

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO DE UN SISTEMA DE CHANCADO DE MINERAL

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

WILLIAM JOSÉ CHANG CHANG

**PROMOCIÓN
1985- I**

**LIMA – PERU
2010**

**SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO DE UN
SISTEMA DE CHANCADO DE MINERAL**

*Dedicado a mis padres y colegas
por su apoyo e incesante labor*

SUMARIO

El objetivo del presente informe es implementar un sistema de equipos que permita transportar, clasificar, triturar y seleccionar el mineral proveniente de un proceso de extracción minera de cobre de tajo abierto de la Compañía Minera Antamina.

La implementación del sistema eléctrico requerido comprenderá la acometida que se tomará de la sala eléctrica de la sub estación principal de la mina en 23 kV, utilizando para ello un alimentador subterráneo.

Se instalarán además dos transformadores de potencia de 4 MVA 23/4.16 kV y 2 MVA 4.16/0.48 kV. Una sala eléctrica ubicada sobre la sub estación, equipada con Celdas de Media y Baja Tensión, del tipo Metal Clad, tanto para las cargas en 4.16 kV como para 480 VAC ubicadas en sus respectivos Centros de Control de Motores.

Por requerimientos de la operación se necesita regular la velocidad de las fajas transportadoras de mineral. Por ello se incluirán variadores de velocidad, que de acuerdo con los estándares del cliente, deberán ser de no menos de 12 pulsos, a fin de mantener bajo control las distorsiones de tensión y corriente de su red.

Otro aspecto a considerar en este trabajo es la gestión de la información y el alcance del sistema de chancado, el cual pasa por numerosas etapas debido a las múltiples restricciones que sufre el proyecto por razones técnico-económicas y operativas, al tener que implementarse el nuevo sistema en medio de instalaciones existentes y en operación.

ÍNDICE

PROLOGO.....	1
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	3
1.1 Introducción.....	3
1.2 Antecedentes	3
1.3 Objetivo del Sistema de Chancado.....	4
1.4 Definición del Alcance del Proyecto.....	5
1.5 Gestión de la Integración y Coordinación de los Requisitos del Proyecto	6
CAPÍTULO II	
CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO	8
2.1 Consideraciones Técnicas Generales	8
2.2 Criterios de Diseño del Cliente	9
2.2.1 Códigos, Regulaciones y Estándares	9
2.2.2 Características del Sistema	10
2.2.3 Tensiones Nominales de Utilización – Equipos	14
2.2.4 Energía de Control e Instrumentación	14
2.2.5 Encerramientos de los Equipos Eléctricos.....	15
2.2.6 Celdas Eléctricas (Switchgears).....	15
2.2.7 Centro de Control de Motores	16
2.2.8 Variadores de Velocidad.....	17
2.2.9 Transformadores Secos.....	17
2.2.10 Motores Eléctricos	17
2.2.11 Transformadores de Potencia.....	18
2.2.12 Cables.....	18
2.2.13 Canalizaciones	20
2.2.14 Protección de Puesta a Tierra y Sobretensiones	21
2.2.15 Alumbrado	22
2.2.16 Dispositivos de Control para Motores	23
2.2.17 Condiciones Ambientales Especiales	24

2.3	Consideraciones de Calidad de Energía	24
CAPÍTULO III		
INGENIERÍA DEL PROYECTO.....		
26	26
3.1	Criterios Generales	26
3.1.1	Base Conceptual	27
3.1.2	Entregables.....	28
3.2	Cálculos y Selección de Equipos.....	29
3.2.1	Demanda Eléctrica.....	29
3.2.2	Derrateo de Capacidad de los Equipos Eléctricos	29
3.2.3	Nivel de Aislamiento	30
3.2.4	Niveles de Corto Circuito del Sistema.....	30
3.2.5	Selección del Equipamiento.....	32
3.2.6	Instalaciones Proyectadas	37
3.2.7	Sistema de Tierra	38
3.2.8	Protección contra Sobretensiones	39
CAPÍTULO IV		
OPTIMIZACIÓN DEL EQUIPAMIENTO Y PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE		
CHANCADO.....		
49	49
4.1	Optimización del Equipamiento y Presupuesto del Proyecto	49
4.1.1	Sistema de Protección Atmosférica	49
4.1.2	Arrancadores de Media Tensión	50
4.1.3	Calidad de Energía.....	50
4.1.4	Variadores de Velocidad.....	51
4.1.5	Dispositivos de Protección.....	53
4.1.6	Balance Final de Beneficios	55
4.2	Entregables de la Ingeniería de detalle.....	56
4.2.1	Documentación Técnica y Planos.....	56
4.2.2	Estándares Constructivos.....	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
57	57
ANEXOS		
58	58
BIBLIOGRAFIA		
91	91

PRÓLOGO

El objetivo del presente informe es presentar una metodología para el desarrollo de una ingeniería que permita la selección más adecuada y óptima de un Sistema de Chancado de Mineral. Durante dicho proceso se aplicarán los procedimientos y métodos dados por la normativa vigente American National Standards Institute (ANSI), International Electrotechnical Commission (IEC), aplicables a los estándares de fabricación National Electrical Manufacturers Association (NEMA).

Los alcances del proyecto se obtienen en principio de la ingeniería conceptual, la cual debido a la coyuntura actual se ve afectada por múltiples restricciones de tiempo, costo y calidad. Por ello, mediante una metodología de trabajo basada en las buenas prácticas del Project Management Institute (PMI), se logra redefinir, integrar y armonizar los diversos requerimientos de todos los interesados o involucrados en el proyecto, de manera directa e indirecta (inversionistas, operaciones, mantenimiento, medio ambiente, entre otros).

En el Capítulo I del informe, se presenta de manera resumida los antecedentes del proyecto y seguidamente la gestión de la información y comunicaciones manejadas, para la definición del alcance del proyecto y sus requerimientos.

El Capítulo II, se refiere a las consideraciones técnicas y criterios de diseño adoptados para el desarrollo de la ingeniería que permitirá seleccionar el equipamiento eléctrico del sistema de chancado. En adición se realiza un análisis de las consideraciones de calidad de energía en relación de la selección más adecuada de equipos no lineales causantes de la contaminación de la red por armónicos.

En el Capítulo III, se realiza el desarrollo de los cálculos de la demanda del sistema, especificaciones del equipamiento eléctrico, protección contra falla y sobretensiones atmosféricas.

En el Capítulo IV, se explican las oportunidades de mejora u optimización, identificadas durante el desarrollo del proyecto y la gestión de cambios realizada por el equipo técnico a cargo de la elaboración de la ingeniería de detalle, por causa de los cambios ocasionados

por el cliente. Dichos cambios modificaron los alcances y especificaciones originales de los equipos eléctricos del sistema de chancado de mineral, sin embargo se seleccionaron equipos idóneos para el nuevo escenario.

Finalmente, se presentan las conclusiones y lecciones aprendidas en relación a los procedimientos empleados para el desarrollo de la ingeniería del proyecto.

Complementariamente se presentan los Anexos (conteniendo Planos, Tablas, Vistas del diseño y Fotografías de avance de la construcción de la obra) y Referencias Bibliográficas.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

La Dirección de Desarrollo Corporativo de la Compañía Minera Antamina, que en adelante denominaremos como el cliente y a la vez solicitante del presente estudio de Ingeniería, plantea el reto de desarrollar una alternativa técnico-económica que permita la continuidad de operaciones de la Planta durante el periodo de reparación general del Molino de Chancado de Mineral, estimado en 45 días calendarios. Adicionalmente, la operación regular del Molino, denominado SAG, requiere de una parada de 8 horas por mes, que en un año se traduce en 4 días adicionales, en los cuales se deja de producir concentrado.

Siendo el Molino de Chancado el equipo principal de la operación minera, resulta de vital importancia para el cumplimiento de los Presupuestos Operativo y de Inversiones de Capital de la compañía, el éxito de un proyecto que permita la recuperación del 12% de la producción anual, que se perdería al paralizar las operaciones por el período de tiempo señalado.

Para responder al reto que plantea la formulación de una propuesta que recoja por un lado los requerimientos de las diversas áreas de negocio de la empresa, así como las limitaciones que impone la construcción de nueva infraestructura en medio de instalaciones existentes de una planta minera en servicio, se enfocará el proyecto como la meta de un equipo técnico multidisciplinario de consultores que pueda interactuar con el equipo de proyecto que designe el cliente de manera que se pueda definir el alcance y procedimiento para la selección del Equipamiento Eléctrico para un Sistema Alternativo de Chancado de Mineral, que garantice el cumplimiento de los requerimientos de producción, dentro de los estándares y normas técnicas y de seguridad de la empresa.

1.2 Antecedentes

La operación de la compañía minera de cobre, considerada como una de las más grandes en tratamiento de minerales polimetálicos a nivel mundial, está ubicada en el

departamento de Ancash a 270 Km. al noreste de Lima, cuenta con una planta concentradora que produce concentrados de mineral y opera a 4,200 metros sobre el nivel del mar, produciendo diferentes concentrados de mineral, fundamentalmente de cobre y zinc. Se trata de polvos finos de mineral que han sido reducidos a micrones y que son llevados a fundiciones en el extranjero. El yacimiento cuenta además con otros minerales como el molibdeno, la plata, el plomo y el bismuto que son obtenidos de manera secundaria en el proceso de producción.

La complejidad del mineral extraído de la mina ha obligado a diseñar y construir una planta concentradora sumamente compleja, única en su tipo, equipada con la más alta tecnología. Esta planta tiene una capacidad de diseño de 70,000 TM/día, pero es capaz de procesar 80,000 toneladas diarias de hasta seis diferentes tipos de mineral.

Para ello cuenta con un gigantesco molino SAG (Semi-autógeno) marca FFE Minerals con un Gearless Mill Drive, de 38 pies de diámetro y con 27,000 caballos de fuerza; complementada con tres molinos de bolas de 24 por 36 pies y 15,000 caballos de fuerza que gracias su velocidad variable, permiten controlar los diversos tipos de mineral en proceso.

La actual coyuntura global, que ha castigado también los precios del cobre principalmente, ha obligado a replantear la triple restricción (inherente a todo presupuesto de inversión) de Alcance, Tiempo y Costo de la Ingeniería Conceptual del Proyecto.

Será el reto del presente trabajo el de gestionar los requisitos concurrentes del proyecto y los interesados a fin de entregar una Ingeniería y servicio de calidad en equilibrio con el alcance, puntualidad y dentro del presupuesto solicitados.

Cabe señalar para el Análisis de Factibilidad o Evaluación Económica del proyecto, realizado por el cliente, que el costo diario que supone esta operación, alcanza el cuarto de millón de dólares aproximadamente, mientras que el producto obtenido alcanza los US\$ 800,000/día.

De lo anterior podemos deducir que la pérdida del cliente por día que deja de producir es alrededor de US\$ 550,000 que en el lapso de tiempo que dure la parada de planta por reparación del Molino SAG, 45 días calendarios, alcanza la cifra de US\$ 24'750,000.

1.3 Objetivo del Sistema de Chancado

El Sistema de Chancado a desarrollar tiene por finalidad permitir la continuidad de operación de la mina durante la parada general de mantenimiento del Molino SAG, estimada en 45 días calendarios, estableciendo para ello una vía alterna al proceso que éste

realiza, conformada por equipos electromecánicos de características y capacidades similares que se puedan ajustar a la disponibilidad del espacio físico disponible entre las instalaciones existentes, así como los proyectos de expansión en desarrollo.

1.4 Definición del Alcance del Proyecto

La definición del alcance para el desarrollo de la ingeniería, siguiendo la metodología del PMI, que permita el equipamiento eléctrico del sistema alterno de chancado de mineral, desplegará una gestión que garantice la inclusión, coordinación e integración de todos los agentes, conocimientos y actividades relacionadas, requeridas para completar el presente proyecto.

Para ello se formulará, de manera conjunta con el cliente o usuario, una definición o enunciado del alcance del equipamiento eléctrico del sistema alterno de chancado de Mineral, lo suficientemente detallado para ser usado como base de futuras decisiones o consultas. Dicho enunciado debe mencionar las características y funciones del equipamiento eléctrico, así como los procedimientos, herramientas computacionales y normas a emplear para esta selección.

Dicho de otro modo, enunciado del alcance del equipamiento eléctrico debe indicar:

- Objetivo del mismo
- Especificaciones y características
- Criterios de aceptación, por parte del usuario
- Límites del Sistema de Chancado a desarrollar
- Documentación a desarrollar (memorias de cálculo, planos)
- Restricciones impuestas por el usuario
- Asunciones del diseñador

Del enunciado obtenido se planificarán los documentos, memorias de cálculo, planos y demás actividades requeridas que permitan el levantamiento de información y posterior sustento para el diseño y selección del sistema y equipos eléctricos de la ruta alterna de chancado de mineral.

Durante el desarrollo de la ingeniería se aplicarán procedimientos de verificación y control ya sea para los resultados obtenidos o para los cambios que puedan afectar positiva o negativamente el alcance definido para el equipamiento eléctrico del sistema de chancado. Es importante señalar que las medidas de verificación y control aplicadas serán la única garantía que permita la formalización de la aceptación de los cálculos, especificaciones y planos que se obtengan de la labor realizada.

Los componentes principales del Sistema de Chancado Alterno de Mineral requeridos para suplir las operaciones del Molino SAG son los siguientes:

- Línea de alimentación subterránea en 23 kV, 60Hz
- Celda de llegada para 23 kV, 60 Hz
- Transformador de 22.9/4.16 kV, 60Hz
- Centro de Control de Motores en 4.16 kV, 60 Hz
- Variadores de frecuencia
- Transformador de 4.16/0.48 kV, 60Hz
- Centro de Control de Motores en 480 V, 60 Hz
- Transformador de 480/400-230 V, 60Hz
- Paneles AC y DC
- Cargador y Banco de Baterías
- Sala Eléctrica y de Control
- Chancadora hidráulica
- Zarandas de gruesos (02)
- Zaranda de finos
- Transportadores de mineral
- Separador magnético, etc.
- Sistema de Puesta a Tierra y Protección Atmosférica
- Canalizaciones eléctricas, entre otros.

1.5 Gestión de la Integración y Coordinación de los Requisitos del Proyecto

Dado que el proyecto a desarrollar se ubica en el contexto de una planta existente, con diversidad de equipamiento, marcas, tecnologías, y sobre todo con personal operativo y de mantenimiento con marcadas preferencias o costumbres, la integración de los requisitos del equipamiento eléctrico para el sistema alterno de chancado de mineral, requiere de una adecuada gestión de integración que consistirá en incluir todas las actividades o procesos orientados a la identificación, unificación, compatibilización, articulación, de las características técnicas de los nuevos equipos con los existentes, así como de los requerimientos de las áreas referidas anteriormente, de manera de poder concluir un diseño y selección de equipos satisfactoriamente.

De encontrar resistencia o problemas de incompatibilidad técnica o de preferencias personales, la gestión de integración a desempeñar en el desarrollo del proyecto deberá concentrar los esfuerzos, herramientas o recursos para hacer concesiones de objetivos o

alternativas en discrepancia para viabilizar una solución técnica y de calidad que cumpla con los estándares mínimos establecidos.

A continuación se indica una relación típica de factores que la gestión de integración identifica:

- Cultura y organización del cliente
- Actitud al cambio tecnológico
- Normas, políticas del cliente a considerar
- Infraestructura y condiciones ambientales
- Competencias y habilidades del personal usuario
- Tolerancia al riesgo del usuario y la organización del cliente

De lo anterior se evidencia la necesidad de una adecuada gestión de integración que permita formular una solución a la medida de los objetivos del equipamiento eléctrico a seleccionar.

CAPÍTULO II

CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO

2.1 Consideraciones Técnicas Generales

Los criterios a tomar para la correcta y óptima selección del equipamiento eléctrico del sistema de chancado de mineral será realizado por un equipo técnico a dedicación exclusiva. Además de ello la elaboración de los planos y documentos pasarán por un proceso de control y aseguramiento de la calidad en el que el documento es revisado por el jefe de la disciplina, una vez aprobado este documento por el líder de la disciplina, éste es sometido a una revisión interdisciplinaria para efectos de que el documento sea compatible con las otras disciplinas y también evitar posibles interferencias en el diseño. Aprobado este documento por el jefe de proyecto es emitido al cliente para su revisión y aprobación. El documento técnico es emitido para construcción luego que éste haya sido revisado y aprobado por el cliente. Todos los procesos de producción de la documentación del proyecto están sujetos tanto a auditorías internas como auditorías externas a fin de garantizar que estos procesos se realicen bajo lo establecido en las normas ISO 9001.

Semanalmente se realizarán reuniones de coordinación interna como también con el cliente en función a las necesidades del proyecto, se podrán programar reuniones/visitas de trabajo a lugar de obra de ser necesario.

Para efectos de manejar el proyecto de la manera más clara y ordenada y con la finalidad de mantener las mejores relaciones con el cliente, no se procederá a realizar ningún trabajo fuera de lo establecido en el alcance definido sin antes tener la aprobación formal por parte del Cliente del cambio respectivo.

El progreso de la ingeniería será medido en términos cuantitativos, mediante ratios de valor ganado bajo el estándar PMI (Project Management Institute). Estos ratios permitirán tanto a las partes conocer el avance físico del proyecto y el cumplimiento del mismo en relación a tiempo, costo y alcance del proyecto.

El área de control documentario es la encargada de controlar toda la producción generada en cuanto a las revisiones de los documentos y los envíos de los mismos hacia el cliente para su revisión, comentarios y final aprobación.

2.2 Criterios de Diseño del Cliente

Estos criterios de diseño brindan las bases para la selección del equipamiento eléctrico y construcción del sistema de chancado de mineral del presente proyecto, estableciendo en detalle la filosofía de diseño y de instalación del cliente, sin limitar las buenas prácticas de diseño en ingeniería.

2.2.1 Códigos, Regulaciones y Estándares

a) Códigos

El diseño eléctrico y la construcción se realizarán conforme a los requerimientos de los siguientes códigos:

- o ANSI/NFPA 70-2005, Código eléctrico Norteamericano (NEC)
- o ANSI C2-2005, Código Nacional de Seguridad Eléctrica (NESC)

b) Regulaciones

El diseño eléctrico será conforme a las últimas regulaciones aplicables de las siguientes organizaciones:

- o OSHA U.S. (Administración de la seguridad y salud ocupacional)
- o MSHA U.S. (Administración de la seguridad y salud minera.)

c) Estándares

Equipos, materiales, componentes y funciones eléctricas serán diseñados, construidos, clasificados, probados y funcionarán de acuerdo con los últimos estándares, requerimientos, recomendaciones y guías aplicables de las siguientes organizaciones:

- o AISI Instituto Americano de Hierro y del Acero.
- o ANSI Instituto Americano de Normas Nacionales
- o ASTM Sociedad Americana para pruebas y materiales.
- o IEEE Instituto Ingenieros Electricistas y electrónicos
- o IESNA Sociedad de Norteamérica, Ingeniería de Iluminación
- o NEMA Asociación de fabricantes eléctricos
- o NFPA Asociación Nacional de Protección contra el Fuego

Adicionalmente a los códigos y estándares antes mencionados, el diseño y la construcción eléctrica serán conforme a los requerimientos de ley o regulaciones de autoridades locales incluyendo el Código Nacional de Electricidad (CNE). En caso se presente conflicto entre requerimientos y estándares, prevalecerá la más estricta.

d) Estándares Alternativos

- o CSA Asociación de Normalización de Canadá

- o IEC Comisión Electrotécnica Internacional

e) Especificaciones Relacionadas

Las siguientes especificaciones cubren otros requerimientos de diseño y serán tomados en cuenta si son referenciados en las especificaciones relevantes de los equipos:

- o Especificación para motores de inducción de baja tensión.
- o Especificación para grandes motores de inducción de media tensión.
- o Especificaciones para Switchgears de media tensión tipo Metal Clad
- o Especificación para transformadores de Potencia sumergido en líquidos aislante.
- o Especificación para Centro de Control de Motores de Baja Tensión
- o Especificación para arrancadores de media tensión

Los siguientes planos serán seguidos para símbolos y estándares constructivos.

- o Abreviaturas y Símbolos de Diseños Eléctricos
- o Abreviaturas y Símbolos de Diseños Eléctricos.
- o Estándares Constructivos para Distribución de Energía.
- o Estándares Constructivos para Alumbrado.
- o Estándares Constructivos para Puesta a Tierra.

2.2.2 Características del Sistema

a) Factores Ambientales y Climáticos del Lugar

Los factores ambientales y climáticos a considerar para el diseño y selección del equipamiento son los siguientes:

- o Altitud sobre el nivel del mar: 4,200 msnm
- o Nivel Cerámico 40
- o Temperatura máxima del ambiente 40°C
- o Temperatura Mínima del ambiente -5°C
- o Temperatura máxima del aire: 24.6 °C
- o Temperatura promedio del aire: 10.4 °C
- o Temperatura mínima del aire: -8.9°C
- o Nivel de nieve en el terreno 48 mm
- o Precipitación anual 1,550 mm
- o Máxima velocidad del viento 140 km/h
- o Dirección del Viento: Variable
- o Zona Sísmica UBC: 4

b) Sistema de Distribución

De acuerdo con el Estándar de Sistemas Nominales y Rangos de Voltaje (IEEE 141-1993), Tabla 2.1, las características eléctricas del sistema eléctrico del proyecto se mencionan a continuación:

- Voltaje Alimentación Primaria: 23 kV AC
- Voltaje de Utilización Media Tensión: 4.16 kV AC
- Voltaje de Utilización Baja Tensión: 480V AC
- Voltaje Iluminación & Tomacorrientes: 400/230 V AC, 3Ø, 4W
- Voltaje para motores monofásicos < 0.25 kW: 230V AC, 2W
- Sistema de Red Primaria: 3W, c/resistencia de PAT
(400 A, 6 ohm, 10 sg)
- Red de Media y Baja Tensión: 3W, sólidamente aterrizado
- Frecuencia: 60 Hz
- Máximo Corto Circuito Trifásico a 23kV: 40 KA (Solo para la Selección de Equipos)
- Mínimo Corto Circuito Trifásico a 4.16kV: 25 kA
- Regulación de voltaje: +/-5%

c) Caída de Voltaje admisible, se basará en lo siguiente:

- Las conexiones entre los transformadores de potencia y el interruptor principal secundario serán longitudes cortas de ducto de barra colectora o cables con caídas de voltaje cero.
- Las conexiones entre transformadores de iluminación y tableros de control serán longitudes cortas de cable con caídas de voltaje cero.
- La regulación del transformador no será considerada para condiciones de operación normal ya que la posición del tap de los transformadores serán cambiados para obtener un nivel de voltaje de barra colectora especificado bajo condiciones normales de carga.
- La impedancia del transformador será considerada para los cálculos de caída de voltaje durante el arranque de los motores grandes.
- Para los cálculos de caída de voltaje durante en arranque del motor, será usado el mínimo nivel de corto circuito en la barra colectora.

d) Puesta a Tierra de los Neutros

El régimen de funcionamiento del neutro se define, con carácter orientativo, de la siguiente manera:

- Distribución en alta tensión; de acuerdo con lo requerido por la compañía

suministradora de energía eléctrica.

**Tabla 2.1 - Sistemas Nominales y Rangos de Voltaje
(IEEE Estándar 141-1993)**

Clase de Voltaje	Voltaje Nominal del Sistema	
	3 Cables	4 Cables
Baja Tensión	240/120	208Y/120
	240	240/120
	480	480Y/277
	600	---
Media Tensión	2400	4160Y/2400
	4160	8320Y/4800
	4800	12000Y/6930
	6900	12470Y/7200
	13200	13200Y/7620
	13800	13800Y/7970
	23000	20780Y/12000
	34500	22860Y/13200
	46000	24940Y/14400
	69000	34500Y/19920
Alta Tensión	115000	---
	138000	---
	161000	---
	230000	---
Extra Alta Tensión	345000	---
	500000	---
	765000	---
Ultra Alta Tensión	1'100,000	---

- Distribución Interna – Media Tensión (2.3 – 7.2kV); con neutro a tierra a través de una resistencia o impedancia que limite la corriente de falta a tierra de 400 A, 6 ohm, 10 sg.
 - Distribución Interna – Baja Tensión; con neutro sólidamente conectado a tierra.
 - Instrumentación & Control; conectado directamente a tierra.
 - Neutro aislado (donde se requiera).
 - Sistemas C.C.; sistema aislado.
- e) Nivel de Aislamiento

Los niveles de aislamiento normalizados por la IEC, a emplear en el proyecto son mostrados en la tabla siguiente.

Tabla 2.2 - Niveles de Aislamiento Normalizados para las Tensiones Asignadas Rango I ($1 \text{ kV} < U_m = 245 \text{ kV}$) - IEC 60071 - 1 (1993)

Tensión máxima del equipo U_m [kV] (valor eficaz)	Tensión de soportabilidad normalizada de corta duración a frecuencia industrial [kV] (valor eficaz)	Tensión de soportabilidad normalizada al impulso tipo rayo [kV] (valor pico)
3,6	10	20
		40
7,2	20	40
		60
12	28	60
		75
		95
17,5	38	75
		95
24	50	95
		125
		145
36	70	145
		170
52	95	250
72,5	140	325
123	[185]	450
	230	550
145	[185]	[450]
	230	550
	275	650
170	[230]	[550]
	275	650
	325	750
245	[275]	[650]
	[325]	[750]
	360	850
	395	850
	460	1050

f) Regulación de Frecuencia

La frecuencia del sistema se ubicará entre los límites +/- 1% de 60 Hz como base, bajo condiciones normales. En períodos de emergencia la regulación puede ser +/- 5%.

g) Caída de Tensión en Operación Normal

La caída de voltaje admisible en los cables, basado en carga total, no debe exceder los siguientes valores:

Cables de Distribución Primaria (11kV)

3%

Cables de distribución secundaria (4.16KV y 480 V)	3%
Alimentador de Motor, Iluminación ,transformador	3%
Circuito derivado de Iluminación (panel de control y artefacto o salida remota)	3%
Circuito derivado de Motor	3%
En barras de tableros de distribución cuando arranca un motor	10%
En barras de tableros de distribución cuando arrancan motores en grupo o motores grandes.	15%
En borneras de motores que arrancan.	20%

h) Suministro de Energía de Respaldo

Por la naturaleza de la operación de este sistema y los planes futuros del cliente, no hay provisión adicional para suministro de energía de respaldo para el proyecto.

2.2.3 Tensiones Nominales de Utilización – Equipos

Los siguientes voltajes serán clasificados como voltajes AC para utilización de equipos, los cuales serán preferiblemente restringidos a los rangos de carga indicados:

- 4.0 kV, 60 Hz, trifásico, 3-hilos, para motores mayores a 298 kW
- 460 V, 60 Hz, trifásico para cargas desde 0.25 kW hasta 298 kW
- 115 V, monofásico para cargas de motores que no exceda a 0.25 kW y otras cargas menores.
- 230 V, cargas monofásicas e iluminación.

2.2.4 Energía de Control e Instrumentación

a) Voltaje de Control CD

Para los interruptores de circuito y arrancadores de motor de media tensión se empleará 125 VCD, para cerrar, disparar y bloquear circuitos, provisto por una estación de baterías.

b) Voltaje de Control CA

Se empleará 115 VCA para el control remoto de los interruptores de media tensión, vía los relés de protección contra fallas del arrancador, tales interruptores de circuito serán equipados con un dispositivo de disparo, de actuación directa, por bajo voltaje de control de 125 VCD.

c) Instrumentación y control

La energía para los circuitos de instrumentación, controladores lógicos programables y circuitos de by-pass asociados a los UPS, será generalmente obtenida de transformadores de voltaje constante y paneles de instrumentos, en 115 VCA, independientes de los suministros de fuerza y control. Dichos transformadores de instrumentación serán

suministrados con una pantalla electrostática entre el bobinado primario y el secundario para atenuar “el ruido” eléctrico, las interferencias y las transitorios.

2.2.5 Encerramientos de los Equipos Eléctricos

a) Encerramiento de las Celdas (Switchgear)

Todos las celdas (Switchgears) deben ser del tipo de encerramiento “Metal-Clad” o Compartimentado. Los encerramientos para las celdas instaladas al exterior de los cuartos eléctricos serán resistentes al polvo y a la intemperie.

b) Encerramientos de Centros de Control de Motores

Todos los centros de control de motores tendrán un encerramiento metálico “Metal Enclosed” o NEMA 12. Los centros de control de motores instalados al exterior y al interior de áreas húmedas serán instalados en una cubierta para equipos eléctricos NEMA 3R resistentes a la lluvia y al hielo.

c) Encerramiento de Motores

Los motores serán totalmente cerrados, refrigerados mediante ventiladores, del tipo requerido para trabajo en condiciones severas.

d) Encerramiento de Transformadores Tipo Seco

Los transformadores tipo seco ubicados dentro de áreas secas y limpias tales como oficinas y cuartos de equipamiento eléctrico, tendrán encerramientos ventilados. Transformadores tipo seco instalados en áreas sucias ó húmedas tendrán encerramiento no ventilados.

e) Otros Encerramientos de Equipos Eléctricos

Otros equipamientos eléctricos tendrán los siguientes encerramientos tipo NEMA o equivalentes cuando los recubrimientos NEMA no apliquen:

- NEMA 1, para propósitos generales para uso en cuartos de control y oficinas.
- NEMA 12, hermético al polvo para uso en toda área seca. Estos encerramientos pueden tener ventilación filtrada.
- NEMA 3, hermético al polvo, a la lluvia y resistente al hielo para uso general en exteriores a áreas donde no se realizan procesos.
- NEMA 4, hermético al polvo y agua, para uso en áreas de procesos ocasionalmente húmedas y todas las áreas proceso externas.

2.2.6 Celdas Eléctricas (Switchgears)

Como se indicó en el subtítulo 2.2.5.a, las celdas eléctricas tendrán cerramientos metálicos del tipo metal-clad, y su intensidad de cortocircuito de pico (ip), valor

instantáneo debe definir el esfuerzo dinámico momentáneo a ser soportado por todos los elementos activos tales como: barras principales y sus derivaciones, soportes, transformadores de medida, reactancias, etc., así como por los interruptores y seccionadores en posición “cerrado”. Estos mismos elementos deberán soportar, sin dañarse, cualquier cortocircuito o sobrecarga, teniendo en cuenta el tiempo de respuesta de los elementos de protección (I^2t).

Los interruptores de M.T. para 23kV y 4.16 kV, serán del tipo uso interior, con interruptor al vacío o fusible bajo carga con cerramiento metálico. El tipo constructivo del panel será unitario a instalar dentro de salas eléctricas; sus relés de protección serán de estado sólido.

2.2.7 Centro de Control de Motores

a) CCM de Media Tensión

El centro de controles de motores de media tensión para servicio en 4.00 kV serán de arranque suave en estado sólido. Serán completos, auto-contenidos, Clase E-2, arrancadores de combinación comprendiendo el seccionador fusible de desconexión, el contactor en vacío de aislamiento de línea (by pass) y fusibles limitadores de corriente tipo R, controlador en estado sólido, protección contra sobrecargas del motor y el contactor en vacío de desviación. Los centros de control de motores de media tensión serán de construcción de un cubículo por columna.

Se preverá un seccionador de desconexión que cierre con falla / abra con carga” en la sección de ingreso de la energía al ensamble.

b) CCM de Baja Tensión

Los Centros de control de motores de baja tensión para servicios en 460 V usarán arrancadores de combinación para motores constituido por un protector de circuito de motor (MCP) tipo interruptor instantáneo y un contactor en aire para los tamaños NEMA 1 hasta NEMA5, los arrancadores tamaño NEMA6 se localizarán en los centros de controles de motores para alimentar otras cargas que no sean motores. Los interruptores de baja tensión para 480V serán en caja moldeada, con relés de estado sólido (largo tiempo, tiempo corto, instantáneo y protección contra fallas a tierra) serán provistos para cada interruptor de baja tensión. La capacidad de interrupción clasificada mínima para los centros de control de motores de baja tensión será 65 kA simétricos. En cada centro de control de motores de baja tensión se preverá un diez por ciento (10%) de arrancadores de reserva y

de interruptores para alimentadores. La selectividad entre los interruptores de un mismo circuito debe ser asegurada.

2.2.8 Variadores de Velocidad

Los motores estándar de jaula de ardilla de AC, controlados por variadores de velocidad, para aplicaciones de motor de torque constante y que tienen un amplio rango de velocidad de operación, requieren medios especiales de enfriamiento de motor o su rango de velocidad deberá ser restringido.

Dichos variadores, de acuerdo al estándar del cliente, debe estar constituido fundamentalmente por:

- Un seccionador de entrada con fusible
- Una unidad de corrección de factor de potencia
- Filtro de armónicos (opcional)
- Interruptor de bloqueo de carga
- Contactor de vacío
- Transformador de aislamiento
- Convertidor de 12 pulsos
- Inversor de salida
- Equipos de control de acuerdo a los requerimientos de la instalación
- Arrancador constante de puenteo de velocidad (opcional)

El voltaje de salida será de 4,000V para motores de potencia encima de 150kW hasta los 2,000kW. En el presente proyecto no se emplearán variadores en motores de Baja tensión.

2.2.9 Transformadores Secos

Los transformadores secos para interiores instalados en áreas limpias y secas tales como oficinas y sala eléctricas pueden tener cerramientos NEMA1 autoventilados, con apantallamiento electrostático, 150°C, diseñado para trabajo en altura (4,500 msnm).

Los transformadores secos instalados en áreas húmedas y sucias tendrán cerramientos no ventilados.

2.2.10 Motores Eléctricos

El criterio de selección del voltaje del motor, se define en función de su capacidad o tamaño, de acuerdo con la tabla adjunta. De ello el cliente tiene estandarizado un umbral de 298 kW en adelante para motores de Media Tensión (4,000 VCA).

En todos los casos relacionados con el arranque del motor, el voltaje en los terminales del motor debe asegurar una apropiada partida y aceleración del motor. En general, la caída

de voltaje admisible en el sistema no debe exceder 15% en la barra colectora que abastece el sistema de distribución secundario.

2.2.11 Transformadores de Potencia

Serán los suministrados por el cliente. Los cuales son de uso exterior, bañados en aceite, dotados de válvula de sobrepresión, termómetros de imagen térmica, relé de presión súbita, entre otros, de las siguientes capacidades:

- 4 MVA, 23/4.16 kV, 7%, conexión Dy con neutro a tierra a través de resistencia
- 2 MVA, 4.16/0.48 kV, 6%, conexión Dy con neutro directo a tierra

**Tabla 2.3 - Selección de Potencia de Motores
Capacidades en función de la Tensión del Sistema**

Voltaje del Motor (V)	Rango de Potencia del Motor (hp)	Voltaje del Sistema (V)
460	hasta 500	480
2300	250 a 2000	2400
4000	250 a 3000	4160
4600	250 a 3000	4800
13200	sobre 2000	13800

2.2.12 Cables

a) Cables de Fuerza de Media Tensión

Los cables de fuerza de media tensión serán generalmente de polipropileno – etileno (EPR) o polietileno reticulado (XLPE), con conductores de cobre trefilado. Los cables serán clasificados como conductores para una temperatura de 90°C en servicio húmedo o seco.

Cables de fuerza de media que corren expuestos al exterior serán listados UL como resistentes a la exposición solar. Cables de fuerza de media tensión que corren en bandejas serán etiquetados UL para uso CT (bandeja de cables). Los cables de fuerza de media tensión que alimentan palas mineras, equipos portátiles o móviles estarán provistos de conductores de tierra y de verificación de aterramiento.

b) Cables de Fuerza de Baja Tensión y Cables de Control

Los cables de fuerza de bajo voltaje y los cables de control serán generalmente cables aislados con polietileno reticulado para 600 V (XLPE) con conductores de cobre trefilado. Los cables serán etiquetados UL como el tipo THHN/THWN para una temperatura de 90°C en locaciones secas y 750C en locaciones húmedas. Los cables usados en bandejas

serán etiquetados UL como tipo TC (bandeja de cable). La sección mínima del conductor será #12 AWG para cables de fuerza y # 14 AWG para cables de control e instrumentos. Los cables que corren expuestos en exteriores serán listados UL como resistentes a la exposición solar.

c) Cables de Instrumentación

Los cables de instrumentación serán generalmente cables multigrupos o individuales aislados de policloruro de vinilo (PVC) 90°C de 300 o 600 V teniendo pantallas de grupos individuales y, para cables multigrupos, pantallas totales. Los conductores serán de aleación sólida para cables de extensión termopar y cobre trefilado para todos los otros cables. Los cables serán etiquetados UL como tipo PLTC (power limited tray cable). La sección mínima del cable será generalmente #16 AWG para cables de grupos individuales y #20 AWG para cables multigrupos. Los cables corriendo expuestos en exteriores serán listados UL como resistente a la exposición solar.

d) Cables de Alumbrado

El cable de alumbrado usado para los circuitos de iluminación será generalmente del tipo unipolar con aislamiento PVC de 600V, con conductores de cobre sólido. Los alambres serán etiquetados UL como tipo THWN / THHN para temperaturas de conductores de 90°C en locaciones secas y temperatura de conductores de 75 °C in locaciones húmedas. La medida mínima de alambre será #12 AWG. (Códigos B, C)

e) Marcado de Cables y Conductores

Como mínimo, los marcadores de cables y alambres serán del tipo manguito para circuitos de energía, control e instrumentación. Los marcadores de cables serán del tipo manguito termo-contráible. Los circuitos de alumbrado no serán marcados.

f) Recomendaciones Misceláneas

- o Todos los cables de baja, media y alta tensión serán de cobre (alimentadores principales de alta tensión y unipolares de sección superior a 300mm² podrán especificarse con conductor de aluminio).
- o La sección de los conductores para los cables de primario y secundario de transformadores y de alimentación a tableros se calcularán para capacidades no menores al 115% del valor nominal del transformador ONAF o el 125% del valor nominal en ONAN.
- o La capacidad de los cables que suministran energía a los tableros de alumbrado no será inferior al 150% de la demanda máxima ajustada de la carga. Se tendrá en cuenta el

coeficiente de 1,8 que se aplicará a la potencia instalada en lámparas de descarga.

- o En el caso de neutros activos, la sección del neutro será, como mínimo, igual a la del conductor de fase.
- o Cuando un alimentador esté formado por dos o más cables en paralelo, cada cable individual, sin la combinación de los restantes conductores será capaz de soportar, sin daño, el efecto del cortocircuito cuando éste se produzca, como es previsible, en uno solo de los cables.

g) Secciones Mínimas

35 mm ²	Media Tensión (6/10 kV)
4 mm ²	Baja Tensión (0.6/1 kV)
2.5 mm ²	Alumbrado y Control (0.6 kV)
1.5 mm ²	Interconexión / Multicables
0.7 mm ²	Comunicaciones

2.2.13 Canalizaciones

a) Bandejas de Cables

Las bandejas para cables serán usadas para circuitos de fuerza, control e instrumentación irán sobre el suelo en áreas no sujetas a altos riesgos de daño mecánico. Las bandejas para cables en áreas corrosivas serán generalmente tipo escaleras de fibra de vidrio, para servicio pesado con 150 mm de profundidad exterior y 230 mm de espaciamiento máximo entre pasos. La bandeja superior de cualquier grupo de unidades separadas de bandejas de cables horizontales y cualquier recorrido de bandeja separadamente, tendrá un cobertor de bandeja sólido de fibra de vidrio cuando las bandejas van al exterior de un área interior limpia.

b) Tubería Conduit Expuesta

Las tuberías y sus accesorios que corren sobre el suelo en áreas corrosivas serán generalmente de acero rígido galvanizado con cobertura de PVC. Las tuberías con cobertura de PVC tendrán por lo menos una capa de 40 mil de PVC. Las tuberías de alumbrado que corren ocultas en áreas de oficina podrán ser tubos metálicos eléctricos galvanizados (RGS) con cajas metálicas de láminas de acero eléctrico galvanizado y accesorios (Códigos B, C).

c) Tubería Conduit Enterrada

Las tuberías que corren enterradas serán generalmente Cédula 40 PVC embebido en concreto teñido de rojo proveyendo una cobertura mínima de 75 mm. Los bancos de ductos

de tuberías enterradas que corren bajo carreteras serán reforzados con barras de refuerzo y serán de Cédula 80 PVC. Por lo menos veinte por ciento (20%) o el mínimo de un (1) conducto de repuesto serán proporcionados.

d) Tubería Conduit Embebida

Tuberías que corren en losas de concreto o a través de la base de equipos serán generalmente tuberías de acero rígido galvanizado.

e) Tubería Conduit Directamente Enterradas

Tuberías enterradas directas en tierra o zanjas sin cobertor de concreto serán generalmente tuberías de acero rígido galvanizado o Cédula 80 PVC.

f) Tubería Conduit Flexible

Las tuberías flexibles serán tuberías de acero flexible herméticas a líquidos con cobertura de PVC. Tuberías de acero flexible expuestas (por ejemplo no herméticas a líquidos) serán usadas sólo en áreas limpias como oficinas.

2.2.14 Protección de Puesta a Tierra y Sobretensiones

a) Puesta a Tierra

En general, la puesta a tierra será implementada de acuerdo con los requerimientos de la ANSI/NFPA 70.

Para la puesta a tierra de subestaciones exteriores se implementará de acuerdo con los requerimientos de la ANSI/IEEE 80.

La resistencia de los sistemas de puesta a tierra no excederá los valores requeridos por la ANSI/NFPA 70, ANSI/IEEE C2, OSHA, y MSHA.

En general, todos los conductores de puesta a tierra a emplear serán de cobre. Todas las conexiones enterradas serán hechas usando soldaduras exotérmicas para servicio pesado.

Las bandejas de los cables de energía tendrán por lo menos un conductor a tierra de 19 filamentos 2/0 AWG (70 mm²) a lo largo del recorrido, el cual terminará en la barra colectora de tierra del switchgear o Centro de Control de Motores, según aplique.

Toda puesta a tierra de cables de instrumentos protegidos será hecha conectando directamente la pantalla con el terminal de la barra colectora de tierra en gabinetes o pasadores de tierra en sólo un extremo.

Sistemas de Control Lógico Computarizado y Programable (PLC) serán conforme a los requerimientos del fabricante de equipos. Los sistemas de puesta a tierra de las computadoras y PLC serán conectados a la malla de tierra en un único punto.

Protección Contra Rayos y Sobretensiones

b) Protección contra Sobretensiones

Los Switchgear de alta y media tensión así como los transformadores serán protegidos contra sobretensiones por medio pararrayos de oxide metal varistor MOV.

c) Protección Contra Rayos

Edificios, tanques y otras estructuras serán protegidas contra rayos de acuerdo a los requerimientos de NFPA 780.

Las subestaciones serán protegidas contra rayos por medio de postes o cable de guarda.

2.2.15 Alumbrado

a) Iluminación de Descarga de Alta Intensidad (HID)

Las lámparas HID con alto factor de potencia serán generalmente usadas para alumbrado exterior de oficinas y cuartos de equipos. Las lámparas HID usaran generalmente lámparas de sodio de alta presión (HPS). Las lámparas HID de halogenuro metálico serán usadas cuando sea requerida una rendición de color elevada.

b) Iluminación Fluorescente

Fluorescentes de encendido rápido con lámparas blancas cálidas serán empleadas generalmente para alumbrado de oficinas y cuartos de equipos.

c) Iluminación Incandescente

Las lámparas incandescentes serán restringidas en alumbrados que no son usados frecuentemente.

d) Paneles de Alumbrado

Los paneles de alumbrado serán de 230 V, monofásicos, 3 alambres y 60 Hz, montaje adosado a la pared, con solo conectores de cobre, cobertura frontal con cerradura, cerramientos NEMA 1, completo con interruptores automáticos en las derivaciones de los diferentes circuitos con provisión de cerradura o enclavamiento de seguridad.

e) Alumbrado de Emergencia

El alumbrado de emergencia para todas las áreas será alcanzado a través del uso de unidades de alumbrado de emergencia incandescentes operados por baterías individuales. Este banco de baterías será alimentado desde los circuitos de alumbrado normales. Las luces de emergencia energizadas por baterías será localizado en las puertas de salida según se requiera. Las baterías para las luces de emergencia y las señales de salida tendrán capacidad de al menos una hora. Las áreas que usan alumbrado fluorescente usarán baterías y balastro integrado.

f) Salidas para Tomacorrientes

Convenientes salidas de tomacorrientes dobles en 220 VCA, de 20 A tendrán las oficinas, cuartos de control, laboratorios, comedores, corredores y los almacenes (cada 15 metros o según se requiera), con interruptores equipados con circuitos de falla a tierra de 30 mA. Todos los tomacorrientes serán puestos a tierra por medio de un alambre a tierra separado.

g) Niveles de Iluminación

El alumbrado será generalmente diseñado para los siguientes niveles de iluminación mínimo:

- Áreas de procesos generales - 300 lux o 30FC
- Áreas de almacenamiento general - 150 lux o 15 FC
- Areas de Patio - 10 lux o 1FC
- Cuartos eléctricos, cuartos de equipos mecánicos y talleres - 300 lux o 30 FC
- Cuartos de control - 500 lux o 50 FC
- Oficinas - 700 lux o 70 FC

2.2.16 Dispositivos de Control para Motores

En general, los equipos serán controlados a través del PLC, por lo tanto tienen una Estación Pulsadora local, que tiene los siguientes elementos:

- Botón de arranque, contacto momentáneo normalmente abierto.
- Botón de parada, contacto momentáneo normalmente cerrado.
- Interruptor Selector de 2 posiciones, “Local – Remoto”.
- Lámpara piloto color verde OPERANDO, tipo transformador
- Aquellos equipos que no son controlados a través de PLC, tendrán en campo una Estación Pulsadora de control local, la cual cuenta con los siguientes elementos:
 - Botón de arranque, contacto momentáneo, normalmente abierto.
 - Botón de parada, contacto momentáneo, normalmente cerrado.
 - Lámpara piloto color verde OPERANDO, tipo transformador.

Los pulsadores serán de servicio pesado, resistentes a la corrosión, herméticos al polvo y al aceite del tipo NEMA 4X/12/13. Cuando se instala en áreas abiertas, los pulsadores y selectores serán instalados en el mismo cerramiento de control o panel local del equipo que se está sirviendo.

Todo control será manual o automático. El estatus típico de motor será monitoreado por un PLC para las condiciones “Operando” y “Falla”. Habrá provisión para Encendido y Apagado remoto por PLC cuando se requiera.

2.2.17 Condiciones Ambientales Especiales

En general, todas las áreas excepto los cuartos de control, cuartos eléctricos, oficinas y almacenes serán considerados a ser sujetos de abrasión debido a partículas finas ligeras, y humedad debido a lluvia, nieve y salpicaduras.

Los cuartos de control, cuartos eléctricos y oficinas serán considerados como áreas relativamente limpias.

2.3 Consideraciones de Calidad de Energía

La distorsión armónica no es un problema nuevo en los sistemas eléctricos de potencia; ya que desde los inicios de los años setenta se ha convertido en un problema de creciente actualidad debido al aumento considerable de las cargas no lineales en las redes eléctricas. Variadores de velocidad, fuentes de poder, lámparas de descarga, en general equipamiento de electrónica de potencia.

A causa del aumento de la presencia de las cargas no lineales, la distorsión armónica de las tensiones y corriente ha aumentado; mayores armónicos de tensión y de corriente; produciendo mal funcionamiento de los distintos elementos de los sistemas eléctricos.

De lo anterior se determina que donde haya alta presencia de armónicos, se instalarán filtros, bien sea conectados a la red de A.T. o de B.T., o se tomarán las medidas adecuadas, con el objeto de limitar la tasa de armónicos a valores aceptables.

La distorsión armónica de acuerdo a la Norma IEEE Std. 519-1992, debe ser en cualquier punto del sistema eléctrico de la mina, inferior a lo indicado en la siguiente tabla de distorsiones por efecto de armónicas adjunta.

Tabla 2.4 - Consideraciones de Calidad de Energía

La Distorsión Armónica Total de Tensión (THD_v) no debe ser mayor a 5% (IEEE 519 y NTCS DS 0220 - 97 E.M. cuantifican y limitan la distorsión de las ondas eléctricas a niveles tolerables para el sistema y los receptores)

Armónicos Impares				Armónicos Pares	
Orden	Distorsión de Onda	Orden	Distorsión de Onda	Orden	Distorsión de Onda
3	5%	15	0,5%	2	2%
5	6%	17	2%	2	1%
7	5%	19	1,5%	6 al 24	0,5%
9	1,5%	21	0,5%		
11	3,5%	23	1,5%		
13	3%	25	1,5%		

Dadas las especificaciones técnicas, estandarizadas por el cliente para sus equipamientos, para el caso particular de Variadores de Velocidad, se limita el espectro de selección de

variadores de velocidad con convertidores de no menos de 12 pulsos, con lo cual cubrimos los requerimientos de calidad de energía del sistema, par el equipamiento de este sistema de chancado de mineral.

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1 Criterios Generales

Sin pretender detallar en el presente documento el desarrollo seguido para la elaboración de la ingeniería del proyecto, a manera referencial se esboza el derrotero a seguir para el diseño de este tipo de instalaciones mineras.

Para ello se definen dos etapas o fases:

- Fase I: Conocimiento y Formulación del Proyecto
- Fase II: Desarrollo de la Ingeniería de Detalle
- a) Fase I: Conocimiento y Formulación del Proyecto

En esta fase de conocimiento y adquisición de información, se contacta de manera directa con los involucrados en el proyecto, por parte del cliente, es decir todo aquél que se va a beneficiar o pudiese perjudicar con la implementación y operación del proyecto. Será responsabilidad del Gerente del Proyecto y los Líderes de Disciplina (Mecánica, Civil, Estructural, Eléctrica & Instrumentación, entre otros), captar y sentir las expectativas explícitas e implícitas de cada uno de los interesados e involucrados en el proyecto con la finalidad de cristalizar el concepto y filosofía del proyecto, acorde con el alcance definido de manera conjunta con el cliente. Complementariamente se recurre a los activos organizacionales y culturales del cliente (políticas, estándares, reglamentos, filosofía de control, etc.), el flujograma “Fase I: Conocimiento y Formulación del Proyecto”, mostrado en el Anexo B, detalla gráficamente los pasos a seguir, así como los elementos complementarios a cada paso.

- b) Fase II: Desarrollo de la Ingeniería de Detalle

En esta parte del desarrollo del proyecto habiendo definido y formulado el concepto y filosofía del proyecto, se puede determinar:

- El proceso y actividades requeridos
- Los equipos involucrados
- Requerimientos mecánicos de los equipos (materiales, potencia, etc.)

- Arreglos generales (lay-out)
- Demanda eléctrica
- Diagrama unifilar
- Estudios de flujo de carga y corto circuito
- Tipo de instalaciones

El diagrama de flujo “Fase II: Desarrollo de la Ingeniería de Detalle”, mostrado en el Anexo B, detalla gráficamente las actividades y procesos que interactúan para tal fin.

3.1.1 Base Conceptual

La base conceptual para la elaboración de la ingeniería del proyecto, ha requerido fundamentalmente (como se indica en el subtítulo 1.4), de el Enunciado del Alcance del Proyecto, formulado por el cliente, en coordinación con sus áreas operativas y desarrollo corporativo.

A partir del Enunciado y con la participación del equipo técnico del cliente se define el Alcance del Proyecto, el cual definirá conjuntamente con las especificaciones y estándares del cliente, el tipo de equipamiento e instalaciones a construir.

Una vez formulado el Alcance (puede presentarse más de una propuesta), se valida conceptualmente.

Para el proyecto en particular, el cliente, propuso un sistema mecánico de Chancado y Segregación de sólidos compuesto de un Tripper (o desvío de la faja de alimentación del molino SAG), tres Zarandas y un conjunto de cinco fajas transportadoras que conduzcan el mineral desde el desvío hasta los molinos de bolas, según indica el plano (obsoleto por los cambios realizados) de Arreglo General de Planta – 240-M-2005, del Anexo A.

Por razones ajenas al proyecto (planes de desarrollo corporativo y reducciones de presupuestos, coyuntura económica) el cliente solicitó un replanteo que quedó a entera discreción del consultor de ingeniería.

Frente a este nuevo escenario se procedió a realizar las siguientes actividades orientadas a encontrar una alternativa que satisfaga los nuevos requisitos del cliente:

- Visitas de Campo
- Reuniones con el Personal Operativo de la Planta Concentradora
- Levantamiento de Información de Campo (Topografía del terreno, Verificaciones de espacios, alturas)
- Análisis de Riesgo (Interferencias, Impacto Ambiental, entre otros, Logística de materiales, mano de obra y equipos)

- Interconexiones (Tie-In) con las instalaciones existentes (Electricidad, Control, Instrumentación, Líneas de Proceso, Contra Incendio, entre otros)
- Revisión de la información suministrada (planos as-built, planos y documentación de los proveedores de equipos y materiales)
- Identificación de la información faltante y consultas al cliente o de los proveedores de equipos y materiales
- Planeamiento del trabajo de gabinete

De lo anterior se determinó reconfigurar el sistema de chancado de mineral reduciendo las fajas de transporte de cinco a sólo tres, como se muestra en el plano Distribución de Fuerza y Control Arreglo General – 240-E-3014, en el plano P&ID Zona de Tripper y Faja Transportadora 317-CVB-031 - 240-M-1003, en el plano P&ID Zona de Zarandas 240-M-1004, y en el plano P&ID Zaranda Húmeda 240-M-1008, todos ellos presentados en el Anexo A, y con ello modificar los arreglos y potencias mecánicas de los accionamientos de los equipos. A continuación se indican la información del cliente considerada para la estructuración del sistema de chancado de mineral.

Tabla 3.1 - Información del Cliente

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION
1	s c	Enunciado del Alcance del Proyecto
2	s c	Alcance del Proyecto
3	000-E-1000	Especificación Técnica Notas, Simbolos y Detalles de Canalizaciones (Estándares Constructivos, incluye estación de Botoneras)
4	000-E-2000	Especificación Técnica Sistema de Iluminación (Estándares Constructivos)
5	000-E-2100	Especificación Técnica Sistema de Puesta a Tierra (Estándares Constructivos)
6	000-E-5000	Especificación Técnica Detalles sobre Estaciones de Control (Estándares Constructivos)
7	varios	Planos as-built

3.1.2 Entregables

De lo anterior definimos los tipos de documentos a elaborar, señalados a continuación:

- Memorias de Cálculo
- Especificaciones Técnicas de Equipos
- Estándares Constructivos
- Alcance del trabajo
- Memorias Descriptivas

- Planos Unifilares
- Planos de Distribución de Fuerza y Control
- Planos de Distribución de Alumbrado
- Esquemáticos de Control e Interconexión, entre otros.

3.2 Cálculos y Selección de Equipos

3.2.1 Demanda Eléctrica

La línea de chancado de mineral alterna, diseñada por el área de procesos de la empresa minera, consideró un equipamiento, basado en los estudios de pre-factibilidad de su área de procesos, sin embargo factores externos y un análisis más profundo del proceso condujo a un segundo escenario en el que se optimizaron los espacios físicos y el presupuesto, con lo cual se redujo la demanda de 2,966 a 2,791 kVA (175 kVA, 6 %), con la consecuente reducción de equipos y sus correspondientes instalaciones, cuando menos (ver cuadro de Estimación de la Demanda Eléctrica).

3.2.2 Derrateo de Capacidad de los Equipos Eléctricos

La ubicación de la instalación del proyecto de mayor altitud está a 4200 msnm (según indica el subtítulo 2.2.2. a), por ello la capacidad de los equipos eléctricos será reducida por los siguientes factores de reducción ANSI [1]:

- a) Factor de reducción de voltaje para equipos de MT, herméticos al aire; se calcula con la Fórmula (3.1) – Derrateo de Tensión por Altura en MT

$$F_v = 1.00 - 0.0001 \times H \quad (H \geq 1,000 \text{ msnm}) \quad (3.1)$$

De donde se obtiene que el factor de derrateo por tensión para los equipos de este sistema de chancado de mineral es: $F_v = 0.68$ para 4200 msnm

- b) Factor de reducción de corriente para equipos de MT, refrigerados; se calcula con la Fórmula (3.2) – Derrateo de Corriente por Altura

$$F_i = 1.00 - 0.00002 \times H \quad (H \geq 1,000 \text{ msnm}) \quad (3.2)$$

De donde se obtiene que el factor de derrateo por corriente para los equipos de este sistema de chancado de mineral es: $F_i = 0.936$ a 4200 msnm

- c) Factor de reducción de voltaje para equipos y controles de BT (para los motores de MT); se calcula con la Fórmula 3.3 – Derrateo de Tensión por Altura en BT

$$F_v = 1.00 - 0.000105 \times H \quad (H \geq 2,000 \text{ metros}) \quad (3.3)$$

De donde se obtiene que el factor de derrateo por tensión para los equipos de este sistema de chancado de mineral es: $F_v = 0.769$ a 4200 msnm.

- d) Factor de reducción de corriente para equipos de BT; se calcula con la Fórmula 3.4 –

Derrateo de Corriente por Altura en BT

$$F_i = 1.00 - 0.00002 \times H \quad (H \geq 2,000 \text{ metros}) \quad (3.4)$$

De donde se obtiene que el factor de derrateo por corriente para los equipos de este sistema de chancado de mineral es: $F_i = 0.956$ a 4200 msnm

3.2.3 Nivel de Aislamiento

Debido a la locación del proyecto, ubicado a una altitud de 4,200 m.s.n.m., la densidad del aire en la atmósfera se ve reducida y por ende su capacidad de aislamiento. Por esta razón se debe ajustar la capacidad de aislamiento de los materiales que componen los equipos eléctricos mediante una fórmula que nos permite calcular de manera específica el nivel de aislamiento de los equipos. El valor obtenido, sin embargo, nos indica un valor de Voltaje no estandarizado por los fabricantes de equipos, de ahí que empleamos la tabla de Niveles de Aislamiento Normalizados (mostrada en el subtítulo 2.2.2.e) para obtener una “Clase de Voltaje” típica de un fabricante de equipos eléctricos reconocido. Para el caso particular el valor de F_v obtenido en el subtítulo 3.2.2.a, es igual a 0.68, de donde obtenemos:

- a) Nivel de Aislamiento en Distribución Primaria; se calcula con la Fórmula 3.5 – Clase de Tensión del Equipo de MT (BIL)

$$\text{BIL (equipo)} = V_n / F_v; \quad V_n: \text{Tensión Nominal del Sistema} \quad (3.5)$$

De donde se obtiene que el BIL de los equipos este sistema de chancado de mineral es:

$$V_p / F_v = 22.9 / 0.68 = 33.7 \text{ kV CA}$$

De la tabla referida (obtenida del Catálogo de Consulta y Aplicación de Cutler-Hammer), la Clase de Voltaje (BIL) correspondiente a los Equipos de Distribución Primaria, será de 36 kV.

- b) Nivel de Aislamiento en Distribución Secundaria; se calcula con la misma Fórmula 3.5, obteniendo el siguiente valor:

$$V_s / F_v = 4.16 / 0.68 = 6.11 \text{ kV CA}$$

De la tabla referida (obtenida del Catálogo de Consulta y Aplicación de Cutler-Hammer), la Clase de Voltaje (BIL) correspondiente a los Equipos de Distribución Secundaria, será de 7.2 kV.

3.2.4 Niveles de Corto Circuito del Sistema

Del Estudio de Corto Circuito, elaborado por un consultor externo del cliente, se han obtenido los siguientes parámetros, que nos señalan los niveles máximos de cortocircuito,

al que estarán sometidas las instalaciones de la subestación del proyecto. Dichos valores se presentan en la Tabla 3.3 – Corrientes de Corto Circuito.

Tabla 3.2 - Estimación de la Demanda Eléctrica

CODIGO	EQUIPO	CLIENTE		CONSULTORA		Δ	
		HP	kW	HP	kW	Kw	(%)
EQUIPAMIENTO @ BT - 480 V							
317-CVB-033	MOTOR FAJA N°3	200	149	---	---		
317-SCR-011	ZARANDA VIBRATORIA N°1	100	75	100	75		
240-SCR-012	ZARANDA VIBRATORIA N°2	100	75	100	75		
317-SCR-013	ZARANDA HUMEDA	200	149	200	149		
317-XFL-XX1	TRANSF. DISTRIBUCION	---	100	---	100		
W2-M2.1 Y 2.2	BOMBAS DE LUBRICACION N°1 Y N°2	20	14	20	14		
W3-M6	BOMBA "HYDROSET"	15	11	15	11		
W1-E7.1	RESISTENCIAS CALEFACTORAS	---	9	---	9		
W2-M9	BOMBA LUBRIC. EJE DEL PIÑON	0.5	0	0.5	0		
W1-M3.1 Y 3.2	VENTILADOR REFRIGERACION N°1 Y N°2	20	14	20	14		
W1-M8.1	VENTILADOR SOBREPRESION CHANCADORA	0.75	1	0.75	1		
W1-M8.2	VENTILADOR SOBREPRESION TANQUE ACEITE	0.75	1	0.75	1		
317-BAC-XX1	CARGADOR DE BATERIAS	---	25	---	25		
317-BS-XX1	BALANZA	---	2	---	2		
317-CVM-035	CALEFACCION FAJA N°5	---	1	---	---		
317-PRL-XX1	ENCHUFE PARA SOLDADURA	---	50	---	50		
317-MAS-XX1	ELECTROIMAN AUTOLIMPIANTE	---	25	---	25		
POT. INSTAL. @ BT - 480 V		814		664		150	18
EQUIPAMIENTO @ MT - 4.16 kV							
317-VDF-031	MOTOR FAJA N°1	600	447	600	447		
317-VDF-032	MOTOR FAJA N°2 (EX FAJA N°4)	250	186	500	373		
317-CRC-011	MOTOR CHANCADORA	800	597	800	597		
POT. INSTAL. @ MT - 4.16 KV		1417		1417		0	0
GRAN TOTAL POTENCIA INSTALADA (kVA)		2230		2080		150	7
GRAN TOTAL MAX. DEM. (c/Reserva) (kVA)		2966		2791		175	6

Tabla 3.3 - Corrientes de Corto Circuito

Ubicación Falla (Equipo)	Barra I 22,9 kV	Barra II 4,16 kV	Barra III 480 V
I 3Ø (317-CBM-171)	19,508	7,199	21,699
I 2Ø (317-mcm-171)	12,812	6,102	18,649
I 1Ø (317-mcl-172)	15,732	392	10,625

3.2.5 Selección del Equipamiento

a) Tecnología de Interrupción

La propuesta tecnológica actual para los disyuntores se orienta al empleo de dispositivos de interrupción de corriente (en condiciones de carga normal o de falla), en medios aislantes como el vacío y el gas (SF₆), debido a sus mejores características para la interrupción y extinción de arcos eléctricos (en relación al aceite y aire), como podemos apreciar en la Figura – Característica de Descarga de Voltaje, y la Figura – Energía de Arco (disipada).

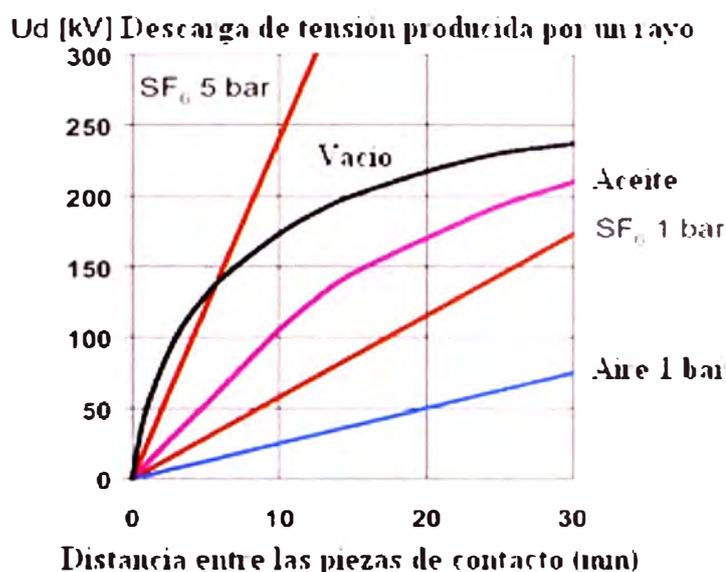


Figura 3.1 - Características de Descarga de Voltaje de diferentes medios

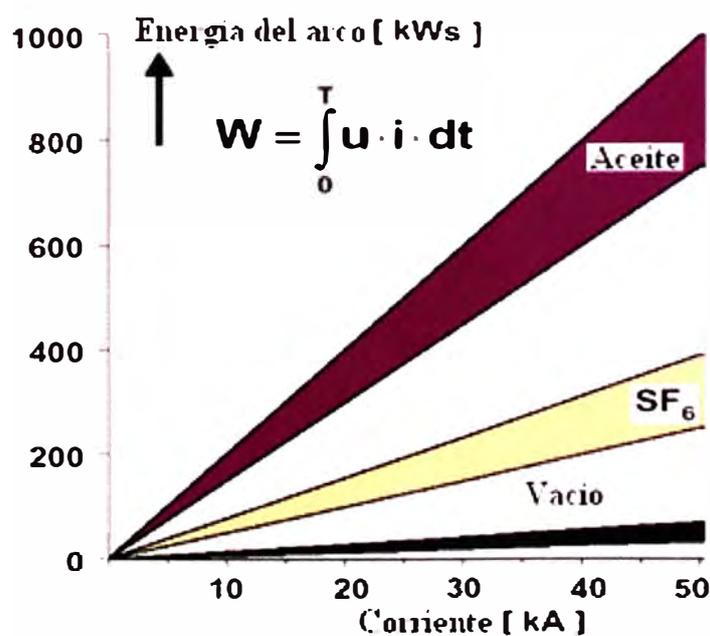


Figura 3.2 - Energía del Arco

De las figuras anteriores se observa que tanto el vacío, como el Gas – SF₆ cuentan con buenas características de interrupción, sin embargo un mayor análisis en detalle sobre las características de cada alternativa nos conducirá a una mejor evaluación y elección.

Con relación al dispositivo de interrupción de la celda, se descarta la configuración de interruptores en Gas, debido a que su comportamiento como elemento extintor decae en el tiempo y también con el uso, generando costos de mantenimiento onerosos por tener que realizarse con personal técnico entrenado por el fabricante, se justifica su uso para tensiones mayores a las existentes en la planta.

De la Tabla 3.4 – Cuadro Comparativo de Interruptores de Vacío vs. FS₆, podemos observar que el Vacío, como medio de extinción de arco, satisface los requerimientos que definen los parámetros señalados y además supera en desempeño al Gas – SF₆, destacando su efectividad para la extinción (energía disipada por el arco) y su simplicidad constructiva reflejada en la cantidad de partes que conforman sus polos.

De lo anterior optamos por el interruptor de Vacío para el equipamiento de las celdas de los equipos de interrupción de media tensión (Switchgears), tanto para Distribución Primaria como también la Distribución Secundaria del sistema de chancado de mineral, en las configuraciones de simple o doble circuito por columna, a ser instaladas en la Sub-estación y Sala Eléctrica del proyecto.

b) Selección del Interruptor

Con los parámetros obtenidos procedemos a completar las características de los interruptores y celdas (Switchgears) a emplear para 23 y 4.16 kV CA del proyecto, de acuerdo con los modelos y marcas estandarizadas por el cliente.

- o Para el caso de las Celdas en 4.16 kV CA, podemos observar que de la Tabla 3.6 – Selección de Interruptores de Media Tensión de Cutler-Hammer (fabricante homologado por el cliente), del Anexo B, encontramos el modelo de Celda 75 VCP-W 500, el cual satisface con: la Clase de Voltaje igual a 7.2 kV AC (obtenido del cálculo del BIL según subtítulo 3.2.3.b); capacidad de cortocircuito de 33 kA (indicado en la Tabla 3.3 – Corrientes de Corto Circuito en 3.2.4) y ratificado con el Nivel de Aislamiento obtenido de 95 kV 1.2x50 μ sec. (indicado en la Tabla 2.2 – Niveles de Aislamiento Normalizados para las Tensiones Asignadas Rango I – IEC 60071-1, del subtítulo 2.2.2.e).
- o De manera similar, con la misma Tabla 3.6, para las Celdas de 23 kV AC, encontramos el modelo 380 VCP-W 32, el cual supera la capacidad máxima de Voltaje del sistema

igual a 38 kV AC (obtenido del cálculo del BIL indicado en el subtítulo 3.2.3.b); capacidad de cortocircuito de 31.5 kA (ver Tabla 3.3 – Corrientes de Corto Circuito indicado en el subtítulo 3.2.4) y ratificado con el Nivel de Aislamiento obtenido de 170 kV AC - 1.2x50 μ sec. (indicado en la Tabla 2.2 – Niveles de Aislamiento Normalizados para las Tensiones Asignadas Rango I – IEC 60071-1, indicado en el subtítulo 2.2.2.e), para un requerimiento ANSI/IEEE C37.20.2, de sólo 150 kV CA (indicados en las tablas adjuntas de Niveles de Aislamiento para Celdas Metal-Clad y Metal-Enclosed).

Tabla 3.4 - Cuadro Comparativo de Interruptores de Vacío vs. SF6

Item	Tecnología Parámetro	Vacío	SF6
1	Riesgo de Inflamación	Nulo	Bajo
2	Riesgo de Explosión	No	Bajo
3	Agresividad	No	Yes
4	Toxicidad	No	Cuando se descompone
5	Capacidad dieléctrica	Constante	Se reduce con las operaciones
6	Rango de aplicación Voltaje	Hasta 40.5 kV	Ilimitado
7	Energía disipada durante el Arco	10%	100%
8	Partes móviles por polo	9	24
9	Partes fijas por polo	13	28
10	Mantenimiento de los polos	No requerido	Por personal especializado
11	Intervalos de mantenimiento	10,000 operaciones	3,000 operaciones
12	Cumplimiento de IEC 62271-100	Si	Si

Finalmente se puede concluir, en coordinación con los proveedores y fabricantes homologados por el cliente, considerar para el proyecto los siguientes equipos:

- o Celda de Llegada: Interruptor de Potencia 38 kV, para trabajar en 23 kV, contenida en celda Metal-Clad, de ejecución extraíble, modelo VCP-W, marca Cutler-Hammer USA (mostrada en el plano 240-E-1011 - Diagrama Unifilar Switchgear 317-CBM-171, del

Anexo A).

- o Celda de Llegada – Distribución: Interruptor de Potencia de 7.2 kV, para trabajar en 4.16 kV, 500 MVA, contenida en celda Metal-Clad, de ejecución extraíble, modelo 75-VCP-W500-1200, marca Cutler-Hammer USA (mostrada en el plano 240-E-1012 - Diagrama Centro de Control de Motores 317-MCM-171, del Anexo A).

Tabla 3.5 - Tensiones y Niveles de Aislamiento

Celdas "Metal-Clad" (ANSI/IEEE C37.20.2-1999)		Celdas "Metal-Enclosed (ANSI/IEEE C37.20.3-1987)	
Tensión Nominal Máxima (kV)	Tensión de Impulso (kV)	Tensión Nominal Máxima (kV)	Tensión de Impulso (kV)
4.76	60	4.76	60
8.25	95	8.25	75
15.0	95	15.0	95
27.0	125	15.5	110
38.0	150	25.8	125
		38.0	150

Selección del Arrancador (motores de MT)

Por el hecho de requerir regulación de velocidad para las operaciones de transporte de mineral, se consideró el empleo de Variadores de Velocidad. En la configuración de estos equipos de regulación, tanto por las especificaciones del cliente como también por los diseños de los fabricantes, el equipo contempla dispositivo de protección a la entrada del circuito del variador de velocidad (Contactor de Vacío con Interruptor Fusible o en su defecto un Interruptor Automático).

La configuración habitual del cliente para las celdas de circuitos de motores en media tensión, se orienta al empleo de interruptores automáticos, dada la redundancia de dispositivos de protección, presentada ante la necesidad del uso de variadores de velocidad para las fajas transportadoras de mineral 317-CVB-031 y 317-CVB-032 de 600 y 500 HP respectivamente, se planteó la alternativa de emplear Arrancadores de Media tensión equipados con interruptores fusibles y contactores directos de vacío (según muestra en el Anexo A, el plano de Diagrama Unifilar Centro de Control de Motores 317-MCM-171 – 240-E-1012).

La filosofía de operación será la de mantener a los contactores en posición “Normalmente Cerrada”, como lo estaría el interruptor automático, por el hecho de que la

operación de arranque, regulación y parada del motor de la faja estaría a cargo del variador de Velocidad. Cualquier operación de servicio al arrancador pasará por un seccionamiento del interruptor fusible del arrancador y apertura del contactor directo. Las funciones de protección se mantienen en el relé multifunción "Multilin SR469" de General Electric, de uso estándar en la industria minera.

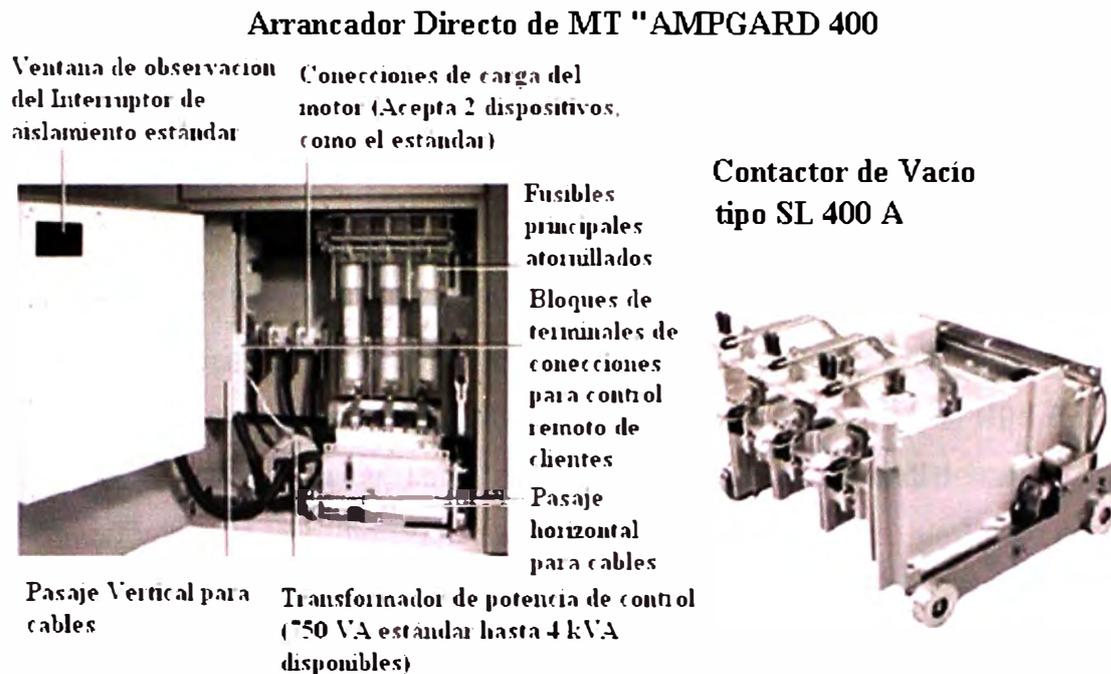


Figura 3.3 - Detalles Constructivos de Contactores de Vacío de MT, Cutler-Hammer

Finalmente de la Tabla 3.7 – Contactor de Vacío de Media Tensión Tipo SL 400 (Tabla 10.0-4 Catálogo de Consulta y Aplicación Cutler – Hammer), del Anexo B, se selecciona, en coordinación con los proveedores y fabricantes homologados por el cliente, considerar para el proyecto los siguientes equipos:

- o Arrancador Directo de 400 A, Clase 7.2 kV, equipado con fusibles de 50 kA, Contactor de vacío de 5 kV, 60 Hz, 360 A continuos, 5,000 A de capacidad de interrupción, modelo Ampgard Z210SAE, marca Cutler-Hammer.
- c) Selección del Centro de Control de Motores – CCM - en BT (motores y cargas de SSAA)

De acuerdo con los requerimientos de los equipos auxiliares se seleccionó el centro de Control de Motores, modular de las siguientes características:

- o Centro de Control de Motores trifásico, 3W, Voltaje Clase 600 VCA, de 480 a 550 VCA de operación, 65 kA, Cableado Clase 1B, Nema 1, con capacidad de barras de

3,200 A, Serie Freedom 2001, marca Cutler-Hammer, mostrado en los planos 240-E-1013 y 240-E-1014, denominados Diagrama Unifilar Centro de Control de Motores 317-MCL-172, en el Anexo A.

d) Transformadores de Potencia (23 y 4.16 kV)

Suministrados por el cliente, de acuerdo con sus especificaciones.

e) Sala Eléctrica

La sala eléctrica considerada para este sistema será de fabricación local, diseñada y fabricada por un proveedor homologado por el cliente, que de acuerdo a los requerimientos de equipo presenta las siguientes características:

- o Longitud/Ancho/Altura: 15.85/4.05/3.50 m.
- o Cargas de Diseño Techo/Piso: 250/1250 kg/m²
- o Diseño Zona Sísmica: 4
- o Equipos a contener (referencial): Celda de MT, MT CCM, LV CCM, Paneles de BT, Cargador & banco de baterías, Transformadores secos de SSAA, UPS, Paneles de control e instrumentación, Panel de CD, Equipos de aire acondicionado, Sistema de detección contra incendio, Variadores de velocidad, entre otros; mostrados en el plano 240-E-3010, denominado Sub-estación eléctrica – Disposición de equipos & iluminación, en el Anexo A.

3.2.6 Instalaciones Proyectadas

a) Listado de Equipos

Los equipos considerados en el Sistema de Chancado de Mineral, luego del replanteo realizado por el área de ingeniería, se listan a continuación:

- o Switchgear (Metal Clad, 38 kV, 1200 A, 40 kA) 317-CBM-171, ubicado en la nueva Subestación Eléctrica del sistema de Bypass del Molino SAG.
- o Transformador 317-XFP-171 (22.9/4.16kV, 4000 kVA) y su Resistencia de Neutro a Tierra 317-GRR-171 (400 A, 6 ohm, 2400 V, 10 sg), alimentado desde el Switchgear 317-CBM-171, mediante barras flexibles.
- o Transformador 240-XFU-172 (4.16/0.48 kV, 2000 kVA), alimentado desde el Centro de Control de Motores 317-MCM-171 (Metal Clad, 4.16 kV, 1200 A, 41 kA).
- o Sala Eléctrica tipo contenedor 317-EHU-171, ubicada sobre la Subestación Eléctrica, conteniendo el siguiente equipamiento (debidamente montado, cableado e instalado por su proveedor):
 - Centro de Control de Motores de Media Tensión 317-MCM-171 (Metal Clad, 4.16

kV, 1200 A, 41kA).

- Variador de Frecuencia 317-AFM-171 (4.16 kV, 600 HP).
- Variador de Frecuencia 317-AFM-172 (4.16 kV, 500 HP).
- Centro de Control de Motores – CCM en Baja Tensión 317-MCL-172 (480 VCA, 2500A, 65 kA).
- Transformador de SSAA (alumbrado y tomacorrientes) - 317-XFD-171, Tipo Seco, 112.5 kVA, 480 / 400 - 230 VCA.
- Panel de Alumbrado 317-LPA-171 (400-230VCA, 250 A, 10 kA).
- Panel de Corriente Continua 317-MCL-172 (125 VCD, 100 A, 10 kA).
- Cargador de Baterías 317-BAC-171 (125 VCD, 150 A-h).
- Banco de Baterías 317-BAB-171 (125VCD, 150 A-h).
- Equipos del Sistema de Instrumentación, entre otros complementarios que se requieran para la correcta operación y funcionamiento del sistema del presente Proyecto.

b) Instalaciones Proyectadas

El proyecto final contempla los siguientes frentes:

- o Nueva Subestación, compuesta de dos transformadores (4 MVA, 23/4.16 kV y 2 MVA, 4.16/0.48 kVA), Switchgear de entrada y Alimentador subterráneo en 23 kV, desde la celda 11 de la Subestación principal de la línea.
- o Sala Eléctrica, conteniendo el centro de Distribución primaria en 4.16kV, Variadores de velocidad de media tensión, Centro de fuerza de 480 V, Sistema de control, paneles y Transformadores de servicios auxiliares, Cargador & Banco de baterías, entre otros.
- o Montaje e instalación de los equipos e instalaciones de campo, tales como motores de Media y Baja Tensión de las Fajas transportadoras, Chancadora de mineral, Zarandas, Canalizaciones y soportes (bandejas); tendido de cableado de Fuerza, Control y Comunicación.
- o Instalación de la Malla de Tierra y Sistema de Protección Atmosférica (Pararrayos).

3.2.7 Sistema de Tierra

El sistema de tierra a diseñar para esta instalación se constituye como un complemento del sistema de tierra existente, según se indica en el plano de Sistema de Puesta a Tierra Arreglo Gral. – Planta 240-E-2009, del Anexo A; se conformará de la siguiente manera:

- o Sistema de Tierra Interno, referido a la tierra de equipos de la planta.
- o Sistema de Tierra Externo, es aquél que enlaza a todos los demás sistemas con el

sistema eléctrico de la planta, según se muestra en el esquema siguiente.

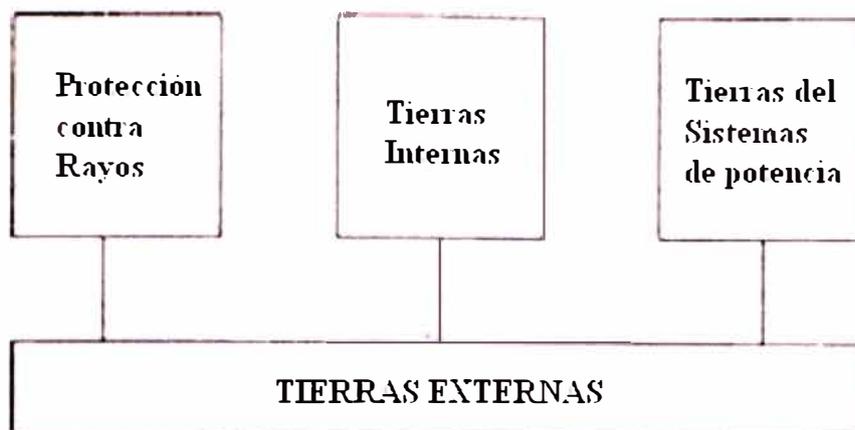


Figura 3.4 - Descripción Conceptual del Sistema de Puesta a Tierra de una Instalación Industrial o Comercial

3.2.8 Protección contra Sobretensiones

Las causas de sobrevoltajes en sistemas eléctricos son numerosas y las formas de onda complejas, sin embargo se acostumbra clasificarlas en las siguientes categorías:

- Sobretensiones a Frecuencia Industrial, normalmente ocasionadas por fallas eléctricas, cambios de carga súbitos, ferresonancia.
- Sobretensiones de Maniobra, debidas a operaciones de rutina, dispositivos de protección o flameo de aisladores.
- Sobretensiones por Descargas Atmosféricas o Rayos, debido a la exposición del sistema o instalaciones eléctricas a las circunstancias del clima.

Frente a esta situación se plantean las siguientes medidas de protección a especificar:

a) Protección contra Sobretensiones inherentes al Sistema Eléctrico

A continuación se describen los criterios considerados en el proyecto para la selección de los pararrayos de protección contra sobretensiones en los transformadores de la Subestación:

- Considerando que la Subestación es de 23/4.16 kV y capacidad mayor a 1 MVA, se considera el uso de Pararrayos de Oxido Metálico Clase Intermedia, a instalarse en la llegada del alimentador correspondiente (317CBM171P), según se indica en el plano 240-E-1011 del Anexo A).
- El suministro eléctrico para el proyecto es mediante un alimentador subterráneo en 23 kV, sistema trifásico con el neutro aterrado mediante un resistor. La tensión máxima de operación continua del pararrayos (MCOV) deberá ser mayor a la tensión eficaz

máxima fase – tierra que se puede presentar en el sistema en condiciones normales, es decir 14 kV.

Tabla 3.8 - Sobretensiones en Sistemas de Potencia

Categoría	Descripción	Causas
Sobretensiones por frecuencia de alimentación	Sobretensiones temporales dominadas por el componente de frecuencia de alimentación.	Fallas eléctricas Repentinos cambios de carga Fenómeno de resonancia
Sobretensiones de conmutación	Sobretensiones temporales producidas por una operación de conmutación.	Energización de líneas De-energización de los bancos de capacitores Falla de interrupción TRV Cambio de cierre con mucha rapidez Energización / de-energización de transformadores Otros
Sobretensiones por rayos	Sobretensiones temporales producidas por el golpe rayo, que termina en un conductor de fase, un conductor protegido, o cualquier otra parte de un sistema de poder, o un objeto cercano (árbol, etc.)	Rayos de nubes a tierra

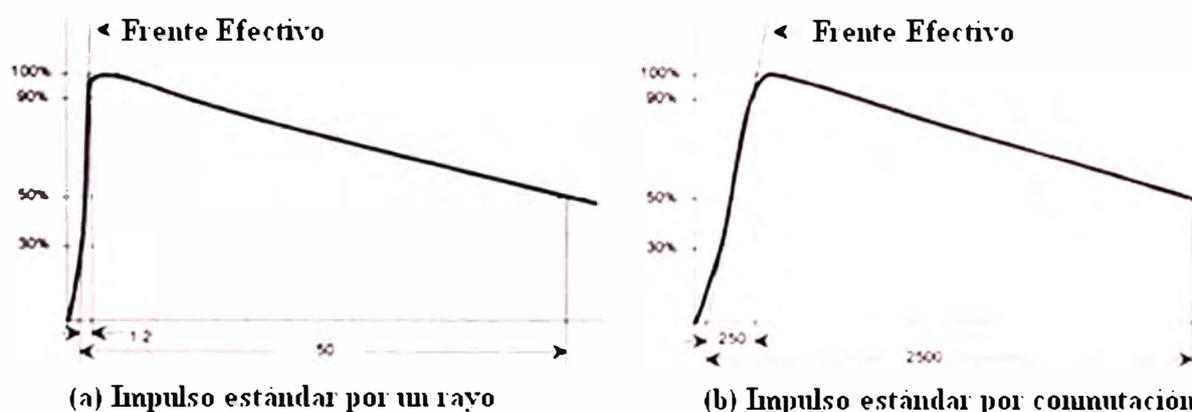


Figura 3.5 - Curvas Estándares de Sobretensiones

- o El pararrayos deberá tener la capacidad de soportar sobretensiones temporales (TOV) que se puedan producir en el sistema eléctrico, en las fases sanas, como consecuencia de una falla a tierra de una fase, por operaciones de maniobra ó principalmente por sobretensiones inducidas en la línea debido a la caída de descargas atmosféricas en zonas cercanas a la subestación. El TOV del pararrayos es una función del tipo de aterramiento y la capacidad de este para disipar las fallas.

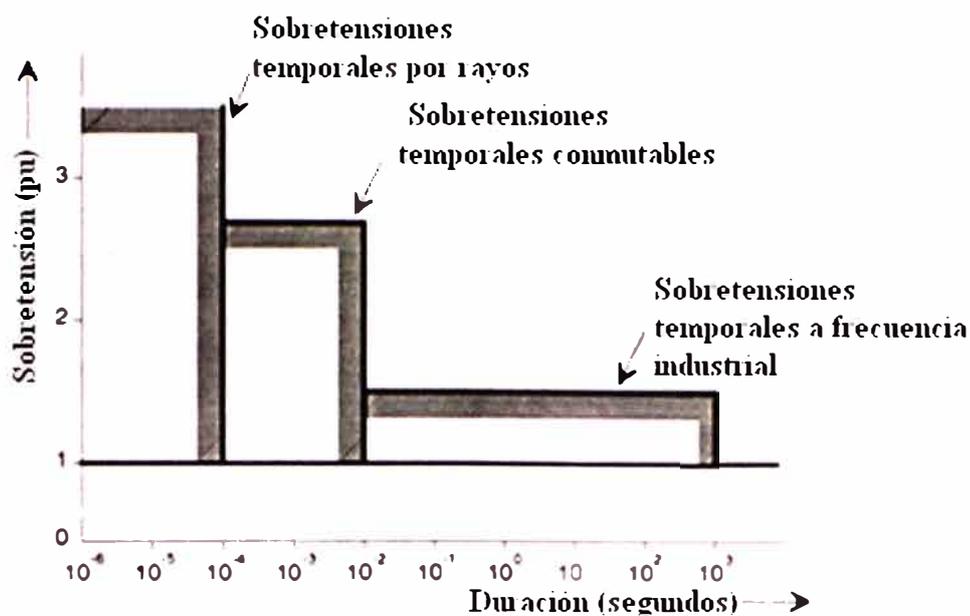


Figura 3.6 - Rangos Típicos de Magnitud y Duración de Sobretensiones

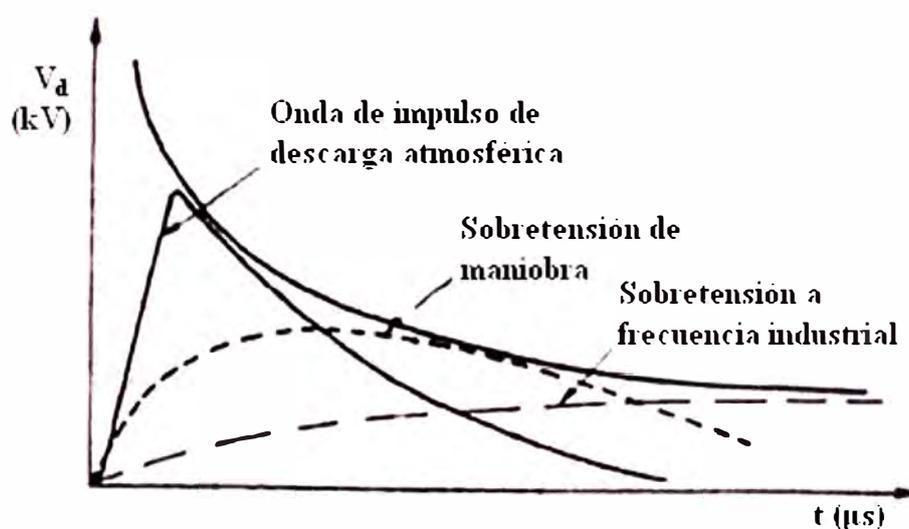


Figura 3.7 - Curvas de Sobretensiones en Sistemas de Potencia

- En el presente caso tenemos un sistema aterrado mediante una resistencia de bajo valor (400 A, 6 ohm, 10 seg.).
- Según el estándar internacional IEEE Std. C62.22-1997 Tabla 7 – “Commonly Applied Voltage ratings of metal-oxide Arresters on Distributions Systems” para el sistema existente se recomienda un pararrayos de 21 kV al cual le corresponde un MCOV de 17 kV.
- Las instalaciones involucradas se encuentran a una altitud media de 4,200 msnm, por tanto el pararrayos deberá ser fabricado para operar a esta altitud. Todas sus características descritas deberán ser para una altitud de instalación de 4,200 msnm.
- Para la Coordinación del Aislamiento, según el documento “ANSI Application Guide

C62.2-1981” se ha considerado márgenes de protección mínimos de 20%, tanto para el margen de protección para la Onda Cortada (impulso) como para la Tensión de Descarga del Pararrayos, para una corriente de descarga de 10 kA. En ambos casos se ha considerado la tensión inducida en el cable de conexión entre el pararrayos y el transformador.

- o Considerando que el cliente tiene como estándar el uso de Pararrayos de 27 kV al cual le corresponde un MCOV de 22 kV (según indica la Tabla 7 del estándar IEEE Std. C62.22-1997, este pararrayos correspondería a un sistema de 24.9 kV), de lo anterior se ha optado por seleccionar un pararrayos con las siguientes características:

- Clase	Estación
- Tensión Nominal del Pararrayos	27 kV
- MCOV	22 kV
- Tensión de Descarga máxima a 10 kA	89 kV

Es importante señalar que los pararrayos son equipos de protección contra sobretensiones internas y sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas; pero no son equipos para proteger el sistema ante descargas atmosféricas directas. Por tanto, para complementar la confiabilidad del sistema de protección contra la caída de rayos en la zona del proyecto, y evitar daños en el pararrayos de la Sub-estación así éste sea de 27 ó de 30 kV, se seleccionarán pararrayos para descargas directas.

b) Pararrayos para Descargas Directas

El sistema de pararrayos es prácticamente una gran pantalla destinada a captar cualquier descarga atmosférica y canalizarla al sistema de tierra externo de la planta con la finalidad de minimizar las diferencias de potencial dentro de las instalaciones a proteger.

Las actuales instalaciones de la mina son protegidas mediante el sistema convencional de pararrayos del tipo Franklyn, los cuales son jabalinas de cobre o bronce ubicadas en cada prominencia presente en cada estructura, edificio, soporte, zonas abiertas, entre otros, con la finalidad de formar una “envolvente” tal que impida que una esfera imaginaria de 45.75 m. (150 pies) de radio toque cualquier parte de la planta, en este caso el Sistema de Chancado de Mineral diseñado. Si esto es factible significa entonces que la zona debajo de esta superficie imaginaria está protegida contra descargas atmosféricas – rayos, dicho sistema se denomina el Sistema de la Esfera Rodante.

Debido a restricciones de orden económico que afronta el proyecto, se analizaron otras alternativas, dentro de las cuales se optó por proponer un sistema de disipación de la descarga mediante el uso de dispositivos de cebado, según la Norma UNE 21186:1996 (Norma Española). No deberá olvidarse que ningún sistema o dispositivo puede evitar la formación de rayos, así mismo una instalación de protección contra el rayo diseñada y realizada conforme a esta norma, no puede, como todo proceso en el que intervienen elementos naturales, asegurar la protección absoluta de las estructuras, personas u objetos; no obstante la aplicación de esta norma reduce de manera significativa el riesgo de daño debido a impactos de rayos en las estructuras protegidas.

Cálculo de la Densidad de Impactos (N_g):

De los Criterios de Diseño y el Mapa de Niveles Isocerámico adjunto, tenemos que el nivel Cerámico de la zona es $N_k = 40$ rayos/año, el cual aplicamos a la Fórmula 3.6 – Cálculo de la Densidad de Impactos:

$$N_g = 0.04 \times (N_k)^{1.25} \quad (3.6)$$

De donde se obtiene que $N_g = 4.02$ rayos-año/ km²

Determinación del Area Equivalente de Captura:

Para este caso, el espacio ocupado por las instalaciones del equipamiento del Sistema de Chancado de Mineral está compuesto de 2 paralelepípedos, según se indica en la figura, uno de ellos representa el espacio base (que ocupan la sala eléctrica, fajas transportadoras, motores, chancadoras) y el segundo corresponde a la torre de zarandas secas. Las dimensiones de estos espacios son las siguientes:

Espacio Base: $L = 90$ m.

$l = 16$ m.

$h = 16$ m.

Torre de Zarandas Secas: $H = 28$ m.

Cálculo del Area de Captura Equivalente de la Estructura Aislada (A_e), según la Norma UNE 21186, se calcula con la Fórmula 3.7 – Area de Captura Equivalente

$$A_e = L \times l + 6(L + l) + 9 \pi H^2 \quad (3.7)$$

De lo anterior y la fórmula, se obtiene que el área de captura equivalente para el sistema de chancado es de: $A_e = 33.620,69$ m²

Cálculo de la Frecuencia Esperada de Impactos Directos de Rayo (N_d), según Norma UNE 21186, se calcula con la Fórmula 3.8 – Frecuencia Esperada de Impactos

$$Nd = Ng \times Ae \times C1 \times 10E-6 / \text{año} \quad (3.8)$$

Donde:

C1 = coeficiente relacionado con el entorno, igual a 0,5 para nuestro caso.

Reemplazando valores obtenemos $Nd = 0,0675789$ Impactos / año

Cálculo de la Frecuencia Aceptada de Rayos (Nc), se calcula con la Fórmula 3.9 – Frecuencia Aceptada de Rayos:

$$Nc = 5.5 \times 10E-3 / C; \text{ donde } C = C2 \times C3 \times C4 \times C5 \quad (3.9)$$

Donde:

C2 (según tabla B5) = 0,5 C3 (según tabla B6) = 3 C4 (según tabla B7) = 1

C5 (según tabla B8) = 5 según indican las tablas adjuntas

Del reemplazo de valores se obtiene:

$$Nc = 0,00073333 \text{ impactos / año}$$

Selección del Nivel de Protección; según la Norma NF C17-102 si $Nd > Nc$ es necesario un sistema de protección; en este caso $Nd = 0,0675789 > Nc = 0,00073333$ impactos / año

Por lo tanto es necesario implementar el sistema de pararrayos.

Cálculo de la Eficiencia de la Instalación, según Norma UNE 21186; se calcula con la Fórmula 3.10 – Eficiencia de la Instalación

$$E = 1 - (Nc/Nd) \quad (3.10)$$

Reemplazando valores se obtiene: $E = 0,989148$

Selección del Nivel de Protección Requerido (según indica la Tabla 3.11)

De la tabla referida, seleccionamos el Nivel I, el cual se corresponde con nuestro valor de eficiencia obtenido $0,98 > E > 0,95$, y una Distancia de Cebado $D = 20$ m.

Luego, del catálogo de productos seleccionamos un modelo que se ajuste a las dimensiones de nuestro sistema (arreglo físico de equipos) y obtenemos que para un mástil de 5 m de altura, corresponde un pararrayos modelo S6.60.

Finalmente podemos concluir que para la protección contra las descargas atmosféricas de la zona del proyecto, se propone la instalación de Pararrayos con Dispositivo de Cebado – PDC, PREVECTRON N°2 Millenium, Modelo S6.60 o similar, montado sobre un mástil de 5 m., que cumpla las especificaciones de la Norma Francesa NFC 17-102. La altura de montaje del pararrayos no será menor de 2 m. sobre el nivel de la máxima altura de estructura o equipo correspondiente, según se muestra en el plano de Arreglo de Sistema de Protección contra Descarga Atmosférica – Sección 240-E-2014, del Anexo A.

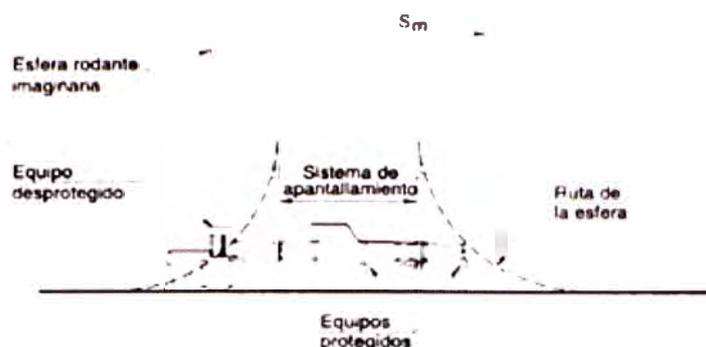


Figura 3.8 - Ilustración del concepto de la Esfera de Radio igual a la distancia de descarga S_m

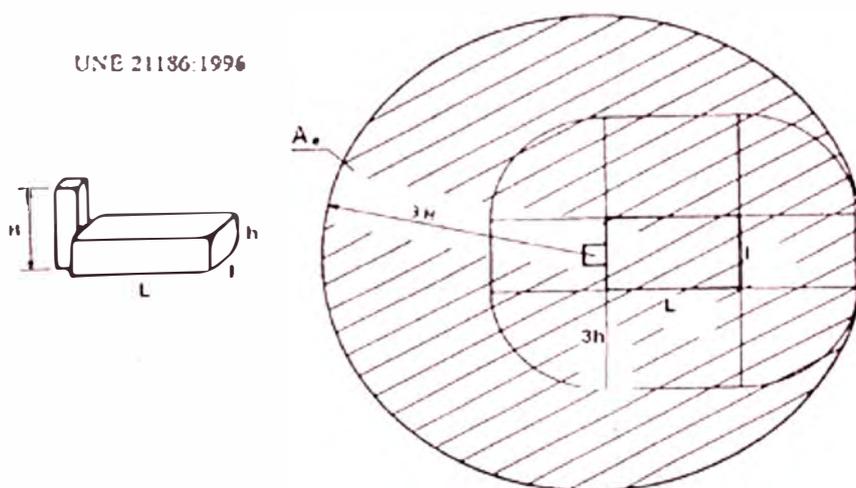


Figura 3.9 - Área de captura del Pararrayos con Dispositivo de Cebado

Tabla 3.9 - Determinación del Coeficiente C_1 - Norma NF C17102

Situación relativa a la estructura	C_1
Estructura situada en un espacio donde hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más altos	0,5
Estructura rodeada de estructuras mas bajas	0,75
Estructura aislada	1
Estructura aislada sobre una colina o promontorio	2

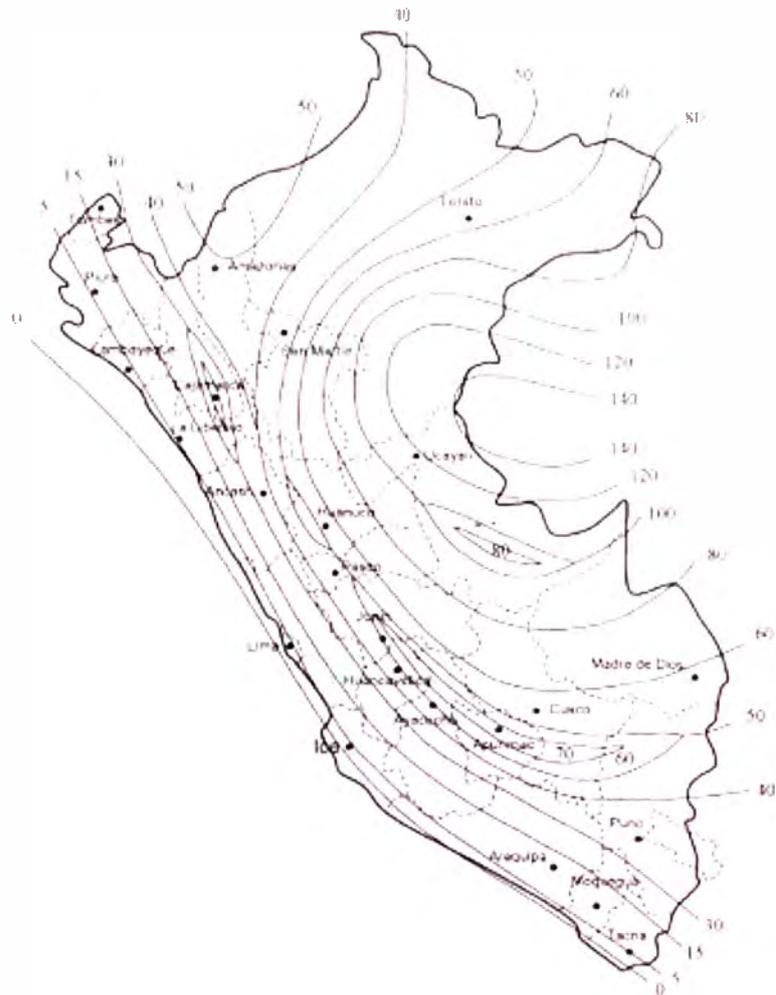


Figura 3.10 - Niveles Isocerámicos



Figura 3.11 - Vista de ubicación del Pararrayos en la máxima prominencia del Sistema de Chancado

Tabla 3.10 - Determinación de Coeficiente. - Norma NF C17102

TABLA B5				
C2 COEFICIENTE ESTRUCTURAL				
Estructura	Techo	Metal	Común	Inflamable
Metal	---	0,5	1	2
Común	---	1	1	2,5
Inflamable	---	2	2,5	3

TABLA B6	
C3 CONTENIDO DE LA ESTRUCTURA	
Sin valor y no inflamable	0,5
Valor estándar o normalmente inflamable	1
Gran valor o particularmente inflamable	2
Valor excepcional, irremplazable o altamente inflamable	3

TABLA B7	
C4 ESTRUCTURA HABITADA	
Inhabitada	0,5
Normalmente habitada	1
Dificultad para evacuación o riesgo de pánico	3

TABLA B8	
C5 CONSECUENCIAS DEL RAYO	
No requiere servicio continuo y sin consecuencias para el medioambiente	1
Requiere servicio continuo y sin consecuencias para el medio ambiente	5
Consecuencias para el medioambiente	10

Tabla 3.11 - Coeficientes de Niveles de Protección Requerido - Norma NF C17 - 102

TABLA B10			
EFICIENCIA E	NIVEL PROTECCION	PICO CORRIENTE I (Ka)	DISTANCIA CEBADO D(m)
$E > 0,98$	Nivel I · adc		
$0,95 < E < 0,98$	Nivel I	2,8	20
$0,80 < E < 0,95$	Nivel II	9,5	45
$0 < E < 80$	Nivel III	14,7	60

Tabla 3.12 - Catálogo de Referencia para Selección de Pararrayo

Radios de Protección						
	h (m)	2	3	4	5	10
Nivel I : D = 20 m Protección Reforzada	S 6,60	31	47	63	79	79
	S 4,50	27	41	55	68	69
	S 3,40	23	35	46	58	59
	TS 3,40	23	35	46	58	59
	TS 2,25	17	25	34	42	44
Nivel II : D = 45 m Protección Intermedia	S 6,60	39	58	78	97	99
	S 4,50	34	52	69	86	88
	S 3,40	30	45	60	75	77
	TS 3,40	30	45	60	75	77
	TS 2,25	23	34	46	57	61
Nivel III : D = 60 m Protección Estándar	S 6,60	43	64	85	107	109
	S 4,50	38	57	76	95	98
	S 3,40	33	50	67	84	87
	TS 3,40	33	50	67	84	87
	TS 2,25	26	39	52	65	69

CAPÍTULO IV

OPTIMIZACIÓN DEL EQUIPAMIENTO Y PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE CHANCADO

4.1 Optimización del Equipamiento y Presupuesto del Proyecto

El desarrollo del proyecto condujo a superar múltiples restricciones, tanto de orden técnico como también económicas, por ello durante el desarrollo de la ingeniería de detalle se generaron situaciones de cambio de proceso, cambios de alcance y configuración del sistema; con los consecuentes cambios en las capacidades de carga de los equipos electromecánicos, estándares y tecnologías, que fueron propuestas y sustentadas por el equipo técnico del proyecto, hasta la aceptación y aprobación por parte de los responsables de la ejecución del proyecto y el área de operaciones de la mina.

Entre las principales oportunidades de mejora y optimización del equipamiento del sistema de chancado de mineral, podemos mencionar:

4.1.1 Sistema de Protección Atmosférica

En este campo se propuso al cliente, el cambio del sistema de protección atmosférica de apantallamiento por Jabalinas Franklyn (Método de la Esfera Rodante) de la nueva área del sistema de chancado de mineral, por el método de pararrayos del tipo Dispositivo de Cebado, según la Norma UNE 21186 – Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado - Norma Española – 1996.

La mejora consiste en el reemplazo de los electrodos o jabalinas, a instalarse en:

- Cada poste de alumbrado de las fajas transportadoras de mineral
- Prominencias estructurales del edificio de zarandas secas
- Prominencias estructurales del edificio de la sala eléctrica
- Prominencias estructurales del edificio de la chancadora
- Otros equipos y estructuras

De lo anterior, se consideran 95 ubicaciones para el montaje e instalación de jabalinas, a un costo unitario de US\$ 350/ubicación, del cálculo realizado, encontramos que el costo de esta partida (suministro e instalación) asciende a un costo total de \$ 33,250.

Dicho monto se redujo sustantivamente por el uso de un Pararrayos de Dispositivo de Cebado – PDC, PREVECTRON N°2 Millenium, Modelo S6.60 (según se determinó en subtítulo 3.2.8.b), cuyo valor de mercado es de solo \$ 6,000, instalado.

4.1.2 Arrancadores de Media Tensión

La ingeniería conceptual del cliente consideró celdas con interruptores de potencia automáticos, para los circuitos de suministro eléctrico de las fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y el motor de la chancadora 317-CRC-011; equipadas con relés de protección multifunción del tipo F60 de General Electric.

Luego de revisar los alcances del proyecto y la necesidad operativa de accionar las fajas con velocidad regulada, mediante variadores de velocidad, se determinó reemplazar los interruptores automáticos de potencia de las celdas de las fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y el motor de la chancadora 317-CRC-011, por arrancadores directos compuestos de seccionadores fusibles y contactores del tipo de vacío (enclavados al reposo en posición cerrada) con la finalidad de alimentar a los variadores que cuentan con dispositivos de control y protección inherentes a su configuración.

El costo original por el uso de celdas con interruptores de potencia en 4.16 kV es de US\$ 57,400 la unidad. Siendo tres equipos requeridos para las fajas y chancadora, la partida correspondiente asciende a US\$ 172,200.

De otro lado, el arrancador directo seleccionado en el subtítulo 3.2.5.c, modelo Ampgard Z210SAE, marca Cutler-Hammer satisface los requerimientos de operación, seccionamiento y protección del circuito del variador de velocidad, el cual accionará al motor de la faja correspondiente y chancadora. Dicha prestación significa un costo de US\$ 47,470 la unidad. Siendo tres los equipos requeridos, el monto por arrancadores directos asciende a US\$ 142,410.

El ahorro sugerido por esta modificación, resulta entonces US\$ 29,790.

4.1.3 Calidad de Energía

El concepto de Calidad de Energía aplicado al proceso de selección del equipamiento del sistema eléctrico aporta al proyecto ventajas tanto de orden técnicas como económicas.

Dichas ventajas radican en el hecho de que al controlar la generación de armónicos dentro de los valores señalados por la Norma Nacional (suspendida por más de tres años), no se están controlando consumos de energía por sobrecarga de alimentadores, motores (pares antagónicos) y envejecimiento prematuro del aislamiento de los transformadores y motores.

La respuesta inicial a estos inconvenientes generados por las cargas no lineales que representan los variadores de velocidad, es el uso o selección de equipos (cables, motores y transformadores) con un nivel de capacidad de aislamiento mayor al estándar, además del correspondiente sobredimensionamiento debido al derrateo por altura, generando sobrecostos con respecto a modelos convencionales. Adicionalmente se debe de considerar la necesidad de incluir en la configuración del equipo, transformadores de aislamiento y filtros de armónicos, en cada circuito donde se empleen los variadores de velocidad.

Para este escenario de análisis, tenemos los siguientes costos de mercado para los equipos del sistema eléctrico:

Tabla 4.1 - Comparativo de Costos de Equipos

Equipo	Costo de Alternativas (US\$)		Δ (US\$)
	Para Variador	Convencional	
Transformador de 4 MVA, 23/4.16 kV	192000	112000	80000
Transformador de 2 MVA, 4.16/0.48 kV	105000	63000	42000
Motor Asíncrono de 600 HP, 4.16 kV	132000	92000	40000
Motor Asíncrono de 500 HP, 4.16 kV	106000	65000	41000
TOTAL	535000	332000	203000

Los sobre-costos referidos (\$203.000) son solamente para sobredimensionar los equipos para evitar los daños por efectos de sobrecalentamiento a causa de los armónicos, mas no para suprimir sus efectos y riesgos en la confiabilidad de la red de control y comunicaciones, además de los sobre-costos de energía en que se incurre por el sobredimensionamiento y refrigeración, que obligarían al uso de filtros de armónicos en cada uno de los circuitos de los variadores.

4.1.4 Variadores de Velocidad

El ahorro aparente y de corto plazo que se obtiene al adquirir equipamiento de limitadas prestaciones, baja calidad y tecnología obsoleta puede traer consecuencias imprevistas, si no se conocen sus reales alcances, por ello un análisis de las alternativas tecnológicas permiten ampliar el panorama sobre el particular y tomar decisiones más acertadas.

La figura 4.1 - Espectro de Armónicos de Variadores de Velocidad (6, 12, 18 y 24 pulsos), pretende mostrar el espectro de armónicos que generan los diversos tipos de variadores de velocidad, en función a la cantidad de pulsos de sus convertidores.

Se puede apreciar claramente que los modelos de 18 y 24 pulsos, también llamados de frente activo, ofrecen su mejor respuesta al cuidado de la calidad de la red eléctrica.

Un análisis de costos ayudará a profundizar la evaluación de las alternativas del mercado.

Tabla 4.2 - Costos de Variadores de Velocidad

Equipo	Costo por cantidad de pulsos (US\$)			
	6	12	18 o frente activo	24 o frente activo
Variador de Veloc. 500 HP	73000	142000	230000	261000
Variador de Veloc. 600 HP	78000	145000	243000	275000
Costo de la Partida	151000	287000	473000	536000
Diferencia contra 12 Pulsos			186000	249000

Considerando que las distorsiones de la onda de voltaje por causa de los armónicos pueden generar fallas de control con la consecuente parada intempestiva de la planta, a un costo de producción de la planta del orden de \$ 800.000 / hr, considerando que un re-arranque, guardando las normas y procedimientos de seguridad implican un período de 1.5 horas, la parada por fallas de control atribuidas a los armónicos generan una pérdida de US\$ 825,000/falla de control por armónicos (como se comentó en el subtítulo 1.2 - Antecedentes).

En suma de acuerdo a las especificaciones del cliente, se estaría invirtiendo \$287.000 en equipos de 12 pulsos que solo mitiguen los efectos de los armónicos generados por cargas no lineales en el sistema del proyecto y la reducción del riesgo por falla del sistema de control con el costo de producción referido. Ahora bien, de la Tabla 4.2 - Costos de Variadores de Velocidad, encontramos que la diferencia de pasar de variadores de 12 pulsos a 18 pulsos (o de frente activo) es de US\$ 186,000 y a variadores de 24 pulsos de US\$ 249,000 contra US\$ 825,000 por fallas de control y/o comunicación, entonces, la inversión en mejora tecnológica está justificada.

Adicionalmente se puede observar de la Figura 4.1 - Espectro de Armónicos de Variadores de Velocidad (6, 12, 18 y 24 pulsos), que el variador de 18 pulsos o de frente activo, ya cumple con los requerimientos de la IEEE 519-1992, sin necesidad de incluir en el circuito el transformador de aislamiento correspondiente para cada faja transportadora de mineral [3].

Finalmente, del análisis de la oferta tecnológica del mercado, como se indica en la Tabla 4.2 – Costos de Variadores de Velocidad, se determina la conveniencia del empleo del variador de velocidad de frente activo (equivalente a un equipo de 18 pulsos) Power Flex 7000 de 6.5 kV (SGCT), de +/- 10% de Tolerancia a las variaciones de voltaje de entrada, -30% de Voltaje SAG, pararrayos, entre otros.

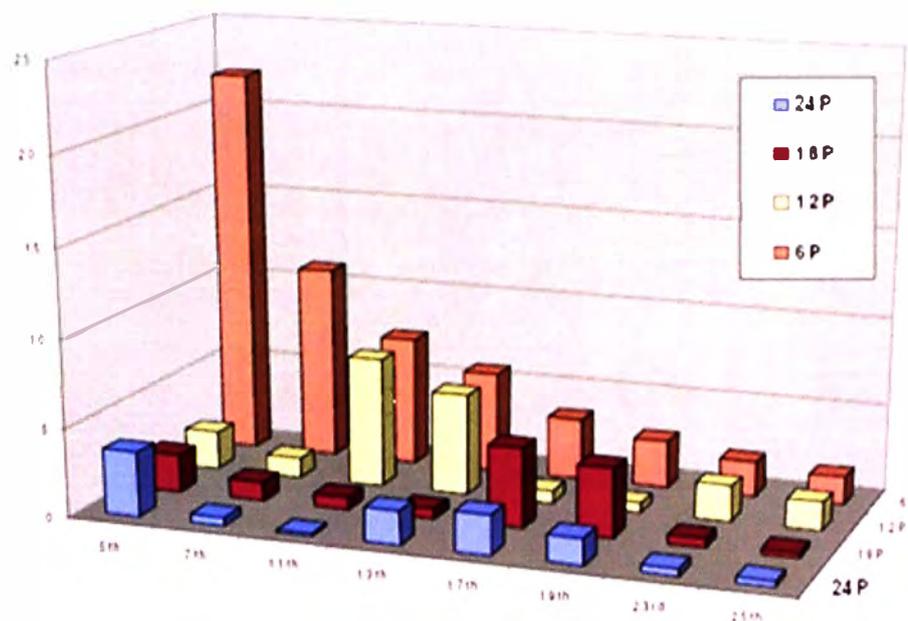


Figura 4.1 - Espectro de Armónicos de Variadores de Velocidad (6, 12, 18 y 24 Pulsos)

4.1.5 Dispositivos de Protección

Para el caso de las fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032, accionadas por variadores de velocidad, se analizó en detalle las prestaciones de los dispositivos de protección a emplear. Los relés multifunción representan las alternativas a analizar.

Cabe referir nuevamente que la ingeniería conceptual del cliente propuso relés F60 de General Electric, que como sabemos corresponde por sus prestaciones a la protección de circuitos alimentadores y no de carga directa de quipos.

De la observación planteada al proveedor de las celdas eléctricas, se re-cotizaron relés M60 de General Electric, cuyas prestaciones corresponden a la protección de motores de inducción en MT.

No obstante la propuesta técnico-económica del proveedor de equipos, se observó el relé ofrecido y en cambio se propuso el relé SR469, también aplicable a motores de inducción en MT, con mayores prestaciones que el anterior. Más aún la configuración física del relé SR469, cuenta desde fábrica con sensores de temperatura resistivos o

módulos RTD (Resistance Temperature Detector), para el monitoreo y protección del bobinado del motor, en defecto del modelo M60, que a pesar de tener un mayor costo lo considera como un accesorio adicional.

En resumen, en la Tabla 4.3 – Comparativo de Prestaciones de Relés de Protección (ver Anexo B, pag. 78), se presentan las características de los relés de protección analizados, de donde se observa que cuantitativamente el relé SR469 supera en prestaciones a los dos anteriores propuestos por el fabricante de las celdas, y las restantes están siendo cubiertas por el relé F60, del interruptor de entrada al CCM en 4.16 kV. Más aún el variador de velocidad, dentro de sus prestaciones de protección estándares cubre la protección de sobrecorriente de fase instantánea (dispositivo ANSI 50P, correlativo 19 de la Tabla 4.3), como se indican a continuación:

- Prestaciones de Protección del Variador, a la entrada de la fuente de suministro
 - Subtensión
 - Sobretensión
 - Sobrecorriente instantánea
 - Sobrecarga
 - Falla a tierra
- A nivel de sistema
 - Disparo de la fuente de poder del variador por bajo voltaje
 - Sobre/bajo voltaje de control y señales
 - Protección por sobretemperatura
- A la salida (motor)
 - Protección de cortocircuito
 - Sobrecarga
 - Sobrevoltaje
 - Sobrevelocidad del motor

Con relación a las prestaciones señaladas en rojo comentamos lo siguiente:

- Falla de interrupción (dispositivo ANSI 50BF); queda cubierto con el dispositivo ANSI 50BF, del relé F60 de la celda de entrada del motor.
- Sobrecorriente de fase instantánea (dispositivo ANSI 50P); queda cubierto con la protección intrínseca del variador de velocidad.
- Sobrecorriente a tierra (dispositivo ANSI 51G); queda cubierto con la protección intrínseca del variador de velocidad.

- o Sobretensión del neutro/fase/auxiliar/secuencia negativa (dispositivos ANSI 59N / P / / X / _2); queda cubierto con los mismos dispositivos ANSI, del relé F60 de la celda de entrada del motor.
- o Sobrecorriente direccional del neutro / de fase (dispositivos ANSI 67N / P); no aplica a cargas directas como es el caso de los motores de inducción.
- o Diferencial en el estator (dispositivos ANSI 87S); queda cubierto con el dispositivo ANSI 87, del relé SR469.

Finalmente para nuestra aplicación, el modelo propuesto correspondiente a la carga de un motor (que además es un modelo estandarizado por decirlo así en la industria minera), es el relé RS 469 de General Electric, con un costo de \$ 8,700 / unidad; de donde se obtiene un ahorro total de US\$ 5,400 para las dos fajas transportadoras del sistema de chancado.

4.1.6 Balance Final de Beneficios

De los aspectos referidos anteriormente, podemos decir que por desarrollo de la ingeniería del proyecto, según se indica en la Tabla 4.4 – Resumen de Beneficios, el proyecto ahorraría solamente por equipamiento eléctrico la suma de US\$ 904,440.

Cabe señalar que el monto obtenido, no considera los ahorros en la reducción de metros de canalizaciones y cableados (fuerza, control y comunicación) del sistema mejorado, que escapa del alcance de este informe. De otro lado están además los ahorros que las otras disciplinas lograron, traducidos en menores costos de estructuras, cimentaciones, cableados, canalizaciones e instrumentación, entre otros.

Tabla 4.4 - Resumen de Beneficios

Oportunidad de Ahorro	Costos (US\$)		Δ (US\$)
	Propuesto	Convencional	
Pararrayos de Cebado	6000	33250	27250
Arrancadores Directos de MT	142410	172200	29790
Calidad de Energía	332000	535000	203000
Variadores de Velocidad de MT	186000	825000	639000
Relés de Protección	17400	22800	5400
Total	683810	1588250	
Beneficio Total (US\$)			904,440

4.2 Entregables de la Ingeniería de Detalle

4.2.1 Documentación Técnica y Planos

El desarrollo de la ingeniería de detalle del sistema de chancado conduce a desarrollar diversos tipos de documentos, según se refiere en el subtítulo 3.1.2, ellos en detalle se mencionan en el Listado de entregables del proyecto, presentado en el Anexo B.

4.2.2 Estándares Constructivos

Con la finalidad de mantener la filosofía y estilo constructivo de la planta, existente, se acordó, salvo algunas excepciones (pararrayos y luminarias) utilizar los estándares constructivos del cliente los cuales son referidos en cada uno de los planos elaborados en el proyecto y que no forman parte del alcance del presente documento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los aspectos de Calidad, en este caso relacionado con la energía, no tienen por qué afectar el resultado del negocio, podemos notar que la renovación tecnológica permite obtener beneficios que contribuyen con la mejora de las condiciones de operación, así como la confiabilidad de los equipos y el sistema.
2. La adecuada y oportuna gestión del Alcance del Proyecto permite una buena definición de requisitos y por ende una Ingeniería precisa que permite especificar el equipamiento justo y necesario para cubrir las necesidades operativas del proyecto.
3. De manera similar, es el caso del relé de protección F60, dispuesto por el fabricante en la configuración del variador de velocidad, cuando de lo que se trata es de proteger un motor eléctrico, con el modelo de relé ajustado a los requerimientos de la aplicación.
4. La oportuna identificación e involucramiento de los interesados directos e indirectos del proyecto, permitieron en principio los reales requerimientos técnicos y operativos del sistema, así como el replanteo del sistema dadas las continuas restricciones presentadas en el desarrollo del proyecto.
5. Una ingeniería bien conceptuada y completa permite una ejecución fluida sin contratiempos, que permite optimizar los tiempos de ejecución y el uso de los recursos de la obra.
6. Aplicar los Activos Organizacionales tanto del Cliente como de la Organización, a fin de optimizar el tiempo del recurso humano, evitando los retrabajos y reproceso en las tareas o actividades que se identifican como rutinarias.
7. El cliente no siempre tiene la razón y tampoco sabe necesariamente lo que necesita.
8. Realizar una adecuada Gestión de Cambios, permite responder oportunamente a los nuevos requerimientos (limitaciones de presupuesto y oportunidades) del proyecto.

ANEXOS

ANEXO A
PLANOS DEL PROYECTO

VER:

PLANO N°1

PLANO N°2

PLANO N°3

PLANO N°4

PLANO N°5

PLANO N°6

PLANO N°7

PLANO N°8

PLANO N°9

PLANO N°10

PLANO N°11

PLANO N°12

ANEXO B
MISCELÁNEOS DEL PROYECTO

VER:
PLANO N°13
PLANO N°14
PLANO N°15

Tabla 3.6 - Selección de Interruptores de MT - Cutler Hammer

Identificación			Valores Nominales										
Tipo de Interruptor	Clase de Voltaje kV	Clase de Potencia 3Ø MVA	Tensión		Nivel de Aislamiento		Corriente		Tensión de Recuperación Transitoria			Tiempo de Interrupción Ciclos	
			Tensión Máxima kV	Factor de Rango de Tensión K	Frecuencia Industrial kV	Impulso 1.2/50 µsec kV	Continúa 60 Hz A	Corto Circuito a Tensión Máxima kA	Tensión de Cresta Nominal kV	Tiempo de Cresta µs	Tasa de Elevación de Recuperación de Voltaje kV/µs		
50 VCP-W 250	4.16	250	4.76	1.24	19	60	1200 2000 3000	29	8.9	50	0.2	5	
75 VCP-W 500	7.2	500	8.25	1.25	36	95	1200 2000 3000	33	15.5	60	0.29		
150 VCP-W 500	13.8		15	1.3			1200 2000 3000	18	28	75	0.42		
380 VCP-W 25	34.5	---	38	1	80	170	600 1200 1600 2000	25	71	125	0.64		5
380 VCP-W 32							600 1200 1600 2000	31.5					
380 VCP-W 40							600 1200 1600 2000 2500	40					

**Tabla 3.7 – Contactores de Vacío de Media Tensión Tipo SL 400 A (Tabla 10.0-4
Catálogo de Consulta y Aplicación de Cutler – Hammer)**

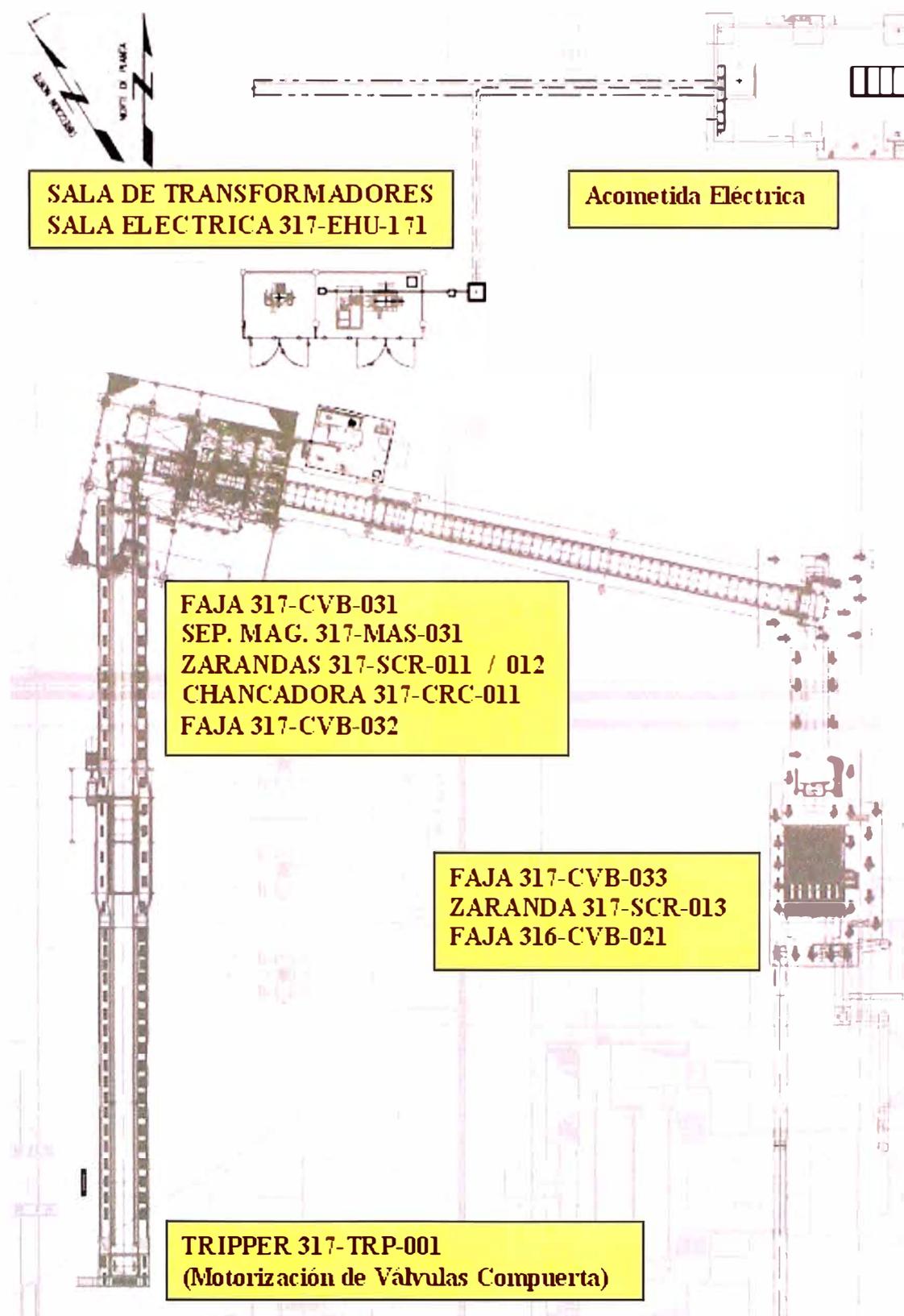
Tensión Nominal de Utilización	2200 a 2500 Voltios	3000 a 3600 Voltios	3800 a 4800 Voltios	6000 a 6600 Voltios
Capacidad de Interrupción (Con contactor de 400 A de alta capacidad de Interrupción)	8.5 kA 50 Ka	8.5 kA 50 kA	8.5 kA 50 kA	8.5 kA 50 kA
NEMA no fusible (E1)	200 MVA	285 MVA	400 MVA	570 MVA
NEMA fusible (E2)	a 2400 Voltios	a 3300 Voltios	a 4600 Voltios	a 6600 Voltios
Tabla de aplicación				
Motor de Inducción	1750 hp	2250 hp	3000 hp	4500 hp
Motor Sincrono (0.8 PF)	1750 hp	2250 hp	3000 hp	4500 hp
(1.0 PF)	2000 hp	2500 hp	3500 hp	5500 hp
Transformador	1500 kVA	2000 kVA	3000 kVA	4000 kVA
Capacitor trifásico	1200 kvar	2100 kvar	2100 kvar	3300 kvar
Corriente Máxima de Interrupción (3 Operaciones)	8500 (Amperios (Alta Interrupción) 4500 Amperios (Interrupción Estándar)	Arco de tiempo Tensión de recogida Tensión de salida Tensiones de control ac dc	12 Milisegundos (3/4 de ciclo) o menos 80% de la tensión nominal de la bobina 60% de la tensión nominal de la bobina	
Corriente Nominal 400 Amperios		Carga del circuito de control	110 120 220 240 (50 60 Hz)	
IEC Capacidad de interrupción AC4	4000 Amperios	Cerrado (ac) (dc)	125	
Cierre	3200 Amperios	Sostenimiento (ac) (dc)		
Apertura		Mediciones del contacto auxiliar	110 V – 125 V, 1 kVA 200 V – 250 V, 1.8 kVA	
Corriente de corto tiempo 30 Segundos	2400 Amperios	Tensión (Máxima)	100 V – 125 V, 40 VA 200 V – 250 V, 50 VA	
1 segundo	6000 Amperios	Corriente continua		
8.7 milisegundos (.5Ciclo)	63 kA Pico	Capacidad de toma (ac)		
Altitud de servicio estándar	-1000 a -2000 Metros	Capacidad de toma (dc)		
Altitudes de servicio opcionales	-3500 a -1001 Metros	Capacidad de Ruptura (ac)	600 Voltios	
Vida Mecánica	2.5 Millones de operaciones	Capacidad de Ruptura (dc)	10 Amperios	
Vida Eléctrica	300000 Operaciones	Enganche (a solicitud)	7200 VA	
BIL	60 kV (1.2 x 50 microsegundos)	Vida Mecánica	125 VA	
Fuerza dieléctrica(60 Hz)	20 kV (1 minuto)	Tensión de Viaje (dc)	720 VA	
Tiempo de cerrado (Energización para el contacto)	80 milisegundos	Tensión de Viaje (ac)	125 VA	
Tiempo de abierto	30 a 330 milisegundos (seleccionable)	Tensión de Viaje Mínima	2500 00Operaciones	
		Carga de Viaje	24 Voltios /125 Voltios	
		24 Vdc	110 /120 Voltios	
		125 Vdc	80% de la tensión nominal de la bobina	
		110/120 Vac		
		Tiempo de Viaje	400 VA	
		Peso	400 VA	
			400 VA	
			30 Milisegundos	
			60 Libras (27 kg)	

Tabla 4.3 - Comparativo de Prestaciones de Relés de Protección

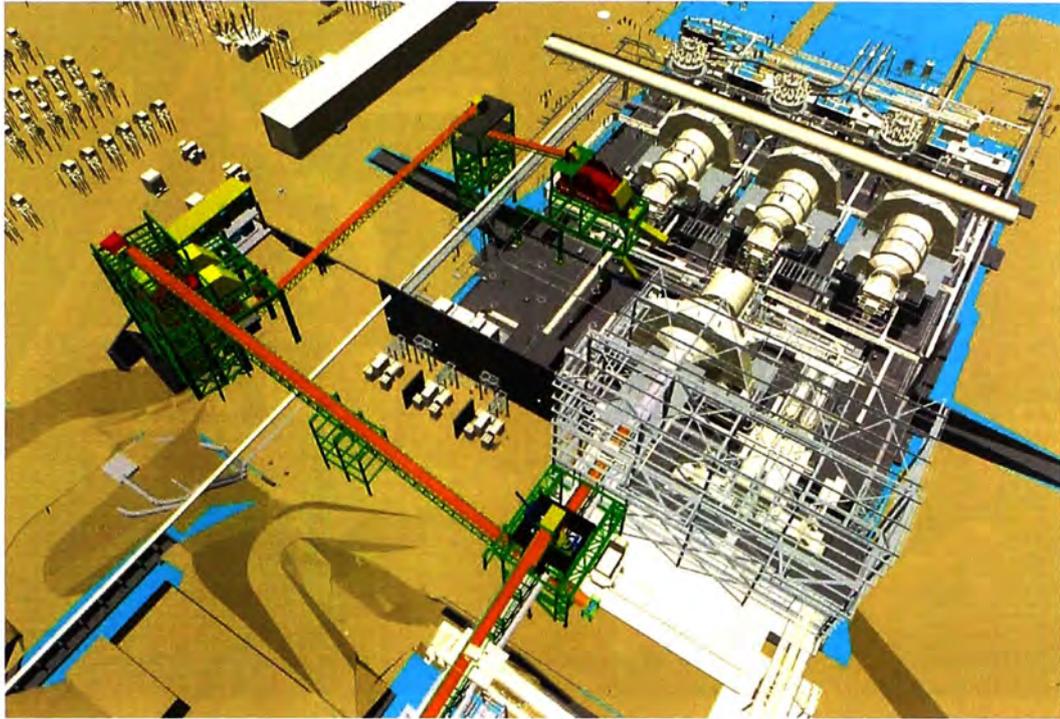
N°	Prestación	Dispositivo ANSI	Relés	
			M60	SR469
1	Sobre y sub-velocidad	14	--	1
2	Subtensión de fase	27P	--	1
3	Subtensión auxiliar	27X	1	1
4	Sobretensión de fase	59P	1	1
5	Sobretensión del neutro	59N	1	--
6	Sobretensión auxiliar	59X	1	--
7	Sobretensión de secuencia negativa	59_2	1	--
8	Direccional de potencia	32	1	--
9	Sobrecarga por voltaje	49/51	--	1
10	Subcorriente	37	--	1
11	Sobrecarga	49	1	1
12	Instantáneo de sobrecorriente de fase	50P	1	1
13	Instantáneo de sobrecorriente de tierra	50G	1	1
14	Instantáneo de sobrecorriente del neutro	50N	1	1
15	Instantáneo de sobrecorriente de secuencia negativa	50_2	1	--
16	Instantáneo de sobrecorriente de componente simétrica	50I	1	--
17	Desbalance de corriente del motor	46M	1	--
18	Temporizado de sobrecorriente de tierra	51G	1	1
19	Temporizado de sobrecorriente del neutro	51N	--	1
20	Secuencia inversa de tensiones	47	1	1
21	Secuencia incompleta	48	--	1
22	Fase inversa	46	1	1
23	Pérdida de campo	40	--	1
24	Modelo térmico	49	1	1
25	Rotor bloqueado	50S	--	1
26	Factor de potencia	55	1	1
27	Sub-frecuencia	81U	--	1
28	Diferencial en el estator	87S	1	1
29	Detección de falla a tierra	64	1	1
30	Arranques por hora	66	--	1
31	Detección de falla de alta impedancia	--	1	--
32	Cantidad de Prestaciones		21	23

ANEXO C
VISTAS DE DISEÑO DEL PROYECTO

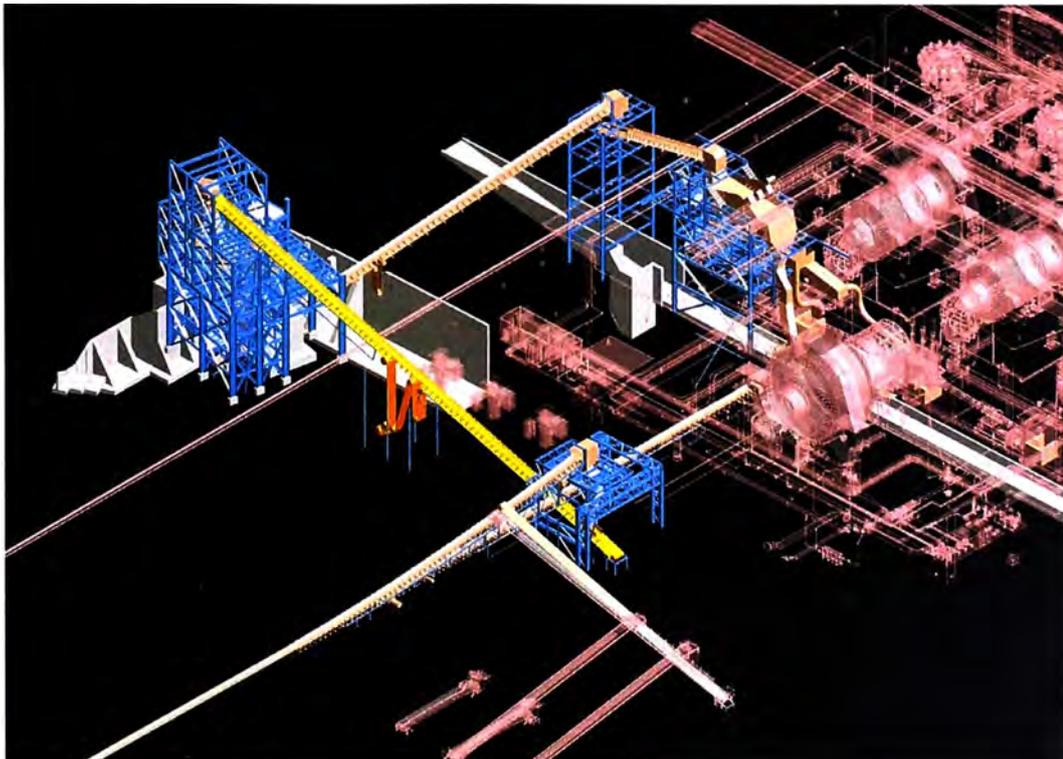
Vista 1 – Arreglo General de Equipos del Sistema de Chancado



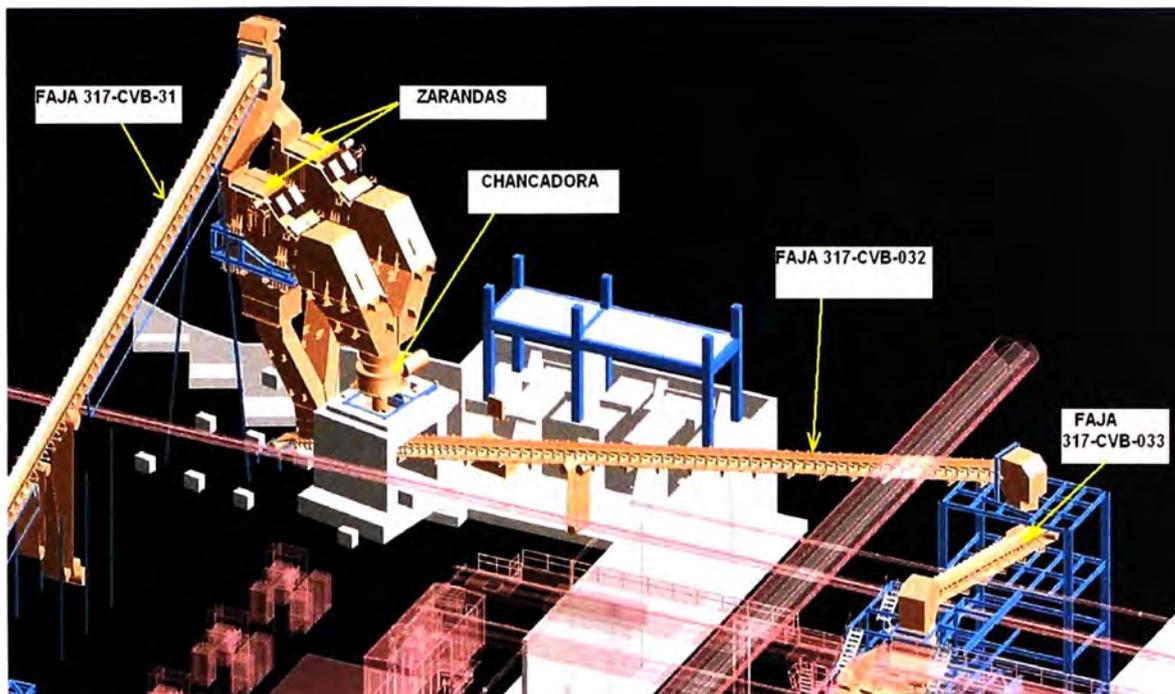
Vista 2 – Panorámica del Sistema de Chancado (OE)



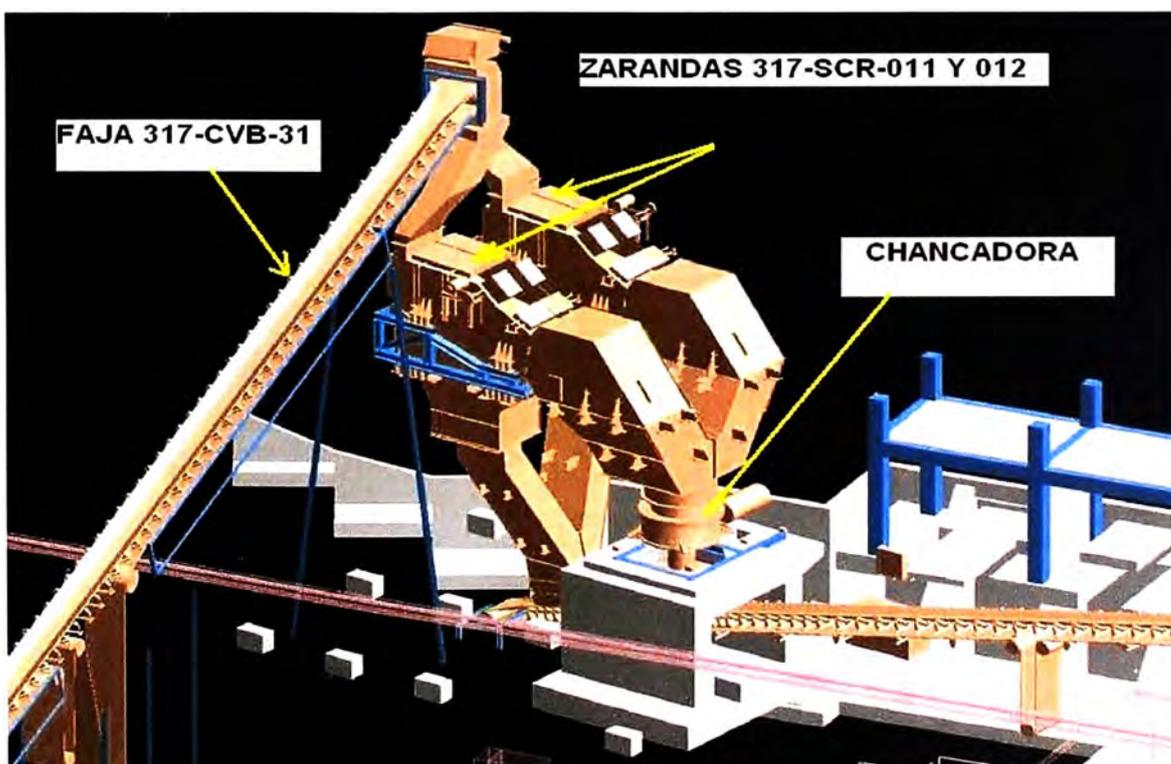
Vista 3 - Panorámica del Sistema de Chancado (OE)



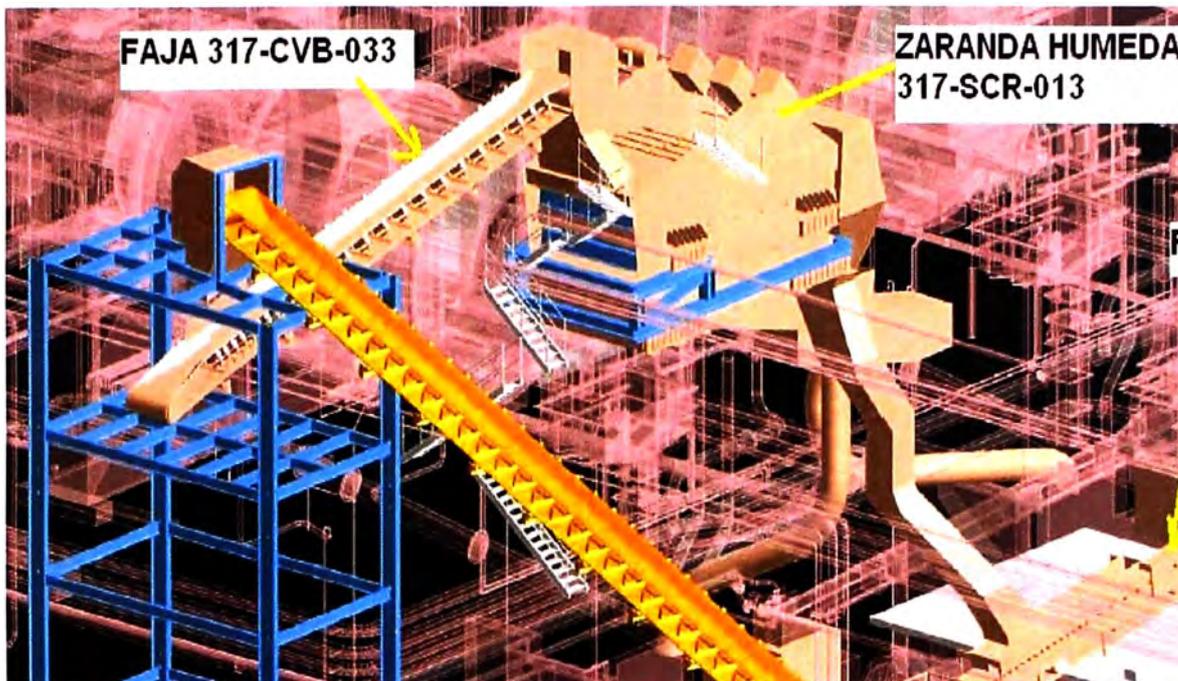
Vista 4 - Panorámica Descriptiva del Sistema de Chancado (SE)



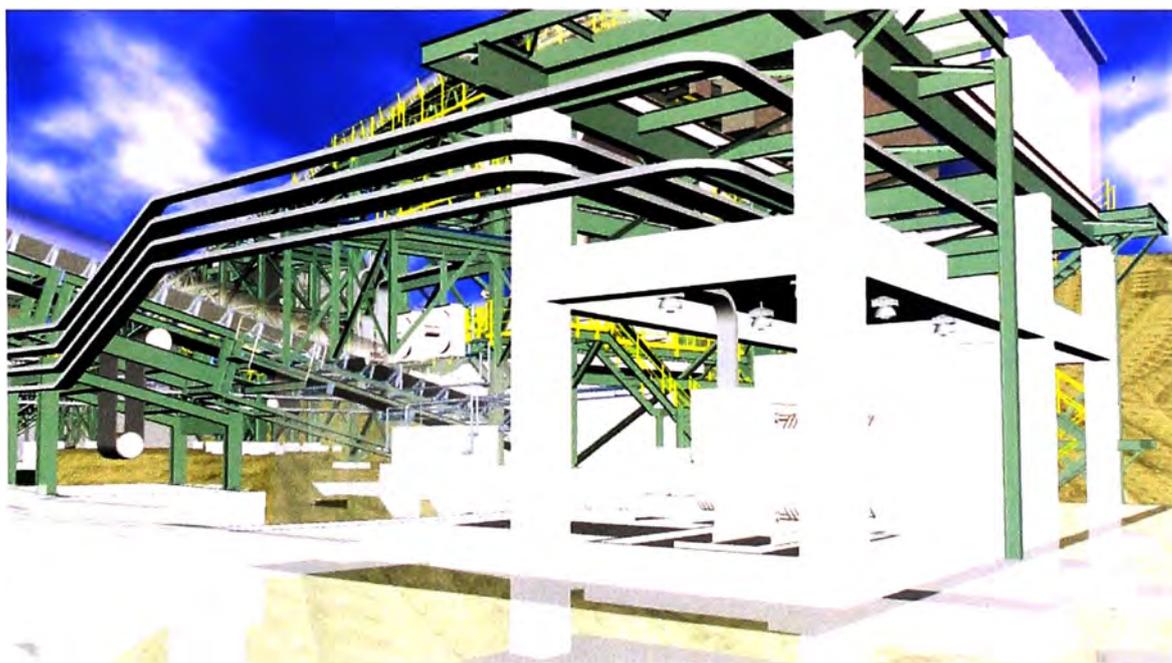
Vista 5 - Panorámica de la Torre de Zarandas Secas y Chancadora



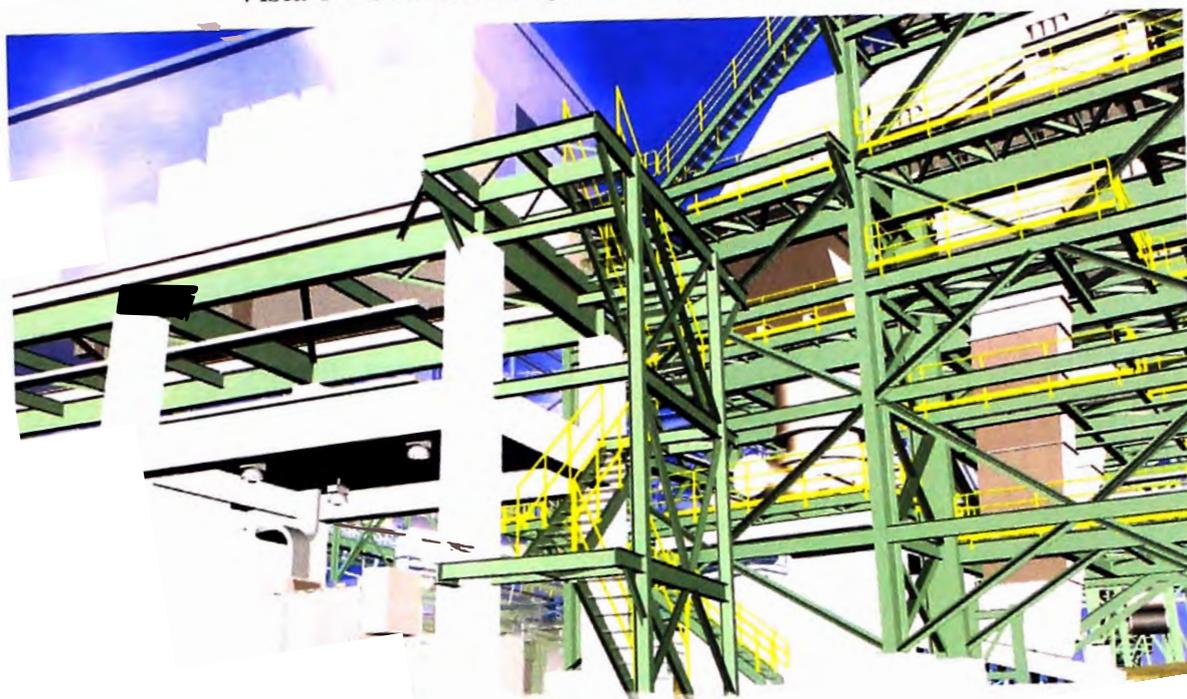
Vista 6 - Panorámica de la Faja 033 y Zaranda Húmeda



Vista 7 – Transformador de Potencia 317-XFU-172, 2 MVA, 4.16/0.48 kV



Vista 8 – Sub-estación, Sala Eléctrica y Mezanine



ANEXO D
FOTOS DE AVANCE DE OBRA

Foto 1 – Transformador de Potencia 317-XFU-172, 2 MVA, 4.16/0.48 kV



Foto 2 – Canalizaciones y Faja Transportadora

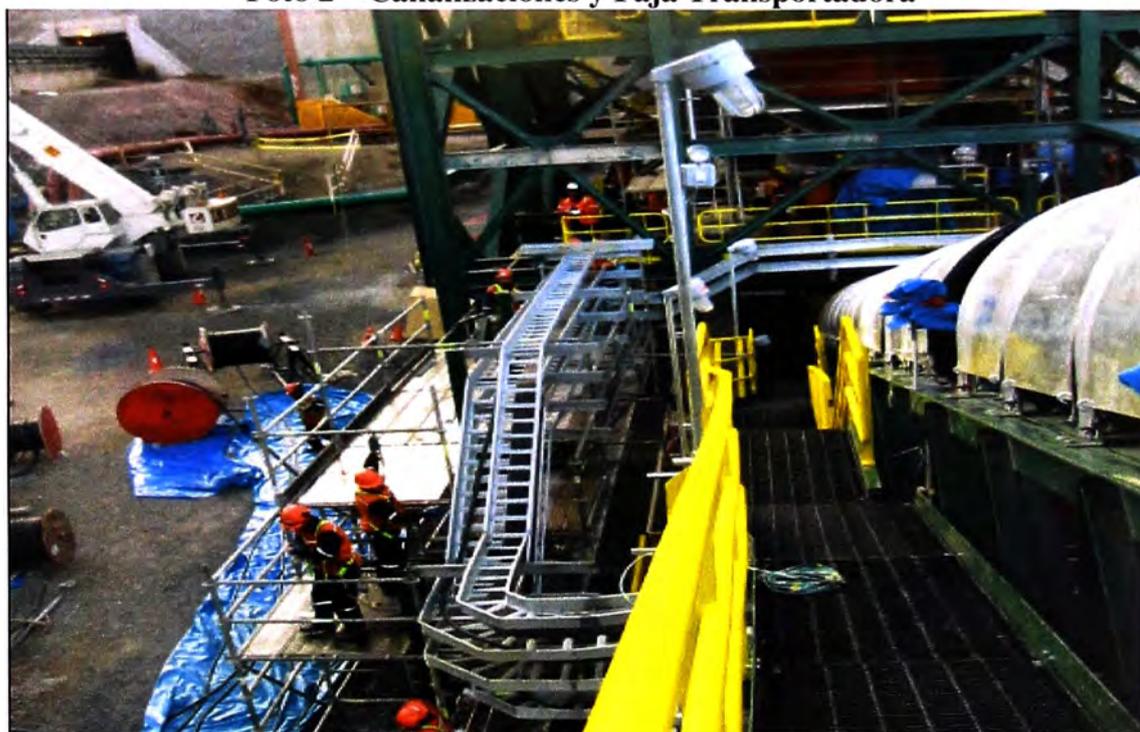


Foto 3 – Sala de Control, Zarandas Secas, Fajas 031 y 032



Foto 4 – Sala Eléctrica 317-EHU-171



Foto 5 – Sala Eléctrica 317-EHU-171, Sub-estación y Canalizaciones



Foto 6 – Punto de desviación del mineral hacia el Proyecto (Tripper, Válvula Compuerta, Fa'a 031)



Foto 7 – Tripper, Faja 031, Torre de Zarandas Secas y Pararrayos



Foto 8 – Pararrayos, Torre de Zarandas Secas



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Efectos de la Altitud en el Desempeño de Operación de Componentes de Bajo Voltaje de Dispositivos de Distribución (Switchgear) y Controladores de Función (Controlgear), G. Erich Heberlein, Jr. Miembro IEEE, Chester Malkowski, Jr Miembro IEEE, Michael Cibulka, Miembro IEEE 2002.
- [2] UNE 21186 –Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado - Norma Española – 1996
- [3] Medium Voltage Drives: Are isolation transformers required? – IEEE – Paper N° PCIC-2002-23
- [4] Fundamentos de la Dirección de Proyectos – Tercera Edición, Project Management Institute – Norma Nacional Americana - 2004.
- [5] Normas Técnicas de la Calidad del Servicio Eléctrico
- [6] Código Nacional de Electricidad – Suministro
- [7] Consulting Application Guide – Eaton / Cutler-Hammer
- [8] Activos Organizacionales de Graña y Montero Ingeniería
- [9] Activos Organizacionales del Cliente
- [10] Cables Notes and Details, Bechtel International Inc. Job N° 24097 – 2001.