

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Diseño de las instalaciones eléctricas de un sistema de bombeo
de agua filtrada al pie de la presa de relave en una mina de tajo
abierto en altura**

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electricista.

Elaborado por

Larry Vargas Bautista

ID [0009-0006-4294-2612](#)

Asesor

Dr. Modesto Tomás Palma García

ID [0009-0005-1371-7988](#)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Vargas Bautista [1]
Referencia/Reference	[1] L. Vargas Bautista, “Diseño de las instalaciones eléctricas de un sistema de bombeo de agua filtrada al pie de la presa de relave en una mina de tajo abierto en altura” [Trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style:	
IEEE (2020)	
Citar/How to cite	(Vargas, 2024)
Referencia/Reference	Vargas, L. (2024). <i>Diseño de las instalaciones eléctricas de un sistema de bombeo de agua filtrada al pie de la presa de relave en una mina de tajo abierto en altura</i> . [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional UNI.
Estilo/Style:	
APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A mis padres Mariza y Américo que son
mi modelo de perseverancia, trabajo y
sacrificio en la vida.*

*A mis hermanos por sus palabras y
consejos para cumplir con el objetivo de
titularme.*

*A mi alma mater, la UNI, por mi
formación profesional.*

PP

Resumen

El presente trabajo muestra los criterios y actividades a desarrollar para el diseño eficiente, confiable y seguro de las instalaciones eléctricas de un sistema de bombeo. Debido al crecimiento de la presa de relaves, se presenta la problemática que las instalaciones existentes del sistema de bombeo quedarán bajo la huella del dique. En base a este contexto, se plantea el diseño de las instalaciones eléctricas de un nuevo sistema de bombeo, que satisfaga los requerimientos técnicos y operativos para su adecuada operación en altura, tomando en cuenta que la planta está ubicada a más de 3000 m s. n. m. El diseño de las instalaciones eléctricas comprende cálculo de la máxima demanda para satisfacer el consumo de energía de la planta para evacuar el volumen de agua filtrada, el desarrollo de los diagramas unifilares y hojas de datos de los equipos eléctricos principales, la disposición de los equipos eléctricos, canalización, sistema de iluminación, sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas. La validación se realiza de manera cuantitativa y cualitativa al comparar los resultados obtenidos con las recomendaciones indicadas en las normas y el criterio de diseño de la mina. Los resultados muestran que el diseño cumple con los requerimientos técnicos para la operación y mantenimiento, brindando confiabilidad y seguridad en la instalación. Se concluye que el diseño de las instalaciones eléctricas cumple satisfactoriamente con los requerimientos técnicos para la adecuada operación del sistema a la altitud de trabajo.

Palabras clave – Instalaciones eléctricas en altura, sistemas de bombeo, relaves mineros, manejo y reutilización de agua filtrada.

Abstract

The present work presents the criteria and activities to be developed for the efficient, reliable, and safe design of the electrical installations of a pumping system. Due to the raising of the tailings dam, the issue arises that the existing installations of the pumping system will be located under the footprint of the dam. In light of this context, the design of the electrical installations for a new pumping system is proposed, aiming to meet the technical and operational requirements for its proper operation at an elevated altitude, considering that the plant is located at an altitude of over 3000 meters above sea level. The design of the electrical installations includes the calculation of the maximum demand to meet the plant's energy consumption for discharging the filtered water volume, the development of single-line diagrams and datasheets for the main electrical equipment, the arrangement of electrical equipment, conduits, lighting system, grounding system, and protection against atmospheric discharges. Validation is carried out quantitatively and qualitatively by comparing the obtained results with the recommendations outlined in the standards and the mine design criteria. The results indicate that the design complies with the technical requirements for operation and maintenance, providing reliability and safety in the installation. It is concluded that the design of the electrical installations successfully meets the technical requirements for the proper operation of the system at the specified altitude.

Keywords – High-altitude electrical installations, pumping systems, mining tailings, handling and reuse of filtered water.

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	iv
Abstract.....	v
Introducción.....	xv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	2
1.2.1 <i>Situación problemática</i>	2
1.2.2 <i>Problema a resolver</i>	3
1.3 Objetivos del estudio	4
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.3.3 <i>Indicadores de logro de los objetivos</i>	4
1.4 Antecedentes investigativos	6
1.4.1 <i>Antecedentes nacionales</i>	6
1.4.2 <i>Antecedentes internacionales</i>	7
Capítulo II. Marco teórico y conceptual.....	8
2.1 Marco teórico.....	8
2.1.1 <i>Normativa</i>	8
2.1.2 <i>Sistema de bombeo</i>	10
2.1.3 <i>Cargas características en una instalación de sistema de bombeo</i>	12
2.1.4 <i>Demandas de una instalación</i>	14
2.1.5 <i>Centros de transformación</i>	24
2.1.6 <i>Aplicación factores de corrección por altitud</i>	28
2.1.7 <i>Alimentadores y circuitos derivados en media y baja tensión</i>	31
2.1.8 <i>Disposición de equipos eléctricos</i>	46
2.1.9 <i>Canalización eléctrica</i>	46
2.1.10 <i>Sistema de puesta a tierra</i>	49

2.1.11 Sistema de protección contra descargas atmosféricas	58
2.1.12 Sistema de iluminación.....	60
2.2 Marco conceptual.....	62
2.2.1 Diseño eléctrico	62
2.2.2 Sistema de bombeo.....	62
2.2.3 Presa de relave	63
2.2.4 Mina de tajo abierto	63
2.2.5 Subestación eléctrica.....	63
2.2.6 Sala eléctrica prefabricada	63
2.2.7 Celdas de media tensión (switchgears)	63
2.2.8 Celdas de media tensión encapsulado en gas SF ₆ (Switchgears GIS).....	64
2.2.9 Transformador.....	64
2.2.10 Ducto de barras.....	65
2.2.11 Centro control de motores (CCM)	65
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	66
3.1 Metodología	66
3.1.1 Tipo de investigación.....	66
3.1.2 Diseño de investigación.....	66
3.1.3 Métodos y técnicas para la obtención de datos correlación de datos.....	66
3.1.4 Actividades y metas a desarrollar por objetivo.....	66
3.1.5 Asignación de códigos con los responsables.....	68
3.1.6 Vinculación de las actividades con el personal y cronograma de trabajo....	69
3.2 Relación entre objetivos específicos con los requerimientos obtenidos	72
3.3 Descripción del proyecto.....	72
3.3.1 Datos del proyecto.....	72
3.3.2 Antecedentes del proyecto	73
3.3.3 Alcance del servicio.....	73
3.3.4 Objetivos de la ingeniería	73
3.3.5 Límites de batería.....	73

3.3.6 Exclusiones de la ingeniería	74
3.3.7 Consideraciones generales	74
3.3.8 Descripción del espacio geográfico donde se desarrollará el proyecto	75
3.3.9 Condiciones ambientales.....	75
3.4 Diseño de la solución.....	76
3.4.1 Descripción de la problemática específica durante el desarrollo de la solución.....	76
3.4.2 Explicación de la problemática específica durante el desarrollo de la solución y plantea alternativas	76
3.4.3 Metas verificables del proyecto.....	77
3.4.4 Desarrollo de la solución	80
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	164
4.1 Demanda del sistema de bombeo.....	164
4.2 Selección y especificación de los equipos eléctricos para la altura de operación y unifilares.....	164
4.2.1 Selección de equipos eléctricos.....	164
4.2.2 Desarrollo de unifilares	166
4.3 Arreglo de disposición de equipos eléctricos y canalización eléctrica	166
4.3.1 Arreglo de disposición de equipos eléctricos	166
4.3.2 Arreglo de la canalización eléctrica.....	167
4.4 Diseño del sistema de iluminación	168
4.5 Diseño del sistema de puesta a tierra	169
4.6 Diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas	171
Conclusiones	172
Recomendaciones	175
Referencias bibliográficas	176
Anexos.....	182

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Indicadores.....	5
Tabla 2: Especificaciones técnicas.....	9
Tabla 3: Estándares y detalles constructivos.....	10
Tabla 4: Rango de kVA continuos preferido	25
Tabla 5: Factores de corrección por altitud	30
Tabla 6: Porcentaje de llenado de cables en un tubo	47
Tabla 7: Codificación del personal de trabajo.....	69
Tabla 8: Actividades a desarrollar por personal.....	69
Tabla 9: Cronograma de trabajo del proyecto	70
Tabla 10: Objetivos específicos y requerimientos asociados.....	72
Tabla 11: Condiciones para el diseño	76
Tabla 12: Máxima demanda con factor de reserva en baja tensión.....	90
Tabla 13: Máxima demanda con factor de reserva de la instalación.	90
Tabla 14: Condiciones de sitio y factores para el diseño.....	91
Tabla 15: Tensiones de equipos en 4.16 kV para 4300 m s.n.m.	98
Tabla 16: Parámetros de diseño del proyecto	98
Tabla 17: Resumen de características principales de hoja de datos de transformador de potencia en aceite.	106
Tabla 18: Resumen de características principales de hoja de datos de transformador de distribución seco.....	106
Tabla 19: Resumen de características principales de hoja de datos de la celda GIS 23 kV.....	107
Tabla 20: Resumen de características principales de hoja de datos del ducto de barras en 4.16 kV.....	107
Tabla 21: Resumen de características principales de hoja de datos del centro de control de motores en 4.16 kV	108

Tabla 22:	Resumen de características principales de hoja de datos del centro de control de motores en 480 V	108
Tabla 23:	Resumen de características principales de hoja de datos del grupo electrógeno en media tensión 4.16 kV.....	109
Tabla 24:	Resumen de características principales de hoja de datos de la sala eléctrica prefabricada	109
Tabla 25:	Espacios de trabajo.....	112
Tabla 26:	Profundidad mínima del espacio libre de trabajo al equipo eléctrico.....	112
Tabla 27:	Equivalencia AWG a Kcmil	125
Tabla 28:	Nivel mínimo de iluminación por área de trabajo	136
Tabla 29:	Características de las luminarias	139
Tabla 30:	Resultados obtenidos del software de simulación Dialux Evo.....	142
Tabla 31:	Resultados de cálculo de software Etap.....	156
Tabla 32:	Resultados demanda de la instalación de bombeo.....	164
Tabla 33:	Características de niveles de tensión y aislamiento por equipo	165
Tabla 34:	Capacidad de los equipos seleccionados	165
Tabla 35:	Espacios de trabajo de equipos al interior de sala eléctrica.....	166
Tabla 36:	Separación de transformadores de barreras contra incendio	167
Tabla 37:	Resultados de cálculo de iluminación vs. el requerimiento mínimo.....	168
Tabla 38:	Resultado de cálculos de tensión de toque admisible vs. tensión de toque por falla	169
Tabla 39:	Resultado de cálculos de tensión de paso admisible vs tensión de paso por falla	169
Tabla 40:	Resultado de resistencia admisible vs resistencia calculada	170
Tabla 41:	Resultado Etap vs. Excel.....	170
Tabla 42:	Altura y distancia de protección de cada equipo.....	171

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1:	Situación actual de la presa de relaves y su correspondiente sistema de bombeo.....	2
Figura 2:	Esquema del crecimiento futuro de la presa de relaves y su impacto en el sistema de bombeo existente.....	3
Figura 3:	Diagrama de interrelación de los subsistemas de un sistema de bombeo	11
Figura 4:	Estator de un motor asíncrono	12
Figura 5:	Rotor en jaula de ardilla	13
Figura 6:	Triángulo de potencia.....	15
Figura 7:	Diagrama de metodología de cálculo de máxima demanda	23
Figura 8:	Grupo de conexión Dyn1.....	27
Figura 9:	Grupos de conexión comunes en transformadores de dos devanados ...	28
Figura 10:	Diagrama unifilar de un sistema eléctrico.....	32
Figura 11:	Sección de conductores	33
Figura 12:	Elementos que conforman un cable	34
Figura 13:	Factores de corrección de la temperatura ambiente para cables de media tensión.....	39
Figura 14:	Factores de corrección de la temperatura ambiente para cables de baja tensión.....	42
Figura 15:	Factores de corrección por agrupamiento para más de tres conductores portadores de corriente	43
Figura 16:	Diagrama de flujo para el cálculo de cables	45
Figura 17:	Cables en ductos	47
Figura 18:	Disposición de cables unipolares de media y baja tensión en bandejas...	48
Figura 19:	Disposición de cables de media tensión multipolares en bandejas	49
Figura 20:	Disposición de conductores de baja tensión	49
Figura 21:	Resistividades medias de terrenos típicos	52

Figura 22:	Tensión de toque	53
Figura 23:	Tensión de paso	53
Figura 24:	Zona de protección en la que se muestra una esfera rodante.....	58
Figura 25:	Distancia de protección mediante la aplicación del método de la esfera rodante.....	59
Figura 26:	Cronograma del proyecto.....	71
Figura 27:	Ubicación del área del proyecto	75
Figura 28:	Vínculo y relación actividades segregadas.....	77
Figura 29:	Lista de equipos mecánicos	82
Figura 30:	Cargas con los factores para el cálculo de la demanda	83
Figura 31:	Factores de motores en baja tensión de 1-50 hp	84
Figura 32:	Factores de motores en media tensión 200-100 hp.....	85
Figura 33:	Máxima demanda de las cargas de media tensión.....	88
Figura 34:	Máxima demanda de las cargas de baja tensión.....	89
Figura 35:	Simbología de equipos eléctricos.....	103
Figura 36:	Diagrama unifilar en media tensión 23 kV y 4.16 kV	104
Figura 37:	Diagrama unifilar en baja tensión 480 V.....	105
Figura 38:	Espacios disponibles para el desarrollo de la disposición de equipos y canalización eléctrica	111
Figura 39:	Espacios de trabajo para las tres condiciones.....	113
Figura 40:	Requerimiento de al menos una entrada para acceder al espacio de trabajo.....	114
Figura 41:	Adeuada disposición de un tablero eléctrico grande.....	114
Figura 42:	Inadecuada disposición de un tablero eléctrico grande	115
Figura 43:	Uso de barreras contra incendio de 2 horas y distancias de separación para la protección de las paredes expuestas del edificio.....	115
Figura 44:	Separación y extensión de las barreras contra incendios de 2 horas para la protección de las paredes principales del edificio.....	116

Figura 45:	Arreglo de disposición de equipos eléctricos - vista de planta.....	117
Figura 46:	Arreglo de disposición de equipos eléctricos - secciones	118
Figura 47:	Espaciamiento entre bandejas portacables	119
Figura 48:	Espaciamiento entre bandejas porta cables y tuberías	120
Figura 49:	Espaciamiento entre tuberías.....	121
Figura 50:	Tuberías en banco de ductos típico	122
Figura 51:	Tamaño de conductores por capacidad de conducción.....	123
Figura 52:	Resistencia del cable Ohms/km	124
Figura 53:	Reactancia del cable Ohms/km.....	124
Figura 54:	Cálculo de todos los cables de fuerza del sistema eléctrico	127
Figura 55:	Cables de fuerza en tubería de 4”	128
Figura 56:	Selección de tuberías para canalización de cables	129
Figura 57:	Características de cables 5 kV con 133% o 8 kV con 100 % de aislamiento.....	130
Figura 58:	Disposición de cables en media tensión 4.16 kV.....	131
Figura 59:	Arreglo general de canalización eléctrica	132
Figura 60:	Modelo BIM del sistema de bombeo - vista isométrica.....	133
Figura 61:	Modelo BIM arreglo de canalización eléctrica del área de subestación, sala eléctrica y poste de acometida.....	134
Figura 62:	Modelo BIM canalización área de bombas.....	135
Figura 63:	Área de trabajo a ser iluminada.....	137
Figura 64:	Espacio de trabajo a ser iluminado	138
Figura 65:	Cálculo de iluminación con Dialux Evo.....	140
Figura 66:	Resumen de resultados de superficies (lux).....	141
Figura 67:	Plano de arreglo general de iluminación	143
Figura 68:	Áreas para el desarrollo de la malla del sistema de puesta a tierra.....	145
Figura 69:	Áreas para el diseño e instalación de las mallas del sistema de puesta a tierra.....	147

Figura 70:	Entorno para el cálculo del software Etap	156
Figura 71:	Resultados gráficos de la tensión de toque	157
Figura 72:	Resultados gráficos de la tensión de paso	157
Figura 73:	Área a ser cubierta por la protección contra descargas atmosféricas.....	159
Figura 74:	Zona de protección	160
Figura 75:	Arreglo de sistema de protección contra descargas atmosféricas - planta	162
Figura 76:	Arreglo de sistema de protección contra descargas atmosféricas - secciones.....	163

Introducción

El presente trabajo de suficiencia profesional, Diseño de las instalaciones eléctricas de un sistema de bombeo de agua filtrada al pie de la presa de relave en una mina de tajo abierto en altura, indica las actividades necesarias a desarrollar para el diseño adecuado de las instalaciones eléctricas de un sistema de bombeo.

El trabajo se divide en cuatro capítulos, que son los siguientes:

El capítulo I, Parte introductoria del trabajo, comprende la introducción, se describen las generalidades del trabajo de suficiencia, la situación problemática, los objetivos y los antecedentes investigativos.

El capítulo II, Marcos teórico y conceptual, comprende el marco teórico correspondiente al diseño de instalaciones eléctricas, las normativas, los conceptos, cálculos normalizados y los factores de corrección.

El capítulo III, Desarrollo del trabajo de investigación, inicia con el análisis del problema y la metodología de la investigación, posteriormente, se desarrolla todo lo relacionado al proyecto (datos del proyecto, ubicación, antecedentes, alcance, límites y exclusiones). Finaliza con el diseño de la solución, las metas verificables y el desarrollo de la solución.

El capítulo IV, Análisis y discusión de resultados, presenta los resultados y se realiza el análisis comparativo teniendo como referencias los valores correspondientes indicados en las normas. Finalmente se desarrollan las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

La minería es una de las actividades principales que tiene un impacto positivo en el desarrollo socioeconómico de un país; sin embargo, a lo largo de los años, ha tenido diversas complicaciones con el tema medio ambiental: consumo de los recursos hídricos y la gestión de los relaves. Es así que las disposiciones impuestas por el gobierno, en materia de minería, exigen un mayor compromiso por parte de las mineras en el uso responsable del agua y la gestión relaves (Decreto Supremo N° 040-2014-EM, 2014).

La relevancia de este trabajo reside en demostrar cómo se aplica la ingeniería eléctrica y detallar las acciones necesarias para diseñar las instalaciones eléctricas de un sistema de bombeo. al pie de una presa de relaves en una mina de tajo abierto. Lograr un diseño adecuado de las instalaciones eléctricas del sistema de bombeo bajo las normativas nacionales e internacionales, así como los estándares de la mina.

Con el desarrollo y la implementación del sistema de bombeo correspondiente al presente trabajo, se realizará un adecuado manejo del agua filtrada al pie de la presa de relaves. Toda el agua filtrada de la presa de relaves podrá ser bombeada nuevamente hasta la presa. De esta manera, toda el agua filtrada, compuesta por metales pesados y compuestos químicos, pueda manejarse con responsabilidad y evitar la contaminación del recurso hídrico en el río aguas abajo.

El agua de la poza de relaves se reutilizará en otros procesos de la planta y evitar así el consumo excesivo del recurso hídrico, que garantice sostenibilidad y el impacto en el medio ambiente sea leve. Asimismo, esto produciría un ahorro considerando los incentivos económicos que se brindan para el uso de agua residual según la Resolución Consejo Directivo N° 040-2014-OEFA/CD, 2014.

1.2 Descripción del problema de investigación

1.2.1 Situación problemática

El sistema de bombeo de agua de filtraciones existente, ubicada al pie de la presa de relaves, quedará dentro de la huella de la presa, que dejará fuera operación dicho sistema de bombeo.

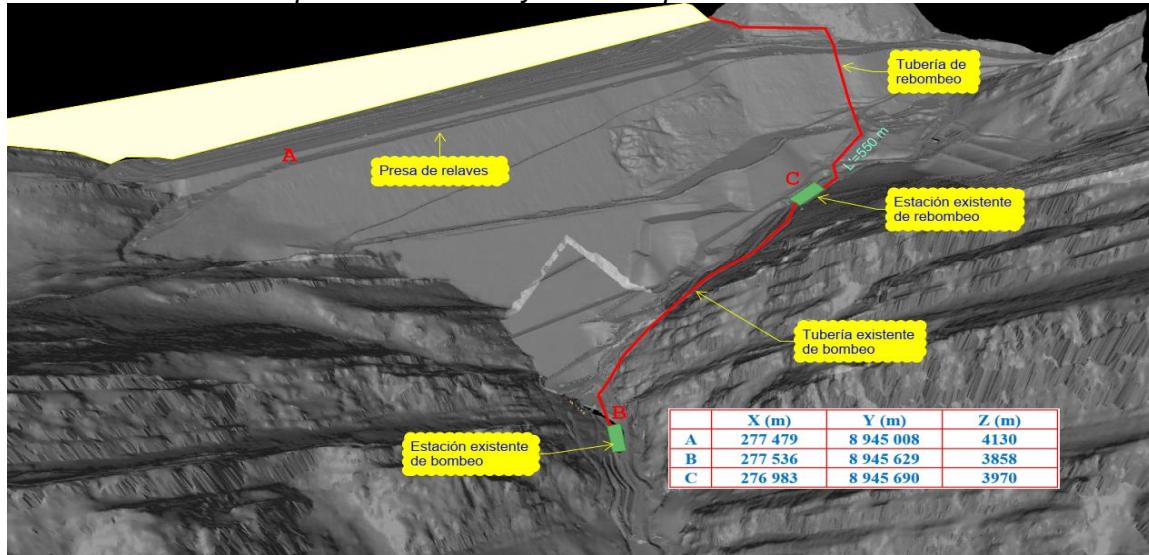
Sin un sistema de bombeo, que pueda recolectar y transportar toda el agua filtrada compuesta por metales pesados provenientes de la presa de relaves, se puede llegar a situaciones con problemas medioambientales por la contaminación del río aguas abajo, conflictos sociales con la comunidad y sanciones económicas impuestas por el gobierno.

La causa principal de este problema es el crecimiento de la presa de relaves y su proyección a futuro que cubrirá o sepultará dicho sistema de bombeo.

Por otra parte, las instalaciones eléctricas ya cumplieron con el tiempo de vida útil del proyecto, volviéndose críticas y poco confiables.

Figura 1

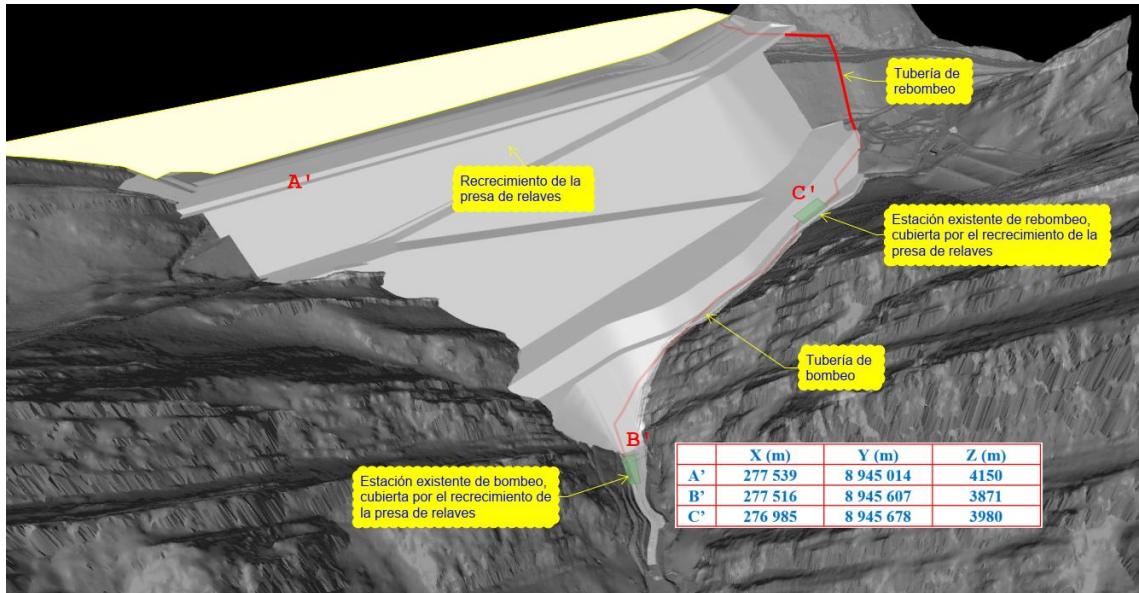
Situación actual de la presa de relaves y su correspondiente sistema de bombeo



Nota: La figura muestra el esquema inicial del sistema de bombeo existente.

Figura 2

Esquema del recrhcimiento futuro de la presa de relaves y su impacto en el sistema de bombeo existente



Nota: La figura muestra la proyección del recrhcimiento de la presa de relaves, así mismo, se ve que los sistemas de bombeos existentes quedan dentro de la huella (sepultadas por la presa de relaves proyectado).

1.2.2 Problema a resolver

A. Problema general

¿El diseño de las instalaciones eléctricas del sistema de bombeo podrá satisfacer los requerimientos técnicos y operacionales para la adecuada operación del sistema a la altitud de trabajo?

B. Problemas específicos

- ¿El sistema eléctrico del sistema de bombeo a diseñarse podrá satisfacer la demanda eléctrica de la planta para evacuar el volumen de agua?
- ¿Los equipos eléctricos cumplirán con los requerimientos técnicos para la altura de operación?
- ¿La disposición de equipos eléctricos y la canalización eléctrica podrán satisfacer los requerimientos técnicos indicados en las normas?
- ¿El sistema de iluminación cumplirá con los niveles mínimos de *lux* indicado en la norma?

- ¿El sistema de puesta a tierra evacuará eficientemente las corrientes de cargas estáticas y corriente de falla a tierra?
- ¿El sistema de protección contra descargas atmosféricas protegerá adecuadamente a la estación?

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 *Objetivo general*

Diseñar las instalaciones eléctricas de acuerdo a las normativas nacionales e internacionales, considerando aspectos técnicos y operacionales para asegurar la adecuada operación del nuevo sistema de bombeo al pie de la presa de relaves en una mina de tajo abierto en altura.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Calcular (desarrollar) la máxima demanda a satisfacer del sistema de bombeo.
- Seleccionar y especificar los requerimientos técnicos de los equipos eléctricos para su adecuada operación en altura.
- Diseñar el arreglo de disposición de equipos eléctricos y la canalización eléctrica de acuerdo a los requerimientos técnicos de las normas.
- Diseñar el sistema de iluminación de acuerdo a los requerimientos mínimos de lux indicados en el anexo 37 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D. S. N° 024-2016-EM.
- Diseñar el sistema de puesta a tierra según la norma IEEE 80 para evacuar las corrientes de cargas estáticas y corrientes de falla a tierra.
- Diseñar el sistema de protección contra descargas atmosféricas según la norma NFPA 780 para proteger adecuadamente la instalación.

1.3.3 *Indicadores de logro de los objetivos*

Los indicadores establecidos en este trabajo se muestran en la tabla 1.

Tabla 1*Indicadores*

Objetivo específico	Indicador de logro	Métrica
Calcular (desarrollar) la máxima demanda a satisfacer del sistema de bombeo.	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia del sistema • Margen de reserva (25 %) 	<ul style="list-style-type: none"> • kW, kVAR, kVA • Porcentaje (%)
Seleccionar y especificar los requerimientos técnicos de los equipos eléctricos para su adecuada operación en altura.	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuada selección de equipos 	
Diseñar el arreglo de disposición de equipos eléctricos y la canalización eléctrica de acuerdo a los requerimientos técnicos de las normas.	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuada distribución de equipos y canalización 	
Diseñar el sistema de iluminación de acuerdo a los requerimientos mínimos de <i>lux</i> indicados en el anexo 37 del “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería” D.S.N° 024-2016-EM.	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuada iluminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Lux
Diseñar el sistema de puesta a tierra según la norma IEEE80 para evacuar las corrientes de cargas estáticas y corrientes de falla a tierra.	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia de la malla (<5 Ω) • Tensión de toque y paso 	<ul style="list-style-type: none"> • Ohmios (Ω) • Voltios (V)
Diseñar el sistema de protección contra descargas atmosféricas según la norma NFPA 780 para proteger adecuadamente la instalación.	<ul style="list-style-type: none"> • Área de protección 	<ul style="list-style-type: none"> • Metros cuadrados (m^2)

Nota: La tabla contiene los objetivos específicos de investigación, los indicadores de logro y las métricas de los mismos.

1.4 Antecedentes investigativos

1.4.1 Antecedentes nacionales

García (2013), en su informe de competencia profesional “Instalaciones eléctricas en 23/4.16 kV y 7.5 MVA para una instalación de bombeo de agua recuperada de una empresa minera”, indica por objetivo desarrollar los planos y documentos a nivel de ingeniería de detalle de las instalaciones eléctricas. Tiene como alcance el desarrollo desde el cable que deriva del último poste de fin de línea hasta las cargas en campo (motores entre otros). Asimismo, se considera el sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas. Del mismo modo, la instalación de este sistema aumentará la capacidad de bombeo de agua recuperada y generará una mayor tasa de procesamiento de mineral al día. Además, minimizará el empleo de agua fresca sin afectar a los recursos hídricos altoandinos.

Yanque (2009), en su tesis “Selección de métodos de medición de sistemas de puesta a tierra en media y alta tensión”, menciona la importancia del sistema de puesta a tierra para el funcionamiento de los sistemas eléctricos y su relación con el suelo donde están instalados. Asimismo, se presentan los criterios fundamentales del funcionamiento del suelo, los instrumentos de medida de la resistividad, resistencia y las tensiones de toque y paso, también, la media de la resistividad del suelo según las características geológicas, los diversos métodos de procesamiento e interpretación de los valores de resistividad aparente obtenidas mediante el método Wenner.

Llerena (2018), en su trabajo de suficiencia “Evaluación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas en una unidad minera a 4000 msnm acondicionando fórmula para la aplicación del método electro geométrico”, afirma que las personas pueden estar en riesgo antes de que se produzca alguna indicación visual o auditiva de una tormenta eléctrica. Razón por la cual, el análisis de la protección se tiene que realizar considerando la seguridad de las personas.

Quispe (2019), en su trabajo de investigación “Optimización en sistemas de iluminación en túneles de faja transportadora”, indica que con la ayuda de la iluminación

LED será posible mejorar el sistema con índices de rendimiento energético, rendimiento en iluminación y mejoras para su futuro mantenimiento, y brindar seguridad y confort a los trabajadores durante su labor. Asimismo, indica que el *software Dialux* es una herramienta excelente para realizar la correcta selección y distribución de luminarias.

1.4.2 Antecedentes internacionales

Urbina (2012), en su tesis denominada “Cálculo y selección de una subestación compacta para un cárcamo de bombas de aguas residuales”, indica por objetivo la metodología de selección de los elementos de una subestación compacta en base a la necesidad de potencia y los niveles de tensión requeridos para el suministro de energía eléctrica. Asimismo, tomar en cuenta la coordinación de aislamiento y la normatividad vigente.

Colmenares y García (2011), en su trabajo “Síntesis de la normativa Minera en Colombia y otras regiones aplicadas al montaje de instalaciones eléctricas”, indican que el objetivo de las normas técnicas, códigos o reglamentos técnicos es el de salvaguardar a las personas y las instalaciones durante la construcción, operación o mantenimiento. Es así que, para cumplir con este objetivo, las normas regulan los requerimientos mínimos que son necesarios o esenciales para el diseño de la instalación y el mantenimiento de los equipos eléctricos, y en consecuencia garantizar la seguridad de las personas.

Serrano, Martínez, Guarddon y Santolaya (2015), en su artículo científico denominado “Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso”, Este trabajo pone de relieve las ventajas económicas y ambientales de utilizar iluminación industrial con tecnología LED. Para respaldar el reemplazo de luminarias de halógenos metálicos de 400W por LED de 200W, se llevaron a cabo simulaciones luminotécnicas y mediciones en campo usando un luxómetro. Los resultados revelan que ambas luminarias ofrecen un desempeño comparable, con un ahorro energético Notable de cerca del 50%.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 Normativa

El presente informe se basa en las normativas nacionales actualmente vigentes. Asimismo, en las normativas internacionales pertinentes, las cuales se pueden considerar que son las más reconocidas dada su trayectoria, rigurosidad y su gran aplicación en la minería y la industria.

- Código Nacional De Electricidad (Suministro 2011)
- NFPA 70: *National Electrical Code* (NEC)
- ANSI C2: *National Electrical Safety Code - NESC*
- IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*
- IEEE C57.12.00: *Standard for General Requirements for Liquid Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*
- IEEE C57.12.10: *Standard Requirements for Liquid Immersed Power Transformers*
- IEEE C57.12.01: *Standard for General Requirements for Dry Type Distribution and Power Transformers*
- IEEE C37.20.3: *Standard for Metal Enclosed Interrupter Switchgear (1 kV to 38 kV)*
- IEEE C37.20.2: *Standard for Metal Clad Switchgear*
- IEEE C37.23: *Standard for Metal Enclosed Bus*
- IEEE C57.13: *Standard Requirements for Instrument Transformers*IEEE 1115: *Recommended practice for Sizing Nickel Cadmium Batteries for Stationary Applications.*
- IEEE 1106: *Recommended Practice for Installation, Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Nickel Cadmium Batteries for Stationary Applications.*
- IEC 62271: *High-Voltage Switchgear and Controlgear*
- IEEE 80: *Guide for safety in AC Substation Grounding.*
- NFPA 780: *Standard for the Installation of Lightning Protection Systems.*

- IEEE C62.82.1: *Standard for Insulation Coordination Definitions, Principles and Rules.*

Por otra parte, la compañía minera desarrolló sus propias especificaciones técnicas de equipos, estándares y criterios de diseño basándose en las normativas internacionales, las cuales se muestran en la tabla 2 y tabla 3.

Tabla 2

Especificaciones técnicas

Especificación técnica	Descripción
CDE-001	Criterio de diseño eléctrico
ESP-001	Especificación Técnica Celda (Switchgear) GIS
ESP-002	Especificación Técnica Celda (Switchgear) de Media Tensión Metal Clad
ESP-003	Especificación Técnica de transformadores Secos
ESP-004	Especificación Técnica Cargador y Banco de Baterías
ESP-005	Especificación Técnica Salas Eléctricas Prefabricadas
ESP-006	Especificación Técnica de Ducto de Barras
ESP-007	Especificación Técnica Protección Contra Descargas Atmosféricas
ESP-008	Especificación Técnica Transformadores de Potencia en Aceite
ESP-009	Especificación Técnica Centro Control de Motores de Media Tensión
ESP-010	Especificación Técnica Centro Control de Motores de Baja Tensión
ESP-011	Especificación Técnica Tableros de Alumbrado
ESP-012	Especificación Técnica Cables de Fuerza de Media Tensión
ESP-013	Especificación Técnica Cables de Fuerza de Baja Tensión
ESP-014	Especificación Técnica Motores de Inducción en Media Tensión
ESP-015	Especificación Técnica Equipos de Iluminación

Nota: La tabla contiene las especificaciones técnicas que se utilizaron para el desarrollo de las hojas de datos.

Tabla 3*Estándares y detalles constructivos*

Estándar	Descripción
EST-001	Estándar Símbolos y Detalles de Canalización
EST-002	Estándar Detalles del Sistema de Puesta Tierra
EST-003	Estándar Detalles del Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas
EST-004	Estándar Detalles del Sistema de Iluminación

Nota: La tabla contiene los estándares constructivos que se utilizaron para el desarrollo de la ingeniería, sistemas de canalización, puesta a tierra, descargas atmosféricas e iluminación.

2.1.2 Sistema de bombeo

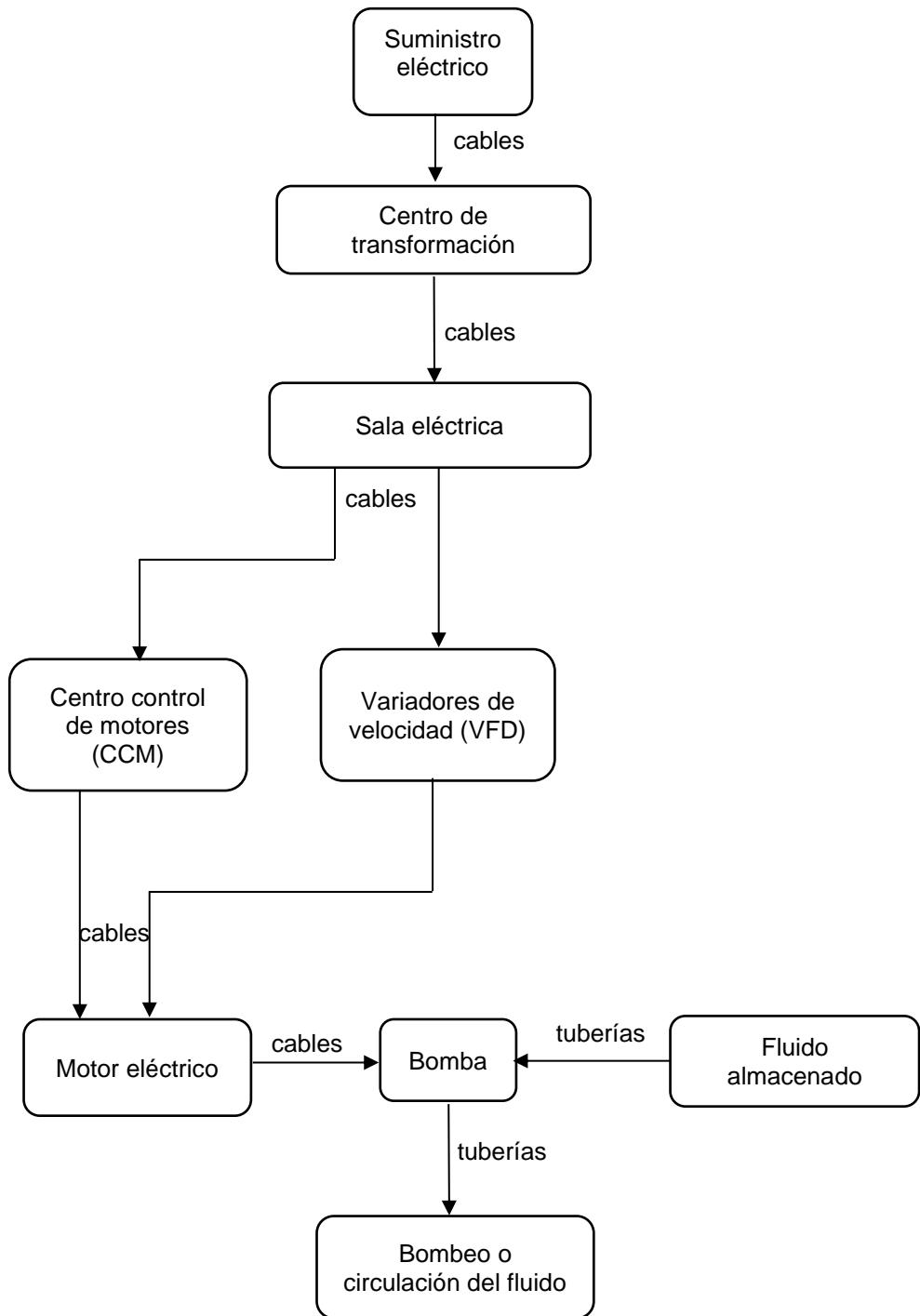
Conjunto de elementos que permiten el almacenamiento temporal de fluidos, así como su transporte mediante tuberías, cumplen determinadas especificaciones de caudal y presión necesarios en diferentes procesos (Blanco, Velarde y Fernández, 1994)

La evacuación de los fluidos a través de las tuberías se hace mediante el uso de bombas que son impulsadas por energía eléctrica.

Todos los componentes del sistema de bombeo interactúan entre sí como un conjunto, existiendo interdependencia entre los distintos componentes del sistema de bombeo, por lo cual, ante cualquier cambio en un componente, esta va a impactar en las demás. El siguiente diagrama de flujo muestra los componentes típicos de un sistema de bombeo.

Figura 3

Diagrama de interrelación de los subsistemas de un sistema de bombeo



Nota: El diagrama muestra la interrelación de los subsistemas de un sistema de bombeo.

2.1.3 Cargas características en una instalación de sistema de bombeo

Antes de diseñar las instalaciones eléctricas, es fundamental conocer las características de las cargas proyectadas para la instalación del sistema de bombeo.

A. Motores de eléctricos. Son máquinas eléctricas rotativas capaces de transformar la energía eléctrica en energía mecánica.

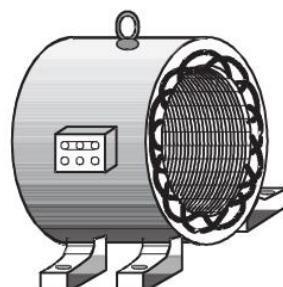
Gracias a su robustez, facilidad de instalación, operación, poco mantenimiento y bajo costo de fabricación, los motores de corriente alterna asíncrona (motores de inducción) son las que tienen mayor aplicación y uso generalizado (Vargas y Saldarriaga, 1990).

A.1. Motores asincrónos. También denominados motores de inducción. Son máquinas de corriente alterna, cuya velocidad de giro (N) es diferente de la velocidad de sincronismo (N_s). El motor de inducción, similar a otra máquina rotativa de conversión de la energía eléctrica a mecánica, está formado por un estator y un rotor.

Generalmente en el estator se ubica el inductor, alimentado por una fuente monofásica o trifásica. El estator está compuesto por una aglomeración de chapas de acero al silicio que disponen de unas aberturas en la superficie interior en las que se ubica un devanado trifásico distribuido alimentado por corriente, de modo que se logra un flujo giratorio distribuido sinusoidalmente por el entrehierro. El estator se encuentra al interior de la carcasa, tal como muestra la figura 4.

Figura 4

Estator de un motor asíncrono

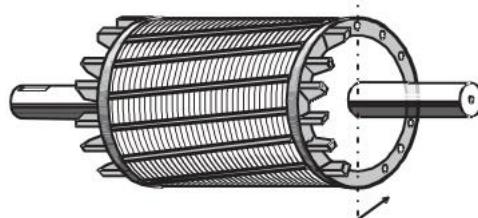


Nota: Tomado de Fraile Mora (2008).

El rotor, que es el inducido, genera corrientes debido a la interacción con el campo magnético del estator. Está compuesto por un conjunto de láminas apiladas que forman un cilindro, el cual cuenta con ranuras en su superficie exterior donde se coloca el devanado. En los rotores tipo jaula de ardilla, hay una serie de conductores de cobre o aluminio que están conectados entre sí mediante dos anillos en los extremos, formando un cortocircuito

Figura 5

Rotor en jaula de ardilla



Nota: Tomado de Fraile Mora (2008).

B. Máquinas de soldar (soldadura por arco eléctrico). La máquina de soldar permite la fijación de dos o más materiales entre sí. La unión se logra utilizando la energía eléctrica con la cual forma un arco eléctrico entre el metal a soldar y el electrodo usado que es el material de aporte que al fundirse se coloca entre las piezas a soldar.

En minería, plantas siderúrgicas, cementeras, entre otras, donde hay una interacción entre equipos, componentes y piezas de metal sometidas a largas jornadas de trabajo y esfuerzo, es ineludible el desgaste y deformación de estos; por consiguiente, es inevitable la parada de planta no programada para realizar las reparaciones de mantenimiento. Las reparaciones con el uso de la soldadura en el mantenimiento es una forma efectiva, generando soluciones prácticas, rápidas y bajo costo, que permiten la reactivación y reducen mayores pérdidas en la producción.

Basado en todos los principios, la soldadura es de carácter fundamental en este tipo de instalaciones. Es así que grandes corporaciones y compañías invierten en equipos y personal especializado en soldadura, y buscan soluciones económicas y racionales, que minimicen riesgos, tiempos y costos (Márquez, 2022, párr.5).

C. Calentadores de espacio (heaters). Se emplean para mantener una temperatura mínima adecuada para evitar la formación de condensación en el equipo, mientras este se encuentra apagado.

Para el caso del motor, el calentador ayuda a prevenir la condensación en el interior del motor, lo que puede dañar los bobinados, los cojinetes y las conexiones eléctricas.

Para el caso de las celdas eléctricas, si hay fuertes cambios de temperatura o regiones con mucha humedad, se tiene que tomar medidas preventivas para evitar la condensación en el interior del compartimiento instalando calefactores.

D. Lámparas LED de iluminación. El uso de la tecnología LED hacen posible un desarrollo más eficiente de los proyectos de iluminación, dado sus diferentes ventajas tanto en consumo, prestaciones, mantenimiento y larga vida útil, brindando así mejores prestaciones con una adecuada iluminación, en cantidad y calidad a los usuarios (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2015, p.54).

2.1.4 Demanda de una instalación

Previo al diseño de la instalación eléctrica, es fundamental realizar el cálculo de la demanda de potencia de toda la instalación proyectada.

Al evaluar la demanda de la instalación, se tiene que considerar diversos factores dada la diversidad de las cargas (no todas operan en simultáneo, tampoco a plena carga o potencia nominal). Si no se tuviera estas consideraciones la instalación sería muy cara, ineficiente y poco práctica desde el punto de vista de la ingeniería (Schneider, 2010).

A. Potencia activa (P). Energía útil o real consumida en el proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo útil: mecánica, lumínica, térmica, etc. Su unidad de medida es el Watts (W).

B. **Potencia reactiva (Q).** Genera el campo magnético que requieren todos los equipos con bobinados o condensadores, como los motores, transformadores, etc. Su unidad de medida es el Voltio - amperio reactivo (VAR).

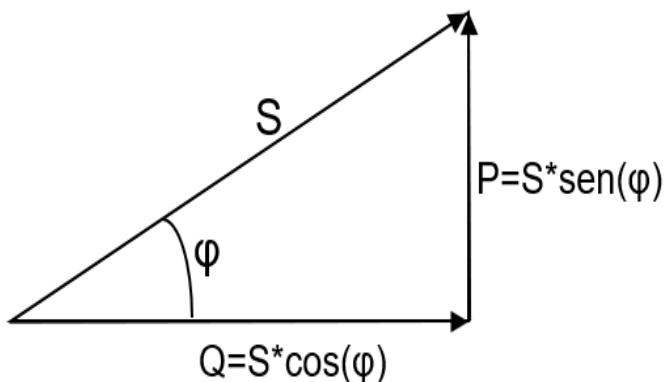
C. **Potencia aparente (S).** Suma vectorial de las potencias activa y reactiva. Su unidad de medida es Voltio amperio (VA).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

D. **Factor de potencia ($\cos\phi$).** Relación entre la potencia útil o real (P) y la potencia aparente (S).

Figura 6

Triángulo de potencia



Nota: La figura representa el triángulo de potencia

E. Potencia nominal (P_n). También se conoce como potencia instalada del equipo.

Es la máxima potencia que demanda un equipo o aparato en condiciones nominales de operación. Esta viene a ser igual a lo indicado en la placa de datos característicos del equipo.

F. Potencia absorbida (P_o). En la práctica, los equipos como los motores no operan a plena carga. Estos, por lo general, operan por debajo de la potencia nominal a la cual se denomina potencia absorbida, que es el valor de la potencia que demanda un equipo durante una operación continua.

La potencia absorbida es necesaria para seleccionar la potencia nominal de los equipos como el grupo electrógeno, transformadores o banco de baterías.

G. Factor de demanda (f_d). Relación entre la potencia consumida en funcionamiento o proceso y la potencia nominal o instalada de un equipo.

$$f_d = \frac{P_o}{P_n} \quad (2)$$

H. Factor de simultaneidad (f_s). Relación entre la máxima demanda del sistema y la suma de las demandas individuales

$$f_s = \frac{\text{Max. demanda del sistema}}{\sum \text{demanda individuales}} \quad (3)$$

I. Eficiencia de operación. Eficiencia del equipo durante la operación o trabajo. Para fines de cálculo se considera la eficiencia de operación al 75% de plena carga o potencia nominal.

J. Eficiencia a plena carga. Eficiencia del equipo al 100% de la potencia nominal.

K. Régimen de carga. Exigencia de servicio que demanda el grado de periodicidad de una carga. Clasificadas de la siguiente manera:

K.1. Continuo. Aplicable a todas las cargas que funcionan de manera continua por un lapso de tiempo indefinidamente largo.

K.2. Variable. Aplicable a las cargas que funcionan en transcurtos de tiempo variables (operación no mayor de 3 horas por día) y que no son prescindibles para el funcionamiento de la planta.

K.3. En espera (stand by). Aplicable a las cargas destinadas para el tema de respaldo o emergencia.

L. Potencia de una instalación (kW). Suma de todas las potencias de los equipos y dispositivos de la instalación.

$$P_{activa\ de\ la\ instalación} = \sum_{i=0}^{i=n} P_i \quad (4)$$

$$P_{Reactiva\ de\ la\ instalación} = \sum_{i=0}^{i=n} Q_i \quad (5)$$

$$P_{aparente\ de\ la\ instalación} = \sum_{i=0}^{i=n} \vec{S}_i \quad (6)$$

M. Metodología de cálculo de la máxima demanda.

La metodología de cálculo está en base al equipamiento electromecánico.

M.1. Datos generales requeridos

- Topología del sistema eléctrico
- Lista de equipos mecánicos con la potencia requerida
- Potencia consumida en el proceso

M.2. Agrupar los equipos y/o cargas según la topología y el nivel de tensión requerido

M.3. Las cargas se clasificaron de la siguiente manera:

- Motores considerando el tipo de arranque
- Alimentadores de tableros y equipos diferentes a motores.

M.4. Datos específicos requeridos según el tipo de carga son los siguientes:

- Para motores
 - Tensión (V)

- Potencia absorbida (kW)
- Potencia instalada (kW)
- Factor de potencia ($\cos\phi$)
- Eficiencia (n)
- Para alimentador / carga
 - Potencia de la carga (kW)
 - Factor de potencia ($\cos\phi$)
 - Potencia instalada (kW)

M.5. La potencia activa consumida por cada equipo se determina mediante la siguiente fórmula.

$$P_0 = \frac{P_N * f_d}{n_0} \quad (7)$$

Donde

P_0 : Potencia activa consumida (kW)

P_N : Potencia nominal (kW)

f_d : Factor de demanda

n_0 : Eficiencia de operación

- Para motores al 75% de plena carga. Valores tomados del catálogo BALDOR.
- Para equipos de iluminación. Se asume: 1.
- Para otras cargas. Se asume: 1.

M.6. Potencia reactiva consumida por equipo (kVAr)

$$Q_a = P_o * \tan(\phi) \quad (8)$$

Donde

Q_o : Potencia reactiva consumida (kVAr)

P_o : Potencia activa consumida (kW)

$\cos\phi$: Factor de potencia de operación.

- Para motores al 75% de plena carga. Valores tomados del catálogo Baldor.
- Para equipos de iluminación. Se asume: 0.90.
- Para otras cargas. Se asume: 0.85.

M.7. Potencia aparente consumida (kVA)

$$P_{a0} = \frac{P_N * f_d}{n_0 * \cos \cos \phi} \quad (9)$$

Donde

P_{a0} : Potencia aparente consumida (kVA)

P_N : Potencia nominal (kW)

f_d : Factor de demanda.

n_0 : Eficiencia de operación.

- Para motores al 75% de plena carga. Valores tomados del catálogo Baldor
- Para equipos de iluminación. Se asume: 1
- Para otras cargas. Se asume: 1

$\cos\phi$: Factor de potencia de operación

- Para motores al 75% de plena carga. Valores tomados del catálogo Baldor
- Para equipos de iluminación. Se asume: 0.90
- Para otras cargas. Se asume: 0.85

M.8. La potencia activa instalada por cada equipo se establece a través de la siguiente fórmula:

$$P_i = \frac{P_N}{n_i} \quad (10)$$

Donde

P_i : Potencia activa instalada (kW)

P_N : Potencia nominal (kW)

n_i : Eficiencia del equipo a plena carga

- Para motores al 100% de plena carga. Valores tomados del catálogo Baldor
- Para equipos de iluminación. Se asume: 1
- Para otras cargas. Se asume: 1

M.9. Potencia reactiva instalada por equipo (kVAr)

$$Q_i = P_i * \tan(\phi) \quad (11)$$

Donde

Q_i : Potencia reactiva instalada (kVAr)

P_i : Potencia activa instalada (kW)

$\cos\phi$: Factor de potencia de operación.

- Para motores al 75% de plena carga. Valores tomados del catálogo Baldor
- Para equipos de iluminación. Se asume: 0.90
- Para otras cargas. Se asume: 0.85

M.10. Potencia aparente instalada por equipo (kVA)

$$P_{ai} = \frac{P_N}{n_i * \cos \cos \phi} \quad (12)$$

Donde

P_{ai} : Potencia aparente instalada (kVA)

P_N : Potencia nominal (kW)

n_i : Eficiencia del equipo a plena carga

- Para motores al 100% de plena carga. Valores tomados del catálogo Baldor
- Para equipos de iluminación. Se asume: 1
- Para otras cargas. Se asume: 1

$\cos\phi$: Factor de potencia a plena carga.

- Para motores al 100% de plena carga. Valores tomados del catálogo Baldor
- Para equipos de iluminación. Se asume: 0.90
- Para otras cargas. Se asume: 0.85

M.11. La potencia activa de operación total por conjunto de cargas, se establece a través de la siguiente fórmula:

$$P_{o,total} = \sum P_o \quad (13)$$

M.12. La potencia reactiva de operación total por conjunto de cargas, se establece a través de la siguiente fórmula:

$$Q_{o,total} = \sum Q_o \quad (14)$$

M.13. La potencia aparente parcial de operación se establece a través de la siguiente fórmula:

$$S_o = \sqrt{(P_{o,total})^2 + (Q_{o,total})^2} \quad (15)$$

Donde

$P_{i,total}$: Potencia activa de operación por conjunto de cargas (kW)

$Q_{i,total}$: Potencia reactiva de operación por conjunto de cargas (kVAr)

M.14. La potencia activa instalada total por conjunto de cargas, se establece a través de la siguiente fórmula:

$$P_{i,total} = \sum P_i \quad (16)$$

M.15. La potencia reactiva instalada total por conjunto de cargas, se establece a través de la siguiente fórmula:

$$Q_{i,total} = \sum Q_i \quad (17)$$

M.16. La potencia aparente parcial instalada se establece a través de la siguiente fórmula:

$$S_i = \sqrt{(P_{i,total})^2 + (Q_{i,total})^2} \quad (18)$$

Donde

$P_{i,total}$: Potencia activa instalada por conjunto de cargas (kW)

$Q_{i,total}$: Potencia reactiva instalada por conjunto de cargas (kVAr)

M.17. La máxima demanda con reserva se establece a través de la siguiente fórmula:

$$MD = \sqrt{(P_{o,total} + 25\% P_{o,total})^2 + (Q_{o,total} + 25\% Q_{o,total})^2} \quad (19)$$

Donde

MD : Máxima demanda con reserva (kVA)

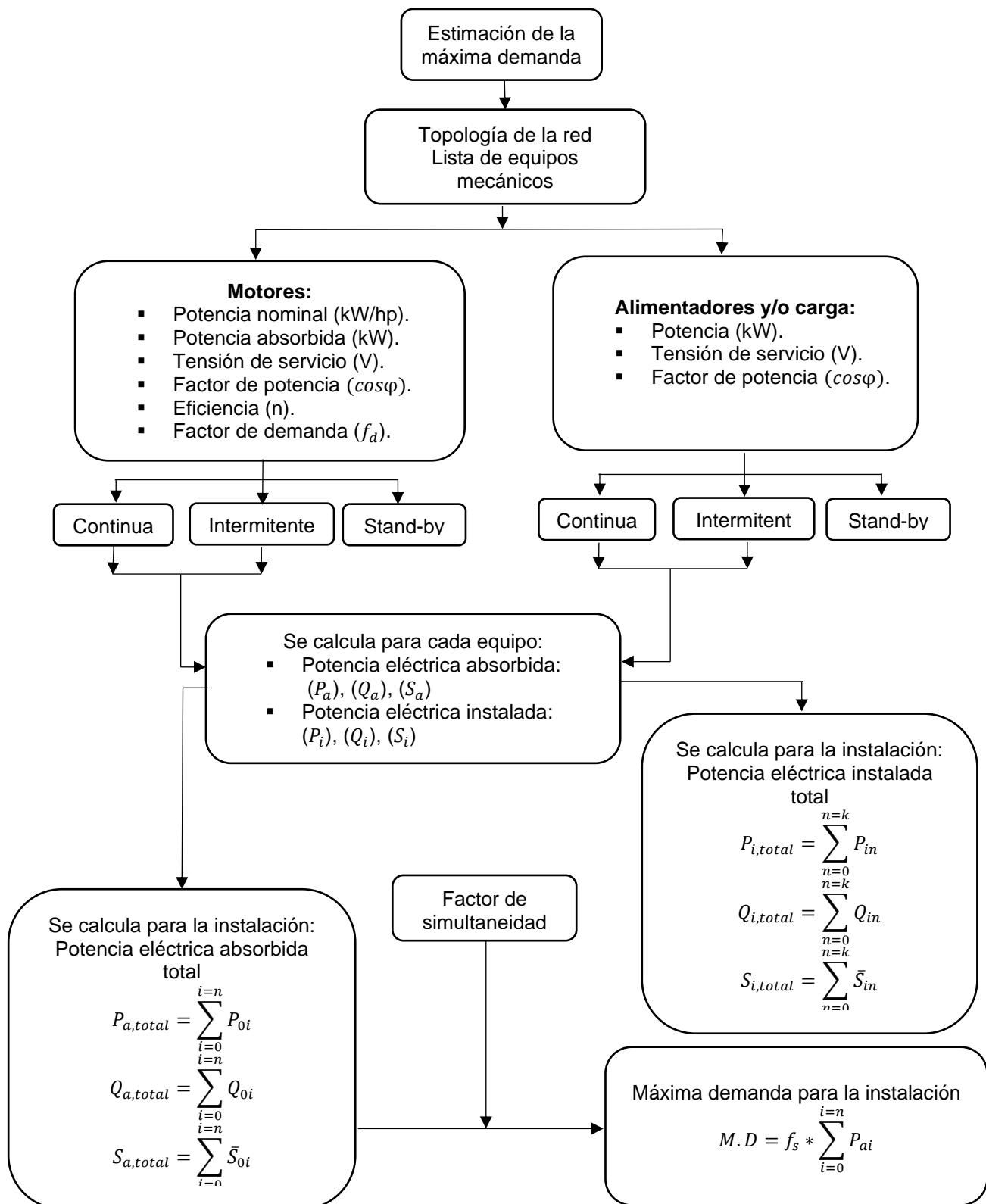
$P_{o,total}$: Potencia activa de operación por conjunto de cargas (kW)

$Q_{o,total}$: Potencia reactiva de operación por conjunto de cargas (kVAr)

N. Diagrama de flujo para el cálculo de la máxima demanda

Figura 7

Diagrama de metodología de cálculo de máxima demanda



Nota: El diagrama de flujo muestra los pasos a seguir y la información requerida para el cálculo de la máxima demanda.

2.1.5 Centros de transformación

Para atender la demanda de una instalación, son fundamentales los centros de transformación, dado que esta nos brindará los niveles de tensión adecuados que requerimos en la instalación.

A. Potencia del transformador. Para especificar la potencia del transformador, tenemos que tener en el cálculo de la potencia que requiere la instalación, con esta información procedemos de la siguiente manera:

A.1. Considerar un margen de reserva (M_s) para cargas a futuro. Esta será de acuerdo a los requerimientos en el criterio de diseño eléctrico que maneja el cliente (minera, industria, etc.), los valores típicos son entre 25% a 30%. La potencia necesaria para seleccionar el transformador está representada en las siguientes ecuaciones:

$$P_T = M_s * P_{o,total} \quad (20)$$

$$Q_T = M_s * Q_{o,total} \quad (21)$$

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} \quad (22)$$

Donde

$P_{o,total}$: Potencia absorbida de la instalación (kW)

$Q_{o,total}$: Potencia reactiva absorbida de la instalación (kVAr).

M_s : Margen de reserva (%).

P_T : Potencia activa para seleccionar el transformador (kW).

Q_T : Potencia reactiva para seleccionar el transformador (kVAr).

S_T : Potencia aparente para seleccionar el transformador (kVA).

A.2. Selección de la potencia del transformador. Es de acuerdo la norma IEEE C57.12.00-2015 *Standard for General Requirements for Liquid Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*, de la siguiente tabla:

Tabla 4

Rango de kVA continuos preferido

Transformadores monofásicos	Transformadores trifásicos
5	15
10	30
15	45
25	75
37.5	112.5
50	150
75	225
100	300
167	500
250	750
333	1000
500	1500
-	2000
833	2500
1250	3750
1667	5000
2500	7500
3333	10 000
-	12 000
5000	15 000
6667	20 000
8333	25 000
10 000	30 000
12 500	37 500
16 667	50 000
20 000	60 000
25 000	75 000
33 333	100 000

Nota: Tomado de Standard for General Requirements for Liquid Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers IEEE Std C57.12.00 (2015).

A.3. Consideración para la selección del transformador. Teniendo en consideración que la potencia del transformador es en kVA (potencia aparente). Tomamos los resultados de cálculo de la ecuación (22) y

procedemos a seleccionar un valor de potencia de la Tabla 4, el cual es el inmediato superior del resultado de la ecuación (22).

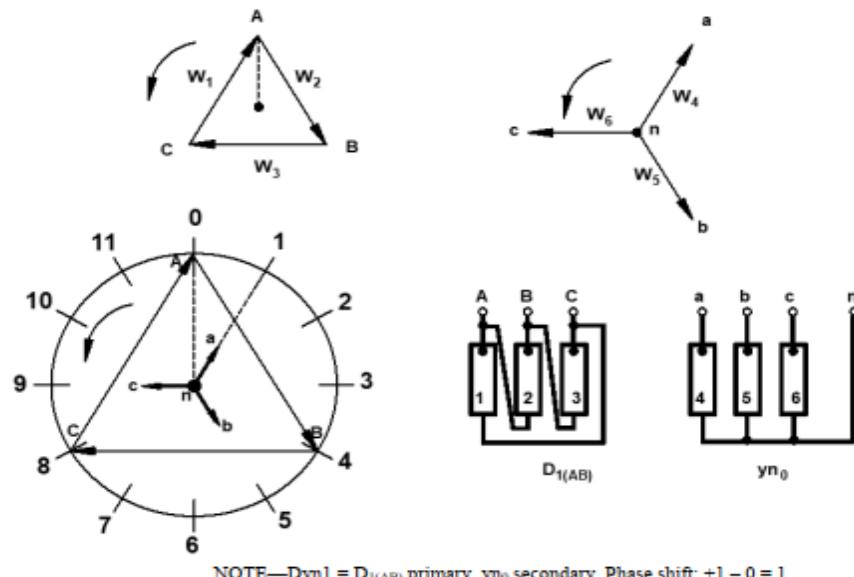
B. Tensión nominal del transformador. Los transformadores pueden fabricarse a diferentes niveles de tensión, sin embargo, por lo general, los niveles de tensión más bajos son aplicados a los transformadores que tienen baja potencia y los niveles de tensión altos son aplicados a los transformadores de gran potencia.

Por otra parte, al especificar la tensión nominal del transformador, se tiene en consideración el criterio de diseño de cliente (minera, industria, etc.), dado que en este documento se muestra los niveles de tensión de distribución estandarizados por el cliente. Tomando todas las consideraciones anteriores, podemos especificar los niveles de tensión tanto en lado primario como en el lado secundario del transformador.

C. Grupo de conexión del transformador. El grupo de conexión del transformador describe cómo están conectados los bobinados. Esta información se presenta en la placa de datos o en el documento del equipo utilizando una nomenclatura específica. Se emplean tres letras y un número: la letra "n" representa el neutro; "D" indica una conexión en triángulo o delta en el lado primario, y "d" en el lado secundario; "Y" señala una conexión en estrella en el lado primario, y "y" en el secundario. Además, el número final representa el desfasaje en grados, en múltiplos de 30°, donde 30° equivale a 1, 60° a 2, 90° a 3, y así sucesivamente.

Figura 8

Grupo de conexión Dyn1

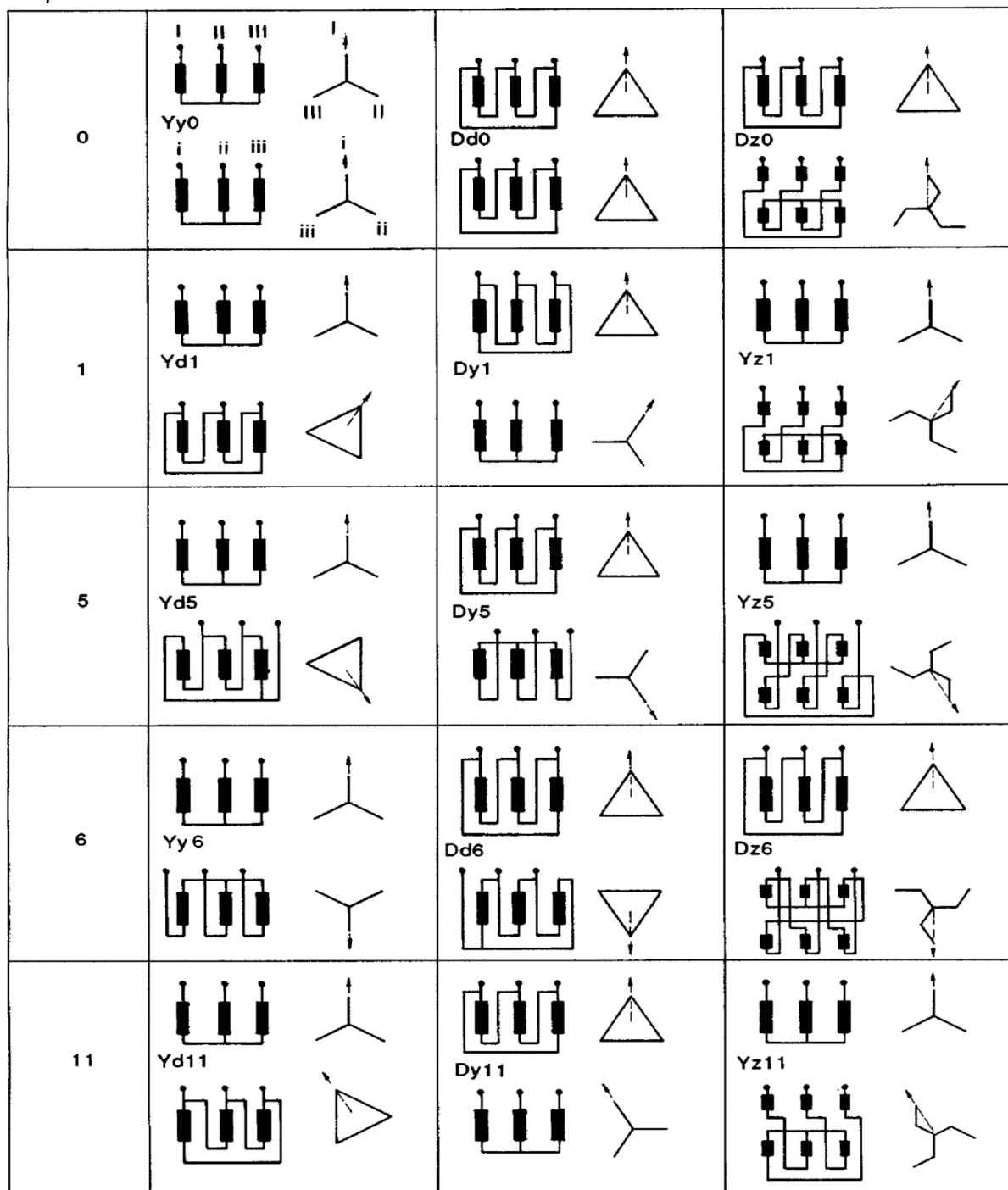


Nota: Tomado de IEEE std C57.12.70 (2020).

Cabe indicar que las compañías mineras, industriales y entre otras, suelen tener definido el grupo de conexión en sus estándares y especificaciones, por lo tanto, se tiene que considerar esto a la hora de seleccionar un transformador.

Figura 9

Grupos de conexión comunes en transformadores de dos devanados



Nota: Tomado de IEC 60076-1(2000)

2.1.6 Aplicación factores de corrección por altitud

En las unidades mineras que se encuentran en las cadenas montañosas a altitudes superiores a los 1000 metros sobre el nivel del mar; a dichas alturas, los rangos eléctricos de funcionamiento en el equipamiento eléctrico, se ven afectados en sus propiedades

dieléctricas debido a la reducción del aire por lo cual todos los equipos eléctricos deben ser compensados para su operación en altura (Huamán, 2022, p. 2)

A. Factor de corrección según IEC. El estándar IEC 62271-200 dentro de sus cálculos para condiciones inusuales como la altitud, recomienda la aplicación de factores de corrección.

A.1. Factor de corrección por tensión. El cálculo de los factores de corrección por altitud para las tensiones que soportan los equipos está dado por

$$k_a = \frac{1}{k_a'} = e^{\frac{m(H-1000)}{8150}} \quad (23)$$

Donde

k_a : Factor de corrección de tensión por altura

k_a' : Factor de corrección con el cual disminuye la redidielectrica con la altura

m : 1.0 para coordinación por tensión atmosférica de impulso que puede soportar

m : 1.0 para tensiones de frecuencia industrial que se puede soportar en espacios de aire y aisladores limpios

H : Altitud sobre el nivel del mar dado en metros

A.2. Factor de corrección por corriente. El cálculo de los factores de corrección por altitud para la corriente que soportan los equipos está dado por

$$ACF = 1 - 0.02 * \frac{(H - 1000)}{1000} \quad (24)$$

Donde

ACF : Factor de corrección de corriente por altura.

H : Altitud sobre el nivel del mar dado en metros.

B. Factor de corrección según IEEE. El estándar ANSI C37.20.2-2015 dentro de su cláusula 8.1.3; para condiciones inusuales como la altitud, recomienda la aplicación de factores de corrección para la tensión y corriente, las mismas que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5

Factores de corrección por altitud

Altitud (m)	Altitud (ft)	Factor de corrección con el cual disminuye la regides dieléctrica con la altura (k_a')	Factor de corrección de corriente por altura (ACF)
1000	3300	1.00	1.00
1200	4000	0.98	0.995
1500	5000	0.95	0.991
1800	6000	0.92	0.987
2000	6600	0.91	0.985
2100	7000	0.89	0.98
2400	8000	0.86	0.97
2700	9000	0.83	0.965
3000	10 000	0.80	0.96
3600	12 000	0.75	0.95
4000	13 000	0.72	0.94
4300	14 000	0.70	0.935
4900	16 000	0.65	0.925
5500	18 000	0.61	0.91
6000	20 000	0.56	0.90

Nota: Basado en Standard for metal clad switchgear IEEE C37.20.2 (2015)

2.1.7 Alimentadores y circuitos derivados en media y baja tensión

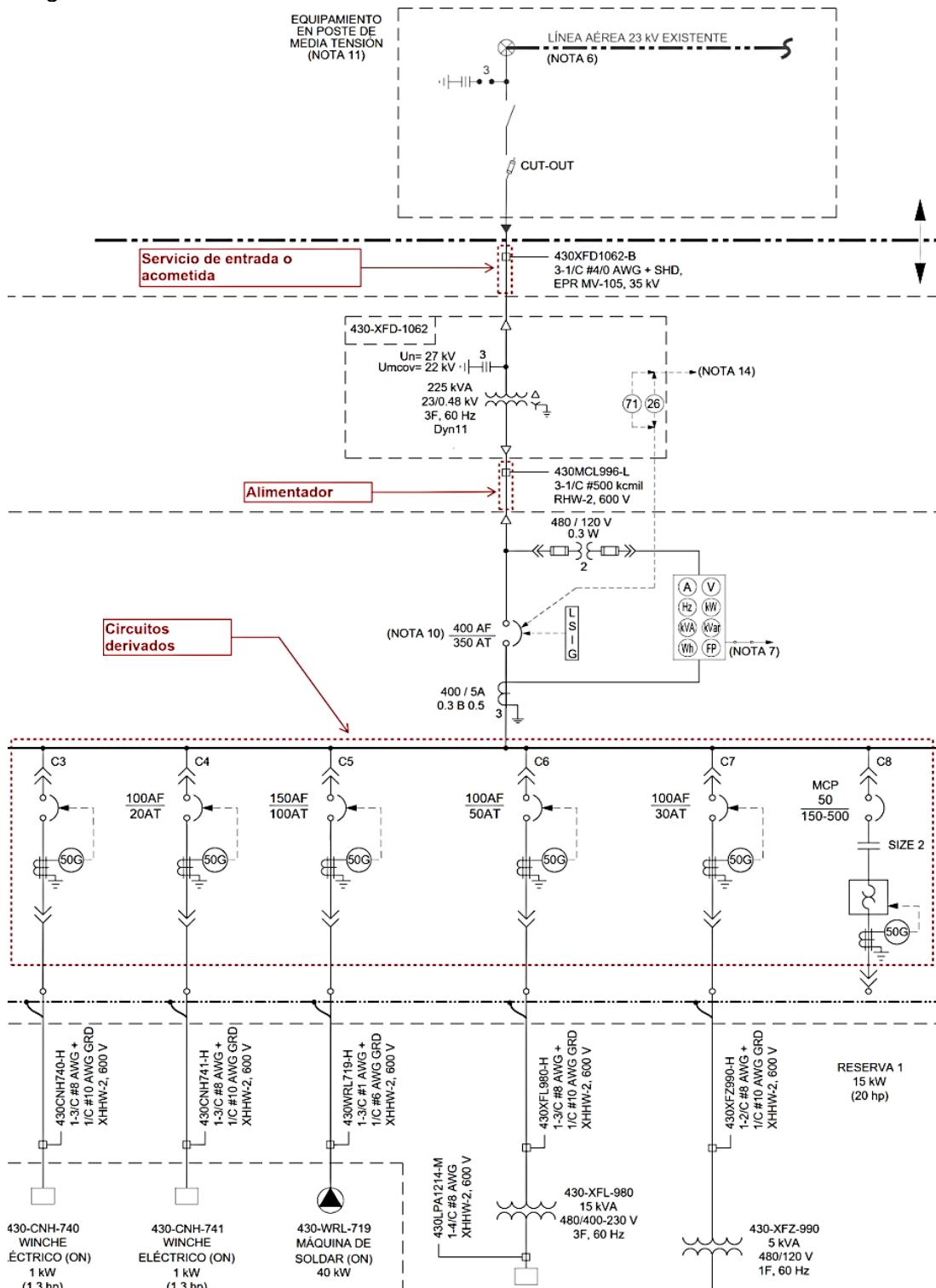
Enriquez (2004) indica que una parte importante de cualquier sistema eléctrico es el alambrado, que conecta a todas las componentes y que se puede dividir en secciones como el servicio de entrada o acometida, alimentadores y circuitos derivados.

- A. Servicio de entrada o acometida.** Son los conductores o cables eléctricos que alimentan al tablero, celda de llegada o transformador de planta. Estos conductores pueden ser aéreos o enterrados (Enriquez, 2004).
- B. Alimentadores.** Son los conductores que entregan energía al equipo de servicio hasta el último punto de protección de sobre corriente. (Enriquez, 2004).
- C. Circuitos derivados.** Enriquez (2004) indica que son los conductores que entregan energía desde el punto de localización del dispositivo de protección de sobre corriente hasta el equipo de utilización.

En la figura 10, se muestra un modelo de diagrama unifilar con los respectivos alimentadores y circuitos anteriormente definidos, así mismo, para la simbología del diagrama unifilar, ver anexo 8.

Figura 10

Diagrama unifilar de un sistema eléctrico



Nota: El diagrama unifilar muestra el sistema eléctrico de manera simplificada, así mismo se puede distinguir la acometida, el alimentador y los circuitos derivados.

D. Cables y conductores. Son los elementos por los cuales circula la corriente eléctrica de la instalación. Su material conductor está hecho de cobre por su alto nivel de conducción o también de aluminio con menos conductividad, pero más económico que el cobre.

Desde el punto de vista de las normas los conductores se designan con números que comúnmente se conocen como calibres. Generalmente, se sigue el sistema de denominación americano AWG (*American Wire Gage*) y estas varían desde el más grueso hasta el más delgado (4/0, 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20). Para los calibres superiores o mayores a 4/0 AWG se hace uso de la designación kcmil, al igual que la anterior estas varían del más delgado al más grueso (250, 350, 500, 750, 1000) (Enriquez, 2004).

Figura 11

Sección de conductores

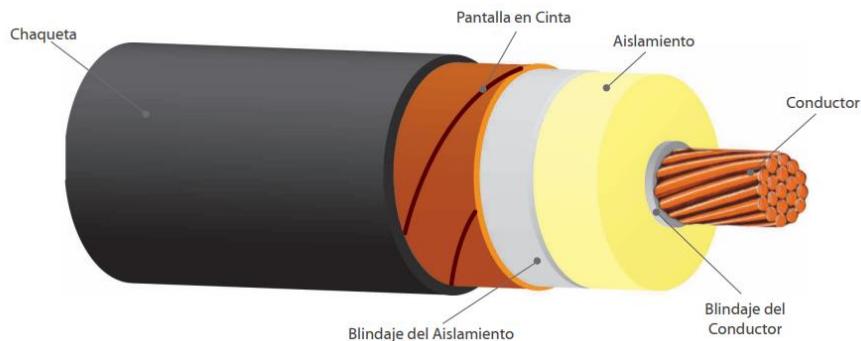
COND. SIZE (AWG or kcmil)	NUMBER OF WIRES	NOMINAL COND. DIAMETER		MINIMUM AVG. INSULATION THICKNESS		NOMINAL CABLE DIAMETER		COPPER WEIGHT		NET WEIGHT		AMPACITY (1) 90°C
		INCHES	mm	INCHES	mm	INCHES	mm	LBS/1000 FT	kg/km	LBS/1000 FT	kg/km	
14 AWG - 750 kcmil CONDUCTORS												
14	19	0.07	1.80	0.030	0.76	0.13	3.38	12	18	17	25	25
12	19	0.09	2.26	0.030	0.76	0.15	3.84	20	30	26	39	30
10	19	0.11	2.87	0.030	0.76	0.18	4.57	32	48	38	57	40
8	19	0.14	3.56	0.045	1.14	0.24	6.10	51	76	65	97	55
6	19	0.18	4.57	0.045	1.14	0.28	7.11	81	121	99	147	75
4	19	0.23	5.84	0.045	1.14	0.33	8.38	129	192	152	226	95
2	19	0.29	7.37	0.045	1.14	0.39	9.91	205	305	233	347	130
1	19	0.32	8.13	0.055	1.40	0.44	11.18	256	381	293	437	145
1/0	19	0.36	9.14	0.055	1.40	0.48	12.19	326	485	364	572	170
2/0	19	0.41	10.41	0.055	1.40	0.53	13.46	411	612	453	674	195
3/0	19	0.46	11.68	0.055	1.40	0.58	14.73	518	772	565	842	225
4/0	19	0.51	12.95	0.055	1.40	0.63	16.00	653	972	706	1051	260
250	37	0.56	14.22	0.065	1.65	0.70	17.78	722	1074	837	1246	290
350	37	0.66	16.76	0.065	1.65	0.80	20.32	1081	1609	1157	1722	350
500	37	0.79	20.07	0.065	1.65	0.93	23.62	1544	2298	1634	2432	430
600	61	0.87	22.10	0.080	2.03	1.04	26.42	1853	2758	1972	2935	475
750	61	0.97	24.62	0.080	2.03	1.15	29.21	2316	3447	2448	3643	535

Nota: Tomado de General Cable, 2016.

D.1. Elementos que conforman un cable

Figura 12

Elementos que conforman un cable



Nota: Tomado de Centelsa (2008)

- **Conductor.** Tiene la función de transportar energía eléctrica. Consiste en un número de hilos según el calibre y los parámetros mecánicos como la flexibilidad (Centelsa, 2008, p.4).
- **Blindaje del conductor (capa semiconductora interna).** Capa que se encuentra en contacto con el conductor en los cables de media tensión, conformado por un material termoestable de características semiconductora que se encarga de recubrir al conductor para darle una forma circular. Este material se encarga de que el campo eléctrico sea radial, obteniéndose una superficie equipotencial (Centelsa, 2008, p.5).
- **Aislamiento.** Capa de polímero que rodea el conductor y que lo aísla de contactos externos (Centelsa, 2008, p. 6).
- **Blindaje de aislamiento (capa semiconductora externa).** Capa que recubre el aislamiento en los cables de media tensión, hecha de polietileno semiconductor. Su objetivo es el confinamiento homogéneo de las líneas de campo eléctrico al interior del aislamiento (Centelsa, 2008, p. 8).
- **Apantallamiento.** Elemento metálico no magnético que se coloca en los cables de media tensión sobre el blindaje del aislamiento para

complementar las funciones del de esta última. Permite el proceso de puesta a tierra (Centelsa, 2008, p.8).

- **Chaqueta.** Elemento que recubre el cable y quedará expuesta al medio, por tal motivo, el material de la chaqueta debe de cumplir los siguientes aspectos: resistente a la humedad, llama, rayos UV, al impacto, abrasión e hidrocarburos (Centelsa, 2008, p.9).

D.2. Ampacidad y límites por temperatura. La ampacidad de un cable es la capacidad de conducción continua de corriente máxima en condiciones de uso sin superar su temperatura de operación para la cual fue diseñada (NFPA 70, 2017, p. 35).

Ningún conductor se debe utilizar por encima de su temperatura de operación para la cual fue diseñada dado que pueden producir daños considerables.

Los factores principales de la temperatura de funcionamiento del conductor son las siguientes:

- La temperatura ambiente que puede sufrir cambios en el tiempo y en el tramo de la longitud del conductor.
- El calor producido por el paso de la corriente, considerando las corrientes fundamentales y sus armónicos.
- La disipación térmica del cable en el medio ambiente. El aislamiento térmico que envuelve a los conductores tiene un impacto en el valor nominal de disipación del calor.
- Los conductores adyacentes portadores de corriente generan un doble efecto de elevar la temperatura ambiente y no permitir la disipación de calor.

D.3. Consideraciones por cortocircuito. El cortocircuito puede tener un efecto de deterioro en los aislamientos de los conductores, razón por la cual se han elaborado técnicas para calcular la capacidad de soporte al cortocircuito en los conductores aislados basados en las limitaciones térmicas del aislamiento, el tiempo de sostenimiento de la corriente y las características del material del conductor.

E. Consideraciones para el cálculo de conductores. Para el cálculo de los conductores se tendrá las siguientes consideraciones:

- En media tensión, se realizará un análisis de capacidad de corriente, caída de tensión y cortocircuito.
- En baja tensión, se realizará un análisis de capacidad de corriente y caída de tensión.
- En media tensión, se considera la actuación de la protección en 0.5 s.
- Para el análisis de capacidad de corriente, se considera un factor de seguridad de 1.25, según lo recomendado por el Código Nacional de Electricidad – utilización.
- Los criterios y factores de corrección aplicables se toman de las tablas de la NFPA 70 - *National Electrical Code* (NEC).

F. Metodología de cálculo para cables de media tensión 23 y 4.16 kV

F.1. Determinamos los criterios de selección

- Por capacidad de corriente.
- Por caída de tensión.
- Por cortocircuito.

F.2. Determinamos la corriente nominal de la carga

Esta es la máxima corriente que puede circular por el conductor eléctrico en servicio cuando la carga a ser alimentada se encuentra al 100% de la potencia nominal.

La corriente nominal se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

- **Cargas trifásicas**

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos(\phi)} \quad (25)$$

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * V} \quad (26)$$

- **Motores trifásicos**

$$I_n = \frac{746 * P_M}{\sqrt{3} * V * n_M * \cos(\phi)} \quad (27)$$

Donde

I_n : Corriente nominal a plena carga (A)

P : Potencia instalada en kW.

P_M : Potencia mecánica en el eje del motor en hp.

S : Potencia instalada en kVA.

V : Tensión nominal en kV.

n_M : Eficiencia mecánica del motor (%)

$\cos(\phi)$: Factor de potencia

F.3. Determinamos la corriente de diseño. Los conductores deben ser seleccionados con una ampacidad admisible no inferior al 125% de la corriente nominal de la carga, según lo indicado en el artículo 210.19(1) de la NEC, 2017.

$$I_{diseño} = 1.25 * I_n \quad (28)$$

La corriente final de diseño será dividida por la cantidad de ternas del cable alimentador.

$$I_{final\ diseño} = \frac{I_{diseño}}{N^{\circ}\ de\ ternas} \quad (29)$$

F.4. Factores de corrección por temperatura. La alta temperatura del ambiente o entorno influye desfavorablemente en la conducción de electricidad dado que incrementa la resistencia eléctrica. En cambio, a menor temperatura mejora la conductividad de la electricidad.

$$I' = I \sqrt{\frac{T_c - T'_a}{T_c - T_a}} \quad (30)$$

Donde

I' : Ampacidad corregida para el nuevo entorno de instalación

I : Ampacidad indicada en la tabla para T_c y T_a .

T'_a : Temperatura del nuevo entorno (°C).

T_a : Temperatura ambiente utilizada en la tabla (°C)

T_c : Temperatura nominal del conductor (°C).

Figura 13

Factores de corrección de la temperatura ambiente para cables de media tensión

Para temperaturas ambientes distintas a 40°C (104°F), multiplique las ampacidades permisibles especificadas en las tablas de ampacidad por el factor apropiado mostrado a continuación.

Temperatura ambiente (°C)	Temperatura nominal del conductor		Temperatura ambiente (°F)
	90°C	105°C	
10 o menos	1.26	1.21	50 o menos
11–15	1.22	1.18	51–59
16–20	1.18	1.14	60–68
21–25	1.14	1.11	69–77
26–30	1.10	1.07	78–86
31–35	1.05	1.04	87–95
36–40	1.00	1.00	96–104
41–45	0.95	0.96	105–113
46–50	0.89	0.92	114–122
51–55	0.84	0.88	123–131
56–60	0.77	0.83	132–140
61–65	0.71	0.78	141–149
66–70	0.63	0.73	150–158
71–75	0.55	0.68	159–167
76–80	0.45	0.62	168–176
81–85	0.32	0.55	177–185
86–90	—	0.48	186–194
91–95	—	0.39	195–203
96–100	—	0.28	204–212

Nota: Tomado de NEC (2017)

F.5. Caída de tensión trifásica en régimen permanente. Las caídas de tensión en el cable deberán limitarse a los valores según documento, Criterio de Diseño Eléctrico, de la compañía minera o industria. Asimismo, a lo indicado en el Código Nacional de Electricidad - utilización 2006.

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * I_n * L * (R\cos(\phi) + X\sin(\phi))}{1000 * N} \quad (31)$$

Donde

ΔV : Caída de tensión

I_n : Ampacidad nominal del conductor en (A)

L : Largo del conductor (m)

R : Resistencia del conductor Ω/km

X : Reactancia del conductor Ω/km

N : Número de terna

F.6. Evaluación por capacidad de cortocircuito. La siguiente ecuación muestra la relación entre la máxima corriente de falla y la temperatura del cobre por cortocircuito.

$$\left[\frac{I}{A} \right]^2 = 0.0297 \log \left[\frac{234 + T_2}{234 + T_1} \right] \quad (32)$$

Donde

I: Máximo valor de corriente asimétrico.

A: Sección transversal del conductor en kcmil.

T₁: Máximo valor de la temperatura de operación normal en °C.

T₂: Máxima temperatura permisible del conductor durante el cortocircuito en °C.

t: Tiempo en segundos en que circula la corriente durante el cortocircuito en segundos.

G. Metodología de cálculo para cables de baja tensión 480 V

G.1. Determinamos los criterios de selección

- Por capacidad de corriente
- Por caída de tensión

G.2. Determinamos la corriente nominal de la carga. Esta es la corriente máxima que puede circular por el conductor eléctrico en servicio cuando la carga a ser alimentada se encuentra al 100% de la potencia nominal.

La corriente nominal se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

- **Cargas trifásicas**

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos(\emptyset)} \quad (33)$$

$$P = S * \cos(\emptyset) \quad (34)$$

- **Cargas monofásicas**

$$I_n = \frac{P}{V * \cos(\emptyset)} \quad (35)$$

$$P = S * \cos(\emptyset) \quad (36)$$

- **Motores trifásicos**

$$I_n = \frac{746 * P_M}{\sqrt{3} * V * n_M * \cos(\emptyset)} \quad (37)$$

- **Motores monofásicos**

$$I_n = \frac{746 * P_M}{V * n_M * \cos(\emptyset)} \quad (38)$$

Donde

I_n : Corriente nominal a plena carga (A)

P : Potencia instalada en kW.

P_M : Potencia mecánica en el eje del motor en hp.

S : Potencia instalada en kVA.

V : Tensión nominal en kV.

n_M : Eficiencia mecánica del motor (%)

$\cos(\emptyset)$: Factor de potencia

G.3. Determinamos la corriente de diseño. Los conductores deben ser seleccionados para una ampacidad admisible no inferior al 125% de la corriente nominal de la carga según lo indicado en el artículo 210.19(1) de la NEC, 2017.

$$I_{diseño} = 1.25 * I_n \quad (39)$$

La corriente final de diseño será la corriente de diseño dividida por la cantidad de ternas del cable alimentador y los factores de corrección.

$$I_{final\ diseño} = \frac{I_{diseño}}{Nº\ de\ ternas * k_1 * k_2} \quad (40)$$

Donde

k_1 : Factor de corrección por temperatura

k_2 : Factor de corrección por agrupamiento

G.4. Factores de corrección por temperatura.

Están basados según la tabla 310.15(B)(2)(a) del NEC 2017.

Figura 14

Factores de corrección de la temperatura ambiente para cables de baja tensión

Para temperaturas ambientes distintas a 30°C (86°F), multiplique las ampacidades permisibles especificadas en las tablas de ampacidad por el factor de corrección apropiado mostrado a continuación.

Temperatura ambiente (°C)	Temperatura nominal del conductor			Temperatura ambiente (°F)
	60°C	75°C	90°C	
10 o menos	1.29	1.20	1.15	50 o menos
11–15	1.22	1.15	1.12	51–59
16–20	1.15	1.11	1.08	60–68
21–25	1.08	1.05	1.04	69–77
26–30	1.00	1.00	1.00	78–86
31–35	0.91	0.94	0.96	87–95
36–40	0.82	0.88	0.91	96–104
41–45	0.71	0.82	0.87	105–113
46–50	0.58	0.75	0.82	114–122
51–55	0.41	0.67	0.76	123–131
56–60	—	0.58	0.71	132–140
61–65	—	0.47	0.65	141–149
66–70	—	0.33	0.58	150–158
71–75	—	—	0.50	159–167
76–80	—	—	0.41	168–176
81–85	—	—	0.29	177–185

Nota: Tomado de NEC (2017)

G.5. Factores de corrección por agrupamiento

Tuberías. Para el caso de cables instalados en tuberías expuestas con longitud mayor a 600 mm o tuberías enterradas con longitud mayor a 3 m se consideran los factores de corrección de la tabla 310.15(B)(3)(a) del NEC 2017. Están basados según la tabla 310.15(B)(2)(a) del NEC 2017.

Factores de ajuste en ductos metálicos, Artículo 376.22 (B) del NEC
2017.

Figura 15

Factores de corrección por agrupamiento para más de tres conductores portadores de corriente

Cantidad de conductores ¹	Porcentaje de los valores de las Tablas 310.15(B)(16) a 310.15(B)(19) ajustados para la temperatura ambiente, si fuera necesario
4–6	80
7–9	70
10–20	50
21–30	45
31–40	40
41 y más	35

Nota: Tomado de NEC (2017)

En nuestro caso se considera que el tubo individualmente contiene un circuito, por lo tanto, se considera $k_1=1$

Bandejas. Para cables multipolares en bandejas cuya tapa supere 1.8m de longitud se considerará según artículo 392.80(1)(b) NEC 2017.

$$k_2=0.95$$

Para cables unipolares instalados en bandejas cuya tapa supere 1.8m de longitud se considerará lo indicado según artículos 392.80(2)(a), (b) y (c) del NEC 2017.

$k_2=1$: Cables menores a 1/0 AWG (50mm²).

$k_2=0.6$: Cables de 1/0 AWG (50mm²) hasta 500 kcmil (240mm²).

$k_2=0.7$: Cables de 600 kcmil (300mm²) o mayores.

G.6. Caída de Tensión en Régimen Permanente

Las caídas de tensión en el cable deberán limitarse a los valores según documento "Criterio de Diseño Eléctrico" de la compañía minera o industria. Así mismo a lo indicado en el Código Nacional de Electricidad - utilización 2006.

- **Trifásica**

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * I_n * L * (R\cos(\phi) + X\sin(\phi))}{1000 * N} \quad (41)$$

- **Monofásica**

$$\Delta V = \frac{2 * I_n * L * (R\cos(\phi) + X\sin(\phi))}{1000 * N} \quad (42)$$

Donde

ΔV : Caída de tensión.

I_n : Ampacidad nominal del conductor en (A).

L : Largo del conductor (m).

R : resistencia del conductor Ω/km

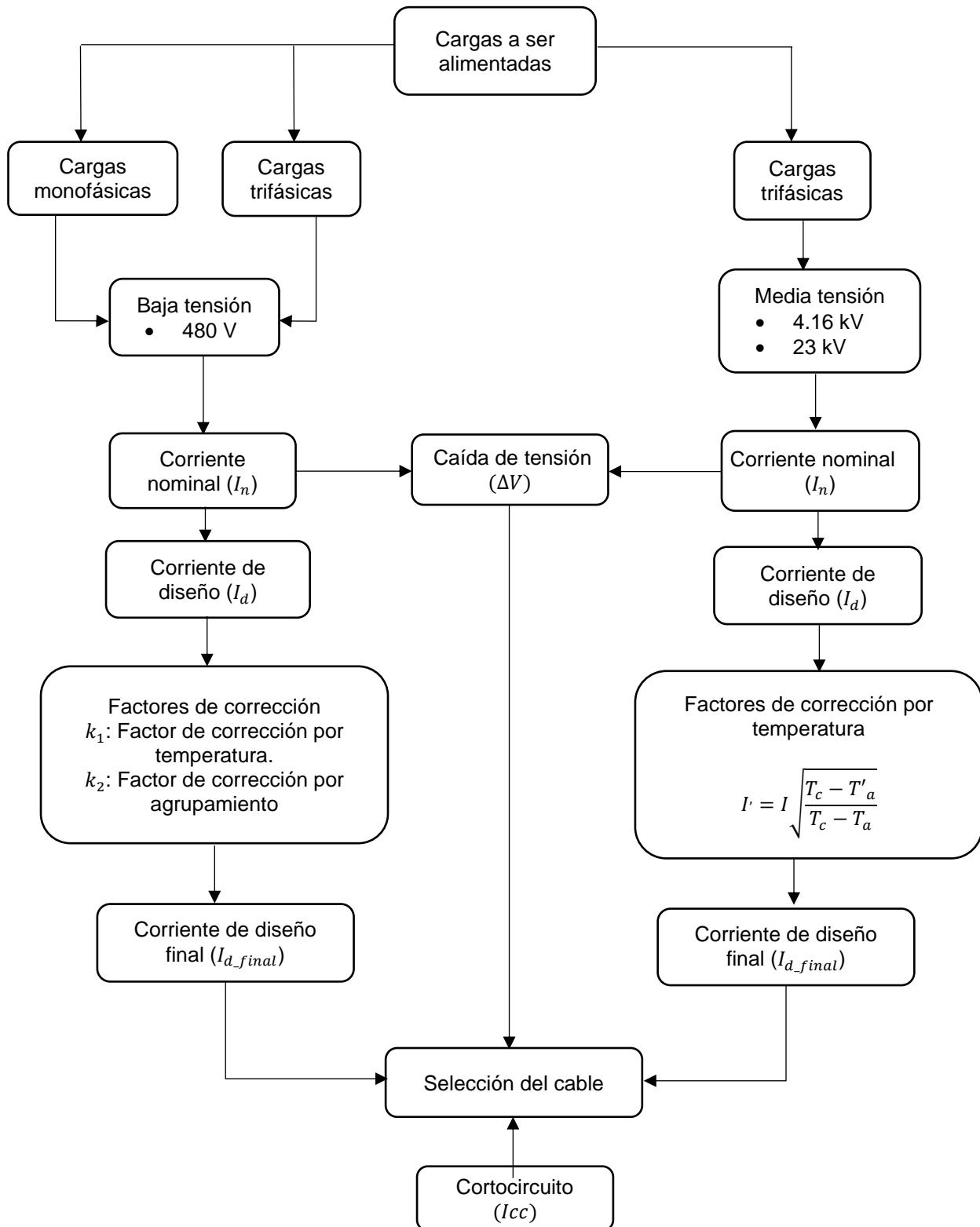
X : reactancia del conductor Ω/km

N : Número de ternas

H. Diagrama de flujo para el cálculo de cables

Figura 16

Diagrama de flujo para el cálculo de cables



Nota: El diagrama de flujo muestra los pasos a seguir y la información requerida para el cálculo de cables eléctricos.

2.1.8 Disposición de equipos eléctricos

Es el arreglo de cómo tiene que ir distribuido los equipos eléctricos en una subestación y sala eléctrica. Para la distribución de los equipos eléctricos, principalmente se consideran los niveles de tensión para así agrupar un conjunto de equipos con los mismos niveles de tensión en un área específica. Asimismo, se considera las recomendaciones de las normas vigentes para los espacios de separación y también las recomendaciones de los proveedores de los equipos.

El arreglo de disposición de equipos será planteado para adaptarse al área disponible para realizar la distribución de equipos, considerando los principios de operación y mantenimiento.

2.1.9 Canalización eléctrica

Es el conjunto los elementos que se encargan de contener y proteger a los cables eléctricos en toda su trayectoria, asimismo, distribuir los cables de manera uniforme y ordenada en la instalación.

Las canalizaciones eléctricas son diseñadas y elaboradas para adecuarse a cualquier ambiente donde se solicite llevar un cableado eléctrico; por ello, existen canalizaciones empotradas, en superficies, al aire libre, zonas húmedas y subterráneas.

A. Tubos o Conduit

A.1. Tubos PVC. Su denominación viene del compuesto Policloruro de Vinilo (PVC).

Es resistente, rígido, se pueden instalar en ambientes húmedos y soportan algunos químicos, además de ser livianos y de alta resistencia. Son muy utilizadas en los proyectos que requieran canalización subterránea.

A.2. Tubos HDPE. Son ductos fabricados de polietileno de alta densidad, tienen una mayor resistencia a la temperatura, presión y corrosión. Al igual que las tuberías PVC, son utilizadas en los proyectos que requieran canalización subterránea.

A.3. Tuberías metálicas rígidas de acero galvanizado. Este tipo de tubos es utilizado para la canalización exterior, dado su gran resistencia a impactos y su versatilidad facilitando la trayectoria que se le quiera dar a la canalización.

A.4. Tuberías flexibles metálicas. Estas son fabricadas en acero y pasan por recubrimiento galvanizado. Tienen gran flexibilidad y resistencia a la torsión. Se utilizan para el tramo final de canalización a motores.

A.5. Número de conductores en un tubo (Conduit). En vista a las restricciones térmicas, el número de conductores al interior de un tubo se limita al arreglo físico de acuerdo con la sección del tubo, facilitando el alojamiento del aire necesario para la disipación de calor. A continuación, se establece la relación apropiada entre la sección del tubo y la de los conductores al interior de esta.

Tabla 6

Porcentaje de llenado de cables en un tubo

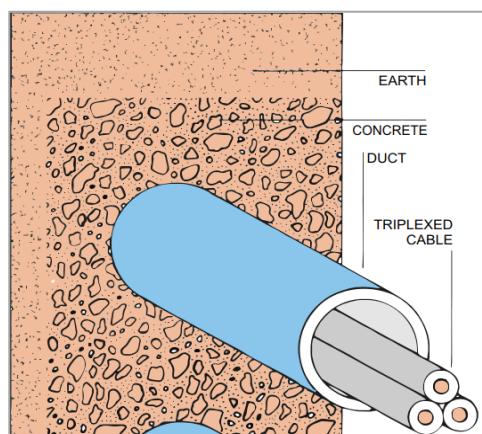
Nº de conductores	% de llenado
1	53%
2	51%
Mas de 2	40%

Nota: Adaptado de *National Electrical Code* (2017).

En general, el porcentaje de llenado de los cables en los ductos deberá ser menor a 40% del área de la sección transversal del ducto.

Figura 17

Cables en ductos



Nota: Tomado de The Okonite Company, Engineering Handbook (2022).

$$\%A_{ll} = \frac{(\sum_{i=0}^n A_i) * 100}{A_d} \leq 40\% \quad (43)$$

Donde

$\%A_{ll}$: Porcentaje de llenado del ducto

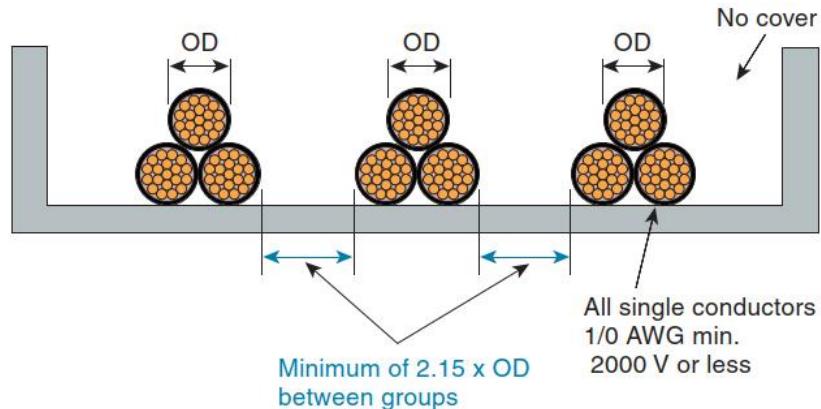
A_d : Área de la sección transversal del ducto mm².

$\sum_{i=0}^n A_i$: Sumatoria de las áreas de las secciones transversales del conjunto de cables dentro del ducto.

B. Bandejas metálicas. Son una especie de canales que sirven para proteger, conducir y ordenar el cableado. Son bien versátiles debido a que pueden tomar distintas direcciones facilitando así el tendido de cable en diferentes sentidos. Son sencillos y el montaje es rápido, además que se encuentran en múltiples medidas. La disposición de los cables en las bandejas puede ser tal como se indica en la figura 18 y figura 19.

Figura 18

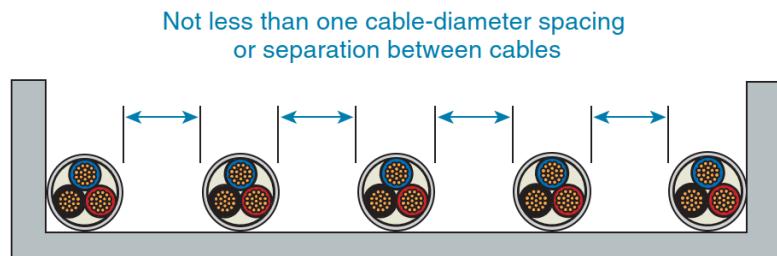
Disposición de cables unipolares de media y baja tensión en bandejas



Nota: Tomado de NEC HANDBOOK (2017)

Figura 19

Disposición de cables de media tensión multipolares en bandejas

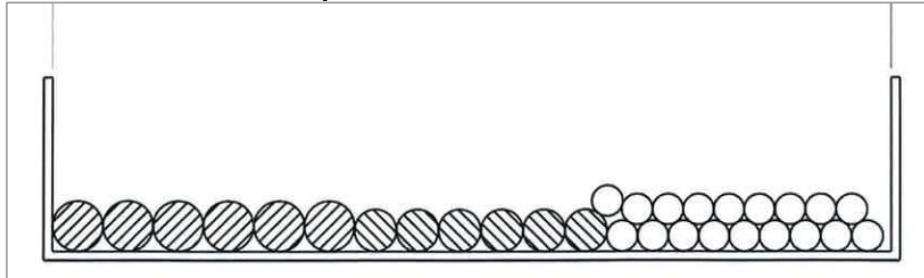


Nota: Tomado de NEC HANDBOOK (2017)

Para los cables de baja tensión con pequeñas secciones transversales, la disposición puede realizarse de la siguiente manera, manteniendo lo establecido en el artículo 392.22 del Código Eléctrico Nacional (NEC-2017).

Figura 20

Disposición de conductores de baja tensión



Nota: La figura muestra la disposición de cables de baja tensión con pequeñas secciones de acuerdo con la norma NFPA 70.

C. Banco de ductos. Es una canalización eléctrica entre dos puntos. El cual posee dos o más ductos que forman un conjunto, los cuales están recubiertos por hormigón (banco de ductos simple) o hormigón y componentes metálicos (banco de ductos reforzado). Esta última se utiliza, por lo general, en lugares donde habrá cruce de vehículos pesados.

2.1.10 Sistema de puesta a tierra.

Existen dos objetivos principales por las cuales se debe de diseñar e implementar un sistema de puesta a tierra segura en una instalación eléctrica (IEEE Std 80, 2013).

- Disponer de un medio para disipar las corrientes eléctricas a tierra en condiciones de operación y de falla, sin exceder los límites de operación de la red y el equipo.
- Salvaguardar la integridad física de las personas, asegurar que no estén expuestas al peligro de las corrientes eléctricas de choque.

A. Puesta a tierra de servicio. “Se considera a la puesta a tierra del neutro de alimentación de transformadores, generadores, etc.” (Conejo, Arroyo, Milano, Alguacil, Polo, García, Contreras, Clamagirand y López, 2007, p. 234).

B. Puesta a tierra de protección. “La puesta a tierra de partes metálicas que no están en tensión pero que pueden llegar a estar debido a una falla” (Conejo et al., 2007, p.234).

C. Parámetros para el diseño de la malla a tierra

C.1. Corriente máxima a disipar por la malla (I_G). “Es el valor máximo de diseño de la corriente de falla a tierra que fluye a través de la malla de la subestación hasta la tierra circundante” (Ramírez y Cano, 2010, p. 23).

C.2. Corriente simétrica de falla a tierra (I_F). “Es el valor de la corriente que circula a través de la tierra hasta regresar a la fuente que la origina formando así un circuito cerrado” (Ramírez y Cano, 2010, p. 23).

Pueden ser

- Falla línea – línea -tierra
- Falla línea – tierra

C.3. Duración de la falla (t_f). Reflejo del tiempo de despeje de la falla. El despeje rápido de la falla puede ser ventajosa por dos razones (IEEE Std 80, 2013).

- Reducción de la probabilidad a la exposición a descargas eléctricas en contraste con situaciones en las que la corriente de falla puede persistir minutos o inclusive horas

- Al reducir el tiempo del flujo de corriente a través del cuerpo durante un periodo muy breve puede disminuir la probabilidad de sufrir lesiones graves o muerte.

C.4. Geometría de la malla. El espaciamiento entre conductores, la profundidad de la instalación, la longitud total del conductor de la malla y sobre todo el área de instalación del sistema de puesta a tierra tiene gran importancia en la determinación de la resistencia de la malla. Sin embargo, hay limitaciones físicas y sobre todo económicas (Ramírez y Cano, 2010, p. 27).

C.5. Resistividad de la capa de superficial. Una capa de alta resistividad (grava o roca volcánica) sobre la superficie ayuda a limitar o reducir la corriente que pasaría por el cuerpo humano (incrementa la resistencia de contacto entre el suelo y los pies). Dado que esta capa agrega una resistencia adicional a la resistencia promedio del cuerpo humano. Además de ello, retarda la evaporación de la humedad y por consiguiente el secado de la capa superior en periodos de verano (IEEE Std 80, 2013).

El efecto de reducción anteriormente mencionado se puede representar mediante un factor C_s .

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09} \quad (44)$$

Donde

C_s : Factor de disminución de la capa superficial

ρ : Resistividad del terreno ($\Omega\text{-m}$)

ρ_s : Resistividad de la capa superficial ($\Omega\text{-m}$)

h_s : Espesor de la capa superficial

C.6. Resistividad del terreno. Los gradientes de potencial están directamente relacionados con la resistividad del terreno, por lo cual se tiene que realizar una

adecuada medición en campo considerando que la humedad, la temperatura ambiente y el contenido de químicos afectan de manera directa a la resistividad (Ramírez y Cano, 2010, p. 28).

C.7. Investigación de la estructura del suelo. “Las pruebas de las muestras de terreno producto de las excavaciones, perforaciones, y otras investigaciones geológicas, proporcionan información útil sobre naturaleza del suelo y dan una idea de la resistividad del terreno del sitio” (Ramírez y Cano, 2010, p.28).

Figura 21

Resistividades medias de terrenos típicos

Terreno	Símbolo del Terreno	Resistividad Media [Ω.m]
Grava de buen grado, mezcla de grava y arena	GW	600 – 1 000
Grava de bajo grado, mezcla de grava y arena	GP	1 000 – 2 500
Grava con arcilla, mezcla de grava y arcilla	GC	200 – 400
Arena con limo, mezcla de bajo grado de arena con limo	SM	100 – 500
Arena con arcilla, mezcla de bajo grado de arena con arcilla	SC	50 – 200
Arena fina con arcilla de ligera plasticidad	ML	30 – 80
Arena fina o terreno con limo, terrenos elásticos	MH	80 – 300
Arcilla pobre con grava, arena, limo	CL	25 – 60
Arcilla inorgánica de alta plasticidad	CH	10 – 55

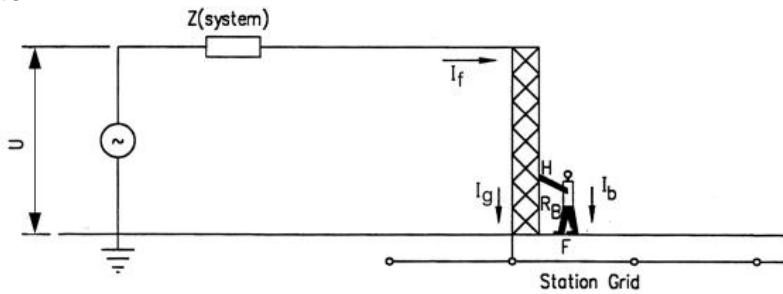
Nota: Tomado del Código Nacional de Electricidad – utilización (Minen, 2006)

C.8. Criterio de tensiones de paso y de toque tolerables. La seguridad de una persona está condicionada a la prevención de cantidades críticas de energía de choque absorbidas por el cuerpo humano, previo a que la falla sea despejada y el sistema sea des energizado (IEEE Std 80, 2013).

Tensión de toque. Diferencia de potencial que una persona podría estar sometida al tocar un objeto metálico o estructura en el momento de producirse una corriente de falla con los pies en contacto con el suelo.

Figura 22

Tensión de toque

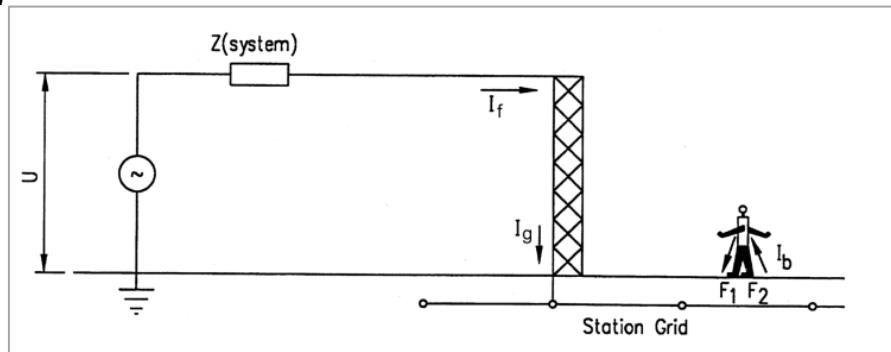


Nota: Adaptado de IEEE Std 80 (2013)

Tensión de paso. Diferencia de potencial que una persona podría estar sometida al caminar por las proximidades del sistema de puesta a tierra con una separación de 1 m entre los pies al momento que se produce una corriente de falla.

Figura 23

Tensión de paso



Nota: Adaptado de IEEE Std 80 (2013)

Durante una falla, los valores máximos de tensión tolerables por el cuerpo humano de 50 kg de masa corporal no deben exceder los siguientes límites definidos.

- **Máxima tensión de paso tolerable por un cuerpo de 50 kg de peso corporal**

$$E_{P\ 50} = (1000 + 6C_s\rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (45)$$

- **Máxima tensión de toque tolerable por un cuerpo de 50 kg de peso corporal.**

$$E_{T\ 50} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (46)$$

Donde

$E_{P\ 50}$: Es la tensión de paso en Volt (V)

$E_{T\ 50}$: Es la tensión de toque en Volt (V)

C_s : Factor de disminución de la capa superficial calculada con la ecuación (35)

ρ_s : Resistividad del material de la capa superficial en ohm- metro ($\Omega\text{-m}$)

t_s : Es el tiempo de duración del cortocircuito en segundos (s)

D. Procedimiento de cálculo del sistema de puesta a tierra

D.1. Determinar la sección del conductor de la malla. Por lo general, se acostumbra utilizar un conductor de 95 mm² o 4/0 AWG para la malla de puesta a tierra.

D.2. Determinar el coeficiente de contacto de acuerdo a la ecuación (44)

D.3. Determinar las tensiones de toque y paso tolerables de acuerdo a las ecuaciones (45) y (46), para un tiempo de 0.05, 0.3 y 0.5 segundos.

D.4. Calcular la tensión máxima de toque (E_T).

$$E_T = K_m * K_i * \rho * \frac{I_G}{L_M} \quad (47)$$

Donde

K_m : valor geométrico de espaciamiento de la malla.

K_m : valor geométrico de espaciamiento de la malla.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16h'd_c} + \frac{(D+2h')^2}{8Dd_c} - \frac{h'}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] \quad (48)$$

D : Espaciamiento máximo entre conductores en m.

K_h : Factor de corrección que cuenta los efectos de la profundidad de la malla.

$$K_h = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{h}{h_0}\right)}} \quad (49)$$

K_{ii} : Factor de corrección que ajusta los efectos de los conductores sobre la esquina de la malla.

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} \quad (50)$$

n : Representa el número de conductores paralelos en una malla rectangular equivalente.

$$n = n_a * n_b \quad (51)$$

$$n_a = \frac{2 * L_C}{L_p} \quad (52)$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{S'}}} \quad (53)$$

Donde

L_p : longitud del perímetro de la malla.

L_C : Longitud total de los conductores de la malla horizontal en m.

S' : Área total para la instalación de la malla.

$$K_i = 0.644 + 0.148n \quad (54)$$

K_i : Factor de irregularidad.

$$L_M = L_C + L_R \quad (55)$$

L_M : Longitud efectiva enterrada.

$$L_R = n_r L_r \quad (56)$$

L_R : longitud total de todas las varillas.

n_r : Número de varillas.

L_r : Longitud de cada varilla

D.5. Calcular la tensión real de paso (E_P)

$$E_{PM} = K_s * K_i * \rho * \frac{I_G}{L_s} \quad (57)$$

L_s : Longitud efectiva del conductor enterrado.

$$L_s = 0.75L_C + 0.85L_R \quad (58)$$

El valor de K_s se calcula

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \quad (59)$$

D.6. Cálculo de la resistencia de dispersión de la malla (R_{11})

$$R_{11} = \frac{\rho_{eq}}{\pi L'} \left[L n \frac{2L'}{\sqrt{h' * d_c}} + K'_1 \frac{L'}{\sqrt{S'}} - K'_2 \right] \quad (60)$$

$$K'_1 = 1.43 - \frac{2.3 * h'}{\sqrt{S'}} - 0.044 * \frac{A'}{B'} \quad (61)$$

$$K'_2 = 5.50 - \frac{8 * h'}{\sqrt{S'}} + (0.15 - \frac{h'}{\sqrt{S'}}) * \frac{A'}{B'} \quad (62)$$

D.7. Cálculo de la resistencia de dispersión de las varillas (R_{22})

$$R_{22} = \frac{\rho_{eq}}{2\pi * n_r * L_r} \left[\ln \frac{8L_r}{d_r} - 1 + \frac{2K'_1}{\sqrt{S'}} (\sqrt{n_r} - 1)^2 \right] \quad (63)$$

D.8 Cálculo de la resistencia mutua entre la malla y las varillas (R_{12})

$$R_{12} = \frac{\rho_{eq}}{\pi * L'} \left[\ln \frac{2L'}{L_r} + \frac{K'_1 * L'}{\sqrt{S'}} - K'_2 + 1 \right] \quad (64)$$

D.9. Cálculo de la resistencia total (R_T)

$$R_A = \frac{R_{11}R_{22} - R^2_{12}}{R_{11} + R_{22} - 2R_{12}} \quad (65)$$

E. Software de modelamiento y cálculo del sistema de puesta a tierra. Para desarrollar el modelamiento y cálculo del sistema de puesta a tierra se ha empleado el software ETAP, bajo el entorno de Windows, que es una herramienta de ingeniería que permite simular sistemas de malla de tierra, redes eléctricas de distribución y potencia para facilitar su planificación, diseño y operación. ETAP Power Station permite realizar el diseño y análisis de sistemas de puesta tierra.

El software requiere ingreso de datos de dimensiones, geometría, profundidad de enterramiento de la malla de puesta a tierra ser simulada, así mismo, requiere la media de la resistividad realizada en terreno, la corriente de falla a tierra, etc. Finalmente, el software arroja resultados de valores que permiten concluir si el diseño es el adecuado o si se tienen que seguir realizando cambios para lograr los valores adecuados.

2.1.11 Sistema de protección contra descargas atmosféricas

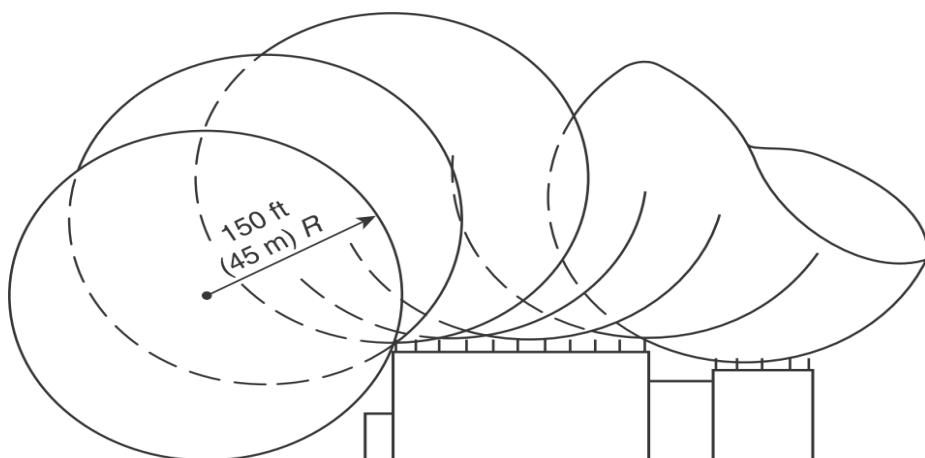
A. Consideraciones

- Los pararrayos o captadores serán tipo punta Franklin.
- El método utilizado será el método de la esfera rodante.
- El radio de la esfera rodante a utilizar bajo la norma NFPA 780 será de 45 m.
- La zona de protección debe considerar el espacio en el que no pueda insertarse una esfera rodante de 45 m de radio.
- Cuando la esfera sea tangente a la superficie del terreno y descance contra un elemento de intercepción de descargas, debe tomarse en cuenta que todo el espacio vertical entre los 2 puntos de contacto y bajo la esfera se encuentra en la zona de protección.

B. Método de la esfera rodante. Se tiene que considerar una esfera imaginaria de 45 m de radio así mismo, debe girarse o rodar la esfera en todas las posibles ubicaciones (NFPA 780, 2017).

Figura 24

Zona de protección en la que se muestra una esfera rodante



Nota: Tomado de NFPA 780 (2017)

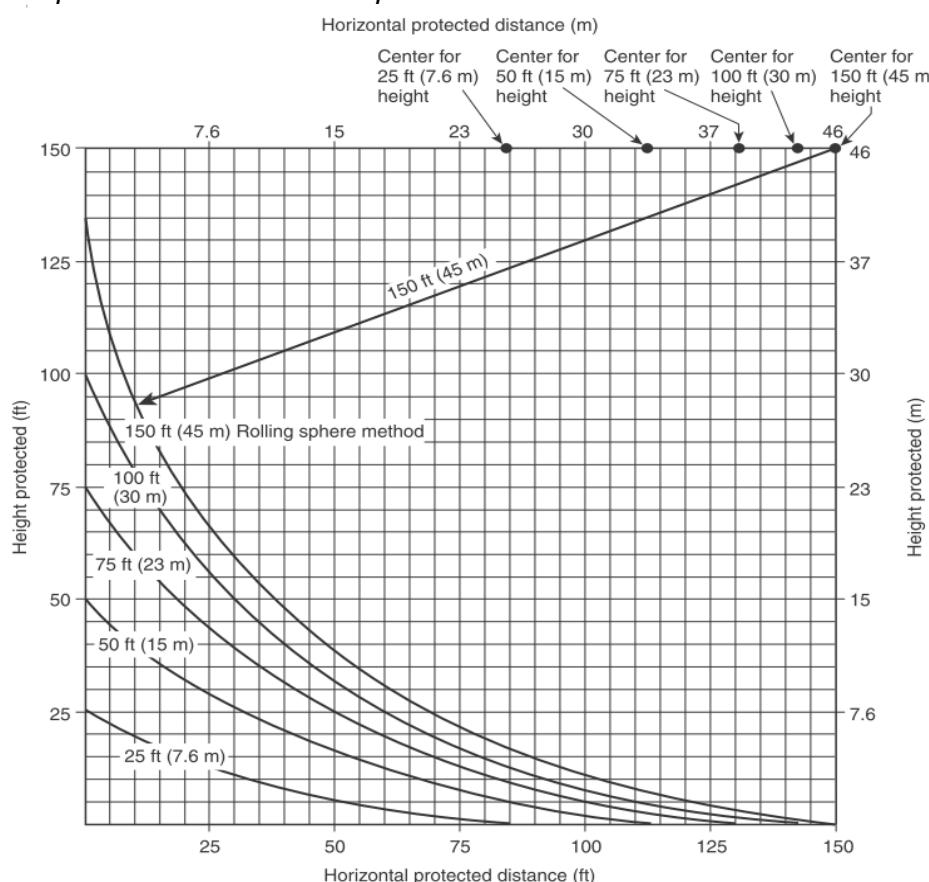
Debe de considerarse como zona de protección, cuando la esfera se apoye sobre 2 o más elementos de interceptación de descargas y debe incluir el espacio del plano vertical bajo la esfera y entre dichos elementos, como se muestra en la figura 24.

Debe girar la esfera en todas las posibles ubicaciones con el fin de precisar la zona de protección.

La figura 25 se visualiza la esfera rodante de 45 m para una estructura de 45 m de altura, la curva muestra la zona de protección para elementos de interceptación menores a 45 m de altura. Así mismo, se visualiza la distancia horizontal protegida, medida radialmente desde la estructura protegida.

Figura 25

Distancia de protección mediante la aplicación del método de la esfera rodante



Nota: Tomado de NFPA 780 (2017)

Bajo este método la distancia horizontal protegida se calcula de la siguiente manera:

$$d = \sqrt{h_1(2R - h_1)} - \sqrt{h_2(2R - h_2)} \quad (66)$$

Donde

d : Distancia horizontal protegida

h_1 : Altura del poste más la punta

R : Radio de la esfera rodante (45 m)

h_2 : Altura del equipo a proteger (parte superior del objetivo)

Esta fórmula es válida, si la esfera es tangente al techo más bajo o estar en contacto con la tierra y en contacto con el lado vertical de la porción más alta.

2.1.12 Sistema de iluminación

La iluminación en las instalaciones industriales, mineras, etc. Es de gran importancia y fundamental, dado que esta aumenta la seguridad y comodidad del personal de operación, obteniendo así impactos positivos en la operación y producción continua en la planta.

A fin de desarrollar un adecuado sistema de iluminación, es necesario realizar una adecuada inspección visual para definir las diferentes áreas de procesos, dado que en algunas mineras e industrias ya se encuentran estandarizado el tipo de luminaria a utilizar por área de proceso. De lo anterior también se aprovecha para definir el alumbrado general (para tránsito) y el alumbrado focalizado (para inspección) donde se requiera.

A. Software de diseño utilizado. El software *Dialux EVO* permite realizar una evaluación rápida del proyecto, dispone de una funcionalidad elemental de vistas en 3D, vistas de luminarias en 3D, distribución de intensidad luminosa, la descripción y parámetros del elemento (luminaria).

Los paquetes de producción de luminarias incluyen información extra para la proyección, tal es el factor de mantenimiento, los valores lumínicos de cada luminaria, la fotometría, así como la geometría.

Los datos de ingreso del software son las dimensiones del espacio a iluminar, la altura de instalación de las luminarias, el tipo de luminaria a usar y los factores de reflectancia de los espacios de trabajo. Al final, el software brinda resultados sobre la posición de las luminarias, cálculo de iluminación con valores máximos, mínimos y promedio en lux, y un extracto de las características de la luminaria elegidas.

B. Metodología de cálculo. Antes del cálculo, es indispensable realizar el modelamiento 3D del espacio de trabajo a calcular, así mismo ubicar las luminarias adecuadamente de acuerdo al área y altura de instalación de los equipos de iluminación a proyectarse.

El software facilita el cálculo de los niveles de iluminación en un área determinada denominada como “área de cálculo”, donde posee dos componentes: directo e interreflejado. El componente directo se da cuando la luz incide directamente en el punto elegido sin reflejarse en ninguna superficie sólida, por otra parte, el componente interreflejado se da cuando la luz llega al punto posterior de haberse reflejado en una superficie sólida. Las dos componentes son empleadas para determinar los valores de iluminación interior y el componente directo únicamente se emplea para determinar los valores de iluminación exterior.

Factor de degradación. Es usado para calcular los niveles de iluminación determinados y sostenidos para cada área. El factor de pérdida de luz o factor de degradación se basa en los siguientes factores fundamentales:

- Degradación de la superficie de la luminaria por cambios desfavorables en el equipo de iluminación con el tiempo.
- Degradación por la suciedad de la superficie del ambiente calculado, dado que la aglomeración de suciedad disminuye las reflexiones en la superficie.

- Degradación del lumen de la luminaria, pues la salida del lumen de la lámpara se reduce a lo largo de su vida útil.
- Degradación por suciedad de la luminaria, la aglomeración de suciedad sobre la luminaria disminuye la salida de luz.

Estos factores se combinan para calcular el factor total de degradación de luz, el cual se encuentra normalmente entre 0.7 y 0.9. Este factor es empleado de manera directa al cálculo de nivel de iluminación. Para las luminarias LED se consideran un factor de 0.7.

C. Niveles de iluminación. El trabajo con poca luz puede dañar la vista, así mismo los cambios bruscos de iluminación son un peligro dado que nos ciega temporalmente hasta que el ojo se adapta a la nueva iluminación. Es así que el grado de confort y seguridad está directamente ligada a la cantidad y calidad de la iluminación (LEDBOXBlog, 2022, párr.1).

Existen ciertos niveles de iluminación sugeridos para cada área o espacio de trabajo, los cuales se denominan nivel luminoso y se mide en *Lux*.

Dichos niveles estarán de acuerdo con la tabla del anexo 37 del “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería” D. S. N° 024-2016-EM.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Diseño eléctrico

El diseño eléctrico es un proceso de planificación y creación de las instalaciones eléctricas de un sistema, que toma en consideración los aspectos de operación, seguridad y mantenimiento

2.2.2 Sistema de bombeo

Es un conjunto de elementos que permiten el almacenamiento temporal de fluidos, así como su transporte mediante tuberías, que cumple determinadas especificaciones de caudal y presión necesarios en diferentes procesos (Blanco et al., 1994)

2.2.3 Presa de relave

Son obras de infraestructura para almacenar o represar los relaves. El agua captada se conduce a sistemas de sedimentación y tratamiento para su posterior uso en el proceso minero mediante recirculación.

2.2.4 Mina de tajo abierto

Extracción o explotación de mineral (vetas) localizadas en la superficie y de gran extensión. La explotación se realiza mediante uso de explosivos y caracterizado por el uso de bancos o cortes escalonados.

2.2.5 Subestación eléctrica

Instalación compuesta por un conjunto de elementos que nos permite cambiar las características de la energía (tensión, corriente, frecuencia, Corriente alterna a corriente continua) a niveles adecuados para la transmisión o distribución de la energía eléctrica (Harper, 2005, p. 17).

2.2.6 Sala eléctrica prefabricada

Construcción modular completa con disposición de equipos de maniobra, control, medición y supervisión de sistemas eléctricos (celdas o *switchgears*, centro control de motores, tableros de control, etc.). Todos los equipos son integrados por el proveedor de la sala eléctrica y son probados como una unidad para su posterior traslado al lugar de servicio (Manufacturas Eléctricas S.A, 2022, párr.1).

2.2.7 Celdas de media tensión (*switchgears*)

Conjunto de columnas verticales en donde se montan equipos de maniobra (interruptores, seccionadores, fusibles), equipos de media y protección montado (relés de protección, transformadores de corriente, tensión) en compartimientos dentro de una estructura metálica que sirven para la recepción y distribución de cargas, asimismo, para la protección de los equipos y las personas (Enersis, 2010, p. 5).

2.2.8 Celdas de media tensión encapsulado en gas SF6 (Switchgears GIS)

Dispositivo encapsulado compuesto de diferentes equipos como interruptores, barras colectoras, transformadores, seccionadores, pararrayos, etc. Todos estos equipos se encuentran inmersos en gas aislante de hexafluoruro de azufre (SF6) dentro de un compartimiento blindado. El uso del gas como medio aislante, permite que la celda sea compacta en comparación al aislamiento en aire (CHINT, 2022, párr.4).

2.2.9 Transformador

Dispositivo que permite transferir la energía eléctrica de un circuito a otro, manteniendo la frecuencia constante. Lo hace bajo el principio de inducción electromagnética (Harper, 2005, p. 17).

A. Transformador de potencia. Utilizado para elevar o reducir el nivel de tensión, pues se ubica entre el generador y los circuitos de distribución. Suelen tener una mayor capacidad de manejo de corriente, tensión y potencia nominal (Harlow, 2012, p. 2-1).

B. Transformador de distribución. Utilizado con el fin de disminuir el nivel de tensión de los sistemas eléctricos de media tensión a los niveles de baja tensión de los sistemas eléctricos de distribución. Utilizadas para zonas urbanas, industria, minería, petróleo y toda actividad que requiera uno intensivo de la energía eléctrica.

C. Transformador en aceite. Es aquel que dispone de tanque en donde se encuentran el núcleo y las bobinas inmersas en un fluido aislante (aceite mineral o vegetal) que sirve para dar la rigidez dieléctrica y refrigerar al transformador.

D. Transformador seco. No precisa de ningún líquido para refrigerar de manera natural. Su uso se da en interiores por su nulo riesgo de provocar incendio, asimismo, en ambientes industriales por su elevada fiabilidad y seguridad (Salazar, 2017, p.2).

2.2.10 Ducto de barras

Son canalizaciones eléctricas prefabricadas que permiten una interconexión segura y confiable, brindan una mayor flexibilidad adaptándose a las necesidades de los usuarios; además de tener mayor capacidad de corriente que los cables convencionales (Legrand, 2022, p. 4-7).

2.2.11 Centro control de motores (CCM)

Equipo eléctrico que sirve para la alimentación, control y protección de circuitos cuya carga principal son un grupo de motores. Asimismo, el CCM sirve para la distribución de carga. Está compuesta por uno o más compartimientos o módulos verticales que contienen barras colectoras horizontales y verticales, también, unidades de arrancadores e interruptores alimentadores.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Metodología

3.1.1 *Tipo de investigación*

En el presente trabajo, la investigación es de tipo aplicada dado que nos abocamos a solucionar un problema específico haciendo uso del conocimiento y teorías existentes. Como dice Baena (2017) “La investigación aplicada, por su parte, concentra su atención en las posibilidades concretas de llevar a la práctica las teorías generales, y destina sus esfuerzos a resolver las necesidades que se plantean la sociedad y los hombres” (p. 18).

3.1.2 *Diseño de investigación*

El diseño de investigación es no experimental, dado que el alcance del presente trabajo verificar si el sistema de bombeo propuesto es adecuado. Por otra parte, es de naturaleza mixta, ya que por un lado es de tipo cualitativo, porque está orientada a caracterizar el sistema de bombeo. Además, es de tipo cuantitativa porque contrastará con las hipótesis formuladas. Por último, es de tipo retrospectivo dado que se utiliza documentos e información de años anteriores.

3.1.3 *Métodos y técnicas para la obtención de datos correlación de datos*

El método que utilizaremos para la obtención de datos será el de revisión de registros existentes, dado que la compañía minera cuenta con varios documentos donde se indican los datos que requerimos para el diseño, así como la altura de la instalación, el nivel de tensión, los factores de corrección, las temperaturas máximas y mínimas, etc. Asimismo, se puede obtener información de otros proyectos desarrollados, normas y libros.

3.1.4 *Actividades y metas a desarrollar por objetivo*

A continuación, se describe el plan que se desarrolla para alcanzar los objetivos específicos con sus respectivas actividades.

Obj. 1. Calcular (desarrollar) la máxima demanda a satisfacer del sistema de bombeo.

Act.1.1. Revisar el criterio de diseño eléctrico para identificar los niveles de tensión.

Act.1.2. Revisar de la lista de equipos mecánicos emitido por la disciplina mecánica.

Act.1.3. Agrupar las cargas en baja o media tensión según las potencias e indicar el tipo de arranque de las cargas, los factores de potencia y eficiencia.

Act.1.4. Calcular la potencia demandada y el margen de reserva de la instalación.

Obj. 2. Seleccionar y especificar los requerimientos técnicos de los equipos eléctricos para su adecuada operación en altura.

Act.2.1. Revisar el criterio de diseño eléctrico de la Mina.

Act.2.2. Revisar las especificaciones técnicas de equipos eléctricos de la mina.

Act.2.3. Cálculo de las características eléctricas de los equipos como son la potencia nominal, corriente nominal, nivel de aislamiento, entre otros.

Act.2.4. Desarrollo del diagrama unifilar.

Act.2.5. Desarrollo de las hojas de datos de los equipos eléctricos.

Obj. 3. Diseñar el arreglo de disposición de equipos eléctricos y la canalización eléctrica de acuerdo con los requerimientos técnicos de las normas.

Act.3.1. Revisar el arreglo mecánico del sistema de bombeo para ver el área disponible para la distribución de los equipos eléctricos y la canalización.

Act.3.2. Revisar las normas sobre las distancias de separación y espacios de trabajo para la disposición de equipos eléctricos.

Act.3.3. Plantear el arreglo de la disposición de equipos.

Act.3.4. Revisar el estándar constructivo de canalización y seleccionar los cables para el dimensionamiento de bandejas y tuberías

Act.3.5. Plantear y modelar el recorrido de la canalización

Obj. 4. Diseñar el sistema de iluminación de acuerdo a los requerimientos mínimos de lux indicados en el anexo 37 del “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería” D. S. N° 024-2016-EM.

- Act.4.1. Revisar el arreglo general y reconocer las áreas de trabajo a ser iluminadas.
- Act.4.2. Revisar el criterio de diseño y el Anexo 37 D.S.N° 024-2016-EM para los requerimientos mínimos de lux para cada área de trabajo.
- Act.4.3. Modelar, simular y calcular la iluminación para el diseño.

Obj. 5. Diseñar el sistema de puesta a tierra según la norma IEEE80 para evacuar las corrientes de cargas estáticas y corrientes de falla a tierra.

- Act.5.1. Revisar los planos de arreglos mecánicos y cimentaciones para reconocer el espacio disponible para la instalación del sistema de puesta a tierra.
- Act.5.2. Revisar el criterio de diseño y la norma IEEE 80 para el diseño y cálculo del sistema de puesta a tierra.
- Act.5.3. Plantear el sistema de puesta a tierra y realizar los cálculos para el diseño.

Obj. 6. Diseñar el sistema de protección contra descargas atmosféricas según la norma NFPA 780 para proteger adecuadamente la instalación.

- Act.6.1. Revisar el arreglo general para identificar las áreas a ser protegidas.
- Act.6.2. Revisar el criterio de diseño y la norma NFPA 780 para el cálculo y diseño de la protección contra descargas atmosféricas.
- Act.6.3. Plantear la ubicación de los terminales y realizar los cálculos para el diseño.

3.1.5 Asignación de códigos con los responsables

Para el desarrollo de las actividades asignaremos un código a los recursos humanos de la siguiente manera:

Tabla 7*Codificación del personal de trabajo*

Recursos humanos	Código	Función
Ing. Senior	C5	Revisión técnica y calidad de entregables
Ing. Intermedio	C3	Coordinación y revisión de entregables
Ing. Junior	C1	Coordinación, generación, revisión y corrección de entregables
Proyectista (dibujante)	T3	Generación y corrección de entregables

Nota: La tabla contiene el personal destinado al proyecto con sus respectivas funciones.

3.1.6 Vinculación de las actividades con el personal y cronograma de trabajo

Para el desarrollo de las actividades, vinculamos a los responsables con cada actividad.

Tabla 8*Actividades a desarrollar por personal*

Actividad	Proyectista T3	Ing. Junior C1	Ing. Intermedio C3	Ing. Senior C5
Act.1.1		X	X	X
Act.1.2		X	X	X
Act.1.3		X	X	
Act.1.4		X	X	X
Act.2.1		X	X	X
Act.2.2		X	X	
Act.2.3		X	X	
Act.2.4		X	X	X
Act.2.5		X	X	X
Act.3.1	X	X	X	
Act.3.2		X	X	
Act.3.3	X	X	X	X
Act.3.4	X	X	X	
Act.3.5	X	X	X	X
Act.4.1	X	X	X	
Act.4.2		X	X	
Act.4.3	X	X	X	X
Act.5.1	X	X	X	
Act.5.2		X	X	
Act.5.3	X	X	X	X
Act.6.1	X	X	X	
Act.6.2		X	X	
Act.6.3	X	X	X	X

Nota: La tabla contiene las actividades a desarrollar y los responsables para cada actividad.

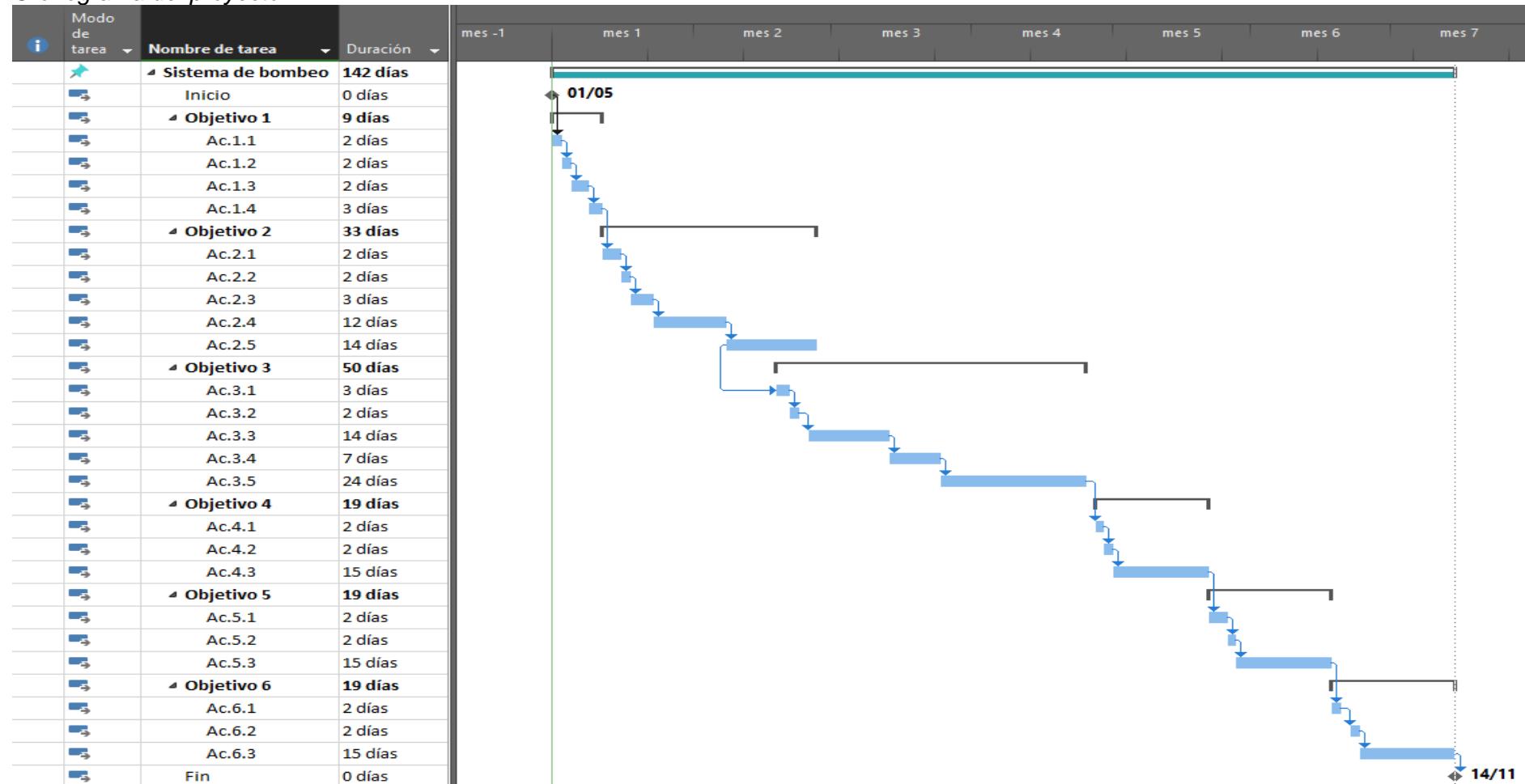
Tabla 9*Cronograma de trabajo del proyecto*

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
Act.1.1	X						
Act.1.2	X						
Act.1.3	X						
Act.1.4	X	X					
Act.2.1	X						
Act.2.2	X						
Act.2.3	X						
Act.2.4	X	X					
Act.2.5		X	X				
Act.3.1		X					
Act.3.2		X					
Act.3.3		X	X				
Act.3.4			X				
Act.3.5			X	X	X		
Act.4.1				X			
Act.4.2				X			
Act.4.3				X	X		
Act.5.1					X		
Act.5.2						X	
Act.5.3					X	X	
Act.6.1						X	
Act.6.2							X
Act.6.3						X	X

Nota: La tabla contiene las actividades a desarrollar por cada mes para alcanzar los objetivos.

Figura 26

Cronograma del proyecto



Nota: La tabla contiene las actividades a desarrollar por cada mes para lograr los objetivos.

3.2 Relación entre objetivos específicos con los requerimientos obtenidos

Tabla 10

Objetivos específicos y requerimientos asociados

Objetivos Específicos	Requerimientos
1 Calcular(desarrollar) la máxima demanda a satisfacer del sistema de bombeo.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Información de la lista de equipos mecánicos correspondiente a la disciplina mecánica. ❖ Información del criterio de diseño eléctrico brindado por la minera.
2 Seleccionar y especificar los requerimientos técnicos de los equipos eléctricos para su adecuada operación en altura.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Información del criterio de diseño eléctrico brindado por la minera. ❖ Información de las especificaciones técnicas de los equipos eléctricos brindados por la minera. ❖ Información de las principales normas vigentes IEEE, NEMA, IEC para la elaboración de las hojas de datos de los equipos eléctricos. ❖ Información de la altura de operación, grado de polución.
3 Diseñar el arreglo de disposición de equipos eléctricos y la canalización eléctrica de acuerdo a los requerimientos técnicos de las normas.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Información del arreglo mecánico del sistema de bombeo. ❖ Información de las distancias de separación entre equipos por tema de seguridad y trabajo. ❖ Información de las distancias de separación por niveles de tensión de los cables para evitar las interferencias.
4 Diseñar el sistema de iluminación de acuerdo a los requerimientos mínimos de lux indicados en el anexo 37 del "Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería" D.S.N° 024-2016-EM.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Información de las áreas de trabajo a ser iluminadas. ❖ Información de los niveles mínimos de lux por área de trabajo. ❖ Información de las luminarias a ser utilizadas.
5 Diseñar el sistema de puesta a tierra según la norma IEEE80 para evacuar las corrientes de cargas estáticas y corrientes de falla a tierra.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Información de los planos de arreglo mecánico y de cimentación de la planta. ❖ Información de las áreas de trabajo para el diseño de la puesta a tierra. ❖ Información de los equipos y estructuras a ser aterradadas. ❖ Información de la resistividad del terreno y materiales a ser utilizados para el sistema de puesta a tierra. ❖ Información y procedimiento de cálculo de la norma IEEE 80.
6 Diseñar el sistema de protección contra descargas atmosféricas según la norma NFPA 780 para proteger adecuadamente la instalación.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Información del arreglo general para identificar las áreas de trabajo a ser protegidas de las descargas atmosféricas. ❖ Información de los materiales a ser utilizados para la protección contra descargas atmosféricas. ❖ Información y procedimiento de cálculo de la norma NFPA 780.

Nota: La tabla contiene los objetivos específicos y los requerimientos para lograr alcanzar dichos objetivos.

3.3 Descripción del proyecto

3.3.1 Datos del proyecto

Etapa del proyecto: ingeniería de detalle.

3.3.2 Antecedentes del proyecto

Debido al crecimiento continuo del nivel del espejo de agua en el depósito de relaves, se prevé que en los próximos años se deberá elevar la cresta de la presa de relaves bajo los criterios de contención de los relaves y del agua de proceso, y teniendo en consideración que el embalse tenga la capacidad volumétrica suficiente para satisfacer los requerimientos de almacenamiento de la precipitación Máxima Probable.

La compañía minera requiere desarrollar la ingeniería de detalle de las obras preliminares para el recrecimiento de la presa 4165 m. Estos trabajos se ubican aguas abajo del pie de la presa de relaves con el fin de no verse comprometidos el sistema de colección de filtraciones, al ser cubierta el área por la huella del recrecimiento de la Presa a la cota 4165 m. Por tal motivo, se requiere los diseños a nivel de ingeniería de detalle de la nueva poza colectora y la estación de bombeo.

3.3.3 Alcance del servicio

La ingeniería de detalle solicitada tiene como alcance el diseño de las instalaciones eléctricas del nuevo sistema de bombeo como hojas de datos, memorias de cálculos, planos de arreglo de canalización, iluminación, sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas, y estudios eléctricos del nuevo sistema.

3.3.4 Objetivos de la ingeniería

Proveer los documentos y planos a nivel de ingeniería de detalle, de modo tal que permita estimar los costos de inversión de las obras hasta el nivel indicado y conocer los tiempos de ejecución de tales obras.

3.3.5 Límites de batería

Suministro de energía desde la salida del seccionador fusible *cut out* ubicada en el último poste de la línea eléctrica (poste de acometida) para suministrar energía a la

subestación y sala eléctrica. De esta última, finalmente, suministrar energía a las cargas finales en campo.

3.3.6 Exclusiones de la ingeniería

- Estudio de disponibilidad de carga eléctrica que requiera la zona de estudio
- Diseño de la línea eléctrica aérea de alimentación en 23 kV.
- Medida de la resistividad del campo
- Análisis de precios unitarios, inspección y visita a los talleres de los *vendors*

3.3.7 Consideraciones generales

Para el desarrollo del presente servicio de ingeniería, se deberá tomar en consideración los lineamientos establecidos en los estudios previos desarrollados por otros consultores.

Los suministros de todos los servicios asociados con el proyecto estarán de acuerdo con los estándares, códigos, criterios de diseño y documentación incluida, pero no limitada a lo que se menciona, y todas las leyes, reglamentaciones nacionales, ordenanzas y regulaciones.

Al inicio del servicio, el consultor deberá revisar toda la información que la compañía minera entregue respecto al proyecto. Asimismo, deberá programar la cantidad de visitas técnicas que considere necesarias para hacer un levantamiento de información en campo para verificar la validez de la información contenida en la información brindada (planos AS *Built*, documentos, etc.) por la compañía minera, los cuales deben considerarse solo como información referencial.

El consultor es el responsable del aseguramiento del control de calidad durante todo el diseño de la ingeniería.

3.3.8 Descripción del espacio geográfico donde se desarrollará el proyecto

El área de desarrollo del proyecto se encuentra localizada dentro de las instalaciones de la compañía minera, en los andes peruanos, región Áncash, Perú, a una altitud de 4200 m sobre el nivel del mar.

Figura 27

Ubicación del área del proyecto



Nota: Tomado de Instituto Nacional de Estadística e Informática

3.3.9 Condiciones ambientales

Las instalaciones fueron proyectadas considerando los siguientes datos meteorológicos.

Tabla 11***Condiciones para el diseño***

Altitud sobre el nivel del mar	4300 m s. n. m.
Factor de corrección en tensión para equipos mayores a 1 kV	0.69 pu.
Temperatura máxima del ambiente	40°C
Mínima temperatura de ambiente	-5°C.
Zona sísmica UBC	4
Nivel isoceráunico	60
Humedad máxima relativa	70%

Nota: La tabla contiene las condiciones de sitio para

3.4 Diseño de la solución

3.4.1 Descripción de la problemática específica durante el desarrollo de la solución

Durante el desarrollo del diseño del nuevo sistema de bombeo aguas debajo de la presa de relaves en la cuenca del río aguas abajo, el problema a afrontar es de un espacio o área de trabajo reducido para la disposición de la nueva estación de bombeo así mismo los desniveles y pendientes en el terreno.

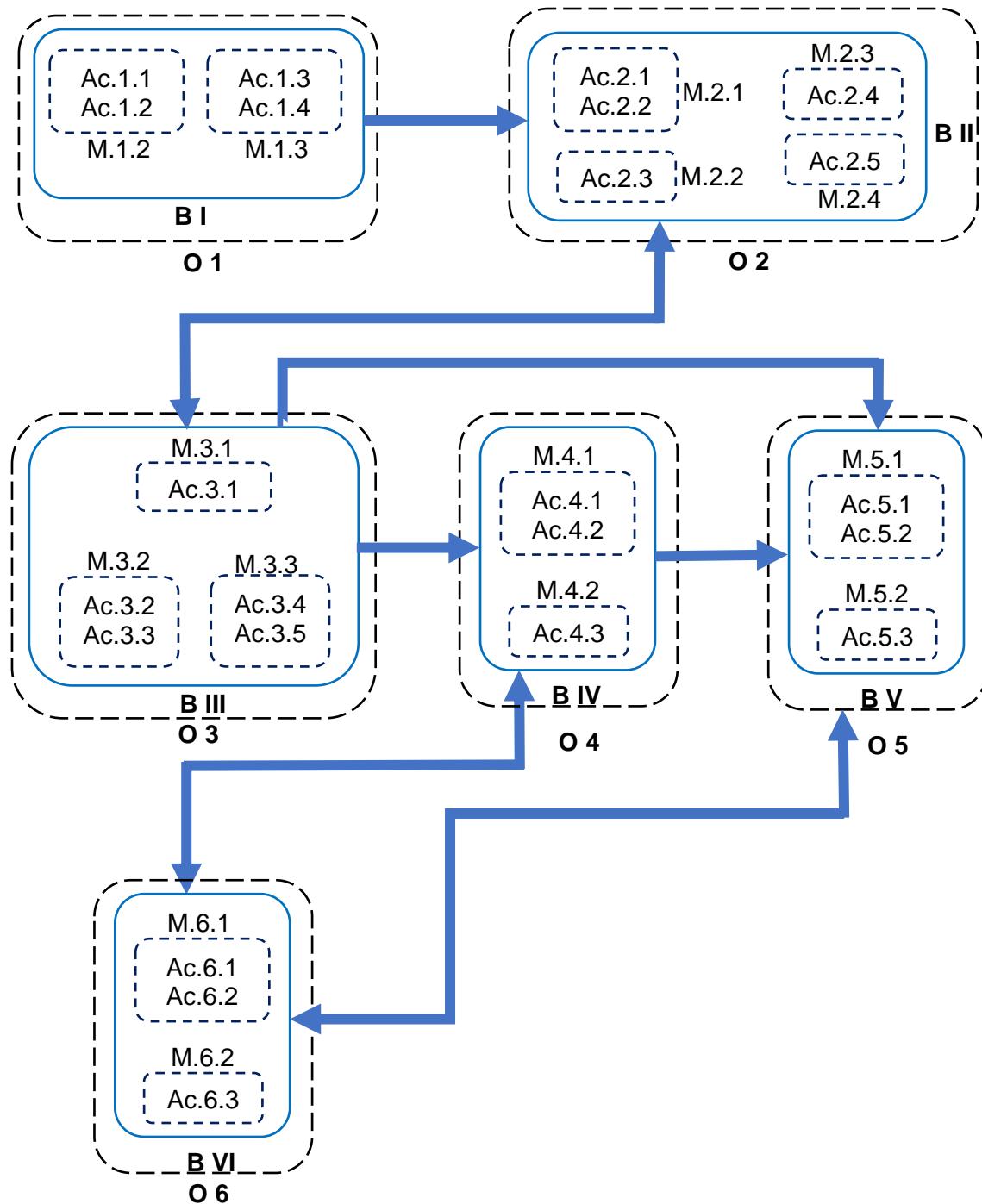
3.4.2 Explicación de la problemática específica durante el desarrollo de la solución y plantea alternativas

El poco espacio que se dispone, para la nueva disposición de la estación de bombeo, es producto de que esta se ubica en la cuenca de un río con cerros a los lados de la cuenca. Asimismo, se considera el espacio para el acceso o vía para tránsito vehicular, por otra parte, también es producto de los nuevos requerimientos del cliente con la adición de cargas eléctricas. Dada esta problemática, se optó que la ubicación del generador de emergencia en un segundo nivel por encima de la disposición de tuberías, la ubicación de las torretas o postes de acometida para el suministro eléctrico sea fuera de la estación, asimismo, se requiere cortes de terreno y plataformas para tener una superficie uniforme a un mismo nivel.

3.4.3 Metas verificables del proyecto

Figura 28

Vínculo y relación actividades disagregadas



Nota: El diagrama muestra el vínculo y la relación de las actividades disagregadas por metas y bloques para lograr los objetivos.

A. Bloques solución

A.1. Bloque solución B I. Consta de las metas M.1.1 y M1.2, a su vez la meta M.1.1 consta de la actividad Ac.1.1 y Ac.1.2. Estas actividades son una meta, debido a que el primer paso para el desarrollo de la demanda es tener claro los niveles de tensión para la agrupación de cargas en función a las potencias. Una vez reconocidos los niveles de tensión pasamos a la actividad Ac.1.3, que consiste en agrupar las cargas en media o baja tensión con sus respectivos factores. Finalmente, pasar a la actividad Ac.1.4 para calcular la demanda y el margen de reserva de la instalación, dando así por concluido la meta M.1.2. y lográndose el objetivo O 1.

A.2. Bloque solución B II. Consta de las metas M.2.1, M.2.2, M.2.3 y M.2.4, a su vez la meta M.2.1 consta de la actividad Ac.2.1 y Ac.2.2. Estas actividades son una meta debido a que el primer paso para la selección y especificación de los equipos eléctricos es revisar el criterio de diseño, y las especificaciones donde se indique todos los requerimientos técnicos: Posterior a ello, desarrollamos la actividad Ac.2.3 para el cálculo de las características eléctricas logrando así la meta M.2.2. Con la información de las actividades Ac.2.1, Ac.2.2 y Ac.2.3, procedemos a desarrollar la actividad Ac.2.4, que es el desarrollo de los diagramas unifilares logrando así la meta M2.3. Finalmente, desarrollamos las hojas de datos correspondiente a la actividad Ac.2.5, concluyendo la meta M.2.4, lográndose así el objetivo O 2.

A.3. Bloque solución B III. Consta de las metas M.3.1, M.3.2 y M.3.3, la meta M.3.1 consta de la actividad Ac.3.1, la cual es una meta debido a que el primer paso para el desarrollo de la disposición de equipos eléctricos y desarrollo de la canalización es revisar el arreglo mecánico para ver las áreas disponibles del arreglo de disposición de equipos y canalización. Posterior a ello, se desarrolla la actividad Ac.3.2 para conocer las distancias de seguridad y espacios de trabajo. Con la información de las actividades anteriormente desarrolladas, se procede a plantear el arreglo de disposición de equipos el cual es la actividad Ac.3.3 logrando así la meta M3.2.

Para el desarrollo de la canalización eléctrica, procedemos con actividad Ac.3.4 para conocer las distancias de separación de los cables, por los diferentes niveles de tensión que se manejan: control, instrumentación, 480 V y 4.16 kV. Asimismo, procedemos a seleccionar los cables, tuberías y bandejas para que, posteriormente, con esta información y la información de la actividad Ac.3.1 se proceda a desarrollar la actividad Ac.3.5, que consiste en el desarrollo de la canalización y finalizando así la meta M.3.3 y lográndose el objetivo O 3.

A.4. Bloque solución B IV. Consta de las metas M.4.1 y M.4.2, la meta M.4.1 consta de la actividad Ac.4.1 y Ac.4.2, que son la revisión del arreglo general del sistema de bombeo para identificar los lugares a ser iluminados y, asimismo, la revisión de las normas para tener la información de los niveles mínimos de *lux* para los lugares a ser iluminados.

Para lograr la meta M4.2, se procede con la actividad Ac.4.3, que es el de modelar el sistema de iluminación para que, finalmente, simulemos y calculemos los niveles de *lux* para las respectivas áreas a ser iluminadas y que estas se encuentren dentro de los rangos de iluminación establecidos, logrando así el objetivo O 4.

A.5. Bloque solución B V. Consta de las metas M.5.1 y M.5.2. La meta M.5.1 consta de la actividad Ac.5.1 y Ac.5.2, que son la revisión del arreglo mecánico del sistema de bombeo y los planos de cimentaciones para identificar los espacios para la instalación del sistema de puesta a tierra. Asimismo, la revisión de las normas y los criterios para el diseño y cálculo del sistema de puesta tierra.

La meta 5.2 consta de la actividad Ac.5.3, que es el de plantear el arreglo del sistema de puesta a tierra para desarrollar los cálculos para así lograr el objetivo O 5.

A.6. Bloque solución B VI. Consta de las metas M.6.1 y M.6.2. La meta M.6.1 consta de la actividad Ac.6.1 y Ac.6.2, que son la revisión del arreglo general del sistema de bombeo para identificar los espacios a ser protegidos. Asimismo, la revisión de las normas y los criterios para el diseño y cálculo del de la protección contra descargas atmosféricas.

La meta 6.2 consta de la actividad Ac.6.3, que es el de plantear la ubicación de los terminales y postes para realizar los cálculos del sistema de protección contra descargas atmosféricas, logrando así el objetivo O 6.

B. Relación de bloques solución. Los bloques solución funcionan como un todo y, asimismo, de manera independiente. Es así que el bloque solución B I, es el principio de partida para el bloque solución BII. Asimismo, el bloque solución B II se toma como base para el desarrollo del bloque solución B III, con la información del bloque solución B III se inicia el desarrollo de los bloques solución B IV y B V y se contrasta la información del bloque solución B II, de forma similar. La información de la solución B IV nos permite el desarrollo de los bloques solución B V y BVI. Finalmente, la información del bloque solución B V permite el desarrollo del bloque solución B VI y esta última, a su vez, permite contrastar la información del bloque B V y B IV.

3.4.4 Desarrollo de la solución

A. Desarrollo de bloques solución correspondientes al objetivo O 1

Act.1.1: Revisar el criterio de diseño eléctrico para identificar los niveles de tensión. La alimentación principal de la compañía minera es mediante líneas eléctricas aéreas en 220 kV. La minera cuenta con una subestación eléctrica principal que se encarga de reducir el nivel de tensión a lo requerido para distribución 23 kV.

La distribución de los circuitos de alimentación a las estaciones de bombeo es realizada mediante líneas eléctricas aéreas en 23 KV, para que, posteriormente, ya en la subestación de bombeo, reducir dicha tensión en los niveles requeridos 4.16 y 0.48 KV, de acuerdo con las necesidades del proyecto.

Tensión de distribución. Los siguientes niveles de tensión en C.A. serán utilizados para la distribución de fuerza.

- 23 kV, 3F, 3H, con resistencia de puesta a tierra de 200 A - 400 A.
- 4.16 kV, 3F, 3H, con resistencia de puesta a tierra de 400 A.
- 480 V, 3F, 3H, neutro sólidamente conectado a tierra.
- 400/230 V, 3F, 4H, neutro sólidamente conectado a tierra para iluminación y tomacorrientes.
- 230 V, 1F, 2H, sólidamente conectado a tierra para motores con potencia menor a 0.25 kW, tomacorrientes e iluminación.

Tensión de utilización. Los siguientes niveles de tensión serán utilizados para la alimentación de equipos.

- 4.0 kV, 3F, para motores superiores a 150 kW (200 hp)
- 460 V, 3F, para motores mayores o iguales a 0.25 kW (0.33 hp) hasta 150 kW (200 hp)
- 380/220 V, 3F, 4H, solo para alumbrado
- 200 V, 1F, para motores menores a 0.25 kW, tomacorriente e iluminación

Act.1.2: Revisar de la lista de equipos mecánicos emitido por la disciplina mecánica. La figura 29, muestra la lista de equipos mecánicos brindado por la disciplina mecánica, del cual se puede apreciar lo siguiente:

- Todos los equipos se encuentran en estado de operación (ON).
- Cuatro cargas (04) tienen una potencia mayor a 150 kW, por lo cual estas cargas deberán ser en media tensión 4.16 kV.
- Dos cargas (02) tienen una potencia mayor a 0.25 kW, y menor a 150 kW por lo cual estas cargas deberán ser en baja tensión 480 V.
- Cuatro cargas (04) tienen desempeño continuo y dos cargas (02) son de desempeño intermitente.

Figura 29

Lista de equipos mecánicos

Item	Nº de Tag	Nombre del equipo	Estado	Desempeño	Cantidad Operando	Cantidad en espera	Cantidad total	Potencia absorbida [kW (HP)]	Potencia instalada total [kW (HP)]	Tipo de arranque [VFD]
1	450-PPV-942	Bomba vertical de agua	ON	Continuo	1	-	1	738 (1000)	932 (1250)	No
2	450-PPV-943	Bomba vertical de agua	ON	Continuo	1	-	1	738 (1000)	932 (1250)	No
3	450-PPV-944	Bomba vertical de agua	ON	Continuo	1	-	1	738 (1000)	932 (1250)	No
4	450-PPV-945	Bomba vertical de agua	ON	Continuo	1	-	1	738 (1000)	932 (1250)	No
5	450-PPR-787	Bomba sumidero de agua	ON	Intermitente	-	1	1	15 (20)	19 (25)	No
6	450-DOE-202	Portón metálico	ON	Intermitente	-	1	1	0.8 (1.1)	1.5 (2)	No

Nota: La tabla muestra la información de la lista de equipos mecánicos con sus respectivas potencias que servirán para el cálculo de la máxima demanda.

Act.1.3: Agrupar las cargas en baja o media tensión según las potencias e indicar el tipo de arranque de las cargas, los factores de potencia y eficiencia. Las figuras 31 y 32 muestran los factores de potencia y eficiencia para motores en baja y media tensión según la potencia nominal. Las cuales servirán de referencia para el cálculo de la máxima demanda dado que no se tiene información del proveedor de los motores.

La figura 30 muestra todos los factores que requerimos por cada carga para el cálculo de la máxima demanda, los cuales fueron extraídos de los catálogos de motores correspondientes a la figura 31 y 32.

Figura 30*Cargas con los factores para el cálculo de la demanda*

Nro	Descripción	Código	Tensión [V]	Tipo de Arranque	Potencia instalada [kW]	Potencia Instalada [hp]	Factor de demanda (fd)	Eficiencia al 75% de plena carga	FP al 75% de plena carga	Eficiencia al 100% de plena carga	FP al 100% de plena carga
1	Motor de bomba vertical de agua	450-PPV-942A	4160	DOL	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86
2	Motor de bomba vertical de agua	450-PPV-943A	4160	SS	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86
3	Motor de bomba vertical de agua	450-PPV-944A	4160	DOL	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86
4	Motor de bomba vertical de agua	450-PPV-945A	4160	SS	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86
1	Motor de Bomba Sumidero de Agua	450-PPR-787A	400	DOL	19	25	0.79	0.94	0.83	0.94	0.84
2	Motor de portón metálico	450-DOE-202	400	FDR	2	3	0.40	0.90	0.68	0.90	0.76

Nota: La tabla muestra la información de los factores de potencia y eficiencia de los respectivos motores, para el cálculo de la máxima demanda.

Figura 31

Factores de motores en baja tensión de 1 - 50 hp

Severe Duty Super-E® ECP/XEX NEMA Premium® Efficient Motors

Designed to meet the demanding application requirements typically found in severe duty processing environments. Baldor•Reliance Super-E, ECP motors have XEX features including all cast iron frame construction with oversized and rotatable cast iron conduit box. All bearings use the exclusive Positive Lubrication System (PLS) which channels grease directly into the bearing track. The Class F premium "Spike Resistant" insulation system meets the requirements of NEMA MG 1 Part 31 for use on variable frequency control. All internal surfaces are epoxy coated for corrosion protection.



Super-E® ECP/XEX TEFC - Totally Enclosed Fan Cooled - Foot Mounted, 460 Volts, Three Phase, 1-50 Hp

Hp	kW	RPM	Frame	Catalog No.	Amps		F.L. Torque Lb. Ft.	Efficiency %			Power Factor %			Bearings both ends	"C" Dim.	Conn. Diag. No.	Reliance Reference No.
					F.L.	L.R.		1/2	3/4	F.L.	1/2	3/4	F.L.				
1	0.75	3600	143T	ECP3580T-4	1.4	12.1	1.5	80.5	83.6	84	65	77	84	6205	12.88	CD0006	P14G7504
1	0.75	3600	143TC	ECP3580T-4	1.3	11.2	1.5	80.5	83.9	84.0	73	83	88	6205	11.37	CD0006	—
1	0.75	1800	143T	ECP3581T-4	1.5	14.0	3	83.8	86.2	87.5	58	72	78	6205	12.88	CD0006	—
1	0.75	1800	143TC	ECP3581T-4	1.5	15	3.0	84.4	87.0	87.5	48	60	70	6205	11.37	CD0006	—
1	0.75	1200	145T	ECP3582T-4	1.8	9.6	4.5	82.3	84	82.5	42	55	63	6205	12.88	CD0006	—
1	0.75	900	L182T	ECP3687T-4	1.75	9.2	6	80.2	83.1	82.5	43	56	64	6205/6206	17.12	416820-24	P18G3412
1 1/2	1.1	3600	143T	ECP3583T-4	2	20.1	2.3	81.3	84.3	85.5	68	78	83	6205	12.88	CD0006	P14G7507
1 1/2	1.1	1800	145T	ECP3584T-4	2.1	19.7	4.5	86.7	88.6	88.5	55	68	76	6205	12.88	CD0006	—
1 1/2	1.1	1200	182T	ECP3667T-4	2.4	20	6.8	84.2	86.9	87.5	47	59	67	6205/6206	15.62	416820-24	P18G4221
1 1/2	1.1	900	L184T	ECP3668T-4	2.4	13.4	9	83.5	85.3	84	48	60	68	6205/6206	17.12	416820-24	P18G3413
2	1.5	3600	145T	ECP3586T-4	2.5	30	3	83.8	86.2	86.5	70	80	85	6205	12.88	CD0006	P14G7509
2	1.5	1800	145T	ECP3587T-4	2.7	24.7	5.95	87.1	86.6	88.5	59	71	79	6205	12.88	CD0006	—
2	1.5	1200	L184T	ECP3664T-4	2.8	18	9	86.4	88.3	88.5	49	62	70	6205/6206	17.12	416820-24	P18G4274
2	1.5	900	L213T	ECP3772T-4	3.2	16.8	12.2	85.3	86.8	86.4	48	61	69	6206/6207	20.19	416820-24	P21G3371
3	2.2	3600	182T	ECP3660T-4	3.6	30	4.5	87.7	88.8	88.5	78	86	88	6205/6206	15.62	416820-24	P18G4009
3	2.2	1800	182T	ECP3661T-4	4.2	32	9	88.1	89.5	89.5	55	68	76	6205/6206	15.62	416820-24	P18G3339
3	2.2	1200	213T	ECP3764T-4	4.2	31	13.4	88.4	89.7	89.5	55	68	75	6206/6207	19.31	416820-24	P21G4221
3	2.2	900	L215T	ECP3775T-4	4.7	25	18.3	85.4	86.3	85.5	51	63	70	6206/6207	20.19	416820-24	P21G3372
5	3.7	3600	184T	ECP3663T-4	6	44	7.5	89.2	89.6	88.5	74	84	88	6205/6206	15.62	416820-24	P18G4062
5	3.7	1800	L184T	ECP3665T-4	6.6	46	15	89.4	90.1	89.5	62	74	80	6205/6206	17.12	416820-24	P18G3340
5	3.7	1200	L215T	ECP3768T-4	6.8	46	22.5	89.7	90.2	89.5	60	71	77	6206/6207	20.19	416820-24	P21G4274
5	3.7	900	254T	ECP2280T-4	7.3	46	29.8	88.2	89.6	89.5	53	65	72	6309	24.56	416820-24	P25G483
7.5	5.6	3600	213T	ECP3769T-4	8.6	62	11.2	90.6	90.9	90.2	81	87	90	6206/6207	19.31	416820-24	P21G4009
7.5	5.6	1800	L213T	ECP3770T-4	9.4	64	22.3	91.7	92.2	91.7	64	76	81	6206/6207	20.19	416820-24	P21G4148
7.5	5.6	1200	254T	ECP2276T-4	9.9	64	33.5	90.7	91.4	91	61	72	78	6309	24.56	416820-25	P25G466
7.5	5.6	900	256T	ECP2401T-4	10.5	62	44.8	89.5	90.5	90.2	57	68	74	6309	24.56	416820-24	P25G484
10	7.5	3600	215T	ECP3771T-4	11.1	81	15	91.6	91.9	91	87	92	93	6206/6207	19.31	416820-24	P21G4062
10	7.5	1800	L215T	ECP3774T-4	12.3	81	30	92.3	92.4	91.7	68	78	83	6206/6207	20.19	416820-24	P21G419
10	7.5	1200	256T	ECP2332T-4	12.5	78	44.8	91.7	91.8	91	70	79	82	6309	24.56	416820-25	P25G467
10	7.5	900	284T	ECP2402T-4	13.7	81	59.4	89.6	90.7	91	60	70	76	6310	27.44	416820-24	P28G487
15	11.2	3600	254T	ECP2394T-4	16.8	114	22.3	92.8	93.1	91.7	85	90	91	6309	24.56	416820-25	P25G397
15	11.2	1800	254T	ECP2333T-4	18.1	116	44.6	92.3	92.8	92.4	75	82	84	6309	24.56	416820-25	P25G311
15	11.2	1200	284T	ECP4100T-4	18.7	113	66.7	91.9	92.7	92.4	69	78	81	6310	27.44	416820-25	P28G466
15	11.2	900	286T	ECP2395T-4	20	109	89.4	90.9	91.3	90.7	65	74	78	6310	27.44	416820-25	P28G488
20	14.9	3600	256T	ECP4106T-4	22.3	145	29.8	92.3	92.4	91.7	87	91	82	6309	24.56	416820-25	P25G398
20	14.9	1800	256T	ECP2334T-4	24	145	59.6	93.5	93.6	93	74	81	84	6309	24.56	416820-25	P25G3312
20	14.9	1200	286T	ECP4102T-4	24.8	143	89.2	92.5	92.9	92.4	71	79	82	6310	27.44	416820-25	P28G467
20	14.9	900	324T	ECP4112T-4	26.5	140	119	92	92.3	91.6	61	72	77	6311	30.44	416820-24	P32G483
25	18.6	3600	284TS	ECP4107T-4	28.1	182	37	93.5	93.7	93	84	89	89	6310	26.06	416820-25	P28G397
25	18.6	1800	284T	ECP4103T-4	29.7	182	74.1	94.1	94.2	93.6	77	83	84	6310	27.44	416820-25	P28G3313
25	18.6	1200	324T	ECP4111T-4	30.9	182	111	92.8	93.3	93	68	77	81	6311	30.44	416820-25	P32G466
30	22.4	3600	286TS	ECP4108T-4	33.9	214	44.5	93.9	94.1	93	87	90	89	6310	26.06	416820-25	P28G398
30	22.4	1800	286T	ECP4104T-4	36.1	217	89.1	94.1	94.2	93.6	74	81	83	6310	27.44	416820-25	P28G3314
30	22.4	1200	326T	ECP4111T-4	36.4	217	133	93.6	94	93.6	70	79	82	6311	30.44	416820-25	P32G467
40	29.8	3600	324TS	ECP4109T-4	44.3	278	59	94.2	94.5	94.1	80	87	90	6311	28.94	416820-25	P32G397
40	29.8	1800	324T	ECP4110T-4	47.7	287	118	94.6	94.7	94.1	73	80	83	6311	30.44	416820-25	P32G3320
40	29.8	1200	364T	ECP4308T-4	49	290	177	93.6	94.3	94.1	69	77	81	6313	33.44	416820-25	P36G466
50	37.3	3600	326TS	ECP4114T-4	55.5	362	73.7	94.5	94.8	94.1	79	86	89	6311	28.94	416820-25	P32G398
50	37.3	1800	326T	ECP4115T-4	58.4	355	148	95.1	95.1	94.5	76	82	84	6311	30.44	416820-25	P32G3319
50	37.3	1200	365T	ECP4312T-4	61	345	221	93.9	94.4	94.1	70	78	81	6313	33.44	416820-25	P36G467

Nota: Baldor (2015)

Figura 32

Factores de motores en media tensión 200-100 hp

Super-E® Liberator NEMA Premium® Efficient Motors

Super-E® Liberator design. Form coil VPI construction, high-pressure die cast aluminum rotor, all cast iron, NEMA Premium® efficiency through 500 Hp. Three year warranty. Includes 100 ohm platinum winding RTDs and space heaters. Short shaft motors for Coupled applications have Ball bearings that are not convertible to roller bearings. Motors with a long shaft design for Belted applications have bearings as per the NOTES below.



Super-E® Liberator TEFC - Totally Enclosed Fan Cooled - Foot Mounted, 2300/4000 Volts, Three Phase, 200 - 1000 Hp

HP	kW	RPM	Frame	Catalog No.	Amps @ 4000 V		F.L. Torque Lb. Ft.	Efficiency %			Power Factor %			Bearings			"C" Dim.	Conn. Diag. No.	Dimension Sheet
					F.L.	L.R.		1/2	3/4	F.L.	1/2	3/4	F.L.	DE	ODE				
200	149	3600	449TS	ECP44202T-2341	25.0	159	295	93.5	94.2	94.1	87	90	92	6314	6314	48.93	CD0022	18LYF052	
200	149	1800	449T	ECP44204T-2341	26.0	190	588	92.6	93.8	94.1	78	82	85	6314	6314	52.65	CD0022	18LYF051	
250	186	3600	5007SY	ECP50252S-2341	31.0	407	367	94.4	95.1	95.0	86	90	91	6314	6314	54.03	CD0022	600X0001	
250	186	3600	G5008	ECP50252S-2340	32.0	395	367	93.9	94.8	95.0	80	87	89	6313	6313	60.14	CD0022	20LYR010	
250	186	1800	G5008	ECP50254S-2340	33.5	203.4	734	94.0	94.9	95.0	74	82	85	6222	6222	60.14	CD0022	20LYR008	
250	186	1800	G5008	ECP50254L-2340 *	33.5	203.4	734	94.0	94.9	95.0	74	82	85	6322	6222	64.14	CD0022	—	
250	186	1200	G5010	ECP50256S-2340	33.5	202.5	1101	94.3	95.0	95.0	76	82	85	6222	6222	67.14	CD0022	20LYR007	
250	186	1200	G5010	ECP50256LR-2341 **	33.5	202.5	1101	94.3	95.0	95.0	76	82	85	NU324	6222	71.14	CD0022	—	
300	223	3600	G5008	ECP50302S-2340	38.4	236.9	441	94.4	95.1	95.2	80	88	89	6313	6313	60.14	CD0022	20LYR010	
300	223	1800	G5008	ECP50304S-2340	40.1	236.3	881	94.4	95.1	95.0	75	82	85	6222	6222	60.14	CD0022	20LYR008	
300	223	1800	G5008	ECP50304L-2340 *	40.1	236.3	881	94.4	95.1	95.0	75	82	85	6322	6222	64.14	CD0022	—	
300	223	1200	G5010	ECP50306S-2340	40.1	232.7	1322	94.5	95.1	95.0	76	83	85	6222	6222	67.14	CD0022	20LYR007	
300	223	1200	G5010	ECP50306LR-2341 **	40.1	242.7	1322	94.5	95.1	95.0	76	83	85	NU324	6222	71.14	CD0022	—	
350	260	3600	G5010	ECP50352S-2340	44.4	291.0	514	93.7	94.8	95.0	81	87	89	6313	6313	67.14	CD0022	20LYR009	
350	260	1800	G5008	ECP50354S-2340	47.1	283.1	1028	94.5	95.1	95.1	74	82	84	6222	6222	60.14	CD0022	20LYR008	
350	260	1800	G5008	ECP50354L-2340 *	47.1	283.1	1028	94.5	95.1	95.1	74	82	84	6322	6222	64.14	CD0022	—	
350	260	1200	G5012	ECP50356S-2340	46.5	279.4	1544	94.8	95.2	95.0	77	83	85	6222	6222	75.14	CD0022	20LYR006	
350	260	1200	G5012	ECP50356LR-2341 **	46.5	279.4	1544	94.8	95.2	95.0	77	83	85	NU324	6222	79.14	CD0022	—	
400	297	3600	G5010	ECP50402S-2340	50.7	329.1	587	94.1	95.0	95.1	81	87	89	6313	6313	67.14	CD0022	20LYR009	
400	297	1800	G5008	ECP50404S-2340	53.6	310.2	1175	94.8	95.4	95.3	75	82	84	6222	6222	60.14	CD0022	20LYR008	
400	297	1800	G5008	ECP50404L-2340 *	53.6	310.2	1175	94.8	95.4	95.3	75	82	84	6322	6222	64.14	CD0022	—	
400	297	1200	G5012	ECP50406S-2340	53.0	332.5	1762	94.9	95.4	95.2	77	83	85	6222	6222	75.14	CD0022	20LYR006	
400	297	1200	G5012	ECP50406LR-2341 **	53.0	332.5	1762	94.9	95.4	95.2	77	83	85	NU324	6222	79.14	CD0022	—	
450	334	3600	G5010	ECP50452S-2340	56.6	359.5	661	94.5	95.3	95.3	83	88	90	6313	6313	67.14	CD0022	20LYR009	
450	334	1800	5011Y	ECP50454L-2341	56.0	331	1320	94.1	95.2	95.4	83	88	89	6322	6222	72.05	CD0022	600X001	
450	334	1800	G5010	ECP50454S-2340	59.1	360.4	1321	95.2	95.7	95.5	77	84	86	6222	6222	67.14	CD0022	20LYR007	
450	334	1800	G5010	ECP50454L-2340 *	59.1	360.4	1321	95.2	95.7	95.5	77	84	86	6322	6222	71.14	CD0022	—	
450	334	1200	G5012	ECP50456S-2340	59.5	372.3	1983	95.1	95.4	95.2	77	83	86	6222	6222	75.14	CD0022	20LYR006	
450	334	1200	G5012	ECP50456LR-2341 **	59.5	372.3	1983	95.1	95.4	95.2	77	83	86	NU324	6222	79.14	CD0022	—	
500	372	3600	G5010	ECP50502S-2340	62.9	393.9	735	94.9	95.5	95.5	82	88	90	6313	6313	67.14	CD0022	20LYR009	
500	372	1800	G5010	ECP50504S-2340	65.2	396.8	1468	95.5	95.9	95.7	78	84	86	6222	6222	67.14	CD0022	20LYR007	
500	372	1800	G5010	ECP50504L-2340 *	65.2	396.8	1468	95.5	95.9	95.7	78	84	86	6322	6222	71.14	CD0022	—	
500	372	1200	G5012	ECP50506S-2340	65.9	398.5	2204	95.2	95.5	95.2	78	84	86	6222	6222	75.14	CD0022	20LYR006	
500	372	1200	G5012	ECP50506LR-2341 **	65.9	398.5	2204	95.2	95.5	95.2	78	84	86	NU324	6222	79.14	CD0022	—	
600	446	3600	G5010	ECP50602S-2340	76.4	507.2	881	94.2	95.1	95.2	79	86	89	6313	6313	67.14	CD0022	20LYR009	
600	446	1800	G5012	ECP50604S-2340	80.1	530.7	1760	94.7	95.4	95.4	75	82	85	6222	6222	75.14	CD0022	20LYR006	
600	446	1800	G5012	ECP50604L-2340 *	80.1	530.7	1760	94.7	95.4	95.4	75	82	85	6322	6222	75.14	CD0022	—	
600	446	1200	G5012	ECP50606S-2340	78.4	552.4	2637	95	95.7	95.7	75	83	86	6222	6222	86.07	—	—	
600	446	1200	G5012	ECP50606LR-2341 **	78.4	552.4	2637	95	95.7	95.7	75	83	86	NU324	6222	90.07	—	—	
700	520	3600	G400J	ECP4702S-2340	89.4	561.8	1027	94.8	95.5	95.6	79	86	88	6313	6313	83.31	—	—	
700	520	1800	G5012	ECP50704S-2340	92.5	612.6	2054	95.1	95.7	95.6	76	83	85	6222	6222	75.14	CD0022	20LYR006	
800	594	3600	G400J	ECP40802S-2340	101.9	650.4	1173	95.1	95.8	95.8	80	86	88	6313	6313	83.31	—	—	
800	594	1800	G5012	ECP50804S-2340	105.3	685.6	2347	95.6	96.0	95.9	77	83	85	6222	6222	75.14	CD0022	20LYR006	
800	594	1800	G5012	ECP50804L-2340 *	105.3	685.6	2347	95.6	96.0	95.9	77	83	85	6322	6222	79.14	—	—	
900	669	3600	05808	EM25902S-2340	114.9	784.6	2638	95.8	96.3	96.2	78	85	88	6222	6222	86.07	—	—	
1,000	743	1800	G5012	ECP50904L-2340	114.9	784.6	2930	95.6	96.2	96.1	78	85	87	6224	6224	86.07	—	—	
1,000	743	1800	G400J	ECP401004S-2340	128.9	838	2930	95.6	96.2	96.1	78	85	87	6224	6224	86.07	—	—	

Nota: Baldor (2015)

Shaded ratings are cast iron frames.

** Motor has Long Shaft with Drive End Roller bearing for heavy duty Belted loads that is convertible to Ball bearing for Belted loads.

Super-E® Liberator WPII - Weather Protected Type II - Foot Mounted, 2300/4000 Volts, Three Phase, 900 - 1500 Hp

HP	kW	RPM	Frame	Catalog No.	Amps @ 4000 V		F.L. Torque Lb. Ft.	Efficiency %			Power Factor %			Bearings			"C" Dim.	Conn. Diag. No.	Dimension Sheet
					F.L.	L.R.		1/2	3/4	F.L.	1/2	3/4	F.L.	DE	ODE				
900	669	3600	05808	EM25902S-2340	119.9	629.4	1325	93.5	94.4	94.5	74	83	86	6313	6313	58.5	CD0022	617171-12	
1,000	743	3600	05808	EM251002S-2340	135.1	690.2	1473	92.6	93.8	94.1	78	82	85	6314					

Act.1.4: Calcular la potencia demandada y el margen de reserva de la instalación. Con la información de la lista de equipos mecánicos de la figura 29 y los datos de los factores correspondientes a la figura 30 procedemos a realizar los cálculos. Tomaremos de ejemplo el cálculo de la máxima demanda del motor con tag 450-PPV-942.

Datos obtenidos de la lista de equipos mecánicos figura 30

- Tipo de arranque: DOL (direct online starter)
- Potencia mecánica en el eje: 738 kW
- Potencia instalada: 932 kW.

Para el cálculo del factor de demanda (f_d) aplicamos la ecuación 2

$$f_d = \frac{P_o}{P_n} = \frac{738}{932}$$

$$f_d = 0.792$$

Datos obtenidos de la figura 30 para el motor de 932 kW (1250 hp)

- Eficiencia a 100% de plena carga (n_i): 0.95
- Factor de potencia a 100% de plena carga ($\cos\varphi_i$): 0.86
- Eficiencia de operación a 75% de plena carga (n_0): 0.96
- Factor de potencia a 75% de plena carga ($\cos\varphi_0$): 0.83

Cálculo de la potencia eléctrica de operación (kW). Aplicando la ecuación 7

$$P_{ao} = \frac{P_n * f_d}{n_0} = \frac{932 * 0.792}{0.96}$$

$$P_{ao} = 768.9 \text{ kW}$$

Potencia reactiva de operación (kVAR). Aplicando la fórmula 8

$$Q_a = P_o * \tan(\emptyset) = 769.55 * \tan(\arccos(0.83))$$

$$Q_a = 517.14 \text{ kVAR}$$

Potencia aparente de operación (kVA)

Aplicando la ecuación 9

$$P_{ao} = \frac{P_n * f_d}{n_o * \cos \varphi_0} = \frac{932 * 0.792}{0.96 * 0.83}$$

$$P_{ao} = 926.39 \text{ kVA}$$

Cálculo de la potencia eléctrica instalada(kW)

Aplicando la ecuación 10

$$P_i = \frac{P_N}{n_i} = \frac{932}{0.95}$$

$$P_i = 981.05 \text{ kW}$$

Potencia reactiva instalada (kVAr)

Aplicando la ecuación 11

$$Q_i = P_i * \tan(\emptyset) = 981.05 * \tan(\arccos(0.86))$$

$$Q_i = 582.12 \text{ kVAR}$$

Potencia aparente instalada (kVA)

Aplicando la ecuación 12

$$P_{ai} = \frac{P_N}{n_i * \cos \cos \emptyset} = \frac{932}{0.95 * 0.86}$$

$$P_{ao} = 1140.76 \text{ kVA}$$

De forma similar al procedimiento anterior, procedemos a realizar los cálculos para todas las cargas requeridas, utilizando las fórmulas del capítulo 2, acápite 2.1.4. obteniendo así los resultados de las figuras 33 y 34.

Figura 33

Máxima demanda de las cargas de media tensión

CARGAS EN MEDIA TENSIÓN									Factores				Demanda Eléctrica			Potencia Instalada				
Nro	Descripción	Código	Estado	Tensión [V]	Nº de fases	Tipo de Arranque	Potencia Absorvida [kW]	Potencia instalada [kW]	Potencia Instalada [hp]	Factor de demanda (fd)	Eficiencia al 75% de plena carga	FP al 75% de plena carga	Eficiencia al 100% de plena carga	FP al 100% de plena carga	kW	kVar	kVA	kW	kVar	kVA
1	Motor de bomba vertical de agua	450-PPV-942A	ON	4160	3	DOL	738	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86	771.97	518.76	930.08	976.94	579.68	1135.98
2	Motor de bomba vertical de agua	450-PPV-943A	ON	4160	3	SS	738	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86	771.97	518.76	930.08	976.94	579.68	1135.98
3	Motor de bomba vertical de agua	450-PPV-944A	ON	4160	3	DOL	738	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86	771.97	518.76	930.08	976.94	579.68	1135.98
4	Motor de bomba vertical de agua	450-PPV-945A	ON	4160	3	SS	738	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86	771.97	518.76	930.08	976.94	579.68	1135.98
													Total	3087.87	2075.06	3720.32	3907.76	2318.73	4543.90	

Nota: La tabla contiene los resultados del cálculo de máxima demanda para las cargas de media tensión.

Figura 34

Máxima demanda de las cargas de baja tensión

CARGAS EN BAJA TENSIÓN

Nro	Descripción	Código	Estado	Tensión [V]	Nº de fases	Tipo de Arranque	Potencia Absorvida [kW]	Potencia instalada [kW]	Potencia Instalada [hp]	Factores				Demanda Eléctrica			Potencia Instalada			
										Factor de demanda (fd)	Eficiencia al 75% de plena carga	FP al 75% de plena carga	Eficiencia al 100% de plena carga	FP al 100% de plena carga	kW	kVAr	kVA	kW	kVAr	kVA
1	Motor de Bomba Sumidero de Agua	450-PPR-787A	ON	400	3	DOL	15	19	25	0.79	0.94	0.83	0.94	0.84	15.92	10.70	19.19	20.30	13.11	24.17
2	Motor de portón metálico	450-DOE-202	ON	400	3	FDR	0.8	2	3	0.40	0.90	0.68	0.90	0.76	0.89	0.96	1.31	2.23	1.91	2.94
3	Válvula Motorizada	450-FCV-4737	ON	400	3	FDR	0.9	1	2	0.90	0.89	0.68	0.89	0.76	1.02	1.10	1.49	1.13	0.97	1.49
4	Válvula Motorizada	450-FCV-4738	ON	400	3	FDR	0.9	1	2	0.90	0.89	0.68	0.89	0.76	1.02	1.10	1.49	1.13	0.97	1.49
5	Máquina de soldar para el área de la sala eléctrica	450-WR-706	ON	400	3	FDR	-	45	-	-	-	0.70	-	0.70	45.00	45.91	64.29	45.00	45.91	64.29
6	Máquina de soldar para el área de la sala eléctrica	450-WR-710	ON	400	3	FDR	-	45	-	-	-	0.70	-	0.70	45.00	45.91	64.29	45.00	45.91	64.29
7	Sistema de HVAC Sala Eléctrica (Nota 5)	450-ACA-918	ON	400	3	FDR	63.8	75	100	0.85	0.96	0.87	0.95	0.87	66.81	37.75	76.57	78.62	44.55	90.36
8	Sistema de Presurización Sala Eléctrica (Nota 5)	450-COA-922	ON	400	3	FDR	42.5	50	75	0.85	0.96	0.84	0.95	0.86	44.36	28.66	52.81	52.41	31.10	60.94
9	Sistema de Presurización Sala Eléctrica (Nota 5)	450-COA-923	ON	400	3	FDR	42.5	50	75	0.85	0.96	0.84	0.95	0.86	44.36	28.66	52.81	52.41	31.10	60.94
10	Transformador de Alumbrado 50 kVA, 480/400-230V, 3F	450-XFL-977	ON	400	3	FDR	-	45	-	-	-	0.90	-	0.90	45.00	21.79	50.00	45.00	21.79	50.00
11	Transformador de Instrumentación-Establecido, 7.5 kVA, 480/120 V, 1	450-XFZ-983	ON	400	3	FDR	-	6.8	-	-	-	0.90	-	0.90	6.75	3.27	7.50	6.75	3.27	7.50
12	Rectificador y Cargador de Baterías.	450-BAC-634	ON	400	3	FDR	-	5	-	-	-	0.90	-	0.90	5.00	2.42	5.56	5.00	2.42	5.56
13	Transformador de Instrumentación para tablero no Estabilizado, 7.5	450-XFZ-985	ON	400	3	FDR	-	6.8	-	-	-	0.70	-	0.70	6.75	6.89	9.64	6.75	6.89	9.64
											Total	327.69	235.11	403.31	361.73	249.90	439.66			

Levenda:

ON: Equipo operando

SBY: Equipo de respaldo o en stand by

FP: Factor de potencia

DOL: Arranque directo

FDR: Alimentador (Feeder)

SS: Arrancador suave (soft starter)

Nota: La tabla contiene los resultados del cálculo de máxima demanda para las cargas de baja tensión.

Utilizando los resultados de la figura 34, se procede a calcular la máxima demanda con el factor de reserva para la instalación en baja tensión. Se obtienen los resultados de la tabla 12.

Tabla 12

Máxima demanda con factor de reserva en baja tensión

	kW	kVAR	kVA
M.D. parcial en B.T.	327.69	325.11	403.31
Margen de reserva 25%	81.92	81.28	100.83
M.D. Total B.T.	409.61	293.89	504.13

Nota: La tabla contiene el resumen de los resultados de la máxima demanda en baja tensión.

Con los datos de la figura 33 y tabla 12, se procede a calcular la demanda de toda la instalación con el factor de reserva de 25%, por lo cual sumamos toda la demanda de las cargas de media tensión más la máxima demanda con factor de reserva de las cargas en baja tensión. A este resultado, se aplica un factor de reserva de 25 % para la proyección de cargas futuras y se obtiene la máxima demanda de la instalación de la tabla 13.

Tabla 13

Máxima demanda con factor de reserva de la instalación.

	kW	kVAR	kVA
M.D. Parcial en M.T.	3087.87	2075.06	3720.32
M.D. Total B.T.	409.61	293.89	504.13
Sub Total	3497.48	2368.94	4224.25
Margen de reserva 25%	874.37	592.24	1056.06
M.D. Total instalación	4371.85	2961.18	5280.31

Nota. La tabla contiene el resumen de los resultados de la máxima demanda de toda la instalación.

Para mayor detalle del cálculo de la máxima demanda de las cargas y la demanda de toda la instalación, ver el anexo 1 del presente documento.

B. Desarrollo de bloques solución correspondientes al objetivo O 2

Act.2.1: Revisar el criterio de diseño eléctrico de la mina. Del criterio de diseño eléctrico, obtenemos los siguientes los siguientes datos relevantes para la selección de los equipos eléctricos.

Tensión de distribución del proyecto. Los siguientes niveles de tensión en C.A. serán utilizados para la distribución de fuerza.

- 23 kV, 3F, 3H, con resistencia de puesta a tierra de 200 A - 400 A.
- 4.16 kV, 3F, 3H, con resistencia de puesta a tierra de 400 A.
- 480 V, 3F, 3H, neutro sólidamente conectado a tierra.
- 400/230 V, 3F, 4H, neutro sólidamente conectado a tierra para iluminación y tomacorrientes.
- 230 V, 1F, 2H, sólidamente conectado a tierra para motores con potencia menor a 0.25 kV, tomacorrientes e iluminación.

Condiciones de sitio y factores de corrección para el dimensionamiento y selección de equipos

Tabla 14

Condiciones de sitio y factores para el diseño

Altitud sobre el nivel del mar	4300 m s. n. m.
Factor de corrección por tensión para equipos	0.69 pu
Factor de corrección por corriente para equipos	0.93 pu
Temperatura máxima del ambiente	40°C
Mínima temperatura de ambiente	-5°C.
Humedad máxima relativa	70%

Nota: La tabla contiene las condiciones de sitio a considerar para el diseño.

Act.2.2: Revisar las especificaciones técnicas de equipos eléctricos de la mina. De las especificaciones técnicas, obtenemos los siguientes los siguientes datos relevantes para la selección de los equipos eléctricos.

ESP-001: Especificación técnica celda GIS (Switchgear GIS). La celda se diseñará y construirá para facilitar la inspección, limpieza, reparación y mantenimiento y para garantizar la seguridad absoluta durante dichos trabajos.

La celda GIS será diseñada, fabricada y probada bajo los estándares de la norma IEC.

La celda será para uso exterior, con envolvente IP 66, montada sobre una losa.

Los interruptores serán en vacío tipo fijo con medio aislante en SF6.

Los apartarrayos deberán ser adecuados a los requerimientos de protección del sistema eléctrico y equipo.

Los seccionadores de puesta a tierra serán de tipo trifásico accionados por motor. Se dispondrá de un enclavamiento para evitar el aterramiento de los equipos con tensión.

Las barras colectoras serán de cobre electrolítico, diseñados para la corriente nominal de la celda, y soportar una corriente de falla máxima de 40 kA. Las barras colectoras deberán estar encerradas en un compartimiento relleno de gas SF6.

Los transformadores de tensión y corriente deben ser adecuados para su funcionamiento continuo y se montaran en el exterior del recinto de gas.

Las tensiones auxiliares para control, alimentación de relés, mando de interruptores y calentadores serán 120 V, 125 Vdc, 125 Vdc y 220 V, respectivamente.

ESP-008: Especificación técnica transformadores de potencia en aceite. El transformador de potencia será diseñada, fabricada y probada bajo los estándares de la norma IEEE C57.12.00.

El transformador será trifásico en líquido aislante, apropiados para instalación a la intemperie sobre una base de concreto.

El tanque del transformador será de diseño compacto y, en la base de los transformadores, se instalarán patines en sentido longitudinal y transversal.

Los bornes de los terminales estarán ubicados dentro de una caja llena de aire con tapa empernada, asimismo, serán completamente identificadas

El líquido aislante será aceite mineral libre de PCB y la refrigeración del transformador será de ventilación natural.

El núcleo será de fierro silicoso, laminado en frío y los arrollamientos serán de cobre.

El transformador será equipado con un conmutador en vacío para la regulación de la tensión. Este conmutador tendrá cinco (5) posiciones de taps +/- 2.5%.

El grupo de conexión será un Dyn1, con neutro aterrado mediante una resistencia.

ESP-006: Especificación técnica de ducto de barras. El ducto de barras será diseñada, fabricada y probada bajo los estándares de la norma IEEE C37.23, CSA C22.2 N°27-09 y UL.

El ducto de barras será fabricado de cobre de alta conductividad (99.99%), de sección rectangular y revestida en toda su longitud de material aislante.

El ducto de barras será construido para su instalación al exterior con un encerramiento NEMA 4.

De ser necesario, el fabricante suministrará calentadores de espacio o termostatos para evitar la condensación.

El ducto de barras será suministrado con todos sus accesorios como sellos pasamuros, juntas de vibración, placas de unión de ajuste, entre otros. Asimismo, el proveedor será encargado de suministrar los soportes para la instalación del ducto de barras.

ESP-007: Especificación técnica centro control de motores de media tensión.

El centro del control de motores (CCM) de media tensión (MT) será diseñado, fabricado y probado bajo los estándares de la norma IEEE, NEMA, UL.

El CCM de MT será para uso interior, con encerramiento NEMA 12, montada al interior de la sala le eléctrica.

Los compartimentos para los interruptores serán del tipo metal clad y los compartimentos para los arrancadores, seccionadores fusibles serán del tipo metal *enclosed*.

Las barras colectoras serán de alta resistencia, alta conductividad de cobre estañado y reforzados para soportar una corriente de cortocircuito máximo de 50 kA.

Una barra de tierra continua de cobre de alta conductividad y resistencia mecánica será proporcionada a lo largo del ensamblaje y será sólidamente empernada al armazón de acero.

Las tensiones auxiliares para control, alimentación de relés, mando de interruptores y calentadores serán: 120 V, 125 Vdc, 125 Vdc y 220 V respectivamente.

ESP-009: Especificación técnica de transformadores secos. El transformador de potencia será diseñada, fabricada y probada bajo los estándares de la norma IEEE C57.12.01, C57.12.91 y C57.96.

El transformador será adecuado para operar instalación interior o exterior según se indique en las hojas de datos.

El transformador será trifásico, 60 Hz, salvo que la hoja de datos indique lo contrario.

Si la hoja de datos lo indica, el transformador tendrá capacidad para tender cargas con contenido de armónicos. El factor k especificado será de acuerdo con la norma IEEE C57.110.

El núcleo del transformador será construido de acero de alto grado, de alta permeabilidad magnética y bajas pérdida de corriente de histéresis.

El bobinado será de alambre continuo de cobre y tendrá una cubierta de material aislante para prevenir daños mecánicos.

El núcleo y las bobinas serán impregnadas con barniz no higroscópico de secado al horno.

Cuando se especifique en las hojas de datos, los bornes terminales podrían estar ubicados dentro de una envolvente llena de aire con tapa empernada para permitir la conexión a los bornes de los cables o barras.

El transformador será equipado con un commutador en vacío para la regulación de la tensión, este commutador tendrá cinco (5) posiciones de taps +/- 2.5%.

ESP-010: Especificación técnica centro control de motores de baja tensión. El centro del control de motores (CCM) de baja tensión (BT) será diseñada, fabricada y probada bajo los estándares de la norma IEEE, NEMA, UL.

El CCM de BT será para uso interior, con encerramiento NEMA 12, montada al interior de la sala le eléctrica.

Todas las unidades combinadas de arranque de motores (NEMA) e interruptores termomagnéticos deben ser del tipo completamente extraíbles.

Todas las unidades de arranque hasta el tamaño NEMA 5 y los interruptores de los alimentadores hasta 400 A serán del tipo extraíble.

Las barras colectoras serán de alta resistencia, alta conductividad de cobre y adecuados para soportar una corriente de cortocircuito máximo de 65 kA.

Se suministrará una barra de tierra a lo largo del CCM y será sólidamente empernada al armazón de acero.

Las tensiones auxiliares para control, alimentación de medidor, y calentadores serán: 120 V, 125 Vdc y 220 V respectivamente.

ESP-011: Especificación técnica grupo electrógeno de media tensión. El grupo electrógeno Diesel (GED) de media tensión (MT) será diseñada, fabricada y probada bajo los estándares de la norma IEEE, NEMA, NEC.

El GED será de operación en Stand by o Emergencia, insonorizado con envolvente IP 65 o equivalente NEMA, montada al exterior sobre una losa de concreto.

Tendrá una autonomía de 8 horas y será diseñada para las condiciones de sitio.

El neutro del GED será conectado a tierra a través de una resistencia.

El GED contará con un sistema contra incendio, detección, alarma y extinción.

El GED será suministrado con dos tableros: un tablero de sincronismo y un tablero de supervisión de alarmas, para la puesta en operación y transferencia del grupo electrógeno por pérdida del suministro de energía de la red.

ESP-005: Especificación técnica salas eléctricas prefabricadas. La sala eléctrica será diseñada, fabricada y probada bajo los estándares de la norma AISC, ANSI, ASTM, ASME.

La iluminación interior y exterior de la sala eléctrica serán del tipo LED, con un nivel de iluminación interna de 500 Lux como mínimo al nivel del piso y un nivel de iluminación de emergencia sobre superficies de 20 Lux.

El grado de protección o encerramiento de la sala eléctrica será NEMA 4, diseñada para soportar una carga distribuida en la base de 1250 kg/m², una carga mínima en el techo de 250 kg/m² y una carga puntual de 150 kg en el techo.

La soldadura estructural será de cordones continuos, soldadura MIG o TIG.

Las estructuras de la base serán vigas del tipo H e I, y las estructuras de la sala serán tubos de acero de sección cuadrada.

Las puertas de la sala eléctrica serán antipánico, con techo de protección antilluvia. En cada puerta se contará con luces destellantes y sirena audible.

Contará con un sistema de presurización y sistema de aire acondicionado HVAC para mantener un rango de temperatura entre 18 a 29 °C.

Contará con un sistema de captación de polvos, un sistema de detección y extinción de incendios.

Tendrá un grado de aislamiento térmico para paredes, techos y puertas de R18, R23 y 18 respectivamente.

La resistencia al fuego para paredes, techos y puertas será de 120 minutos.

Act.2.3: Cálculo de las características eléctricas de los equipos como son potencia nominal, corriente nominal, nivel de aislamiento, entre otros.

Cálculo de los parámetros de diseño. Considerando que la compañía minera se encuentra a la altura de 4300 m s. n. m. La selección del tablero de media tensión en la celda (*switchgear*) de 4.16 kV será de la siguiente manera.

Calculamos el factor de corrección de tensión para la altitud de 4300 m s. n. m. empleando la ecuación 23.

$$k_a = \frac{1}{k_a'} = e^{\frac{m(H-1000)}{8150}}$$

$$k_a = \frac{1}{k_a'} = e^{\frac{1*(4300-1000)}{8150}} = 1.499$$

$$k_a' = 0.667$$

Del resultado podemos Notar que esta difiere del valor que nos muestra en la tabla 11, $k_a' = 0.69$ extraído del criterio de diseño eléctrico, que a su vez esta última se asemeja al factor de corrección para 4300 m s. n. m. de la tabla 5, $k_a' = 0.70$, razón por la cual procederemos a trabajar con el valor brindado en el criterio de diseño eléctrico, obteniendo así la tabla 15

Tabla 15*Tensiones de equipos en 4.16 kV para 4300 m s. n. m.*

Rango	Tensión de operación	Factor de corrección	Nueva tensión de operación	Rango de tensión de diseño normalizado
Tensión de operación	4.76 kV	0.69	6.89 kV	8.25 kV
Nivel básico de aislamiento (BIL)	60 kV	0.69	86.95 kV	95 kV
Tensión a frecuencia industrial	19 kV	0.69	27.53 kV	36 kV

Nota: La tabla contiene los niveles de tensión estandarizado de acuerdo con las normas.

Siguiendo el mismo criterio para los diferentes equipos y niveles de tensión, es así que se obtienen los parámetros de diseño correspondiente a la tabla 16.

Tabla 16*Parámetros de diseño del proyecto*

Tensión de distribución (kV)	Nivel básico de aislamiento -BIL (kVp)	Tensión de prueba a frecuencia industrial (kVrms)
Transformadores		
23	200	70
4.16	95	34
0.48	30	10
Celdas GIS (switchgear GIS)		
23	170	70
Celda (switchgear)/ Centro control de motores		
4.16	95	36
Ducto de barras		
4.16	95	36

Nota: La tabla contiene las tensiones estandarizadas para el nivel de aislamiento y tensión de prueba a frecuencia industrial, de acuerdo con la normativa IEEE.

Selección de equipos eléctricos principales. Para la selección de los equipos eléctricos, partimos de la información de la máxima demanda correspondiente a la tabla 12 y tabla 13.

La M.D. total en B.T. incluyendo el margen de reserva, es de 504.13 kVA.

La M.D. total de la instalación incluyendo el margen de reserva, es de 5280.31 kVA.

Selección del transformador de potencia 23/4.16 kV. El transformador de potencia será trifásico y tendrá la suficiente capacidad para satisfacer la demanda de la instalación. Por lo cual, se considera que el transformador debe tener una capacidad mínima de 5280.31 kVA, tal como indica la máxima demanda; sin embargo, este valor no es estandarizado en las normas, razón por la cual procedemos a elegir el inmediato superior estandarizado de los valores de la tabla 4.

El transformador de potencia seleccionado es de 7500 kVA.

Selección del transformador de distribución 4.16/0.48 kV. El transformador de distribución será trifásico y tendrá la suficiente capacidad para satisfacer la demanda de la instalación en baja tensión. Por lo cual, se considera que el transformador debe tener una capacidad mínima de 504.13 kVA, tal como indica la máxima demanda en baja tensión; sin embargo, este valor no es estandarizado en las normas: Razón por la cual, se procede a elegir un valor cercano o el inmediato superior estandarizado de los valores de la tabla 4.

El transformador de distribución seleccionado podría ser de 500 kVA, sin embargo, por indicación de la compañía minera se procedió a elegir la capacidad de 750 kVA.

Selección de la celda GIS 22.9 kV (switchgear GIS). La celda deberá tener la suficiente capacidad para soportar la corriente nominal en el lado primario del transformador de potencia cuando esta esté operando a plena carga o potencia nominal.

Con la información de la capacidad del transformador de potencia (12 000 kVA) y la ecuación 26, obtenemos.

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * V}$$

$$I_n = \frac{7500}{\sqrt{3} * 22.9} = 189.09 A$$

La corriente de diseño será 125% de la corriente nominal, por lo cual aplicamos la ecuación 28.

$$I_{diseño} = 1.25 * I_n$$

$$I_{diseño} = 1.25 * 189.09 = 236.4 A$$

Los valores estandarizados de la corriente en la barra de la celda son de 800 A, 1250 A, 1600 A, 2000 A.

De lo anterior, procedemos a elegir la corriente de la barra de 800 A.

Selección del ducto de barras y centro de control de motores en media tensión 4.16 kV. El ducto de barras y el centro de control de motores de media tensión deberán tener la suficiente capacidad para soportar la corriente nominal en el lado secundario del transformador de potencia cuando esta esté operando a plena carga o potencia nominal.

Del punto anterior procedemos a calcular la corriente nominal en el lado secundario del transformador (12 000 kVA) que estará conectado con el ducto de barras, por lo cual aplicamos la ecuación 26.

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * V}$$

$$I_n = \frac{7500}{\sqrt{3} * 4.16} = 1040.9 A$$

La corriente de diseño será 125% de la corriente nominal, por lo cual aplicamos la ecuación 28.

$$I_{diseño} = 1.25 * I_n$$

$$I_{diseño} = 1.25 * 1040.9 = 1301 A$$

Los valores estandarizados de la corriente en la barra del centro control de motores de media tensión son de 1200 A, 2000 A, 2500 A, 3000 A.

De manera similar, los valores estandarizados de la corriente en el ducto de barras son de 1200 A, 2000 A, 3000 A, 4000 A.

De lo anterior, procedemos a elegir la corriente de la barra de 2000 A, tanto en el centro control de motores como en el ducto de barras.

Selección del centro de control de motores en baja tensión 480 V. El centro de control de motores de baja tensión deberá tener la suficiente capacidad para soportar la corriente nominal en el lado secundario del transformador de distribución cuando esté operando a plena carga o potencia nominal.

Del punto anterior, se procede a calcular la corriente nominal en el lado secundario del transformador (750 kVA), por lo cual aplicamos la ecuación 26.

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * V}$$

$$I_n = \frac{750}{\sqrt{3} * 480} = 902.1 \text{ A}$$

La corriente de diseño será 125% de la corriente nominal, por lo cual aplicamos la ecuación 28.

$$I_{diseño} = 1.25 * I_n$$

$$I_{diseño} = 1.25 * 902.1 = 1127.7 \text{ A}$$

Los valores estandarizados de la corriente en la barra del centro control de motores de baja tensión son de 600 A, 800 A, 1200 A, 2000 A.

Selección del grupo electrógeno en media tensión 4.16 kV. Para el dimensionamiento y la selección del grupo electrógeno, se hace uso de la herramienta libre *SpecSizer*. Esta tiene, como datos de entrada, las cargas que requieren ser alimentadas por el grupo electrógeno y las condiciones de sitio donde se realizará la instalación. En función a esta información realiza una secuencia para energizar cada carga, considerando la caída de tensión máxima permisible, asimismo, teniendo la facilidad de optimizar la secuencia de arranque de manera automática. Posterior a ello, nos muestra los resultados donde figura el grupo más óptimo y de más grupos que cumplen con estos.

En el anexo 2, se muestran los datos de entrada, la secuencia de arranque o energización de las cargas y los resultados, obteniendo así un grupo electrógeno 2500 kVA de potencia nominal a nivel del mar.

Sala eléctrica prefabricada. Para la selección y dimensionamiento de la sala eléctrica, nos basamos en el arreglo de la disposición de equipos que será desarrollado en el objetivo O3.

Act.2.4: Desarrollo del diagrama unifilar. Para el desarrollo del diagrama unifilar, debemos conocer la simbología de los equipos eléctricos, esta nos será de gran utilidad para el desarrollo de los diagramas unifilares. Para nuestro caso, en la figura 35 nos muestra la simbología de los equipos eléctricos típicamente usados, para mayor detalle, ver el anexo 7.

En base a la simbología de la figura 35, obtenemos los diagramas unifilares de la figura 36 y figura 37, los cuales se detallan en el anexo 8.

Figura 35

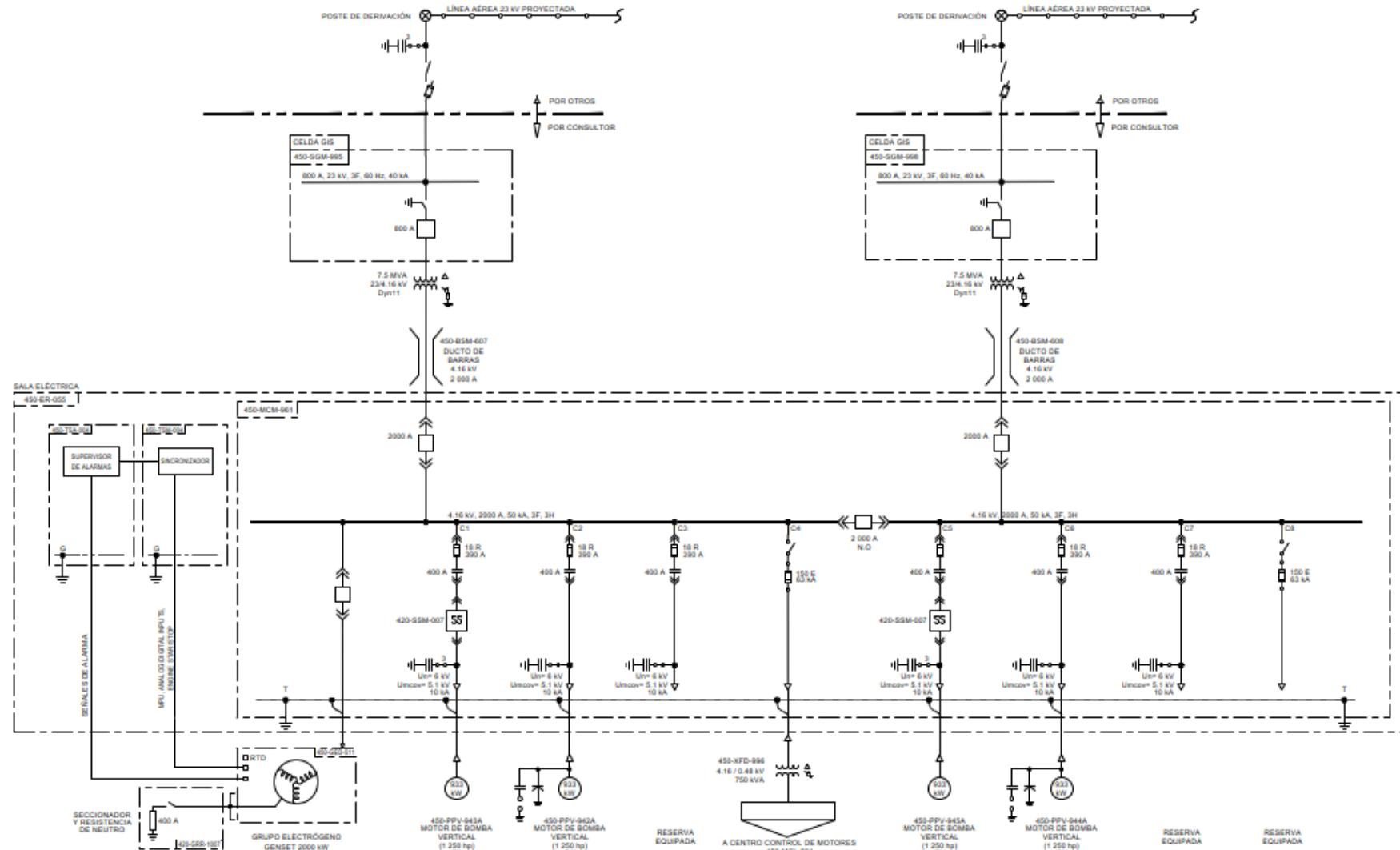
Simbología de equipos eléctricos

SYMBOL SÍMBOLO	DESCRIPTION DESCRIPCIÓN	SYMBOL SÍMBOLO	DESCRIPTION DESCRIPCIÓN
	VACUUM CIRCUIT BREAKER (2000 A INDICATED) INTERRUPTOR EN VACÍO FIJO (SE INDICAN 2000 A)		EMERGENCY GENERATOR WITH GROUNDING RESISTANCE GENERADOR DE EMERGENCIA CON RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
	VACUUM CIRCUIT BREAKER DRAW OUT TYPE (1200 A INDICATED) INTERRUPTOR EN VACÍO TIPO EXTRÁEABLE (SE INDICAN 1200 A)		MEDIUM VOLTAGE STARTER REMOVABLE CONTACTOR AND FUSE ARRANCADOR DE MEDIA TENSIÓN FUSIBLE Y CONTACTOR EXTRÁEABLE
	CIRCUIT BREAKER DRAWOUT TYPE, TRIP CURRENT VALUE IS LISTED BELOW THE FRAME DIMENSION OF CIRCUIT BREAKER IS LISTED ABOVE (800 AF/ 600 AT INDICATED) INTERRUPTOR TIPO DESMONTABLE, EL VALOR DE DISPARO DE CORRIENTE SE INDICA ABajo DE LA LíNEA Y LA DIMENSIÓN DEL MARCO DEL INTERRUPTOR SE INDICA ARRIBA (SE INDICAN 800 AF/ 600 AT)		MEDIUM VOLTAGE FEEDER REMOVABLE CONTACTOR AND FUSE CLOSE COIL TRIP COIL L: LATCHED
	CIRCUIT BREAKER FIXED MOUNT TYPE, TRIP CURRENT VALUE IS LISTED BELOW, THE FRAME DIMENSION OF CIRCUIT BREAKER IS LISTED ABOVE (150 AF/ 15 AT INDICATED) INTERRUPTOR TIPO FIJO, EL VALOR DE DISPARO DE CORRIENTE SE INDICA ABajo Y LA DIMENSIÓN DEL MARCO DEL INTERRUPTOR ARRIBA (SE INDICAN 150 AF/ 15 AT)		ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN FUSIBLE Y CONTACTOR EXTRÁEABLE BOBINA DE CIERRE BOBINA DE DISPARO L: CIERRE
	CIRCUIT BREAKER AUTOMATIC INTERRUPTOR AUTOMÁTICO		DISCONNECTING SWITCH THAT OPERATES WHEN LOADED EXAMPLE: 600 A FRAME, 200 A FUSE CLF= CURRENT LIMITING FUSE SECCIONADOR CON OPERACIÓN BAJO CARGA EJEMPLO: 600 A FRAME FUSIBLE DE 200 A CLF = FUSIBLE DE CORRIENTE
	SWITCH NON FUSED CONTINUOUS RATING INDICATED OR TEST SWITCH MANUALLY OPERATED SECCIONADOR SIN FUSIBLE SE INDICA VALOR NOMINAL CONTINUO O SECCIONADOR DE PRUEBA DE OPERACIÓN MANUAL		THERMAL OVERLOAD RELAY RELE DE SOBRECARGA TÉRMICA
	SAFETY SWITCH INTERRUPTOR DE SEGURIDAD		DISCONNECTING WITH LOAD SECCIONADOR BAJO CARGA
	COMBINATION STARTER WITH MOTOR GUARD (MCP), WITH THERMAL OVERLOAD RELAYS 2 CONTACTORS INDICATE REVERSING STARTER MCP COMBINACIÓN ARRANCADOR CON GUARDAMOTOR (MCP), CON RELES TÉRMICO DE SOBRECARGA 2 CONTACTORES INDICAN ARRANQUE INVERSOR MCP		GROUNDED DISCONNECTOR SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA
	GENERAL FUSE CLF INDICATES CURRENT LIMIT NOMINAL VALUE INDICATED FUSIBLE, GENERAL, CLF INDICA LIMITE DE CORRIENTE, SE INDICA VALOR NOMINAL		TWO-WINDING TRANSFORMER RATING AS INDICATED TRANSFORMADOR DE DOS ARROLLAMIENTOS, VALOR NOMINAL COMO SE INDICA
	FUSED LOAD BREAK DISCONNECT SWITCH CONTINUOUS SWITCH RATINGS INDICATED SECCIONADOR PARA RUPTURA DE CARGA CON FUSIBLE, SE INDICAN VALORES NOMINALES CONTINUOS DEL INTERRUPTOR		THREE-WINDING TRANSFORMER TRANSFORMADOR DE TRES ARROLLAMIENTOS,
	RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR DETECTOR DE TEMPERATURA RESISTIVO		SINGLE-PHASE TRANSFORMER TRANSFORMADOR MONOFÁSICO
	VIBRATION SENSOR SENSOR DE VIBRACIÓN		VOLTAGE TRANSFORMER WITH RATIO AND QUANTITY AS INDICATED TRANSFORMADOR DE TENSIÓN CON RELACIÓN Y CANTIDAD COMO SE INDICA
	HEATER CALENTADOR		TRANSFORMER (POWER, DISTRIBUTION, LIGHTING) NEUTRAL SOLIDLY GROUNDED DELTA - STAR CONNECTION TRANSFORMADOR (POTENCIA, DISTRIBUCIÓN, ALUMBRADO) NEUTRO SOLIDAMENTE PUESTA A TIERRA CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA
	LOCAL STATION CONTROL ESTACIÓN DE CONTROL LOCAL		TRANSFORMER (POWER, DISTRIBUTION) DELTA-STAR CONNECTION RESISTANCE GROUNDED TRANSFORMADOR (POTENCIA, DISTRIBUCIÓN) CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA DE PUESTA A TIERRA MEDIANTE RESISTENCIA
	DOUBLE AIR BREAK SWITCH LOAD BREAK TYPE (LINE 1 - CLOSE, LINE 2 - OPEN) SECCIONADOR EN AIRE DOBLE BAJO CARGA (LINEA 1 - CERRADA, LINEA 2 - ABIERTA)		AUTO TRANSFORMER AUTO TRANSFORMADOR
			AUTOMATIC TAPS CHANGER TRANSFORMER TRANSFORMADOR DE REGULACIÓN DE CARGA AUTOMÁTICA

Nota: Adaptado de IEEE std 315 (1975)

Figura 36

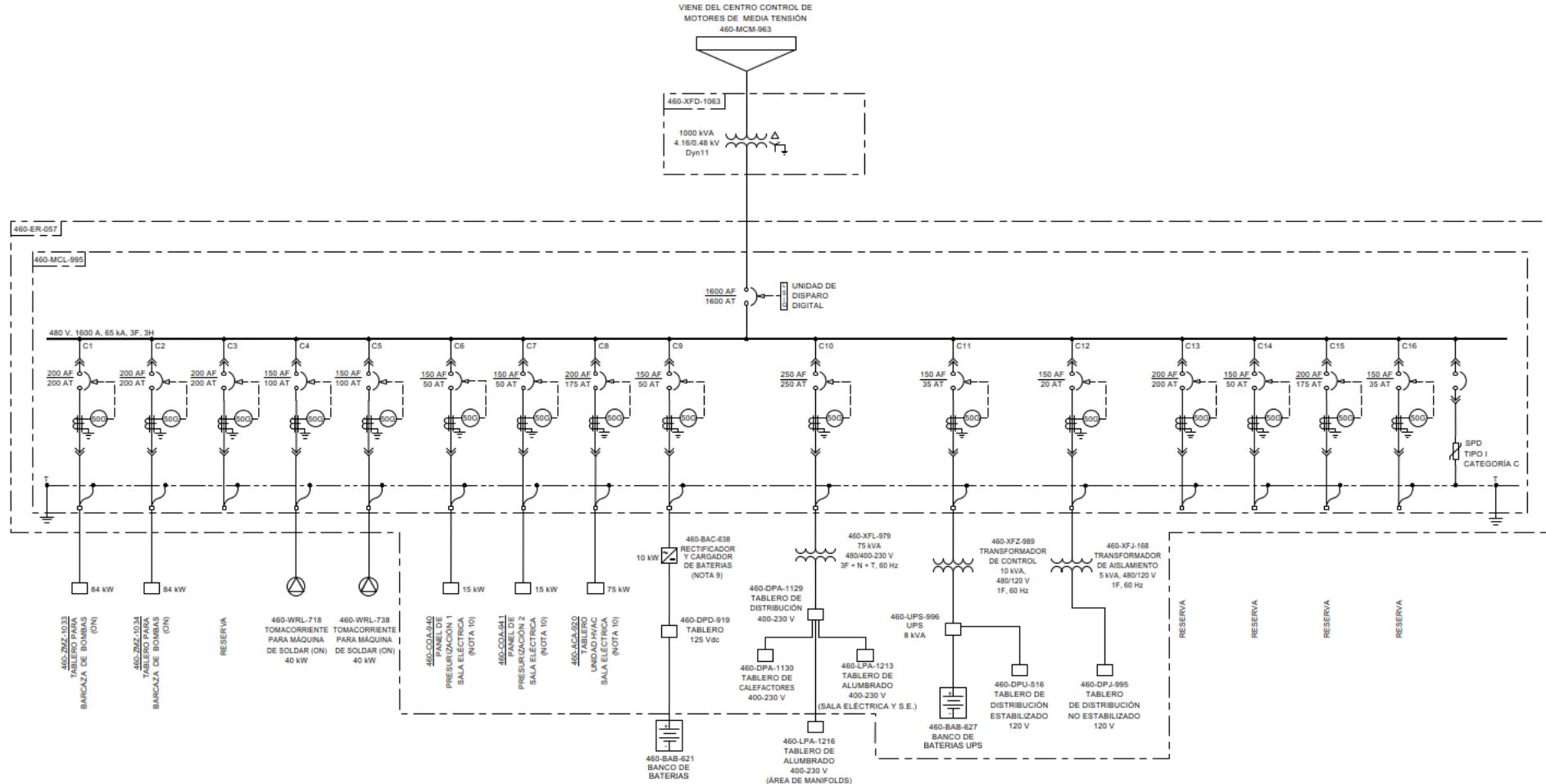
Diagrama unifilar en media tensión 23 kV y 4.16 kV



Nota: El diagrama unifilar muestra el sistema eléctrico en media tensión del sistema de bombeo.

Figura 37

Diagrama unifilar en baja tensión 480 V



Act.2.4: Desarrollo de las hojas de datos de los equipos eléctricos. Tomando en consideración las actividades anteriormente desarrolladas, procedemos a desarrollar las hojas de datos de los equipos.

Transformador de potencia 23/4.16 kV

Tabla 17

Resumen de características principales de hoja de datos de transformador de potencia en aceite.

Transformador de potencia en aceite			
Descripción	Unidad	Requerido	
Tensión de nominal lado primario	kV	23	
Tensión de nominal lado secundario	kV	4.16	
Potencia nominal	kVA	7500	
Nivel básico de aislamiento (BIL) lado primario	kV	200	
Nivel básico de aislamiento (BIL) lado secundario	kV	95	
Tensión de prueba a frecuencia industrial lado primario	kV	70	
Tensión de prueba a frecuencia industrial lado secundario	kV	34	
Nº Fases		3	
Frecuencia	Hz	60	

Nota: La tabla contiene las características principales consideradas para el transformador de potencia.

Transformador de distribución 4.16/0.48 kV

Tabla 18

Resumen de características principales de hoja de datos de transformador de distribución seco

Transformador de distribución seco			
Descripción	Unidad	Requerido	
Tensión de nominal lado primario	kV	4.16	
Tensión de nominal lado secundario	kV	0.48	
Potencia nominal	kVA	750	
Nivel básico de aislamiento (BIL) lado primario	kV	95	
Nivel básico de aislamiento (BIL) lado secundario	kV	30	
Tensión de prueba a frecuencia industrial lado primario	kV	34	
Tensión de prueba a frecuencia industrial lado secundario	kV	10	
Nº Fases		3	
Frecuencia	Hz	60	

Nota: La tabla contiene las características principales consideradas para el transformador de distribución.

Celda GIS 22.9 kV

Tabla 19

Resumen de características principales de hoja de datos de la celda GIS 23 kV

Celda (GIS) 23 kV

Descripción	Unidad	Requerido
Tensión de operación	kV	23
Tensión máxima del equipo	kV	36
Corriente nominal	A	800
Nivel básico de aislamiento (BIL)	kV	170
Tensión de prueba a frecuencia industrial	kV	70
Capacidad de ruptura por cortocircuito	kA	40
Nº Fases		3
Frecuencia	Hz	60
Grado de protección		IP 4XD con envolvente NEMA 4

Nota: La tabla contiene las características principales consideradas para la celda GIS.

Ducto en media tensión 4.16 kV

Tabla 20

Resumen de características principales de hoja de datos del ducto de barras en 4.16 kV.

Ducto de barras en 4.16 kV

Descripción	Unidad	Requerido
Tensión de operación	kV	4.16
Corriente nominal	A	2000
Nivel básico de aislamiento (BIL)	kV	95
Tensión de prueba a frecuencia industrial	kV	36
Capacidad de ruptura por cortocircuito	kA	50
Nº Fases		3
Frecuencia	Hz	60
Grado de protección		NEMA 4

Nota: La tabla contiene las características principales consideradas para el ducto de barras.

Centro de control de motores en media tensión 4.16 kV

Tabla 21

Resumen de características principales de hoja de datos del centro de control de motores en 4.16 kV

Centro control de motores en 4.16 kV		
Descripción	Unidad	Requerido
Tensión de operación	kV	4.16
Corriente nominal	A	2000
Nivel básico de aislamiento (BIL)	kV	95
Tensión de prueba a frecuencia industrial	kV	36
Capacidad de ruptura por cortocircuito	kA	50
Nº Fases		3
Frecuencia	Hz	60
Grado de protección		NEMA 12

Nota: La tabla contiene las características principales consideradas para el centro de control de motores en media tensión.

Centro de control de motores en baja tensión 480 V

Tabla 22

Resumen de características principales de hoja de datos del centro de control de motores en 480 V

Centro control de motores en 480 V		
Descripción	Unidad	Requerido
Tensión de operación	kV	0.48
Corriente nominal	A	1200
Capacidad de ruptura por cortocircuito	kA	65
Nº Fases		3
Frecuencia	Hz	60
Grado de protección		NEMA 12

Nota: La tabla contiene las características principales consideradas para el centro de control de motores en baja tensión.

Grupo electrógeno en media tensión 4.16 kV

Tabla 23

Resumen de características principales de hoja de datos del grupo electrógeno en media tensión 4.16 kV

Grupo electrógeno en media tensión 4.16 kV		
Descripción	Unidad	Requerido
Tensión de operación	kV	4.16
Potencia nominal a 4300 m s.n.m.	kW	1580
Frecuencia	Hz	60
Nº Fases		3
Conexión del neutro	Aterrado a través de resistencia	
Autonomía	Horas	8
Tipo de grupo	Insonorizado	
Tipo de operación	Stand by o de emergencia	
Instalación	Intemperie sobre losa	
Tablero de control	Si	
Tablero de sincronización	Si	
Tablero de supervisión de alarmas	Si	

Nota: La tabla contiene las características principales consideradas para el grupo electrógeno en media tensión.

Sala eléctrica prefabricada

Tabla 24

*Resumen de características principales de hoja de datos de la sala eléctrica prefabricada
Sala Eléctrica Prefabricada*

Descripción	Unidad	Requerido
Grado de protección		NEMA 4
Instalación	Intemperie sobre pilotes	
Dimensiones	Según plano de arreglo	
Aislamiento térmico en paredes	R18	
Aislamiento térmico en Techo	R23	
Aislamiento térmico en puertas	R18	
Resistencia térmica	horas	2
Sistema de presurización autolimpiante	Si	
Sistema de aire acondicionado	Si	
Captador de polvos	Si	
Sistema de detección y extinción de incendios	Si	

Nota: La tabla contiene las características principales consideradas para la sala eléctrica.

Para ver mayor detalle las características de los equipos seleccionados, ver las hojas de datos de los equipos correspondientes en el anexo 3.

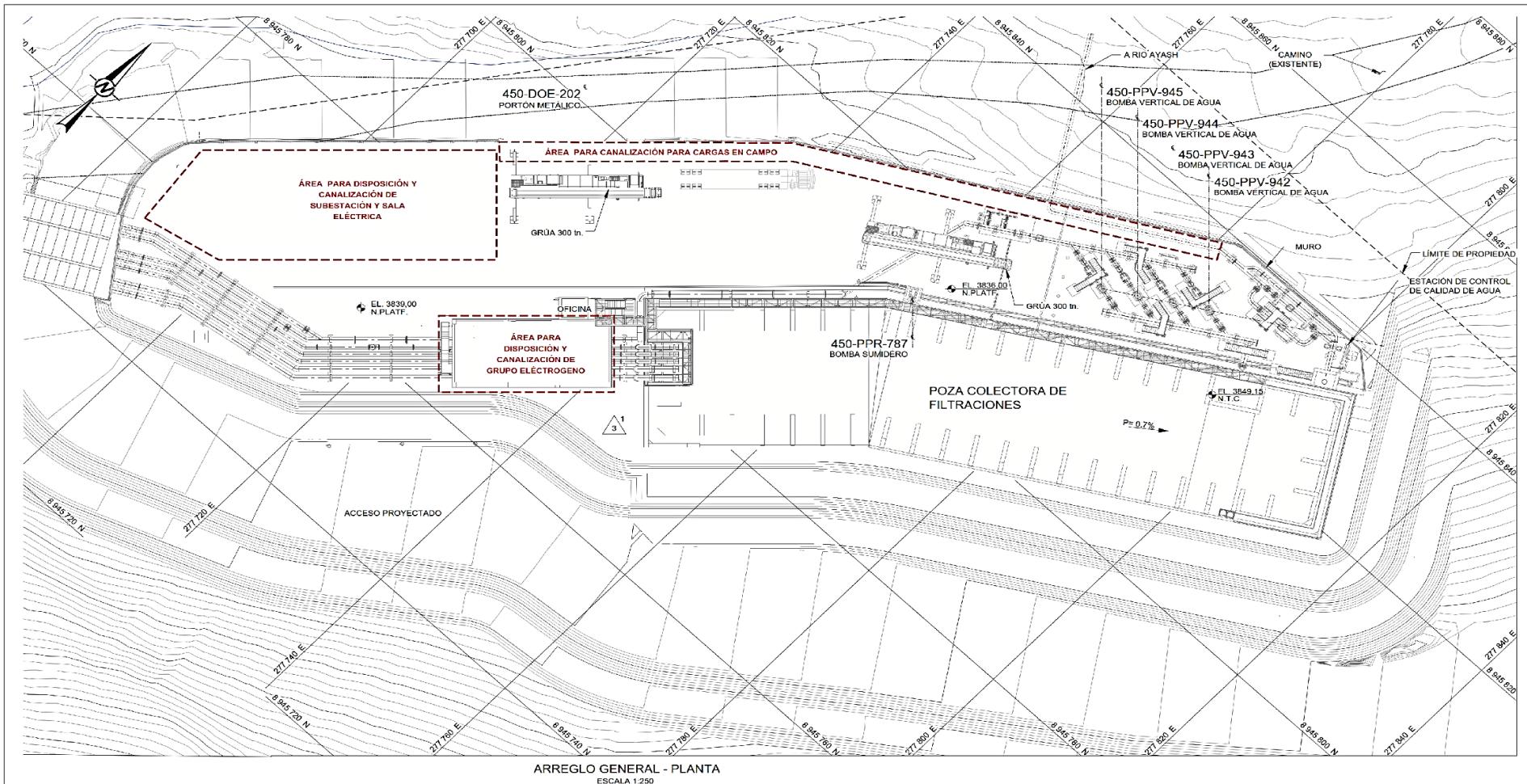
C. Desarrollo de bloques solución correspondientes al objetivo O 3

Act.3.1: Revisar el arreglo mecánico del sistema de bombeo para ver el área disponible para la distribución de los equipos eléctricos y la canalización. Previo al desarrollo del arreglo de la disposición de equipos y la canalización eléctrica, se procede a revisar el espacio disponible para las instalaciones eléctricas.

Para nuestro caso, en la figura 38 identificamos las áreas para el desarrollo de los arreglos correspondientes.

Figura 38

Espacios disponibles para el desarrollo de la disposición de equipos y canalización eléctrica



Nota: La figura muestra el arreglo general de la estación de bombeo y el espacio disponible para la disposición de equipos eléctricos y la canalización.

Act.3.2: Revisar las normas sobre las distancias de separación y espacios de trabajo para equipos. Para el desarrollo del arreglo de la disposición de equipos, se toman las recomendaciones indicadas en las normas internacionales y nacionales. Es así que, para los equipos eléctricos, en la NFPA 70 (*National Electrical Code NEC*), se indican unas distancias mínimas libres para los espacios de trabajo para una determinada condición.

Tabla 25

Espacios de trabajo

Descripción	Mínima distancia libre		
	Condición 1	Condición 2	Condición 3
0 – 150 V	900 mm	900 mm	900 mm
151 – 600 V	900 mm	1000 mm	1200 mm
601 – 1000 V	900 mm	1200 mm	1500 mm

Nota: Tomado de National Electrical Code (2017)

Tabla 26

Profundidad mínima del espacio libre de trabajo al equipo eléctrico

Descripción	Mínima distancia libre		
	Condición 1	Condición 2	Condición 3
1001 – 2500 V	900 mm	1200 mm	1500 mm
2501 – 9000 V	1200 mm	1500 mm	1800 mm
9001 – 25 000 V	1500 mm	1800 mm	2500 mm
25 001- 75 kV	1800 mm	2500 mm	3000 mm
>75 kV	2500 mm	3000 mm	3700 mm

Nota: Tomado de National Electrical Code (2017)

Donde las condiciones son las siguientes:

Condición 1: partes vivas expuestas en un lado del espacio de trabajo y ninguna parte viva puesta a tierra en el otro lado del espacio de trabajo, o partes vivas expuestas a ambos lados del espacio de trabajo que estén resguardadas eficazmente por materiales aislantes.

Condición 2: partes vivas expuestas en un lado del espacio de trabajo y partes puestas a tierra en el otro lado del espacio de trabajo. Las paredes de concreto, ladrillo o baldosa se deben considerar como puestas a tierra.

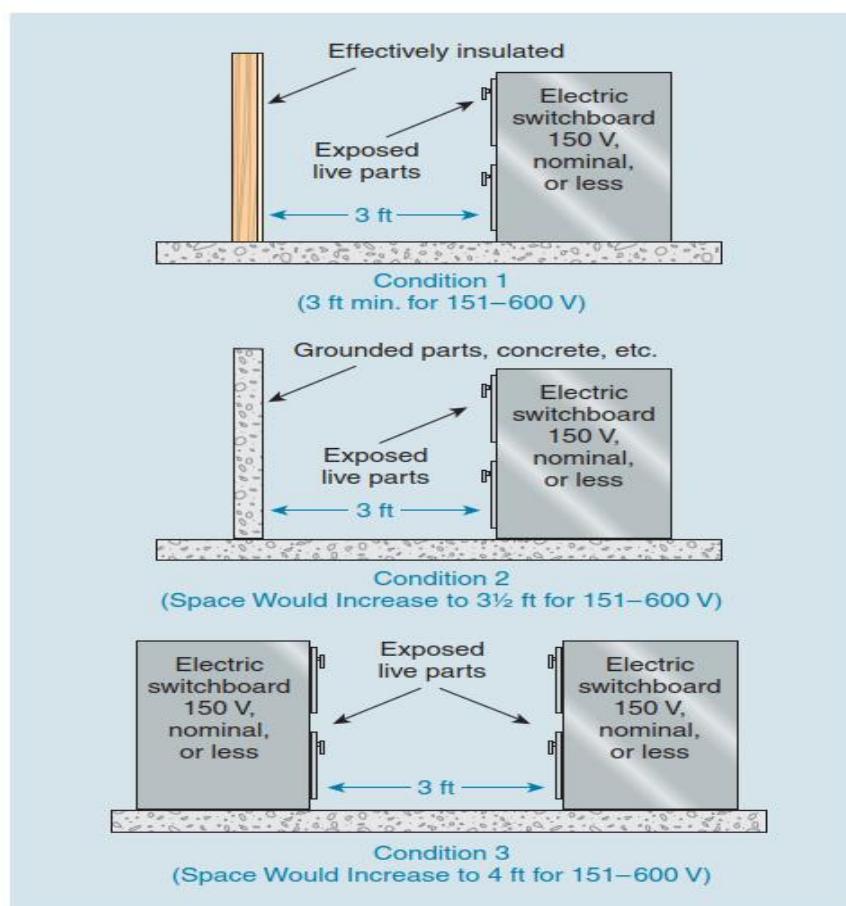
Condición 3: partes vivas expuestas en ambos lados del espacio de trabajo.

En la figura 39, se muestran los espacios de trabajo mínimos requeridos para las tres condiciones. Estas recomendaciones nos serán de mucha utilidad a la hora de desarrollar el arreglo de disposición de equipos eléctricos.

Asimismo, la figura 40 muestra el requerimiento de al menos una entrada para acceder al espacio de trabajo. Del mismo modo, en la figura 41 y figura 42 muestran la adecuada e inadecuada disposición del equipo eléctrico en función a la entrada y los espacios de trabajo.

Figura 39

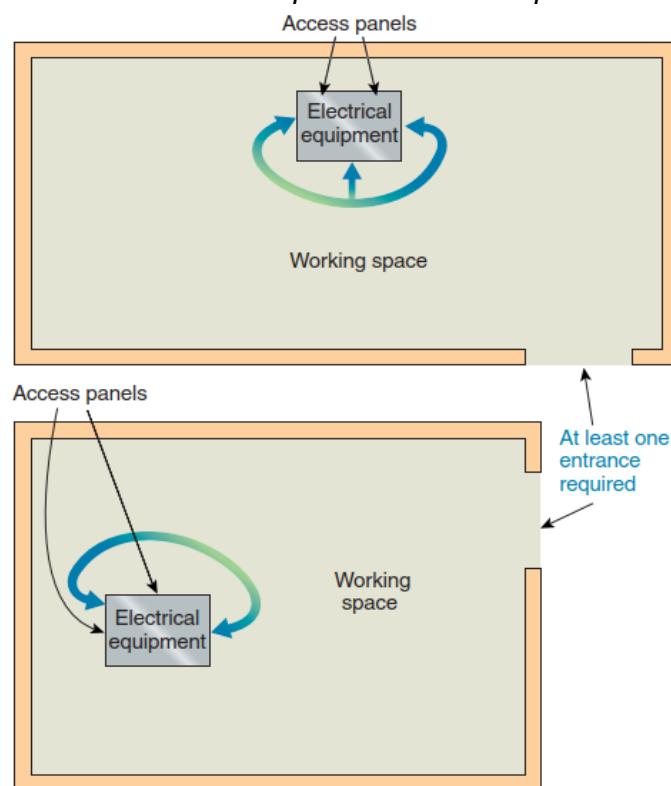
Espacios de trabajo para las tres condiciones



Nota: La figura muestra las mínimas distancias de separación entre las partes vivas expuestas (exposed live parts), de acuerdo a cada una de las condiciones indicadas. Fuente: NEC HANDBOOK (2017).

Figura 40

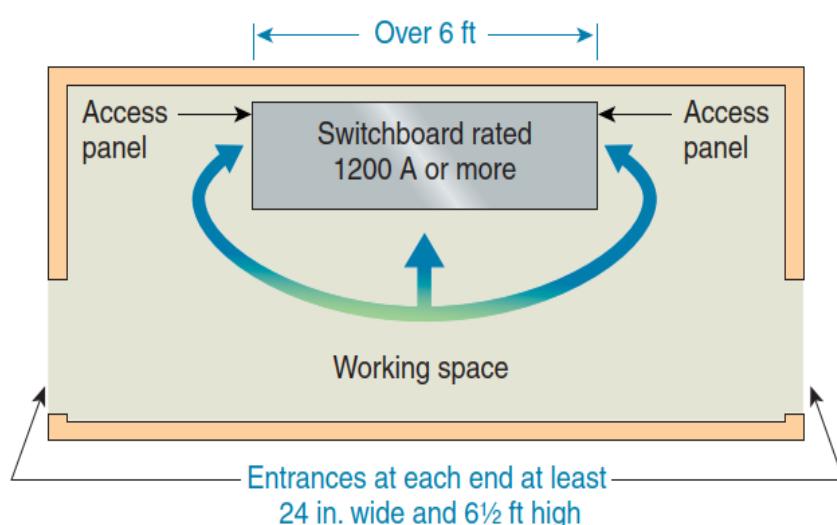
Requerimiento de al menos una entrada para acceder al espacio de trabajo



Nota: La figura muestra la distribución de un equipo eléctrico (*electrical equipment*) con al menos una entrada requerida (*at leasted one entrance required*), en el cual el espacio de trabajo (*working space*) es de acuerdo a los paneles de acceso (*Access panels*). Fuente: NEC Handbook (2017).

Figura 41

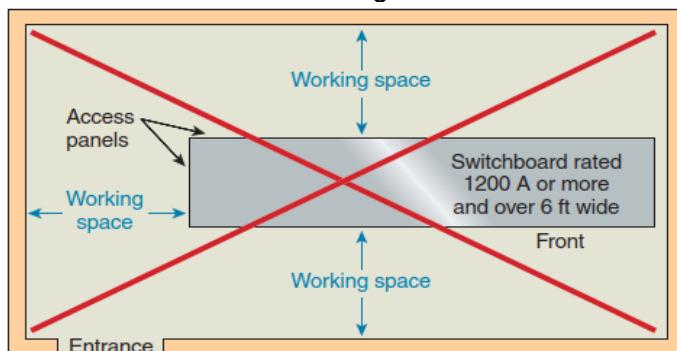
Adecuada disposición de un tablero eléctrico grande



Nota: La figura muestra la distribución de un equipo eléctrico grande (Switchboard), en el cual el espacio de trabajo (working space) es de acuerdo a los paneles de acceso (access panels) para la inspección y mantenimiento. Fuente: NEC HANDBOOK (2017).

Figura 42

Inadecuada disposición de un tablero eléctrico grande

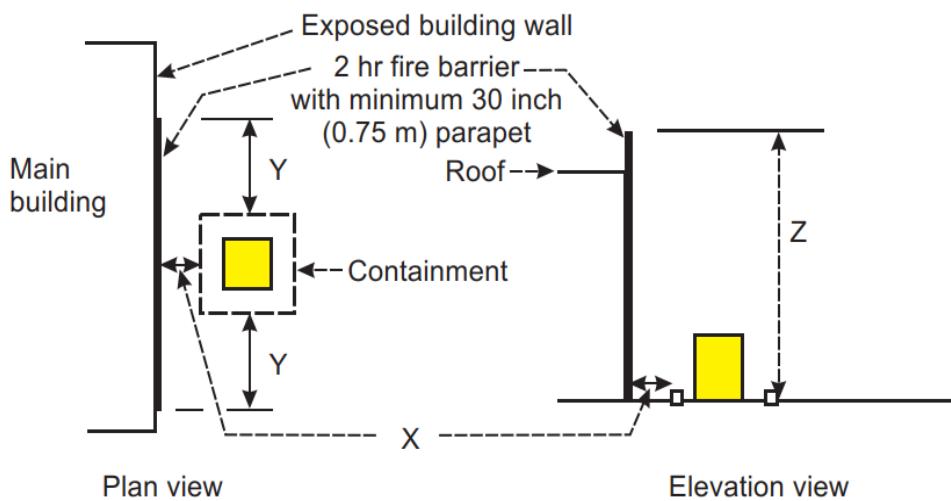


Nota: La figura muestra la inadecuada distribución de un equipo eléctrico grande (Switchboard) debido a que, para este tamaño de equipo, debe de contar con al menos dos accesos, así mismo, el acceso a los paneles (access panels) tiene que contar con espacios de trabajo (working space) adecuados. Fuente: NEC HANDBOOK (2017)

Para el caso de los transformadores en aceite, la disposición será de acuerdo con las recomendaciones de la norma *FM global property loss prevention data sheets 5-4*, considerando que se tendrá muros cortafuego para la protección de edificios aledaños al transformador.

Figura 43

Uso de barreras contra incendio de 2 horas y distancias de separación para la protección de las paredes expuestas del edificio



Nota: La figura muestra un transformador en aceite con su canal de contención (*containment*) y una construcción principal, tanto en vista de planta (*plan view*) como en vista de elevación (*elevation view*), al ubicar el canal de contención del transformador una distancia "x" de la pared de la construcción expuesta (*exposed building wall*), esta debe tener una barrera de fuego (*fire barrier*) de al menos 2 horas. Fuente: FM Global (2019).

Figura 44

Separación y extensión de las barreras contra incendios de 2 horas para la protección de las paredes principales del edificio

Fluid Type	Fluid Volume gal (m^3)	Separation and Extent of 2-hour Fire Barrier		
		Dimension ^{1,2} (See Fig. 4)	Noncombustible Wall ³ ft (m)	Combustible Wall ³ ft (m)
FM Approved transformer fluid	≤ 10000 (38)	X	5 (1.5)	(1.5)
		Y	5 (1.5)	25 (7.6)
		Z	25 (7.6)	25 (7.6)
	> 10000 (38)	x	15 (4.6)	15 (4.6)
		Y	15 (4.6)	50 (15.2)
		Z	50 (15.2)	50 (15.2)
Non-Approved transformer fluid	<500(1.9)	X	5 (1.5)	5 (1.5)
		Y	15 (4.6)	25 (7.6)
		Z	25 (7.6)	25 (7.6)
	≤ 5000 (19)	X	15 (4.6)	15 (4.6)
		Y	25 (7.6)	50 (15.2)
		Z	50 (15.2)	50 (15.2)
	>5000 (19)	X	25 (7.6)	25 (7.6)
		Y	50 (15.2)	100 (30.5)
		Z	100 (30.5)	100 (30.5)

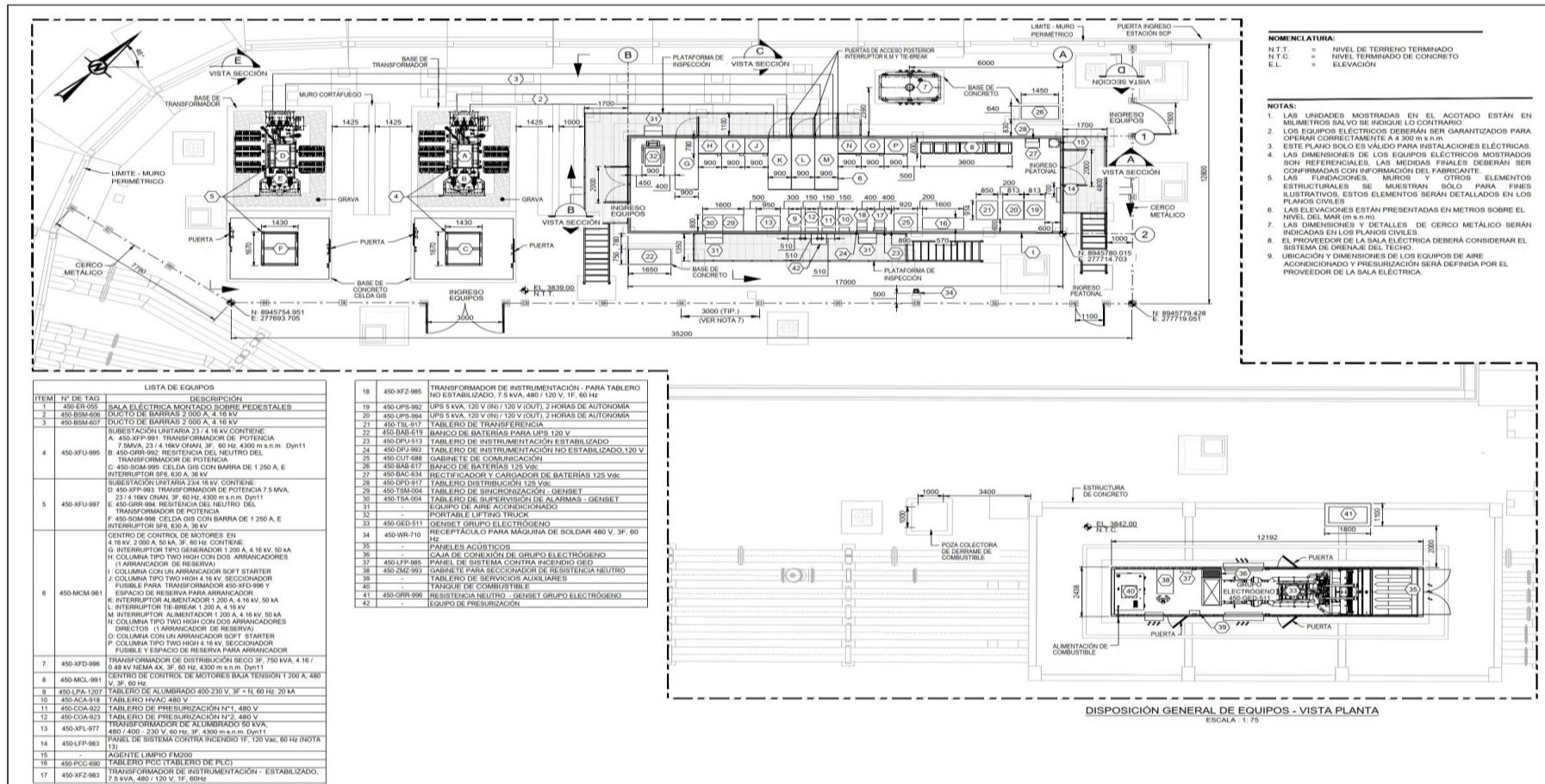
Nota: La figura muestra las distancias de separación horizontal "X", vertical "Y" y la altura "Z" de acuerdo con el volumen del fluido (fluid volumen) en el transformador y así mismo de acuerdo al tipo de muro "muro no combustible (noncombustible wall)" y "muro combustible (combustible wall)". Fuente: FM Global (2019)

Act.3.3: Plantear el arreglo de la disposición de equipos. Considerando las actividades anteriormente desarrolladas, se procede a desarrollar el arreglo de disposición de equipos eléctricos, considerando que los equipos en media tensión estén en un área, los equipos de baja tensión en otra área y los equipos de control e instrumentación en otra área. Asimismo, se consideran las experiencias en otros proyectos de similares características, recomendaciones de fabricantes y catálogos de equipos eléctricos.

Es así que, en la figura 45 y figura 46, se muestra el arreglo de disposición de equipos en vista de planta y secciones respectivamente.

Figura 45

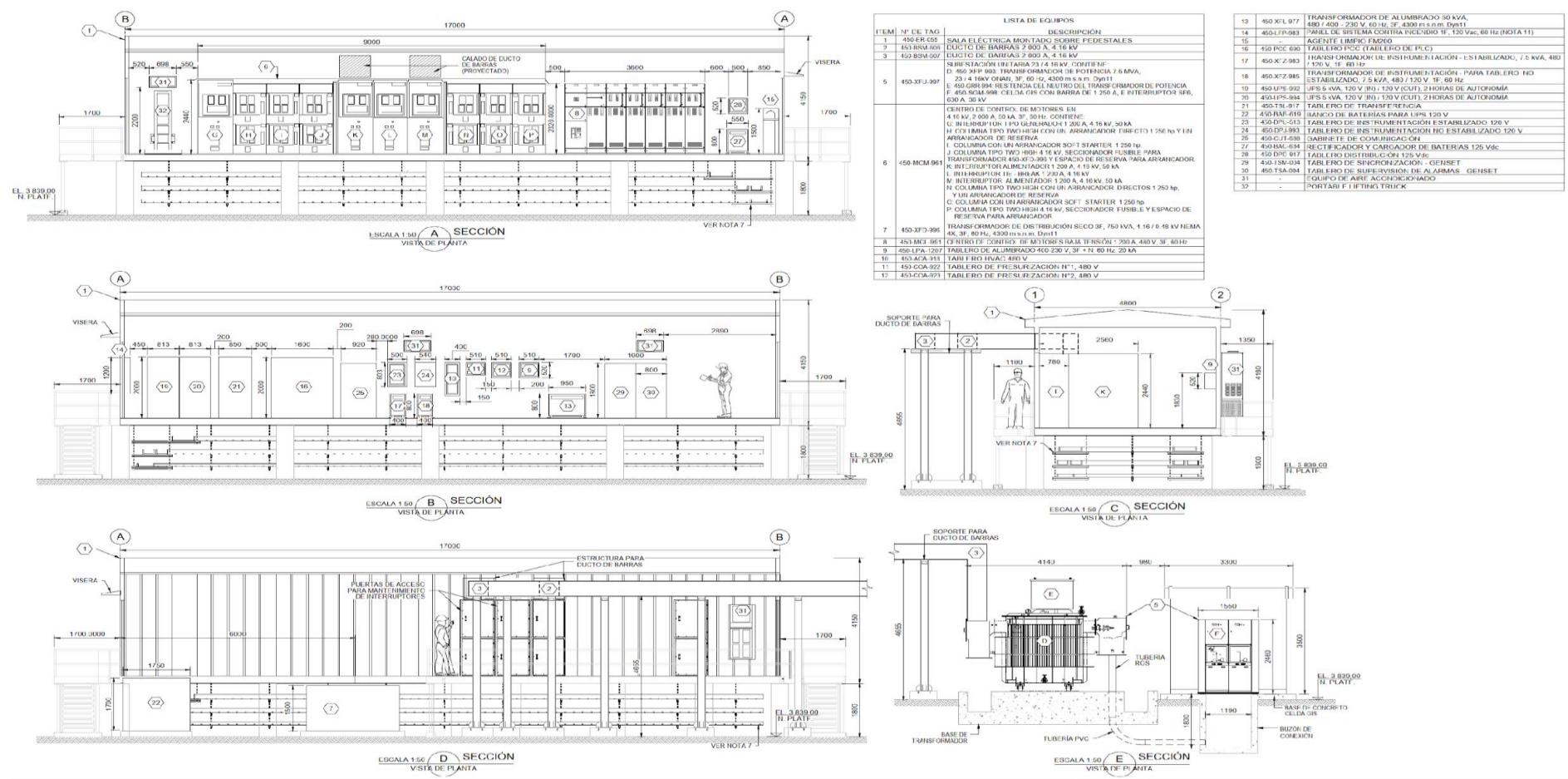
Arreglo de disposición de equipos eléctricos – vista de planta



Nota: La figura muestra el arreglo de la disposición de equipos eléctricos en la subestación y sala eléctrica, vista de planta.

Figura 46

Arreglo de disposición de equipos eléctricos – Secciones

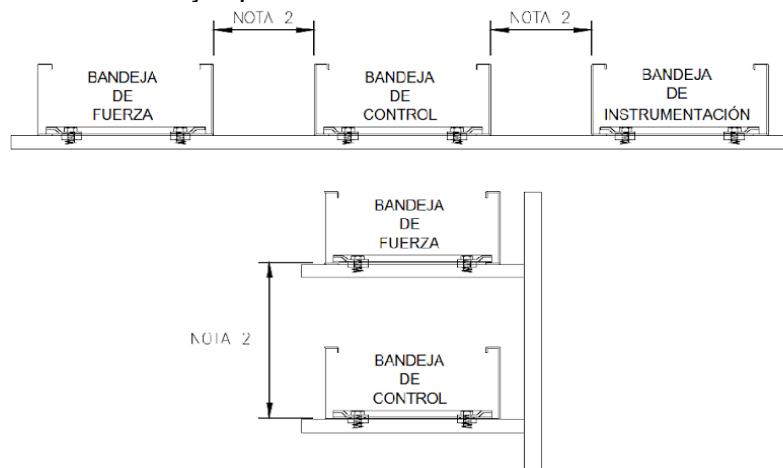


Nota: La figura muestra el arreglo de la disposición de equipos eléctricos en la subestación y sala eléctrica, secciones.

Act.3.4: Revisar el estándar constructivo de canalización y calcular los cables para el dimensionamiento de bandejas y tuberías. Del estándar constructivo de canalización, obtenemos los siguientes datos relevantes para desarrollar el arreglo de canalización eléctrica.

Figura 47

Espaciamiento entre bandejas portacables



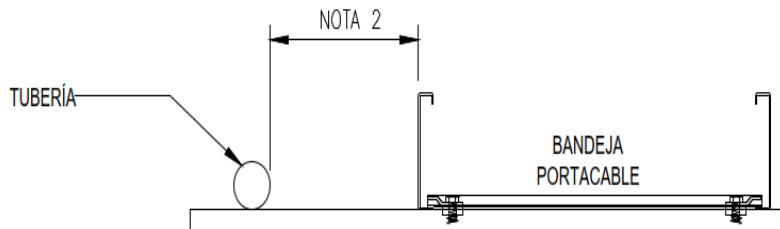
NIVEL	1	2	3	3S	4	4S
1	C	NOTA 4	152mm (6")	152mm (6")	660mm (26")	660mm (26")
2	NOTA 4	0	152mm (6")	152mm (6")	457mm (18")	660mm (26")
3	152mm (6")	152mm (6")	0	0	NOTA 5	305mm (12")
3S	152mm (6")	152mm (6")	0	0	203mm (8")	457mm (18")
4	660mm (26")	457mm (18")	NOTA 5	203mm (8")	0	C
4S	660mm (26")	660mm (26")	305mm (12")	457mm (18")	0	C

1. ESPACIOS MINIMOS RECOMENDADOS ENTRE BANDEJAS PORTACABLES PROVIENEN DE LA TABLA N°7 DEL ESTANDAR IEEE STD 518-1982 PARA LA INSTALACION DE EQUIPOS ELECTRICOS PARA REDUCIR Y CONTROLAR RUIDO DE FUENTES EXTERNAS.
2. LOS ESPACIOS MINIMOS INDICADOS ENTRE BANDEJAS PORTACABLES SON DADOS EN MILIMETROS (PULGADAS)
3. DESCRIPCION DE NIVELES:
 - NIVEL 1: SEÑALES ANALOGICAS < 50 V Y SEÑALES DIGITALES < 50 V.
 - NIVEL 2: SEÑALES ANALOGICAS > 50 V Y CIRCUITOS DE CONMUTACION (SELECTORES).
 - NIVEL 3: SEÑALES DE COMUNICACION > 50 V, SEÑALES ANALOGICAS > 50 V, SEÑALES DE REGULACION DE 50V CON CORRIENTE MENOR A 20 A C.A., ALIMENTADORES MENORES A 20A.
 - NIVEL 4: BARRAS CONECTORAS C.A. Y C.C. DE 0 - 1000 V CON CORRIENTE DE 20-800A.
 - NIVEL 4S: SEÑALES DE CAMPO DE CONMUTACION Y RESISTENCIA DE LINEA, SEÑALES DE DERIVACIONES DE LINEA A REGULADORES. TENSION > 1000 V O > 800 A AMBAS.
4. LOS CABLES PODRAN INSTALARSE EN LA MISMA BANDEJA, PERO SE MANTENDRAN SEPARADOS MEDIANTE BARRERAS SEPARADORAS METALICOS PUESTOS A TIERRA, O MEDIANTE BANDEJAS INDIVIDUALES CON 25 mm DE SEPARACION.
5. DENTRO DE LOS LÍMITES DE LAS CAJAS DE PASO, CAJAS DE EMPALME, LOS NIVELES DEBEN MANTENERSE SEPARADOS. BARRERAS CONECTADAS A TIERRA DEBERAN SER UTILIZADAS PARA AYUDAR A LA SEPARACION.

Nota: Adaptado de la tabla 7 del estándar IEEE Std 518 (1982)

Figura 48

Espaciamiento entre bandejas porta cables y tuberías



NIVEL	1	2	3	3S	4	4S
1	0	25mm (1")	100mm (4")	100mm (4")	450mm (18")	450mm (18")
2	25mm (1")	0	100mm (4")	100mm (4")	300mm (12")	450mm (18")
3	100mm (4")	100mm (4")	0	0	0	200mm (8")
3S	100mm (4")	100mm (4")	0	0	150mm (6")	300mm (12")
4	450mm (18")	300mm (12")	0	150mm (6")	0	0
4S	450mm (18")	450mm (18")	200	300mm (12")	0	0

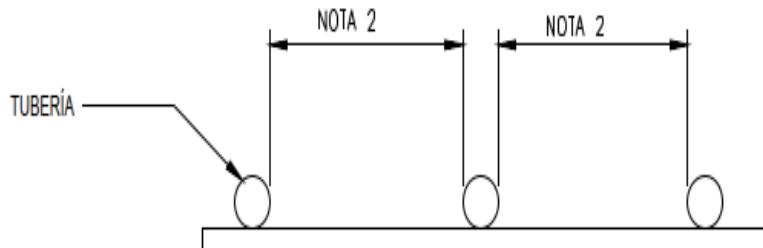
1. ESPACIOS MINIMOS RECOMENDADOS ENTRE BANDEJAS PORTACABLES Y CONDUITS PROVIENEN DE LA TABLA N°8 DEL ESTANDAR IEEE STD 518-1982 PARA LA INSTALACION DE EQUIPOS ELECTRICOS PARA REDUCIR Y CONTROLAR RUIDO DE FUENTES EXTERNAS.
2. LOS ESPACIOS MINIMOS INDICADOS ENTRE BANDEJAS PORTACABLES Y CONDUITS SON DADOS EN MILIMETROS (PULGADAS)
3. DESCRIPCION DE NIVELES:

- NIVEL 1: SEÑALES ANALOGICAS < 50 V Y SEÑALES DIGITALES < 50 V.
- NIVEL 2: SEÑALES ANALOGICAS > 50 V Y CIRCUITOS DE CONMUTACION (SELECTORES).
- NIVEL 3: SEÑALES DE COMUNICACION > 50 V, SEÑALES ANALOGICAS > 50 V, SEÑALES DE REGULACION DE 50V CON CORRIENTE MENOR A 20 A C.A., ALIMENTADORES MENORES A 20 A.
- NIVEL 4: BARRAS CONECTORAS C.A. Y C.C. DE 0-1000V CON CORRIENTE DE 20 - 800 A.
- NIVEL 4S: SEÑALES DE CAMPO DE CONMUTACION Y RESISTENCIA DE LINEA, SEÑALES DE DERIVACIONES DE LINEA A REGULADORES. TENSION > 1000 V O >800 A O AMBAS.

Nota: Adaptado de la tabla 8 del estándar IEEE Std 518 (1982)

Figura 49

Espaciamiento entre tuberías



NIVEL	1	2	3	3S	4	4S
1	0	25mm (1")	76mm (3")	76mm (3")	305mm (12")	305mm (12")
2	25mm (1")	0	76mm (3")	76mm (3")	229mm (9")	305mm (12")
3	76mm (3")	76mm (3")	0	0	0	152mm (6")
3S	76mm (3")	76mm (3")	0	0	152mm (6")	229mm (9")
4	305mm (12")	229mm (9")	0	152mm (6")	0	0
4S	305mm (12")	305mm (12")	152mm (6")	229mm (9")	0	0

1. ESPACIOS MINIMOS RECOMENDADOS ENTRE CONDUITS METALICOS PROVIENEN DE LA TABLA N°9 DEL ESTANDAR IEEE STD 518-1982 PARA LA INSTALACION DE EQUIPOS ELECTRICOS PARA REDUCIR Y CONTROLAR RUIDO DE FUENTES EXTERNAS.

2. LOS ESPACIOS MINIMOS INDICADOS ENTRE CONDUITS SON DADOS EN MILIMETROS (PULGADAS).

3. DESCRIPCION DE NIVELES:

NIVEL 1: SEÑALES ANALOGICAS < 50 V Y SEÑALES DIGITALES < 50 V.

NIVEL 2: SEÑALES ANALOGICAS > 50 V Y CIRCUITOS DE CONMUTACION (SELECTORES).

NIVEL 3: SEÑALES DE COMUNICACION > 50 V, SEÑALES ANALOGICAS > 50 V, SEÑALES DE REGULACION DE 50V CON CORRIENTE MENOR A 20 A C.A., ALIMENTADORES MENORES A 20 A.

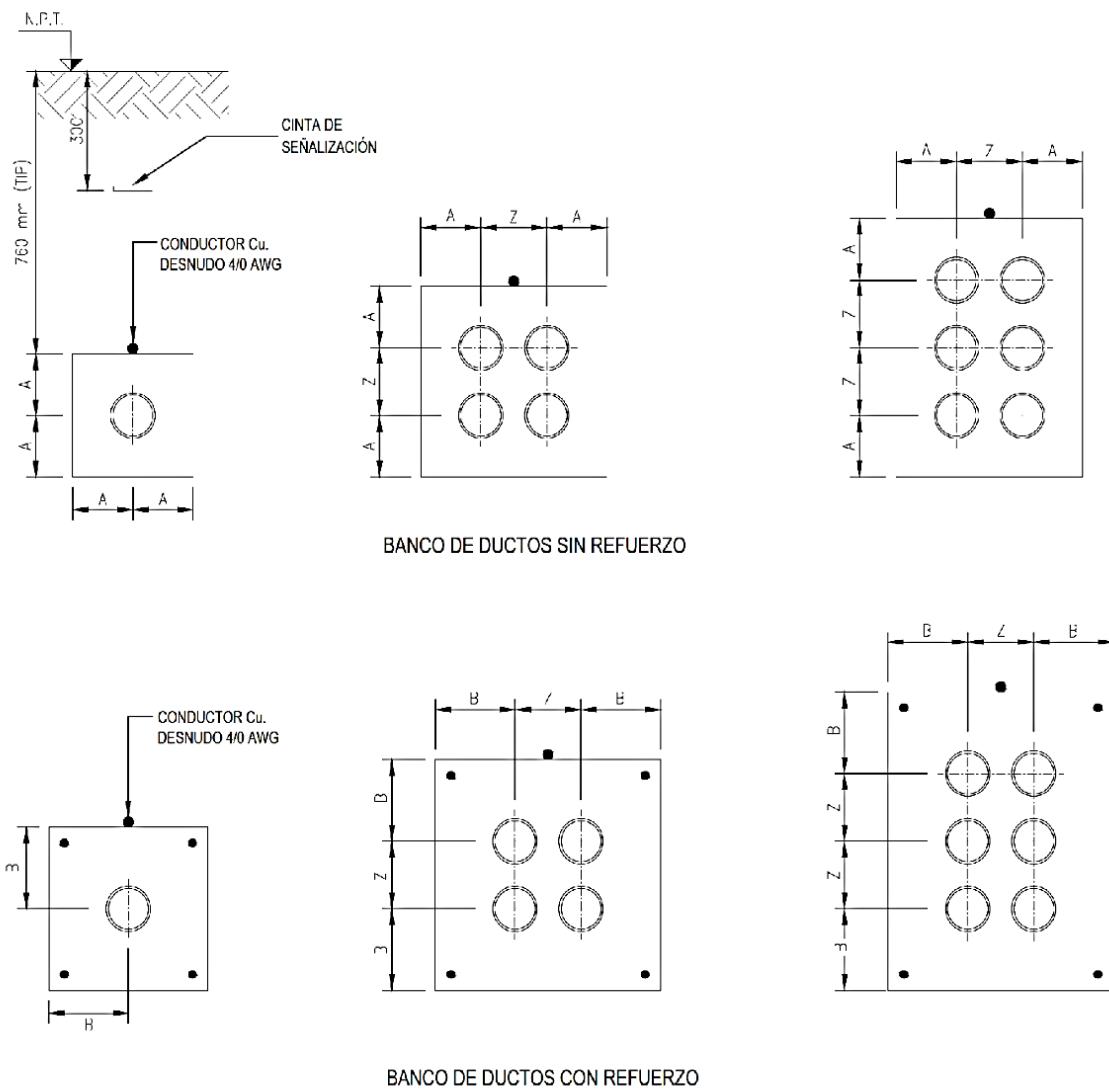
NIVEL 4: BARRAS CONECTORAS C.A. Y C.C. DE 0-1000 V CON CORRIENTE DE 20 - 800 A.

NIVEL 4S: SEÑALES DE CAMPO DE CONMUTACION Y RESISTENCIA DE LINEA, SEÑALES DE DERIVACIONES DE LINEA A REGULADORES. TENSION > 1000 V O > 800 A O AMBAS.

Nota: Adaptado de la tabla 9 del estandar IEEE Std 518 (1982)

Figura 50

Tuberías en banco de ductos típico



TAMAÑO COND.	A	B	Z
mm	mm	mm	mm
50 (2")	135	160	110
75 (3")	130	180	140
100 (4")	155	205	170
125 (5")	155	205	190
150 (6")	180	230	230

1. TODAS LAS TUBERIAS DEL BANCO DE DUCTOS SERAN DE PVC SCHEDULE 40.
2. EL TAMAÑO MÍNIMO PARA TUBERIA EN BANCO DE DUCTOS SERA DE 2".
3. TODOS LOS BANCOS DE DUCTOS (CON EXCEPCIÓN DE AQUELLOS INSTALADOS EN LOSA) TEDERNÁN ACABADO EN LA APRTE SUPERIOR DE COLOR ROJO, SALVO INDICACIÓN CONTRARIA EN PLANOS CIVILES.
4. EN EL CASO DE CRUCES DE VÍAS DE TRÁNSITO PESADO. LAS TUBERÍAS DEBERÁN SER INSTALADAS EN BANCO DE CONCRETO REFORZADO A UNA PROFUNDIDAD DE 1524 mm DEL BORDE SUPERIOR DEL DUCTO.
5. PARA ÁREAS TRASNSITADAS Y DE BAJO DE CALZADAS, SE UTILIZARÁ BANCO DE DUCTOS REFORZADO.

Nota: La figura muestra la sección con las respectivas dimensiones para el banco de ductos, con refuerzo y sin refuerzo.

Dimensionamiento y selección de cables eléctricos. Los cables eléctricos de media y baja tensión serán dimensionados y seleccionados considerando la capacidad nominal de conducción, la caída de tensión y lo indicado en las especificaciones técnicas del cliente.

Tomaremos como ejemplo el cálculo del cable para un motor de media tensión de 932 kW (1250 hp), $\cos \varphi = 0.88$, $n_M = 0.96$.

Procedemos de la siguiente manera:

1. Para el cálculo de la corriente utilizamos la ecuación (27).

$$I_n = \frac{746 * P_M}{\sqrt{3} * V * n_M * \cos(\emptyset)} = \frac{746 * 1250}{\sqrt{3} * 4.16 * 0.96 * 0.88} = 153.198 A$$

2. Para el cálculo de la corriente de diseño utilizamos la fórmula (28) y (29), considerando que el número de ternas es igual a 1, tenemos lo siguiente:

$$I_{diseño\ final} = \frac{1.25 * I_n}{Nº\ de\ ternas} = \frac{1.25 * 153.198}{1} = 191.4975$$

3. De acuerdo al cálculo anterior, procedemos a seleccionar el cable con la ayuda de la siguiente imagen:

Figura 51

Tamaño de conductores por capacidad de conducción

COND. SI2/OZE (AWG/ kcmil)	NOMINAL CONDUCTOR DIAMETER INCHES	INSULATION DIAMETER INCHES	NOMINAL JACKET THICKNESS mm	NOMINAL CABLE				COPPER WEIGHT	AMPACITY						CONDUT SIZING (4) (INCHES)			
				DIAMETER		WEIGHT			CONDUIT IN AIR (1)		UNDERGROUND DUCT (2)		TRAY (3)					
				INCHES	MIN.	MAX.	INCHES	mm	LBS/1000 FT	kg/km	LBS/1000 FT	kg/km	90°C	105°C	90°C	105°C		
5 KV AND 8 KV, UL TYPE MV-105, 133%/100% INS. LEVELS, 115 MILS																		
6	0.17	0.415	0.490	0.060	1.52	0.65	16.51	295	439	126	188	83	93	90	97	-	-	2
4	0.22	0.455	0.535	0.060	1.52	0.70	17.15	365	543	178	265	110	120	115	125	-	-	2.5
2	0.27	0.510	0.590	0.060	1.52	0.76	19.05	471	701	259	385	150	165	155	165	-	-	2.5
1	0.31	0.545	0.620	0.060	1.52	0.79	20.07	539	802	315	468	170	190	175	185	-	-	2.5
1/0	0.34	0.580	0.655	0.060	1.52	0.82	21.08	623	927	386	575	195	215	200	215	195	220	3
2/0	0.38	0.620	0.695	0.060	1.52	0.86	22.10	728	1083	474	706	225	255	230	245	225	250	3
3/0	0.43	0.665	0.745	0.080	2.03	0.94	24.38	886	1318	585	871	260	290	260	275	260	290	3
4/0	0.48	0.720	0.795	0.080	2.03	1.00	25.65	1053	1567	725	1080	295	330	295	315	300	335	3
250	0.53	0.770	0.850	0.080	2.03	1.05	27.18	1199	1784	849	1263	330	365	325	345	335	370	3.5
350	0.62	0.870	0.945	0.080	2.03	1.14	29.72	1559	2320	1165	1735	395	440	390	415	415	460	3.5
500	0.74	0.990	1.065	0.080	2.03	1.27	33.53	2088	3107	1639	2439	480	535	465	500	515	575	4
750	0.91	1.170	1.250	0.080	2.03	1.45	38.35	2962	4407	2427	3611	585	655	565	610	665	745	5
1000	1.06	1.320	1.400	0.080	2.03	1.60	42.42	3815	5677	3210	4777	675	755	640	690	795	890	5

Nota: Tomado del catálogo General Cable (2016)

Temporalmente, elegimos el cable de sección 2/0 AWG y corroboramos si es el adecuado considerando la caída de tensión y corto circuito.

4. Considerando la resistencia $R=0.3327$ ohms/km de la figura 52 y la reactancia $X= 0.1065$ ohms/km de la figura 53, y así mismo una longitud de 140 m.

Figura 52

Resistencia del cable Ohms/km

AC Resistance ohms/km (at operating temperature)

CONDUCTOR SIZE AWG OR kcmil	SINGLE STRANDED CONDUCTOR*					3 CONDUCTOR CABLE**	
	COPPER			ALUMINUM (ACM)		FACTOR	
	60°C	75°C	90°C	75°C	90°C	CU	AL
14	9.7550	10.2630	10.7550	—	—	1.00	—
12	6.1480	6.4660	6.7780	10.6730	11.1880	1.00	1.00
10	3.8680	4.0690	4.2650	6.7010	7.0240	1.00	1.00
8	2.4320	2.5580	2.6810	4.2130	4.4160	1.00	1.00
6	1.5300	1.6090	1.6870	2.6520	2.7800	1.00	1.00
4	.9614	1.0110	1.0600	1.6670	1.7470	1.00	1.00
3	.7630	.8025	.8412	1.3210	1.3850	1.00	1.00
2	.6055	.6369	.6676	1.0480	1.0990	1.01	1.00
1	.4797	.5046	.5289	.8313	.8714	1.01	1.00
1/0	3.803	4.000	4.193	.6591	.6909	1.02	1.00
2/0	3.018	3.174	3.327	.5234	.5486	1.03	1.00
3/0	2.393	2.517	2.638	.4154	.4354	1.04	1.01
4/0	1.998	1.997	.2093	.3292	.3451	1.05	1.01
250	.1613	.1696	.1778	.2789	.2923	1.06	1.02
300	.1346	.1416	.1485	.2325	.2439	1.06	1.02
350	.1157	.1217	.1276	.1997	.2093	1.07	1.03
400	.1015	.1068	.1119	.1748	.1833	1.09	1.03
500	.0818	.0961	.0902	.1402	.1470	1.11	1.05
600	.0677	.0712	.0746	.1171	.1227	1.13	1.07
750	.0557	.0586	.0614	.0943	.0988	1.16	1.10
1000	.0428	.0450	.0472	.0716	.0750	—	1.16

Nota: Tomado del catálogo General Cable (2016)

Figura 53

Reactancia del cable Ohms/km

Inductive Reactance ohms/km (at 60 hertz) 5 kV – TECK90 and HVTECK (Aluminum Armored)

CONDUCTOR SIZE AWG OR kcmil	SINGLE CONDUCTOR ONE CABLE DIAMETER SPACING			3 CONDUCTOR*		
	TECK 90 5 KV UNSHELDED	A	B	C	TECK 90 5 KV UNSHELDED	HVTECK SHIELDED
		5 KV (100%)	5 KV (133%)	5 KV (100%)	5 KV (133%)	5 KV (100%)
6	.2630	.2770	.2810	.1385	.1495	.1660
4	.2530	.2630	.2710	.1290	.1400	.1490
2	.2400	.2540	.2600	.1205	.1305	.1390
1	.2310	.2440	.2500	.1145	.1220	.1310
1/0	2.240	2.330	2.440	.1100	.1185	.1270
2/0	2.225	2.270	2.370	.1065	.1150	.1220
3/0	2.165	2.205	2.310	.1030	.1100	.1180
4/0	2.130	2.170	.2250	.1010	.1075	.1150
250	.2110	.2150	.2220	.1000	.1060	.1120
300	.2075	.2110	.2170	.0980	.1038	.1090
350	.2040	.2075	.2140	.0960	.1020	.1070
400	.2010	.2045	.2110	.0950	.1010	.1050
500	.1980	.2015	.2090	.0925	.0980	.1040
600	.1970	.2000	.2030	.0945	.1010	.1060
750	.1935	.1975	.2010	.0935	.0990	.0980
1000	.1895	.1920	.1960	.0910	.0955	.0950

Nota: Tomado del catálogo General Cable (2016)

Procedemos a calcular la caída de la tensión mediante la ecuación 31.

$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3} * I_n * L * (R \cos(\phi) + X \sin(\phi)) * 100}{1000 * N * V_n}$$

$$\frac{\sqrt{3} * 153.98 * 140 * (0.3327 * 0.88 + 0.1065 * 0.4749) * 100}{1000 * 1 * 4160} = 0.308\%$$

Dado que la caída de tensión debe ser menor a 2.5 %, no estaría cumpliendo con lo requerido por lo que se tendría que seleccionar un conductor de mayor tamaño hasta cumplir con lo requerido.

5. Evaluamos el cable por capacidad de cortocircuito con la ecuación 32, considerando que de acuerdo a lo indicado en la especificación el cable en condiciones nominales de operación será a una temperatura máxima de $T_1=105$ °C y en condiciones de cortocircuito llegará a una temperatura $T_2=250$ °C.

Por otro lado, para elegir la sección equivalente de 2/0 AWG en kcmil, lo realizamos de la siguiente tabla.

Tabla 27

Equivalencia AWG a Kcmil

Sección AWG	Sección Kcmil
14	4.11
12	6.53
10	10.38
8	16.51
6	26.24
4	41.74
2	66.36
1	83.69
1/0	105.60
2/0	133.10
3/0	167.80
4/0	211.60

Nota: Engineering data for cooper and aluminum conductor electrical cables, The okonite company, engineering handbook (2018).

Con todos los datos anteriores y la ecuación 32 procedemos a calcular la capacidad del cable al cortocircuito.

$$\left[\frac{I}{133.10} \right]^2 * 0.5 = 0.0297 \log \left[\frac{234 + 250}{234 + 105} \right]$$

$$I = 12.75 \text{ kA}$$

De forma similar al cálculo anterior procedemos a seleccionar los cables para todos los circuitos utilizando las fórmulas del capítulo 2, con lo cual obtenemos los resultados de la figura 54, donde se muestran todos los factores utilizados para la selección de todos los cables de fuerza del sistema eléctrico del proyecto.

Figura 54

Cálculo de todos los cables de fuerza del sistema eléctrico

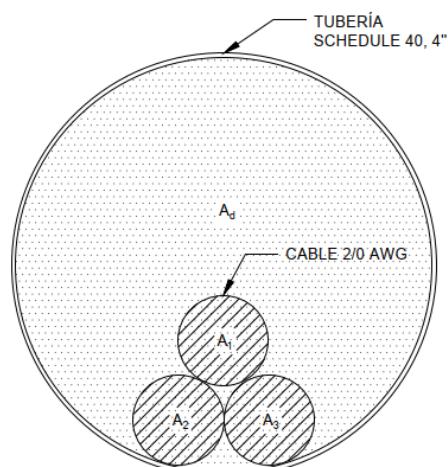
Ident.	Nombrado del equipo	Línea	Métrica	Circuito	Tensión nominal [kV]	Factor de potencia [Capacitativo]	Tensión [V]	Nº de tensiones	Corriente nominal del cable [A]	Valor nominal de corriente del cable [A]	Potencia de corriente nominal del cable [A]	Número de terminales	Corriente de descarga límite [A]	Largo del cable [m]	Cable del cable suministrado [mm²]	IE [Chimenea]	A [Chimenea]	Cable de retención [A]	Cable de retención [A]	Retención de cables	Retención de cables	Tipos y sección del cable [mm²]			
1	Switchgear CIS 23 kV	Poste 23 kV	400-XPA-205	-	0.70	0.90	7500	2000	3	183.27	225.33	200	-	1	225	32	250 kemi	12/70	0.173	0.160	744	22222.56	0.03	400XPA205-A	3-1C420 kemi 1200 kVDC EPR Km-105 23 kV
2	Switchgear CIS 23 kV	Poste 23 kV	400-XPA-203	-	0.70	0.90	7500	2000	3	183.27	225.33	200	-	1	225	32	250 kemi	12/70	0.173	0.160	782	22222.32	0.03	400XPA203-A	3-1C420 kemi 1200 kVDC EPR Km-105 23 kV
3	Transformador de potencia 7.5 kVA 23 x 10 kV	400-XCP-102	400-XFP-221	-	0.70	0.90	7500	2000	3	183.27	225.33	200	-	1	225	10	250 kemi	12/70	0.173	0.160	821	22222.13	0.03	400XFP221-A	3-1C420 kemi 1200 kVDC EPR Km-105 23 kV
4	Transformador de potencia 7.5 kVA 23 x 10 kV	400-XCP-103	400-XFP-223	-	0.70	0.90	7500	2000	3	183.27	225.33	200	-	1	225	10	250 kemi	12/70	0.173	0.160	831	22222.13	0.03	400XFP223-A	3-1C420 kemi 1200 kVDC EPR Km-105 23 kV
5	Diseñadores de tránsito de transformador 400-XEP-221 hasta de 41.8 kV	Neutro 400-XEP-221	400-CPR-222	-	-	-	-	2400	-	400	500.00	785	-	1	500	3	500 kemi	25/300	0.0002	0.2000	N/A	N/A	N/A	400CPR222-A	1-1C420 kemi 1200 kVDC EPR Km-105 3 kV
6	Diseñadores de tránsito de transformador 400-XEP-222 hasta de 41.8 kV	Neutro 400-XEP-222	400-CPR-223	-	-	-	-	2400	-	400	500.00	785	-	1	500	3	500 kemi	25/300	0.0002	0.2000	N/A	N/A	N/A	400CPR223-A	1-1C420 kemi 1200 kVDC EPR Km-105 3 kV
7	Grupa de protegida	400-ACM-102	400-GPD-211	C1	1.00	0.25	120.3	4100	3	257.93	322.47	200.00	-	1	322	10	500 kemi	25/300	0.0002	0.2000	572	415421	0.19	400GPD211-B	3-1C420 kemi 3 kV EPR Km-105 3 kV
8	Motor bomba vertical de Agua	400-ACM-102	400-PPV-212	C2	2/4.2	0.95	113.8	4100	3	157.33	198.66	205	-	1	197	125	40 AHC	10715	0.203	0.2250	1281	414732	0.30	400PPV402-A	3-1C420 AHC 1200 kVDC EPR Km-105 3 kV
9	Motor bomba vertical de Agua	400-ACM-102	400-PPV-213	C3	2/4.2	0.95	113.8	4100	3	157.33	198.66	205	-	1	197	130	40 AHC	10715	0.203	0.2250	1214	414738	0.29	400PPV403-A	3-1C420 AHC 1200 kVDC EPR Km-105 3 kV
10	Transformador de potencia hasta de 750 kVA 4.16 x 0.40 kV hasta de 41.8 kV	400-ACM-102	400-XPD-228	C4	0.75	0.9	7500	4100	3	104.09	130.11	200.00	-	1	130	10	250 AHC	8749	0.0027	0.2370	153	415347	0.04	400XPD228-A	3-1C420 AHC 1200 kVDC EPR Km-105 3 kV
11	Motor bomba vertical de Agua	400-ACM-102	400-PPV-214	C5	2/4.2	0.95	113.8	4100	3	157.33	198.66	205	-	1	197	120	40 AHC	10715	0.203	0.2250	1121	414732	0.27	400PPV404-A	3-1C420 AHC 1200 kVDC EPR Km-105 3 kV
12	Motor bomba vertical de Agua	400-ACM-102	400-PPV-215	C10	2/4.2	0.95	113.8	4100	3	157.33	198.66	205	-	1	197	115	40 AHC	10715	0.203	0.2250	1074	414926	0.26	400PPV405-A	3-1C420 AHC 1200 kVDC EPR Km-105 3 kV
13	Centro control de motores en bajo tensión 230 V	400-XED-228	400-ACL-221	-	71.25	0.25	750	450	3	302.11	1127.84	-	0.95	3	328	11	750 kemi	35/300	0.0014	0.02	087	41733	0.14	400ACL221-L10-L3	3-1C420 kemi 1 XMM-2 300 V
14	Motor de bomba sumergida de agua	400-ACL-221	400-PPR-217-A	C1	20.7	0.92	22.5	450	3	27.08	33.30	-	0.95	1	38	27	4 AHC	2118	1.0000	0.11	451	417449	0.24	400PPR217-A	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
15	Motor de gestión mecánica (NO X1) 8	400-ACL-221	400-ODS-222	C2	2	0.94	24	450	3	23.38	35.3	-	0.95	1	4	50	1 AHC	527	4.200	0.11	102	41732	0.22	400ODS222-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
16	Alarma de soldar para el área de depósito de bombas	400-ACL-221	400-ANR-108	C3	0.5	0.1	71.7	450	3	26.20	107.75	-	0.95	1	113	105	10 AHC	5048	0.4193	0.10	373	417121	1.23	400ANR108-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
17	Alarma de soldar para el área de sala de máquinas	400-ACL-221	400-ANR-110	C4	0.5	0.1	71.7	450	3	26.20	107.75	-	0.95	1	113	22	10 AHC	5048	0.4193	0.10	132	417138	0.28	400ANR110-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
18	Sistema de HVAC sala de máquinas	400-ACL-221	400-XCA-213	C5	7.9	0.9	27.7	450	3	105.45	131.31	-	0.95	1	133	21	10 AHC	5048	0.4193	0.10	130	417320	0.27	400XCA213-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
19	Sistema de presurización sala de máquinas	400-ACL-221	400-CO-222	C6	52.8	0.9	58.4	450	3	70.30	37.37	-	0.95	1	32	22	1 AHC	4240	0.3229	0.11	153	417450	0.22	400CO222-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
20	Sistema de presurización sala de máquinas	400-ACL-221	400-CO-223	C7	52.8	0.9	58.4	450	3	70.30	37.37	-	0.95	1	32	23	1 AHC	4240	0.3229	0.11	182	417338	0.24	400CO223-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
21	Transformador de alumbrado 50 kVA 400-VBD-230 Y 3F	400-ACL-221	400-XAL-217	C8	42.5	0.9	47.2	450	3	56.30	71.00	-	0.95	1	75	28	1 AHC	5048	0.4193	0.10	120	417338	0.25	400XAL217-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
22	Válvula maternizada	400-ACL-221	400-FC4473	C9	1.2	0.25	14	450	3	17.0	21.2	-	0.95	1	2	132	12 AHC	331	8.7730	0.12	288	417734	0.55	400FC4473-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
23	Válvula maternizada	400-ACL-221	400-FC4473	C10	1.2	0.25	14	450	3	17.0	21.2	-	0.95	1	2	132	12 AHC	331	8.7730	0.12	288	417734	0.55	400FC4473-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
24	Transformador de alimentación - estabilizado 7.5 kVA 380/120 V 1F	400-ACL-221	400-XFL-220	C11	0.4	0.9	7.1	450	1	14.31	13.32	-	0.95	-	19	21	3 AHC	338	2.8810	0.11	170	417330	0.25	400XFL220-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
25	Relé de tierra y cargador de baterías 120 voltios 120 V 1 F	400-ACL-221	400-XMC-214	C12	0.5	0.9	3.6	450	3	8.65	3.35	-	0.95	1	2	12	10 AHC	527	4.200	0.11	880	417440	0.12	400XMC214-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
26	Transformador de alimentación en para 100 V 120 V 1 F	400-ACL-221	400-XFL-220	C13	0.4	0.9	7.1	450	1	14.31	13.32	-	0.95	-	19	22	3 AHC	338	2.8810	0.11	173	417322	0.27	400XFL220-H	1-3C420 AHC 1200 kVDC XMM-2 300 V
27	Fábrica de alumbrado 400-LPA-120B	400-LPA-120B	400-LPA-120B	C14	4.0	0.9	-	450	3	8.42	3.02	-	-	-	3	75	3 AHC	338	2.8810	0.11	228	337.72	0.57	400LPA120B-H	4C40 AHC 1-3C420 AHC XMM-2 300 V
28	Fábrica de alumbrado 400-LPA-121B	400-LPA-120B	400-LPA-121B	C15	10.0	0.9	-	450	3	18.04	20.35	-	-	-	20	35	3 AHC	338	2.8810	0.11	848	330.54	1.82	400LPA121B-H	4C40 AHC 1-3C420 AHC XMM-2 300 V
29	Fábrica de alumbrado 400-LPA-120T	400-XEL-217	400-LPA-120T	-	-	0.9	50.0	450	3	72.25	30.32	-	-	-	30	20	1 AHC	5048	0.4193	0.10	117	338.33	0.29	400LPA120T-H	4C40 AHC 1-3C420 AHC XMM-2 300 V

Nota: La figura muestra los resultados de cálculo de los cables eléctricos del sistema de bombeo.

Dimensionamiento y selección de tuberías. Considerando una terna del cable seleccionado anteriormente (2/0 AWG), con diámetro exterior 22.10 mm, asimismo, la tubería por donde se canalizará el cable será de 4' de diámetro y también solo se canalizará una terna, por lo cual el porcentaje de llenado será de acuerdo con la ecuación 43.

Figura 55

Cables de fuerza en tubería de 4"



Nota: La figura muestra la disposición de cables en tubería PVC SCH 40.

$$\%A_{ll} = \frac{(\sum_{i=0}^n A_i) * 100}{A_d} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{A_d} \leq 40\%$$

$$\%A_{ll} = \frac{\frac{3 * \pi * (22.10)^2}{4} * 100}{\frac{\pi * (25.4 * 4)^2}{4}} = 14.19\% \leq 40\%$$

Del cálculo anterior se estaría cumpliendo con lo requerido, dado que el porcentaje de llenado de la tubería es menor a 40%.

Siguiendo el mismo procedimiento, procedemos a calcular las tuberías para todos los cables de fuerza de nuestra instalación eléctrica, teniendo como resultado la figura 56.

Figura 56

Selección de tuberías para canalización de cables

ITEM	Nombre del equipo	Desde	Hasta	Tensión [V]	Tag del cable	Tipo y sección del cable (AWG/kmil)	Diámetro de tubo conduit en pulgadas
1	Switchgear GIS 23 kV	Poste 23 kV	460-SGM-995	23000	460SGM995-A	3-1/C#250 kmil+SHD, EPR MV-105, 35 kV	6"
2	Switchgear GIS 23 kV	Poste 23 kV	460-SGM-998	23000	460SGM998-A	3-1/C#250 kmil+SHD, EPR MV-105, 35 kV	6"
3	Transformador de potencia 7.5 MVA, 23/4.16 kV	460-SGM-995	460-XFP-991	23000	460XFP991-A	3-1/C#250 kmil+SHD, EPR MV-105, 35 kV	6"
4	Transformador de potencia 7.5 MVA, 23/4.16 kV	460-SGM-998	460-XFP-993	23000	460XFP993-A	3-1/C#250 kmil+SHD, EPR MV-105, 35 kV	6"
5	Grupo eléctrico	460-MC M-961	460-GED-511	4160	460GED511-B	3-1/C#500 kmil 8 kV+SHD, EPR MV-105, 8 kV	8"
6	Motor bomba vertical de Agua	460-MC M-961	460-PPV-942	4160	460PPV942A-B	3-1/C#40 AWG+SHD+ 1/C#2 AWG GRD, EPR MV-105, 8 kV	4"
7	Motor bomba vertical de Agua	460-MC M-961	460-PPV-943	4160	460PPV943A-B	3-1/C#40 AWG+SHD+ 1/C#2 AWG GRD, EPR MV-105, 8 kV	4"
8	Transformador de distribución seco de 750 kVA, 4.16 /0.48 kV, lado de 4.16 kV.	460-MC M-961	460-XFD-996	4160	460XFD996-B	3-1/C#20 AWG, EPR MV-105, 8 kV	4"
9	Motor bomba vertical de Agua	460-MC M-961	460-PPV-944	4160	460PPV944A-B	3-1/C#40 AWG+SHD+ 1/C#2 AWG GRD, EPR MV-105, 8 kV	4"
10	Motor bomba vertical de Agua	460-MC M-961	460-PPV-945	4160	460PPV945A-B	3-1/C#40 AWG+SHD+ 1/C#2 AWG GRD, EPR MV-105, 8 kV	4"
11	Centro control de motores en baja tensión 480 V	460-XFD-996	460-MCL-991	480	460MCL991-L1 @ L3	3-(3-1/C#750 kmil), XHHW-2, 600 V	6"
12	Motor de bomba sumidero de agua	460-MC L-991	460-PPR-787A	480	460PPR787A-H	1-3/C#4 AWG+1/C#8 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	2"
13	Motor de portón metálico (NOTA 16)	460-MC L-991	460-D OE-202	480	460DOE202-H	1-3/C#10 AWG+1/C#10 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	2"
14	Máquina de soldar para el área de patio de bombas	460-MC L-991	460-WR-706	480	460WR706-H	1-3/C#10 AWG+1/C#6 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	2"
15	Máquina de soldar para el área de la sala eléctrica.	460-MC L-991	460-WR-710	480	460WR710-H	1-3/C#10 AWG+1/C#6 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	2"
16	Sistema de HVAC sala eléctrica	460-MC L-991	460-AC A-918	480	460AC A918-H	1-3/C#10 AWG+1/C#6 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	2"
17	Sistema de presurización sala eléctrica	460-MC L-991	460-C OA-922	480	460COA922-H	1-3/C#1 AWG+1/C#6 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	2"
18	Sistema de presurización sala eléctrica	460-MC L-991	460-C OA-923	480	460COA923-H	1-3/C#1 AWG+1/C#6 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	2"
19	Transformador de alumbrado 50 kVA, 480 /400- 230 V, 3F	460-MC L-991	460-XFL-977	480	460XFL977-H	1-3/C#10 AWG+1/C#6 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	2"
20	Válvula motorizada	460-MC L-991	460-FCV-4737	480	460FCV4737-H	1-3/C#12 AWG+1/C#12 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	1"
21	Válvula motorizada	460-MC L-991	460-FCV-4738	480	460FCV4738-H	1-3/C#12 AWG+1/C#12 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	1"
22	Transformador de instrumentación - estabilizado, 7.5 kVA, 480 /120 V, 1 F.	460-MC L-991	460-XFZ-983	480	460XFZ983-H	1-2/C#8 AWG+ 1/C#10 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	1"
23	Rectificador y cargador de baterías 125 Vdc	460-MC L-991	460-BAC-634	480	460BAC634-H	1-3/C#10 AWG+1/C#10 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	1"
24	Transformador de instrumentación para tablero no estabilizado, 7.5 kVA, 480 /120 V, 1 F.	460-MC L-991	460-XFZ-985	480	460XFZ985-H	1-2/C#8 AWG+ 1/C#10 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	1"
25	Tablero de alumbrado 460-LPA-1209	460-LPA-1207	460-LPA-1209	400	460LPA1209-M	4/C#8 AWG+1/C#10 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	1-1/2"
26	Tablero de alumbrado 460-LPA-1210	460-LPA-1207	460-LPA-1210	400	460LPA1210-M	4/C#8 AWG+1/C#10 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	1-1/2"
27	Tablero de alumbrado 460-LPA-1207	460-XFL-977	460-LPA-1207	400	460LPA1207-M	4/C#10 AWG+1/C#6 AWG GRD, XHHW-2, 600 V	2"

Nota: La figura muestra el calibre de los cables y las secciones de tuberías seleccionadas.

Dimensionamiento y selección de bandejas portacables. Para el dimensionamiento de las bandejas en media tensión 4.16 kV, partimos de la información proporcionada en la figura 54, donde podemos apreciar que las cargas en media tensión son las siguientes.

- Motores (450-PPV-942, 450-PPV-943, 450-PPV-944 y 450-PPV-945) con cable 3-1/C# 4/0 AWG+SHD +1/C# 2AWG (GRD)
- Transformador de distribución (450-XFD-996) con cable 3-1/C# 2/0 AWG+SHD
- Grupo eléctrico (450-GED-511) con cable 3-1/C# 500 kcmil+SHD

Con la información anterior, de catálogos procedemos a escoger los diámetros de los cables seleccionados, teniendo los siguientes resultados:

- Cable 1/C# 4/0 AWG: 25.1 mm
- Cable 1/C# 2/0 AWG: 12.6 mm
- Cable 1/C# 500 kcmil: 31.8 mm

Figura 57

Características de cables 5 kV con 133% o 8 kV con 100 % de aislamiento

Catalog Number (1)	Conductor Size AWG or kcmil	Conductor Size -mm ²	Approx. Dia. over Insulation (in.)	Approx. Dia. over Screen (in.)	Jacket Thickness - mils	Jacket Thickness - mm	Approx. O.D. - mm	Approx. O.D. - inches	Approx. Net Weight lbs./100'	Approx. Ship Weight lbs./1000'	Ampacities Conduit in Air (2)	Ampacities Underground Duct (3)	Conduit Size Inches (4)*
▲ 114-23-3817	6	13.3	0.44	0.50	60	1.52	0.64	16.3	285	320	84	92	2
▲ 114-23-3819	4	21.2	0.48	0.54	60	1.52	0.69	17.5	355	385	110	120	2
▲ 114-23-3821	2	33.6	0.54	0.60	60	1.52	0.74	18.8	455	495	145	155	2
114-23-3823	1	42.4	0.58	0.63	60	1.52	0.77	19.5	530	570	175	180	2½
▲ 114-23-3825	1/0	53.5	0.61	0.67	60	1.52	0.81	20.6	610	645	200	210	2½
▲ 114-23-3827	2/0	67.4	0.65	0.71	60	1.52	0.85	12.6	710	765	225	235	2½
114-23-3829	3/0	85.0	0.70	0.75	80	2.03	0.93	23.6	880	935	270	270	3
▲ 114-23-3831	4/0	107.0	0.75	0.81	80	2.03	0.99	25.1	1035	1100	305	310	3
▲ 114-23-3833	250	127.0	0.80	0.86	80	2.03	1.04	26.4	1180	1245	355	345	3
▲ 114-23-3837	350	177.0	0.89	0.95	80	2.03	1.14	29.0	1535	1625	430	415	3½
▲ 114-23-3843	500	253.0	1.01	1.07	80	2.03	1.25	31.8	2050	2150	530	505	3½
▲ 114-23-3849	750	380.0	1.19	1.25	80	2.03	1.43	36.8	2935	3110	665	630	4
114-23-3851	1000	507.0	1.33	1.39	80	2.03	1.57	39.9	3650	3825	770	720	5

Visit www.okonite.com for the most current cable data.

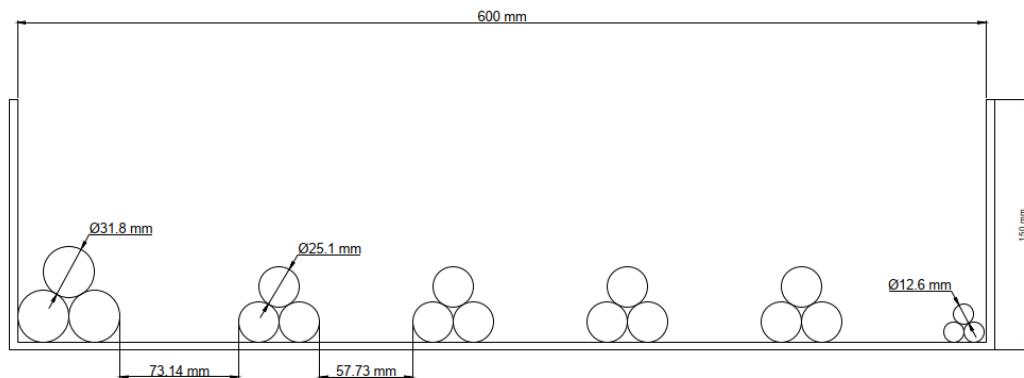
Nota: The Okonite Company (2014)

Con la información anterior y considerando que, en la especificación técnica de bandejas, indica que la bandeja porta cable de fuerza tenga una altura de 150 mm.

Considerando toda la información de los puntos anteriores y la disposición triangular para cables unipolares de la figura 18, procedamos a dimensionar nuestra bandeja, obteniendo el resultado de la figura 58.

Figura 58

Disposición de cables en media tensión 4.16 kV



Nota: En la figura se muestra la disposición de cables para el dimensionamiento de las bandejas.

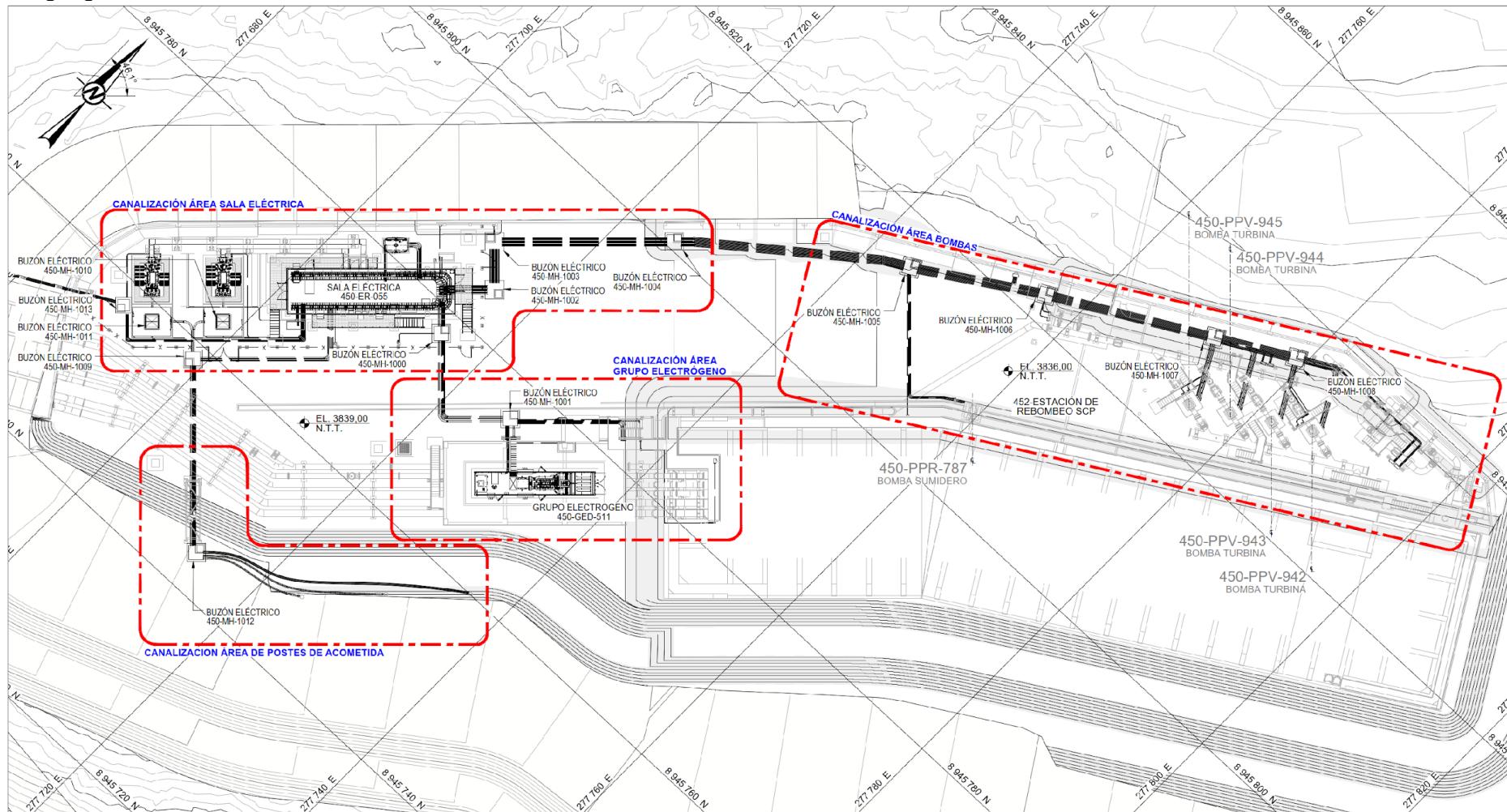
De manera similar al procedimiento anterior procedemos a dimensionar las bandejas de baja tensión, control e instrumentación, considerando que el alto de las bandejas para control e instrumentación es de 100 mm según él la especificación técnica. Obteniendo así los siguientes resultados:

- Bandeja de fuerza 4.16 kV: 600 mmx150 mm (ancho x alto)
- Bandeja de fuerza 0.48 kV: 300 mmx150 mm (ancho x alto)
- Bandeja de control: 300 mmx100 mm (ancho x alto)
- Bandeja de instrumentación: 300 mmx100 mm (ancho x alto)

Act.3.4: Plantear y modelar el recorrido de la canalización. Tomando en consideración la información de todas las actividades anteriores, procedemos a desarrollar la canalización eléctrica, obteniendo así el arreglo correspondiente a la figura 59.

Figura 59

Arreglo general de canalización eléctrica



Nota: La figura muestra el arreglo de canalización por cada área respectiva del sistema de bombeo.

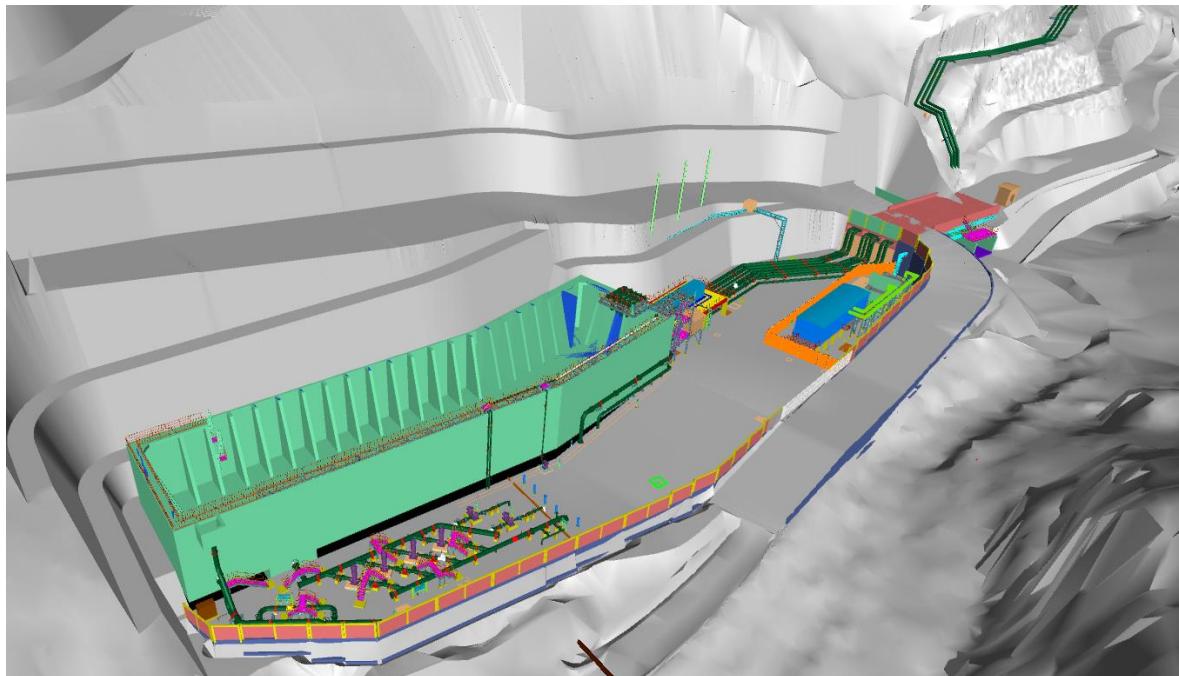
Para mayor detalle de la canalización eléctrica correspondiente a cada una de las áreas indicadas en el arreglo general de la figura 59, ver el anexo 4.

Modelado de la canalización eléctrica. El arreglo del sistema canalización de la planta es factible de modelar mediante el uso de programas BIM (*building information modeling*), tal es el caso de Revit y autocad plant 3D.

Tomamos como base el modelo planteado por las disciplinas geotécnica, mecánica, tuberías y civiles, tal como se muestra en la figura 60. A partir de esta información se procede con el modelado de toda la instalación eléctrica.

Figura 60

Modelo BIM del sistema de bombeo – vista isométrica

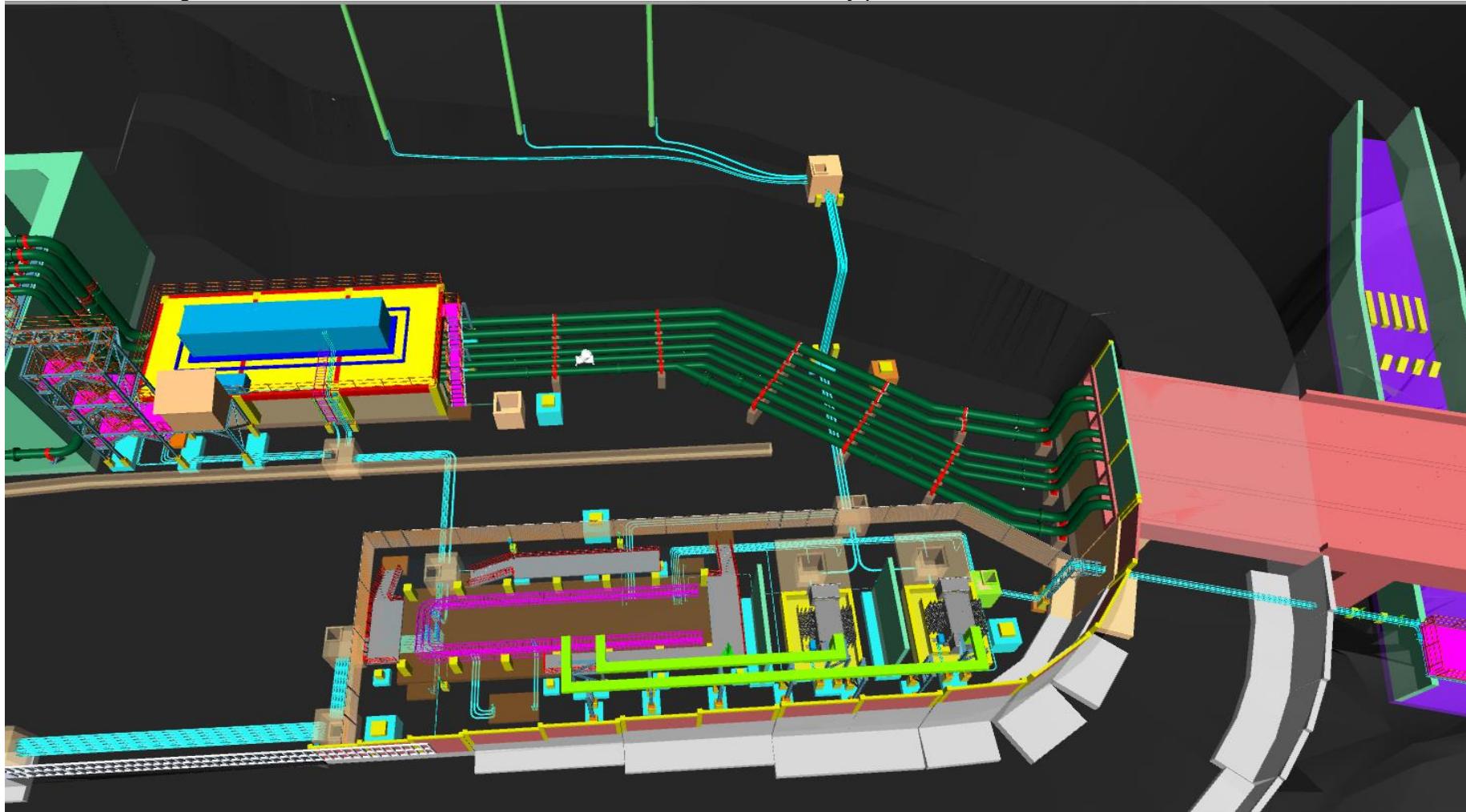


Nota: La figura muestra el modelo 3D del arreglo general del sistema de bombeo.

Para el caso de la canalización tomamos como base lo planteado en el arreglo general de canalización de la figura 59, buscando que la canalización sea de un recorrido uniforme en todo su trayecto, sin interferir con los accesos y sitios destinados a la operación, tal como se muestra en la figura 61 y figura 62.

Figura 61

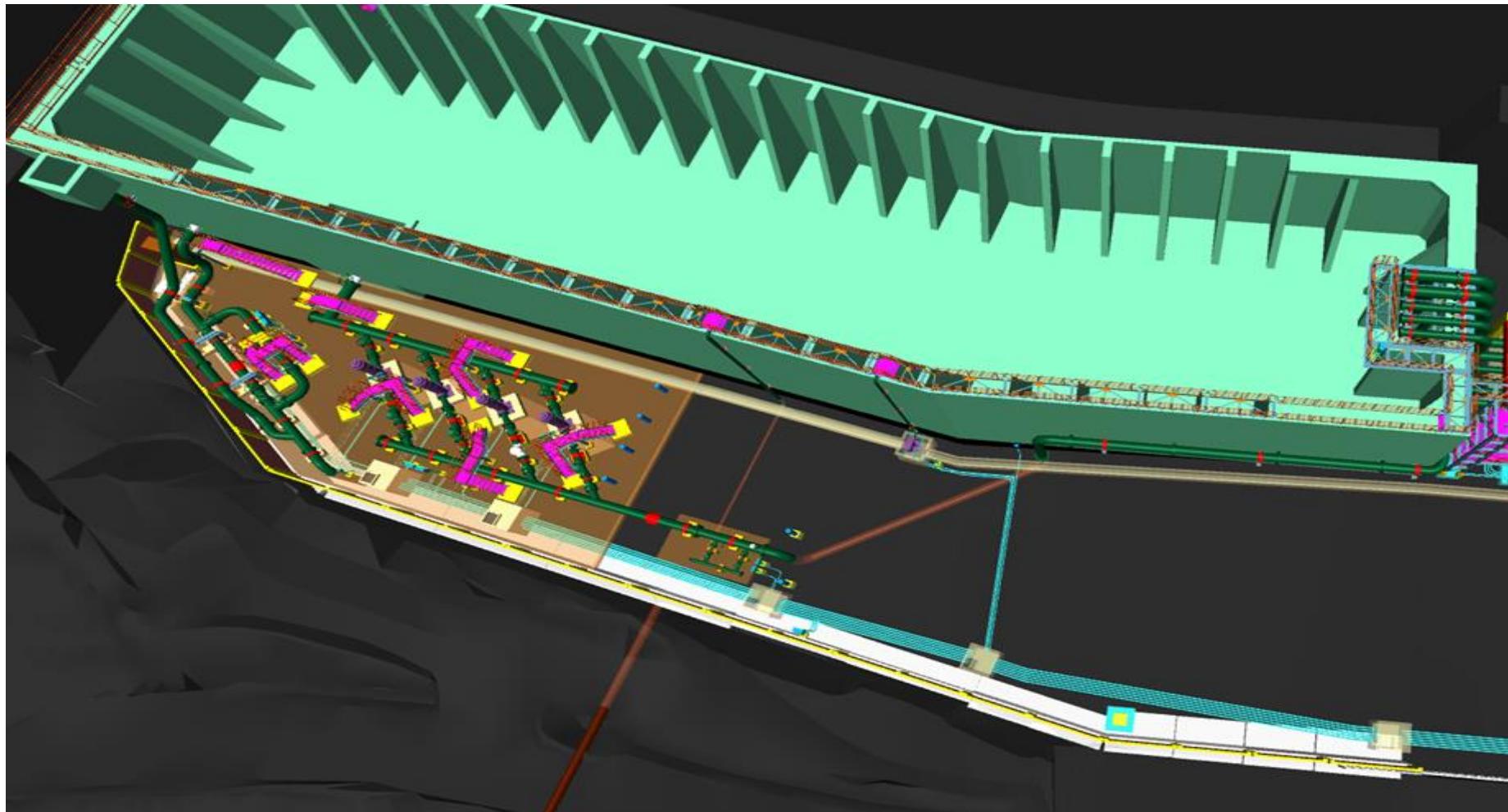
Modelo BIM arreglo de canalización eléctrica área de subestación, sala eléctrica y poste de acometida



Nota: La figura muestra el modelo 3D del arreglo de la canalización en la subestación y sala eléctrica.

Figura 62

Modelo BIM canalización área de bombas



Nota: La figura muestra el modelo 3D del arreglo de la canalización en el patio de bombas.

D. Desarrollo de bloques solución correspondientes al objetivo O 4

Act.4.1: Revisar el arreglo general y reconocer las áreas de trabajo a ser iluminadas. Previo al desarrollo de los planos de iluminación, procedemos a revisar el área de trabajo a ser iluminado.

Para este caso, en la figura 63 y figura 64 identificamos las áreas y espacios de trabajo, respectivamente, para proceder con la simulación en el software *Dialux* y, posteriormente, con desarrollo de los arreglos correspondientes.

Act.4.2: Revisar el criterio de diseño y el Anexo 37 D. S. N° 024-2016-EM para los requerimientos mínimos de lux para cada área de trabajo. Del criterio de diseño eléctrico y el anexo 37 del D. S. N° 024-2016-EM, se obtienen los siguientes los datos relevantes para la iluminación de las distintas áreas de trabajo, el cual se muestra en la tabla 28.

Tabla 28

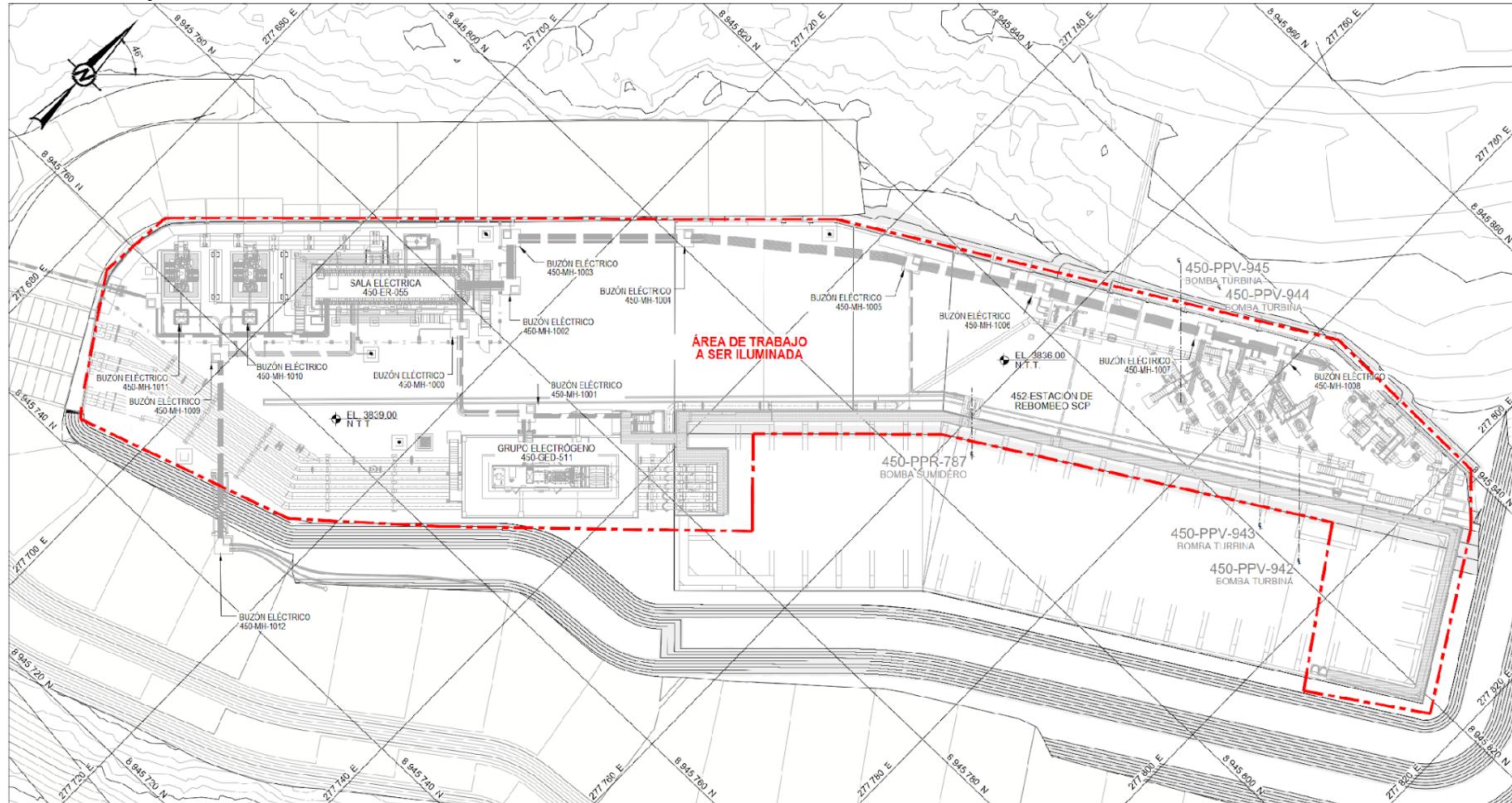
Nivel mínimo de iluminación por área de trabajo

Área de trabajo	Lux
Área de bombas	100 - 150
Escaleras y pasadizos	50 - 100
Plataforma de tanques	50 - 100
Área dentro de unidades (general)	40 - 60
Patio de llaves	60 - 70
Calles	25 - 50
Vías de acceso	50

Nota: Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería Anexo 37, D.S.N° 024-2016-EM (Minem, 2016).

Figura 63

Área de trabajo a ser iluminada



Nota: La figura muestra el área de trabajo a ser iluminada en la estación de bombeo.

Figura 64

Espacio de trabajo a ser iluminado



Nota: La figura muestra el modelo 3D con el espacio de trabajo a ser iluminada en la estación de bombeo.

Act.4.3: Modelar, simular y calcular la iluminación para el diseño

Datos de entrada. Para el cálculo de iluminación, se trabajará con luminarias cuyas marcas son homologadas por la empresa minera, previa coordinación con la minera.

Las características de las luminarias escogidas para la evaluación de Iluminación se visualizan en la tabla 29. Estas luminarias con cada una de sus características fotométricas se ubican dentro de la librería del software.

Tabla 29

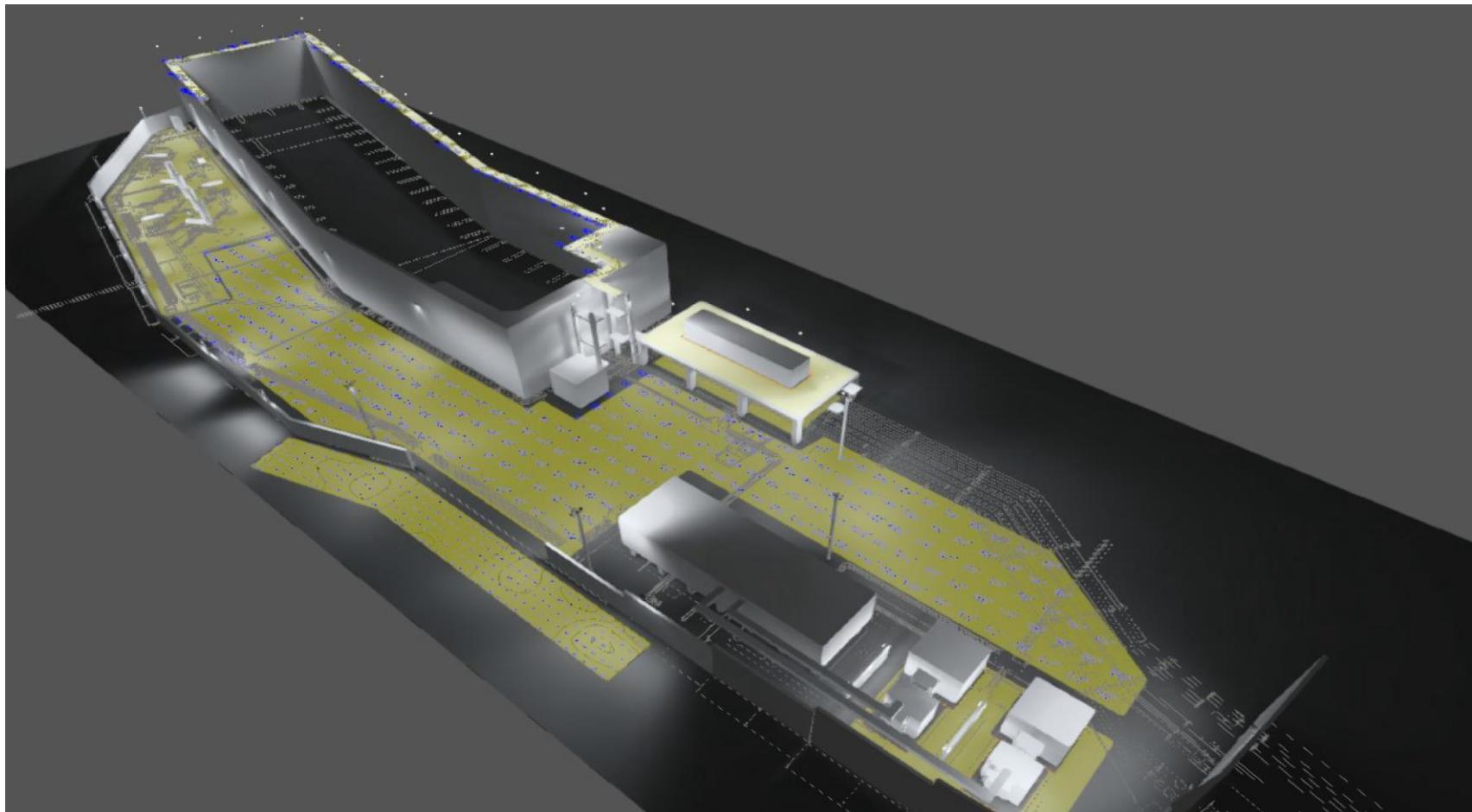
Características de las luminarias

Descripción	Modelo	Flujo luminoso	Potencia
Luminaria LED industrial para instalación tipo estación de 50 W, 220 V, 60Hz, distribución asimétrica.	PETROLUX 2 LED WET LOCATION, PLED2 05L 5K AS UN NA G L1 HOLOPHANE	5 066 lúmenes	50 W
Luminaria LED industrial tipo reflector de 177 W, 220 V, 60Hz, distribución simétrica.	PREDADOR MEDIUM PMLED 4 5K 10A 55 HOLOPHANE	21 804 lúmenes	177 W
Luminaria LED industrial tipo wallpack de 67 W, 220 V, 60Hz	W4 PLED W4PLED 30C700 50K T3M HOLOPHANE	5 208 lúmenes	67 W
Luminaria LED industrial tipo fluorescente de 40 W, 220 V, 60Hz	DMW2 L24 DMW2 4000LM WD PCL MVOLT 50K LITHONIA	3 752 lúmenes	40 W

Nota: La tabla contiene las características de las luminarias a ser usadas en la iluminación de la estación de bombeo.

Figura 65

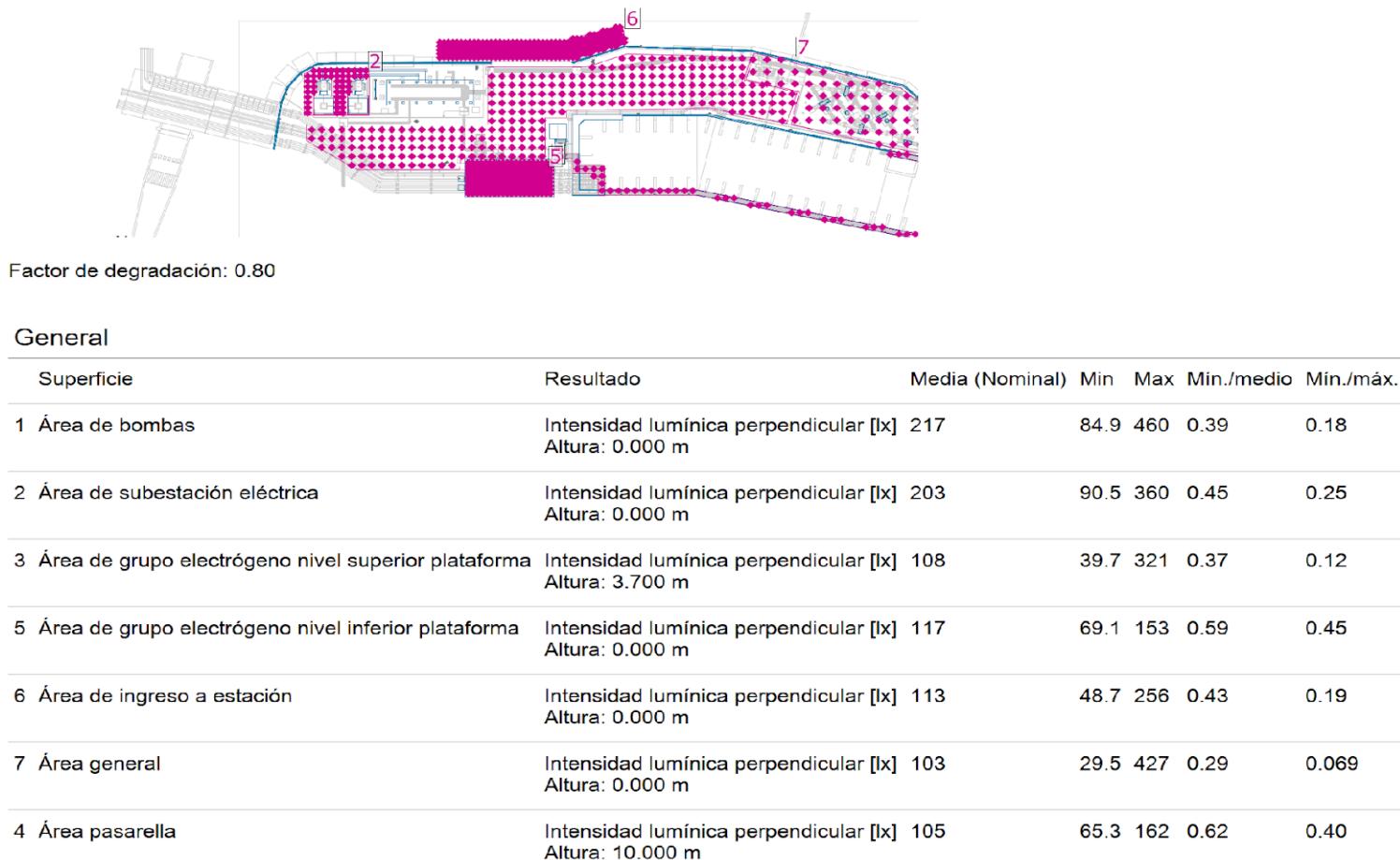
Cálculo de iluminación con Dialux Evo



Nota: La figura muestra la simulación realizada para el cálculo de iluminación en la estación de bombeo.

Figura 66

Resumen de resultados de superficies (lux)



Nota: La figura muestra los resultados de cálculo de iluminación del sistema de bombeo.

Resultados. En la tabla 30, se muestran los resultados obtenidos del cálculo de iluminación desarrollado para el sistema de bombeo de agua.

Para mayor detalle del cálculo de iluminación con el software *Dialux Evo*, ver anexo 5.

Tabla 30

Resultados obtenidos del software de simulación Dialux Evo

Ítem	Zona	Calculado (Promedio)
1	Área de bombas	217 lux
2	Área de subestación eléctrica	203 lux
3	Área de grupo electrógeno nivel superior plataforma	108 lux
4	Área de grupo electrógeno nivel inferior plataforma	117 lux
5	Área de ingreso a estación	113 lux
6	Área general	103 lux
7	Área de pasarela	105 lux

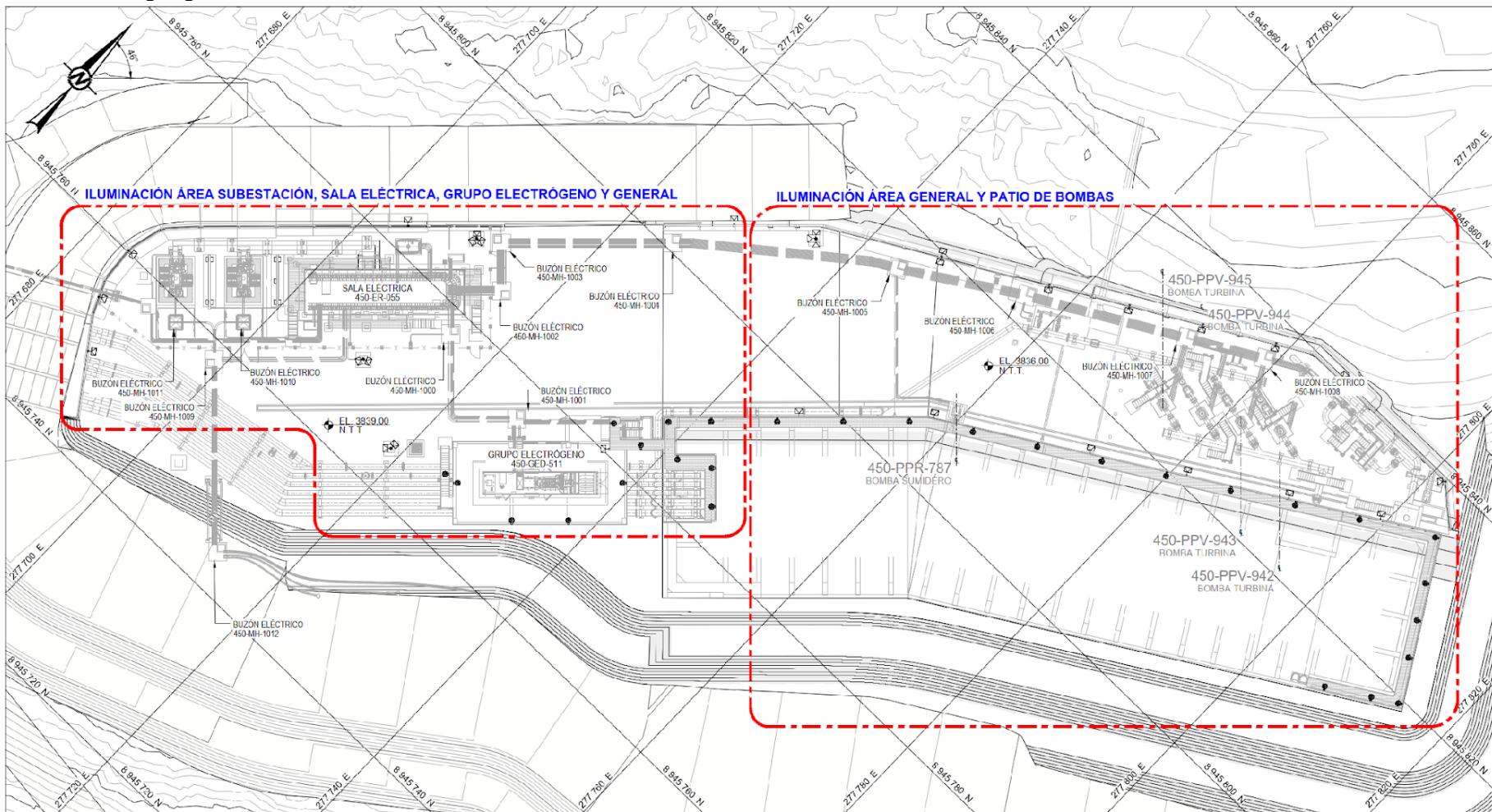
Nota: La tabla contiene el resumen de los resultados de la memoria de cálculo de iluminación por determinada área de trabajo.

Elaboración de plano de arreglo de iluminación. Los resultados del cálculo de iluminación nos dan detalles de la ubicación para la instalación de cada luminaria, siendo estas la altura de instalación, ángulo de inclinación y ubicación en planta de la luminaria. A partir de esta información generada, procedemos a desarrollar los planos de arreglo de iluminación, obteniendo así la figura 67, donde se muestra las ubicaciones de las luminarias a instalar en la planta de bombeo.

Para mayor detalle de los planos de iluminación, ver el anexo 6.

Figura 67

Plano de arreglo general de iluminación



Nota: La figura muestra el arreglo general de iluminación del sistema de bombeo con las respectivas sub áreas de trabajo.

E. Desarrollo de bloques solución correspondientes al objetivo O 5

Act.4.1: Revisar los planos de arreglos mecánicos y cimentaciones para reconocer el espacio disponible para la instalación del sistema de puesta a tierra.

Previo al desarrollo del sistema de puesta a tierra, procedemos a revisar el área donde será instalada la malla de puesta a tierra, obteniendo así la figura 68, en el cual se visualiza que se destinan 3 áreas las cuales contienen equipos eléctricos de media tensión, dichas áreas son las siguientes:

- Área subestación y sal eléctrica.
- Área de grupo electrógeno.
- Área de patio de bombas.

Act.4.1: Revisar el criterio de diseño y la norma IEEE 80 para el diseño y cálculo del sistema de puesta a tierra. De acuerdo al criterio de diseño y especificación técnica de materiales de puesta a tierra, tenemos los siguientes datos:

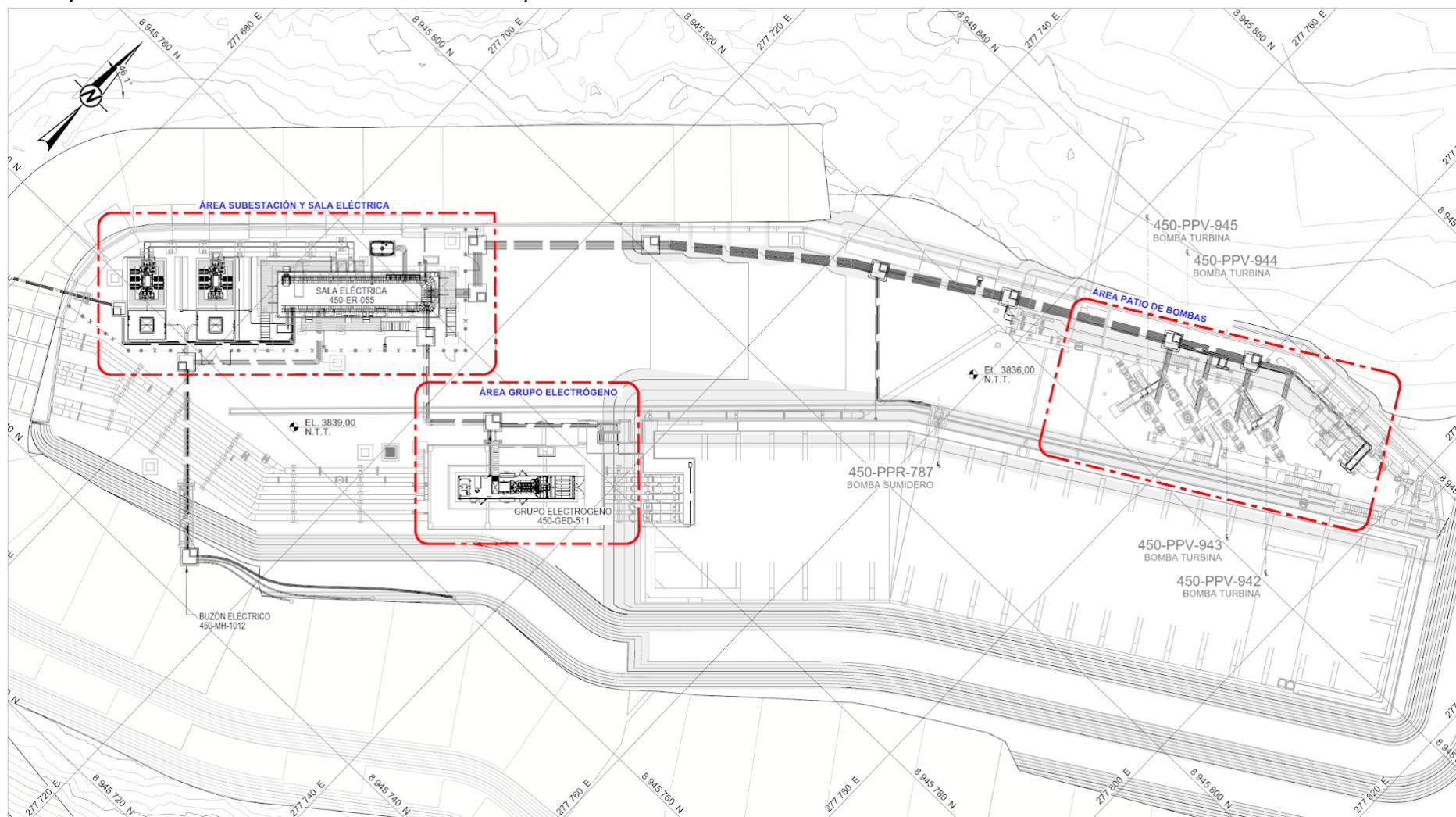
- Barillas de cobre de 3 m de largo y 0.019 m de diámetro.
- Sección de conductor de la malla principal 120 mm² (4/0 AWG).
- Sección de los conductores para aterramiento de equipos y estructuras metálicas 70 mm² (2/0 AWG).
- El sistema de puesta a tierra deberá tener una resistencia equivalente menor o igual a 5 Ohm.

Así mismo la conexión del neutro en el lado secundario del transformador es a través de una resistencia que limita la corriente de falla a tierra a 400 A. Es así que, para el diseño, se considera una corriente de falla a tierra máxima de 400 A.

Por otra parte, para el cálculo y diseño se considerarán las fórmulas y lineamientos establecidos para el cálculo del sistema de puesta a tierra según el estándar IEEE 80-2013.

Figura 68

Áreas para el desarrollo de la malla del sistema de puesta a tierra



Nota: La figura muestra el arreglo general de la estación de bombeo con las respectivas áreas para la instalación de la malla de puesta a tierra.

Plantear el sistema de puesta a tierra y realizar los cálculos para el diseño

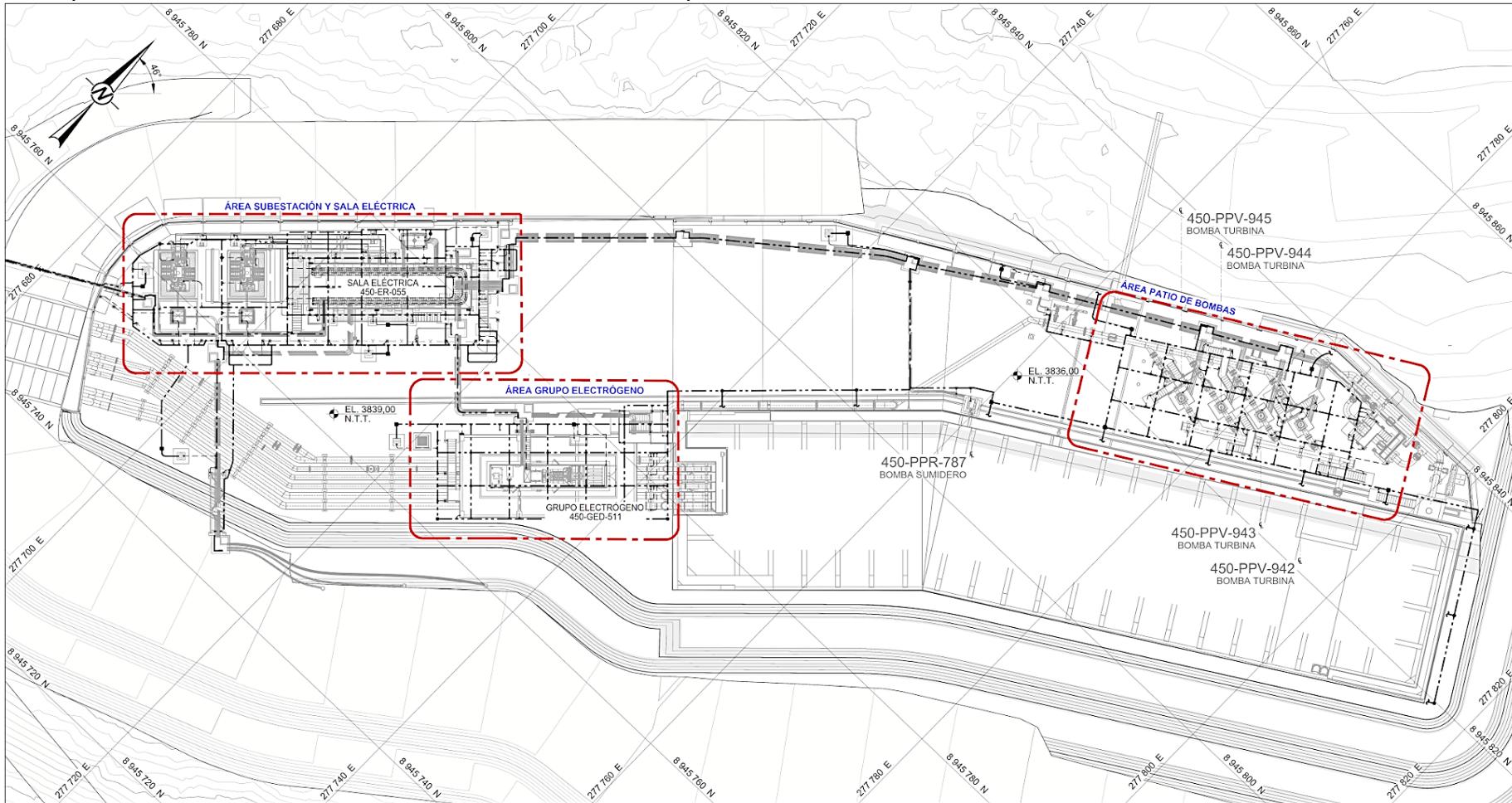
Consideraciones para el cálculo. Para el cálculo y diseño del sistema de puesta a tierra, se emplearán las siguientes consideraciones:

- Se aplican criterios de la norma IEEE std 80-2013.
- Resistividad aparente del suelo superficial de 1500 Ohm-m. Valor asumido según la coordinación realizada con la empresa Minera debido a que no se realizaron la medida de resistividad del terreno por falta de movimiento de tierra masiva (remoción del cerro para definición de plataforma). Valor a ser actualizado por el contratista encargado de la construcción cuando el terreno mencionado sea accesible para medición de resistividad.
- El valor de la corriente de falla monofásica a tierra es 400 A, debido a la resistencia del neutro del transformador limita la corriente de falla a este valor.
- Espesor de grava 0.1 m y resistividad de 5000 ohm-m.
- Barillas de cobre de 3 m de largo y 0.019 m de diámetro.
- Sección de conductor de la malla principal 120 mm² (4/0 AWG).
- El tiempo máximo de despeje de la falla será de 0.5 segundos.
- Se consideran 3 áreas correspondientes a la figura 68, las cuales son las siguientes: área de sala eléctrica y transformadores, área de grupo electrógeno, área patio de bombas.

Planteo del arreglo de malla de puesta a tierra. Se plantean mallas de puesta a tierra con cuadrículas que están ubicadas en las diferentes áreas anteriormente mencionadas. Estas mallas de puesta a tierra están unidas mediante conductores para tener equipotencialidad y un solo punto de referencia, tal como se muestra en la figura 69.

Figura 69

Áreas para el diseño e instalación de las mallas del sistema de puesta a tierra



Nota: La figura muestra el arreglo general de la estación de bombeo con las respectivas mallas de puesta a tierra instalados en las áreas descritas.

De todo lo anterior procedemos a realizar los cálculos para las mallas de puesta a tierra de cada área respectivamente.

Cálculo del factor de disminución de la capa superficial para todas las áreas.

De la ecuación 44 con los siguientes datos:

- Resistividad de la capa superficial: $\rho_s = 5000 \Omega\text{-m}$
- Espesor de la capa superficial: $h_s = 0.1\text{m}$
- Resistividad del terreno: $\rho = 1500 \Omega\text{-m}$.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09} = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{1500}{5000} \right)}{2 * 0.1 + 0.09}$$

$$C_s = 0.78$$

Cálculo de las tensiones de toque y paso tolerables para todas las áreas. Para el cálculo de la tensión de paso consideramos la ecuación 45 y tiempo máximo de despeje de falla de 0.5 segundos.

$$E_{P\ 50} = (1000 + 6C_s\rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} = (1000 + 6 * 0.78 * 5000) * \frac{0.116}{\sqrt{0.5}}$$

$$E_{P\ 50} = 4016 \text{ V}$$

Para el cálculo de la tensión de toque, se considera la ecuación 46 y tiempo máximo de despeje de falla de 0.5 segundos.

$$E_{T\ 50} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} = (1000 + 1.5 * 0.78 * 5000) * \frac{0.116}{\sqrt{0.5}}$$

$$E_{T\ 50} = 1127 \text{ V}$$

Área de sala eléctrica

Cálculo de los factores de corrección. De los siguientes datos:

Considerando para la malla un área rectangular con el lado mayor A' .

- Lado mayor del área rectangular de la malla: $A' = 35 \text{ m}$
- Lado mayor del área rectangular de la malla: $B' = 11.5 \text{ m}$

Área total para la instalación de la malla: $S' = 401 \text{ m}^2$

Profundidad media de enterramiento del conductor: $h'=350$ m

Diámetro del conductor $d_c=0.01236$ m

Profundidad de referencia: $h_0= 1$ m

Longitud total de los conductores de la malla horizontal: $L_C= 350$ m

longitud del perímetro de la malla: $L_p= 93$ m

Espaciamiento máximo entre conductores: $D=5.4$ m

Considerando la resistividad equivalente con bentonita: $\rho_{eq} = \frac{\rho}{3}$

Longitud de cada varilla enterrada: $L_r= 3$ m.

Número de varillas: $n_r= 8$.

Diámetro de las varillas: $d_r= 0.019$ m

De la ecuación 49

$$K_h = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{h}{h_0}\right)}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{0.76}{1}\right)}} = 1.327$$

De la ecuación 53

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{S'}}} = \sqrt{\frac{93}{4 * \sqrt{401}}} = 1.08$$

De la ecuación 52

$$n_a = \frac{2 * L_C}{L_p} = \frac{2 * 350}{93} = 7.55$$

De la ecuación 51

$$n = n_a * n_b = 1.08 * 7.55 = 8.12$$

De la ecuación 50

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} = \frac{1}{(2 * 8.12)^{2/8.12}} = 0.503$$

De la ecuación 48

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16h'd_c} + \frac{(D + 2h')^2}{8Dd_c} - \frac{h'}{4d_c} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n - 1)} \right) \right]$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{5.4^2}{16 * 0.76 * 0.01236} + \frac{(5.4 + 2 * 0.76)^2}{8 * 5.4 * 0.01236} - \frac{0.76}{4 * 0.01236} \right) + \frac{0.503}{1.327} \ln \left(\frac{8}{\pi(2 * 8.12 - 1)} \right) \right]$$

$$K_m = 0.7793$$

De la ecuación 54

$$K_i = 0.644 + 0.148n = 0.644 + 0.148 * 8.12 = 1.85$$

De la ecuación 59

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h'} + \frac{1}{D+h'} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0.76} + \frac{1}{5.4 + 0.76} + \frac{1}{5.4} (1 - 0.5^{8.12-2}) \right]$$

$$K_s = 0.2619$$

Cálculo de la longitud efectiva enterrada (L_M)

De la ecuación 56

$$L_R = n_r L_r = 8 * 3 = 24 \text{ m}$$

De la ecuación 55

$$L_M = L_C + L_R = 350 + 24 = 374 \text{ m}$$

Cálculo de la longitud efectiva del conductor enterrado (L_s)

De la ecuación 58

$$L_s = 0.75L_C + 0.85L_R = 0.75 * 350 + 0.85 * 24 = 283.05 \text{ m}$$

Cálculo de la tensión de toque originada por falla (E_T)

De la ecuación 47 y con los factores anteriormente calculados

$$E_T = K_m * K_i * \rho_{eq} * \frac{I_G}{L_M} = 0.7793 * 1.85 * \frac{1500}{3} * \frac{400}{374}$$

$$E_T = 769 \text{ V}$$

Cálculo de la tensión de paso originada por falla (E_p)

De la ecuación 57 y con los factores anteriormente calculados

$$E_p = K_s * K_i * \rho_{eq} * \frac{I_G}{L_s} = 0.2619 * 1.85 * \frac{1500}{3} * \frac{400}{283.05}$$

$$E_p = 342 V$$

Cálculo de la resistencia de dispersión de la malla (R_{11})

De la ecuación 61

$$K'_1 = 1.43 - \frac{2.3 * h'}{\sqrt{S'}} - 0.044 * \frac{A'}{B'}$$

$$K'_1 = 1.43 - \frac{2.3 * 0.76}{\sqrt{401}} - 0.044 * \frac{35}{11.5}$$

$$K'_1 = 1.21$$

De la ecuación 62

$$K'_2 = 5.50 - \frac{8 * h'}{\sqrt{S'}} + (0.15 - \frac{h'}{\sqrt{S'}}) * \frac{A'}{B'}$$

$$K'_2 = 5.50 - \frac{8 * 0.76}{\sqrt{401}} + (0.15 - \frac{0.76}{\sqrt{401}}) * \frac{35}{11.5}$$

$$K'_2 = 5.54$$

Finalmente, de la ecuación 60 y los factores anteriormente calculados

$$R_{11} = \frac{\rho_{eq}}{\pi L_c} \left[\ln \frac{2L_c}{\sqrt{h' * d_c}} + K'_1 \frac{L_c}{\sqrt{S'}} - K'_2 \right]$$

$$R_{11} = \frac{500}{\pi * 350} \left[\ln \frac{2 * 350}{\sqrt{0.76 * 0.01236}} + 1.21 * \frac{350}{\sqrt{401}} - 5.54 \right]$$

$$R_{11} = 11.12 \text{ Ohm}$$

Cálculo de la resistencia de dispersión de varillas (R_{22})

De la ecuación 63

$$R_{22} = \frac{\rho_{eq}}{2\pi * n_r * L_r} \left[\ln \frac{8L_r}{d_r} - 1 + \frac{2K'_1}{\sqrt{S'}} (\sqrt{n_r} - 1)^2 \right]$$

$$R_{22} = \frac{500}{2\pi * 8 * 3} \left[\ln \frac{8 * 3}{0.019} - 1 + \frac{2 * 1.21}{\sqrt{401}} (\sqrt{8} - 1)^2 \right]$$

$$R_{22} = 21.70 \text{ Ohm}$$

Cálculo de la resistencia mutua entre la malla y las varillas (R_{12})

De la ecuación 64

$$R_{12} = \frac{\rho_{eq}}{\pi * L_c} \left[\ln \frac{2L_c}{L_r} + \frac{K'_1 * L_c}{\sqrt{S'}} - K'_2 + 1 \right]$$

$$R_{12} = \frac{500}{\pi * 350} \left[\ln \frac{2 * 350}{3} + \frac{1.21 * 350}{\sqrt{401}} - 5.54 + 1 \right]$$

$$R_{12} = 10.02 \text{ Ohm}$$

Cálculo de la resistencia total (R_T)

De la ecuación 65

$$R_T = \frac{R_{11}R_{22} - R^2_{12}}{R_{11} + R_{22} - 2R_{12}}$$

$$R_T = \frac{11.12 * 21.70 - 10.02^2}{11.12 + 21.70 - 2 * 10.02}$$

$$R_T = 11.03 \text{ Ohm}$$

Área de grupo electrógeno. De los siguientes datos:

Considerando para la malla un área rectangular con el lado mayor A' .

- Lado mayor del área rectangular de la malla: $A' = 24 \text{ m}$
- Lado mayor del área rectangular de la malla: $B' = 12 \text{ m}$

Área total para la instalación de la malla: $S' = 276 \text{ m}^2$

Profundidad media de enterramiento del conductor: $h' = 350 \text{ m}$

Diámetro del conductor $d_c = 0.01236 \text{ m}$

Profundidad de referencia: $h_0 = 1 \text{ m}$

Longitud total de los conductores de la malla horizontal: $L_c = 278 \text{ m}$

longitud del perímetro de la malla: $L_p = 84 \text{ m}$

Espaciamiento máximo entre conductores: $D = 4.1 \text{ m}$

Considerando la resistividad equivalente con bentonita: $\rho_{eq} = \frac{\rho}{3}$

Longitud de cada varilla enterrada: $L_r = 3$ m.

Número de varillas: $n_r = 7$.

Diámetro de las varillas: $d_r = 0.019$ m

Al igual que para el área de la sala eléctrica, procedemos a reemplazar en las respectivas ecuaciones obteniendo así lo siguiente:

Tensiones de toque y paso tolerables

$$E_{P\ 50} = 4016\ V$$

$$E_{T\ 50} = 1127\ V$$

Tensión de toque (E_T) y paso (E_p) originada por falla

$$E_T = 824\ V$$

$$E_P = 417\ V$$

Resistencia total

$$R_T = 13.49\ Ohm$$

Área de patio de bombas

De los siguientes datos:

Considerando para la malla un área rectangular con el lado mayor A' .

- Lado mayor del área rectangular de la malla: $A' = 25.5$ m
- Lado mayor del área rectangular de la malla: $B' = 10$ m

Área total para la instalación de la malla: $S' = 255\ m^2$

Profundidad media de enterramiento del conductor: $h' = 350$ m

Diámetro del conductor $d_c = 0.01236$ m

Profundidad de referencia: $h_0 = 1$ m

Longitud total de los conductores de la malla horizontal: $L_C = 172$ m

Longitud del perímetro de la malla: $L_p = 71$ m

Espaciamiento máximo entre conductores: $D=4.3$ m

Considerando la resistividad equivalente con bentonita: $\rho_{eq} = \frac{\rho}{3}$

Longitud de cada varilla enterrada: $L_r= 3$ m.

Número de varillas: $n_r= 5$.

Diámetro de las varillas: $d_r= 0.019$ m

Al igual que para el área de la sala eléctrica, procedemos a reemplazar en las respectivas ecuaciones obteniendo así lo siguiente:

Tensiones de toque y paso tolerables

$$E_P_{50} = 4016 V$$

$$E_T_{50} = 1127 V$$

Tensión de toque (E_T) y paso (E_p) originada por falla

$$E_T = 557 V$$

$$E_P = 536 V$$

Resistencia total

$$R_T = 14.28 Ohm$$

Cálculo de la resistencia equivalente del sistema de puesta a tierra. La resistencia equivalente total del sistema de mallas a tierra de la estación de bombeo, donde se interconectan las 3 áreas de las mallas de puesta a tierra.

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{R_{T_S}} + \frac{1}{R_{T_G}} + \frac{1}{R_{T_B}}$$

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{11.03} + \frac{1}{13.49} + \frac{1}{14.28}$$

$$R_{Total} = 4.3 Ohm$$

Donde

R_{T_S} : Resistencia total del área de sala eléctrica.

R_{T_G} : Resistencia total del área de grupo electrógeno.

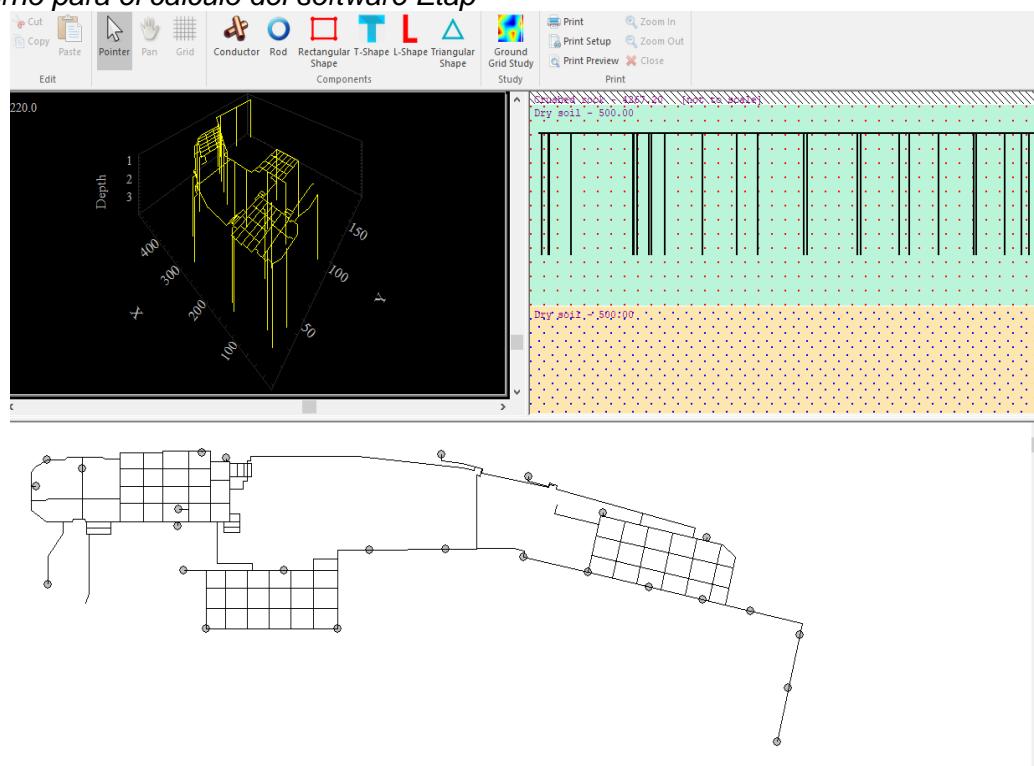
R_{T_B} : Resistencia total del área de bombas.

Cálculos con software Etap. Para el cálculo y simulación del sistema de puesta a tierra, haremos uso del software *Etap*, cuyos datos de entrada son los siguientes:

- Arreglo del sistema de puesta a tierra en formato de DWG para exportar al software.
- El valor de la corriente de falla monofásica a tierra se asume el valor de 400 A debido a la resistencia del neutro del transformador que limita la corriente de falla.
- Espesor de grava 0.1 m y resistividad de 5000 ohm-m.
- Barillas de cobre de 3 m de largo y 0.019 m de diámetro.
- Sección de conductor de la malla principal 120 mm² (4/0 AWG).
- Resistividad aparente del suelo superficial de 1500 Ohm-m. Valor asumido por falta de movimiento de tierra masiva (remoción del cerro para definición de plataforma).
- Considerando la resistividad equivalente con bentonita: $\rho_{eq} = \frac{\rho}{3} = 500 \text{ Ohm} - \text{m}$.
- Equivalente $x/r=0.008$ ohm (información obtenida del estudio eléctrico desarrollado por un tercero).
- Arreglo del sistema de puesta a tierra en formato de DWG de la figura 69, para exportar al software.

Figura 70

Entorno para el cálculo del software Etap



Nota: La figura muestra el modelado del sistema de puesta tierra para los cálculos mediante el software Etap.

Resultados. En la tabla 31, la figura 71 y figura 72 se muestran los resultados del cálculo desarrollado mediante el uso del software Etap, los valores calculados se encuentran por debajo de los tolerables cumpliendo así con el objetivo.

Tabla 31

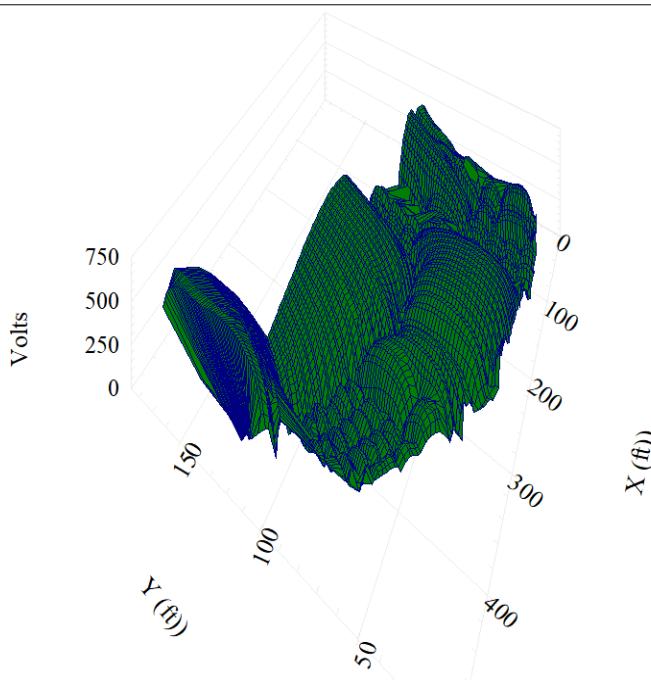
Resultados de cálculo de software Etap

Ítem	Descripción	Calculado promedio	Tolerable
1	Tensión de toque	723.8 V	1002.8 V
2	Tensión de paso	497.9 V	3518.9 V
3	Resistencia del sistema de puesta a tierra	3.896 ohm	5 Ohm

Nota: La tabla contiene los resultados de cálculo del sistema de puesta a tierra vs los valores tolerables.

Figura 71

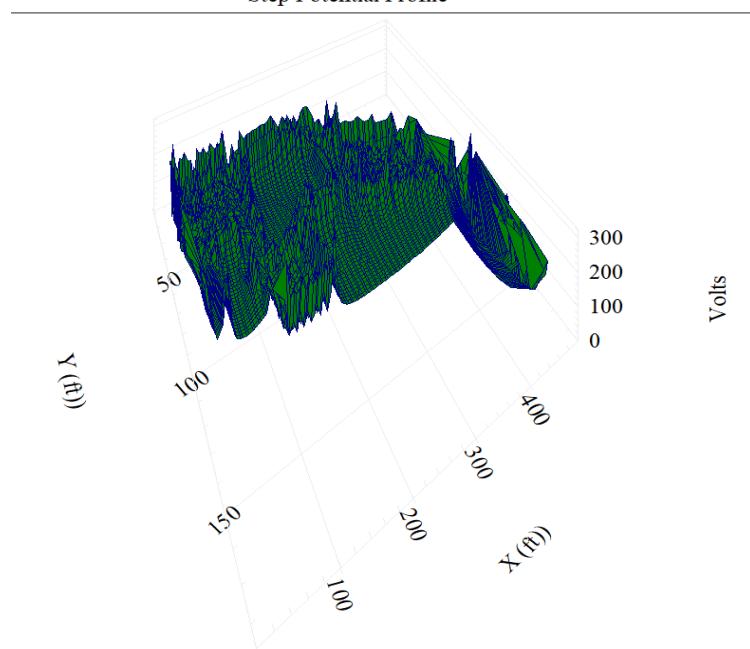
Resultados gráficos de la tensión de toque
Touch Potential Profile



Nota: La figura muestra el resultado del cálculo de la tensión de paso del sistema de puesta a tierra, de manera gráfica.

Figura 72

Resultados gráficos de la tensión de paso
Step Potential Profile



Nota: La figura muestra el resultado del cálculo de la tensión de toque del sistema de puesta a tierra, de manera gráfica.

F. Desarrollo de bloques solución correspondientes al objetivo O 6

Act.4.1: Revisar el arreglo general para identificar las áreas a ser protegidas.

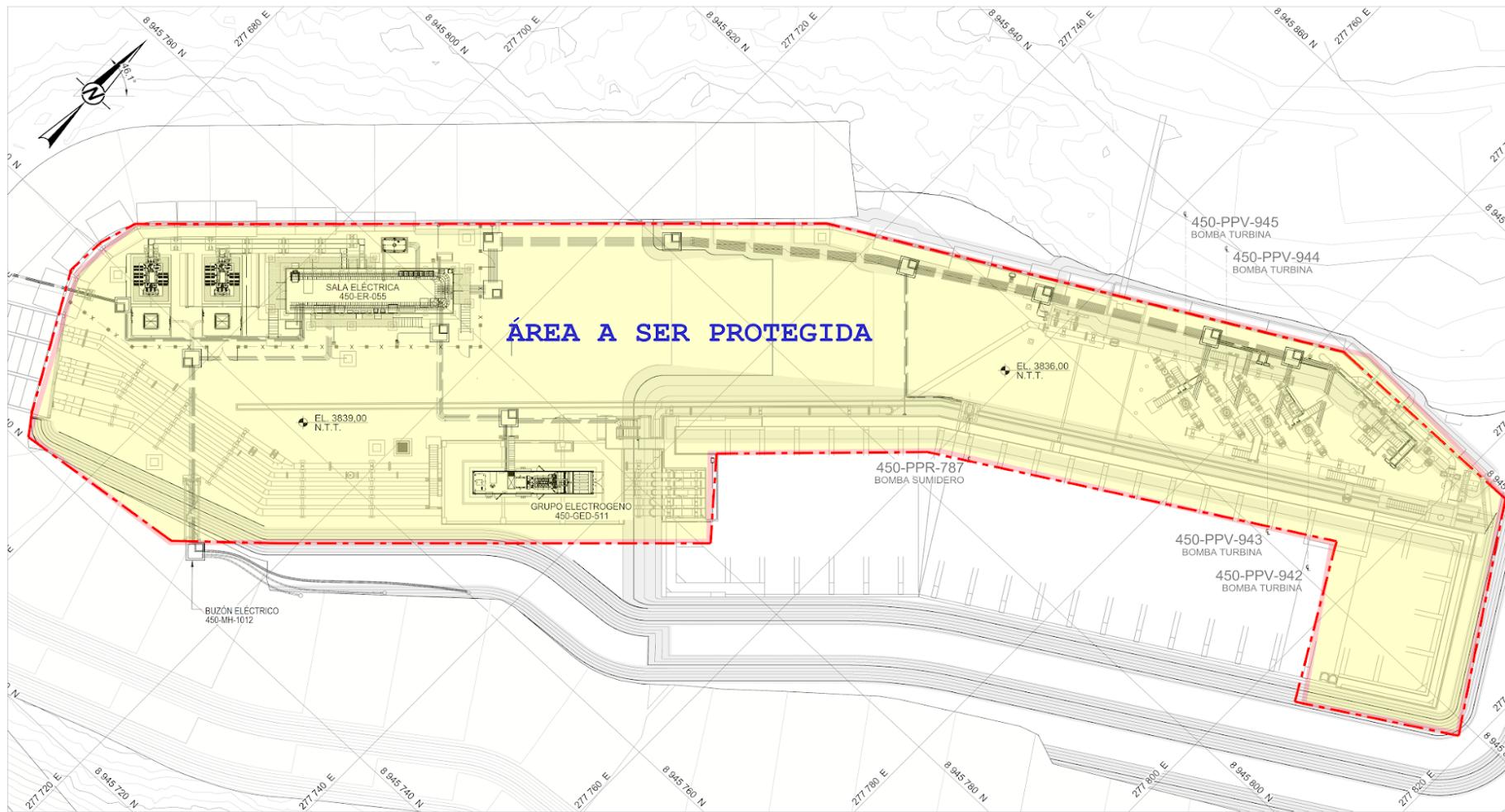
Previo al desarrollo del sistema del sistema de protección contra descargas atmosféricas, se procede a revisar el espacio a ser protegido (lugar donde se encuentran equipos y lugar de tránsito para personas). Se obtiene la figura 73, donde se muestra que toda la estación de bombeo debe estar protegida dado que internamente están las áreas de la subestación, grupo electrógeno, patio de bombas y área general de tránsito.

Act.4.1: Revisar el criterio de diseño y la norma NFPA 780 para el cálculo y diseño de la protección contra descargas atmosféricas. Al revisar el criterio de diseño y NFPA 780, obtenemos la siguiente información:

- Edificios, tanques y otras estructuras serán protegidas contra descargas atmosféricas de acuerdo con el requerimiento de la NFPA 70 (Art. 250.106) y NFPA 780.
- Las subestaciones estarán protegidas contra descargas atmosféricas mediante el uso de mástiles o cables de guarda aéreos.
- El método para la protección contra descargas atmosféricas será de la esfera rodante con un radio de 45 m según la NFPA 780.
- Los postes de protección a ser utilizados para la instalación de puntas Franklin serán los mismo que los postes de alumbrado. Esto según el estándar constructivo de la mina.

Figura 73

Área a ser cubierta por la protección contra descargas atmosféricas



Nota: La figura muestra el área a apantallar o proteger de las descargas atmosféricas en el sistema de bombeo.

Act.4.1: Plantear la ubicación de los terminales y realizar los cálculos para el diseño. Para el diseño y cálculo del sistema de protección contra descargas atmosféricas, se tomarán las siguientes consideraciones:

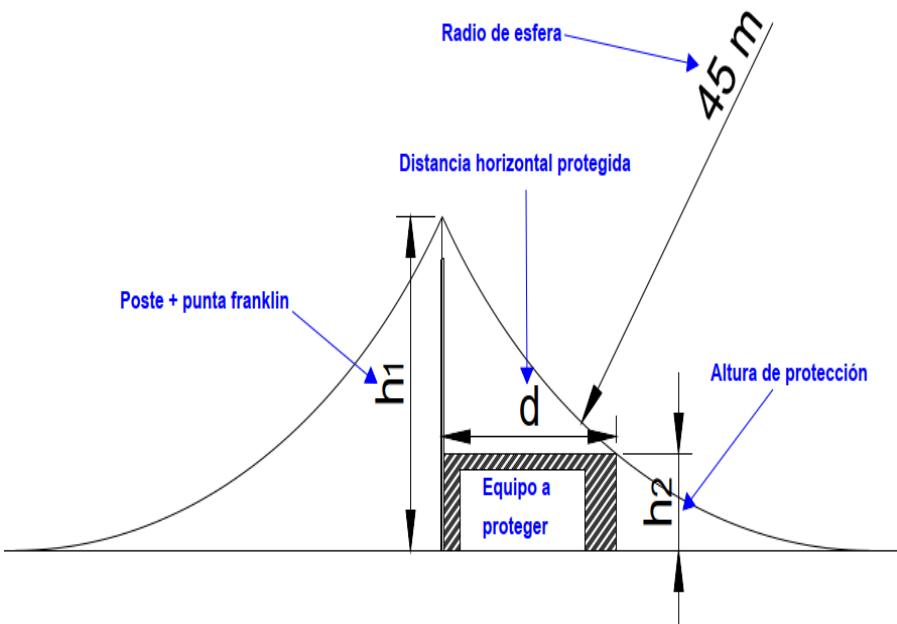
- Se aplican criterios de la norma NFPA 780-2017.
- El radio de la esfera rodante es de 45 m.
- Se utilizarán postes de protección de 18 m con puntas franklin de 1.2 m de longitud y postes de 3 m de altura con puntas franklin son de 2.6 m de longitud.
- Las alturas de protección son las siguientes: $h_2=6$ m para equipos, $h_2=4$ m para equipos y $h_2=2.5$ m para personas.

Cálculo del radio de protección. Para el poste de 18 m y su terminal aéreo tipo franklin de 1.2 m, consideramos las siguientes alturas de protección:

- Equipos:6 m (sala eléctrica, grupo electrógeno)
- Equipos:4 m (transformadores, bombas)
- Personas:2.5 m (tránsito)

Figura 74

Zona de protección



Nota: La figura muestra la disposición típica de un poste para la protección de un determinado equipo.

Para una altura de protección de 6 m, haciendo uso de la ecuación 66, se obtiene lo siguiente:

$$d = \sqrt{h_1(2R - h_1)} - \sqrt{h_2(2R - h_2)}$$

$$d = \sqrt{(18 + 1.2) * (2 * 45 - (18 + 1.2))} - \sqrt{6 * (2 * 45 - 6)}$$

$$d = 14.7 \text{ m}$$

Para una altura de protección de 4 m, haciendo uso de la ecuación 66, se obtiene lo siguiente:

$$d = \sqrt{h_1(2R - h_1)} - \sqrt{h_2(2R - h_2)}$$

$$d = \sqrt{(18 + 1.2) * (2 * 45 - (18 + 1.2))} - \sqrt{4 * (2 * 45 - 4)}$$

$$d = 18.6 \text{ m}$$

Para una altura de protección de 2.5 m, haciendo uso de la ecuación 66, se obtiene lo siguiente:

$$d = \sqrt{h_1(2R - h_1)} - \sqrt{h_2(2R - h_2)}$$

$$d = \sqrt{(18 + 1.2) * (2 * 45 - (18 + 1.2))} - \sqrt{2.5 * (2 * 45 - 2.5)}$$

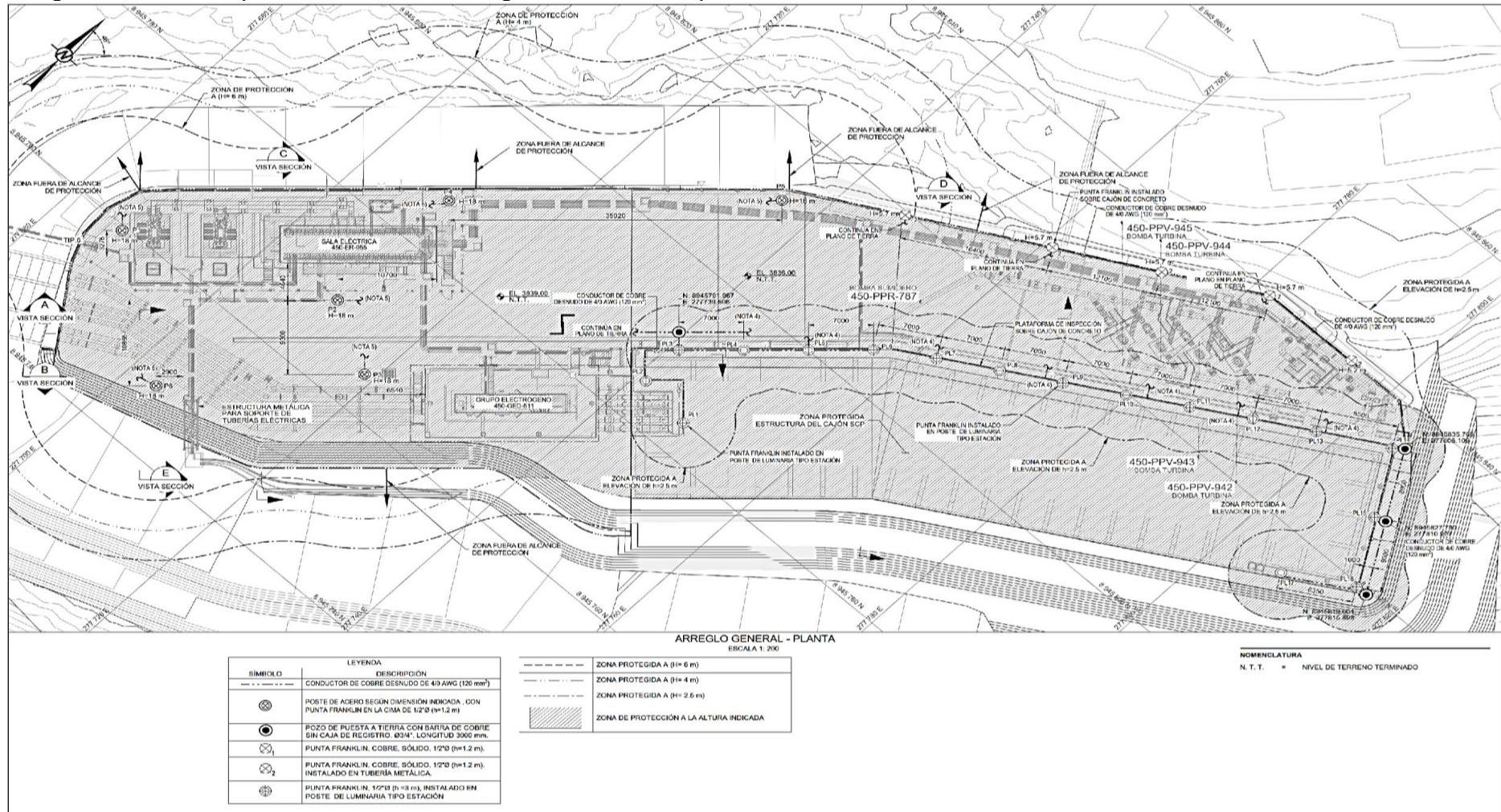
$$d = 22.4 \text{ m}$$

Siguiendo el mismo procedimiento para los demás postes de diferente, se encontrarán los radios de protección horizontal para su respectiva altura de protección.

Con los resultados anteriormente obtenidos, procedemos a desarrollar nuestros planos de protección contra descargas atmosféricas, los cuales se muestran en la figura 75 y figura 76.

Figura 75

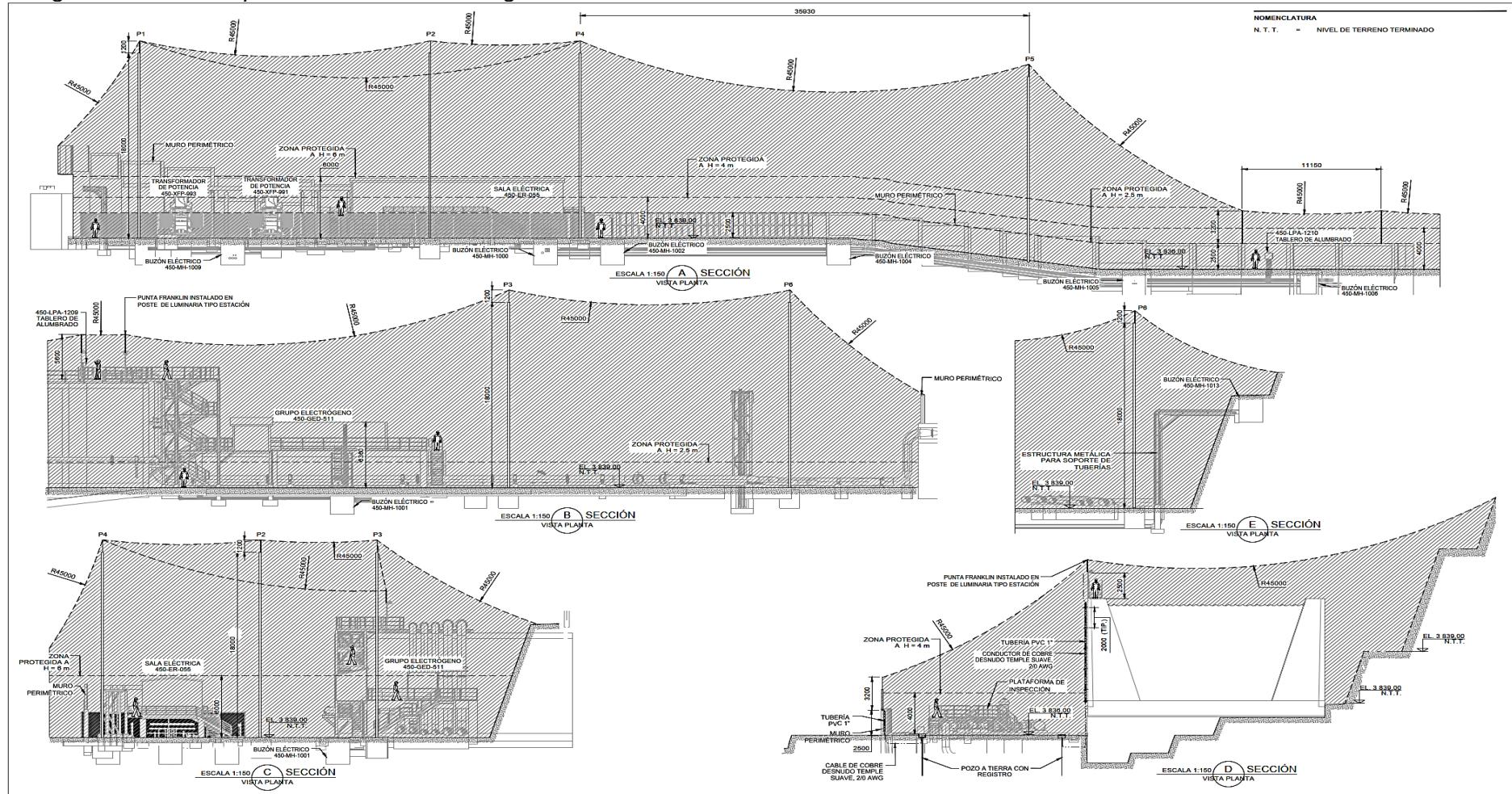
Arreglo de sistema de protección contra descargas atmosféricas - planta



Nota: La figura muestra la disposición de los terminales aéreos para la protección de toda el área de la estación de bombeo en vista de planta.

Figura 76

Arreglo de sistema de protección contra descargas atmosféricas - secciones



Nota: La figura muestra la disposición de los terminales aéreos para la protección de toda el área de la estación de bombeo en vista de secciones.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Demanda del sistema de bombeo

El cálculo de la máxima demanda correspondiente a la instalación del sistema de bombeo es la que se visualiza en la tabla 32.

Tabla 32

Resultados demanda de la instalación de bombeo

	kW	kVAR	kVA	Tensión de suministro
M.D de la instalación	3497.48	2368.94	4224.25	
Margen de reserva 25%	874.37	592.24	1056.06	23 kV
M.D. Total instalación	4371.85	2961.18	5280.31	

Nota: La tabla contiene la información de la demanda de la estación de bombeo para el suministro de energía eléctrica en 23 kV.

De la tabla 32, podemos apreciar lo siguiente:

- La alimentación eléctrica de la instalación del sistema de bombeo será a través de líneas eléctricas en 23 kV.
- Se propone instalar una subestación 23/4.16 kV para alimentar a todas las cargas proyectadas del sistema de bombeo, dicha planta tiene una máxima demanda de 3497.48 kW.
- La demanda de la estación considera un margen de 25% de reserva (874.37 kW) para la instalación de cargas futuras, cumpliendo así con los requerimientos del criterio de diseño.

4.2 Selección y especificación de los equipos eléctricos para la altura de operación y unifilares

4.2.1 Selección de equipos eléctricos

Considerando que la estación de bombeo se encuentra a una altitud de 4300 m s. n. m., los equipos seleccionados deben estar preparados para su operación continua a dicha altitud. Es así que el nivel de aislamiento debe de ser el adecuado para evitar inconvenientes.

Considerando los factores de corrección por altitud indicados en la tabla 12 y los resultados obtenidos de la tabla 14, el mismo que se muestra en la tabla 33 con los niveles de aislamiento adecuados para cada equipo eléctrico a instalar en la estación de bombeo.

Tabla 33

Características de niveles de tensión y aislamiento por equipo

Equipo	Tensión de distribución (kV)	Nivel Básico de Aislamiento -BIL (kVp)	Tensión de prueba a frecuencia industrial (kVrms)
Transformador	23	200	70
	4.16	95	34
	0.48	30	10
Celda GIS	23	170	70
Celda AIS, CCM, ducto de barras	4.16	95	36

Nota: La tabla contiene la información de las tensiones normalizadas para el aislamiento de los equipos eléctricos en los distintos niveles de tensión.

De los cálculos realizados en el ítem 3.4.4.B para la selección de los equipos eléctricos, obtenemos la tabla 34 en el que se muestra la capacidad calculada para cada equipo y la capacidad seleccionada para cada equipo según los estándares internacionales.

Tabla 34

Capacidad de los equipos seleccionados

Equipo	Tensión de distribución (kV)	Calculado	Seleccionado según estándares
Celda GIS	23	236.4 A	800 A
Transformador de potencia	23/4.16	5280.31 kVA	7500 kVA
Ducto de barras	4.16	1301 A	2000 A
Centro de control de motores	4.16	1301 A	2000 A
Transformador de distribución	4.16/0.48	504.13 kVA	750 kVA
Centro de control de motores	0.48	1127.7 A	1200 A
Grupo electrógeno	4.16 kV	1474.2 kW	2000 kW

Nota: La tabla contiene la información de los distintos equipos eléctricos con las capacidades nominales normalizadas de acuerdo con las normas vigentes.

De la tabla 33 y tabla 34, se puede concluir que los equipos seleccionados cumplen con los estándares y requerimientos técnicos de manera satisfactoria.

4.2.2 Desarrollo de unifilares

Los diagramas unifilares desarrollados, fueron de acuerdo con la simbología ANSI/IEEE y toman como base los símbolos correspondientes a la figura 35. Los diagramas unifilares desarrollados de la figura 36 y figura 37 muestran todas las características eléctricas correspondientes al sistema eléctrico de la estación de bombeo (niveles de tensión, capacidad de las barras, los relés de protección para cada equipo, entre otros), y cumplen así los requerimientos de técnicos de diseño del diagrama unifilar para mostrar la información pertinente y necesaria del sistema eléctrico.

4.3 Arreglo de disposición de equipos eléctricos y canalización eléctrica

4.3.1 Arreglo de disposición de equipos eléctricos

Del desarrollo del ítem 3.4.4.C y la figura 45, correspondiente al arreglo de disposición de equipos eléctricos en el sistema de bombeo, los espacios de trabajo cada equipo al interior de la sala eléctrica será de manera frontal, a excepción de la celda en 4.16 kV que también el trabajo será por la parte posterior.

De lo indicado anteriormente obtenemos los resultados de espacios de trabajo para el arreglo propuesto, el cual se indica en la tabla 35.

Tabla 35

Espacios de trabajo de equipos al interior de sala eléctrica

Equipo	Tensión de distribución (kV)	Distancia mínima de trabajo	Distancia según arreglo
Centro de control de motores	4.16	1200 mm	1290 mm
Centro de control de motores	0.48	900 mm	2320 mm
Equipos menores	<0.48	900 mm	2320 mm

Nota: Tomado de National Electrical Code (2017)

Asimismo, para el caso del transformador de potencia y considerando lo indicado en la figura 44 y la figura 45, las distancias de separación respecto al muro cortafuego es la siguiente:

Tabla 36*Separación de transformadores de barreras contra incendio*

Equipo	Eje	Distancia mínima	Distancia según arreglo
Transformador de potencia	X	1500 mm	1675 mm
	Y	1500 mm	1675 mm

Nota: Tomado de FM Global (2019)

De la tabla 35 y tabla 36, se puede observar que las distancias de separación de los equipos en el arreglo propuesto se encuentran por encima de las distancias mínimas indicadas en las normas.

Asimismo, del arreglo correspondiente a la figura 45, se puede ver que los equipos de media tensión se encuentran en un área, los equipos de baja tensión en otra área, y los equipos para control e instrumentación también en otra área.

De los puntos indicados anteriormente, el diseño es satisfactorio y cumple con lo requerido.

4.3.2 Arreglo de la canalización eléctrica

Los cables seleccionados de los equipos eléctricos correspondientes al sistema de bombeo de la tabla 26. En dichos cables, las corrientes nominales de las misma se encuentran por encima de la corriente de diseño con la cual se seleccionan, asimismo las caídas de tensión son menores a 2.5%. Es así que podemos concluir que los cables fueron seleccionados adecuadamente.

Los ductos seleccionados para el tendido de cables tienen un porcentaje de llenado menor a 40% del área del ducto, asimismo se consideran ductos de reserva como respaldo o para futuras instalaciones. El mismo principio se aplicó a las bandejas portacables, la selección se realizó considerando espacio de reserva.

La disposición y separación de las bandejas debajo de la sala eléctrica se realizó, de acuerdo con lo indicado en la figura 47, para evitar interferencias por el nivel de tensión de los cables a ser canalizados. Asimismo, la canalización en banco de ductos fue desarrollada, de acuerdo con la figura 50, aplicando banco de ductos reforzado para

lugares de tránsito pesado. Tal es el caso de la canalización propuesta en el área de acceso a la estación de bombeo.

De la figura 61 y figura 62, podemos observar que la canalización propuesta no interfiere con los espacios de trabajo en la planta, la canalización es continua y uniforme en todo su recorrido.

De los puntos anteriormente indicados, se concluye que la canalización es la adecuada satisfaciendo los requerimientos de diseño.

4.4 Diseño del sistema de iluminación

Del diseño de iluminación correspondiente al ítem 3.4.4.D y los resultados del cálculo de iluminación realizado con el software *Dialux* correspondiente a la tabla 30, se obtienen los resultados comparativos del cálculo *versus* el requerimiento mínimo según el criterio de diseño eléctrico.

Tabla 37

Resultados de cálculo de iluminación vs. el requerimiento mínimo

Ítem	Zona	Calculado (promedio)	Requerido
1	Área de bombas	217 lux	100 - 150 lux
2	Área de Subestación eléctrica	203 lux	60 - 70 lux
3	Área de grupo electrógeno nivel superior plataforma	108 lux	50 - 100 lux
4	Área de grupo electrógeno nivel inferior plataforma	117 lux	50 - 100 lux
5	Área de ingreso a estación	113 lux	50 lux
6	Área general	103 lux	40 - 60 lux
7	Área de pasarela	105 lux	50 - 100 lux

Nota: La tabla contiene la información de los niveles de iluminación por cada área respectiva de trabajo, de acuerdo con el cálculo.

De los resultados de la tabla 36, se observa que los niveles de *lux* calculados para cada área de trabajo se encuentran por encima de lo requerido, con lo cual el diseño de iluminación satisface los requerimientos del criterio de diseño y el anexo 37 D. S. N° 024-2016-EM.

4.5 Diseño del sistema de puesta a tierra

Del diseño del sistema de puesta a tierra correspondiente al ítem 3.4.4.E y los resultados del cálculo realizado de mediante Excel y con el software *Etap* correspondiente a la tabla 31, se obtienen los resultados comparativos del cálculo vs el requerimiento tolerable según el estándar IEEE 80-2013.

Tabla 38

Resultado de cálculos de tensión de toque admisible vs tensión de toque por falla

Ítem	Zona	Tensión de toque admisible	Tensión de toque por falla
1	Área Subestación	1127 V	769 V
2	Área de grupo electrógeno	1127 V	824 V
3	Área de Bombas	1127 V	557 V
	Promedio del sistema	1127 V	716.6 V

Nota: La tabla contiene la información de las tensiones de toque calculadas vs las tensiones de toque admisibles por cada área.

De la tabla 37 podemos apreciar que las tensiones de toque calculados durante la falla para cada área son menores que las tensiones de toques admisibles, de forma similar la tensión de toque promedio del sistema es menor que la tensión de toque admisible calculado.

Tabla 39

Resultado de cálculos de tensión de paso admisible vs tensión de paso por falla

Ítem	Zona	Tensión de paso admisible	Tensión de paso por falla
1	Área Subestación	4016 V	342 V
2	Área de grupo electrógeno	4016 V	417 V
3	Área de Bombas	4016 V	536 V
	Promedio del sistema	4016 V	431.6 V

Nota: La tabla contiene la información de las tensiones de toque calculadas vs las tensiones de toque admisibles por cada área.

De la tabla 39, podemos apreciar que las tensiones de paso calculados durante la falla para cada área son menores que las tensiones de paso admisibles. De forma similar,

la tensión de paso promedio del sistema es menor que la tensión de paso admisible calculado.

Tabla 40

Resultado de resistencia admisible vs resistencia calculada

Ítem	Zona	Resistencia admisible	Resistencia calculada
1	Área subestación	25<	11.03 ohm
2	Área de grupo electrógeno	25<	13.049 ohm
3	Área de bombas	25<	14.28 ohm
Resisten. equivalente del sistema		-	4.3 ohm

Nota: La tabla contiene la información de las resistencias de puesta a tierra calculadas por cada área vs la resistencia mínima admisible.

De la tabla 40 podemos apreciar que las resistencias calculadas para cada área son menores que 25 ohm, de forma similar la resistencia equivalente del sistema de puesta a tierra de la estación de bombeo es de 4.3 ohm.

Tabla 41

Resultado Etap vs. Excel

Ítem	Descripción	Cálculo Etap		Cálculo Excel	
		Calculado promedio	Tolerable	Calculado promedio	Tolerable
1	Tensión de toque	723.8 V	1002.8 V	716.6 V	1127 V
2	Tensión de paso	497.9 V	3518.9 V	431.6 V	4016 V
3	Resistencia del sistema de puesta a tierra	3.896 ohm	5 ohm	4.3	25 ohm<

Nota: La tabla contiene la información de las tensiones calculadas por cada área vs las tensiones tolerables.

De la tabla 41, se puede apreciar que las tensiones de toque y paso se encuentran por debajo de los valores admisibles, asimismo la resistencia equivalente del sistema es menor a 5 ohm.

De lo mencionado anteriormente, se indica que el diseño de puesta a tierra satisface los requerimientos de la norma. Además, este diseño y los valores calculados

tienen que ser validados por el contratista con información de campo previo a realizar la construcción.

4.6 Diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas

Del diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas correspondiente al ítem 3.4.4.F, se obtienen los siguientes resultados para la protección de cada equipo.

Tabla 42

Altura y distancia de protección de cada equipo

Ítem	Equipo	Altura de protección	Distancia de protección
1	Sala eléctrica	6 m	14.7 m
2	Bombas	4 m	18.6 m
3	Personas	2.5 m	22.4 m

Nota: La tabla contiene las alturas y distancias de protección para cada equipo a proteger de las descargas atmosféricas.

De los resultados de la tabla 42, la figura 75 y la figura 76, podemos observar que, para las alturas de protección, las distancias de protección cubren el área requerida apantallando la estación de bombeo. Asimismo, podemos apreciar, de la figura 76, que el cerro nos ayuda con el apantallamiento debido a que la esfera rodante se posa entre esta y los postes de protección contra descargas atmosféricas.

Del punto anterior, se puede indicar que el diseño cumple satisfactoriamente los requerimientos de apantallamiento de la estación de bombeo.

Conclusiones

Conclusión general

- El diseño de las instalaciones eléctricas de un sistema de bombeo de agua filtrada, al pie de la presa de relave en una mina de tajo abierto, tales como el cálculo de la máxima demanda, selección de la capacidad de los equipos, disposición de equipos y canalizaciones, niveles de iluminación, dimensionamiento del sistema de puesta a tierra teniendo en cuenta los valores de tensión de paso y tensión de toque, así como el diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas, cumplen satisfactoriamente los requerimientos técnicos y operacionales para la adecuada operación del sistema a la altitud de trabajo en altura.

Para el objetivo O1

- Se logró desarrollar y calcular la máxima demanda de la instalación, que considera un margen de reserva de 25%, la potencia indicada en los resultados podrá satisfacer la demanda la instalación. Asimismo, el margen de reserva garantiza que no habría ningún inconveniente de darse un posible incremento de la potencia de las cargas en un escenario futuro.

Para el objetivo O2

- La selección de la capacidad nominal de los equipos se desarrolló considerando el margen de reserva de potencia para instalaciones futuras. Esta información fue plasmada en los diagramas unifilares, los cuales se desarrollaron de manera satisfactoria, que brindan toda la información esencial, correspondiente al sistema eléctrico del sistema de bombeo. De la tabla 33 y tabla 34, se muestra que los equipos seleccionados cumplen con los estándares y requerimientos técnicos de manera satisfactoria.

- Las hojas de datos de los equipos fueron desarrolladas de manera satisfactoria dado que brindan toda la información posible correspondiente a los equipos eléctricos para su adecuada operación, como son la altura de instalación, lugar de instalación, capacidad nominal, las normas del equipo, y de más características específicas que se muestran en las hojas de datos correspondiente al anexo 3.

Para el objetivo O3

- El arreglo de disposición de equipos eléctricos cumple con los requerimientos de diseño. Este deberá ser actualizado con la información *vendor* del proveedor de la sala eléctrica y la información de campo por parte de la contratista encargada de la construcción de la estación de bombeo.
- Los cables eléctricos seleccionados cumplen con los requerimientos técnicos y su caída de tensión es menor al 2.5%, asimismo, el porcentaje de llenado de las bandejas y tuberías están por debajo de lo establecido en las normas.
- El arreglo de canalización eléctrica cumple con los requerimientos de diseño. Este arreglo deberá ser actualizado con la información de campo por parte de la contratista encargada de la construcción de la estación de bombeo.

Para el objetivo O4

- Los niveles de iluminación para las distintas áreas de trabajo se encuentran por encima de los niveles mínimos indicados en el criterio de diseño eléctrico de la mina. El sistema de iluminación cumple satisfactoriamente con los requerimientos de diseño.

Para el objetivo O5

- Las tensiones de toque y paso correspondiente al sistema de puesta a tierra se hallan por debajo de los niveles admisibles, asimismo, la resistencia de puesta a tierra se

encuentra por debajo del valor indicado en el Código Nacional de Electricidad 25 ohm, es así que el sistema de puesta a tierra cumple con los requerimientos de diseño.

- El cálculo del sistema de puesta a tierra fue desarrollado con valores referenciales de resistividad en función al tipo de suelo.
- El arreglo del sistema de tierra deberá ser actualizado con la información *vendor* de los equipos eléctricos.

Para el objetivo O6

- El sistema de protección contra descargas atmosféricas cumple con los requerimientos de diseño, las alturas de protección, las distancias de protección cubren el área requerida apantallando la estación de bombeo. Todas las instalaciones se encuentran dentro de la zona de protección.

Recomendaciones

En la etapa de desarrollar la ingeniería de detalle se recomienda lo siguiente:

- Desarrollar los estudios eléctricos (flujo de potencia, cortocircuito, coordinación de protecciones, arranque de motores) para verificar el comportamiento del sistema eléctrico.
- Actualizar los cálculos del sistema de puesta a tierra con la información de la medida de la resistividad del terreno, previo a realizar las instalaciones eléctricas.
- Actualizar la disposición de equipos, canalización eléctrica y el sistema de puesta a tierra con la información del vendedor de los equipos.
- El contratista de construcción en campo deberá validar la información mostrada en los planos antes de realizar las instalaciones eléctricas.

Referencias bibliográficas

- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015). *Guía sobre tecnología LED en alumbrado.* BOCM. <https://iluminet.com/newpress/wp-content/uploads/2018/07/Guia-sobre-Tecnologia-LED-en-el-Alumbrado-fenercom-2015.pdf>
- Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la investigación serie integral por competencias.* Patria. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf
- Baldor. (2015). *Severe Duty Motors.* Baldor Electric Company. <https://www.avonmore-electrical.com/wp-content/uploads/2019/03/BALDOR-Severe-Duty-NEMA-Motors.pdf>
- Blanco Marigorta, E., Velarde Suárez, S. y Fernández Francos, J. (1994). *Sistemas de bombeo.* Gijón. https://agasca.net/wp-content/uploads/2018/08/PDF_SistemasdeBombeo2.pdf
- Centelsa (2008). *Cables & Tecnología: Boletín Técnico - Abril 2008.* Centelsa. <https://centelsa.com/boletines/colombia/boletin-cables-para-media-tension.pdf>
- Colmenares Gonzales, M. R., y García Echevarri, G. A. (2011). *Síntesis de la normativa minera en Colombia y otras regiones aplicadas al montaje de instalaciones eléctricas.* [Trabajo de licenciatura, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Digital. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/140839.pdf>
- Conejo Navarro, A. J., Arroyo Sánchez, J. M., Milano, F., Alguacil Conde, N., Polo Sanz, J. L., García Bertrand, R., Contreras Sanz, J., Clamagirand Sánchez, A. y López García, L. (2007). *Instalaciones Eléctricas.* McGRAW-Hill. <https://dsc.cloud/f46b2e/474740938-Instalaciones-electricas-Conejo-pdf-r.pdf>
- CHINT Empower the World. (2022). *¿Qué es la aparamenta aislada en gas (GIS) y cómo funciona?* Chintglobal. <https://chintglobal.com/blog/gas-insulated-switchgear-gis/>

Enriquez Harper, G. (2004). *Elementos de diseño de las instalaciones eléctricas industriales*. Limusa.

<https://es.scribd.com/document/390054822/Elementos-de-Diseno-de-Las-Instalaciones-Electricas-Industriales>

Enersis (2010). *Especificación técnica: celdas de media tensión para dubestaciones de potencia (E-SE-008)*. Eneldistribuicao.

https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/documentos/E-SE-008_R-06.pdf

FM Global. (2019). *FM Global property loss prevention data sheets*. Fire protection support.

<https://fireprotectionsupport.nl/wp-content/uploads/2020/11/FMDS0504-2020-10-Transformers.pdf>

Fraile Mora, J. (2008). *Máquinas eléctricas*. MC Graw Hill.

https://www.academia.edu/34821120/Maquinas_Electricas_5ta_Edicion_Jesus_Fraile_Mora

García Ramos, E. A. (2013). *Instalaciones eléctricas en 23/4.16 kV y 7.5 MVA para una instalación de bombeo de agua recuperada de una empresa minera*. [Trabajo de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.

<https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/23029>

General Cable. (2016). *Industrial Cable Serving industrial, specialty and commercial applications*. Royalelectric. <https://royalelectric.com/wp-content/uploads/2017/08/General-Cable-Industrial-Cable-Serving-Industrial-Specialty-and-Commercial-Applications.pdf>

Harlow, J. H. (2012). *Electric Power Transformer Engineering*. CRC Press: Taylor & Francis Group. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781439856369_A23985757/preview-9781439856369_A23985757.pdf

Harper, G. E. (2005). *Fundamentos de las instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión*. Limusa. <https://es.scribd.com/document/399578575/Fundamentos-de-Instalaciones-Electricas-Mediana-Y-Alta-Tension-2-%C2%AA-Ed>

Huamán, D. (2022). *Factores de corrección de los rangos eléctricos para tableros de media tensión aislados en aire por altitud de operación*. GE Industrial

Solutions. <https://library.industrialsolutions.abb.com/publibrary/checkout/LAPL0080?TNR=Articles%7CLAPL0080%7CPDF&filename=LAPL0080.pdf>

Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE] std 315. (1993). *Graphic Symbols for Electrical and Electronics Diagrams*. American National Standards Institute. <https://doi.org/10.1109/IEEEESTD.1993.93397>

IEEE Std 518. (1982). *IEEE Guide for the Installation of Electrical Equipment to Minimize Electrical Noise Inputs to Controllers from External Sources*. American National Standards Institute. <https://ieeexplore.ieee.org/document/19513>

IEEE Std 80. (2013). *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. IEEE STANDARDS ASSOCIATION. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2015.7109078>

IEEE Std C57.12.00. (2015). *Standard for General Requirements for Liquid Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*. IEEE STANDARDS ASSOCIATION. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2016.7469278>

IEEE std C57.12.70. (2020). *IEEE Standard for Standard Terminal Markings and Connections for Distribution and Power Transformers*. IEEE STANDARDS ASSOCIATION. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2020.9208013>

IEEE. Std C37.20.2. (2015). *IEEE Standard for metal clad Switchgear*. IEEE STANDARDS ASSOCIATION. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2015.7279038>

International Electrotechnical Commission [IEC] 60076-1. (2000). Power Transformers Part1: General. *International Standard*. <https://webstore.iec.ch/publication/12855>

LEDBOXBlog (2022, mayo). *Niveles recomendados de iluminación por zonas*. Blog.Ledbox. <https://blog.ledbox.es/informacion-led/niveles-recomendados-lux>

Legrand. (2022). *Soluciones para la distribución eléctrica canalización eléctrica prefabricada*. Legrand. <https://legrand.com.pe/wp-content/uploads/2018/09/Catalogo-DUCTOS-BARRA-1.pdf>

Llerena Rodriguez, J. S. (2018). *Evaluación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas en una unidad minera a 4000 msnm acondicionando fórmula para la aplicación del método electro geométrico*. [Trabajo para licenciatura, Universidad

Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8348/ELlrojs.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Manufacturas Eléctricas (2022). *Salas eléctricas.* Manufacturas Eléctricas. <https://manelsa.com.pe/equipamiento/salas-electricas/>

Márquez, A. (2022, junio). La Soldadura como herramienta efectiva del Mantenimiento. Predictiva21. <https://predictiva21.com/soldadura-herramienta-efectiva-mantenimiento/>

Ministerio de Energía y Minas Minem. (2016). *Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería Anexo 37, D.S.Nº 024-2016-EM.* Gob.pe.

<https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/741887-024-2016-em>

Minem (2006). *Código Nacional de Electricidad - utilización.* Gob.pe. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898623/C%C3%B3digo_Nacional_de_Electricidad_Utilizaci%C3%B3n_.pdf

Minem Decreto Supremo N° 040-2014-EM. (2014). *Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero.* Gob.pe. <https://www.senace.gob.pe/wp-content/uploads/firebase/senacenormativa/NAS-4-6-01-DS-040-2014-EM.pdf>

National Fire Protection Association (NFPA) 70 (2017). National Electrical Code (NEC). NFPA. <https://www.nfpa.org/product/nfpa-70-code/p0070code?Edition=2017&Language=English&Format=Softbound&type=digital>

NFPA 70 (2017). National Electrical Code Handbook. NFPA. <https://www.nfpa.org/product/nfpa-70-handbook/p0070hb?Edition=2017&Language=English&Format=Hardbound&type=digital>

NFPA 780 (2017). Standard for the installation of Lightning Protection Systems. NFPA. [marzo](#)

Quispe Pilco, J. (2019). *Optimización en sistemas de iluminación en túneles de faja transportadora*. [Tesis de Bachiller, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8079>

Ramírez Castaño, J. M., y Cano Plata, E. A. (2010). *Sistema de puesta a tierra: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF*. Blanecolor Ltda.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8215/eduardoantoniocanoplatam.2010.pdf?sequence=1>

Resolución consejo directivo N° 040-2014-OEFA/CD. (2014, diciembre). OEFA. *Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental*: Gob.pe. <http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2014/11/RN0040-2014-OEFA-VERSION-ELPERUANO.pdf>

Salazar, A. (2017). Transformadores secos encapsulados Soluciones ecológicas, seguras, confiables y eficientes. ABB.
<https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/eventos/abb-customer-day-un-mundo-en-transformacion/pgtr---trafos-secos.pdf?sfvrsn=2>

Schneider Electric. (2010). *Guía de diseño de instalaciones eléctricas 2010: Según normas internacionales IEC*. Schneider Electric Perú S.A
<https://www.calameo.com/read/004484430033764b0f317>

Serrano Tierz, A., Martínez Iturbe, A., Guarddon Muñoz, O., y Santolaya Sáenz, J. L. (2015). *Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso*. [Trabajo de investigación, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional. <https://www.redalyc.org/pdf/49639089029.pdf>

The Okonite Company. (2014). *Okonite Cables Stock Catalog*. Comisión de Valores de Ontario. Okonite.
https://www.okonite.com/media//catalog/product/files/OSC_Revised.pdf

The Okonite Company. (2022). *Engineering Handbook Engineering Data for Copper and Aluminum Conductor Electrical Cables*. Okonite.
https://www.okonite.com/media/catalog/product/files/EHB_2022.pdf

Urbina Gonzales, J. L. (2012). *Cálculo y selección de una subestación compacta para un carcamo de bombas de aguas residuales*. [Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional]. Instituto Politécnico Nacional.
<https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/11586>

Vargas, F., y Saldarriaga, M. (1990). *Máquinas eléctricas rotativas*. Pontificia Universidad Católica.

https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28690/maquinas_electricas_rotativas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Yanke Tomasevich, I. Y. (2009). *Selección de métodos de medición de sistemas de puesta a tierra en media y alta tensión*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
<https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/927>

Anexos

Anexo 1:	<i>Cálculo de la máxima demanda de la instalación.....</i>	1
Anexo 2:	<i>Cálculo del grupo electrógeno en media tensión 4.16 kV.....</i>	2
Anexo 3:	<i>Hojas de datos de los equipos principales</i>	7
Anexo 4:	<i>Arreglo de canalización eléctrica.....</i>	37
Anexo 5:	<i>Cálculo de iluminación con software Dialux Evo</i>	40
Anexo 6:	<i>Planos de arreglo del sistema de iluminación</i>	46
Anexo 7:	<i>Planos de simbología eléctrica.....</i>	48
Anexo 8:	<i>Planos diagramas unifilares del sistema eléctrico</i>	49
Anexo 9:	<i>Glosario de términos.....</i>	51

Anexo 1

Cálculo de la máxima demanda de la instalación

1.1 TRANSFORMADOR DE POTENCIA 234.16 kV

Item	Descripción	Nº de Tag	Máxima demanda parcial = potencia absorbida eléctrica total			Reserva 25% de la potencia eléctrica absorbida			Máxima demanda con reserva			Potencia instalada	Transformador seleccionado
			kW	kVAr	kVA	kW	kVAr	kVA	kW	kVAr	kVA		
1	Transformador de distribución 22.94.16 kV	460-XFP-991 / 460-XFP-993	3497.48	2368.94	4224.25	874.37	592.24	1056.06	4371.85	2961.18	5280.31	5291.61	7500

1.2 CARGAS EN MEDIA TENSIÓN

Nro	Descripción	Código	Estado	Tensión [V]	Nº de fases	Tipo de Arranque	Potencia Absorvida [kW]	Potencia instalada [kW]	Potencia Instalada [hp]	Factores				Demanda Eléctrica			Potencia Instalada			
										Factor de demanda (fd)	Eficiencia al 75% de plena carga	FP al 75% de plena carga	Eficiencia al 100% de plena carga	FP al 100% de plena carga	kW	kVAr	kVA	kW	kVAr	kVA
1	Motor de bomba vertical de agua	460-PPV-942A	ON	4160	3	DOL	738	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86	771.97	518.76	930.08	976.94	579.68	1135.98
2	Motor de bomba vertical de agua	460-PPV-943A	ON	4160	3	SS	738	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86	771.97	518.76	930.08	976.94	579.68	1135.98
3	Motor de bomba vertical de agua	460-PPV-944A	ON	4160	3	DOL	738	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86	771.97	518.76	930.08	976.94	579.68	1135.98
4	Motor de bomba vertical de agua	460-PPV-945A	ON	4160	3	SS	738	932	1250	0.79	0.96	0.83	0.95	0.86	771.97	518.76	930.08	976.94	579.68	1135.98
5	Transformador de distribución 4.16.0.4 kV	460-XFD-996	ON	4160	3	FDR	-	675	-	-	-	-	0.90	-	-	-	-	-	-	
												Total	3497.48	2368.94	4224.25	4582.76	2645.64	5291.61		

1.3 TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN 4.16.0.48 kV

Item	Descripción	Nº de Tag	Máxima demanda parcial = potencia absorbida eléctrica total			Reserva 25% de la potencia eléctrica absorbida			Máxima demanda con reserva			Potencia instalada	Transformador seleccionado
			kW	kVAr	kVA	kW	kVAr	kVA	kW	kVAr	kVA		
1.3.1	Transformador de distribución 4.16.0.48 kV	460-XFD-996	327.69	235.11	403.31	81.92	58.78	100.83	409.61	293.89	504.13	439.66	750

1.4 CARGAS EN BAJA TENSIÓN

Nro	Descripción	Código	Estado	Tensión [V]	Nº de fases	Tipo de Arranque	Potencia Absorvida [kW]	Potencia instalada [kW]	Potencia Instalada [hp]	Factores				Demanda Eléctrica			Potencia Instalada				
										Factor de demanda (fd)	Eficiencia al 75% de plena carga	FP al 75% de plena carga	Eficiencia al 100% de plena carga	FP al 100% de plena carga	kW	kVAr	kVA	kW	kVAr	kVA	
1	Motor de Bomba Sumidero de Agua	460-PPR-787A	ON	400	3	DOL	15	19	25	0.79	0.94	0.83	0.94	0.84	15.92	10.70	19.19	20.30	13.11	24.17	
2	Motor de portón metálico	460-DDE-202	ON	400	3	FDR	0.8	2	3	0.40	0.90	0.68	0.90	0.76	0.89	0.96	1.31	2.23	1.91	2.94	
3	Válvula Motorizada	460-FCV-4737	ON	400	3	FDR	0.9	1	2	0.90	0.89	0.68	0.89	0.76	1.02	1.10	1.49	1.13	0.97	1.49	
4	Válvula Motorizada	460-FCV-4738	ON	400	3	FDR	0.9	1	2	0.90	0.89	0.68	0.89	0.76	1.02	1.10	1.49	1.13	0.97	1.49	
5	Máquina de soldar para el área de Bombas	460-WR-706	ON	400	3	FDR	-	45	-	-	-	0.70	-	0.70	45.00	46.91	64.29	46.00	46.91	64.29	
6	Máquina de soldar para el área de la sala eléctrica.	460-WR-710	ON	400	3	FDR	-	45	-	-	-	0.70	-	0.70	45.00	46.91	64.29	46.00	46.91	64.29	
7	Sistema de HVAC Sala Eléctrica (nota 5)	460-ACA-918	ON	400	3	FDR	63.8	75	100	0.85	0.96	0.87	0.95	0.87	66.61	37.75	76.57	78.82	44.55	90.36	
8	Sistema de Presurización Sala Eléctrica (Nota 5)	460-COA-922	ON	400	3	FDR	42.5	50	75	0.85	0.96	0.84	0.95	0.86	44.36	28.66	52.81	52.41	31.10	60.94	
9	Sistema de Presurización Sala Eléctrica (Nota 5)	460-COA-923	ON	400	3	FDR	42.5	50	75	0.85	0.96	0.84	0.95	0.86	44.36	28.66	52.81	52.41	31.10	60.94	
10	Transformador de Alumbrado 50 kVA, 480/400-230 V, 3 F.	460-XFL-977	ON	400	3	FDR	-	45	-	-	-	0.90	-	0.90	46.00	21.79	50.00	46.00	21.79	50.00	
11	Transformador de Instrumentación - Estabilizado. 7.5 kVA 480/120 V, 1 F.	460-XFZ-983	ON	400	3	FDR	-	6.8	-	-	-	0.90	-	0.90	6.75	3.27	7.50	6.75	3.27	7.50	
12	Rectificador y Cargador de Baterías.	460-BAC-634	ON	400	3	FDR	-	5	-	-	-	0.90	-	0.90	5.00	2.42	5.56	5.00	2.42	5.56	
13	Transformador de Instrumentación para tablero no Estabilizado. 7.5 kVA 480/120 V, 1 F.	460-XFZ-985	ON	400	3	FDR	-	6.8	-	-	-	0.70	-	0.70	6.75	6.89	9.64	6.75	6.89	9.64	
												Total	327.69	235.11	403.31	361.73	249.90	439.66			

Leyenda:

- ON: Equipo operando
- SBY: Equipo de respaldo o en stand by
- FP: Factor de potencia
- DO L: Arranque directo
- FDR: Alimentador (Feeders)
- SS: Arrancador salte (soft start)

Notas:

- Los valores de factores de potencia para los motores con arranques directos (DO L) en baja tensión y media tensión han sido extraídos de los catálogos BALDOR R. RELIANCE Esepe FE 00 Prem Ibm. Bfbb et Motors y BALDOR R. RELIANCE Esepe Duty Motors.
- La potencia de los transformadores se calculó con la máxima demanda total.
- El Grupo Electrogeno 460-ED-511 alimenta la bomba centrifuga vertical de 933 kW tipo trifásica (460-PPV-943A o 460-PPV-945A), sistema de alumbrado (460-XFL-977), sistema de control e instrumentación (460-XFZ-983, 460-XFZ-985) y el rectificador y cargador de baterías (460-BAC-634) en caso de emergencia, es decir el corte de suministro de energía a la planta.
- La potencia de los transformadores se seleccionaron con la máxima demanda total.
- Las potencias de los transformadores deben actualizarse con la información del lector.

Anexo 2

Cálculo del grupo electrógeno en media tensión 4.16 kV.

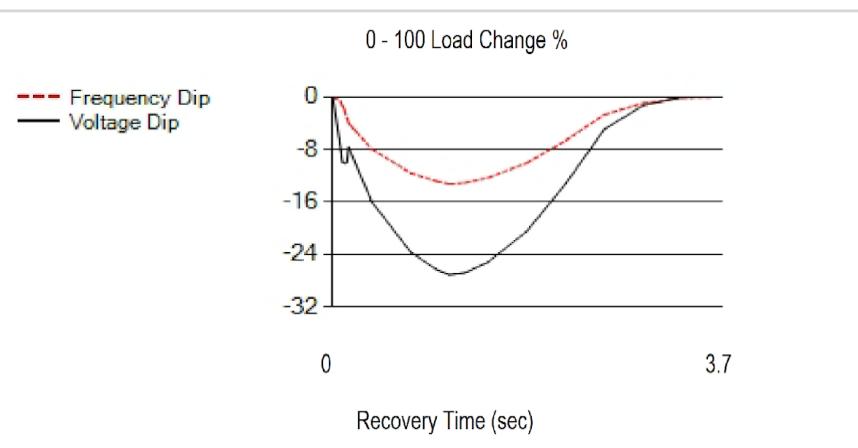
Project Sizing Report			
Sizing Id	10960215	Electricity Supply	60 Hz 4160/2402 V
Project Name	GED_MT	Connection	STAR
Customer Name	UNI	Max. Ambient Temperature	40.0 C
Region	LACD	Altitude	4,300.0 M.A.S.L.
Prepared By	larry vargas	Humidity	70%
Modified Date	27-Mar-2023	Project Description	
Load Analysis Summary			
Max Transient Load Step	3,454.2 SkVA / 794.8 SkW		
Peak Transient Load Step	3,469.0 SkVA / 1,365.2 SkW		
Final Running Load	1,181.5 kVA / 1,057.7 kW / 0.90 PF		
Max Running Non Linear Load	0.0 RkVA		
Selection Criteria	Step 1 Running kW requirements		
Generator Set			
Engine Model	(1) of 3516C	Nameplate Rating	2,000.0 ekW / 2,500.0 kVA / 0.8 PF
Package Model	2000SC4	Site Output Rating	1,474.2 ekW / 1,842.7 kVA
Voltage Regulator and Slope	CDVR 2:1 slope;	Rating Type	Standby
Feature Code	516DRJ9	Open / Enclosure	Open
Fuel	Diesel	UL Listed	
Sizing Methodology	Conventional	Capacity Used	71.7%
Engine			
Make/Model	3516 C	Emissions / Certifications	EPA T4 Final
Aspiration	TA	Governor	ADEM4
Cylinder Configuration	VEE - 16	Aftercooler Type	ATAAC
Speed	1800 RPM	Displacement	78 Liter
Engine Performance Number	DM9368	Bore	170
Fuel Consumption at 100% Load	520.8 lph	Stroke	215

Alternator	
Alternator Type/Frame Size	SR5 / 1668
Alternator Winding Pitch	0.6700
Excitation/Winding Type	PM / FORM
Alternator Arrangement Number	2523968
Subtransient Reactance X'd	0.1195
Insulation Class	H
Temperature Rise	125 C
Number Of Poles	4
Number of Leads	6
Rated Amps	347.0

**** See your Caterpillar dealer and/or Spec Sheet for technical information.

***** Package Power Tolerance: +/- 5%

Block Load(Only) Transient Response *			
Load Change %	FDip %	VDip %	Recovery Time (sec)
0 - 25	<5%	<5%	< 3
0 - 50	5.7	11.4	< 3
0 - 75	8.7	17.7	< 3
0 - 100	13.2	27.1	3.7



Transient Performance

Block Load (only) Transient Response values are at factory conditions with a resistive load. This information is representative of a typical Cat generator set, but is not guaranteed. Generator set block load capabilities at site conditions may vary from factory transient response test results due to site altitude, site ambient, and engine to engine variation.



Load Report

Project Name		GED_MT				Electricity Supply				60 Hz 4160/2402 V			
Customer Name		UNI				Rating Type				Standby			
Region		LACD				Max. Ambient Temperature				40.0 C			
Prepared By		larry vargas				Altitude				4,300.0 M.A.S.L.			
Modified Date		27-Mar-2023				Humidity				70%			
Engine Model		(1) of 3516C				Nameplate Rating				2,000.0 ekW / 2,500.0 kVA / 0.8 PF			
Load Details				Permitted		Predicted		Transient Inrush		Running		Resultant Peak	Cumulative Running
Load Step	Load Description			FDip	VDip	FDip	VDip	SkVA	SkW	kVA	kW	SkVA	SkW
Step 1													
1.1	1x55.00 kW - cargas miselaneas: Miscellaneous, Non-Motor, Linear			30%	20%			61.1	55.0	61.1	55.0		
1.2	1x750.00 kVA - transformador de distribución: Steady State Magnetization, 97% Efficiency, 480V Secondary Voltage			-	-			0.0	0.0	11.3	3.8		
1.3	1x1,250.00 HP - Bomba vertical***: NEMA, 3-Phase Motor, Soft Starter, 300% Current Limit , 29.1 THDI%			5%	20%			3,236.5	647.3	1,078.8	971.0		
1.4	1x25.00 HP - Bomba sumidero: NEMA, 3-Phase Motor, Direct On Line, Loaded			5%	20%			132.5	57.0	24.4	20.7		
	Adjustment for transformer losses - transformador de distribución			35%	40%			0.0	0.0	0.7	0.6		
1.5	1x3.00 HP - Motor de portón de la estación de bombeo: NEMA, 3-Phase Motor, Direct On Line, Loaded, NEMA J			5%	20%			22.6	13.8	3.5	2.7		
	Adjustment for transformer losses - transformador de distribución			35%	40%			0.0	0.0	0.1	0.1		
1.6	1x2.00 HP - Válvula motorizada 1: NEMA, 3-Phase Motor, Direct On Line, Loaded, NEMA K			5%	20%			17.0	10.9	2.5	1.9		
	Adjustment for transformer losses - transformador de distribución			35%	40%			0.0	0.0	0.1	0.1		
1.7	1x2.00 HP - Válvula motorizada 2: NEMA, 3-Phase Motor, Direct On Line, Loaded, NEMA K			5%	20%			17.0	10.9	2.5	1.9		
	Adjustment for transformer losses - transformador de distribución			35%	40%			0.0	0.0	0.1	0.1		
Step 1 Total				5%	20%	<5%	17.3%	3,454.2	794.8	1,181.5	1,057.7		

Total Through Step 1									3,469.0	1,365.2	1,181.5	1,057.7
Load Analysis Summary : Generator set meets site requirements												
						Maximum Step			Maximum Peak		Final Running	
					SkVA	SkW			SkVA	SkW	kVA	kW



Engine Room Tools Summary

Project Name	GED_MT	Electricity Supply	60 Hz 4160/2402 V
Customer Name	UNI	Rating Type	Standby
Region	LACD	Max. Ambient Temperature	40.0 C
Prepared By	larry vargas	Altitude	4,300.0 M.A.S.L.
Modified Date	27-Mar-2023	Humidity	70%
Engine Model	(1) of 3516C	Nameplate Rating	2,000.0 ekW / 2,500.0 kVA / 0.8 PF
Fuel Tank Summary			
Running Hours	hr	Fuel Tank Size	Data coming soon
Oversize Factor	%	Usable Capacity	Data coming soon
Fuel Consumption @ 100% Load	520.77 L/hr		
Radiator Duct and Room Fresh Air Louver Designer Summary			
Duct Dimensions from Radiator Side (Length)	2,970.30 mm	Combustion Airflow	173.26 m³/min
Duct Dimensions from Radiator Side (Width)	2,379.40 mm	Minimum Louver Area	21.24 m²
Heat Radiation from Engine & Alternator	241.01 kW	Temp Rise	Data coming soon
Engine & Alternator Airflow	Data coming soon	Radiator Duct Area	12.72 m²
Exhaust Back Pressure Summary			
Total Straight Pipe Length	0 m	Exhaust Gas Flow	461.52 m³/min
Total Number Of 90 Deg Long Radius Elbow	0	Muffler Pressure Drop	Data coming soon
Total Number Of 90 Deg Short Radius Elbow	0	Pressure Drop in Exhaust	0.00 kPa
Total Number Of 45 Deg Elbow	0	Max Allowable Pressure Drop	Data coming soon
Minimum Exhaust Pipe Diameter	Data coming soon		
Stack Temperature	491.56 Deg. C		
Gas Density	0.44 kg/m³		

Disclaimer: These engine room design calculations are intended for general information and guidance purpose only. A professional engineer, licensed in the appropriate field of engineering, should be consulted for a formal evaluation. Caterpillar disclaims all representations and warranties of any kind and shall have no liability in law or equity for damages consequential or otherwise arising from the use of these calculations.

Anexo 3

Hojas de datos de los equipos principales

HOJA DE DATOS - TRANSFORMADOR DE POTENCIA

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
100	GENERAL		
101	Fabricante		TRAFO, SIEMENS, GE, ABB, ALSTON
102	Modelo o tipo		Por el proveedor
103	Normas adoptadas		ANSI / IEEE C57.12.10 Según requerimiento ESP-008
200	CONDICIONES DEL SITIO (MEDIO AMBIENTE)		
201	Altitud (sobre el nivel mar)	m	4 300
202	Máxima temperatura ambiente	°C	40
203	Mínima temperatura ambiente	°C	-5
204	Zona sísmica UBC		4
205	Factor de corrección por altura en tensión para equipos por encima de 1 kV y dispositivos de estado sólido		0.69
206	Factor de corrección por altura en corriente para equipos por encima de 1 kV y dispositivos de estado sólido		0.93
300	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		
301	Uso		Exterior
302	Potencia Eléctrica (Estandarizado según norma IEEE Std C57.12.00, 5.4.2 Table 3), ONAN a 4300 m s.n.m	kVA	7 500
303	Frecuencia	Hz	60
304	Nº fases		3
305	Variación de frecuencia	%	± 5
306	Grupo de conexión		Dyn11
307	Material de bobinado		Cobre
308	Tipo de enfriamiento		ONAN
309	Material de barra de conexión de bornes		Cobre plateado
310	Nivel de ruido	dB	≤80 dB
311	Corriente en vacío al 100% Vn	A	Por proveedor
312	Pérdidas en vacío a la tensión y tap posición 0	kW	Por proveedor
313	Impedancia de cortocircuito (Z)	%	6.8
314	Pérdidas en cortocircuito con corriente nominal	kW	Por el proveedor
315	Aislante		Aceite mineral
316	Valvula de purga de aceite		Sí
317	Transformador de corriente toroidal en el neutro		Sí
318	Garruchas removibles		Sí

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
319	Factor K (el proveedor deberá dimensionar el factor K considerando los picos de corriente por arranque de 4 motores de 932 kW, 4 kV, en forma secuenciada)		Por el proveedor
320	Neutro conectado a resistencia (450-GRR-992 / 450-GRR-994)		Sí
320.01	Instalación		Sobre el Transformador
320.02	Barra corrida desde bushing neutro		Sí
320.03	Transformador de corriente para neutro de 50/5 A clase C100 para relé de protección de falla a tierra S330, el relé estará instalado dentro de la sala eléctrica en una de las columnas de la celda de llegada del MCM en 4.16 kV.		Sí
320.04	Resistencia: 400 A, 10 s. (será verificado con el estudio de cortocircuito)		Sí
320.05	Sensor o transformador para reporte de apertura del resistor de tierra		Sí
321	Rendimiento a la potencia nominal:		
321.01	Cos f = 1.00	%	Sí
321.02	Cos f = 0.80 inductivo	%	Sí
322	Sobre elevación de temperatura límite a potencia y condiciones nominales de operación.		
322.01	En devanados (medido por el método de las resistencias)	°C	65
322.02	En aceite, parte superior medido con termómetro no debe exceder los 65 °C		Sí
323	Devanado primario		
323.01	Tensión nominal (línea - línea)	kV	23
323.02	Variación de la tensión	%	± 5
323.03	Corriente nominal	A	Por el proveedor
323.04	Conexión del devanado		Delta
323.05	Rise del bobinado	°C	65
323.06	Nivel básico de aislamiento (BIL)	kVp	200
323.07	Tensión de prueba a la frecuencia industrial	kV	70
323.08	Capacidad mínima de sostenimiento al cortocircuito durante 1s:	kA	40
324	Devanado secundario		
324.01	Tensión nominal (línea - línea)	kV	4.16
324.02	Corriente nominal	A	Por el proveedor
324.03	Conexión del devanado		Estrella
324.04	Neutro a tierra		Sí
324.05	Rise del bobinado	°C	65
324.06	Nivel básico de aislamiento (BIL)	kVp	95
324.07	Tensión de prueba a frecuencia industrial	kV	26
324.08	Capacidad mínima de sostenimiento al cortocircuito durante 1s:	kA	50
325	Cajuela de conexiones		
325.01	Previsiones de conexión en cajuela lado 23 kV con tapas empernables		Sí
325.02	Previsiones de conexión en cajuela lado 4.16 kV con tapas empernables, lado secundario del transformador de potencia será conectado al MCM a travez de ducto de barras		Sí

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
325.03	Bushing y terminales en 23 kV, deben tener doble agujero para conexión de cables (3 ternas para cable 3-1/C #250 kcmil 35 kV)		Sí
325.04	Bushing y terminales en 4.16 kV, deben tener para conexión de ducto de barras		Sí
326	Acabado		
326.01	Capas de base y tipo pintura		Dos (2) anticorr.
326.02	Capas de acabado y tipo pintura		Dos (2) epóxica
326.03	Color		ANSI 61
326.04	Espesor mínimo de capas	mm	3
326	Cáncamos de izaje		Sí
327	Dotación de aceite		Sí
327	Cambiador de tomas en vacío		Sí
328	Desecador de aire		Sí
328	Válvula de filtrado		Sí
329	Válvula de vaciado y muestreo		Sí
329	Ruedas orientables		Sí
330	Placa de características		Sí
330	Borne de puesta a tierra		Sí
331	Pararrayos lado de 23 kV		
331.01	Óxido metálico		Sí
331.02	Tensión máxima de servicio continuo	kV	22
331.03	Tensión nominal	kV	27
331.04	Montado en el transformador		Sí
331.05	Contador de descargas		Sí
400	AISLADORES PASATAPAS LADO PRIMARIO		
401	Fabricante		Por el Proveedor
402	Tipo		Por el Proveedor
403	Norma		ANSI
404	Corriente nominal	A	Sí
405	Tensión nominal	kV	23
406	Distancia de fuga	mm/kV	25 (con cajuela)
407	Carga de flexión	N	Sí
408	Terminales tipo bandera con doble ajuro de 45 mm de separación		Sí
409	Nivel Básico de aislamiento (BIL)	kVp	200
410	Tensión de prueba a la frecuencia industrial	kV	70
411	Posición de los aisladores		Horizontal
500	AISLADORES PASATAPAS LADO SECUNDARIO		
501	Fabricante		Por el Proveedor
502	Tipo		Por el Proveedor
503	Norma		ANSI
504	Corriente nominal	A	Sí
505	Tensión nominal	kV	4.16

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
506	Distancia de fuga	mm/kV	25 (con cajuela)
507	Carga de flexión	N	Por el Proveedor
508	Terminales tipo bandera con doble ajuro de 45 mm de separación		Sí
509	Nivel básico de aislamiento (BIL)	kVp	95
510	Tensión de prueba a la frecuencia industrial	kV	26
511	Posición de los aisladores		Horizontal
600	MEDICIÓN Y PROTECCIÓN		
601	Alarma y disparo de temperatura de aceite		Sí
602	Indicador de nivel de aceite		Sí
603	Disparo de nivel mínimo y máximo de aceite		Sí
604	Alarma y disparo de termómetro de temperatura de aceite		Sí
605	Alarma y disparo de la valvula de sobrepresión		Sí
606	Alarma y disparo relé de imagen térmica		Sí
607	Relé de monitoreo de descargas paciales		Sí
608	Material de caja de borneras de control y protección acero inox. E316L		Sí
609	Marcadores y terminales de cables		Sí
610	Transformadores de corriente en el lado primario y secundario del transformador de potencia para protección y medición, ubicado en la celda GIS 450-SGM-995, 450-SGM-998 y centro control de motores en media tensión 450-MCM-961		Sí
700	CAMBIADOR DE TOMAS (TAP)		
701	Ubicación		Devanado de alta tensión
702	Tipo		Manual
703	Operación		Des-energizado
704	Posiciones de TAP		5
705	Regulación de TAP		23 kV +/- 2 x 2,5%
706	Posición central "0"		23 kV
707	Indicador de posición y bloqueo		Sí
800	EQUIPO DE REFRIGERACIÓN		
801	Radiadores		Por el proveedor
802	Cantidad		Por el proveedor
803	Válvulas de aislamiento		Sí
804	Si tiene radiador, considerar dos juegos de empaque en válvulas		Sí
900	AISLAMIENTO DE ACEITE		
901	Tipo		Mineral
902	Fabricante		Por el proveedor
903	Designación		Por el proveedor
1000	PRUEBAS DEL TRANSFORMADOR DE RUTINA		

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1001	Pruebas normales (según la última revisión de ANSI C57.12.90)		Sí
1002	Medida de resistencia de bobinados		Sí
1003	Relación de transformador		Sí
1004	Relación de fases y polariadad		Sí
1005	Pruebas de vacío a tensión nominal		Sí
1006	Corriente de excitación a tensión nominal		Sí
1007	Pruebas de cortocircuito a tensión reducida		Sí
1008	Perdida de impedancia y carga		Sí
1009	Prueba de potencial aplicado		Sí
1010	Prueba de tensión de Impulso		Sí
1011	Prueba de potencial inducido		Sí
1012	Prueba de estanqueidad mecánica		Sí
1013	Pruebas de barrido de frecuencia en fabrica de origen y en punto de trabajo		Sí
1014	Pruebas de factor de potencia / tangenta de delta		Sí
1015	Otros (especificar)		Por el proveedor
1100	DIMENSIONES APROXIMADAS		
1101	Alto	mm	Por el proveedor
1102	Ancho	mm	Por el proveedor
1103	Profundidad	mm	Por el proveedor
1200	PESOS		
1201	Total	kg	Por el proveedor
1202	Núcleo	kg	Por el proveedor
1203	Bobinas	kg	Por el proveedor
1204	Aceite	kg	Por el proveedor
1205	El peso máximo de transporte	kg	Por el proveedor
1206	El peso total del transporte	kg	Por el proveedor
1300	OTROS		
1301	Garantía		24 meses
1302	Catalogos, manuales y procedimientos de operación		Sí
1303	Repuestos para puesta en servicio (empaques y borneras)		Sí
1304	Planos de oferta		Sí
1305	Lista de pruebas		Sí
1306	Métodos de pruebas		Sí
1307	Planos certificados		Sí
1308	Embalaje		Sí
1309	Para el transporte semi desarmado incluir registrador de impacto desde punto de origen hasta posición final en mina		Sí
1310	Sensores de medicion para control de transporte, registro de impactos y SFRA (origen y destino final)		Sí
1311	Placa de datos característicos		Sí

HOJA DE DATOS - TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN SECO 4.16 / 0.48 kV

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
100	GENERAL		
101	Proveedor		Por el proveedor
102	Fabricante		Por el proveedor
103	Estándar		
103.1	ANSI C57.12.10		Sí
103.2	ANSI C57.12.01		Sí
104	Instalación		Exterior a la intemperie
200	CONDICIONES DEL SITIO		
201	Elevación	m	4300
202	Factor de corrección por altura en tensión	pu	0.73
203	Factor de corrección por altura en corriente	pu	0.94
204	Máxima temperatura ambiente	°C	40
205	Mínima temperatura ambiente	°C	-5
206	Zona Sísmica UBC		4
207	Humedad máxima relativa	%	70
208	Nivel Isoceráunico		60
300	TIPO DE TRANSFORMADOR Y CONEXIONES		
301	Tipo de transformador		Seco
302	Conexión primaria		Delta
303	Conexión secundaria (Accesible neutral)		Estrella (sí)
304	Grupo de conexión		Dyn11
305	Puesta a tierra de bobina secundaria		Sí
306	Bobina impregnada de barniz no hidroscópico de secado al horno		Sí
400	POTENCIA (kVA)		
401	Tipo de enfriamiento a potencia nominal		Aire natural con ventilación forzada
402	Aumento de la temperatura media de la bobina a potencia nominal	°C	150
403	Aumento de la temperatura media de la bobina en el grado máximo de enfriamiento forzado	°C	Por el proveedor
404	Elevación máxima de temperatura del punto más caliente (hot spot)	°C	180
405	Potencia nominal	kVA	750
500	RATED (PRINCIPAL) TAP VOLTAGE RATINGS		
501	Tensión nominal del primario	V	4160
502	Taps	V	4.16 kV +/- 2,5%
503	Nivel de aislamiento al impulso (BIL) del arrollamiento primario	kV	95
504	Tensión nominal del secundario	V	480
505	Nivel de aislamiento al impulso (BIL) del arrollamiento secundario	kV	30
600	IMPEDANCIA		
601	Impedancia en potencia nominal y en el Tap (principal) de tensión nominal	pu	Por el proveedor

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
602	Tolerancia (+/-) para la impedancia en el Tap (principal) de tensión nominal	%	10
700	RESISTENCIA AL PASO DE LA CORRIENTE DE FALLA DE CORTOCIRCUITO		
701	Máximo nivel nominal de cortocircuito del sistema primario	MVA	360
702	Duración de cortocircuito para fallas frecuentes	segundos	2
800	ENCERRAMIENTO Y ACCESORIOS MECÁNICOS		
801	Diseño ventilado, NEMA 4X		Sí
802	Ganchos o pernos ojo para levantar el transformador		Sí
803	Ganchos o pernos ojo para levantar la cubierta del transformador		Sí
804	Dos placas de conexión a tierra en esquinas opuestas cerca de la base		Sí
900	PASATAPAS DEL DEVANADO DE BAJA TENSIÓN		
901	Ubicación superior		No
902	Interior dentro de la caja de conexiones		Sí
903	Nivel de aislamiento al impulso (BIL) de los bornes de línea	kV	30
904	Línea de fuga de los bornes	mm	>= 100
905	Transformadores de corriente de los bornes de línea (CT's) por fase		No
906	Se requiere caja de conexiones para las conexiones de fases.		No
1000	PASATAPAS DEL DEVANADO DE MEDIA TENSIÓN		
1001	Interior dentro de la caja de conexiones		Sí
1002	Nivel de aislamiento al impulso (BIL) de los bornes de línea	kV	95
1003	Línea de fuga de los bornes	mm	>= 500
1004	Se requiere caja de conexiones para las conexiones de fases.		Sí
1005	Transformadores de corriente de los bornes de línea (CT's) por fase		No
1100	CONEXIONES REQUERIDAS PARA LOS CABLES CON TENSIÓN DE SERVICIO DE 4.16 KV		
1101	Tipo		Monoconductor
1102	Numero de ternas		1
1103	Sección	AWG	2/0
1104	Tipo de aislamiento del cable		EPR
1105	Material del conductor		cobre
1106	Los cables vienen: (Superior / Inferior)		Inferior
1107	Conexión desde el:		450-MCM-961
1100	CONEXIONES REQUERIDAS PARA LOS CABLES CON TENSIÓN DE SERVICIO DE 480 V		
1101	Tipo		Monoconductor
1102	Numero de ternas		3
1103	Sección del cable monoconductor	kcmil	750
1104	Material del conductor		cobre
1105	Tipo de aislamiento del cable		XHHW-2
1106	Los cables vienen: (Arriba / Abajo)		Abajo
1107	Conexión hacia el:		450-MCL-991
1200	ARROLLAMIENTO Y AISLAMIENTOS		

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1201	Conductores de Cobre		Sí
1202	Sistema de Aislamiento de 220 °C con 150 °C máx.	°C	Sí
1203	Sistema de Aislamiento con 180 °C con 115°C máx.	°C	No
1300	OTRAS CARACTERÍSTICAS		
1301	Pantalla electrostática deberá colocarse entre los enrollamientos primarios y secundarios de cada enrollamiento		No
1302	Clasificado para áreas peligrosas		No
1303	Factor K requerido		No
1304	Monitoreo de la temperatura del relé		Sí
1305	Sensor de temperatura		Sí (PT100 / RTD)
1306	Indicador de Temperatura / Alarma		Sí
1307	Calentador de espacio (220VAC)		Sí
1400	MARCADOR DE CABLES		
1401	Marcadores de cables según estándar del fabricante		Sí
1402	Marcadores de cables tipo manga requerido		Sí
1500	PROTECCIÓN FINAL		
1501	Protección tropical requerida		Sí
1502	Acabado resistente a la corrosión ácida		Sí
1600	COLOR		
1601	Color para tanques y radiadores		GRAY
1602	Número de referencia para el color del tanque y del radiador		ANSI 61
1700	PRUEBAS		
1701	Pruebas de rutina ANSI para un transformador		Sí
1702	Prueba de impulso de frente de onda ANSI para un transformador		No
1703	Prueba de impulso tipo rayo ANSI para un transformador		No
1704	Prueba de impulso de conmutación ANSI para un transformador		No
1705	Prueba de aumento de temperatura ANSI para un transformador		Sí
1706	Prueba de cortocircuito ANSI para un transformador		Sí
1707	PRUEBAS DE IMPEDANCIA		
1707.01	Para todas las combinaciones de posiciones extremas de los taps		Sí
1707.02	Pruebas presenciadas por el comprador		Sí
1800	PÉRDIDAS		
1801	Base para la evaluación de pérdidas		
1801.01	Pérdidas sin carga	kW	Por el proveedor
1801.02	Pérdidas con carga	kW	Por el proveedor
1801.03	Aumento de la temperatura media de referencia en los arrollamientos de la bobina para las pérdidas a potencia nominal	°C	150
1802	Pérdidas garantizadas		
1802.01	Pérdidas sin carga a tensión nominal en el Tap (principal) de tensión nominal	kW	Por el proveedor
1802.02	Tolerancia para las pérdidas sin carga	%	10
1802.03	Pérdidas con carga en los taps de posición de tensiones extremas	kW	Por el proveedor

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1802.04	Tolerancia para pérdidas con carga	%	10
1900	OTROS		
1901	Garantía		Sí
1902	Catalogos, manuales y procedimientos de operación		Sí
1903	Planos de oferta		Sí
1904	Lista de pruebas		Sí
1905	Métodos de pruebas		Sí
1906	Planos certificados		Sí
1907	Embalaje		Sí

HOJA DE DATOS – CELDA GIS EN 23 kV

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
100	GENERAL		
101	Tipo de interrupción		Aislado en SF6
102	Marca, modelo o tipo		Por Proveedor
103	Fabricante		Por el proveedor
104	Modelo / Catalog N°		Por el proveedor
105	Normas de Fabricación		IEC / ANSI -IEEE / NFPA
106	Certificación		ISO 9002 / ISO 14000
107	Instalación		Uso exterior
108	Envolvente		NEMA 4
109	Montaje		Autosoportado
110	Operación		Local y remoto
111	Relé de protección		GE 850
112	Equipo de medida		Medidor ION 8650
113	Resistencias calefactoras (heaters), 220 V, 1 F		Sí
114	Aislamiento del bus principal		Sí
115	Sistema de embarrado independiente CUBA-INOX		Sí
116	Lift Truck		No
117	Accesorios de bloqueo manual		Sí
118	Accesorios de accionamiento (ANSI 86)		Sí
119	Señalización de riesgo eléctrico		Sí
120	Nivel de aislamiento de barras		Sí
121	Bloqueo de seguridad		Sí
122	Barra de tierra		Sí
123	Elementos de Izaje		Sí
124	Sistema de identificación de tensión por fase		Sí
125	Sistema de detección digital de presión de gas por fase		Sí
200	CONDICIONES DEL SITIO (MEDIO AMBIENTE)		
201	Altura sobre el nivel del mar	m	4300
202	Máxima temperatura ambiente	°C	40
203	Mínima temperatura ambiente	°C	-5
204	Zona Sísmica UBC		4
205	Humedad máxima relativa	%	70
206	Nivel Isoceráunico		60
207	Factor de corrección por altura en tensión para equipos y dispositivos de estado sólido de media tensión	pu	0.69
208	Factor de corrección por altura en corriente para equipos y dispositivos de estado sólido de media tensión	pu	0.93
209	Factor de corrección por altura en tensión para equipos de baja tensión	pu	0.73
210	Factor de corrección por altura en corriente para equipos de baja tensión	pu	0.94
300	PARAMETROS ELÉCTRICOS DEL EQUIPO		
301	Tensión de operación	kV	23
302	Tensión máxima del equipo	kV	36
303	Variación de tensión	%	± 5

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
304	Tensión de Ensayo a Frecuencia Industrial	kV	70
305	Tensión de Ensayo al Impulso Atmosférico	kVp	170
306	Corriente Nominal	A	800
307	Capacidad de ruptura por cortocircuito	kA	40
308	Nº Fases		3
309	Frecuencia	Hz	60
310	Tensión de Alimentación del equipo de relé de protección y de medida (alimentación externa)	Vdc	125
400	TENSIONES AUXILIARES		
401	Alumbrado		
401.01	Tensión	V	220
401.02	Frecuencia	Hz	60
401.03	Nº Fases		1
402	Tomacorrientes		
402.01	Tensión	V	220
402.02	Frecuencia	Hz	60
402.03	Nº Fases		1
402.04	Círculo con diferencial de falla de tierra (viene de 450-LPA-1207)	mA	30
403	Control		
403.01	Tensión	V	120
403.02	Frecuencia	Hz	60
403.03	Fases		1
500	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA (SWITCHGEAR)		
501	Criterios de Ingeniería y de diseño estructural		
502	Instalación y montaje		Sobre losa
503	Encerramiento		NEMA 4
504	Estructura completa soldada		Sí
505	Acero Estructural		ASTM A36 and/or ASTM A572 grado 50
506	Envolvente para celda tipo NEMA 4, con visor de vidrio templado para manómetros y registrador de tensión incluye iluminación interna y sistema de bloqueo con cáncamos de izaje.		Sí
507	Base estructural		Viga H y Viga I
508	Provisiones para ser levantado		Sí
509	Tipo de base		Estructura de acero
510	Medio de aislamiento de barras en 36 kV		SF6 (GIS)
511	Libre de mantenimiento		Sí
512	Detector de tensión		Inductivo
513	Número de celdas		2 (Celda de llegada, celda del interruptor)
514	Modo de operación		Local y remoto
515	Barras enchufables para la interconexión de celdas		Sí
516	Material envolvente de embarrado independiente por fase		Acero Inoxidable
517	Transformadores de tensión y corriente toroidales instalados fuera del recinto de gas		Sí
518	Compartimiento de control separado		Sí
519	Relé de bloque función 86		Sí
520	Sistema de protección, mando y control		GE 850
521	Sistema de medición		Medidor ION 8650
522	Borneras de prueba para tensión y corriente tipo FT14 ó FT1		Sí

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
523	Interlock de apertura de puerta cuando el equipo esta energizado		Sí
524	Comutador tres posiciones local / off / remoto en puerta		Sí
525	Entrada de Cables		Inferior
526	Salida de cables a transformador de potencia		Inferior
527	Sistema de alivio de presión de los compartimientos de Celdas GIS		Sí
528	Ubicación de ductos y absorbvedores		Sí
529	Panel mímico con el diagrama unifilar y luces de indicación cerrado abierto		Sí
530	Pararrayo de entrada de barras en 23 kV (celda de llegada)		Tipo 27.5 kV, MCOV=22 kV, clase 1, 10 kA
600	DATOS DE OPERACIÓN DE COMPONENTES		
602	Tensión Nominal	kV	23
603	Máxima Tensión del Equipo	kV	36
604	Tensión de Ensayo al Impulso Atmosférico	kV	170
605	Frecuencia	Hz	60
606	Tensión de Control	Vdc	125
607	Capacidad de ruptura por cortocircuito	kA	40
608	Tensión auxiliar de servicio	Vac	220, 1 Fase
700	BARRA COLECTORA		
701	Barra para bus de red	A	1250
702	Material de aleación de Cobre - Plata		Sí
703	Sección transversal		Por el proveedor
704	Sección de barra de tierra (mínimo)	mmxmm	50x6
705	Aislamiento		Por el proveedor
800	SECCIONADOR DE TRES POSICIONES		
801	Tipo		Aislado en SF6
802	Modelo/Marca		ABB / SIEMENS /SCHNEIDER
803	Tensión Nominal	kV	23
804	Máxima Tensión del Equipo	kV	36
805	Tensión de Ensayo al Impulso Atmosférico	kV	170
806	Tensión de Ensayo a Frecuencia Industrial	kV	70
807	Corriente Nominal del equipo	A	630
808	Frecuencia	Hz	60
809	Capacidad de ruptura por cortocircuito	kA	40
810	Mecanismo a resorte situado fuera de la cuba llena de SF6		Sí
811	Mecanismo manual para funciones de seccionamiento y puesta a tierra		Sí
812	Contactos auxiliares libres		8NA + 8NC
813	Enclavamiento mecánico entre el seccionador y el seccionador de puesta a tierra		Sí
814	Tensión de enclavamiento (control, mando) externo	Vdc	125
815	Apertura y cierre por mando motorizado externo	Vdc	Sí
816	Enclavamiento con dispositivo de inmovilización		Sí
900	INTERRUPTOR DE POTENCIA		
901	Tipo		Interruptor en Vacío - Fijo, rodeado con gas SF6
902	Modelo/Marca		Por el proveedor
903	Norma de fabricación		IEC / IEEE-ANSI

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
904	Certificación		UL, CSA, por el proveedor
905	Tensión Nominal	kV	23
906	Máxima Tensión del Equipo	kV	36
909	Corriente Nominal del equipo	A	630
910	Frecuencia	Hz	60
911	Capacidad de ruptura por cortocircuito	kA	40
912	Duración asignada de corto circuito	s	Por el proveedor
913	Potencia cortocircuito nominal trifásica	MVA	Por el proveedor
914	Factor de rango tensión nominal - Factor K		Por el proveedor
915	Tiempo de Interrupción nominal	Ciclos/ms	Por el proveedor
916	Capacidad de cierre y sostenimiento momentáneo	kA pico	
917	Tensión del Motor	Vdc	125
918	Corriente de cierre del motor	A	Por el proveedor
919	Rango de tensión del motor	Vdc	125
920	Rango tensión para el disparo del interruptor	Vdc	125
921	Doble bobina de apertura 125 Vdc		Sí
922	Bobina de cierre 125 Vdc		Sí
923	Bobina de mínima tensión 125 Vdc		Sí
924	Contactos auxiliares libres		9 NA + 6 NC
925	Tensión asignada para enclavamientos	Vdc	125
926	Dispositivo de inmovilización para la derivación con enclavamiento hacia el seccionador de tres posiciones		Sí
927	Cierre y apertura mecánica		Sí
928	Sistema de detección de tensión en la derivación		Sí
929	Dispositivos y accesorios necesarios para la correcta operación		Sí
1000	TRANSFORMADOR DE TENSIÓN (PT)		
1001	Tipo		Inductivo
1002	Modelo		Por el proveedor
1003	Aplicación		Protección y medición
1004	Frecuencia	Hz	60
1005	Clase de Aislamiento		Por el proveedor
1006	Taps		Por el proveedor
1007	Certificación		UL, CSA, por el proveedor
1008	Tensión Primario de servicio	Vac	24000
1009	Tensión Secundario	Vac	120/ V3
1010	Tensión de Ensayo al Impulso Atmosférico	kV	170
1011	Elemento de protección lado baja tensión		Sí
1012	Seccionador de tres posiciones lado de alta tensión		No
1013	Potencia Medición	VA	
1014	Clase Medición		0,5
1015	Potencia Protección	VA	
1016	Clase Protección		6P
1017	Ubicación		Fuera de la cuba SF6
1018	Otras características por el postor		Indicar
1100	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (CT) MEDICIÓN Y PROTECCIÓN		
1101	Tipo		Toroidal
1102	Modelo		Por el proveedor
1103	Aplicación		Protección y Medición
1104	Frecuencia		60

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1105	Clase de Aislamiento		Por proveedor
1106	Diámetro de Ventana		Por proveedor
1107	Peso Aproximado		Por proveedor
1108	Normas de fabricación		IEC / IEEE-ANSI
1109	Certificación		UL, CSA, por el proveedor
1110	Ubicación		Fuera de la cuba SF6
1111	Resistencia de los Devanados Secundarios		Por proveedor
1112	Conexión secundaria a través de borneras de prueba		Sí
1113	Factor de Continuidad Térmica @30°C		2
1114	Factor de Continuidad Térmica @55°C		1.5
1115	Devanado secundario 1 (Protección)		
1115.01	Relación de transformación	A	300/5
1115.02	Clase de precisión		5P20
1115.03	Potencia de consumo	VA	15
1115.04	Factor de sobrecorriente		20
1116	Devanado secundario 2 (Medición)		
1116.01	Relación de transformación	A	300/5
1116.02	Clase de precisión		0,5
1116.03	Potencia de consumo	VA	15
1116.04	Factor de sobrecorriente o de seguridad		FS10
1200	PARARRAYO DE ENTRADA A BARRAS 23 kV		Sí
1201	Tipo		Óxido Metálico
1202	Norma Fabricación y pruebas		IEC 60099-4
1203	Capacidad de absorción de energía		Clase 1
1204	Tensión Nominal	kV	27
1205	Tensión Máxima de operación continua MCOV	kV	22
1206	Tensión de Ensayo al Impulso Atmosférico		170
1207	Material del Aislador		Polimérico ó Goma siliconada
1208	Corriente nominal de Descarga	kA	10
1209	Línea de fuga total	mm	Por el proveedor
1300	RELÉ DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN		
1301	Fabricante sugerido		General Electric, o similar
1302	Tipo		Multifunción de estado sólido
1303	Modelo sugerido para el Interruptor SF6 (GIS)		Multilin 850, ubicado en el 450-MCM-961
1304	País de Origen		Por el proveedor
1305	Normas		IEC / ANSI - IEEE
1306	Unidad de procesamiento interno		Microprocesador
1307	Número de microprocesadores		Por el proveedor
1308	Ejecución de montaje en puerta		Semi - empotrado en puerta de la celda
1309	Memoria en caso de falla		No volatil
1310	Datos Nominales		
1310.01	Corriente alterna fase y neutro (In)	A	5
1310.02	Máxima corriente permanente	A	$\geq 3 \times In$
1310.03	Máxima corriente durante 1s	A	$100 \times In$
1310.04	Consumo de potencia entrada de corriente	VA	Por el proveedor

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1310.05	Frecuencia Nominal	Hz	60
1311	Suministro Auxiliar (externo)		
1311.01	Tensión Auxiliar	Vdc	125
1311.02	Tolerancia	%	+/- 20%
1311.03	Consumo de potencia en condición normal	VA	Por el proveedor
1311.04	Consumo de potencia en condición de falla	VA	Por el proveedor
1311.05	Máximo rizado permitido por el equipo	Vpp	Por el proveedor
1311.06	Influencia de la fuente auxiliar sobre los valores de operación		+/-5%
1312	Pruebas de Aislamiento		
1312.01	Tensión al impulso 1,2/50 us	kVp	5
1312.02	Tensión a frecuencia industrial 1 minuto	kVp	2
1312.03	Resistencia de aislamiento a 500 Vdc		>100
1312.04	Prueba de interferencia por descarga	kV	Por el proveedor
1313	Capacidad para soportar esfuerzos dinamicos		Por el proveedor
1313.01	Vibraciones		Sí
1313.02	Golpes		Sí
1314	Comunicación		
1314.01	Protocolo de comunicaciones (Relé Protección, Medición)		IEC 61850, Modbus TCP - IP
1314.02	Puerto de comunicaciones		RS-485 / RJ45
1314.03	Capacidad de autosupervisión y autodiagnóstico continuo		Sí
1315	Interfaz		
1315.01	Hombre maquina incorporada en frente del Relé		Sí
1315.02	Con computador		Sí
1316	Protección Eléctrica del Interruptor Multilin 850		
1316.01	Minima Tensión		Sí
1316.02	Sobrecorriente instantáneo de tierra, neutro, fase y secuencia negativa		Sí
1316.03	Sobrecorriente temporizado de tierra, neutro, fase y secuencia negativa		Sí
1316.04	Sobretensión de neutro, fase y secuencia negativa		Sí
1316.05	Sobrecorriente direccional de neutro, fase y secuencia negativa		Sí
1316.06	Sobrefrecuencia y baja frecuencia		Sí
1316.07	Falla del Interruptor		Sí
1316.08	Contactos de Salida, para cierre o disparo del interruptor		Sí
1316.09	Relé de bloqueo, función 86		Sí
1317	Protección Eléctrica del Transformador Multilin 845		
1317.01	Voltios / Hertz		Sí
1317.02	Minima Tensión		Sí
1317.03	Sobrecorriente diferencial instantáneo		Sí
1317.04	Sobrecorriente instantáneo de tierra, neutro, fase y secuencia negativa		Sí
1317.05	Sobrecorriente temporizado de tierra, neutro, fase y secuencia negativa		Sí
1317.06	Sobretensión de neutro y fase		Sí
1317.07	Sobrecorriente direccional de neutro y fase		Sí
1317.08	Sobrefrecuencia y baja frecuencia		Sí
1317.09	Falla a tierra restringida		Sí
1317.10	Diferencial de transformador		Sí
1317.11	Contactos de Salida, para el relé 86 de bloqueo		Sí
1318	Protección Eléctrica de la Resistencia de Puesta a Tierra		
1318.01	Disparo de falla a tierra		Sí

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1318.02	Disparo de Tensión a neutro		Sí
1318.03	Contactos de Salida, para el relé 86 de bloqueo		Sí
1319	Medición de Parámetros Eléctricos		
1319.01	Medición de Corriente	A	Sí
1319.02	Medición de Tensión	V	Sí
1319.03	Medición de Potencia Activa	kW	Sí
1319.04	Medición de Potencia Reactiva	kVAr	Sí
1319.05	Medición de Potencia Aparente	kVA	Sí
1319.06	Medición de Factor de Potencia		Sí
1319.07	Medición de Frecuencia Industrial	Hz	Sí
1319.08	Medición de Energía	kWhr	Sí
1320	Panel de Alarmas		
1320.01	Alarma y disparo visible y audible - Función N° 63 de transformador		Sí
1320.02	Alarma y disparo visible y audible - Función N° 71 de transformador		Sí
1320.03	Alarma y disparo visible y audible - Función N° 49 de transformador		Sí
1320.04	Alarma y disparo visible y audible - Función N° 26 de transformador		Sí
1320.05	Alarma y disparo visible y audible - Función N° 24 de transformador		Sí
1400	EQUIPOS Y COMPONENTES AUXILIARES		
1401	Pasatapas de cono exterior en compartimiento de cables		Sí
1402	Accesorios para conexión enchufable de cables		Sí
1403	Placa base de ingreso de cables		Sí
1404	Numero de conectores por fase		1
1405	Sensor de Tensión		Sí
1406	Calentador y termostato		Sí
1407	Iluminación		Sí
1408	Otras características por el postor		Sí
1409	Borneras de prueba para tensión y corriente		Sí
1500	PRUEBAS Y SERVICIOS		
1501	Pruebas FAT		Sí
1502	Pruebas pre operativas y puesta en marcha		Sí
1503	Planos As built (Como construido)		Sí
1600	INFORMACIÓN A ENTREGAR CON LA OFERTA		
	PARA LOS EQUIPOS Y COMPONENTES		
1601	Plano As built de elevación frontal y laterales		Sí
1602	Plano As built de planta de piso		Sí
1603	Esquema unifilar		Sí
1604	Lista de placas		Sí
1605	Listado de componentes y partes		Sí
1606	Ubicación de entradas y salidas de conduits		Sí
1607	Manuales de todos los equipos y componentes suministrados		Sí
1608	Manual de Operación y mantenimiento		Sí
1609	Dossier de calidad		Sí
1700	GARANTÍA, PLANOS CERTIFICADOS Y MANUALES DE OPERACIÓN		
1701	Garantía		24 meses
1702	Catalogos, manuales y procedimientos de operación		Sí
1703	Planos de oferta		Sí
1704	Lista de pruebas		Sí
1705	Métodos de pruebas		Sí

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1706	Planos certificados		Sí
1707	Embalaje		Sí
1708	Para el transporte semi desarmado incluir registrador de impacto desde punto de origen hasta posición final en mina		Sí

HOJA DE DATOS - DUCTO DE BARRAS

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
100	GENERALES		
101	Fabricante		Por proveedor
102	Servicio		Continuo
103	Tipo		Heavy Duty
104	Standar primario		ANSI ASTM / NEMA
105	Procedimiento de prueba estandar		ANSI
200	CONDICIONES DEL SITIO (MEDIO AMBIENTE)		
201	Altura sobre el nivel del mar	m	4300
202	Factor de corrección por altura en tensión	pu	0.73
203	Factor de corrección por altura en corriente	pu	0.94
204	Máxima temperatura ambiente	°C	40
205	Mínima temperatura ambiente	°C	-5
206	Zona Sísmica UBC		4
207	Humedad máxima relativa	%	70
208	Nivel Isoceráunico		60
300	IDENTIFICACIÓN		
301	Tag		450-BSM-606 / 450-BSM-607
400	ESTRUCTURAL		
401	Memoria de cálculo y planos estructurales		Sí
402	Montaje		Exterior, soportado
403	Encerramiento		NEMA 4
404	Base de montaje y marco		Sí, Sobre pedestal
405	Acabado		ANSI 61
408	Cantidad requerido		2
409	Longitud aproximada de barra 450-BSM-606	m	19
410	Longitud aproximada de barra 450-BSM-607	m	29
500	DATOS		
501	Tensión máxima	kV	5
502	Tensión de operación	kV	4.16
503	Nivel de impulso básico	kV	60

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
504	Corriente nominal	A	2000
505	Corriente de cortocircuito simetrico	kA	50
506	Frecuencia del sistema	Hz	60
600	DATOS DE AISLADOR		
601	Tipo de aislamiento		bloque de poliéster moldeado
700	DATO DE ENCERRAMIENTO		
701	Material de encerramiento		Aluminio
702	Altura del recinto (interior)	mm	Por el proveedor
703	Ancho del recinto (interior)	mm	Por el proveedor
704	Peso del recinto	Kg/M	Por el proveedor
800	INFORMACIÓN A ENTREGAR CON LA OFERTA		
801	Plano As built de elevación frontal y laterales		Sí
802	Plano As built de planta de piso		Sí
803	Listado de componentes y partes		Sí
804	Manuales de todos los equipos y componentes suministrados		Sí
805	Manual de Operación y mantenimiento		Sí
806	Dossier de calidad		Sí
900	OTROS		
901	Garantía		24 meses
902	Catalogos, manuales y procedimientos de operación		Sí
903	Planos de oferta		Sí
904	Lista de pruebas		Sí
905	Métodos de pruebas		Sí
906	Planos certificados		Sí
907	Embalaje		Sí

HOJA DE DATOS – GRUPO ELECTRÓGENO EN MEDIA TENSIÓN 4.16 KV

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
100	GENERAL		
101	Fabricante		Por el Proveedor
102	modelo o tipo		Encapsula Insonorizado tipo container
103	Cantidad	u	1
104	Normas adoptadas		NEMA/IEEE/IEC/ASTM
105	Modo de operación		Operación stand by ó de Emergencia, solo para un motor de una bomba vertical de agua de 933 kW
106	Potencia Nominal efectiva a 4 300 m.s.n.m.	kW	1 474
107	Potencia Nominal al nivel del mar o menor de 1 000 m s.n.m. (a ser comprobado por el proveedor)	kW	2000
108	Tensión de servicio	V	4 160
109	Frecuencia	Hz	60
110	Sistema		3 fases, 3 hilos
111	Conexión del Neutro		Aterrado a través de resistencia
112	Combustible		Diésel
113	Instalación		Intemperie / sobre losa
114	Encapsulado e Insonoro		Sí
115	Autonomía	Horas (aprox)	6
116	Modo de arranque de las cargas a alimentar		Con arrancador suave (Soft Starter)
117	Modo de puesta en marcha y control		Manual / Automático
118	Conexión a tierra de estructura		Sí
200	CONDICIONES DEL SITIO (MEDIO AMBIENTE)		
201	Altura sobre el nivel del mar	m	4300
202	Máxima temperatura ambiente	°C	40
203	Mínima temperatura ambiente	°C	-5
204	Zona Sísmica UBC		4
205	Humedad máxima relativa	%	70
206	Nivel Isoceráunico		60
207	Factor de corrección por altura en tensión para equipos y dispositivos de estado sólido de media tensión	pu	0.69
208	Factor de corrección por altura en corriente para equipos y dispositivos de estado sólido de media tensión	pu	0.93
209	Factor de corrección por altura en tensión para equipos de baja tensión	pu	0.73
210	Factor de corrección por altura en corriente para equipos de baja tensión	pu	0.94
300	ENVOLVENTE INSONORIZADO		
301	Compartimiento ventilado		

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
302	Dimensiones aproximadas: alto (sin tubo de escape), ancho y largo	mm	2854, 2400 y 12200
303	Acceso de cables		Inferior
304	Salida de cables		Inferior
305	Nivel de ruido a la intemperie	dB	80 dB a 7m, medidos a campo abierto.
306	Grado de protección general IEC-IP		IP65
400	SISTEMA DE ADMISIÓN		
401	Filtro de aire de elemento dual con indicador de servicio		Sí
402	Turboalimentador		Sí
500	SISTEMA DE ESCAPE		
501	Flexible de escape de acero inoxidable con brida de salida (suelto)		Sí
502	Silenciador industrial de 10 dBA de atenuación de ruido (suelto)		Sí
600	SISTEMA DE CALEFACCIÓN Y DISIPACIÓN TÉRMICA		
601	Persianas motorizadas (realizar cálculo)		Sí
700	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN		
701	Radiador		Sí
702	Línea de drenaje de refrigerante con válvula		Sí
703	Guardas de ventilador y mando		Sí
704	Refrigerante de servicio pesado		Sí
705	Sensor de nivel de refrigerante		Sí
800	SISTEMA DE COMBUSTIBLE		
801	Filtros primario y secundario de combustible		Sí
802	Líneas flexibles de combustible		Sí
803	Bomba de cebado de combustible		Sí
804	Indicador de presión de combustible		Sí
900	SISTEMA DE LUBRICACIÓN		
901	Aceite lubricante		Sí
902	Filtro de aceite		Sí
903	Enfriador de aceite		Sí
904	Líneas de drenaje de aceite con válvula		Sí
905	Manguera eliminadora de humos		Sí
1000	SISTEMA DE MONTAJE		
1001	Base de acero		Sí

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1002	Aisladores vibracionales lineales entre la base y el conjunto motor-generador		Sí
1100	DATOS DEL MOTOR		
1101	Marca		Por el proveedor
1102	Modelo		Por el proveedor
1103	Nº de cilindros		Por el proveedor
1104	Potencia de salida neta		Por el proveedor
1105	Tolerancia de producción		Por el proveedor
1106	Refrigerante		Por el proveedor
1107	Sistema de combustión		Inyección directa
1108	Combustible		Diesel N°2
1109	Cilindrada		Por el proveedor
1110	Control de velocidad		Electrónico
1111	Capacidad del carter		Por el proveedor
1112	Capacidad del sistema de refrigeración		Por el proveedor
1113	Tipo de Sistema de Enfriamiento		Radiador
1114	Velocidad nominal del eje	rpm	1800
1200	DATOS DEL GENERADOR		
1201	Norma		IEC 60034 (1&5)
1202	Potencia efectiva a 4300 msnm	kW	1270
1203	Tensión	V	4160
1204	Deslizamiento		Por el proveedor
1205	Capacidad del tanque interno	gln	Por el proveedor
1206	Regulación de Tensión	%	+/-0.5%
1207	Interruptor Principal		No
1208	Aislamiento clase H y aumento de temperatura clase F a 40°C (105°C prime/130°C stand by)		Sí
1209	Generador sin escobillas de imán permanente		Sí
1210	Cerramiento		Estará dentro de Encapsulado
1211	Regulador de tensión digital con censado trifásico		Sí
1212	Interruptor termomagnético, tripolar con bobina de apertura tipo shunt		Sí
1213	Resistencia calefactora del generador, 240 Vac		Sí
1214	Módulo de reparto de carga (operación en paralelo)		Sí
1215	Generador sin escobillas de imán permanente		Sí
1216	Cerramiento		Estará dentro de Encapsulado
1217	Aislamiento clase H y aumento de temperatura clase F a 40°C (105°C prime/130°C standby)		Sí
1218	Regulador de voltaje digital con censado trifásico		Sí
1219	Resistencia calefactora del generador, 240 Vac		Sí
1220	Módulo de reparto de carga (operación en paralelo)		Sí
1300	SERVICIOS		

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1301	Transformador seco de servicios auxiliares 1kVA, 4160 / 220V.		Sí
1302	Tablero de servicios auxiliares AC y DC.		Sí
1303	Sistema de alumbrado normal y de emergencia, AC / DC.		Sí
1304	Tanque de combustible de simple pared de 650 galones.		Sí
1305	Sistema de combustible (Tuberías de conexión).		Sí
1306	Sistema de escape (silenciador residencial).		Sí
1307	Sistema contra-incendio (solo detección) con protocolo abierto MODBUS TCP / IP para monitoreo desde cuarto de control, extinción mediante extintores de CO2 portátiles manuales.		Sí
1308	Extinción mediante extintores de CO2 portátiles manuales.		Sí
1400	REQUERIMIENTOS ESPECIALES DEL ALTERNADOR		
1401	Rango Reducido de Temperatura	° C	
1402	RTDs o Termistores		Sí
1500	PANEL DE CONTROL		
1501	Panel de control, con la siguiente configuración:		
1501.01	Potenciómetro de ajuste de tensión		Sí
1501.02	Pulsador de parada de emergencia		Sí
1501.03	Ajuste digital de velocidad del motor, por medio del display		Sí
1501.04	Lámparas de iluminación del panel		Sí
1502	Controles para las siguientes funciones:		
1502.01	Arranque y parada automática		Sí
1502.02	Temporizador de enfriado del motor		Sí
1502.03	Ciclo de arranques		Sí
1502.04	Liberación de alarmas		Sí
1502.05	Prueba de luces indicadoras		Sí
1502.06	Control sobre válvula de cierre automático (enclavado con sistema contra incendio)		Sí
1503	Monitoreo digital del motor para:		
1503.01	RPM		Sí
1503.02	Tensión DC		Sí
1503.03	Horas de operación		Sí
1503.04	Presión de aceite (psi, kPa o bar)		Sí
1503.05	Temperatura del refrigerante (°C o °F)		Sí
1504	Medición AC en las 3 fases, RMS verdadero, precisión +/- 2%:		
1504.01	Voltaje (L-L y L-N)		Sí
1504.02	Frecuencia (Hz)		Sí
1504.03	Amperaje (fase y promedio)		Sí
1504.04	kW, kVA, kVAR, kWh, % kW, FP		Sí
1505	Sistema de comunicaciones		
1505.01	Protocolo de comunicación		Modbus TCP
1505.02	Puertos de comunicación		RS 485
1506	Funciones programables de protección del generador por relés:		

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1506.01	Bajo y sobre tensión		Sí
1506.02	Baja y sobre frecuencia		Sí
1506.03	Sobre corriente		Sí
1506.04	Relé de Falla a Tierra		Sí
1507	Alarma / Parada de emergencia con luces indicadoras para:		
1508	Baja presión de aceite		Sí
1509	Alta temperatura del refrigerante		Sí
1510	Sobrevelocidad		Sí
1511	Parada de emergencia		Sí
1512	Falla al arranque (exceso de intentos de arranque)		Sí
1513	Bajo nivel de refrigerante		Sí
1514	Cuatro entradas digitales programables (Alarma o Parada de emergencia)		Sí
1515	Cuatro salidas digitales programables		Sí
1600	SISTEMA DE CONTROL		
1601	Gobernador electrónico		Sí
1700	SISTEMA DE ARRANQUE Y PARADA		
1701	Alternador de carga		Sí
1702	Motor de arranque eléctrico 24 Vdc		Sí
1703	Juego de 02 baterías con rack y cables		Sí
1704	Cargador de baterías 10 A, 220 V / 24 Vdc		Sí
1800	TANQUE DE COMBUSTIBLE AUXILIAR		No
1900	PINTURA Y ACABADO		
1901	Color de pintura		Por el proveedor
1902	Pintura anticorrosiva exterior		Sí
2000	TABLERO DE SINCRONISMO		
2001	Módulo de sincronización		Sí
2002	Voltímetro analógico 96x96mm 0-600V 150V Clase:1.5		Sí
2003	Sincronoscopio digital 96x96mm 150V 35...85Hz Clase:1.0. Con medición y visualización del voltaje y frecuencia del generador y de la red.		Sí
2004	Conversor RS-232 / 485 / Ethernet Modbus / TCP (TCP o UDP)		Sí
2005	Enclavamiento eléctrico para arranque en modo emergencia		Sí
2006	Intalación		Al interior de la sala eléctrica 450-ER-055
2100	TABLERO DE SUPERVISIÓN		
2101	Panel de operador con pantalla de 15" Resolución 1024x768 pixels, 2 puertos seriales, 2 USB y 1 puerto Ethernet. Memoria interna de 8MB. Alimentación: 24Vcc		Sí
2102	Anunciador de 32 Alarmas, con pulsadores para "Silenciar bocina", "Normalizar" y "Prueba de lámparas". Alimentación 24Vcc		Sí

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
2103	Sirena de alarma 30W 24Vcc		Sí
2104	Conversor RS-232 / 485 / Ethernet Modbus / TCP (TCP o UDP)		Sí
2105	Enclavamiento eléctrico para arranque en modo emergencia		Sí
2106	Instalación		Al interior de la sala eléctrica 450-ER-055
2200	SECCIONADOR DE RESISTENCIA NEUTRO		
2201	Instalación		Al interior del encapsulado del grupo electrógeno 450-GED-511
2202	Clase de Tensión	kV	15
2203	Capacidad	A	400
2204	Relación del transformador de corriente	A	500 / 5
2205	Clase del transformador de corriente		C20
2300	RESISTENCIA NEUTRO DEL GRUPO ELECTRÓGENO		
2301	Instalación		Al exterior, cerca al grupo electrogenero
2302	Clase de Tensión	kV	15
2303	Capacidad	A	Por el proveedor
2300	RESISTENCIA NEUTRO DEL GRUPO ELECTRÓGENO		
2401	Fases del circuito de fuerza		Sí
2402	Cableado del circuito de control		Sí
2403	Sistema de control		Sí
2404	Dispositivos de funcionamiento eléctrico		Sí
2405	Pruebas dieléctricas de los circuitos de fuerza y control		Sí
2406	Pruebas de operación mecánica		Sí
2407	Fases del circuito de fuerza		Sí
2408	Cableado del circuito de control		Sí
2409	Sistema de control		Sí
2410	Pruebas de operación mecánica		Sí
2500	OTROS		
2501	Garantía		24 meses
2502	Catalogos, manuales y procedimientos de operación		Sí
2503	Planos de oferta		Sí
2504	Lista de pruebas		Sí
2505	Métodos de pruebas		Sí
2506	Planos certificados		Sí
2507	Embalaje		Sí
2500	OTROS		
2501	Garantía		24 meses
2502	Catalogos, manuales y procedimientos de operación		Sí

HOJA DE DATOS - SALA ELÉCTRICA PREFABRICADA

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
100	GENERAL		
101	Proveedor		
102	Fabricante		Por el proveedor
103	Procedencia		Por el proveedor
104	Modelo		Por el proveedor
105	Estándar		AISC, ANSI, ASTM, ASME
106	Sistema de protección de descargas atmosféricas para la sala		Sí
107	El integrador salista deberá efectuar todos los cálculos: estructurales, eléctricos, iluminación, HVAC, presurización, sistema contra incendio, sistema VESDA.		Sí
200	CONDICIONES DEL SITIO (MEDIO AMBIENTE)		
201	Altura sobre el nivel del mar	m	4300
202	Máxima temperatura ambiente	°C	40
203	Mínima temperatura ambiente	°C	-5
204	Zona Sísmica UBC		4
205	Humedad máxima relativa	%	70
206	Nivel Isoceráunico		60
207	Factor de corrección por altura en tensión para equipos y dispositivos de estado sólido de media tensión	pu	0.69
208	Factor de corrección por altura en corriente para equipos y dispositivos de estado sólido de media tensión	pu	0.93
209	Factor de corrección por altura en tensión para equipos de baja tensión	pu	0.73
210	Factor de corrección por altura en corriente para equipos de baja tensión	pu	0.94
300	SISTEMA ELÉCTRICO DE LOS EQUIPOS		
301	Tensión de distribución en media tensión	kV	4.16
302	Tensión de distribución en baja tensión	kV	0.48 / 0.23 / 0.12
303	Frecuencia	Hz	60
304	Nivel de cortocircuito en 4.16 kV	kA	50
305	Nivel de cortocircuito en 0.48 kV	kA	65
306	Tensión de Servicios Auxiliares		400-230 V / 3 fases + N
307	Tensión de Instrumentación y Control		120V / 1 fase + N
308	Tensión de Corriente Continua para relés de protección y medición en 450-MCM-961 y 450-MCL-991		125 Vdc
400	SERVICIOS		
401	Sistema de bandejas internas para interconexión de equipos instalados al interior de la sala eléctrica		Por el proveedor
402	Iluminación		Por el proveedor
402.01	Nivel de iluminación interna a 1 m del piso como mínimo	Lux	500
402.02	Nive de iluminación interior de emergencia sobre superficies verticales	Lux	20
402.03	Tipo de luminarias internas		LED, por el proveedor
402.04	Tipo de luminarias externas		LED, por el proveedor

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
402.05	Alumbrado de Emergencia		Sí
402.06	Iluminación interna de los equipos que lo requieran		Por Proveedor
403	Enchufes de uso general		Sí
403.01	Tomacorriente Monofásico		220V, 15A (2P+T)
403.02	Cantidad		Por el proveedor
404	Puesta a Tierra		
404.01	Barra de puesta a tierra exterior para conexión a la malla		Sí
404.02	Barra de puesta a tierra perimetral interior, interconectada con las barras exteriores y con disponibilidad de conectar a tierra todos los equipos eléctricos interiores (incluidos los futuros)		Sí
404.03	Barra de puesta a tierra electrónica externa para el tablero 450-PCC-690		
404.04	Interconexión interior de equipos eléctricos con barra perimetral interior		Sí
404.05	Barra interior de toma a tierra para instrumentación con disponibilidad de conectar a tierra todos los equipos de instrumentación		Sí
404.06	Sistema redundante HVAC Tipo Mochila y/o paquete		Sí
404.07	Protección contra descargas atmosféricas		Sí
404.08	Ingeniería de integración de PLC, gabinete de comunicacion, celda GIS, MCM y relés.		Por el proveedor
500	REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES		
501	Instalación		Exterior a la intemperie
501.01	Montaje		Sobre pedestales de concreto
501.02	Tipo		Prefabricado
501.03	Grado de protección		Tipo NEMA 4
501.04	Carga distribuida en piso	kg/m2	1250
501.05	Carga mínima en el techo	kg/m2	250
501.06	Carga puntual en el techo	kg	150
501.07	Memoria de cálculo y planos estructurales		Sí
501.08	Tipo de soldadura estructurales principales		Cordones continuos de soldadura MIG o TIG
501.09	Dimensiones interiores		
a	Ancho	mm	Por el proveedor
b	Largo	mm	Por el proveedor
c	Alto (no considerando el techo a 2 aguas)	mm	Por el proveedor
501.10	Dimensiones Exteriores		
a	Ancho	mm	4800 (Aprox.)
b	Largo	mm	17000 (Aprox.)
c	Alto	mm	4150 (aprox)
501.11	Peso de la sala sin equipos	kg	Por Proveedor
501.12	Peso de la sala con equipos	kg	Por Proveedor
501.13	Accesorios de levante (cáncamos removibles)		Por Proveedor
502	Estructuras base		

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
502.01	Tipo de viga		Tipo "H" e "I"
502.02	Bases metálicas de fundación para anclaje		Requerido
502.03	Cánccamos de Izaje		Por el proveedor
502.04	Plano detallado de la base estructural		Sí
503	Estructura de la sala		
503.01	Tipo		Tubos de acero de sección cuadrada
503.02	Dimensión tubos de acero	mm	100
504	Piso a base de pintura y cuarzo		Antideslizante
504.01	Planchas de acero llámina de acero galvanizado en caliente (espesor mínimo)	mm	6.35 mm de espesor como mínimo
504.02	Superficie antideslizante		Sí
504.03	Alfombra dielectrica al frente de equipos de Media Tensión		Sí
504.04	Salida de cables por el piso		Sí
505	Cubiertas laterales		
505.01	Planchas de acero galvanizado exterior (espesor mínimo)	mm	2.7
505.02	Planchas de acero interior (espesor mínimo)	mm	1.5
506	Techo y cielo		
506.01	Techo - planchas de acero laminado en frío (espesor mínimo)	mm	2.7
506.02	Cielo raso - Planchas de acero laminado en frío (espesor mínimo)	mm	1.5
506.03	Pendiente del techo		2 aguas
506.04	Canaletas de drenaje		Sí
506.05	Pendiente del techo	%	Por el proveedor
507	Puertas y accesos		
507.01	Puertas antipanico		Sí
507.02	Plancha de acero	mm	1.9
507.03	Llave común para cerradura de puertas		Sí
507.04	Puertas de acceso para mantenimiento de barra de 2000 A a la llegada al 450-MCM_961, estas puertas estarán ubicadas en la parte posterior de la sala eléctrica (ver plano 450-E-10071)		Sí
507.05	Pasarelas y barandas		Por el proveedor
507.06	Plataforma de acceso de personal que incluye soportes, barandas, piso, entre otros (ver plano de disposición de equipo 450-E-10071)		Sí
507.07	Acceso de personal		
a	Cantidad		1
b	Dimensiones mínimas (ancho x alto)	mm	1000 x 2250
c	Barra antipánico		Sí
d	Cierre automático hidráulico		Sí
e	Ventana de inspección de doble vidrio laminado (ancho x alto)	mm	180 x 180
507.08	Plataforma de acceso de equipos que incluye soportes, barandas, piso, entre otros.		Sí
507.09	Acceso de equipos		
a	Cantidad		1 doble hoja
b	Dimensiones mínimas (ancho x alto)	mm	1500 x 2500
508	Aislación térmica y piroresistencia		
508.01	Paredes		R18

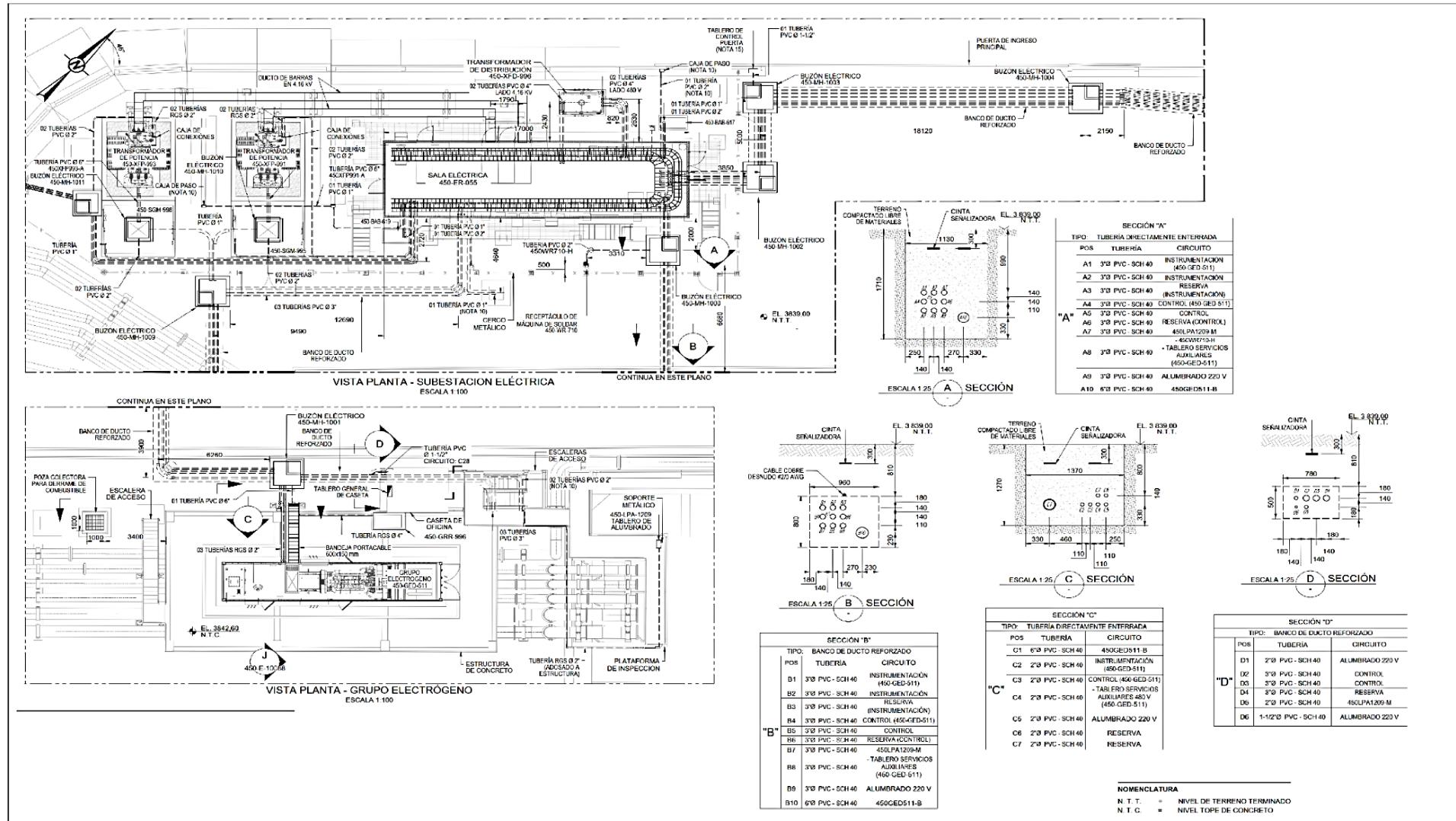
No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
508.02	Techos		R23
508.03	Puertas		R18
509	Pintura		
509.01	Color paredes exteriores		Verde, RAL 6010
509.02	Color paredes interiores		Blanco, RAL 9010
509.03	Color techo exterior		Verde RAL 6010
509.04	Color techo interior		Blanco, RAL 9010
509.05	Color puertas exterior		Verde RAL 6010
509.06	Color acero estructural exterior		Verde RAL 6010
509.07	Color acero estructural interior		Gris, RAL 7001
509.08	Escaleras verticales		Amarillo, RAL 1023
509.09	Color barandas y rodapiés		Amarillo, RAL 1023
509.10	Color parrillas y escalones		Negro, RAL 9004
600	SISTEMA DE PRESURIZACIÓN TIPO PURAFIL / AUTOLIMPIANTE		
601	Panel de control		Sí
602	Fabricante		Por Proveedor
603	Modelo		Por Proveedor
604	Catálogo		Por Proveedor
605	Velocidad del viento con las puertas abiertas		125 Km / hr
606	Cantidad de equipos		Por Proveedor
607	kW requeridos por equipo		Por Proveedor
608	Filtrado de aire progresivo (lavables y desechables)		Sí
609	Memoria de cálculo sistema presurización		Sí
610	Procedimiento de purgado		Tipo Z
611	Tensión de servicio		460 V / 3 F
700	SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO		
701	Fabricante		Por Proveedor
702	Modelo		Por Proveedor
703	Catálogo		Por Proveedor
703.01	Rango de operación (°C)		18-29
704	Cantidad de equipos		Por Proveedor
705	kW requeridos por equipo		Por Proveedor
706	Filtros de aire		Sí
707	Memoria de cálculo sistema presurización		Sí
708	Tensión de servicio	V	460
800	CAPTACIÓN DE POLVOS		
801	Fabricante		Por proveedor
802	Tipo		Por proveedor
803	Cantidad por Sala		Por proveedor
804	Capacidad (área filtrante m2)		Por proveedor

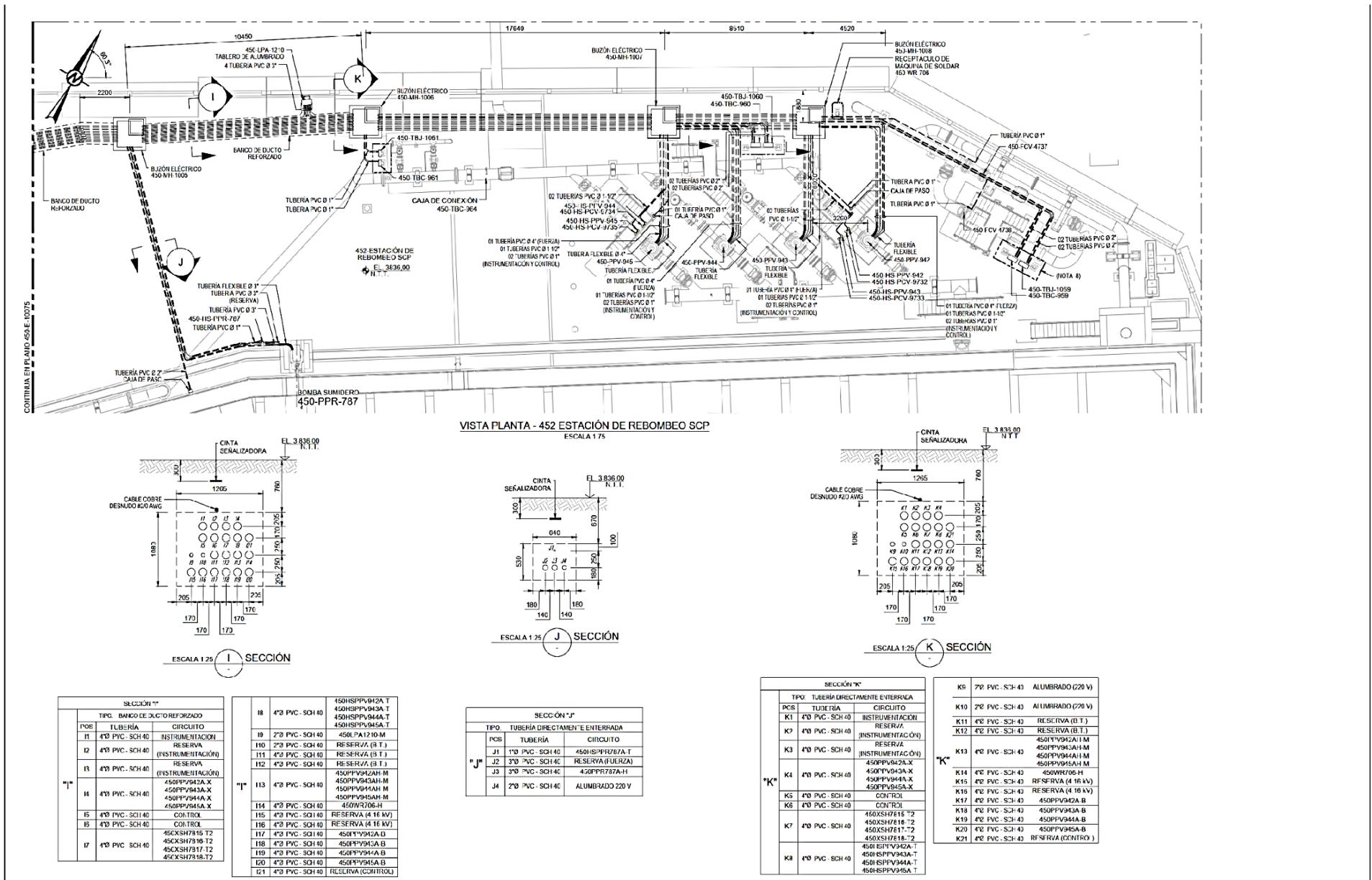
No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
805	Sistema Limpieza Automático		Sí
900	SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS		
901	Sistema de Detección		
901.01	Marca		Por Proveedor
901.02	Panel de detección de incendios		Sí
901.03	Transmisor-receptor de fibra óptica		Sí
901.04	Sistema de detección temprana		Sí
901.05	Cantidad de Sistemas de detección temprana		Por Proveedor
901.06	Detector de humo inteligentes tipo ION		Sí
901.07	Cantidad de detectores de humo inteligentes		Por el proveedor, de acuerdo a NFPA-72
901.08	Estaciones manuales		Sí
901.09	Cantidad de estaciones manuales		2 (1 en cada puerta)
901.10	Bocina con luz estroboscópicas		Sí
901.11	Cantidad de sirenas estroboscópicas		2 (1 en cada puerta)
902	Sistema de supresión:		
902.01	Extintores de Incendio:		
a	Extintores de incendio portátil tipo C02 (15 kg c/u)		Sí, según normas
b	Extintores de incendio portátil tipo PQS		Sí, según normas
c	Cantidad		Sí, según normas
903	"Sistema de detección y alarmas de contra incendios que incluya Sistema VESDA y tablero Sheeta"		
		Sí	
904	Sistemas de extinción de incendios FM-200		Sí
905	El integrador de la sala eléctrica entregará los PASSWORD para poder integrar el sistema contraincendio a la red de Antamina		Sí
1000	SISTEMA DE BUS BAR		
1001	El Centro de Control de Motores 450-MCM-961 de 4.16 kV, tiene que estar acondicionado para la conexión al secundario del transformador de potencia de 7 500 kVA mediante el ducto de barras de 2 000 A.		Sí
1100	EQUIPOS ELECTRICOS A INSTALAR EN EL INTERIOR DE LA SALA ELÉCTRICA		Ver plano de disposición de equipos
1200	INSPECCIONES Y PRUEBAS DE RUTINA EN FABRICA		
1201	Garantía		24 meses
1202	Inspección y presencia de pruebas por parte del comprador		Sí
1203	Entrega de dossier de calidad de pruebas, materiales y equipos		Sí
1204	A prueba de lluvia en techo y pruebas de presión de agua en áreas laterales, para comprobación de filtraciones, previo al montaje e instalación de equipos eléctricos		Sí
1205	Pruebas eléctricas de equipos de servicios de la sala		
1205.01	Aislamiento de equipos de servicios		Sí
1205.02	Fase de equipos		Sí
1205.03	Aislamiento de cables		Sí

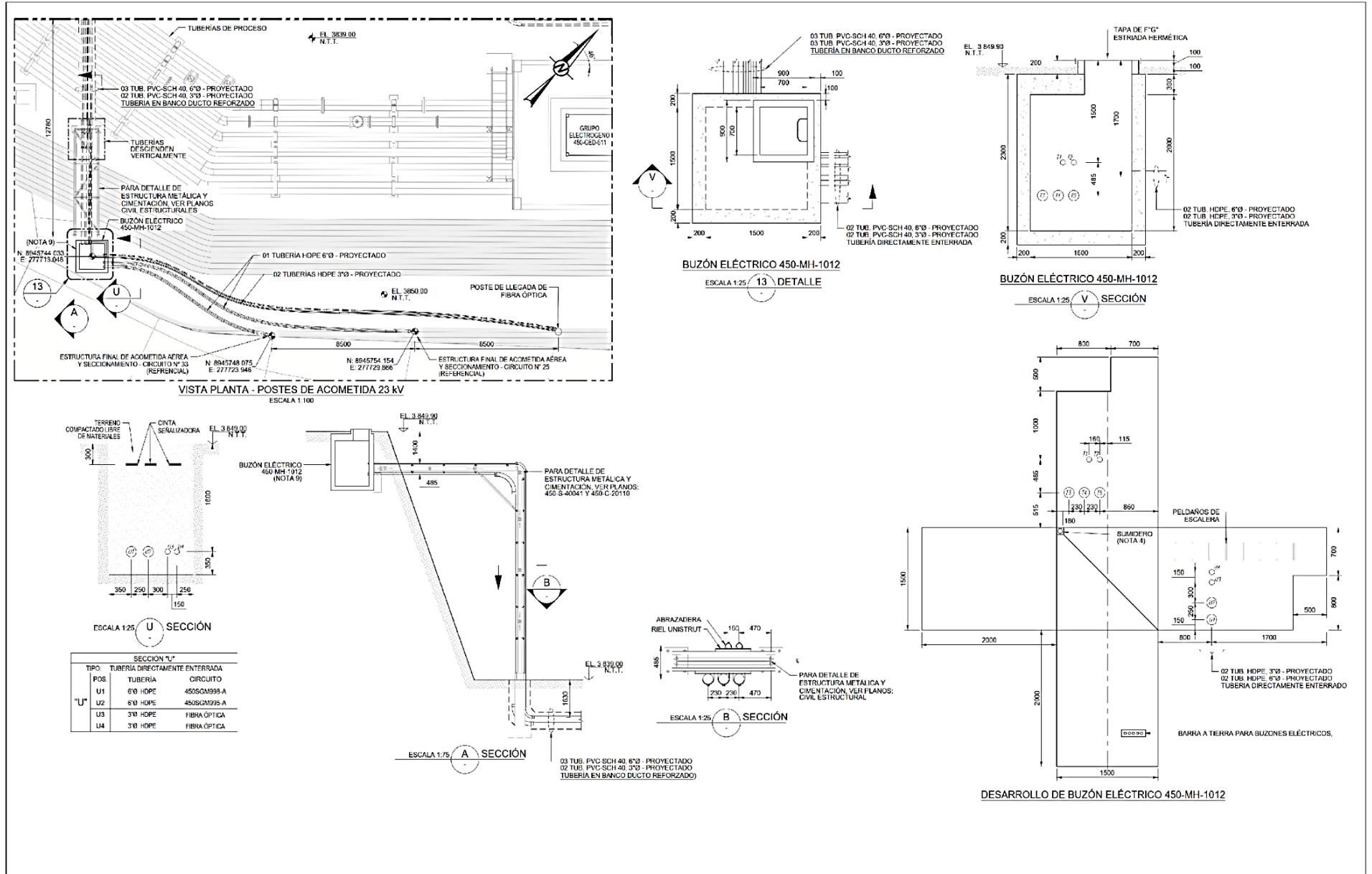
No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1205.04	Continuidad de cable punto a punto de circuitos eléctricos		Sí
1205.05	Continuidad del sistema de tierras de los equipos		Sí
1205.06	Amarillado de esquemas según planos		Sí
1205.07	Con energía		Sí
1205.08	Funcionamiento de accesorios de maniobra y de protección de equipos		Sí
1205.09	Funcionamiento de los circuitos de control y protección		Sí
1205.10	Verificación de montaje, instalación y funcionamiento de luminarias y tomacorrientes		Sí
1205.11	Del sistema de aire acondicionado y presurización		Sí
1205.12	Del sistema contraincendios		Sí
1205.13	Pruebas del sistema de alumbrado		Sí
1206	Prueba de Door fan		Sí
1207	Prueba de hermeticidad		Sí
1208	Prueba de Iluminación		Sí
1300	OTROS		
1301	Garantía		24 meses
1302	Catalogos, manuales y procedimientos de operación		Sí
1303	Planos de oferta		Sí
1304	Lista de pruebas		Sí
1305	Métodos de pruebas		Sí
1306	Planos certificados		Sí
1307	Set de repuestos para puesta en servicio de MCM y MCL		Sí
1308	Embalaje		Sí
1309	Para el transporte semi desarmado incluir registrador de impacto desde punto de origen hasta posición final en mina		Sí
1310	Pértiga de auxilio de 23 kV		Sí

Anexo 4

Arreglo de canalización eléctrica

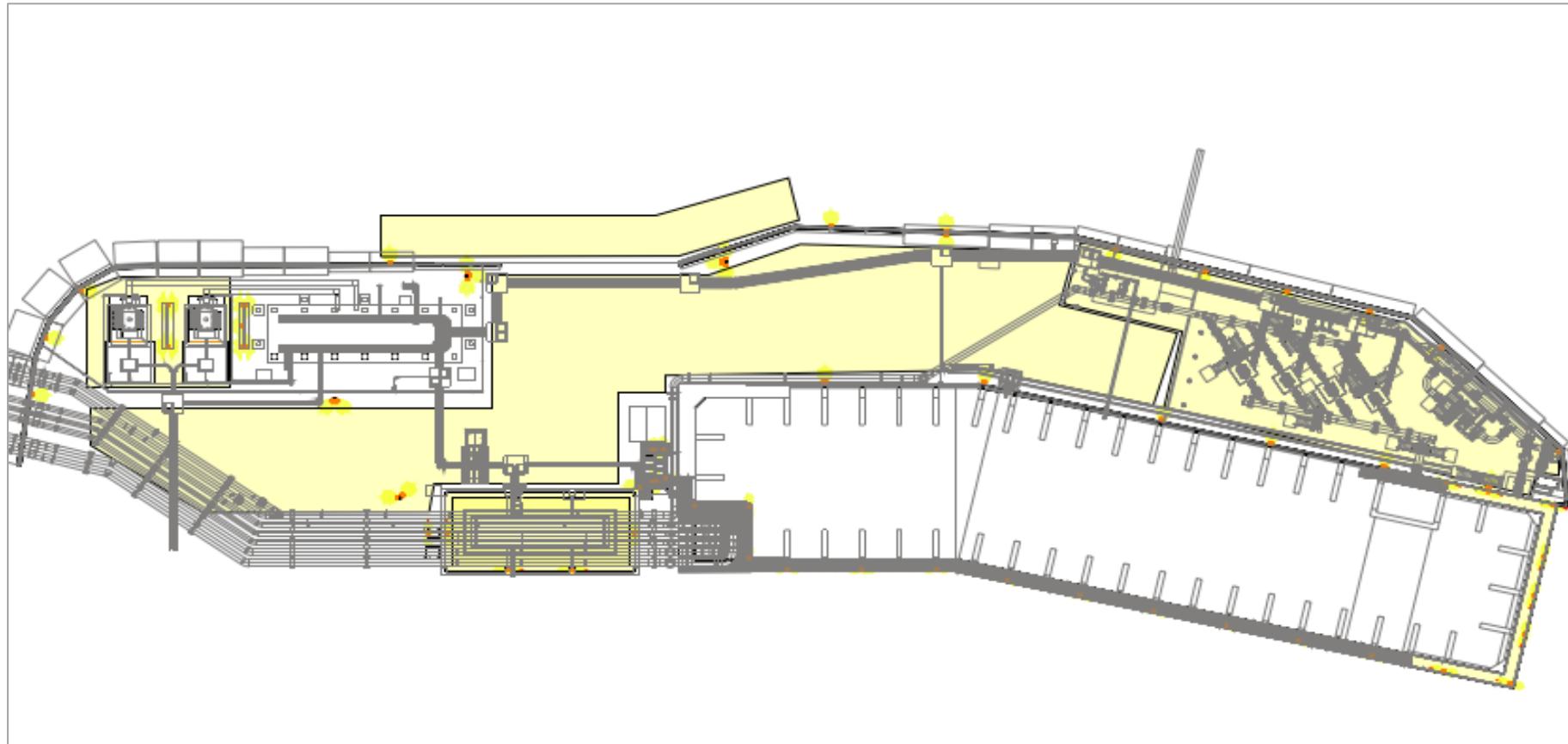




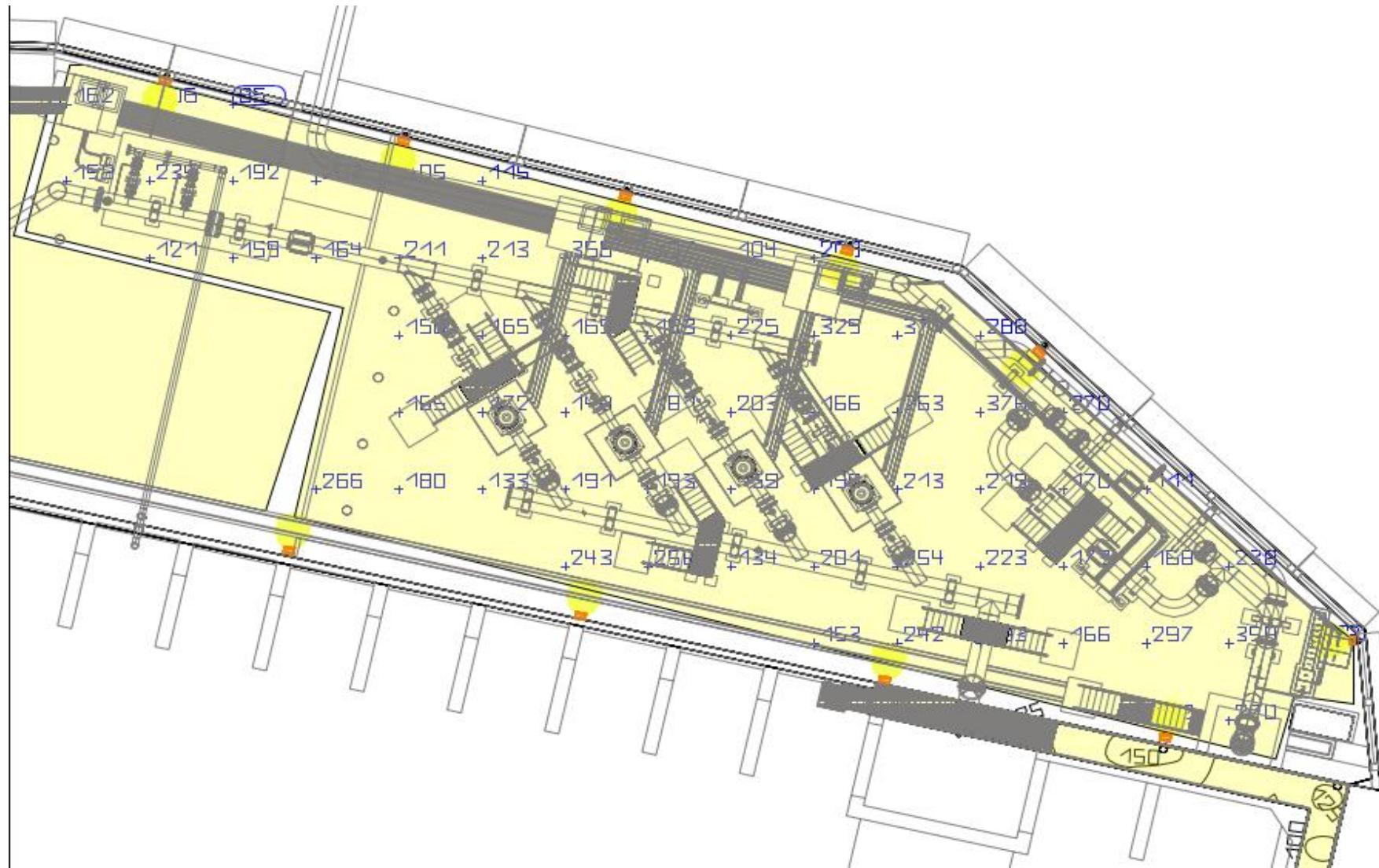


Anexo 5:

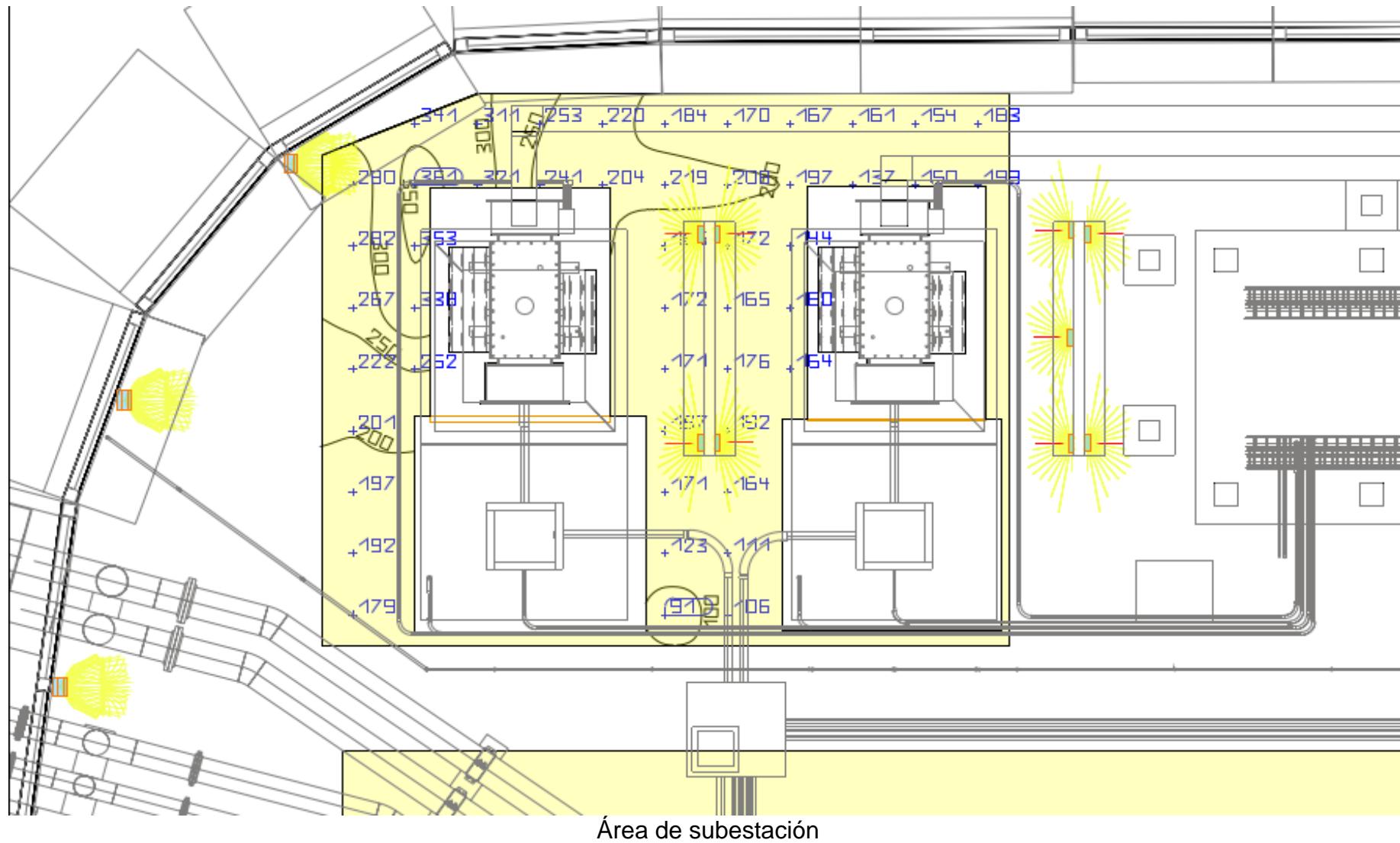
Cálculo de iluminación con software Dialux Evo

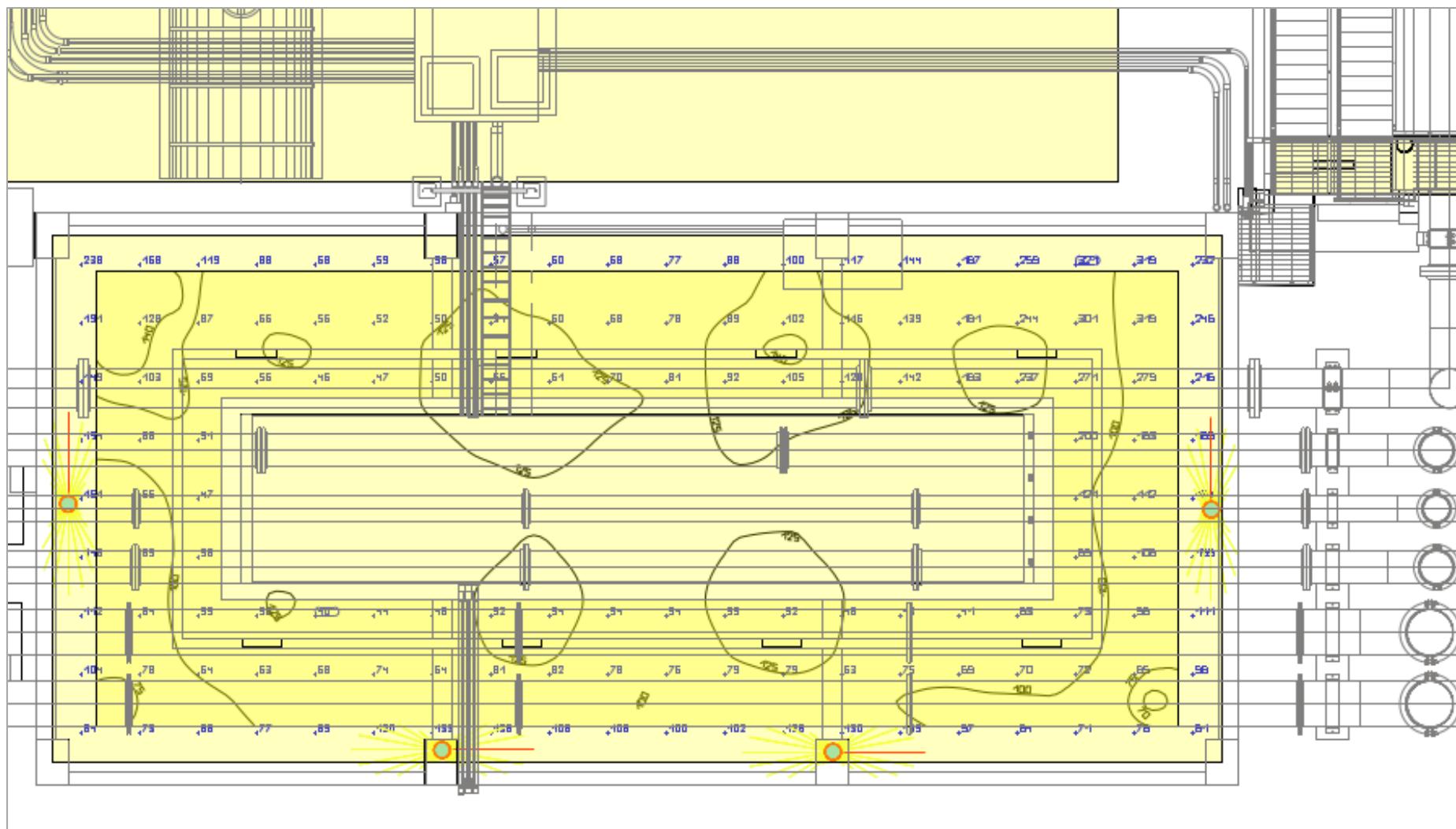


Arreglo general

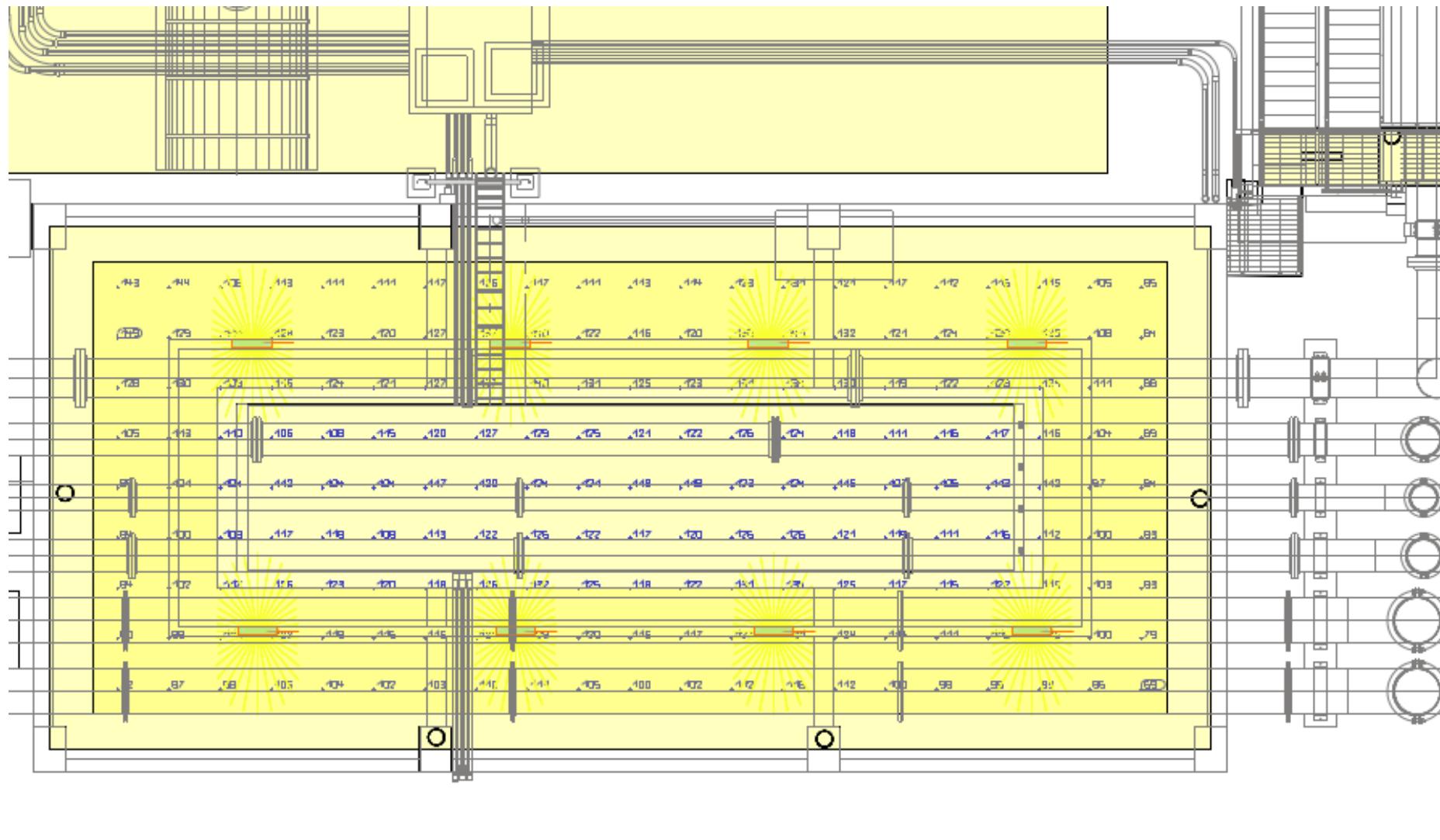


Área de bombas

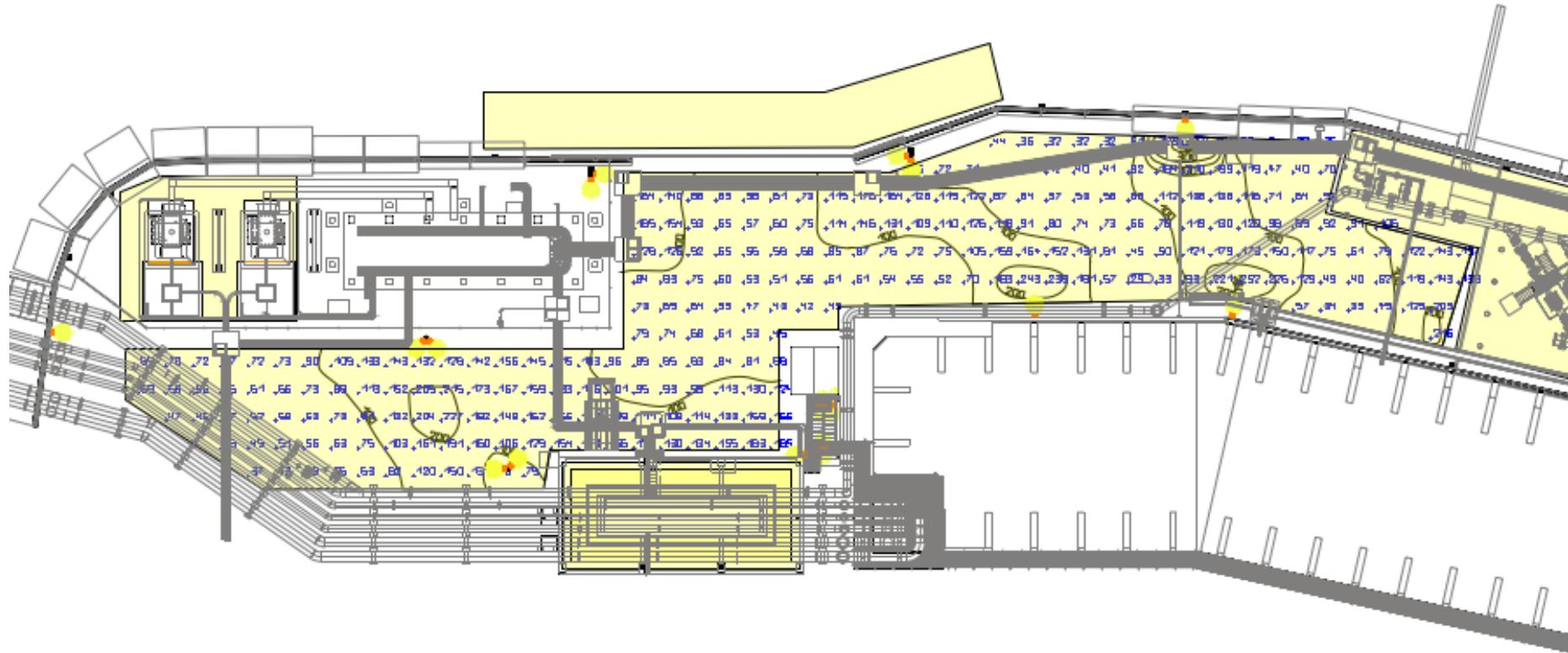




Área grupo electrógeno nivel superior de plataforma



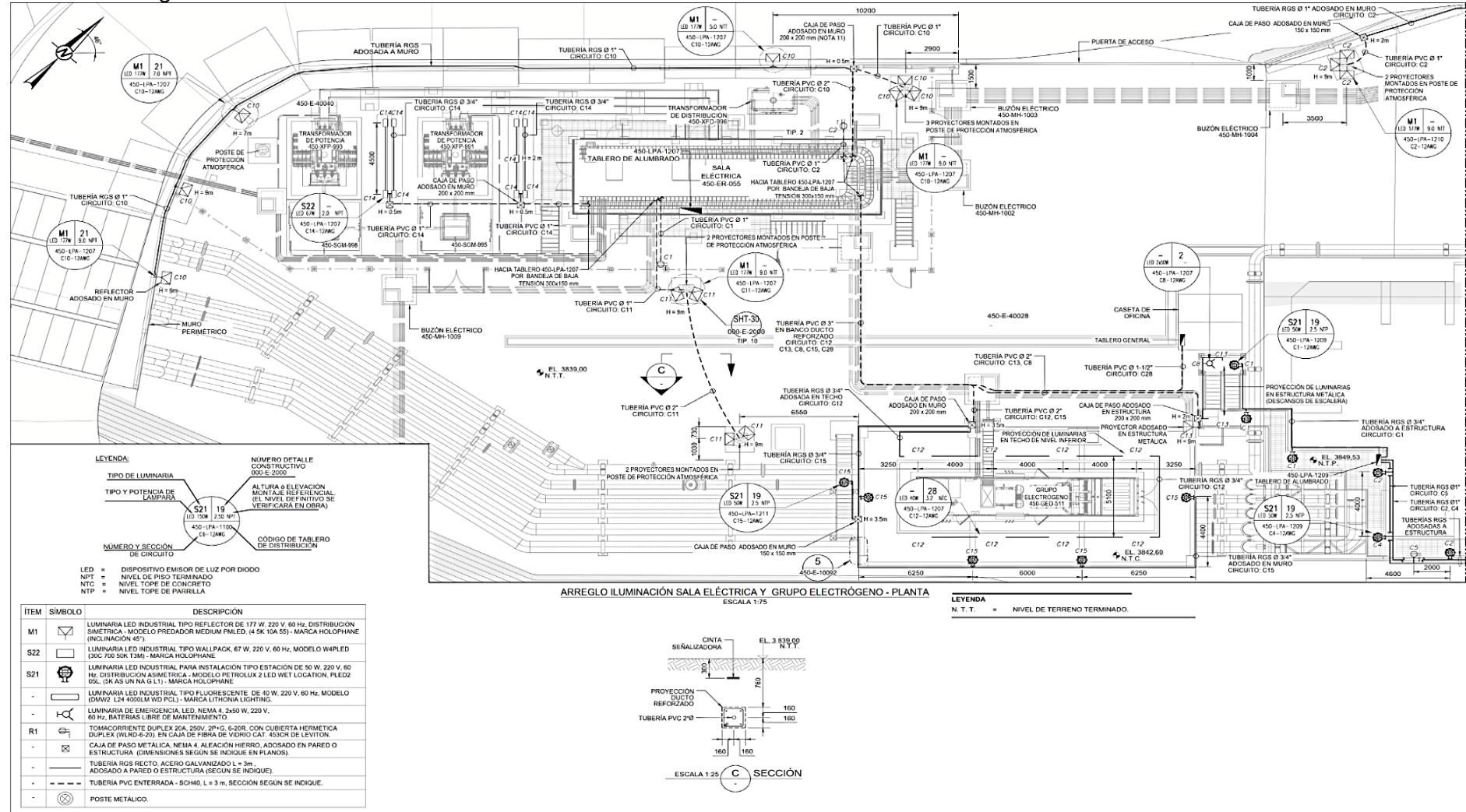
Área grupo electrógeno nivel inferior de plataforma



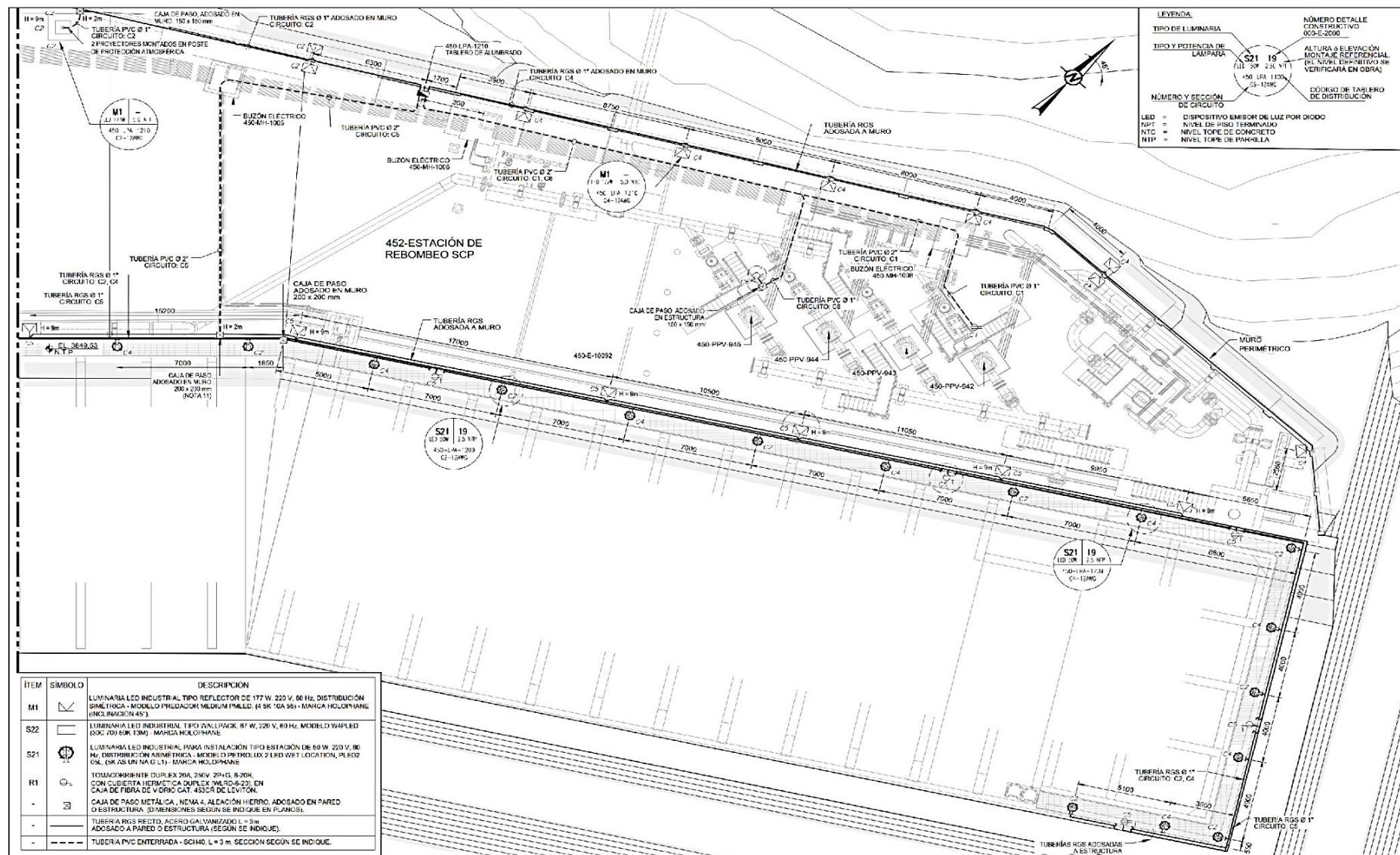
Área general

Anexo 6

Planos de arreglo del sistema de iluminación



Área general



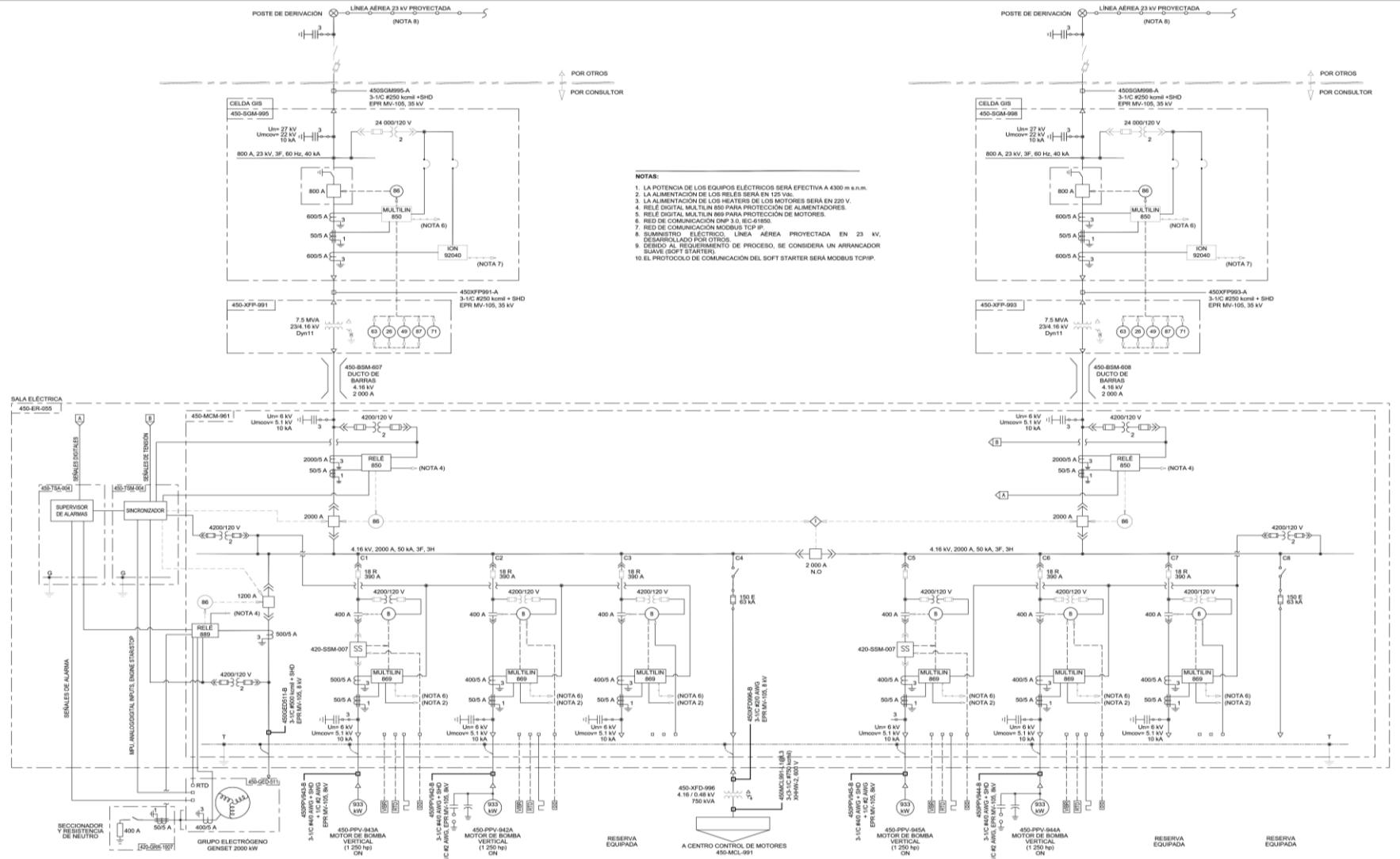
Anexo 7

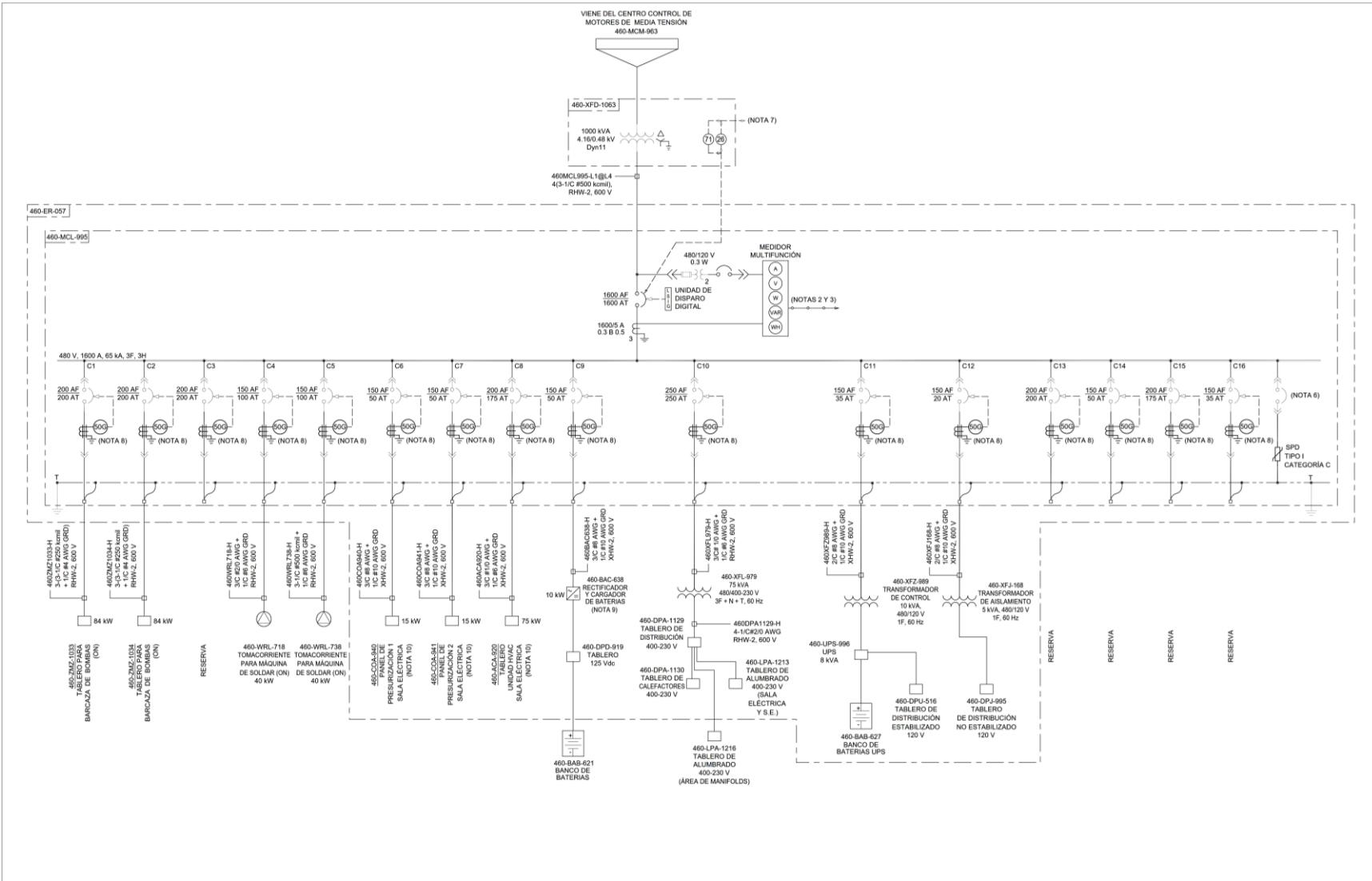
Planos de simbología eléctrica

SYMBOL SÍMBOLO	DESCRIPTION DESCRIPCIÓN	SYMBOL SÍMBOLO	DESCRIPTION DESCRIPCIÓN	SYMBOL SÍMBOLO	DESCRIPTION DESCRIPCIÓN	SYMBOL SÍMBOLO	DESCRIPTION DESCRIPCIÓN	SYMBOL SÍMBOLO	DESCRIPTION DESCRIPCIÓN
2000 A	VACUUM CIRCUIT BREAKER (2000 A INDICATED) INTERRUPTOR EN VACÍO FIJO (SE INDICAN 2000 A)	G	EMERGENCY GENERATOR WITH GROUNDING RESISTANCE GENERADOR DE EMERGENCIA CON RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA		POTENTIAL TRANSFORMER TRANSFORMADOR DE POTENCIAL	VFD	LOW VOLTAGE VARIABLE FREQUENCY DRIVE VARIADOR DE FRECUENCIA DE BAJA TENSIÓN	→	CONNECTOR, DISCONNECT DEVICE, MALE CONTACT CONECTOR, DISPOSITIVO DE DESCONEXIÓN, CONTACTO MACHO
1200 A	VACUUM CIRCUIT BREAKER DRAW OUT TYPE (1200 A INDICATED) INTERRUPTOR EN VACÍO TIPO EXTRABLE (SE INDICAN 1200 A)		MEDIUM VOLTAGE STARTER REMOVABLE CONTACTOR AND FUSE ARRANQUEADOR DE MEDIA TENSIÓN FUSIBLE Y CONTACTOR EXTRABLE	200/5 A	CURRENT TRANSFORMER 3 UNITS 200/5 A (EXAMPLE) • = POLARITY TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 3 UNIDADES DE 200/5 A (EJEMPLO) • = POLARIDAD	SS	SOFT STARTER ARRANQUEADOR SUAVE	↓	DISCONNECT DEVICE CONNECTOR, SEPARABLE CONNECTORS (ENABLED) CONECTOR DISPOSITIVO DE DESCONEXIÓN, CONECTORES SEPARABLES (HABILITADOS)
800 AF 600 AT	CIRCUIT BREAKER DRAWOUT TYPE, TRIP CURRENT VALUE IS LISTED BELOW THE FRAME DIMENSION OF CIRCUIT BREAKER IS LISTED ABOVE ABREVAZADO AF 800 A INDICADO INTERRUPTOR TIPO DESMONTABLE, EL VALOR DE DISPARO DE CORRIENTE SE INDICA ABajo DE LA DIMENSIÓN DEL MARCO DEL INTERRUPTOR, SE INDICA ARRIBA (SE INDICAN 800 AF / 600 AT)	F	MEDIUM VOLTAGE FEEDER REMOVABLE CONTACTOR AND FUSE CLOSE COIL TRIP COIL LLAVE EXTRABLE	200/5 A	BUSHING-TYPE CURRENT TRANSFORMER 3 UNITS 200/5 A (EXAMPLE) • = POLARITY TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TIPO BUSHING 3 UNIDADES DE 200/5 A (EJEMPLO) • = POLARIDAD	A	LOAD OTHER THAN MOTOR WITH KILOWATT OTHER CARGAS CON VALOR NOMINAL INDICADOS EN KILOWATOS	↓	GROUNDING CONNECTION CONEXIÓN A TIERRA
150 AF 15 AT	CIRCUIT BREAKER DRAWOUT FIXED MOUNT TYPE TRIP CURRENT VALUE IS LISTED BELOW THE FRAME DIMENSION OF CIRCUIT BREAKER IS LISTED ABOVE (150 AF/15 AT INDICATED) INTERRUPTOR TIPO DESMONTABLE, EL VALOR DE DISPARO DE CORRIENTE SE INDICA ABajo Y LA DIMENSIÓN DEL MARCO DEL INTERRUPTOR ARRIBA (SE INDICAN 150 AF/ 15 AT)	600 A 200 A CLF	ALUMINATOR DE MEDIA TENSIÓN FUSIBLE Y CONTACTOR EXTRABLE BOBINA DE CIERRE BOBINA DE DISPARO L: CIERRE	3	BUSHING-TYPE CURRENT TRANSFORMER WITH POLARITY INDICATORS TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TIPO PASATAPA CON INDICADORES DE POLARIDAD	Ur = 21 kV	SURGE ARRESTER WITH NOMINAL VALUE PARARRAYOS CON VALOR NOMINAL INDICADO EN KV	○	RECTIFIER RECTIFICADOR
30 A	CIRCUIT BREAKER AUTOMATIC INTERRUPTOR AUTOMÁTICO		DISCONNECTING SWITCH THAT OPERATES WHEN LOADED EXAMPLE IN THE FRAME, 200 A FUSE CLF= CURRENT LIMITING FUSE SECCIONADOR CON OPERACIÓN BAJO CARGA EJEMPLO EN EL MARCO, 200 A FUSIBLE = FUSIBLE DE 200 A CLF = FUSIBLE DE CORRIENTE	3	BUSHING TYPE CURRENT TRANSFORMER WITH POLARITY INDICATORS TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TIPO PASATAPA CON INDICADORES DE POLARIDAD	XXX KVAR	MULTICELL ACCUMULATOR ACUMULADOR MULTICELDAS	○	SHIELDED 2 CONDUCTOR CABLE WITH SHIELDED GROUNDED CABLE DOBLE CONDUCTOR AISLADO CON PUESTA A TIERRA AISLADA
	SWITCH NON FUSED CONTINUOUS RATING INDICATED OR TEST SWITCH MANUALLY OPERATED SECCIONADOR SIN FUSIBLE SE INDICA VALOR NOMINAL CONTINUO O SECCIONADOR DE PRUEBA DE OPERACIÓN MANUAL		Thermal overload relay RELE DE SOBRECARGA TÉRMICA	800-5 MR 400 A TAP	CURRENT TRANSFORMER WITH POLARITY, RATIO AND QUANTITY INDICATORS AS INDICATED (MR-MULTIPLE E RATIO) TRANSFORMADOR DE CORRIENTE CON INDICACIÓN DE POLARIDAD, RELACIÓN Y CANTIDAD COMO SE INDICA (MR=RELACIÓN MULTIPLE)		CAPACITOR (VAR RATED VALUE) CONDENSADOR (VALOR NOMINAL EN VAR)	— —	CABLE COAXIAL CABLE COAXIAL
	SAFETY SWITCH INTERRUPTOR DE SEGURIDAD		DISCONNECTING SWITCH WITH LOAD SECCIONADOR BAJO CARGA	50:5	ZERO SEQUENCE TRANSFORMER WITH RELATIONSHIP AS INDICATED TRANSFORMADOR DE CORRIENTE DE SECUENCIA CERO CON RELACIÓN COMO SE INDICA		INTERLOCK INTERCLAVADO K = KIRK TYPE WRENCH M = MECHANICAL AT = AUTOMATIC TRANSFER ENCLAVAMIENTO: E = ELÉCTRICO K = KIRK M = MECÁNICO AT = TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA	— —	INTERLOCK LINE LINEA DE INTERCONEXIÓN
	COMBINATION STARTER WITH MOTOR GUARD (MCP), WITH THERMAL OVERLOAD RELAYS 2 MCP ACTUATORS INDICATE REVERSING STARTER MCP COMBINACIÓN ARRANQUEADOR CON GUARDAMOTOR (MCP), CON RELEES TÉRMICO DE SOBRECARGA 2 CONTACTORES INDICAN ARRANQUE INVERSOR MCP		GROUNDED DISCONNECTOR SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA	2000 A, 5 KV	METAL ENCLOSED BUS DUCT WITH CURRENT AND VOLTAGE RATING INDICATED BARRAS EN DUCTO METALICO CON INDICACIÓN DE VALOR NOMINAL DE CORRIENTE Y VOLTAJE		TERMINAL PLATE PLACA DE TERMINALES	+	CONDUCTORS NOT CONNECTED CONDUCTORES NO CONECTADOS
			TWO-WINDING TRANSFORMER TRANSFORMADOR DE DOS ARROLAMIENTOS, VALOR NOMINAL COMO SE INDICA		REACTOR OR COIL REACTOR & BOBINA			—	CONDUCTORS CONNECTED CONDUCTORES CONECTADOS
			THREE-WINDING TRANSFORMER TRANSFORMADOR DE TRES ARROLAMIENTOS,	10 HP	INDUCTION MOTOR (SQUIRREL CAGE - 10 HP INDICATED) MOTOR DE INDUCCIÓN (JAULA DE ARDILLA SE INDICAN 10 HP)			—	CABLE TERMINAL TERMINAL DE CABLES
			SINGLE-PHASE TRANSFORMER TRANSFORMADOR MONOFÁSICO	4000 HP	SYNCHRONOUS MOTOR (4000 HP INDICATED) MOTOR SINCRONICO (SE INDICAN 4000 HP)			◆	STRESS CONE CONO DE TENSIONES
			GENERAL FUSE CLF INDICATES CURRENT LIMIT NOMINAL VALUE INDICATED FUSIBLE CLF INDICA LÍMITE DE CORRIENTE, SE INDICA VALOR NOMINAL	(3)	VOLTAGE TRANSFORMER WITH RATIO AND QUANTITY AS INDICATED TRANSFORMADOR DE TENSIÓN CON RELACIÓN Y CANTIDAD COMO SE INDICA		RECEPTACLE RECEPTÁCULO	— —	INTERLOCK LINE LINEA DE INTERCONEXIÓN
			FUSED LOAD BREAK DISCONNECT SWITCH SECCIONADOR PARA CARGA CON CABLE CON FUSIBLE, SE INDICAN VALORES NOMINALES CONTINUOS DEL INTERRUPTOR		TRANSFORMER (POWER, DISTRIBUTION, LIGHTING) NEUTRAL SOLIDLY GROUNDED DELTA - STAR ALUMBRADO, GENERAL, DISTRIBUCIÓN, NEUTRALMENTE PUESTA A TIERRA CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA	L S I G	DISTRIBUTION PANEL TABLA DE DISTRIBUCIÓN		MEDIUM VOLTAGE VARIABLE FREQUENCY DRIVE WITH ISOLATION TRANSFORMER VARIADOR DE FRECUENCIA DE MEDIA TENSIÓN CON TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO
			RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR DETECTOR DE TEMPERATURA RESISTIVO		TRANSFORMER (POWER, DISTRIBUTION) DELTA-STAR CONNECTION RESISTANCE GROUNDING ARRANQUEADOR (POTENCIAL, DISTRIBUCIÓN) CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA DE PUESTA A TIERRA MEDIANTE RESISTENCIA		PROTECTIVE DEVICE AGAINST TRANSIENTS OVERVOLTAGES (SPD) EQUIPO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBREPRESIONES TRANSITORIAS (SPD)		
			VIBRATION SENSOR SENSOR DE VIBRACIÓN		AUTO TRANSFORMER AUTO TRANSFORMADOR		JUNCTION BOX CAJA DE CONEXIONES		
			HEATER CALENTADOR		AUTOMATIC TAPS CHANGER TRANSFORMER TRANSFORMADOR DE REGULACIÓN DE CARGA AUTOMÁTICA		HIGH VOLTAGE CIRCUIT SWITCHER INTERRUPTOR-SECCIONADOR DE ALTA TENSIÓN		
			LOCAL STATION CONTROL ESTACIÓN DE CONTROL LOCAL						
			DOUBLE AIR BREAK SWITCH LOAD BREAK TYPE (LINE 1 - CLOSE, LINE 2 - OPEN) SECCIONADOR EN AIRE DOBLE BAJO CARGA (LINEA 1 - CERRADO LINEA 2 - ABIERTA)						

Anexo 8

Planos diagramas unifilares del sistema eléctrico





Anexo 9

Glosario de términos

IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, organización profesional dedicada a promover y divulgar los avances científicos en las áreas de ingeniería eléctrica, electrónica y afines.

ANSI: *American National Standards Institute*, organización que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios y procesos en los Estados Unidos.

NFPA: *National Fire Protection Association*, organización fundada en Estados Unidos encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de medios de protección contra incendios.

NEC o NFPA 70: *National Electrical Code*, estándar estadounidense para la instalación segura de alumbrado y equipos eléctricos. Es parte de la serie de normas de prevención de incendios publicada por la NFPA.

NFPA 780: norma para la instalación de sistemas de protección contra rayos, proporciona un recurso integral para salvaguardar vidas y propiedades contra incendios y peligros relacionados con eventos de rayos.

IEEE std 80: guía que brinda la orientación e información pertinente a las prácticas seguras de un sistema de puesta a tierra en el diseño de subestación de corriente alterna.

IEC: *International Electrotechnical Commission*, organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.

Máxima demanda: valor máximo de la demanda de potencia o consumo máximo coincidente de las cargas en un sistema eléctrico.

Margen de reserva: porcentaje adicional que se le da a la máxima demanda para suplir el incremento de cargas futuras en la instalación