedancias tanto de secuencia negativa, positiva y secuencia cero, armar los

circuitos modelados con dichas impedancias según lo establecido por el libro “Análisis de sistemas de potencia” como modelos para cada falla, y realizar las respectivas reducciones hasta ubicar el punto de falla, en comparación, al realizar los 4 tipos de fallas para un mismo punto en un mismo circuito, la falla de mayor magnitud será la trifásica, la norma IEEE 141-1993 se basa en este hecho para recomendar el estudio basado en falla trifásica.

Es importante recalcar que el estudio de corrientes de cortocircuito es uno de los pasos y no únicamente un fin, el CIEMI comenta en el archivo “Procedimientos para el planeamiento y diseño de instalaciones eléctricas en edificios comerciales, industriales e institucionales” como el paso inicial para realizar la coordinación de protecciones, además del estudio de arco eléctrico y siendo a su vez, un elemento informativo de vital importancia.

La norma IEEE 141-1993 indica los pasos y consideraciones para la realización de este estudio, tomando en cuenta la recolección de datos de los equipos involucrados en la instalación (v.g. motores, transformadores, conductores) además del concepto de sistema pu (por unidad), la reducción del circuito obedece al comportamiento eléctrico básico de los circuitos, considerando las componentes imaginarias en las impedancias que lo conforman.

Por todo esto, se considera el estudio de cortocircuito como el proceso de modelador del sistema unifilar con los elementos activos como impedancias aparentes en el momento de la falla, y el estudio del efecto de dichos elementos en el momento de una falla en un punto, siendo este en el que se dará la reducción de la red por medio de series y paralelos.

2.15. Aporte a la falla

La norma IEEE 141-1993 puntualiza que ante un evento de falla por cortocircuito, los siguientes equipos realizarán aporte a la falla, esto significa, que tendrán efecto sobre la misma, las cargas resistivas son despreciables.

Los datos requeridos para estudio de cortocircuito y que son propios de las máquinas que realizan aporte son las siguientes 3 tipos de reactancias:

- Subtransitoria (x_d''): Reactancia percibida durante el primer ciclo después del evento, dura alrededor de 0.1 s.
- Reactancia transitoria (x_d'): Reactancia percibida después de varios ciclos después de la falla, entre 0.5 y 2 s incrementa a la reactancia síncrona.
- Reactancia síncrona (x_d): Es la reactancia percibida después de que se alcanza el equilibrio.

2.15.1. Máquinas de inducción

Las máquinas de inducción, como motores de jaula de ardilla, o de rotor devanado, son interpretadas por la falla como un generador.

Debido a la caída de la tensión en los bornes del motor, además de la continuidad de la inercia del equipo, y la existencia de un campo magnético en el estator, este realizará un aporte de corriente a la falla, si se realizan los diagramas de circuito equivalente, se observará como en este efecto anteriormente explicado representa perfectamente el mismo diagrama que un generador, sin embargo el aporte desaparecerá después de unos ciclos debido a que el campo no se mantendrá.

Debido a este efecto momentáneo, los motores únicamente serán especificados con una reactancia subtransitoria (X_d'').

2.15.2. Empresa de suministro eléctrico

Representando la red externa al circuito de la planta a analizar, la empresa de suministro eléctrico aportará la mayoría de corriente para la falla en plantas en las que existan motores de poca potencia, es por esto que se deberá solicitar a la compañía eléctrica los datos de potencia de cortocircuito tanto trifásica como monofásica, además de las reactancias propias.

2.15.3. Transformadores

Dentro de la instalación eléctrica, los transformadores tendrán un efecto mitigante ante la distribución de la corriente de cortocircuito, la interacción de campos magnéticos dentro de su construcción, además de la reducción de tensión serán las principales causas del efecto del mismo en la falla, para la estimación de corrientes de cortocircuito se especificará su reactancia, obtenida de los manuales de fabricantes.

2.15.4. Máquinas sincrónicas y condensadores

Los motores sincrónicos serán interpretados como generadores sincrónicos, en el momento de la falla la caída de tensión en el motor mientras la inercia de giro se mantiene, y la presencia del campo magnético provocará que el motor se comporte como generador, y la tensión interna del equipo causará que la corriente fluya hacia la falla.

El circuito equivalente de este equipo en el momento de falla será idéntico al de un generador, además se especificarán para cálculo de falla las tres reactancias, los condensadores sincrónicos se comportarán como los motores sincrónicos.

2.15.5. Generadores síncronos

Ante un evento de cortocircuito en las terminales del generador, se da un pico en la corriente y a continuación esta caerá hasta alcanzar el estado estático, sin embargo, el generador sigue siendo impulsado por su primotor y estando excitado, por esto, la corriente estática de cortocircuito permanecerá hasta que sea interrumpida por un disyuntor o un fuse.

Los datos de reactancia subtransitoria (X_d''), reactancia transitoria (X_d') y reactancia síncrona (X_d) son datos esenciales para el cálculo de cortocircuito, estas son provistas por el fabricante del equipo.

2.16. Método de las impedancias.

El método de las impedancias es una de las herramientas específicas para calcular las corrientes de cortocircuito, como tal, establece el circuito base a reducir para obtener el equivalente, y con el mismo determinar la magnitud de la corriente.

Como lo indica la norma IEEE 141-1993, es el método recomendado para la realización de estudio de cortocircuito, aunque no el único, sí es el más confiable.

Mediante el método de las impedancias, el sistema se modela como un circuito de impedancias ya sea para fallas trifásicas, monofásicas, bifásicas, etc, para cada uno de estos sistemas existe un modelado diferente en el que, se verán implicadas las impedancias de secuencia positiva, negativa, o cero según sea el caso.

Como todo método, el de las impedancias se resume en los siguientes pasos:

- Creación de diagrama unifilar simplificado.
- Selección de tipo de falla a analizar, y punto de evaluación.
- Parametrización de elementos activos durante la falla, e ilustración en planos.
- Reducción de circuito mediante leyes eléctricas.

Como más adelante se comentará, los elementos activos serán mejor manipulados mediante la utilización del sistema por unidad, el cual, permitirá la interpretación de todos los elementos a un mismo nivel de tensión, reduciendo las malinterpretaciones y realizando simplificaciones válidas,

2.17. Estudio de coordinación de protecciones

2.17.1. Coordinación de protecciones

Como parte de los estudios de ingeniería deseables a ser aplicados a las instalaciones eléctricas industriales, se tiene la coordinación de protecciones, paralelo al estudio de arco eléctrico pero un paso siguiente respecto al estudio de cortocircuito.

La coordinación de protecciones, como comenta la norma IEC 60947-2 “concierno al comportamiento de dos aparatos instalados en serie en una distribución eléctrica en presencia de un cortocircuito”, con esto, se refiere al proceso de relacionar la reacción de los elementos de protección en aras de obtener beneficios, en este caso, el aislamiento manera selectiva de los ramales involucrados en la falla.

La norma distingue de manera prioritaria el concepto de selectividad, que consiste en la configuración del equipo de manera que al darse una falla, el disyuntor o elementos de protección que se desconecte sea el más cercano a la misma, para con esto lograr aislar la falla y evitar la desconexión de otros equipos.

Para la realización de la coordinación de protecciones, es requerida la información de los diferentes elementos involucrados en el sistema, conductores eléctricos, disyuntores, transformadores y motores son algunos de estos.

Estos equipos presentan gráficas $I_{vs}T$, en las que se demuestra el comportamiento eléctrico del equipos conforme pasa el tiempo, además, indican las zonas de estrés térmico y desgaste, corrientes de excitación, y corrientes de desconexión (en caso de protecciones), el objetivo mediante la coordinación de protecciones es configurar las gráficas de protecciones en rangos en los que la falla en un tiempo dado provoque el disparo de uno de los elementos (el más cercano a la falla) y se propague en secuencia desde el dispositivo más cercano a la falla hacia el más lejano, permitiendo las zonas de excitación y evitando sobrecargar el conductor.

Además de definir los tiempos de reacción y la secuencia en cascada de desactivación ante un evento, la coordinación de protecciones limitará el tiempo de exposición de los equipos ante un evento de cortocircuito, disminuyendo el tiempo de exposición ante un evento de fallo por arqueo eléctrico, lo cual disminuirá a su vez el tiempo de exposición y el calor generado por centímetro cuadrado, este tiempo es de vital importancia para el estudio de arco eléctrico que se presenta más adelante.

La coordinación de protecciones, gráficas, consideraciones y tablas no serán presentadas en este proyecto, sin embargo, para su comprensión se recomienda la utilización de la norma IEC 60947-2.

2.18. Estudio de arco eléctrico

Uno de los efectos de las grandes corrientes de cortocircuito en los tableros eléctricos es el arqueo eléctrico, que es una descarga de energía entre un elemento eléctrico y la tierra debido a la ruptura de la impedancia del aire en ese momento.

Como un paso súbito de energía, el arco eléctrico representa un grave peligro para los trabajadores que se encuentren presentes en el momento de falla, además con otros equipos, la descarga del mismo produce calor de manera violenta, lo cual además expande el aire produciendo una explosión que en muchos casos será letal si no se tienen las consideraciones adecuadas.

El estudio de arco eléctrico, por ende, pretende estimar la magnitud de calor generado para evitar una quemadura de grado 2, además definir los elementos de protección personal en caso de realizar mantenimiento en los tableros en los que se pueda dar dicho evento, la magnitud de la corriente generada en el momento también puede ser calculada, la cual sea menor a la de la falla por cortocircuito que la generó.

Algunos de los riesgos asociados a las fallas por arco eléctrico son:

- Calor: las fallas por arco pueden alcanzar temperaturas incluso de 35000 °F

- Explosión: La expansión del aire al momento del arco es capaz de generar una explosión que no solamente afectara objetos circundantes, sino a operarios presentes.
- Problemas auditivos: La explosión podrá generar incomodidad y efectos negativos en la audición de las personas que se encuentren en el sitio.
- Fundición y caída de materiales.

Debido tantos efectos negativos, es necesario y recomendado por el CIEMI realizar el estudio de arco eléctrico en conjunto con el estudio de cortocircuito y coordinación de protecciones como estudios de ingeniería, destinados a promover la seguridad y disponibilidad de la instalación en cada instante, sea en operación normal como en momentos de falla.

La norma IEEE 1584-2002 es la utilizada para la estimación y consideración de las fallas por arco, en dicha norma se establecen los pasos para su estudio, como se indican a continuación:

- a) Recolección de información del sistema
- b) Determinar los modelos de operación
- c) Determinar las corrientes de falla
- d) Determinar las corrientes de arco
- e) Definir las características de los elementos de protección y tiempos de reacción
- f) Documentar las tensiones y tipos de equipos.
- g) Definir las distancias de trabajo
- h) Determinar la energía incidente
- i) Determinar los límites de protección

Los modelos de estimación para arcos eléctricos son dependientes de la tensión existente, y respecto a los mismo las fórmulas variarán, para este documento la

máxima tensión dentro del circuito es de 34500 V, sin embargo los tableros a analizar se encuentran en las tensiones 480/277 V y 120/208 V, por ende, la selección de datos en los anexos pertinentes se dará en función de estos valores.

Para estimar la corriente de arco eléctrico se utiliza la fórmula 4, obtenida de la norma IEEE 1584-2002.

$$\log(I_a) = K + 0.662 * \log(I_{bf}) + 0.0966 * V + 0.000526 * G + 0.5588 * V * \log(I_{bf}) - 0.00304 * G * \log(I_{bf}) \quad (4)$$

Donde

I_a = Es la corriente de arco (kA).

K = Es el factor de espacio, siendo:

- -0.153 Configuración abierta (abierta al entorno).
- -0.097 Configuraciones de caja (Tableros).

I_{bf} = Corriente de cortocircuito trifásica (kA).

V = Tensión nominal del sistema (kV).

G = Es el espacio entre conductores (mm) ver anexos, Tabla 38.

Para la estimación de la energía propia del incidente es requerido estimar la misma normalizada, y después realizar la conversión bajo las propiedades del sistema actual, la fórmulas r y t describen el proceso.

$$\log E_n = K_1 + K_2 + 1.081x \log I_a + 0.0011xG \quad (5)$$

Donde:

E_n = Es la energía incidente (J/cm²) normalizada según variables de tiempo y distancia definidas en laboratorio.

K_1 = Es el factor de espacio, siendo:

- -0.792 Configuración abierta (abierta al entorno).
- -0.555 Configuraciones de caja (Tableros).

K_2 = Es el factor de espacio, siendo:

- 0 sistemas no aterrizados y sistemas aterrizados de alta resistencia.
- -0.113 sistemas aterrizados.

Partiendo de la fórmula anterior, la energía incidente normalizada será:

$$E_n = 10^{\log E_n} \quad (6)$$

Este parámetro anteriormente calculado deberá ser transformado a uno que represente el estado actual del sistema, con características que no necesariamente sean las misma que las definidas en laboratorio, para esto se realiza el cambio siguiente.

$$E = 4.184 \times C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \times \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \quad (7)$$

Con

E = Es la energía incidente (J/cm²).

C_f = Es el factor de tensión, siendo:

- 1.0 para tensiones menores a 1 kV.
- 1.5 para tensiones iguales o mayores a 1 kV.

E_n = Es la energía incidente normalizada (J/cm²).

t = Tiempo de arqueo (s).

D= Distancia del posible punto de arqueo hasta la persona (mm).

x= Exponente de distancia, ver en Tabla 38.

Capítulo 3. Diseño eléctrico

3.1. Formato Tecnoconsult.

En el transcurso de avance en este documento se presentan imágenes extraídas del proceso de diseño, tomadas tanto del ambiente de trabajo en la pantalla de la computadora, por medio de los programas involucrados, como de los diferentes textos de los cuales se tomaron los requerimientos, consideraciones y datos pertinentes al dimensionamiento de elementos.

Debido a esto, es importante definir en primera instancia los lineamientos estandarizados de la empresa para presentar los proyectos, estas pautas son consideradas obligatorias ya que, permiten definir el proyecto bajo un aspecto propio de la empresa, y considera la claridad de visualización de los elementos en el plano.

Consideraciones como grosor y color de líneas en la pantalla, como simbología de componentes eléctricos, mecánicos y de control, son básicos en primera etapa del diseño ya que, al visualizar el plano de trabajo se distinguirá más fácilmente cada componente y la conexión entre los mismos, además los bloques aportarán información como la cantidad de conductores eléctricos que comprenderán un circuito eléctrico, si una tubería distribuye agua fría o caliente o si un elemento es requerido para su observación a la hora de imprimir.

<i>SIMBOLOGIA ELECTRICA</i>																													
<i>SALIDAS ELECTRICAS</i>																													
<i>BLOQUE</i>	<i>ESPECIFICACIONES</i>																												
\$	<i>INTERRUPTOR SENCILLO 120 VOLTIOS, 15 AMPERIOS A 1.2 MTS. SNPT O ALTURA INDICADA TIPO LEVITON DECORA 5601-W</i>																												
\$,	<i>INTERRUPTOR TRES VIAS 120 VOLTIOS, 15 AMPERIOS A 1.2 MTS. SNPT O ALTURA INDICADA TIPO LEVITON DECORA 5603-W</i>																												
<p><i>NOTA: CUANDO EXISTAN DOS O MAS INTERRUPTORES JUNTOS, UTILIZAR CAJAS DE DOS O MAS GANGS CON SU ARO DE REPELLO RESPECTIVO, SI PERTENECEN A DIFERENTE CIRCUITO UTILIZAR DIVISOR IGUAL AL TIPO STEEL CITY DE LA SIGUIENTE TABLA</i></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><i># DE GANGS</i></th> <th style="text-align: center;"><i>MODELO DE CAJA</i></th> <th style="text-align: center;"><i>MODELO DE ARO</i></th> <th style="text-align: center;"><i>PLACA SIN TORNILLO TIPO LEVITON DECORA</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1G-1/2</td> <td style="text-align: center;">1-GC</td> <td style="text-align: center;">80301-W</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2G-1/2</td> <td style="text-align: center;">2-GC</td> <td style="text-align: center;">80309-W</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">3G-1/2</td> <td style="text-align: center;">3-GC</td> <td style="text-align: center;">80311-W</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">4G-1/2</td> <td style="text-align: center;">4-GC</td> <td style="text-align: center;">80312-W</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">5G-1/2</td> <td style="text-align: center;">5-GC</td> <td style="text-align: center;">80321-W</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">6G-1/2</td> <td style="text-align: center;">6-GC</td> <td style="text-align: center;">80326-W</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><i>DIVISOR TIPO STEEL CITY SGP</i></p>		<i># DE GANGS</i>	<i>MODELO DE CAJA</i>	<i>MODELO DE ARO</i>	<i>PLACA SIN TORNILLO TIPO LEVITON DECORA</i>	1	1G-1/2	1-GC	80301-W	2	2G-1/2	2-GC	80309-W	3	3G-1/2	3-GC	80311-W	4	4G-1/2	4-GC	80312-W	5	5G-1/2	5-GC	80321-W	6	6G-1/2	6-GC	80326-W
<i># DE GANGS</i>	<i>MODELO DE CAJA</i>	<i>MODELO DE ARO</i>	<i>PLACA SIN TORNILLO TIPO LEVITON DECORA</i>																										
1	1G-1/2	1-GC	80301-W																										
2	2G-1/2	2-GC	80309-W																										
3	3G-1/2	3-GC	80311-W																										
4	4G-1/2	4-GC	80312-W																										
5	5G-1/2	5-GC	80321-W																										
6	6G-1/2	6-GC	80326-W																										
	<i>TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO, TIERRA AISLADA, CONECTADO A UPS, 125V, 20A, GRADO HOSPITALARIO, A 0.3 MTS SNPT O ALTURA INDICADA, IGUAL O SIMILAR AL MODELO IG8300-HRED DE PASS & SEYMOUR, COLOR ROJO, CON PLACA PLÁSTICA MODELO PB-RED DE PASS & SEYMOUR, COLOCADO A 0.30 MTS S.N.P.T.</i>																												
	<i>TOMACORRIENTE DOBLE 15 AMPERIOS 120 VOLTIOS TIPO POLARIZADO, A 0.3 MTS SNPT O ALTURA INDICADA, TIPO LEVITON DECORA GRADO ESPECIFICACION 5325-W, PLACA SIN TORNILLOS TIPO 80301-W DE LEVITON</i>																												
	<i>TOMACORRIENTE DOBLE 20 AMPERIOS 120 VOLTIOS TIPO POLARIZADO CON PROTECCION DE FALLA A TIERRA, A INSTALAR EN PISO TIPO LEVITON DECORA ESPECIFICACION COMERCIAL 7599-W</i>																												
	<i>TOMACORRIENTE DOBLE 20 AMPERIOS 120 VOLTIOS TIPO POLARIZADO CON PROTECCION DE FALLA A TIERRA, A 1.05 MTS SNPT O ALTURA INDICADA TIPO LEVITON DECORA ESPECIFICACION COMERCIAL 7599-W</i>																												
	<i>TOMACORRIENTE DOBLE CON TAPA INTEMPERIE 20 AMPERIOS 120 VOLTIOS TIPO POLARIZADO CON PROTECCION DE FALLA A TIERRA, A 1.05 MTS SNPT O ALTURA INDICADA TIPO LEVITON DECORA ESPECIFICACION COMERCIAL 7599-W</i>																												
	<i>SALIDA ESPECIAL, CAPACIDAD Y SU USO SE INDICA SEGUN SU INDICE, A 0.4 MTS SNPT O ALTURA INDICADA</i>																												
XX	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"><i>ELV1, ELV2</i></td> <td><i>MOTOR DE ASCENSOR, 10.5 HP, 208 VOLTIOS, TRIFASICO, MEDIO DE DESCONEXION POR MEDIO DE DESCONECTADOR TIPO DG324UIRK DE EATON.</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>SEC</i></td> <td><i>SECADORA, 208 V., 40 AMP., MONOFASICO, COLOCAR TOMACORRIENTE SIMPLE 50 AMPERIOS 240 VOLTIOS 2P/4H CON ATERRIZAMIENTO A 0.4 MTS SNPT O ALTURA INDICADA, GRADO ESPECIFICACION TIPO LEVITON 279, PLACA TIPO 84028 DE LEVITON. SE DEBERA SUPLIR CONECTOR TIPO 9452-P DE LEVITON. COORDINAR LA UBICACION FINAL DE LA SALIDA CON EL PROVEEDOR DEL EQUIPO O ARQUITECTO.</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>COC</i></td> <td><i>PLANTILLA ELECTRICA, 208 V, 40 AMP, MONOFASICO, COLOCAR TOMACORRIENTE SIMPLE 50 AMPERIOS 240 VOLTIOS 2P/4H CON ATERRIZAMIENTO A 0.4 MTS SNPT O ALTURA INDICADA, GRADO ESPECIFICACION TIPO LEVITON 279, PLACA TIPO 84028 DE LEVITON. SE DEBERA SUPLIR CONECTOR TIPO 9452-P DE LEVITON. COORDINAR LA UBICACION FINAL DE LA SALIDA CON EL PROVEEDOR DEL EQUIPO O ARQUITECTO.</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>TAC-01, TAC-02</i></td> <td><i>TANQUE DE AGUA CALIENTE, 208 V., 40 AMP., MONOFASICO, CONEXION DIRECTA.</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>BAP</i></td> <td><i>EQUIPO DE BOMBEO DE AGUA POTABLE, SISTEMA DE PRESION CONSTANTE</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>BJ</i></td> <td><i>BOMBA JOCKEY, 2 HP, 208 VOLTIOS, 3F, CONEXION DIRECTA AL PANEL DE CONTROL</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>EX-X</i></td> <td><i>EXTRACTOR DE AIRE</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>BAN-01</i></td> <td><i>BOMBA DE AGUAS NEGRAS</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>BPU-01</i></td> <td><i>BOMBA DE AGUAS PLUVIALES</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>BP-01</i></td> <td><i>BOMBA PARA PISCINA</i></td> </tr> </table> <p><i>NOTA IMPORTANTE:</i> <i>CADA MOTOR DEBERA TENER UN ARRANCADOR DE ACUERDO A SU CAPACIDAD EN HP Y VOLTAJE, EN GABINETE NEMA 3R PARA LOS QUE SE UBICAN EN TECHO Y NEMA 1 PARA LOS DE UBICACION INTERNA, MANDO REMOTO A 120 V (VOLTAJE DE BOBINA), EL ARRANCADOR DE CADA MOTOR DEBERA SER SUPLIDO POR EL CONTRATISTA ELECTRICO.</i></p>	<i>ELV1, ELV2</i>	<i>MOTOR DE ASCENSOR, 10.5 HP, 208 VOLTIOS, TRIFASICO, MEDIO DE DESCONEXION POR MEDIO DE DESCONECTADOR TIPO DG324UIRK DE EATON.</i>	<i>SEC</i>	<i>SECADORA, 208 V., 40 AMP., MONOFASICO, COLOCAR TOMACORRIENTE SIMPLE 50 AMPERIOS 240 VOLTIOS 2P/4H CON ATERRIZAMIENTO A 0.4 MTS SNPT O ALTURA INDICADA, GRADO ESPECIFICACION TIPO LEVITON 279, PLACA TIPO 84028 DE LEVITON. SE DEBERA SUPLIR CONECTOR TIPO 9452-P DE LEVITON. COORDINAR LA UBICACION FINAL DE LA SALIDA CON EL PROVEEDOR DEL EQUIPO O ARQUITECTO.</i>	<i>COC</i>	<i>PLANTILLA ELECTRICA, 208 V, 40 AMP, MONOFASICO, COLOCAR TOMACORRIENTE SIMPLE 50 AMPERIOS 240 VOLTIOS 2P/4H CON ATERRIZAMIENTO A 0.4 MTS SNPT O ALTURA INDICADA, GRADO ESPECIFICACION TIPO LEVITON 279, PLACA TIPO 84028 DE LEVITON. SE DEBERA SUPLIR CONECTOR TIPO 9452-P DE LEVITON. COORDINAR LA UBICACION FINAL DE LA SALIDA CON EL PROVEEDOR DEL EQUIPO O ARQUITECTO.</i>	<i>TAC-01, TAC-02</i>	<i>TANQUE DE AGUA CALIENTE, 208 V., 40 AMP., MONOFASICO, CONEXION DIRECTA.</i>	<i>BAP</i>	<i>EQUIPO DE BOMBEO DE AGUA POTABLE, SISTEMA DE PRESION CONSTANTE</i>	<i>BJ</i>	<i>BOMBA JOCKEY, 2 HP, 208 VOLTIOS, 3F, CONEXION DIRECTA AL PANEL DE CONTROL</i>	<i>EX-X</i>	<i>EXTRACTOR DE AIRE</i>	<i>BAN-01</i>	<i>BOMBA DE AGUAS NEGRAS</i>	<i>BPU-01</i>	<i>BOMBA DE AGUAS PLUVIALES</i>	<i>BP-01</i>	<i>BOMBA PARA PISCINA</i>								
<i>ELV1, ELV2</i>	<i>MOTOR DE ASCENSOR, 10.5 HP, 208 VOLTIOS, TRIFASICO, MEDIO DE DESCONEXION POR MEDIO DE DESCONECTADOR TIPO DG324UIRK DE EATON.</i>																												
<i>SEC</i>	<i>SECADORA, 208 V., 40 AMP., MONOFASICO, COLOCAR TOMACORRIENTE SIMPLE 50 AMPERIOS 240 VOLTIOS 2P/4H CON ATERRIZAMIENTO A 0.4 MTS SNPT O ALTURA INDICADA, GRADO ESPECIFICACION TIPO LEVITON 279, PLACA TIPO 84028 DE LEVITON. SE DEBERA SUPLIR CONECTOR TIPO 9452-P DE LEVITON. COORDINAR LA UBICACION FINAL DE LA SALIDA CON EL PROVEEDOR DEL EQUIPO O ARQUITECTO.</i>																												
<i>COC</i>	<i>PLANTILLA ELECTRICA, 208 V, 40 AMP, MONOFASICO, COLOCAR TOMACORRIENTE SIMPLE 50 AMPERIOS 240 VOLTIOS 2P/4H CON ATERRIZAMIENTO A 0.4 MTS SNPT O ALTURA INDICADA, GRADO ESPECIFICACION TIPO LEVITON 279, PLACA TIPO 84028 DE LEVITON. SE DEBERA SUPLIR CONECTOR TIPO 9452-P DE LEVITON. COORDINAR LA UBICACION FINAL DE LA SALIDA CON EL PROVEEDOR DEL EQUIPO O ARQUITECTO.</i>																												
<i>TAC-01, TAC-02</i>	<i>TANQUE DE AGUA CALIENTE, 208 V., 40 AMP., MONOFASICO, CONEXION DIRECTA.</i>																												
<i>BAP</i>	<i>EQUIPO DE BOMBEO DE AGUA POTABLE, SISTEMA DE PRESION CONSTANTE</i>																												
<i>BJ</i>	<i>BOMBA JOCKEY, 2 HP, 208 VOLTIOS, 3F, CONEXION DIRECTA AL PANEL DE CONTROL</i>																												
<i>EX-X</i>	<i>EXTRACTOR DE AIRE</i>																												
<i>BAN-01</i>	<i>BOMBA DE AGUAS NEGRAS</i>																												
<i>BPU-01</i>	<i>BOMBA DE AGUAS PLUVIALES</i>																												
<i>BP-01</i>	<i>BOMBA PARA PISCINA</i>																												

Figura 6. Simbología eléctrica parte 1.

<i>SIMBOLOGIA ELECTRICA</i>	
<i>SALIDAS ELECTRICAS</i>	
<i>BLOQUE</i>	<i>ESPECIFICACIONES</i>
	<i>SALIDA TELEFONICA TIPO DECORA A 0,30 MTS O ALTURA INDICADA. SNPT, CON CONTENEDOR TIPO 41641-W INSERTO CAT 3 TIPO 41108-RW3, TAPA ESPACIO 41084-BWB Y PLACA SIN TORNILLOS 80301-W DE LEVITON</i>
	<i>SALIDA DE CABLEADO ESTRUCTURADO TIPO MODULAR A 0,30 m. SNPT CON UN JACK CATEGORIA 6, FORMADO POR UN CONECTOR TIPO 61110-RL6 PARA DATOS (COLOR A APROBAR POR EL ARQUITECTO) INSTALADO EN CONTENEDOR TIPO 41641-W DE LEVITON CON PLACA SIN TORNILLOS TIPO 80301-W</i>
	<i>SALIDA DE CABLEADO ESTRUCTURADO TIPO MODULAR EN TECHO CON UN JACK CATEGORIA 6, FORMADO POR UN CONECTOR TIPO 61110-RL6 PARA DATOS (COLOR A APROBAR POR EL ARQUITECTO) INSTALADO EN CONTENEDOR TIPO 41641-W DE LEVITON CON PLACA SIN TORNILLOS TIPO 80301-W</i>
	<i>SALIDA DE CABLEADO ESTRUCTURADO TIPO MODULAR A 0,30 m. SNPT CON DOS JACK CATEGORIA 6, FORMADO POR UN CONECTOR RJ45 TIPO 61110-RW6 PARA VOZ Y CONECTOR RJ45 TIPO 61110-RL6 PARA DATOS (COLOR A APROBAR POR EL ARQUITECTO) INSTALADOS EN CONTENEDOR TIPO 41642-W DE LEVITON CON PLACA SIN TORNILLOS TIPO 80301-W</i>
	<i>SALIDA DE TELEVISION, CONECTOR TIPO F PARA CABLE COAXIAL DE 75 OHMIOS, A 0.30 MTS SNPT, IGUAL O SIMILAR AL MODELO LEVITON DECORA 40681-W</i>
	<i>DISPOSITIVO DE CONEXION INALAMBRICA.</i>
	<i>TABLERO ELECTRICO A 1.7 MTS SNPT (VER DIAGRAMA UNIFILAR ELECTRICO)</i>
	<i>GABINETE DE MEDICION INDIRECTA, (VER DIAGRAMA UNIFILAR ELECTRICO).</i>
	<i>CAJA DE DISTRIBUCION TELEFONICA, A 1.7 MTS SNPT (VER DIAGRAMA UNIFILAR TELEFONICO)</i>
	<i>DISTRIBUIDORES DE TELEVISION (VER DIAGRAMA UNIFILAR DE TELEVISION RESPECTIVO)</i>
	
	<i>SENSOR DE PRESENCIA A UBICAR EN CIELO O SEGUN SE INDIQUE, TIPO DE TECNOLOGIA DUAL (ULTRASONICO E INFRAROJO), 186 METROS CUADRADOS DE COBERTURA, 360°, SIMILAR AL MODELO OSC205-MDW DE LEVITON</i>
	<i>INTERRUPTOR EN CAJA (VER DIAGRAMA UNIFILAR ELECTRICO RESPECTIVO)</i>
	<i>TRANSFERENCIA ELECTRICA (VER DIAGRAMA UNIFILAR ELECTRICO RESPECTIVO)</i>
	<i>CONEXIONES CON TRES CAJAS, CON LOS SIGUIENTES ACCESORIOS: TOMACORRIENTE CON SUPRESOR DE PICOS, 15AMPS, 125V, NEMA 5-15R, 240V/15A. REF NSOKPS DE HUBBELL, 2 PUERTOS HEMBRA-HEMBRA PARA HDMI ESTILO DECORATOR, COLOR BLANCO, REF NS802W EL CONTRATISTA DEBERA COORDINAR EL PASO DE TUBERIAS EN MUROS O COLUMNAS, ASI COMO TAMBIEN LA UBICACION DE LAS CAJAS Y SUS DIMENSIONES</i>
	<i>CAJA DE DISTRIBUCION DEL SERVICIO DE CABLE/TELEVISION CON SPLITER DE 4 VIAS TIPO 47690-4C DE LEVITON, A 1.7 MTS SNPT, VER DIAGRAMA UNIFILAR.</i>
	<i>PANEL DE MEDIDORES (VER DIAGRAMA UNIFILAR ELECTRICO)</i>
	<i>PLANTA DE EMERGENCIA (VER DIAGRAMA UNIFILAR ELECTRICO)</i>
	<i>TRANSFORMADOR SUMERGIBLE (VER DIAGRAMA UNIFILAR ELECTRICO)</i>

Figura 7. Simbología eléctrica parte 2.

Para mayor uniformidad a la hora de realizar diseños eléctricos, además de facilidad de comprensión en la lectura de planos, se ha generado una simbología propia de Tecnoconsult, en la que se abarcan todas las disciplinas realizadas para cada posible proyecto.

Esta simbología contempla tomacorrientes estándar, GFCI, protecciones, contactores, sobrecargas y demás elementos típicos de una instalación eléctrica.

Es por esto que en el desarrollo del documento se encontrarán diferentes símbolos que responderán a su función en la instalación eléctrica.

3.2. Normativa.

El instituto Nacional de Seguros de Costa Rica comenta en su documento “Riesgos eléctricos” (INS, 2012) acerca de la accidentalidad en el país producto de accidentes eléctricos: según datos publicados, cerca del 1% de los accidentes eléctricos provocan incapacidad permanente y cerca del 15% son mortales.

Es por esto que al dimensionar los elementos componentes de la instalación eléctrica de las edificaciones, se utilizan criterios físicos para proteger la integridad del componente, del recinto en el que se encuentra, de la aplicación y minimizar los riesgos a la vida que, el CFIA lo presenta como una de las características deseables del ingeniero, además de asignar la responsabilidad de la integridad del usuario de la instalación al diseñador.

Los criterios, recomendaciones, pautas y datos serán tomados del libro NEC 2008, el cual es el que presenta la normativa actual para el diseño y dimensionamiento del sistema eléctrico en edificaciones tanto comerciales como residenciales.

3.3. Limpieza de plantas.

Al recibir los planos por parte de la empresa encargada de realizar el diseño arquitectónico en formato DWG, estos traen el diseño utilizando paletas estandarizadas por dicha empresa, no obstante, en muchos casos información presentada en los planos arquitectónicos no es de relevancia para los diseños pertinentes, es en este caso en el que se realiza una limpieza de plantas, que es, el cambio de las características de paletas, colores y grosores de líneas asociados a cada elemento mostrado en planos arquitectónicos.

3.4. Actualización de plantas y reacomodo de circuitos según variaciones

A la hora de realizar diseños electromecánicos en un ambiente laboral en el que se da colaboración y diseño simultáneo de los diferentes disciplinas, además del diseño arquitectónico de la edificación, es requerido en la mayoría de los casos la modificación de los diseños realizados para que coincidan con las nuevas exigencias del propietario.

3.5. Instalación de cargas monofásicas y trifásicas

3.5.1. Uso hojas de datos.

Dado el proceso productivo realizado por MATRA, las funciones que la empresa presenta y los requisitos mínimos establecidos por el NEC 2008, la propuesta inicial de salidas para alimentación de equipos tanto específicos como convencionales se dio por medio de la implementación de hojas de datos diseñadas por Tecnoconsult para obtener los datos de alimentación y descripción de su uso, además de especificar la necesidad de requerir respaldo eléctrico, entregadas a los encargados pertinentes en MATRA, los cuales mediante un estudio interno establecieron las salidas mínimas para equipos especiales, además de proveer especificaciones de equipos tales como grúas y compresores, de cuyas hojas técnicas se extrajeron los datos de potencia y tensión.

3.5.2. Colocación de salidas estándar, ups y especiales por zona.

Algunos equipos, como las computadoras, los controles de acceso, cámaras de seguridad y demás, requieren que, en caso de falla eléctrica de suministro por parte del proveedor de servicios, un generador o una unidad de baterías facilite el acceso a energía eléctrica con el fin de cerrar operaciones, permitir la apertura de puertas y portones, y permita mantener bajo control el área de la empresa.

Es por esto que se hace la distinción entre dos tipos de salidas, para convencional y para UPS, las salidas convencionales son tanto las especiales como

las regulares de alimentación interrumpible, y las UPS son las que requieren de alimentación en caso de emergencias, por medio del generador.

Las salidas UPS están destinadas a tableros independientes en los que no hay lugar para salidas convencionales, este tablero no deberá cumplir condiciones especiales más que la corrientes de barra, la cantidad de salidas y la tensión de operación.

Se consideran salidas especiales a las que, están destinadas a equipos específicos, y que son de tipo trifásico, las salidas de alimentación a 480V y 277V serán especiales y especificarán en su simbología el equipo al que alimentarán.

3.5.3. Cargas por diseños simultáneos.

Para la realización del diseño eléctrico, se deben tener a manos las cargas requeridas por cada equipo, esto incluye las cargas por bombeo tanto de agua potable como de equipos de supresión de incendios, cargas por aire acondicionado, cargas por control de acceso y demás.

Es común que, al darse diseños simultáneos, deba establecerse constante comunicación con los diseñadores de las demás disciplinas que impliquen el consumo eléctrico, en este caso se tienen:

- CCTV: Las cargas
- Agua potable: Equipos como las bombas de agua potable para instalaciones de gran tamaño podrían incluso llegar a los
- Supresión de incendios: Bombas de grandes potencias.
- Aire acondicionado: Equipos condensadores, evaporadores, bombas.
- Extracción: Máquinas de extracción.

Esto supone que, en el proceso de diseño, se consulten las tensiones a las que probablemente los equipos operarán, para que, en el tablero, se asignen los espacios según la misma, y poder realizar el llenado del resto del tablero sin modificar el orden establecido, los datos de potencia y distancias no serán

esenciales sino hasta el momento en el que se dimensionen los elementos que componen su instalación.

Según esto comentado anteriormente, es normal que en el proceso de diseño eléctrico se den modificaciones en las cargas, cantidad de salidas del tablero y dimensionamiento de los mismos, por lo que es requerido mantener la actualización de los datos de tablero y elementos mostrados en el plano de trabajo.

3.5.4. Conductores eléctricos

Para la selección de conductores eléctricos en los diferentes circuitos, es requerido considerar tanto la corriente que trasegarán, como la simultaneidad de utilización, disponibilidad en el país, y caída de tensión, esta última normada a un 3% máximo.

A continuación se comentan los principios para establecer los circuitos y el proceso de correcta selección, ilustrado con un ejemplo propio del proyecto y una muestra de tablero en el que se especifican los calibres determinados.

3.5.5. Trazado de circuitos y consideraciones.

Quizás una de las partes de mayor libertad a la hora de realizar un diseño es el trazado de circuitos, con trazado de circuitos este documento se refiere a la unión de salidas eléctricas formando un solo circuito.

Para esto es necesario respetar algunos principios cuyo fundamentos físico está definido por ecuaciones de fundamento eléctrico que definen la corriente a pasar por un conductor según la potencia requerida por parte de los elementos que constituyan el circuito.

A modo de ejemplo, la demanda de potencia definida para dos tomacorrientes (monofásicos) sencillos es de 180 VA cada uno, esto, con una tensión de alimentación de 120/208 V y según la demostración siguiente representará una corriente de $2 \cdot 1.5$ Amperios, por lo que el conductor a seleccionar deberá soportar más de 3 A.

$$2 * \frac{180 VA}{120 V} = 3 A$$

Además de considerar las ampacidades de los conductores para la selección, es importante definir que, según la norma NFPA 70, los conductores para instalaciones eléctricas residenciales e industriales no deberán usar conductores de calibre menor a 12, es decir, calibre 12 es el mínimo permitido y que otra manera de categorizar los conductores eléctricos es según su recubrimiento, para corrientes menores a 100 A se utilizará TW y para mayores a 100 A THHW (y demás de 75°C), en casos especiales para equipos especificados a soportar 90°C se podrá especificar THHN (o cualquiera de la columna de 90°C).

Es común definir el conductor en recubrimiento THHN, porque esta es generalmente más fácil de encontrar en el mercado, además de que al seleccionar en la columna THHW pero especificando a THHN se logra una leve sobredimensión y protección del cable ante altas temperaturas.

Otro factor a considerar es la caída de tensión, definida por la fórmula 10 presentada más adelante, debido a la “resistencia” que opone el conductor eléctrico al paso de la corriente, se da una caída en la tensión de los conductores, esta caída afecta la operación del equipo que, al estar diseñado a una tensión específica, aumenta la corriente (al mantener la potencia) aumentando el desgaste en el mismo, la norma NFPA 70 regula este factor como 3% en los ramales y 5% en alimentador.

Las cargas especiales, sean estas trifásicas, o monofásicas de aplicación específica, serán individualizadas para su protección independiente, esto es importante porque además de aislar el circuito en caso de falla, permite realizar mantenimiento sin interferir en otros aparatos que, en otro caso, formarían parte de su mismo circuito.

3.5.6. Selección de calibres

Para la selección de los calibres requeridos en cada circuito, es requerido tener conocimiento de las corrientes que por dicho conductor serán trasegadas, esto debido a que las tablas de normalización y especificación de los conductores

eléctricos en la normativa NEC 2008 740 están especificadas para la cantidad de corrientes a ser trasegadas en por calibre (definido por el área transversal y su material).

El procedimiento indicado por el NEC 2008 dicta que, se deberán considerar dos factores:

- a) Agrupamiento: Contempla el efecto de agrupar varios conductores dentro de una tubería para su instalación, definido por la Tabla 310.15(B)(2)(a) en la norma, que en anexos es la Tabla 31, en este proyecto se toma en consideración que no habrán más de 6 conductores en una tubería de canalización.
- b) Temperatura: Considera la temperatura ambiente dentro del dimensionamiento de conductores, está definida por la zona de la instalación eléctrica y permite mitigar el impacto de la temperatura en la resistencia del conductor, este factor de corrección corresponde a la Tabla 310.13, en anexos como la Tabla 30.

Para la zona de instalación, El Coyol de Alajuela, el Instituto Meteorológico Nacional indica temperaturas entre los 17.6 y 30.8°C



Figura 8. Propiedades atmosféricas en El Coyol, Alajuela. Fuente: IMN

A continuación se ilustra el proceso de selección de conductor según lo especificado por el NEC 2008.

Para el caso se tiene el circuito ya nombrado TNE/15, la traza se realizó para abarcar 4 tomacorrientes de piso, no se tomaron 7 debido a que en caso de fallo, se espera que solamente uno de los lados de la mesa se inhabilite.

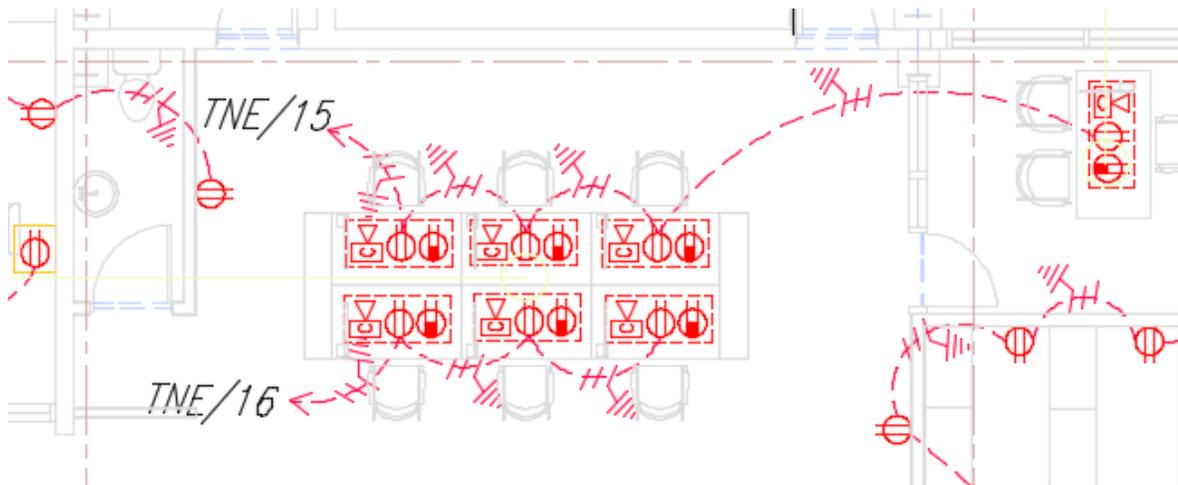


Figura 9. Circuito TNE/15 ejemplificando cantidad de salidas.

Fuente: elaboración propia

Estos 4 tomacorrientes de 180 VA cada uno y 120/208 V representan una carga total de $4 \times 350 VA = 1400 VA$.

Debido a la tensión de 120/208 V y que es carga del tipo monofásica, la corriente se obtiene como se muestra:

$$I(A) = \frac{VA}{V} \quad (8)$$

$$I(A) = \frac{1400 VA}{120 V}$$

$$I(A) = 11.7 A$$

El conductor eléctrico a seleccionar deberá soportar más de 11.7 A, en la tabla de ampacidad (310.16) se nota como todos los calibres tiene una ampacidad mayor a 11.7 A, por lo que teóricamente cualquiera funciona.

No obstante, deben aplicarse los factores de corrección debido a agrupamiento y a temperatura, para un agrupamiento máximo de 6 conductores por conduit, y una temperatura entre los 26 y 30°C se toman de las tablas los datos.

$$FT = 1.00$$

$$FA = 80$$

Aplicando la corrección en la corriente del circuito anterior según se observa en la ecuación 9, se determina la ampacidad mínima del conductor corregida.

$$I_s(A) = \frac{IA}{FT * FA} \quad (9)$$

$$I_s(A) = \frac{11.7 A}{1 * 0.8}$$

$$I(s) = 14.6 A$$

Según se observa en la Tabla 310.16, para THW, los calibres a utilizar podrán ser los mayores al 14 AWG, que soportará hasta 20 A, no obstante, trasladando a THHN soportará 25 A.

Para la selección definitiva, se considera que el calibre mínimo utilizable para instalaciones corresponde a 12 AWG, por lo que, ya en THHN se utilizará como selección adecuada CU 12 AWG.

Según se dedujo en el cálculo anterior, el calibre CU 12 AWG cumple debido a ampacidad, sin embargo, si la caída de tensión con ese calibre es mayor a 3% debe de considerarse otro, cuya área transversal sea mayor, reduciendo la resistencia y con esto, disminuyendo la pérdida de energía.

Utilizando la fórmula para estimar caída de tensión mediante método resistivo, se tiene para conductores 12, 10, 8 AWG:

$$\%CV = \left(\frac{2 * \rho \left(\frac{\Omega}{km} \right) * l(m) * I(A)}{1000 * V_N(Voltios)} \right) * 100\% \quad (10)$$

Tabla 1. Calibres posibles a seleccionar. Fuente: Propia.

Calibre	Resistividad (Ω/km)	Caída de tensión (%)
12	6.6	3.85
10	3.9	2.275
8	2.56	1

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 1, se observa como a pesar de que el conductor calibre 12 AWG cumple con ampacidad, debido a caída de tensión no es idea, por consiguiente, la selección final es calibre 10 AWG Cu.

3.5.6. Selección de conductor neutro

Para la selección del conductor neutro, es necesario haber realizado la selección del disyuntor, tema que se abarcará más adelante, en el apartado 3.6.4, para ilustrar el proceso, se asumirán los datos de selección del mismo.

Para el circuito anterior, se tiene una corriente de 11.7 A, con una protección de 20 A, para la selección del conductor eléctrico, se utiliza la Tabla 250.122 NEC 2008.

Tabla 2. Selección de conductor a tierra. Fuente: NFPA 70.

Rating or Setting of Automatic Overcurrent Device in Circuit Ahead of Equipment, Conduit, etc., Not Exceeding (Amperes)	Size (AWG or kcmil)	
	Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum*
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800
5000	700	1200
6000	800	1200

Fuente: NFPA 70.

Utilizando como dato de selección la corriente del disyuntor, y para conductor de cobre, a 20 A (breaker) el cable eléctrico será calibre 12, en un caso hipotético en el que el disyuntor fuera 40, 60 o 100 A, los calibres serían 10, 10 u 8 AWG.

3.6. Tableros.

3.6.1. Rellenado de tableros

Los tableros son los nodos desde los cuales, se alimentan otros tableros o algunas cargas, además de contener las protecciones de los mismos, son importantes ya que distribuyen la potencia en ramales a toda la instalación.

Debido a la cantidad de circuitos que puede ser requerida para una instalación, estos se especifican para una cantidad de salidas estándar, en este proyecto no se superarán los tableros de más de 42 polos.

La cantidad de polos corresponde a la cantidad de salidas que podría tener el mismo, sean 42 salidas monofásicas, 20 bifásicas, o 14 trifásicas.

Otra especificación es la tensión de alimentación, además de la corriente máxima de las barras a las cuales los disyuntores serán ancladas, o en casos especiales, como los tableros PRL3a, es requerida la cantidad de “unidades x” que relaciona el área disponible para instalar disyuntores contra el área de los disyuntores a instalar.

Para el relleno de tableros, se requiere la traza previa de circuitos, sin especificar su dirección, que corresponde a la indicación de cada circuito de cuál espacio en cuál tablero ocupará; además se debe tener en cuenta el tipo de carga a montar en cada tablero:

Carga monofásica: abarca un solo espacio.

Carga bifásica: abarca dos espacios

Carga trifásica: abarca tres espacios

Las Tablas 35 y 37 en anexos muestran cómo se vería un tablero con cargas mixtas, estas cargas a instalar deberán respetar que su requerimiento de corrientes sea menor a la capacidad de entrega de las barras, sin embargo, esto es más probable que suceda en casos en los que tableros alimentan otros tableros eléctricos.

3.6.2. Selección

Basado en el manual de selección de EATON, y los requisitos que estos presentan, se distinguen diferentes parámetros a controlar para la selección de tablero eléctrico, anteriormente se han mencionado, pero en este apartado serán comentados y se presenta un caso de selección.

En el caso de tableros de baja potencia, menores a PRL3a, la selección se vuelve sencilla, limitada por la cantidad de espacios, corriente de las barras y tensión, además de si el sistema será alimentado por una configuración trifásica, son estos los parámetros a definir para seleccionar el tablero.

Para tableros PRL3a, que son los más robustos, deberá utilizarse una metodología diferente, basada en la estimación de unidades x para determinar si la cantidad x presentes es menor que las disponibles en el tablero, de ser así, es posible realizar la configuración adecuada.

Es requerida la cantidad y tipo de breakers a instalar en el tablero, además de principal con el que se protege y la manera en que irá montado, en el siguiente caso se muestran los datos requeridos.

Para mejor de la información, a continuación se presentan las tablas resumen con las selecciones de los tableros.

Tabla 3. Tableros principales. Fuente: Propia.

Tablero	Tensión	I barras	N° Polos	Modelo
Subestación A	480/277	1200	-	POW-R-LINE C SWITCHBOARD
TIG	480/277	225	42	PRL2a
TESPE	480/277	400	42	PRL3a
TESPD	480/277	800	42	PRL3a
TIH	480/277	225	30	PRL2a
TIJ	480/277	600	30	PRL3a

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Selección de tableros aguas abajo.

Tablero	Tensión	I barras	#Circuitos	Modelo
TESP8D	480/277	225	42	PRL2a
TESP7D	480/277	400	42	PRL2a
TESP6D	480/277	225	42	PRL2a
TESP3D	480/277	225	30	PRL2a
TESP2D	480/277	225	42	PRL2a
TID	480/277	225	42	PRL2a
TNDG	120/208	400	30	PRL2a
TESP9D	120/208	225	30	PB304FD225S
TESP5D	120/208	225	42	PB424FD225S
TND	120/208	225	42	PB424FD225S
TESP4D	120/208	225	42	PB424FD225S
TED	120/208	225	24	CH24L3225DFS

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Selección de tableros aguas abajo.

Tablero	Tensión	I barras	#Circuitos	Modelo
TIJ2	120/208	400	42	PRL1a
TEJ	120/208	225	18	PB184FD125S
TNK	120/208	125	18	CH18L3125CPS
TNJ	120/208	225	42	PB424FD225S
TN2J	120/208	225	42	PB424FD225S
TESP3J	120/208	225	30	PB304FD225S
TESP2J	120/208	225	30	PB304FD225S
TESP4J	480/277	225	42	PRL2a
TESPJ	480/277	400	42	PRL2a
TNHK	480/277	225	30	PRL2a

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Selección de tableros aguas abajo.

Tablero	Tensión	I barras	#Circuitos	Modelo
TNH	480/277	225	42	PB424FD225S
TEH	480/277	125	18	CH18L3125CPS
TEI	120/208	125	12	CH12L3125BPS
TNI	480/277	225	24	CH24L3225DFS

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Selección de tableros aguas abajo.

Tablero	Tensión	I barras	#Circuitos	Modelo
TNEG	120/208	225	42	PRL3a
TEEG	120/208	225	18	PRL1a
TEE2	120/208	225	42	PB424FD225S
TEE	120/208	225	42	PB424FD225S
TEC	120/208	125	18	PB184FD225S
TEA	120/208	125	12	CH12L3125BPS
TACE	120/208	225	42	PB424FD225S
TAC2E	120/208	225	42	PB424FD225S
TNA	120/208	125	12	CH12L3125BPS
TNB	120/208	225	30	PB304FD225S
TNC	120/208	225	30	PB304FD225S
TACC	120/208	225	30	PB304FD225S
TNG	120/208	225	24	CH24L3225DFS
TNE3	120/208	225	42	PB424FD225S
TNE2	120/208	225	30	PB424FD225S
TNE	120/208	225	42	PB424FD225S
TIE	120/208	225	30	PB304FD225S
TESP2E	480/277	225	30	PRL2a
TIE2	480/277	225	18	PRL2a

Fuente: elaboración propia.

3.6.3. Instalación de motores

En este apartado se presentan los criterios normados básicos para la instalación de motores menores a 480 V en la instalación eléctrica, las conexiones existentes van desde equipos trifásicos, bifásicos y monofásicos.

Se consideran motores todos los equipos que contenga uno en su estructura y lo requieran para su funcionamiento, además de que funcionen mediante una única alimentación.

Algunos ejemplos de estas cargas son los equipos de aire acondicionado, los motores de grúas mecánicas, además compresores y equipos especiales encontrados en las tablas eléctricas presentadas en el plano de detalles eléctricos.

Si bien las tablas presentadas como apoyo para este apartado no contemplan la totalidad de los equipos, se realizan dos asunciones, la primera es basada en el artículo 430.32(A), en el que se establece que los equipos menores a 1 hp no requieren de protección contra sobrecarga, siendo representados como una carga continua.

Además de esto, la segunda asunción es que se tomarán todos los equipos de gran potencia (mayores a 5 hp), estos son básicamente los presentados en el estudio de cortocircuito, bajo la premisa de que estos serían los más impactantes durante una falla, además de que no se han definido cuales equipos utilizaran elementos de arranque y protección integrados, además, se debe mencionar que el presente plano corresponde a un avance, el cual no es un diseño definitivo debido a la naturaleza del trabajo de los arquitectos, necesidad de equipo nuevo y demás.

Se ha mencionado a cuáles equipos se le realizará la conexión, sin embargo no se ha comentado qué elementos serán los que se seleccionarán, estos serán contactor y protección por sobrecarga.

Para la selección del contactor se tendrán dos tipos de norma de fabricación, la IEC y la NEMA, para este diseño se especificarán contactores NEMA.

Es requerido saber para esto cuál es la tensión del motor a operar, además cuántas fases constituye su conexión y su potencia, para ilustrarse en este caso se tomará el motor de 100 hp del compresor, uno de los equipos más grandes de la instalación.

Conociendo que, el equipo opera a 3 fases, 480 V según la tabla de selección de contactores NEMA la categoría sería 4 o 5, por lo que el contactor será NEMA 4, debido a que es más económico.

Para la selección de la protección por sobrecarga, según menciona el artículo 430.32(A) del NEC, el motor puede trabajar con una sobrecarga del 15% mostrado como factor de servicio.

Se acepta que para motores con este factor de servicio, la selección de sobrecarga sea a un 125%, además de los motores con un aumento de temperatura marcado de 40 °C, para los demás se escoge a un 115%.

Se presenta, por parte de Tecnoconsult, las tablas de selección de los contactores y arrancadores para los equipos presentes, según consideraciones propias.

Tabla 8. Contactores para motores.

<i>CONTACTORES PARA MOTORES</i>				
<i>MAXIMO RANGO DE HP</i>				<i>CONTACTOR</i>
<i>MONOFASICO</i>		<i>TRIFASICO</i>		<i>MODELO DE CATALOGO SQUIRE D</i>
<i>115V</i>	<i>230V</i>	<i>230V</i>	<i>460V</i>	
<i>0,5</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>5</i>	<i>LC1D09</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>7,5</i>	<i>LC1D12</i>
<i>1</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>LC1D18</i>
<i>2</i>	<i>3-5</i>	<i>7,5-10</i>	<i>15-20</i>	<i>LC1D19-LC1D32</i>
<i>3</i>	<i>5-7,5</i>	<i>10-15</i>	<i>30-40</i>	<i>LC1D40-LC1D50</i>
<i>5</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>50</i>	<i>LC1D65</i>
<i>7,5</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>60</i>	<i>LC1D80</i>

Fuente: Tecnoconsult

Tabla 9. Arrancadores para motores.

<i>ARRANCADORES PARA MOTORES</i>				
<i>MAXIMO RANGO DE HP</i>				<i>ARRANCADOR</i>
<i>MONOFASICO</i>		<i>TRIFASICO</i>		<i>MODELO DE CATALOGO SQUIRE D</i>
<i>115V</i>	<i>230V</i>	<i>230V</i>	<i>460V</i>	
			<i>1/2</i>	<i>GV2ME05</i>
	<i>1/10</i>		<i>3/4</i>	<i>GV2ME06</i>
	<i>1/6</i>	<i>1/2</i>	<i>1</i>	<i>GV2ME07</i>
<i>1/8</i>	<i>1/3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>GV2ME08</i>
<i>1/4</i>	<i>1/2</i>	<i>1 1/2</i>	<i>3</i>	<i>GV2ME10</i>
<i>1/2</i>	<i>1 1/2</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>GV2ME14</i>
<i>3/4</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>10</i>	<i>GV2ME16</i>
<i>1</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>GV2ME20</i>
<i>1 1/2</i>	<i>3</i>	<i>7 1/2</i>	<i>15</i>	<i>GV2ME21</i>
<i>2</i>	<i>3</i>	<i>7 1/2</i>	<i>15</i>	<i>GV2ME22</i>
<i>2</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>GV2ME32</i>

LOS CONTACTORES Y ARRANCADORES IRAN MONTADOS EN CAJA NEMA 1 DE USD GEERAL

Fuente: Tecnoconsult

3.6.4. Protecciones.

Las protecciones eléctricas, como se comentó en el apartado pertinente, son los elementos encargados de resguardar la integridad del circuito, proteger los conductores eléctricos de sobrecargas y aislar las fallas en el momento que ocurran durante un periodo definido, es por esto que su selección se torna vital y sumamente relevante ante el diseño eléctrico.

Para la selección de protecciones eléctricas es necesario tener en consideración el tipo de circuito al que será instalado, sea este trifásico, de dos líneas o monofásico.

Se debe conocer la tensión del circuito, además la corriente que se debe proveer a este, Eaton especifica sus equipos para grupos de valores de corriente, 125 A, 225 A, 600 A son algunos, esto significa que la máxima corriente a trasegar será de 125 A, 225 A o 600 A por salida.

Debido a la gran cantidad de equipos, y el difícil manejo del diagrama unifilar únicamente para observar las protecciones, se presentan las siguientes tablas, donde se resumen los disyuntores seleccionados.

Tabla 10. Disyuntores en subestaciones y ramales.

Tablero	Capacidad (A)	Tensión (V)	Cap Interruptiva (kA)	Fases	Modelo
Subestación A	1000	277/480	65	3	DIGITRIP 310+ LS
TIG	100	277/480	65	3	FD3100
TESPE	250	277/480	65	3	FD3250
TESPD	600	277/480	65	3	FD3600
TIH	100	277/480	65	3	FD3100
TIJ	350	277/480	65	3	DK350

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Disyuntores para circuitos ramales.

Tablero	Capacidad (A)	Tensión (V)	Cap Interruptiva (kA)	Fases	Modelo
TESP8D	100	277/480	65	3	FD3100
TESP7D	250	277/480	65	3	FD3250
TESP6D	200	277/480	65	3	FD3200
TESP3D	125	277/480	65	3	FD3125
TESP2D	150	277/480	65	3	FD3150
TID	100	277/480	65	3	FD3100
TS-2	100	277/480	65	3	FD3100
TNDG	225	120/208	65	3	FD3225
TESP9D	90	120/208	65	3	FD3090
TESP5D	125	120/208	65	3	FD3125
TND	70	120/208	65	3	FD3070
TESP4D	100	120/208	65	3	FD3100
TED	60	120/208	65	3	CH3060

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. Disyuntores para circuitos ramales.

Tablero	Capacidad (A)	Tensión (V)	Cap Interruptiva (kA)	Fases	Modelo
TS-4	50	277/480	65	3	FD3050
TIJ2	250	120/208	65	3	JD3250
TEJ	40	120/208	65	3	FD3040
TNK	40	120/208	65	3	CH3050
TNJ	90	120/208	65	3	FD3090
TN2J	100	120/208	65	3	FD3100
TESP3J	125	120/208	65	3	FD3125
TESP2J	50	120/208	65	3	FD3050
TESP4J	175	277/480	65	3	HFD3175
TESPJ	250	277/480	65	3	HFD3250
TNHK	100	277/480	65	3	HFD3100

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. Disyuntores para circuitos ramales. Fuente: Propia.

Tablero	Capacidad (A)	Tensión (V)	Cap Interruptiva (kA)	Fases	Modelo
TS-3	60	277/480	65	3	FD3060
TNH	125	277/480	65	3	FD3125
TEH	50	277/480	65	3	FD3050
TEI	40	120/208	65	3	FD3040
TNI	40	277/480	65	3	CH3040

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Disyuntores para circuitos ramales.

Tablero	Capacidad (A)	Tensión (V)	Cap Interruptiva (kA)	Fases	Modelo
TS-1	225	277/480	65	3	FD3225
TNEG	600	120/208	65	3	FD3600
TEEG	150	120/208	65	3	FD3150
TEE2	100	120/208	65	3	FD3100
TEE	100	120/208	65	3	FD3100
TEC	60	120/208	65	3	FD3060
TEA	40	120/208	65	3	CH3040
TACE	125	120/208	65	3	FD3125
TAC2E	100	120/208	65	3	FD3100
TNA	40	120/208	65	3	CH3040
TNB	90	120/208	65	3	FD3090
TNC	60	120/208	65	3	FD3060
TACC	80	120/208	65	3	FD3080
TNG	50	120/208	65	3	CH3050
TNE3	125	120/208	65	3	FD3125
TNE2	100	120/208	65	3	FD3100
TNE	100	120/208	65	3	FD3100
TIE	50	120/208	65	3	FD3050
TESP2E	100	277/480	65	3	FD3100
TIE2	100	277/480	65	3	FD3100

Fuente: elaboración propia.

3.6.5. Cuartos eléctricos

Además del dimensionamiento de los tableros eléctricos a los que irán los diferentes circuitos, es necesario establecer la ubicación espacial donde estos se instalarán, debe considerarse que, a mayor distancia de los circuitos, mayor longitud del conductor y por consiguiente, mayor caída de tensión, lo cual impedirá usar un conductor más liviano y barato para la instalación.

Se debe considerar además que la disponibilidad de espacios físicos especiales para la instalación de los mismos en grandes empresas industriales está limitada para utilizar la mayor área para el trabajo, es por esto que el NEC 2008 establece en el artículo 110.26 los principios para correcto dimensionamiento de

cuarto eléctrico, con el objetivo de brindar espacio suficiente para realizar tareas de mantenimiento, y acceso al tablero.

Para realizar el diseño del cuarto eléctrico basado en el espacio, los datos requeridos son las dimensiones de los equipos a instalar en el mismo, la dimensión requerida sería la longitudinal, estas dimensiones son encontradas en los manuales de dichos equipos o deberán ser consultados por las empresas distribuidoras.

En el caso de MATRA, los equipos a encontrar en los cuartos eléctricos son tanto transformadores, transferencias, tableros y UPS, debido a la selección de equipos bajo la marca EATON, en el manual “eaton 2006 consulting application guide” se tomaron las dimensiones requeridas.

Profundidad

La norma indica en el artículo 110.26(A)(1) que para cuartos en los que existan equipos uno frente a otro, como es el caso de cuartos que estén completamente ocupados por tableros eléctricos, es requerido que existan al menos 3 ft (0.915 m) de distancia de las tapas frontales de los mismos en casos de equipos de menos de 150V, para equipos de más de 150V hasta 600V este espacio será de 4 ft (1.219 m).

Amplitud

Para determinar el ancho mínimo, la norma indica en su artículo 110.26(A)(2) que la longitud desde el extremo de un tablero hasta cualquier espacio del otro, debe ser no menor a 30 in (0.762 m). Las longitudes a utilizar para el dimensionamiento de cuarto eléctrico de MATRA serán tomados de los manuales de equipos.

A continuación se muestra el proceso de cálculo de uno de los cuartos eléctricos en MATRA, en el nivel 1 módulo 2.

Se sabe que los tableros a instalar en dicho cuarto tienen las dimensiones especificadas, posterior a este punto, se tiene la necesidad de tener los tableros ya

seleccionados de manera correcta, las transferencias eléctricas, y los ups, además de transformadores si estos estarán instalados en dicha zona.

Del catálogo 2006 Consulting Application Guide se extraen los datos de dimensiones de transformadores, o tableros PRL1 comunes en este proyecto.

Tabla 15. Dimensiones de tableros.

Equipo	Largo (mm)	Ancho (mm)
Tablero TNE2	127	381
Tablero TNE	127	381
Tablero TNEG	146.1	508
Tablero TESP2E	146.1	508
Tablero TIE2	146.1	508
Tablero TESPE	146.1	508
Transformador TS-1	594.9	716.8
Transferencia	NA	NA
UPS	NA	NA

Fuente: elaboración propia.

3.6.6. UPS

Para brindar independencia a los equipos como computadoras, es requerida la selección de los elementos UPS, estos proveerán energía durante los lapsos de paro sea por falla, o por mantenimiento.

Sin embargo, no se ha comentado bajo qué argumento se seleccionan las cargas a proteger.

Estas cargas serán las de información, todos los equipos que manipulen, generen y contengan información requerirán de protección por medio de UPS, estas son independientes del generador, debido a que el generador tiene un periodo de

encendido durante el cual, una caída en el sistema provocará la pérdida de información.

Para realizar la selección del equipo es requerida la potencia a sostener durante un periodo deseado, al observar la Figura 20, en anexos, se distingue como la potencia a sostener por la UPS será la del tablero asociado a la misma.

Además de la carga a proteger, es requerido conocer el tipo de conexión del tablero a respaldar, según se observa en la Tabla 16, cada tablero a respaldar por la UPS será estrictamente trifásico.

La Tabla 16 muestra la cantidad de UPS's requeridas en el sistema, además de las variables anteriormente mencionadas y los equipos recomendados, los equipos a seleccionar serán del tipo Stand By

Tabla 16. UPS requeridos para instalación.

Equipo	Potencia (kVA)	Fases	Tensión	I (A)	MCS* (A)
UPS-1	50	3	120/208	138,786122	200
UPS-2	12	3	120/208	33,3086694	100
UPS-3	9	3	120/208	24,981502	100
UPS-4	9	3	120/208	24,981502	100

MCS*: Mínima corriente de selección

Fuente: elaboración propia.

3.6.7. Transformadores

Los transformadores son elementos esenciales en la red eléctrica, deberán ser considerados en casos de expansión de la red.

Para la selección de transformadores, es necesario contar principalmente con la carga a alimentar, esta carga será la demandada, considerando los factores de simultaneidad de ser necesario.

En el caso del transformador TS-01, este alimentará el tablero TNEG, el cuál abastece los tableros un nivel más abajo, por consiguiente, la carga a suministrar por el transformador será la del tablero TNEG.

Para la selección del transformador se ilustrará utilizando como ejemplo, como antes se hizo, el transformador TS-01, el primer paso es conocer las condiciones de tensión antes y después, determinadas por las cargas a suministrar energía, y la red anterior al transformador, la selección se dará para casos en los que la tensión de la red difiera de la tensión de los equipos.

Las relaciones de transformación están normalizadas, y los fabricantes en sus manuales especifican los equipos para dichas relaciones, en el caso de TS-01 la red distribuye como trifásica 480/277 V y la carga es 208/120, por consiguiente, el transformador a seleccionar deberá ser uno 480-208.

Como anteriormente se mencionó, la potencia de selección será la necesaria para alimentar las cargas en el tablero TNEG, debido a la naturaleza de la empresa y los equipos en la misma, los motores deberán arrancar más de una vez por hora, con esto, se debe dar un aumento del 20% en la carga, tomando el dato del tablero TNEG la carga actual es 156.2 kVA, con el aumento de 20% se tiene 195.5 kVA para la selección.

Para la selección se considera el proveedor EATON, por consiguiente los manuales a utilizar serán de esta marca, el catálogo "eaton 2006 consulting application guide" recopila los diferentes equipos que esta empresa ofrece, además de manuales de selección.

Utilizando como datos de entrada la transformación de tensión 480-208 V, además de potencia mínima a proveer 187.4 kVA, se selecciona el transformador seco.

Por consiguiente, el transformador a utilizar en TS-01 será un transformador seco, 277/480v-120/208v, trifásico de 200 kva, todos los demás transformadores requeridos son mostrados en la Tabla 17.

Tabla 17. Transformadores requeridos para la instalación. Fuente: Propia.

Equipo	kVA	Tensión Primario (kV)	Tensión Secundario (kV)	Impedancia
TFA	750	34,5/19,9	277/480	5,75%
TS-1	200	277/480	120/208	4,00%
TS-2	75	277/480	120/208	4,00%
TS-3	45	277/480	120/208	4,00%
TS-4	75	277/480	120/208	4,00%

Fuente: elaboración propia.

3.6.8. Grupo electrógeno

La selección del sistema generador estará dada, como en los elementos eléctricos, en las cargas a alimentar, para la selección del mismo se considera que se deberá alimentar la totalidad de la planta.

Según se sabe, por medio de la selección del transformador, la potencia de selección será de 750 kVA, de conexión trifásica.

Para la selección del equipo se establece que éste sea de combustible diésel, ya que es de fácil obtención en el país, además la conexión será trifásica y funcionará solamente en los periodos en los que se de paros por falla en la alimentación, por esto serán del tipo *Stand-by*.

Utilizando el manual de selección de Caterpillar, según la tabla de selección en la página web, los equipos funcionales para frecuencias de 60 Hz y potencias entre los 275 kW y los 4000 kW, para una potencia de 750 kW el equipo a seleccionar será C27, además la selección podrán ser cualquiera de los generadores que provean más de esta potencia.

No obstante, se entró en comunicación con la empresa Caterpillar, por medio de su representante MATRA, y estos facilitaron la selección para un generador C18 ATAAC.

El anexo 2 resume las características operativas del generador seleccionado por el momento, en ésta se puede observar como la tensión a proveer será de 480 V, este dato es indicado para la instalación que se tiene en MATRA.

3.6.9. Transferencias automáticas-manuales

Como parte de los elementos de protección de la integridad de la información se tienen las transferencias automáticas/manuales, se especifica bajo ambos términos ya que las transferencias presentes en la instalación de MATRA son automáticas, pero con la facilidad de accionamiento mediante una palanca lateral.

Para la selección de las transferencias es necesaria, en primera instancia, conocer la carga a respaldar desde la UPS, estas cargas son conocidas y han sido definidas durante el proceso de diseño.

Utilizando la marca EATON, el modelo a especificar será el que cumpla con las características que éste indique en sus manuales.

Debido a que la intención de la instalación del interruptor es la de transferir la carga desde una fuente de energía eléctrica a otra, es requerido contar con dos vías de alimentación, esto es característico de los interruptores de doble tiro, que son los que por medio de su actuar realizan las conexiones internas para sustituir un camino de potencia por otro.

Además de conocer la carga a suplir, es necesario saber el tipo de circuito a conectar, siendo estos trifásico y monofásico, se sabe que toda la instalación de MATRA es en sistema trifásico por lo que, la selección de la transferencia será para equipos con conexiones trifásicas.

Mediante la utilización de la Tabla 18, tomada del manual de selección de EATON, es posible determinar en primera instancia si existen equipos compatibles con la totalidad de las características deseadas, este como paso previo antes de la especificación del modelo.

Tabla 18. Tabla de selección de equipos.

Type	Fuse Type	Fuse Class	Ampere Rating	Number of Poles	Enclosure Types									
					NEMA 1	NEMA 3R	NEMA 12	NEMA 4 Painted Steel	NEMA 4X Stainless Steel	NEMA 4X Non-Metallic	NEMA 4X 316 Grade Stainless Steel	NEMA 7/9		
General-duty	Single-throw max. 240 Vac horsepower rated	Fusible	Plug	—	30	1 and 2	Yes	Yes	—	—	—	—	—	—
		Cartridge	H [Ⓢ]	30–600	2 and 3	Yes	Yes	—	—	—	—	—	—	
		Non-fusible	—	—	30–600	2 and 3	Yes	Yes	—	—	—	—	—	
Shunt trip	Single-throw max. 600 Vac horsepower rated	Fusible	Cartridge	H [Ⓢ]	30–600	2, 3 and 4	—	—	Yes [Ⓢ]	Yes	Yes	—	Yes	—
		Non-fusible	—	—	30–800	2, 3 and 4	—	—	Yes [Ⓢ]	Yes	Yes	—	Yes	—
Heavy-duty	Single-throw max. 600 Vac horsepower rated	Fusible	Cartridge	H [Ⓢ]	30–600	2, 3 and 4	Yes up to 1200 A	Yes up to 1200 A	Yes [Ⓢ]	Yes 400–1200 A	Yes up to 1200 A	Yes up to 200 A	Yes up to 1200 A	Yes [Ⓢ] up to 100 A
		Non-fusible	—	—	30–1200	2, 3 and 4	Yes	Yes	Yes [Ⓢ] up to 1200 A	Yes 400–1200 A	Yes up to 1200 A	Yes up to 200 A	Yes up to 1200 A	Yes up to 100 A
Six-pole motor circuit	Single-throw max. 600 Vac	Fusible	Cartridge	H [Ⓢ]	30–800	6	—	Yes	Yes [Ⓢ]	—	Yes	—	Yes	—
		Non-fusible	—	—	30–800	6	—	Yes	Yes [Ⓢ]	—	Yes	—	—	—
Double-throw	Max. 600 Vac horsepower rated	Fusible	Cartridge	H [Ⓢ]	30–400	2 and 3	Yes	Yes	Yes up to 600 A [Ⓢ]	—	Yes up to 400 A	—	Yes up to 400 A	—
		Non-fusible	—	—	30–1200	2, 3, 4 and 6	Yes	Yes	Yes up to 800 A [Ⓢ]	—	Yes up to 600 A	—	Yes up to 600 A	—
Rotary switches	Max. 600 Vac	Non-fusible	—	—	16–80	3, 4	Yes	Yes	Yes [Ⓢ]	—	Yes	Yes	Yes	—
Auxiliary power heavy-duty	Max. 600 Vac horsepower rated	Fusible	Cartridge	H [Ⓢ]	30–200	3	—	Yes	—	—	—	—	—	—
		Non-fusible	—	—	30–200	3	—	Yes	—	—	—	—	—	—
Elevator control switch	Max. 600 Vac horsepower rated	Fusible	Cartridge	J	30–400	3	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	—	—	—

Fuente: Eaton.

Partiendo de que en la Tabla 18 se encontraron los datos según el tipo de transferencia, para especificar el equipo es necesario utilizar la nomenclatura especificada por el fabricante, según se observa en la Figura 10, este corresponde al código del equipo y por ende, será el modelo con el que se encontrará en las hojas de datos.

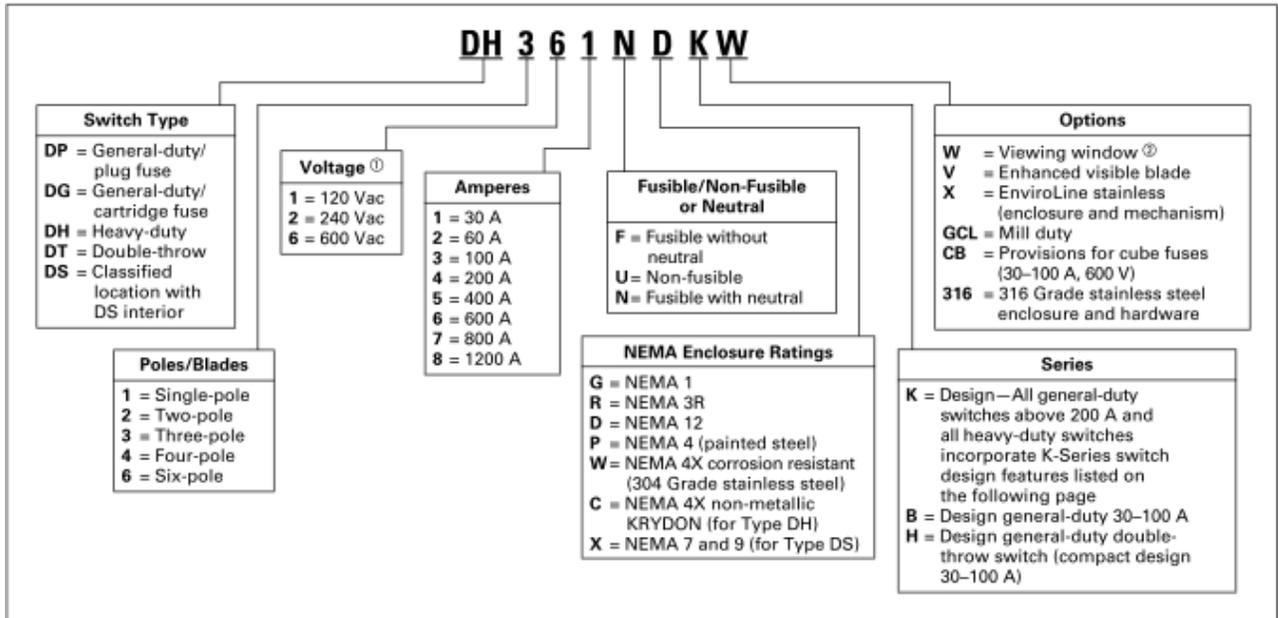


Figura 10. Especificación de transferencias.

Fuente: Eaton

Así, para la selección se tienen las características resumidas en la Tabla 19 a continuación.

Tabla 19. Selección de transferencias eléctricas.

Equipo	Fases	Tensión	I (A)	MCS* (A)	Modelo
Tr-1	3	120/208	138,7861224	200	DT324UGK
Tr-2	3	120/208	33,30866937	100	DT323UGK
Tr-3	3	120/208	24,98150203	100	DT323UGK
Tr-4	3	120/208	24,98150203	100	DT323UGK

MCA*: Mínima corriente de selección

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 4. Estudio de fallas

4.1. Análisis de cortocircuito

Por medio del estudio de fallas en los circuitos eléctricos es posible determinar las corrientes de cortocircuito, las cuales, representan un riesgo tanto para los equipos que operan en el momento de la falla, como para los operarios y elementos que participen de manera pasiva en el proceso productivo.

Según menciona el CIEMI en su documento “Procedimientos para el planeamiento y diseño de instalaciones eléctricas” que el estudio de corrientes de cortocircuito deberá ser realizado de acuerdo con las prácticas recomendadas y procedimientos establecidos por ANSI/IEEE 399 y los procedimientos de la norma IEEE 141.

Además, el estudio de cortocircuito será esencial para realizar el estudio de arco eléctrico, mediante el cual, como se menciona más adelante, se establecen condiciones de seguridad para operarios en el proceso de mantenimiento.

Debido a los altos picos de corriente ocurridos en periodos muy cortos, el efecto de la corriente de cortocircuito en la red es altamente perjudicial, por esto, el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos establece que en los planos de media potencia las corrientes de cortocircuito deberán ser indicadas en los tableros, esta corriente es dependiente de la barra en la que ocurra la falla y las condiciones de tensión, además de los equipos instalados.

Para el análisis de cortocircuito serán tomadas las cargas que no sean estáticas, es decir, los equipos plenamente resistivos o los considerados como tales, ejemplos de estos son las cargas por iluminación. Como consideración y acatando la recomendación de la norma IEEE 1584, los motores de menos de 50 hp podrán ser despreciados siempre y cuando esta sea la carga que prevalezca, en el caso de MATRA la mayoría de equipos son de potencias inferiores a 50 hp, por lo que, a consideración debido a cantidad de motores, serán tomados los mayores a 5 hp.

En casos en los que exista gran cantidad de motores de potencia menor a 5 hp y del mismo tipo, función y a la misma distancia del tablero alimentador, serán tomados como un equivalente dado por $HP_{total} = (N_{motores}) \times (HP_{motor})$.

4.2. Impedancias de conductores eléctricos

Como elementos involucrados en las fallas por cortocircuito, los conductores atenúan la corriente de falla, oponiéndose al paso de la misma, ya que por estos es que se transmite.

Debido a esto, los conductores eléctricos deben ser representados e incluidos en el estudio, su efecto está dado en función del calibre a utilizar, y la longitud total.

Para determinar los valores de impedancia/longitud de un tramo de conductor eléctrico, se consultan las Tablas 8 y 9 del NEC 2008, en estas se determinan los valores de resistencia y reactancia para cualquier calibre, además considerando la manera en la que esta es trasegado (utilizando conduit de PVC, acero o incluso aluminio) para una unidad longitudinal de conductor, este dato deberá ser multiplicado por la longitud del cable en las unidades especificadas para determinar la impedancia total del conductor desarrollado.

Como ejemplo se tomará el alimentador del tablero TESP2E, este conductor sale del tablero TESPE, con una longitud de 15 m y una carga total trifásica de 46080 VA.

Consultando en la Tabla 9, para conductores calibre 2 AWG se tiene que la impedancia del conductor eléctrico es de $0.62+0.48j$ ohm/km, siendo la longitud del cable de 15 m (o 0.015 km) se tiene que la impedancia total del conductor será de $0.0093+0.0072j$ ohm.

4.3. Impedancias de motores y equipos especiales

Para motores y equipos que los utilicen, las impedancias son datos conocidos por los fabricantes, sin embargo, para casos en los que no se tienen los datos a mano, además de otros, la norma IEEE 141-1993 permite la obtención de la misma mediante un cálculo matemático.

Según la norma IEEE 141-1993, la impedancia de un motor podrá ser aproximada mediante la obtención de los datos de corriente a plena carga, y corriente de arranque o rotor bloqueado, no hay que olvidar que en el funcionamiento magnético de un motor, el estado cero (arranque) y el de rotor bloqueado aproxima al efecto de un cortocircuito.

Debido a la inexistencia del equipo, es necesario realizar el estudio de cortocircuito con los datos comúnmente encontrados en la industria, para esto, los valores de impedancia de los motores serán definidos mediante la fórmula anteriormente comentada y recomendada por la norma, con esto, se obtienen valores que aunque no sean precisos, se acercan con bastante certeza a la impedancia común de un motor.

Siguiendo el procedimiento para la estimación de la impedancia, es requerido tener a mano el NEC 2008, donde en la Tabla 430.251(B) se tienen los valores comunes de corriente de rotor bloqueado para diversas tensiones y potencias de motores comerciales, además, mediante la utilización de la Tabla 430.250 se obtiene la corriente a plena carga de los mismos motores, el cálculo de impedancia se muestra a continuación mediante la fórmula 11.

Tomando como ejemplo una de las unidades condensadoras del equipo de aire acondicionado, con una potencia de 10 hp, trifásica y con una tensión de alimentación de 480 V.

Para determinar la impedancia se debe realizar el siguiente cálculo.

$$Imp = \frac{Z_{plena\ carga}}{Z_{rotor\ bloqueado}} \quad (11)$$

$$Imp = 14/81$$

$$Imp = 0.173$$

Las demás impedancias utilizadas para el cálculo de cortocircuito fueron obtenidas mediante el cálculo anteriormente desarrollado.

4.4. Impedancia de la red

La alimentación eléctrica para la red de operación de MATRA proviene de Subestación El Coyol, la solicitud de datos de cortocircuito se realiza en función del punto en el que será instalada la acometida, debido a que la red de distribución es un circuito a gran escala, la empresa realizará el estudio para establecer en ese punto cuál sería el aporte de corriente de falla.

Mediante la consulta, se obtuvo que los datos de cortocircuito son los mostrados:

$$I_{cc3p} = 3.66\ kA$$

$$X(1) = 5.977\ ohm$$

$$R(1) = 0.513\ ohm$$

$$I_{cc1p} = 4.25\ kA$$

$$X(0) = 3.496\ ohm$$

$$R(0) = 0.842\ ohm$$

4.5. Impedancia de transformadores y generadores

4.5.1. Generador diésel

Para determinar la impedancia de transformadores, el manual de selección establece los rangos dependiendo de la potencia del mismo, previo a esto se debió definir un transformador que abastezca la totalidad de la carga demandada, la selección del transformador se detalló previamente.

4.6. Sistema P.U.

A pesar de que los sistemas eléctricos se operan en niveles en los que el Volt, Ampere y kiloWatt son unidades predominantes, como en el caso de MATRA, para el desarrollo del cálculo de corrientes de cortocircuito se utiliza la notación “por unidad”, que corresponde a la relación unitaria entre un valor y una base seleccionada.

Como comenta (Grainger, 1996) “El voltaje, la corriente, los kilovoltamperes y la impedancia están relacionados de tal manera que la selección de los valores base para cualquiera dos de ellos determina la base de los dos restantes”, es por esto que al realizar la conversión a valores por unidad, es permitido calcular y reducir entre elementos diferentes representados como impedancias.

$$\text{Corriente base, } A = \frac{kVA_{1\phi base}}{\text{Voltaje}_{base, kV_{1N}}} \quad (12)$$

$$\text{Impedancia base, } \Omega = \frac{\text{Voltaje}_{base, V_{1N}}}{\text{Corriente}_{base, A}} \quad (13)$$

$$\text{Impedancia base, } \Omega = \frac{(\text{Voltaje}_{base, kV_{1N}})^2 \times 1000}{kVA_{1\phi base}} \quad (14)$$

$$\text{Impedancia base, } \Omega = \frac{(\text{Voltaje}_{base, kV_{1N}})^2}{MVA_{1\phi base}} \quad (15)$$

$$Potencia\ base, kW_{1\phi} = kVA_{1\phi base} \quad (16)$$

$$Potencia\ base, W_{1\phi} = MVA_{1\phi base} \quad (17)$$

$$Impedancia\ base, \Omega = \frac{Impedancia\ real, \Omega}{Impedancia\ base, \Omega} \quad (18)$$

Como paso inicial, para realizar la conversión es necesario definir una potencia base, como recomendación se tiene que esta es conveniente que sea la potencia del transformador principal.

$$P_{base} = P_{trafoprinc} \quad (19)$$

Una vez que se determinó la potencia base, en este caso la del transformador, la tensión base será la tensión del primario en este caso debido a que el transformador es 34.5-0.48 kV, y el corto se estudiará aguas abajo del transformador, la tensión será 480 V.

La demostración del cálculo para pasar del sistema convencional al sistema por unidad se hará en dos casos, siguiendo las fórmulas 12 a la 18, se debe mencionar que el procedimiento para determinar el valor por unidad de un conductor eléctrico difiere del resto debido a la presencia de un paso extra.

El cálculo de impedancias por unidad para la red externa en MATRA implica el conocimiento de los datos de cortocircuito justo en el punto de acometida, la obtención de los mismos es explicada en el apartado 4.1.

Una vez se han obtenido los datos de cortocircuito, y debido a que la falla a analizar será la trifásica, el dato requerido será el de potencia de cortocircuito trifásica, el valor en p.u. del efecto de la red en el sistema se calcula según lo siguiente:

$$ValorPU = \frac{P_{base}}{P_{3\phi Red}} \quad (20)$$

$$ValorPU = \frac{0.75}{218.71}$$

$$ValorPU = j0.00343$$

Para determinar los valores por unidad de impedancia en motores es requerido tener conocimiento de la impedancia propia de los equipos, esta impedancia es comentada en el apartado 4.3, como ejemplo se tomará la unidad condensadora 07, con un motor eléctrico de 10 hp y como se determinó en el apartado 4.3 con una impedancia de 0.173 pu ,en motores, se realiza la aproximación de que, 1hp corresponde a 1kVA, con esto, al modelar el motor como una impedancia en el sistema por unidad se realiza el siguiente cálculo.

$$X = Imp * \left(\frac{P_{base}}{P_{real}} \right) \quad (21)$$

$$X = 0.173 * \left(\frac{0.75}{0.01} \right)$$

$$X = 0.173 * \left(\frac{0.75}{0.01} \right)$$

Así, el motor de 10 hp podrá ser representado como una impedancia de **j12.975 p.u.**

Las Tablas 20 a 24, de elaboración propia, muestran los valores PU de los motores utilizados para el cálculo de corrientes de cortocircuito, además de otros datos importantes.

Tabla 20. Datos para cálculo de cortocircuito TESPE. Fuente: elaboración propia.

Elemento	Tensión (V)	Kva-hp	N° Cond/Fase	Long(m)	AWG	Impedancia/k m		X"	Z(p.u.)	
									j	
I) Ramal TESPE										
Conductor	480		3	60	350	0,2	0,131		0,013021	0,00853
1) Barra TESPE	480									
Conductor	480		1	15	4/0	0,203	0,135		0,009912	0,00659
Transformador	208	150 kVA						4%	0	0,2
Conductor	208		2	15	350	0,2	0,131		0,004883	0,0032
1.1.) Barra TNEG	208									
A) Ramal TACE	208								0,079102	2,70232
Conductor	208		1	20	1/0	0,39	0,144		0,025391	0,00938
Barra TACE	208									
Conductor	208		1	50	2/0	0,33	0,141		0,053711	0,02295
Motor	208	50 hp						18%	0	2,67
B) Ramal TAC2E	208								0,107585	3,37381
Conductor	208		1	25	2	0,62	0,187		0,050456	0,01522
Barra TAC2E	208									
Conductor	208		1	45	1/0	0,39	0,144		0,057129	0,02109
Motor	208	40 hp						18%	0	3,3375
C) Ramal TNC	208								0,116211	12,9179
Conductor	208		1	35	4	1,02	0,157		0,116211	0,01789
Barra TNC	208									
Conductor	208					0	0		0	0
Motor	208	10 hp						17%	0	12,9
D) Ramal TACC	208								0,141276	4,61761
Conductor	208		1	45	2	0,62	0,187		0,09082	0,02739
Barra TACC	208									
Conductor	208		1	25	2	0,62	0,187		0,050456	0,01522
Motor	208	30 hp						18%	0	4,575
E) Ramal TNG	208								0,132813	17,3204
Conductor	208		1	40	4	1,02	0,157		0,132813	0,02044
Barra TNG	208									
Conductor	208					0	0		0	0
Motor	208	8 hp						17%	0	17,3
1.2.) Barra TESP2E	480									
A) Ramal TESP2E	480								0,102051	2,24375
Conductor	480		1	15	2	0,62	0,187		0,030273	0,00913
Barra TESP2E	480									
Conductor	480		1	45	1	0,49	0,151		0,071777	0,02212
Motor	480	60 hp						18%	0	2,2125

Tabla 21. Datos para cálculo de cortocircuito TESP.D.

Elemento	Tensión (V)	kVA-hp	N° Cond/Fase	Long(m)	AWG	Impedancia/km	x''	Z(p.u.)	j
j) Ramal TESP.D									
Conductor	480		3	90	250	0,279	0,135	0,027246	0,01318
1) Barra TESP.D									
Conductor	480		1	10	2	0,62	0,148	0,020182	0,00482
1.1.) Barra TESP8D									
A) Ramal 50 hp	480							0,039876	2,71229
Conductor	480		1	25	1	0,49	0,151	0,039876	0,01229
Motor	480	50 hp					18%	0	2,7
B) Ramal 15 hp	480							0	10
Conductor	480		1	0	2	0,62	0,148	0	0
Motor	480	15 hp					20%	0	10
C) Ramal 20 hp	480							0,104818	7,51087
Conductor	480		1	20	6	1,61	0,167	0,104818	0,01087
Motor	480	20 hp					20%	0	7,5
1.2.) Barra TESP7D									
A) Ramal TESP7D	480							1,464884	10,1554
Conductor	480		1	10	250	0,279	0,135	0,009082	0,00439
Barra TESP7D	480								
Conductor	480		1	36	6	1,61	0,167	1,455802	0,15101
Motor	480	15 hp					20%	0	10
Conductor	480		1	58	3/0	0,253	0,138	0,141994	0,07745
1.3.) Barra TESP6D									
A) Ramal 15 hp	480							0,183431	10,019
Conductor	480		1	35	6	1,61	0,167	0,183431	0,01903
Motor	480	15 hp					20%	0	10
B) Ramal 10 hp	480							0,183431	12,769
Conductor	480		1	35	6	1,61	0,167	0,183431	0,01903
Motor	480	10 hp					17%	0	12,75
1.4.) Barra TESP3D									
A) Ramal TESP3D	480							0,073633	0,02719
Conductor	480		1	58	1/0	0,39	0,144	0,073633	0,02719
Barra TESP3D	480								
1.5.) Barra TESP2D									
A) Ramal TESP2D	480							0,102051	3,39481
Conductor	480		1	15	1/0	0,39	0,144	0,019043	0,00703
Barra TESP2D	480								
Conductor	480		1	25	4	1,02	0,157	0,083008	0,01278
Motor	480	40 hp					18%	0	3,375
1.6.) Ramal TNDG									
Conductor	480		1	6	2	0,62	0,148	0,012109	0,00289
Transformador	208	75 kVA						0	0,4
Conductor	208		1	15	1/0	0,39	0,144	0,019043	0,00703
1.6.) Barra TNDG									
A) Ramal TESP9D	208							0,070638	0,01686
Conductor	208		1	35	2	0,62	0,148	0,070638	0,01686
Barra TESP9D	208								
B) Ramal TESP5D	208							0,031738	0,01172
Conductor	208		1	25	1/0	0,39	0,144	0,031738	0,01172
Barra TESP5D	208								
C) Ramal TESP4D									
Conductor	208		1	25	2	0,62	0,148	0,050456	0,01204
Barra TESP4D	208								

Tabla 22. Datos para cálculo de cortocircuito TIJ.

Elemento	Tensión (V)	kVA-hp	N° Cond/Fase	Long(m)	AWG	Impedancia/k m		X"	Z(p.u.)
									j
I) Ramal TIJ	480								
Conductor	480		2	130	300	0,233	0,135		0,0493 0,02856
1) Barra TIJ	480								
1.1.) Barra TIJ2	480								
A) Ramal TIJ2	480								0,091683 0,41216
Conductor	480		1	10	8	2,56	0,171		0,083333 0,00557
Transformador	208	75 kVA						4%	0 0,4
Conductor	208		1	15	250	0,171	0,135		0,00835 0,00659
Barra TIJ2	208								
Conductor	480		1	10	2/0	0,33	0,141		0,010742 0,00459
1.2.) Barra TESP4J	480								
A) Ramal 15 hp	480								0,131022 10,0136
Conductor	480		1	25	6	1,61	0,167		0,131022 0,01359
Motor	480	15 hp						20%	0 10
B) Ramal 10 hp	480								0 15
Conductor	480		0	0	2	0,62	0,148		0 0
Motor	480	10 hp						20%	0 15
A) Ramal 60 hp	480								0,040365 2,50964
Conductor	480		1	20	2	0,62	0,148		0,040365 0,00964
Motor	480	60 hp						20%	0 2,5
B) Ramal 20 hp	480								0,157227 7,51631
Conductor	480		1	30	6	1,61	0,167		0,157227 0,01631
Motor	480	20 hp						20%	0 7,5
Conductor	480		1	10	250	0,171	0,135		0,556641 0,43945
1.3.) Barra TESPJ	480								
A) Ramal 100 hp	480								0,032227 1,51377
Conductor	480		1	30	2/0	0,33	0,141		0,032227 0,01377
Motor	480	100 hp						20%	0 1,5
B) Ramal 50 hp	480								1,009115 3,24089
Conductor	480		1	20	2	0,62	0,148		1,009115 0,24089
Motor	480	50 hp						20%	0 3
B) Ramal 60 hp	480								0,050456 2,51204
Conductor	480		1	25	2	0,62	0,148		0,050456 0,01204
Motor	480	60 hp						20%	0 2,5
1.4.) Barra TNHK	480								
B) Ramal 40 hp	480								0,171549 3,79095
Conductor	480		1	85	2	0,62	0,148		0,171549 0,04095
Motor	480	40 hp						20%	0 3,75

Tabla 23. Datos para cálculo de cortocircuito TIH-TIG.

Elemento	Tensión (V)	kVA-hp	N° Cond/Fase	Long(m)	AWG	Impedancia/k m	X"	Z(p.u.)
I) Ramal TIH	480							0,052409 0,6721
Conductor	480		1	50	2	0,62 0,148		0,100911 0,02409
1) Barra TIH							j	j
1.1.) Barra TNH								
A) Ramal TNH								0,052409 0,6721
Conductor	480		1	10	6	1,61 0,167		0,052409 0,00544
Transformador	208	45 kVA					4%	0 0,66667
Barra TNH	208							
Elemento	Tensión (V)	Potencia	N° Cond/Fase	Long(m)	AWG	Impedancia/k m	X"	Z(p.u.)
I) Ramal TIG	480							0,080729 0,01927
Conductor	480		1	40	2	0,62 0,148		0,080729 0,01927
1) Barra TIG								

Tabla 24. Datos para cálculo de cortocircuito Aguas arriba.

Elemento	Tensión (V)	kVA-hp	N° Cond/Fase	Long(m)	AWG	Impedancia/k m	X"	Z(p.u.)
								j
I) Ramal Proveedor	480							0 0,00343
Transformador	208	150 kVA					6%	0 0,0575

Además de los motores, la red exterior y transformadores, los conductores eléctricos tiene un efecto considerable en el cálculo de cortocircuito, para determinar el valor de impedancia p.u. es requerido el conocimiento del valor de impedancia en ohm, además del valor de impedancia base.

El valor de impedancia total del conductor y cómo determinarlo se discute en el apartado 4.2, para determinar el valor de la impedancia base se realiza el siguiente cálculo:

$$Impbase = \frac{(V_{base})^2}{P_{base}} \quad (22)$$

$$Impbase = \frac{(480)^2}{750\ 000}$$

$$Impbase = 0.3072 \ \Omega$$

Una vez se cuenta con el dato de impedancia base, se utilizan los datos obtenidos de la Tabla 9 del NEC 2008, el procedimiento para determinar el valor de impedancia real del conductor se detalla en el apartado 4.2.

Para obtener el valor de impedancia del conductor en PU, se realiza el cálculo que se desarrolla a continuación, el mismo se ejemplifica usando los datos del alimentador del tablero TESPE, con una impedancia de 0.0093+j0.0072.

$$Z_{pu} = \frac{Imp_{real}}{Impbase} \quad (23)$$

$$Z_{pu} = \frac{0.0093 + j0.0072}{0.3072}$$

$$Z_{pu} = 0.0303 + j0.0234$$

Para cada conductor se debe realizar el cálculo anterior, el resultado del mismo se muestra en las Tablas anteriores 20 a 24.

Dentro de MATRA existen dos tipos de carga según la tensión a la que operan, las cargas 480/277 V y las cargas 120/208 V, por esto existen 4 transformadores más además del principal, estos como ya se comentó interfieren en el cortocircuito, por ende se debe realizar su representación en el unifilar de cortocircuito y contemplar en la conversión al sistema por unidad.

Anteriormente en la introducción al apartado se comentó que la recomendación es la de utilizar la potencia del transformador principal como base para los cálculos del sistema PU, este transformador principal será representado en el unifilar del cortocircuito como su impedancia corriente, sin verse afectada por cálculos ya que responde a todas las características de la base, sin embargo, los demás transformadores sí deberán ser sometidos al cálculo del sistema por unidad y todo lo que éste implica.

Como ejemplo para el cálculo a impedancia por unidad se utilizará el transformador TS-01, con una potencia de 200 kVA y una impedancia propia de 4.0%, la obtención de este dato es ampliada en la especificación de transformadores.

$$Z_{pu} = (Imp_{TRAFO}) * \left(\frac{P_{base}}{P_{TRAFO}} \right) \quad (24)$$

$$Z_{pu} = (4.0\%) * \left(\frac{0.75}{0.20} \right)$$

$$Z_{pu} = 0.15$$

4.7. Cálculo manual de corriente de cortocircuito

Para la realización del cálculo se utilizará el método de las impedancias, los datos requeridos para dicho análisis son tomados de las tablas de normativas, además de ser determinadas por cálculos presentes en los apartados anteriores.

Una vez se han realizado las conversiones de sistema convencional al sistema por unidad, es requerido la representación del unifilar de cortocircuito con únicamente las cargas en p.u., el diagrama del circuito de MATRA se muestra a continuación en partes.

Cada una de las figuras mostradas desde la Figura 11 hasta la Figura 14 corresponden a un ramal de la instalación eléctrica, para visualización se presentarán de esta manera, no obstante, para el montaje en el software ETAP® se utiliza la totalidad del unifilar.

La Figura 15 muestra un acercamiento del circuito de cortocircuito en la interfaz gráfica de ETAP®, en este se pueden observar los valores de corrientes de corto obtenidas mediante el método que el software aplica, además, este se reporta para cada barra, más adelante en la Figura 17 se notará que para el estudio de arco eléctrico este es mostrado de igual manera.

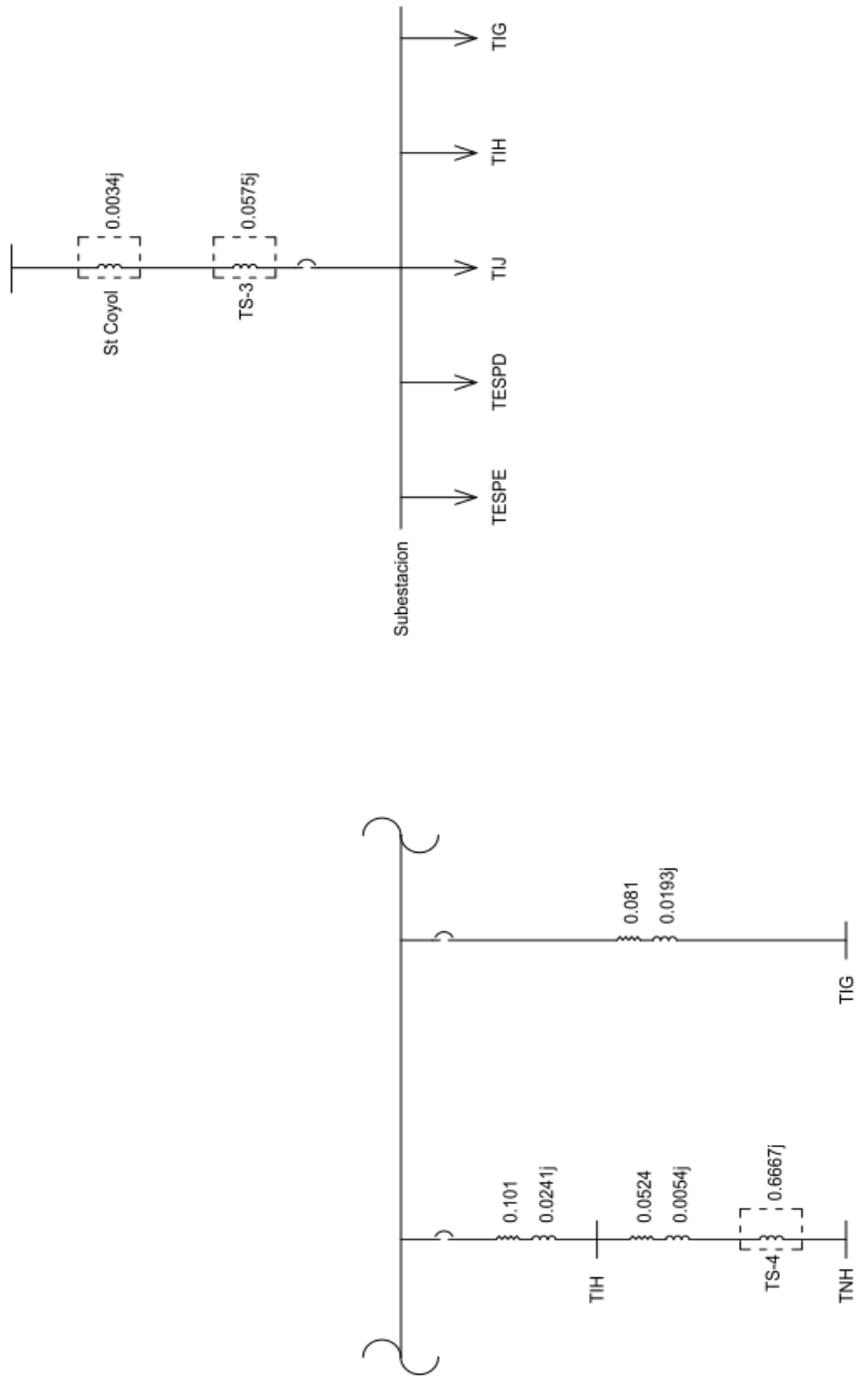


Figura 11. Unifilar de cortocircuito ramal Subest-TIH-TIG.

Fuente: elaboración propia.

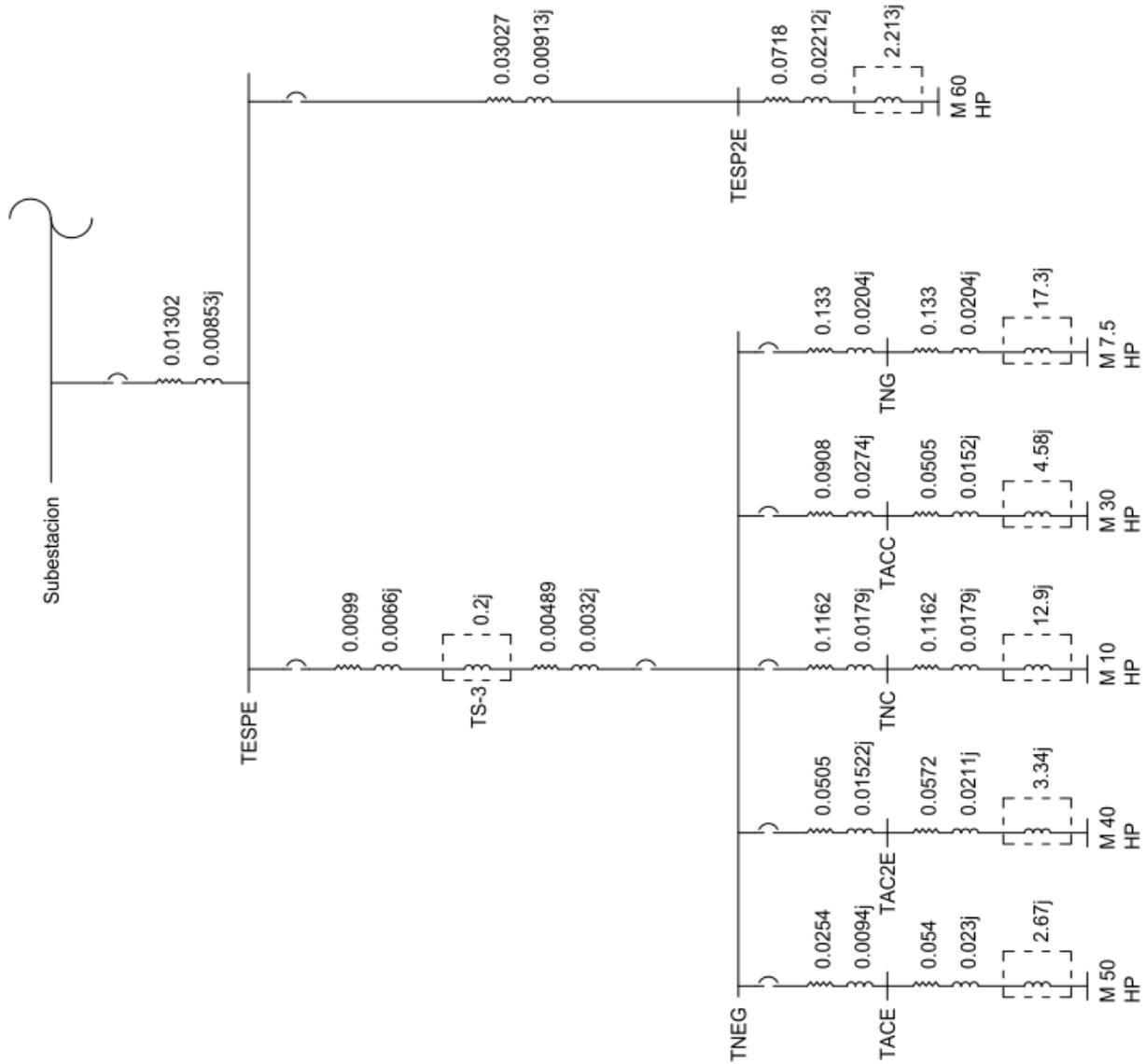


Figura 12. Unifilar de cortocircuito ramal TESPE.

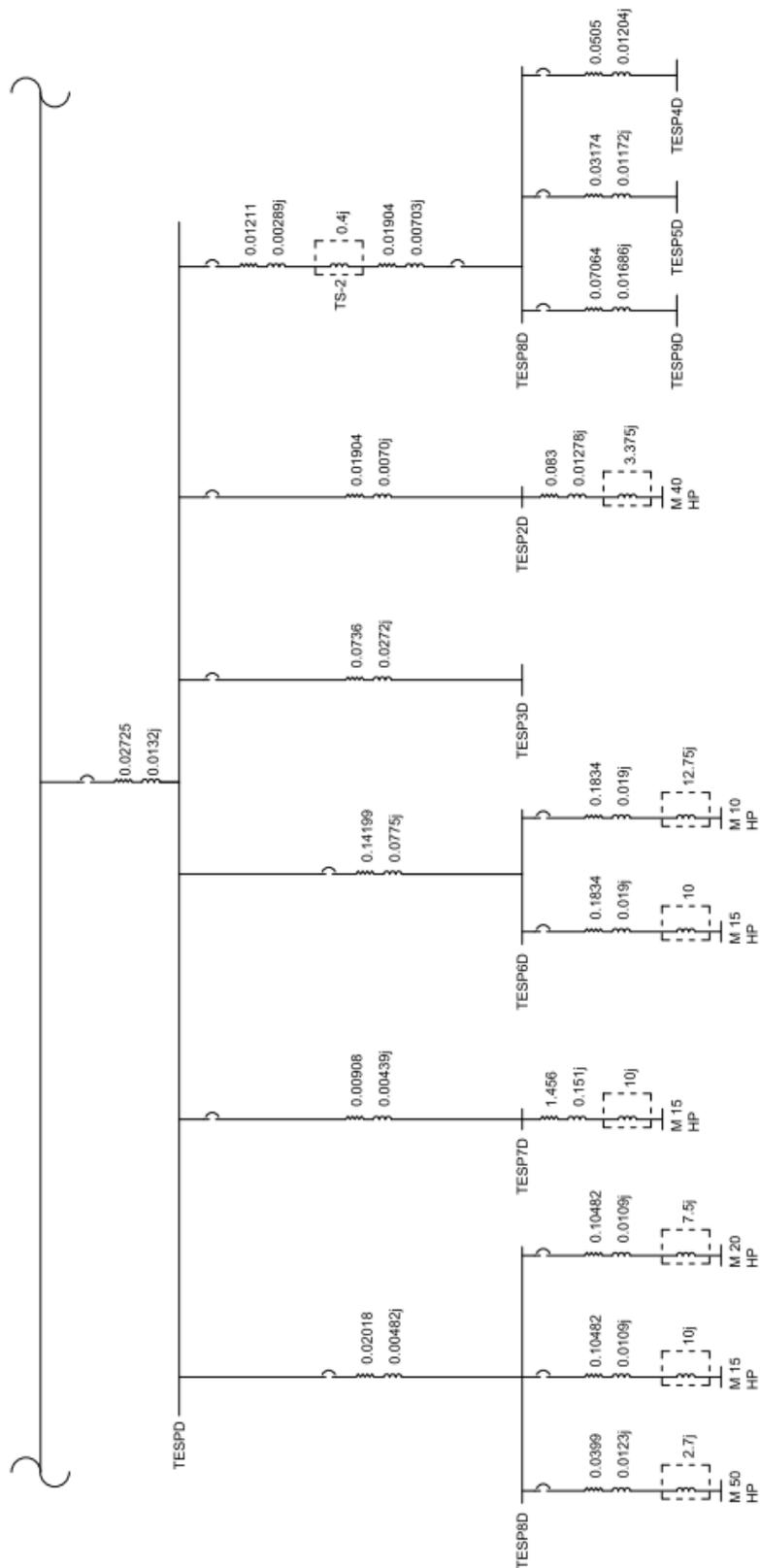


Figura 13. Unifilar de cortocircuito ramal TESP D.

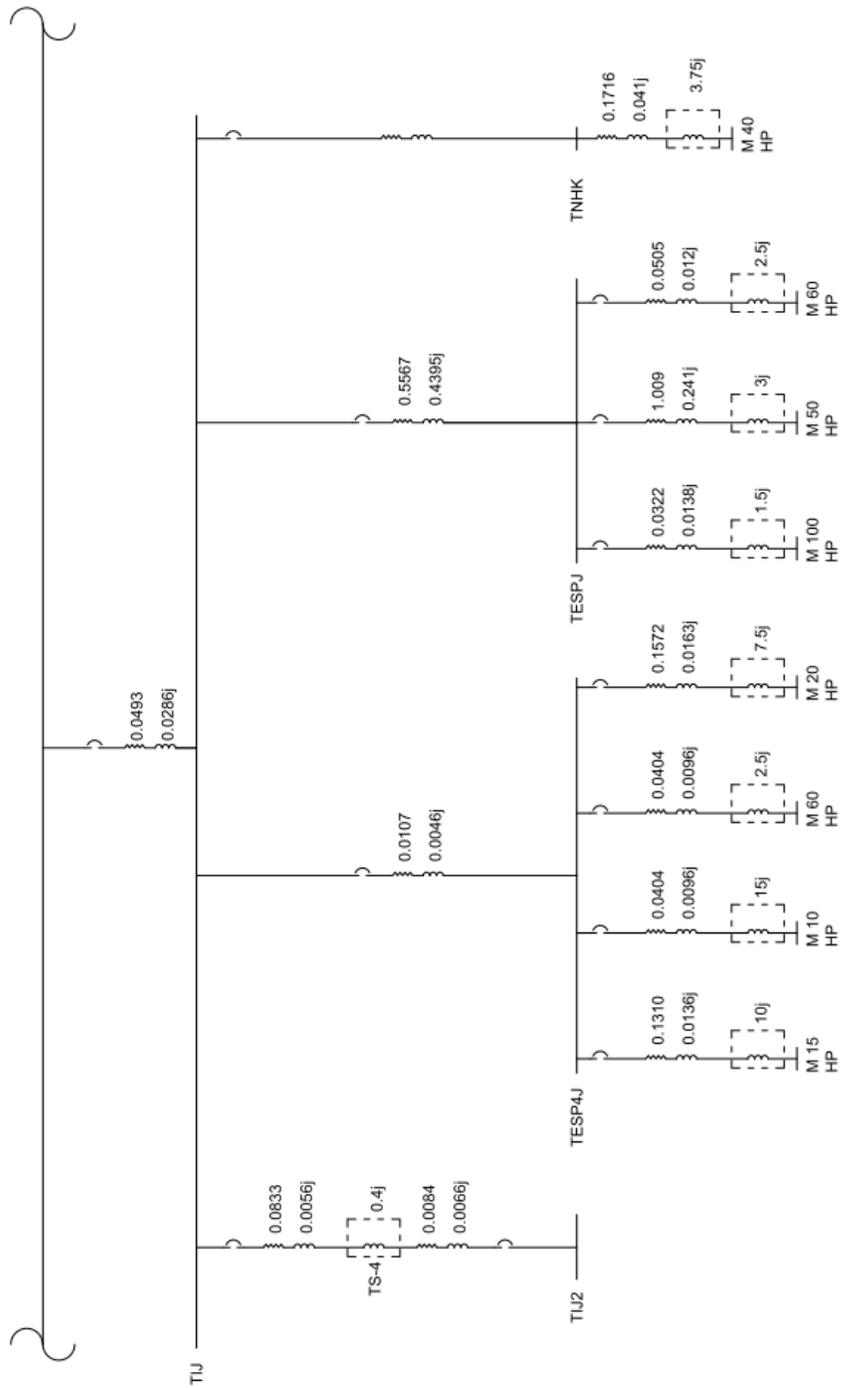


Figura 14. Unifilar de cortocircuito ramal TIJ.

Una vez se han obtenidos todos los valores de p.u. y se ha representado el circuito, se realiza la reducción del circuito al punto de falla a evaluar, considerando los elementos en serie y en paralelo.

En las Figuras 11-14 se muestra parte del proceso de reducción del circuito para determinar la magnitud de corriente de cortocircuito en el tablero principal del proyecto.

Este proceso debe ser realizado para cada punto en el que existan tableros, es por esto que es de gran utilidad la utilización de software como ETAP, el cuál calcula la corriente de cortocircuito para cada punto al ingresar el diseño como un diagrama unifilar, la Figura 16 muestra el unifilar de cortocircuito ingresado en ETAP, además la Figura 15 muestra las corrientes calculadas por el mismo.

Como comparación, la falla calculada manualmente con apoyo de Excel tuvo un resultado de 18.84 kA, y el cálculo por software es 18.9 kA, la desviación del dato es de 0.32%, por consiguiente se puede asegurar que el resultado es confiable al cálculo manual.

En la Tabla 26 se resumen las corrientes de cortocircuito para cada tablero a estudiar, debe aclararse que no todos los tableros fueron tomados en cuenta para el estudio de cortocircuito, esto se justifica en el apartado 4.1.

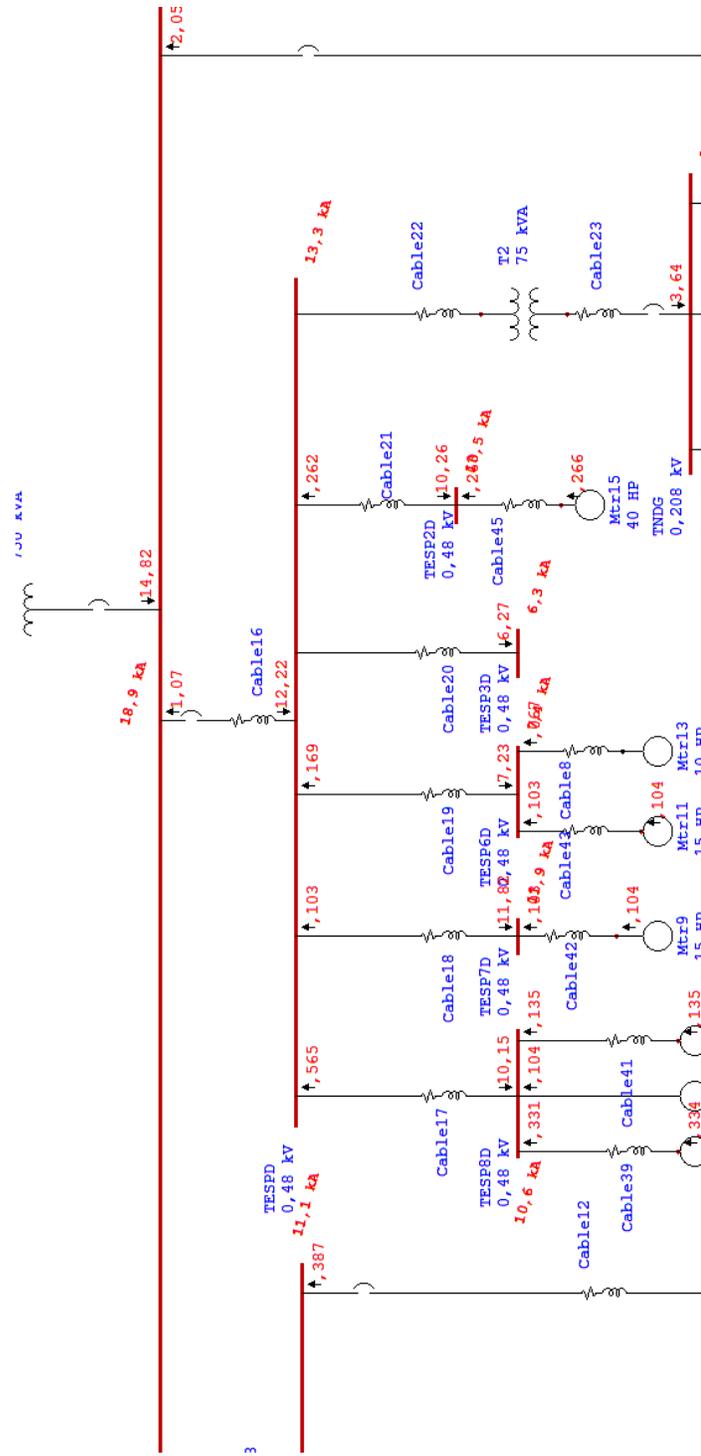


Figura 15. Acercamiento unifilar ETAP.

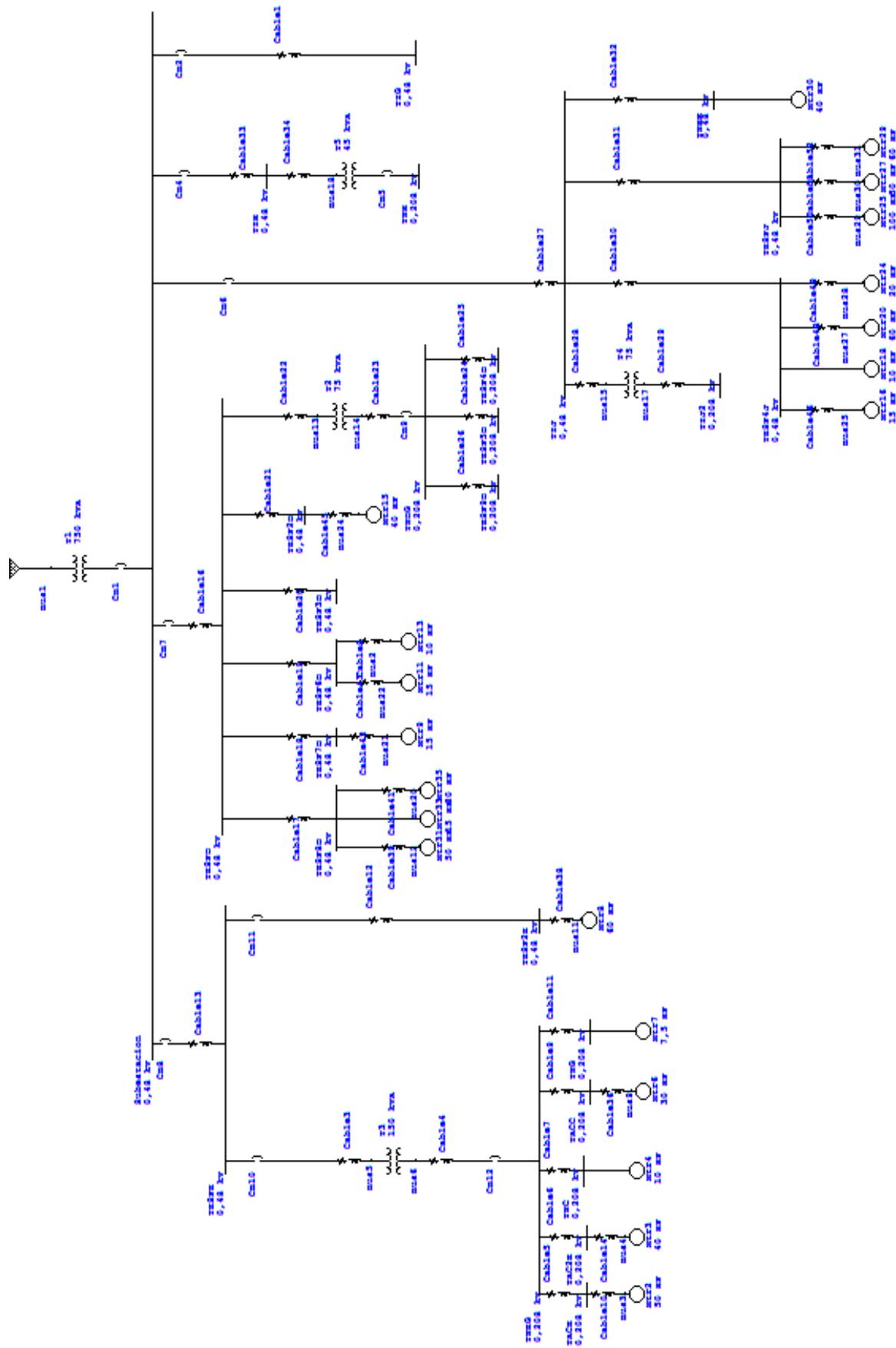


Figura 16. Unifilar de MATRA en ETAP.

Tabla 25. Cálculo de corriente de cortocircuito. Fuente: Propia.

Dato	Z(p.u.)		
Ramal TESPE	0,04315	+	0,78700j
Ramal TESP	0,19313	+	0,87582j
Ramal TIJ	0,19660	+	0,06608j
Ramal TIH	NA		
Ramal TIG	NA		
Aguas Arriba	0	+	0,06093j

Dato	Valor
Impedancia final	0,01119+0,04656i
Factor	20,88301816
Corriente base	902,11A
Corriente CC	18,84kA

Tabla 26. Resumen corrientes de Cortocircuito.

Tablero	Tensión	Icc3ph
Subestación A	480/277	18,9
TIG	480/277	7,5
TESPE	480/277	11,1
TESPD	480/277	13,3
TIH	480/277	6,4
TIJ	480/277	10,5
TESP8D	480/277	10,6
TESP7D	480/277	11,9
TESP6D	480/277	7,4
TESP3D	480/277	6,3
TESP2D	480/277	10,5
TNDG	120/208	3,6
TESP9D	120/208	2,2
TESP5D	120/208	2,8
TESP4D	120/208	2,5
TIJ2	120/208	3,5
TESP4J	480/277	9,5
TESPJ	480/277	9,8
TNHK	480/277	3,6
TNH	120/208	2,5
TNEG	120/208	8,4
TACE	120/208	5,9
TAC2E	120/208	4,6
TNC	120/208	2,7
TACC	120/208	3,2
TNG	120/208	2,4
TESP2E	480/277	8,4

4.8. Estudio de arco eléctrico

De los problemas derivados de una falla por cortocircuito uno de los principales es el arqueo eléctrico, que, como se explica en el apartado 2.18, tiene efectos que atentan tanto contra la integridad de los equipos, como contra la vida de las personas involucradas.

El CIEMI recomienda en su documento “Procedimientos para el planeamiento y diseño de instalaciones eléctricas” la realización de estudios de ingeniería que involucren el estudio de arco eléctrico, dicha recomendación se da como una sugerencia altamente positiva y de gran aporte a la integridad de los involucrados, la disponibilidad de operación y como una práctica propia del conocimiento del departamento de mantenimiento.

Como herramienta para el departamento de mantenimiento, el estudio de ingeniería no brinda únicamente las corrientes de cortocircuito como un valor de referencia para casos de fallas, sino que lo utiliza para la estimación de tiempos de falla, establecer la coordinación de protecciones del circuito, y predecir los escenarios de falla por arqueo en tableros, este último esencial para determinar el equipo de protección personal en labores de mantenimiento eléctrico.

Como parte importante en el estudio del efecto del cortocircuito en la integridad de la instalación, la IEEE establece recomendaciones, parametrizaciones y datos a asumir respaldados mediante estudios mediante los cuales pretende brindar las herramientas para estimar tanto la corriente de arco, como la cantidad de energía emitida por el evento, además de la distancia de seguridad para evitar quemaduras de segundo grado o más.

Es importante la utilización de la norma IEEE 1584-2002 cuyo propósito es el estudio de arco eléctrico en conjunto con la norma IEEE 70E para determinar los equipos de protección personal a utilizar por el equipo de mantenimiento al evaluar y trabajar en cualquier tablero, las indicaciones de seguridad y características serán identificados por medio de etiquetas informativas.

Como previamente se ha comentado, el principal dato de entrada para realizar el estudio de arco eléctrico es la corriente de cortocircuito en el tablero a analizar, cada cálculo, análisis y consideración deberá ser realizada para cada tablero individual considerando únicamente sus configuraciones y características.

Se distingue que para cada tablero en específico se deberán conocer sus características constructivas, de espacio y de operación, distancia entre barras, distancia del operario al momento de realizar el mantenimiento (esta distancia será lineal hasta la cara o pecho), y tensión de operación son los demás datos requeridos, al ser MATRA una planta que opera en únicamente dos tensiones 120/080 V y 480/277 V las tensiones a considerar serán las de línea: 208 y 480 V.

Para ilustrar el proceso de cálculo de las magnitudes de arcos eléctricos y datos propios antes mencionados se tomará como ejemplo el tablero SUBESTACIÓN, el cual alimenta la totalidad de las cargas de MATRA.

La Tabla 27 muestra los datos de entrada, los datos de salida y los anexos de los que los diferentes factores fueron tomados para el cálculo de corriente de arco, estos factores corresponden al entorno donde se desarrolla la falla, además de recomendaciones por generalización propios del estudio de arco eléctrico, para más información respecto al tema se recomienda la lectura del documento "IEEE-1584-2002"

Tabla 27. Métodos de cálculo por Excel.

1	la	12,33 kA	4,05 cal/cm ²	1,50 ft 18 in	2	En	3,36 J/cm ²
	Log(la)	1,09110349				Log(En)	0,52578288
	K	-0,097				K1	-0,555
	Ibf	19 kA				K2	-0,113
	V	0,48					
	G	13 mm					
	bf	-0,097					
3	E	16,87 J/cm ²	4,05 cal/cm ²	1,50 ft 18 in	4	Db	840 mm
	Cf	1,5				Eb	5 J/cm ²
	En	3,36 J/cm ²					
	t	0,090 s					
	x	2					
	D	457 mm					

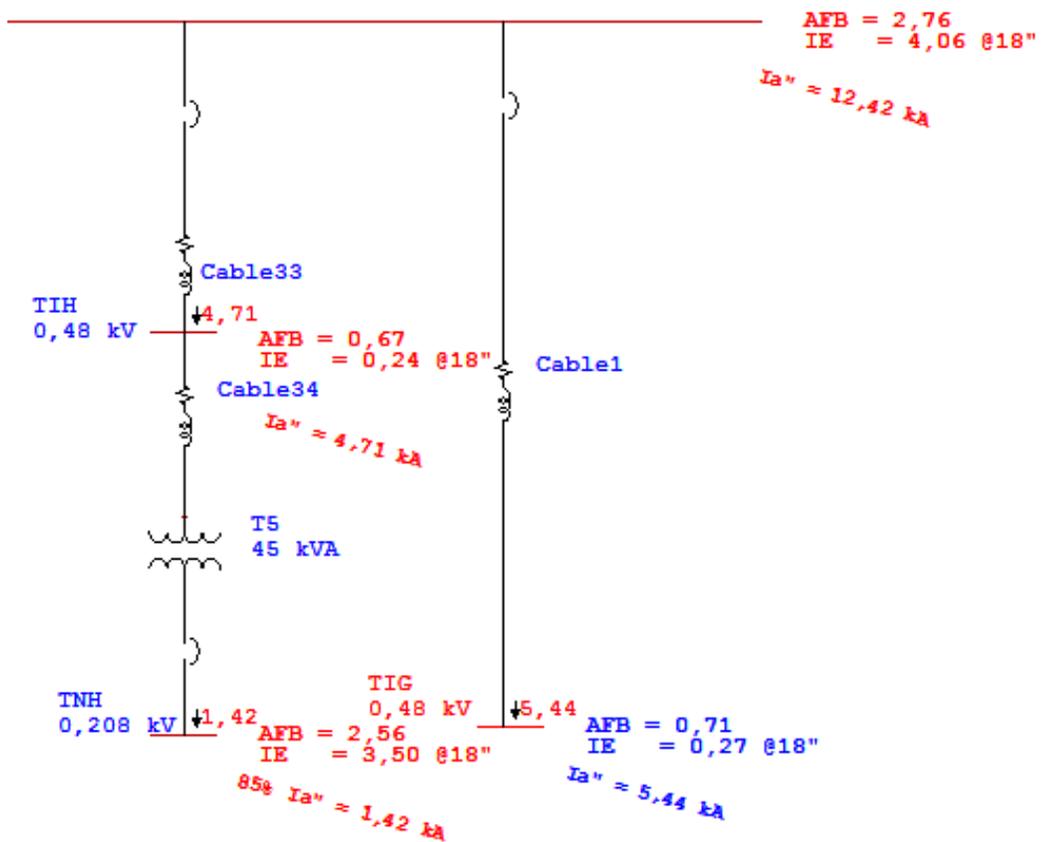


Figura 17. Acercamiento a evento en la barra.

Uno de los principales aportes de la estimación de corrientes de arco y calor emitido es la capacidad de utilizar este valor como criterio para seleccionar el tipo de equipo de protección personal utilizando en conjunto la norma NFPA 70E en su Tabla NFPA 70E 2012, 130.7 (C)(16).

Ante labores de mantenimiento a realizarse en cualquier tablero eléctrico en la instalación, mediante la utilización de las normas NFPA 70E con la IEEE1584 en conjunto se promueve la seguridad e integridad de los operarios al indicar el tipo de equipo de protección personal requerido.

Otro factor importante obtenido mediante el estudio de arco eléctrico es el de distancia de daño, la cual indica cuál es la distancia máxima a la que un operario pueda acercarse al tablero eléctrico y ante un evento de falla de arco este individuo no experimente quemaduras mayores a la clasificada como segundo grado, esto considerando que no se cuenta con equipo de protección.

Para la totalidad de los tableros a evaluar se resumen los datos obtenidos mediante el estudio de falla de arco, en la Tabla 28, cabe destacar que los tableros a presentar serán únicamente los que participaron en el estudio de cortocircuito, esto debido a que son los que probabilísticamente hablando presentan mayores corrientes de cortocircuito en las barras de los tableros.

Como anteriormente se mostró, el estudio de arco se presenta como paso esencial para la selección de equipo de protección personal, además de esto, mediante dicho estudio se determinaron para los mismos tableros las distancias de seguridad, las cuales son presentadas en la Tabla 28 de igual manera, en la última columna, el conocimiento de la misma podrá ser incluso utilizada como medio de justificación para la delimitación de líneas de seguridad alrededor de los tableros eléctricos involucrados.

Partiendo de los datos presentados en la Tabla 28 en conjunto con la Tabla NFPA 70E 2012,130.7 (C)(16) la categoría de seguridad asociada a los equipos de protección personal.

4.8.1. Selección de equipo de protección personal basado en estudio de arco eléctrico

Mediante la implementación del estudio de arco eléctrico, se obtiene la corriente de arco y distancia de seguridad para evitar peligros, sin embargo, otro entregable del mismo es la cantidad de calor por centímetro cuadrado liberado al ambiente, dato esencial para determinar el equipo de protección personal requerido para brindar mantenimiento al tablero involucrado en la falla.

Como es de esperar, ante un cortocircuito se da una liberación súbita de energía en los puntos en los que la misma se entrega a las diferentes cargas, estos son los tableros eléctricos, mismo que deberán ser inspeccionados en mantenimiento ante rutinas programadas.

Para promover la disponibilidad de la instalación, en muchos casos se desea realizar inspecciones “en caliente”, lo que significa, realizar dichas acciones cuando el tablero se encuentra energizado, de no ser así, se requeriría la desenergización del mismo y por ende, el apagado de todas las cargas que dependan de este.

La norma NFPA 70E establece en su artículo NFPA 70E 2012 130.7 (C) las características de los equipos de protección personal y en qué límites deben ser utilizados, la Tabla 130.7 (C)(16) tomada de dicha norma indica las relaciones de categoría de protección y la cantidad de calor generada.

Tabla 28. Resumen de datos de falla de arco.

Tablero	Tensión(V)	I _{falla} (kA)	t(s)	D(mm)	G(mm)	I _a (kA)	E _n (J/cm ²)	E(J/cm ²)	Categoría	Db(m)
Subest	480	18,8	0,09	457	13	12,33	3,36	16,89	2	0,94
TESPD	480	13,3	0,09	457	13	9,06	2,40	12,10	1	0,75
TESPE	480	11,1	0,09	457	13	7,71	2,02	10,17	1	0,67
TIJ	480	10,5	0,09	457	13	7,34	1,92	9,64	1	0,64
TNDG	208	3,6	0,09	457	13	2,19	0,52	2,61	0	0,27
TNH	208	2,5	0,09	457	13	1,67	0,39	1,95	0	0,22
TNEG	208	8,4	0,09	457	13	4,10	1,02	5,13	1	0,42

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- La distribución de planta de una empresa tendrá peso en la corriente final de cortocircuito, aun cuando se tengan los mismos equipos, la conexión de los mismos a los tableros implicarán qué tanto aportan en momento de falla.
- La corriente de cortocircuito no es un valor permanente, el desgaste de los equipos (mediante la variación del factor X/R), además de la adhesión de otros equipos a la planta la variarán, por lo que las protecciones deben quedar sobre seleccionadas en su capacidad interruptiva.
- La coordinación de protecciones tendrá gran peso en las fallas de arco, ya que, según los tiempos de desconexión el periodo de liberación energética la magnitud de la corriente de arco variará en gran medida.
- Ante un evento por cortocircuito, la capacidad interruptiva será la magnitud de la corriente que el elemento de protección será capaz de soportar sin deteriorarse, en casos en los que esta corriente sea mayor que la tolerada, el disyuntor podrá explotar.
- Para el estudio de cortocircuito, el mayor aporte es el dado por la empresa suministradora, este es de tal magnitud (80% del aporte total a la falla) en comparación a la potencia que entrega, respecto a los equipos y su potencia (en total 20%).
- Se puede prescindir de los motores de más pequeña potencia, e incluso en casos en los que existan motores de gran magnitud el aporte no será mayor, no obstante, conforme aumentan en cantidad su efecto será acumulativo.
- Es posible representar un grupo de motores pequeños, como un solo motor de una carga mucho mayor, ya que, el efecto de cada uno como aporte de corriente de fallo se acumulará en los tableros evaluados.

- El estudio de cortocircuito estuvo limitado por el software a utilizar, el ETAP versión 11, este debido a su licencia únicamente permite estudiar 50 tableros eléctricos, siendo estos los tableros físicos y considerando como eléctricos, siendo estos los tableros físicos, y considerando como tal las conexiones motor-conductor eléctrico.
- Los tableros considerados para el estudio de cortocircuito fueron los de primer y segundo nivel, esto debido a que la magnitud de corriente de cortocircuito de uno analizado de niveles inferiores puede ser reflejada en otro del mismo nivel mientras la carga se mantenga similar en potencia, además para los niveles 1 y 2 la potencia a manejar es mucho mayor, presentando corrientes de falla mucho mayores.
- El proceso de estudio de cortocircuito presenta como mayor dificultad la magnitud de datos a manejar y la forma de los mismos, siendo números complejos, además de las leyes de la electricidad de paralelo-serie, y la reiniciación del proceso de cálculo para cada punto a evaluar, vuelven el proceso en uno extenso si se desea analizar muchos puntos.
- La utilización del software ETAP facilitó en gran medida los cálculos, prescindiendo de la realización del proceso de cálculo manual en cada barra, de no tener el software, es posible realizar el diseño únicamente con Autocad y una calculadora, incluso se utilizó el software Microsoft Excel para realizar el cálculo manual.
- Se obtiene del diseño presente en este conocimiento la práctica en simulación en circuitos mediante el software ETAP, la obtención de criterios a profundidad de diseño responsable, el conocimiento de las normas país aplicadas y requeridas por las entidades del estado, la comprensión del comportamiento de fallas y conocimiento de marcas comerciales, además del conocimiento de riesgos eléctricos y los métodos de protección contemplados en el diseño debido a las mismas.

5.2. Recomendaciones

- Se debe realizar la instalación con apego a los criterios de ingeniería presentes en este documento.
- Se recomienda realizar actualizaciones en los planos eléctricos conforme se realicen cambios en la instalación, o cada 5 años, sea el que sea primero.
- Se recomienda además realizar estudios de cortocircuito conforme se realicen cambios en la instalación, o cada 5 años, sea el que sea primero.
- Se debe mantener total apego al procedimiento de instalación de los componentes eléctricos especificados por el fabricante, considerando la utilización de mano de obra capacitada.
- Se recomienda de gran manera la realización de los estudios de calidad de energía, considerando perfiles de carga y corrección de factor de potencia.
- Es importante implementar un estudio de armónicos y contemplan la corrección de los mismos a corto plazo.
- Se recomienda la revisión constante del balance de potencia en las líneas de acometida, y con esto, mantener control sobre la tensión de alimentación.
- Será de gran beneficio el encender el generador esporádicamente para evitar estancamiento, y realizarle labores de mantenimiento continuamente, siendo ampliamente recomendado para la integridad del equipo.

Bibliografía

- 60947-2, n. I. (s.f.). Coordinación de protecciones. *IEC 60947-2*.
- ARESEP. (2015). *Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión*.
- Cortes, M. (2003). *Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas*. Barcelona: Reverté.
- Croft, T. (1958). *Manual del montador electricista*. España: Reverté.
- Emadi, A., Nasiri, A., & Bekiarov, S. (2005). *Uninterruptible Power Supplies and Active Filters*. Florida: CRC.
- Fowler, R. J. (1994). *Electricidad principios y aplicaciones*. Barcelona: Reverté.
- GARCIA, J. (2016). *Instalaciones eléctricas en media y baja tensión*. Madrid: Paraninfo.
- Grainger, J. (1996). *Análisis de sistemas de potencia*. Mexico: McGraw Hill.
- INS. (2012). *Riesgos eléctricos*.
- Mullin, R., & Smith, R. (2005). *Electrical wiring commercial*. Thomson.
- NFPA 70 (2008). National Electrical Code. , National Fire Protection Association, Quincy, MA.*
- SOLIDARIOS, I. N. (2012). *Riesgos eléctricos*.
- Wildi, T. (2006). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. México: Pearson.
- Zavala, R. S. (2001). *Introducción a las instalaciones eléctricas*. Mexico.

Anexos

Anexo 1. Tablas y figuras

Tabla 29. Conductores eléctricos y sus ampacidades. Fuente: NFPA 70.

Size AWG or kcmil	Temperature Rating of Conductor (See Table 310.13.)						Size AWG or kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Types TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Types TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE- 2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COPPER			ALUMINUM OR COPPER-CLAD ALUM			
18	—	—	14	—	—	—	—
16	—	—	18	—	—	—	—
14*	20	20	25	—	—	—	—
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	355	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	310	375	420	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	450	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	520	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	560	665	750	470	560	630	2000

Tabla 30. Factores de corrección por temperatura. Fuente: NFPA 70.

CORRECTION FACTORS							
Ambient Temp. (°C)	For ambient temperatures other than 30°C (86°F), multiply the allowable ampacities shown above by the appropriate factor shown below.						Ambient Temp. (°F)
21–25	1.08	1.05	1.04	1.08	1.05	1.04	70–77
26–30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	78–86
31–35	0.91	0.94	0.96	0.91	0.94	0.96	87–95
36–40	0.82	0.88	0.91	0.82	0.88	0.91	96–104
41–45	0.71	0.82	0.87	0.71	0.82	0.87	105–113
46–50	0.58	0.75	0.82	0.58	0.75	0.82	114–122
51–55	0.41	0.67	0.76	0.41	0.67	0.76	123–131
56–60	—	0.58	0.71	—	0.58	0.71	132–140
61–70	—	0.33	0.58	—	0.33	0.58	141–158
71–80	—	—	0.41	—	—	0.41	159–176

* See 240.4(D).

Tabla 31. Factores de agrupamiento para selección de conductor. Fuente: NFPA 70.

Number of Current-Carrying Conductors	Percent of Values in Tables 310.16 through 310.19 as Adjusted for Ambient Temperature if Necessary
4–6	80
7–9	70
10–20	50
21–30	45
31–40	40
41 and above	35

Tabla 32. Corrientes nominales de motores trifásicos. Fuente: Propia.

Horse-power	Induction-Type Squirrel Cage and Wound Rotor (Amperes)							Synchronous-Type Unity Power Factor* (Amperes)			
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
½	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
¾	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1½	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7½	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.2	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

*For 90 and 80 percent power factor, the figures shall be multiplied by 1.1 and 1.25, respectively.

Tabla 33. Corrientes de arranque para motores. Fuente: NFPA 70.

Rated Horsepower	Maximum Motor Locked-Rotor Current in Amperes, Two- and Three-Phase, Design B, C, and D*					
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts
	B, C, D	B, C, D	B, C, D	B, C, D	B, C, D	B, C, D
½	40	23	22.1	20	10	8
¾	50	28.8	27.6	25	12.5	10
1	60	34.5	33	30	15	12
1½	80	46	44	40	20	16
2	100	57.5	55	50	25	20
3	—	73.6	71	64	32	25.6
5	—	105.8	102	92	46	36.8
7½	—	146	140	127	63.5	50.8
10	—	186.3	179	162	81	64.8
15	—	267	257	232	116	93
20	—	334	321	290	145	116
25	—	420	404	365	183	146
30	—	500	481	435	218	174
40	—	667	641	580	290	232
50	—	834	802	725	363	290
60	—	1001	962	870	435	348
75	—	1248	1200	1085	543	434
100	—	1668	1603	1450	725	580
125	—	2087	2007	1815	908	726
150	—	2496	2400	2170	1085	868
200	—	3335	3207	2900	1450	1160
250	—	—	—	—	1825	1460
300	—	—	—	—	2200	1760
350	—	—	—	—	2550	2040
400	—	—	—	—	2900	2320
450	—	—	—	—	3250	2600
500	—	—	—	—	3625	2900

*Design A motors are not limited to a maximum starting current or locked rotor current.

Tabla 34. Características de impedancia de conductores eléctricos. Fuente: NFPA 70.

Size (AWG or kcmil)	Ohms to Neutral per Kilometer Ohms to Neutral per 1000 Feet ⁶														Size (AWG or kcmil)	
	XL (Reactance) for All Wires			Alternating-Current Resistance for Uncoated Copper Wires			Alternating-Current Resistance for Aluminum Wires			Effective Z at 0.85 PF for Uncoated Copper Wires			Effective Z at 0.85 PF for Aluminum Wires			
	PVC, Aluminum Conduits	Steel Conduit		PVC Conduit	Aluminum Conduit	Steel Conduit	PVC Conduit	Aluminum Conduit	Steel Conduit	PVC Conduit	Aluminum Conduit	Steel Conduit	PVC Conduit	Aluminum Conduit		Steel Conduit
14	0.190	0.240	10.2	10.2	10.2	—	—	—	8.9	8.9	8.9	—	—	—	14	
0.058	0.073	3.1	3.1	3.1	—	—	—	2.7	2.7	2.7	—	—	—	—		
12	0.177	0.223	6.6	6.6	6.6	10.5	10.5	10.5	5.6	5.6	5.6	9.2	9.2	9.2	12	
0.054	0.068	2.0	2.0	2.0	3.2	3.2	3.2	1.7	1.7	1.7	2.8	2.8	2.8	—		
10	0.164	0.207	3.9	3.9	3.9	6.6	6.6	6.6	3.6	3.6	3.6	5.9	5.9	5.9	10	
0.050	0.063	1.2	1.2	1.2	2.0	2.0	2.0	1.1	1.1	1.1	1.8	1.8	1.8	—		
8	0.171	0.213	2.56	2.56	2.56	4.3	4.3	4.3	2.26	2.26	2.30	3.6	3.6	3.6	8	
0.052	0.065	0.78	0.78	0.78	1.3	1.3	1.3	0.69	0.69	0.70	1.1	1.1	1.1	—		
6	0.167	0.210	1.61	1.61	1.61	2.66	2.66	2.66	1.44	1.48	1.48	2.33	2.36	2.36	6	
0.051	0.064	0.49	0.49	0.49	0.81	0.81	0.81	0.44	0.45	0.45	0.71	0.72	0.72	—		
4	0.157	0.197	1.02	1.02	1.02	1.67	1.67	1.67	0.95	0.95	0.98	1.51	1.51	1.51	4	
0.048	0.060	0.31	0.31	0.31	0.51	0.51	0.51	0.29	0.29	0.30	0.46	0.46	0.46	—		
3	0.154	0.194	0.82	0.82	0.82	1.31	1.35	1.31	0.75	0.79	0.79	1.21	1.21	1.21	3	
0.047	0.059	0.25	0.25	0.25	0.40	0.41	0.40	0.23	0.24	0.24	0.37	0.37	0.37	—		
2	0.148	0.187	0.62	0.66	0.66	1.05	1.05	1.05	0.62	0.62	0.66	0.98	0.98	0.98	2	
0.045	0.057	0.19	0.20	0.20	0.32	0.32	0.32	0.19	0.19	0.20	0.30	0.30	0.30	—		
1	0.151	0.187	0.49	0.52	0.52	0.82	0.85	0.82	0.52	0.52	0.52	0.79	0.79	0.82	1	
0.046	0.057	0.15	0.16	0.16	0.25	0.26	0.25	0.16	0.16	0.16	0.24	0.24	0.25	—		
1/0	0.144	0.180	0.39	0.43	0.39	0.66	0.69	0.66	0.43	0.43	0.43	0.62	0.66	0.66	1/0	
0.044	0.055	0.12	0.13	0.12	0.20	0.21	0.20	0.13	0.13	0.13	0.19	0.20	0.20	—		
2/0	0.141	0.177	0.33	0.33	0.33	0.52	0.52	0.52	0.36	0.36	0.36	0.52	0.52	0.52	2/0	
0.043	0.054	0.10	0.10	0.10	0.16	0.16	0.16	0.11	0.11	0.11	0.16	0.16	0.16	—		
3/0	0.138	0.171	0.253	0.269	0.259	0.43	0.43	0.43	0.289	0.302	0.308	0.43	0.43	0.46	3/0	
0.042	0.052	0.077	0.082	0.079	0.13	0.13	0.13	0.088	0.092	0.094	0.13	0.13	0.14	—		
4/0	0.135	0.167	0.203	0.220	0.207	0.33	0.36	0.33	0.243	0.256	0.262	0.36	0.36	0.36	4/0	
0.041	0.051	0.062	0.067	0.063	0.10	0.11	0.10	0.074	0.078	0.080	0.11	0.11	0.11	—		
250	0.135	0.171	0.171	0.187	0.177	0.279	0.295	0.282	0.217	0.230	0.240	0.308	0.322	0.33	250	
0.041	0.052	0.052	0.057	0.054	0.085	0.090	0.086	0.068	0.070	0.073	0.094	0.098	0.10	—		
300	0.135	0.167	0.144	0.161	0.148	0.233	0.249	0.236	0.194	0.207	0.213	0.269	0.282	0.289	300	
0.041	0.051	0.044	0.049	0.045	0.071	0.076	0.072	0.059	0.063	0.065	0.082	0.086	0.088	—		
350	0.131	0.164	0.125	0.141	0.128	0.200	0.217	0.207	0.174	0.180	0.197	0.240	0.253	0.262	350	
0.040	0.050	0.038	0.043	0.039	0.061	0.066	0.063	0.053	0.058	0.060	0.073	0.077	0.080	—		
400	0.131	0.161	0.108	0.125	0.115	0.177	0.194	0.180	0.161	0.174	0.184	0.217	0.233	0.240	400	
0.040	0.049	0.033	0.038	0.035	0.054	0.059	0.055	0.049	0.053	0.056	0.068	0.071	0.073	—		
500	0.128	0.157	0.089	0.105	0.095	0.141	0.157	0.148	0.141	0.157	0.164	0.187	0.200	0.210	500	
0.039	0.048	0.027	0.032	0.029	0.043	0.048	0.045	0.043	0.048	0.050	0.057	0.061	0.064	—		
600	0.128	0.157	0.075	0.092	0.082	0.118	0.135	0.125	0.131	0.144	0.154	0.167	0.180	0.190	600	
0.039	0.048	0.023	0.028	0.025	0.036	0.041	0.038	0.040	0.044	0.047	0.051	0.055	0.058	—		
750	0.125	0.157	0.062	0.079	0.069	0.095	0.112	0.102	0.118	0.131	0.141	0.148	0.161	0.171	750	
0.038	0.048	0.019	0.024	0.021	0.029	0.034	0.031	0.036	0.040	0.043	0.045	0.049	0.052	—		
1000	0.121	0.151	0.049	0.062	0.059	0.075	0.089	0.082	0.105	0.118	0.131	0.128	0.138	0.151	1000	
0.037	0.046	0.015	0.019	0.018	0.023	0.027	0.025	0.032	0.036	0.040	0.039	0.042	0.046	—		

Notes:

1. These values are based on the following constants: UL-Type RHH wires with Class B stranding, in cradled configuration. Wire conductivities are 100 percent IACS copper and 61 percent IACS aluminum, and aluminum conduit is 45 percent IACS. Capacitive reactance is ignored, since it is negligible at these voltages. These resistance values are valid only at 75°C (167°F) and for the parameters as given, but are representative for 600-volt wire types operating at 60 Hz.

2. Effective Z is defined as $R \cos(\theta) + X \sin(\theta)$, where θ is the power factor angle of the circuit. Multiplying current by effective impedance gives a good approximation for line-to-neutral voltage drop. Effective impedance values shown in this table are valid only at 0.85 power factor. For another circuit power factor (PF), effective impedance (Ze) can be calculated from R and XL values given in this table as follows: $Z_e = R \times PF + XL \sin[\arccos(PF)]$.

Tabla 35. Ejemplo de tablero de MATRA. Fuente: Propia.

TABLERO NORMAL CASA DE MAQUINAS: TNK												120 / 208 VOLTIOS												INGRESO DE ACOMETIDA POR PARTE INFERIOR											
TRIFASICO / 3 FASES, 4 HILOS												18 POLOS / BARRAS DE COBRE / 125A												NEUTRO SOLIDO, BARRA DE TIERRAS, MONTAJE DE SUPERFICIE											
Long. (m)	Altura (m)	Nombre del Circuito	Conductores			OCPO	Dia. (in)	VD (%)	Vd (V)	VOLT AMPS			No. Circ.	No. FASES	No. Circ.	Vd (V)	Dia. (in)	VD (%)	Vd (V)	Conductores			Nombre del Circuito	Altura (m)	Long. (m)										
			T	N	F					A	B	C								A	B	C				F	N	T							
8	0.35	CALENTADOR DE MANGAS	12	12	12	1	1/2	0.5	0.7	750	1	1	2	750	0.7	1/2	0.5	0.7	1	20	12	12	12	0.35	8										
6	NA	BOMBA JOCKEY (1 1/2HP)	12	12	12	3	1/2	0.2	0.4	763	3	1	1	4	0.8	1/2	0.7	0.8	1	20	12	12	12	0.35	20										
5	1.2	PANEL CONTROL BOMBA JOCKEY	12	12	12	1	1/2	0.3	0.4	750	9	1	1	10	1.6	1/2	0.8	1.6	2	25	10	10	12	1.2	27										
											11	1	1	12																					
											13	1	1	14																					
											15	1	1	16																					
											17	1	1	18																					
RESUMEN																																			
TOTAL DE CARGA INSTALADA: 18 AMPERIOS																																			
TOTAL DE CARGA DEMANDADA: 12 AMPERIOS																																			
INTERRUPTOR PRINCIPAL																																			
CAPACIDAD: 40 A / 3P																																			
CAPACIDAD INTERRUPTIVA: 25 K AMPS																																			
IGUAL O SIMILAR AL MODELO EATON: CH3050																																			
TABLERO IGUAL O SIMILAR AL MODELO EATON: CH1813125CPS																																			
RESUMEN																																			
TOTAL FASES INSTALADA: 1500 380 750																																			
TOTAL FASES DEMANDADA: 1500 1500 1500																																			
TOTAL FASES DEMANDADA: 1301 1059 1059																																			
TOTAL VOLT AMPERIOS INSTALADOS: 4,779																																			
TOTAL VOLT AMPERIOS DEMANDADO: 4,779																																			
CANALIZACION: 1/2 in PVC																																			
ALIMENTADOR																																			
3# # 2 THHN/CU (FASES)																																			
1# # 2 THHN/CU (NEUTRO)																																			
1# # 6 THHN/CU (TIERRA)																																			
CAIDA DE VOLTAJE: 1.78 %																																			

Tabla 36. Tamaño de equipos según unidades x. Fuente: Eaton.

Table 22.3-6. Type 1 Box Sizes—Dimensions in Inches (mm)

Maximum Panel Height X Units	Box Dimensions		
	Height	Width	Depth
100-400A			
14X	36.00 (914.4)	20.00 (508.0)	5.75 (146.1)
23X	48.00 (1219.2)	20.00 (508.0)	5.75 (146.1)
31X	60.00 (1524.0)	20.00 (508.0)	5.75 (146.1)
40X	72.00 (1828.8)	20.00 (508.0)	5.75 (146.1)
53X	90.00 (2286.0)	20.00 (508.0)	5.75 (146.1)
600-800A			
23X	48.00 (1219.2)	28.00 (711.2)	5.75 (146.1)
31X	60.00 (1524.0)	28.00 (711.2)	5.75 (146.1)
40X	72.00 (1828.8)	28.00 (711.2)	5.75 (146.1)
53X	90.00 (2286.0)	28.00 (711.2)	5.75 (146.1)

kVA	%Z
45	2.70-5.75
75	2.7-5.75
112-1/2	3.1-5.75
150	3.1-5.75
225	3.1-5.75
300	3.1-5.75
500	4.35-5.75
750	5.75
1000	5.75
1500	5.75
2000	5.75
2500	5.75
3000	5.75
3750	5.75
5000-10,000	6.0-6.5

Figura 18. Impedancias de transformadores comerciales. Fuente: Eaton.

Tabla 37. Tablero eléctrico. Fuente: Propia.

TABLERO NORMAL OFICINAS: TESPE												INGRESO DE ACOMETIDA POR PARTE SUPERIOR															
TRIFASICO / 3 FASES, 4 HILOS												NEUTRO SOLIDO, BARRA DE TIERRAS, MONTAJE DE SUPERFICIE															
Long. (m)	Alura (m)	Nombre del Circuito	Conductores			OCDF	Tipo	Dia. (in)	Vd (%)	42 POLOS / BARRAS DE COBRE / 400A			VOLT AMPS			Vd (V)	Dia. (in)	Vd (%)	Conductores			Nombre del Circuito	Alura (m)	Long. (m)			
			T	N	F					A	B	C	No. Crc.	A	B				C	F	N				T		
40	NA	MANEJADORA 01 SOBRE CALL CENTER	12	10	10	3	STD	1/2	2.4	5.0	2,144	3	1	1	4	2,144	5.0	2.4	1/2	3	20	10	10	12	MANEJADORA 04 SOBRE RECEPCION RENTA	NA	40
45	TECHO	UNIDAD DE PAQUETE TECHOS	12	10	10	3	STD	1/2	2.9	6.0	2,288	7	1	1	6	2,144	5.0	2.4	1/2	3	20	10	10	12	MANEJADORA C-2 BAÑOS	NA	40
25	TECHO	INYECTOR TIPO 1 TECHO	12	12	12	3	STD	1/2	0.3	0.7	305	13	1	1	14	582	1.6	0.8	1/2	3	20	12	12	12	EXTRACTOR TIPO 7 TECHO	NA	30
35	CELO	UNIDAD CONDENSADORA DE PRECISION 01	12	12	12	3	STD	1/2	2.3	4.7	1,440	19	1	1	20	15,360	1.6	0.3	1/2	3	100	2	2	8	TABLERO TESPE	1.8	
40	TECHO	UNIDAD CONDENSADORA 07	12	10	10	3	STD	1/2	2.9	6.0	2,560	25	1	1	26	50,000	1.2	0.2	2.5 in	3	225	400	400	2	TRANSFORMADOR TS-1	NA	15
1.8		TABLERO TIEZ	8	2	2	100	3	STD	1 1/2 in	0.5	2.2	2,080	31	1	1	32	50,000										
											1,528	33	1	1	34												
											1,040	35	1	1	36												
												37	1	1	38												
												39	1	1	40												
												41	1	1	42												
			RESUMEN												RESUMEN												
			TOTAL DE CARGA INSTALADA: 291 AMPERIOS												TOTAL FASE A INSTALADA: 70,230												
			TOTAL DE CARGA DEMANDADA: 203 AMPERIOS												TOTAL FASE B INSTALADA: 70,230												
			INTERRUPTOR PRINCIPAL												TOTAL FASE C INSTALADA: 80,007												
			CAPACIDAD: 250 A / 3P												TOTAL FASE A DEMANDADA: 80,495												
			CAPACIDAD INTERRUPTIVA: 65 K AMPS												TOTAL FASE B DEMANDADA: 80,007												
			IGUAL O SIMILAR AL MODELO EATON: ED3250												TOTAL FASE C DEMANDADA: 80,005												
															TOTAL VOLT AMPERIOS INSTALADOS: 241,549												
															TOTAL VOLT AMPERIOS DEMANDADOS: 168,084												
															CANALIZACION: 2.5 in PVC												
															CAIDA DE VOLTAJE: 1.08 %												
															TABLERO IGUAL O SIMILAR AL MODELO EATON: PRL3a												

Table 19.1-17. Typical Data for 480 V Class DOE 2016 Efficient Dry-Type Transformers, Copper Wound ①

kVA	Frame	Weight	Losses in Watts		Efficiency (T Rise +20 °C)				% Regulation		% Imp. T Rise +20 °C	X T Rise +20 °C	R T Rise +20 °C	Sound Level dB (per NEMA ST-20)	Efficiency at 35% Load 75 °C	Inrush Practical Max.
			No Load	Total at Rise +20 °C	25%	50%	75%	Full Load	100% PF	80% PF						
Type DS-3 150 °C Rise DOE 2016 Efficient Single-Phase																
15	816	270	80	605	97.6	97.5	96.9	96.3	3.5	4.2	4.2	2.3	3.5	45	97.70	183
25	818	406	115	732	97.9	98.1	97.7	97.3	—	—	3.5	2.5	2.5	45	98.00	459
37.5	818	453	125	1154	98.2	98.1	97.6	97.0	2.7	3.7	4.8	4.0	2.7	45	98.20	440
50	819	657	160	1159	98.3	98.4	98.1	97.7	2.0	3.3	3.8	3.8	2.0	45	98.30	440
75	820	803	175	2259	98.5	98.3	97.7	97.1	2.8	4.8	6.5	5.8	2.8	50	98.50	711
100	821	960	250	2504	98.6	98.4	98.0	97.5	2.3	4.3	5.5	5.0	2.3	50	98.60	926
167	814	1665	570	3094	98.7	98.8	98.6	98.3	1.5	6.3	9.0	8.8	1.5	50	98.70	955
Type DS-3 115 °C Rise DOE 2016 Efficient Single-Phase																
15	816	264	80	437	97.8	98.1	97.8	97.3	2.4	2.2	3.3	2.2	2.4	45	97.70	239
25	818	420	110	603	97.9	98.2	98.0	97.7	2.0	2.9	3.2	2.6	2.0	45	98.00	287
37.5	818	450	125	1217	98.2	98.0	97.5	96.9	2.9	4.5	5.9	5.1	2.9	45	98.20	433
50	819	703	300	1409	98.4	98.4	98.0	97.6	2.2	3.8	4.7	4.1	2.2	—	98.30	499
75	820	793	175	2178	98.5	98.3	97.8	97.2	2.7	4.7	6.2	5.6	2.7	50	98.50	702
Type DS-3 80 °C Rise DOE 2016 Efficient Single-Phase																
15	818	407	115	293	97.3	98.2	98.3	98.2	1.2	1.7	1.8	1.4	1.2	45	97.70	125
25	818	430	300	679	97.9	98.4	98.3	98.1	1.5	2.6	3.0	2.6	1.5	45	98.00	164
37.5	819	685	300	729	98.1	98.6	98.6	98.5	1.1	2.2	2.6	2.3	1.1	45	98.20	205
50	820	799	180	1013	98.3	98.6	98.4	98.1	1.7	2.9	3.4	2.9	1.7	45	98.30	329
75	821	1042	250	1447	98.3	98.6	98.4	98.1	1.6	3.4	3.8	3.5	1.6	50	98.50	338
Type DT-3 150 °C Rise DOE 2016 Efficient																
15	939	250	73	401	97.5	97.7	97.4	96.9	2.6	3.1	2.9	1.6	2.7	45	97.89	109
30	940	415	114	732	97.9	98.1	97.7	97.3	2.4	2.4	2.6	0.8	2.4	45	98.23	262
45	940	478	118	1271	98.3	98.1	97.6	97.0	2.8	3.8	3.4	2.6	2.8	45	98.4	181
75	942	676	206	1615	98.4	98.4	98.1	97.6	2.1	2.8	3.2	1.9	2.1	50	98.6	399
112.5	943	1263	251	2223	98.6	98.6	98.3	97.9	1.9	3.4	3.6	3.1	1.9	50	98.74	351
150	943	1410	350	2351	98.7	98.8	98.5	98.2	1.5	2.8	3.4	2.6	1.5	50	98.83	597
225	944	1745	418	4103	98.8	98.7	98.4	98.0	1.7	3.8	4.3	4.0	1.3	55	98.94	540
300	945	2354	561	4491	99.0	98.9	98.7	98.3	1.4	3.0	3.5	3.2	1.4	55	99.02	858
Type DT-3 115 °C Rise DOE 2016 Efficient																
15	939	241	73	367	97.5	97.9	97.6	97.2	2.4	2.9	2.8	1.6	2.4	45	97.89	109
30	940	433	114	658	98.0	98.2	97.0	97.5	2.1	2.3	2.3	1.0	2.1	45	98.23	235
45	940	471	118	1189	98.3	98.2	97.7	97.2	2.6	3.8	3.5	2.9	2.6	45	98.4	170
75	942	665	206	1508	98.4	98.5	98.2	97.8	1.9	2.8	3.0	2.1	1.9	50	98.6	378
112.5	943	1271	251	2163	98.7	98.6	98.3	97.9	1.8	3.6	4.0	3.6	1.8	50	98.74	307
150	943	1422	350	2234	98.7	98.8	98.4	98.3	1.4	2.9	3.6	3.1	1.4	50	98.83	546
225	944	1857	418	3811	98.9	98.8	98.5	98.2	1.6	4.2	5.0	4.8	1.6	55	98.94	455
300	945	2478	561	4198	98.9	98.9	98.7	98.4	1.3	3.4	4.1	3.9	1.3	55	99.02	707
Type DT-3 80 °C Rise DOE 2016 Efficient																
15	939	239	60	352	97.9	98.2	97.9	97.3	2.2	3.1	2.6	2.1	2.2	45	97.89	92
30	940	466	118	473	98.1	98.5	98.3	98.1	1.5	2.5	2.1	1.7	1.9	45	98.23	181
45	942	667	206	489	97.9	98.6	98.6	98.5	1.0	1.7	2.0	1.2	1.3	50	98.4	399
75	943	1147	251	838	98.4	98.8	98.7	98.6	1.0	2.3	2.7	2.1	1.3	50	98.6	351
112.5	943	1328	350	1125	98.3	98.9	98.9	98.7	0.9	2.1	2.3	2.0	1.1	50	98.74	597
150	944	1745	418	1559	98.6	98.9	98.9	98.7	0.9	2.5	2.9	2.7	1.2	55	98.83	540
225	945	2478	561	2178	98.8	99.0	98.8	98.8	0.9	2.6	3.1	3.0	1.0	55	98.94	707

① Typical values for copper windings. Refer to Page 19.1-21 for typical data for aluminum windings. Up-to-date design data is available at www.eaton.com.

Note: Performance data is based upon 480 V delta primary and a 208Y/120 V secondary for three-phase transformers; 240 x 480 V primary and a 120/240 V secondary for single-phase transformers. Refer to Eaton for 5 kV class information. All data is subject to future revision.

Figura 19. Selección de transformadores. Fuente: Eaton.

Tabla 38. Datos de cálculo de arco eléctrico. Fuente: IEEE 1584.

System voltage (kV)	Equipment type	Typical gap between conductors (mm)	Distance x factor
0.208–1	Open air	10–40	2.000
	Switchgear	32	1.473
	MCC and panels	25	1.641
	Cable	13	2.000
>1–5	Open air	102	2.000
	Switchgear	13–102	0.973
	Cable	13	2.000
>5–15	Open air	13–153	2.000
	Switchgear	153	0.973
	Cable	13	2.000

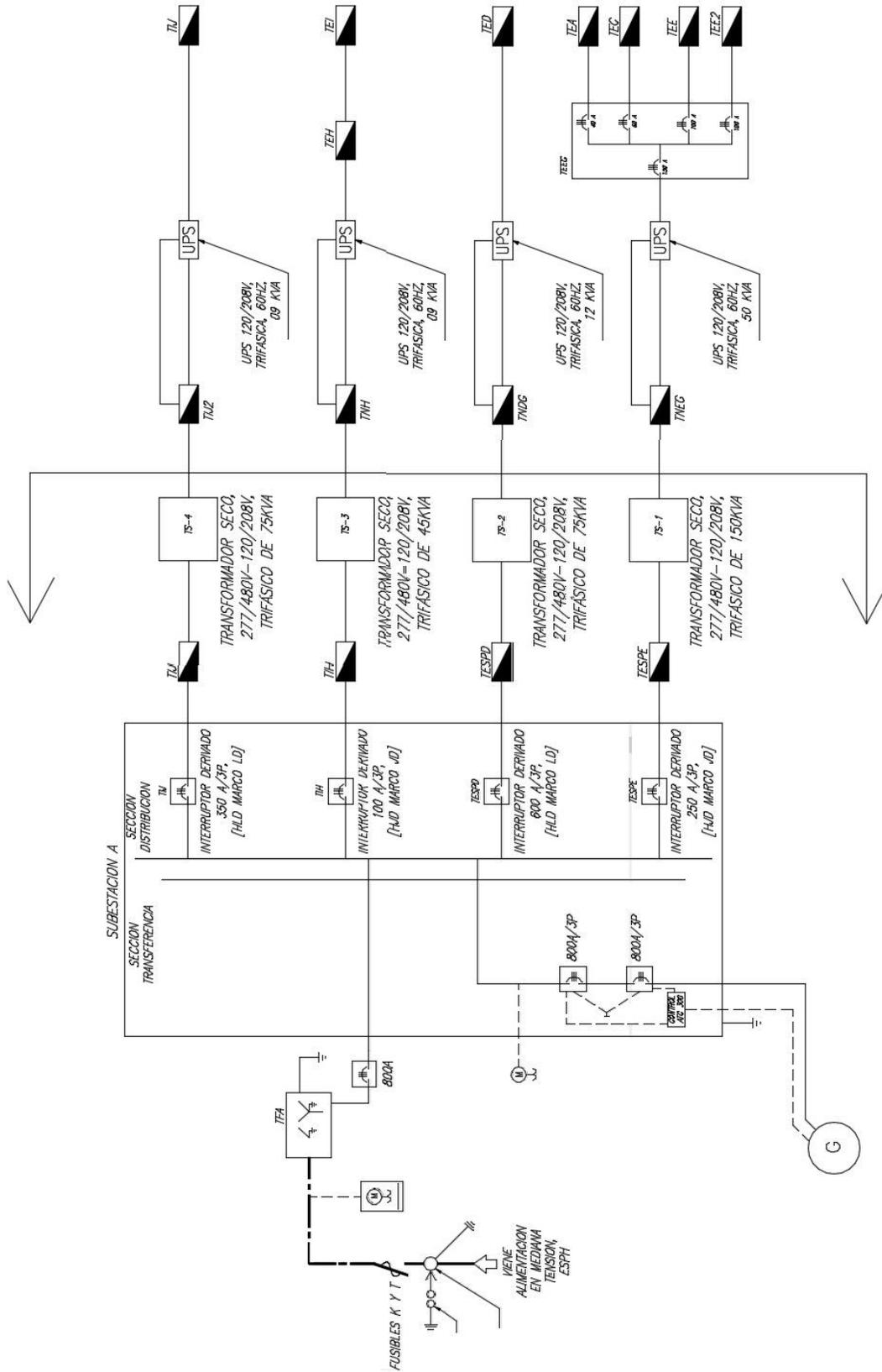


Figura 20. Unifilar de UPS. Fuente: Propia.

Anexo 2. Hojas informativas

DIESEL GENERATOR SET



Image shown may not reflect actual package.

STANDBY
600 kW 750 kVA
60 Hz 1800 rpm 480 Volts

Caterpillar is leading the power generation marketplace with Power Solutions engineered to deliver unmatched flexibility, expandability, reliability, and cost-effectiveness.

FEATURES

FUEL/EMISSIONS STRATEGY

- EPA Certified for Stationary Emergency Application (EPA Tier 2 emissions levels)

DESIGN CRITERIA

- The generator set accepts 100% rated load in one step per NFPA 110 and meets ISO 8528-5 transient response

UL 2200 / CSA – Optional

- UL 2200 Listed packages
- CSA Certified

Certain restrictions may apply.
Consult with your Cat® Dealer.

FULL RANGE OF ATTACHMENTS

- Wide range of bolt-on system expansion attachments, factory designed and tested
- Flexible packaging options for easy and cost effective installation

SINGLE-SOURCE SUPPLIER

- Fully prototype tested with certified torsional vibration analysis available

WORLDWIDE PRODUCT SUPPORT

- Cat dealers provide extensive post sale support including maintenance and repair agreements
- Cat dealers have over 1,800 dealer branch stores operating in 200 countries
- The Cat S•O•SSM program cost effectively detects internal engine component condition, even the presence of unwanted fluids and combustion by-products

CAT C18 ATAAC DIESEL ENGINE

- Utilizes ACERT™ Technology
- Reliable, rugged, durable design
- Field-proven in thousands of applications worldwide
- Four-stroke-cycle diesel engine combines consistent performance and excellent fuel economy with minimum weight
- Electronic controlled governor

CAT GENERATOR

- Matched to the performance and output characteristics of Cat engines
- UL 1446 Recognized Class H insulation
- CSA Certified

CAT EMCP 4 CONTROL PANELS

- Simple user friendly interface and navigation
- Scalable system to meet a wide range of customer needs
- Integrated Control System and Communications Gateway
- Integrated Voltage Regulation

SEISMIC CERTIFICATION

- Seismic Certification available
- Anchoring details are site specific, and are dependent on many factors such as generator set size, weight, and concrete strength.
IBC Certification requires that the anchoring system used is reviewed and approved by a Professional Engineer
- Seismic Certification per Applicable Building Codes: IBC 2000, IBC 2003, IBC 2006, IBC 2009, IBC 2012, CBC 2007, CBC 2010

LEHE0483-00

STANDBY 600 ekW 750 kVA
60 Hz 1800 rpm 480 Volts



SPECIFICATIONS

STANDARD CAT GENERATOR	
Frame size	LC7024F
Excitation	Internal Excitation
Pitch	0.6667
Number of poles	4
Number of bearings	Single bearing
Number of leads	12
Insulation	UL 1446 Recognized Class H with tropicalization and antiabrasion
IP Rating	IP23
Alignment	Pilot shaft
Overspeed capability (%)	125
Wave form deviation (%)	2
Voltage regulator	Three phase sensing
Voltage regulation	+/- 0.25% (steady state)
- Consult your Cat dealer for other available voltages	
CAT DIESEL ENGINE	
C18 ATAAC, I-6, 4-Stroke Water-cooled Diesel	
Bore	145.00 mm (5.71 in)
Stroke	183.00 mm (7.2 in)
Displacement	18.13 L (1106.36 in ³)
Compression ratio	14.5:1
Aspiration	Air-to-air aftercooled
Fuel system	MEUI
Governor type	Caterpillar ADEM control system

CAT EMCP 4 SERIES CONTROLS

EMCP 4 controls including:

- Run / Auto / Stop Control
- Speed and Voltage Adjust
- Engine Cycle Crank
- 24-volt DC operation
- Environmental sealed front face
- Text alarm/event descriptions

Digital indication for:

- RPM
- DC volts
- Operating hours
- Oil pressure (psi, kPa or bar)
- Coolant temperature
- Volts (L-L & L-N), frequency (Hz)
- Amps (per phase & average)
- ekW, kVA, kVAR, kW-hr, %kW, PF (4.2 only)

Warning/shutdown with common LED indication of:

- Low oil pressure
- High coolant temperature
- Overspeed
- Emergency stop
- Failure to start (overcrank)
- Low coolant temperature
- Low coolant level

Programmable protective relaying functions:

- Generator phase sequence
- Over/Under voltage (27/59)
- Over/Under Frequency (81 o/u)
- Reverse Power (kW) (32) (4.2 only)
- Reverse reactive power (kVA) (32RV)
- Overcurrent (50/51)

Communications:

- Four digital inputs (4.1)
- Six digital inputs (4.2 only)
- Four relay outputs (Form A)
- Two relay outputs (Form C)
- Two digital outputs
- Customer data link (Modbus RTU) (4.2 only)
- Accessory module data link (4.2 only)
- Serial annunciator module data link (4.2 only)
- Emergency stop pushbutton

Compatible with the following:

- Digital I/O module
- Local Annunciator
- Remote CAN annunciator
- Remote serial annunciator

STANDBY 600 ekW 750 kVA
60 Hz 1800 rpm 480 Volts



TECHNICAL DATA

Open Generator Set - 1800 rpm/60 Hz/480 Volts	DM8518	
EPA Certified for Stationary Emergency Application (EPA Tier 2 emissions levels)		
Generator Set Package Performance Genset power rating @ 0.8 pf Genset power rating with fan	750 kVA 600 ekW	
Fuel Consumption 100% load with fan 75% load with fan 50% load with fan	161.6 L/hr 129.8 L/hr 91.7 L/hr	42.7 gal/hr 34.3 gal/hr 24.2 gal/hr
Cooling System¹ Air flow restriction (system) Air flow (max @ rated speed for radiator arrangement) Engine Coolant capacity with radiator/exp. tank Engine coolant capacity Radiator coolant capacity	0.12 kPa 568 m ³ /min 54.9L 20.8 L 34.1 L	0.48 in. water 20059 cfm 14.5 gal 5.5 gal 9.0 gal
Inlet Air Combustion air inlet flow rate	47.8 m ³ /min	1688.0 cfm
Exhaust System Exhaust stack gas temperature Exhaust gas flow rate Exhaust flange size (internal diameter) Exhaust system backpressure (maximum allowable)	534.6°C 135.5 m ³ /min 203 mm 10.0 kPa	994.3°F 4785.1 cfm 8 in 40.2 in. water
Heat Rejection Heat rejection to coolant (total) Heat rejection to exhaust (total) Heat rejection to aftercooler Heat rejection to atmosphere from engine Heat rejection to atmosphere from generator	189 kW 634 kW 153 kW 86.0 kW 41.0 kW	10748 Btu/min 36056 Btu/min 8701 Btu/min 4891 Btu/min 2331.7 Btu/min
Alternator² Motor starting capability @ 30% voltage dip Frame Temperature rise	1633 skVA LC7024F 150°C	270°F
Lubrication System Sump refill with filter	64.0 L	16.9 gal
Emissions (Nominal)³ NOx g/hp-hr CO g/hp-hr HC g/hp-hr PM g/hp-hr	5.75 g/hp-hr 0.46 g/hp-hr 0.01 g/hp-hr 0.03 g/hp-hr	

¹ For ambient and altitude capabilities consult your Cat dealer. Air flow restriction (system) is added to existing restriction from factory.

² Generator temperature rise is based on a 40° C (104° F) ambient per NEMA MG1-32. Some packages may have oversized generators with a different temperature rise and motor starting characteristics.

³ Emissions data measurement procedures are consistent with those described in EPA CFR 40 Part 89, Subpart D & E and ISO8178-1 for measuring HC, CO, PM, NOx. Data shown is based on steady state operating conditions of 77°F, 28.42 in HG and number 2 diesel fuel with 35° API and LHV of 18,390 btu/lb. The nominal emissions data shown is subject to instrumentation, measurement, facility and engine to engine variations. Emissions data is based on 100% load and thus cannot be used to compare to EPA regulations which use values based on a weighted cycle.