

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**DESEÑO DE UN PLAN LEACH, EXTRACCIÓN POR SOLVENTES
(SX) Y ELECTRO – OBTENCIÓN (EW) PARA PRODUCIR 65 000
TONELADAS DE COBRE FINO AL AÑO. SANTA CRUZ –
SONORA MÉXICO**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

LUIS ALEJANDRO SUAREZ ACOSTA

PROMOCIÓN

1985 – II

LIMA – PERÚ

2008

**DISEÑO DE UN PLAN LEACH, EXTRACCIÓN POR SOLVENTES
(SX) Y ELECTRO-OBTENCIÓN (EW) PARA PRODUCIR 65 000
TONELADAS DE COBRE FINO AL AÑO. SANTA CRUZ –
SONORA MÉXICO**

*A mi amiga y esposa, Isabel O'Higgins
por su cariño y apoyo indesmayable,
y sobretodo a mi amado hijo Luis Miguel
por existir.*

SUMARIO

El presente trabajo surge de la necesidad de la Compañía Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V. para producir 65.000 Toneladas de cobre fino al año, denominándose a este trabajo Proyecto Milpillas, con un costo total del proyecto de US \$ 90.000.000.

Es así como se prevé una Planta de Chancado Secundario / Terciario, Planta de Aglomeración, Lixiviación en pilas, Extracción por Solventes y Electrodeposición (Electro-Obtención) para el beneficio de materiales oxidados y sulfurados con una ley promedio de 2,39 % de cobre y producir cátodos de cobre grado A.

Este diseño comprende el desarrollo de trabajos principales como: la Ingeniería de Procesos, la Disposición General de las Plantas Húmeda y Seca, las Especificaciones de Equipos, las Especificaciones de Fabricación, Construcción y Montaje, los Estudios de Trade/Off para el mejoramiento del diseño, el Presupuesto y Programa del Diseño, el Diseño detallado de las Especialidades de Ingeniería, el apoyo técnico a las decisiones de Adquisiciones mediante elaboración de Paquetes Técnicos y Evaluaciones Técnicas, la Elaboración de los Manuales de Puesta en Marcha, y la Elaboración de los Manuales de Operación.

Como parte fundamental del trabajo, se realiza el diseño del Patio y de la Subestación Eléctrica Principal, además de todo el Sistema de Distribución en Media y Baja Tensión para atender todas las instalaciones de los diversos centros de consumo eléctrico de la Planta.

Para el desarrollo del diseño, se considera instalaciones principales, como: la Planta de Chancado en circuito cerrado, desde el acopio de gruesos en adelante, la aglomeración del concentrado de cobre en tambores, la Planta de extracción por solventes en configuración convencional compacta, el Patio de estanques y la Nave de Electrodeposición donde se obtendrá los cátodos de cobre.

INDICE

Página Nº

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

1.1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2	OBJETIVOS	6
1.2.1	Objetivo General.....	6
1.2.2	Objetivos Específicos	6
1.3	INFORMACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO	7
1.3.1	Ubicación.....	7
1.3.2	Datos del Lugar	7
1.3.3	Datos de Servicios.....	9

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE MAXIMA DEMANDA DE LA PLANTA

2.1	Procedimiento	10
2.2	Listado de Cargas	10

CAPITULO III

PLANTEAMIENTO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

3.1	Del Diseño del Sistema Eléctrico	16
3.1.1	Dimensionamiento de los Cables en Media y Baja Tensión.....	16
3.1.2	Del Diseño del Sistema de Alumbrado	17
3.1.3	Del Estudio de Cortocircuitos Simétricos	18
3.1.4	De la Determinación del Conductor para las Líneas aéreas de 13.2 kV	19
3.1.5	Del Dimensionamiento de Transformadores de Distribución.....	24
3.1.6	Del Dimensionamiento de los Generadores de Emergencia.....	25
3.1.7	Del Dimensionamiento de Líneas Aéreas en 13.2 kV	27
3.1.8	Del Dimensionamiento del Sistema de Puesta a Tierra	34
3.1.9	Del Cálculo de las Tablas de Tensado para Líneas Aéreas de 13.2 kV.....	37
3.1.10	Del Estudio de Coordinación de Protecciones Eléctricas.....	38
3.1.11	Del Estudio de Flujo de Carga	40
3.1.12	Del Estudio de Partida de Motores	41

CAPITULO IV

PLANTEAMIENTO TECNICO	43
4.1 Parámetros y Criterios de Diseño.....	43
4.1.1 Criterio de Diseño Eléctrico	43

CAPÍTULO V

RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO.....	68
---	-----------

CAPÍTULO VI

ANALISIS DE RESULTADOS	70
6.1 Del Estudio de Cortocircuitos Simétricos	70
6.2 Del Estudio de Flujo de Carga.....	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
ANEXOS:.....	76

ANEXO 1: ESPECIFICACIONES TECNICAS

ANEXO 2: CALCULOS, DIMENSIONAMIENTOS Y ESTUDIOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO DE LA PLANTA

ANEXO 3: LISTADO DE EQUIPOS Y METRADOS (CUBICACIONES) DE MATERIALES

ANEXO 4: LISTADO DE CIRCUITOS

ANEXO 5: PLANOS ELECTRICOS

ANEXO 6: DIAGRAMA DE FLUJO

BIBLIOGRAFIA	130
---------------------------	------------

PROLOGO

presenta el tema sobre la obtención de cátodos de cobre, mediante el proceso de Electro-obtención; que es un método utilizado en proyectos mineros, en varios países, tales como: México, Perú, Chile, etc., en los cuales, he participado en su desarrollo.

Espero que sirva de guía práctica a los futuros profesionales de la especialidad, ya que contiene técnicas y soluciones probadas en las Operaciones de Plantas mineras.

Agradezco a la Empresa SNC Lavalin, por permitirme formar parte de su equipo de profesionales, y por ende elaborar esta tesis acerca del Proyecto "Milpillas" de México.

El primer capítulo de la tesis recoge la formulación del problema, los objetivos y la información de la zona del Proyecto. En el capítulo segundo se visualiza las cargas que son consideradas en este estudio para la determinación de la demanda de potencia de la Planta. En el capítulo tercero se describe el planteamiento teórico y la metodología a usar para el diseño del sistema eléctrico del Proyecto. En el capítulo cuarto, se describe el criterio de diseño a seguir para el desarrollo del Proyecto. En el capítulo quinto y sexto quedan definidos los criterios y procedimientos de los resultados obtenidos, como también un análisis de los resultados más importantes como son, el estudio de cortocircuitos y flujo de carga, ambos determinantes para el dimensionamiento de los equipos, la regulación de voltaje de los mismos, obtención del factor de potencia del sistema eléctrico, y, las pérdidas de potencia de dicho sistema, para así poder determinar el consumo de energía de la Planta.

se inscribe dentro del programa de titulación de Ingeniería Eléctrica, de la Universidad Nacional de Ingeniería (U.N.I.) de Lima, Perú. La mayor parte de sus cálculos ha sido realizada en la Empresa de SNC Lavalin (Santiago – Chile).

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Formulación del problema

El presente trabajo está referido a suministrar una producción de 65.000 toneladas por año de cobre catódico del yacimiento, mediante la explotación en mina subterránea. Según el estudio minero previamente realizado, se espera explotar aproximadamente 31.005.258 toneladas de mineral con una ley del orden de 2.17% CuT.

El diseño incluirá el desarrollo de las instalaciones desde el terreno virgen, las cuales consistirán en una planta de trituración, lixiviación en pilas, extracción por solventes-electrodeposición (SX-EW) e infraestructura asociada directamente al proceso. La tasa de explotación del mineral variará dependiendo de las leyes de alimentación de la mina, teniendo un máximo de 3.175.858 toneladas por año.

La Planta Hidrometalúrgica estará diseñada desde un principio para una tasa de producción de 65,000 t/a nominales de cobre catódico, pero producirá 45,000 t/a nominales en una primera etapa, que comprenderá los años uno al cuarto. La Planta se diseñará de modo que las instalaciones de 65,000 t/a se adapten para la producción de 45,000 t/a. Para procesar las leyes de cabeza variables y las tasas de producción de la mina, la Planta de Trituración está diseñada para procesar una cantidad variable de mineral, el que será aproximadamente 6.419 t/d al inicio del proyecto y al año 5 alcanzará su capacidad nominal de 9.272 t/d, que mantendrá hasta el término de la vida del proyecto.

El Proceso de Lixiviación estará diseñado para tratar mineral triturado fino; el cual, previamente ha sido impregnado con solución ácida diluída en un tambor aglomerador rotatorio. El producto se deposita en pilas de lixiviación donde se irriga con solución reciclada desde extracción por solventes. La solución efluente de lixiviación se procesa en extracción por solventes donde se purifica y se envía a electrodeposición donde se recupera el cobre en forma de cátodos.

La Planta de Trituración, se ubicará aproximadamente a 200 metros al oeste del tiro de la mina. Las pilas de lixiviación de tipo permanente estarán ubicadas aproximadamente a una distancia de 400 metros desde el tambor aglomerador, ocupando una superficie del orden de unos 600.000 m².

La infraestructura para la operación, requiere un tendido de una línea de transmisión, subestaciones para el suministro eléctrico, salas eléctricas y salas de control.

Se definen las áreas del Proyecto con las instalaciones y procesos generales incluidos en el alcance para un mejor estudio:

Area 00 - General:

- Báscula de pesaje de camiones.
- Obras de desviación de crecidas y aguas lluvias.
- Sala de Control.

Area 41 - Almacenamiento de Gruesos:

- Almacenamiento de gruesos.

Area 42 - Trituración y Curado:

- Alimentadores de banda para descarga del almacenamiento.
- Banda de alimentación a criba secundaria.
- Criba secundaria tipo recto.
- Quebradora secundaria.
- Banda de alimentación a criba terciaria.
- Criba terciaria tipo banana.
- Quebradora terciaria.
- Banda de recirculación a criba terciaria.
- Banda transportadora hasta tolva de alimentación hacia aglomeración.
- Alimentadores de banda.
- Banda transportadora con pesómetro.
- Tambor de aglomeración.
- Sistema extractor de gases.
- Banda de alimentación desde aglomerado a camiones.
- Banda de desvío.
- Almacenamiento de emergencia de aglomerado.
- Equipo de supresión de polvo.
- Sala de Control.
- Sala Eléctrica.
- Sistema de muestreo de mineral.

Area 43 - Lixiviación:

- Bombeo y tuberías de refino.
- Tuberías de PLS a SX.
- Recuperación de soluciones en piletas.
- Sala Eléctrica.

Piletas de PLS, SLI, RF y emergencia.

Sistema de bombeo de piletas provisionales a canaletas.

Piletas provisionales de PLS y SLI (por Knight Piésold).

Area 45 - Extracción por Solventes:

Tanques mezcladores (por Outokumpu - OTG).

Bombas impulsoras y turbinas agitadoras (por OTG).

Asentadores de extracción por solventes.

Tanque post-asentador de refino.

Tanque asentador de orgánico cargado.

Tanque post-asentador de electrolito.

Filtros de electrolito.

Tanque de electrolito rico.

Intercambiador principal y auxiliar.

Tanque de recirculación de electrolito.

Limpieza de orgánico del electrolito.

Sistema contra incendio de SX.

Tuberías y bombas de SX.

Tuberías y bombas del patio de tanques.

Remoción y tratamiento de grumos por centrifugación horizontal trifase.

Pileta de emergencia de SX.

Sala Eléctrica.

Area 47 - Electrodeposición:

Nave de electrodeposición.

Celdas de electrodeposición (por OTG).

Cátodos (por OTG).

Anodos (por OTG).

Puente grúa (por OTG).

Lavado, decapado y manejo de cátodos (por OTG).

Tuberías y bombas de EW.

Canastillo reductor de potencial de reducción.

Tanque de lavado de ánodos (por OTG).

Sistema de ventilación de la nave con lavado de neblina ácida (por OTG).

Estación de muestreo y empaque de cátodos (por OTG).

Barras de cortocircuito para desborre de celdas (por OTG).

Montacargas.

Patio de cátodos.

Transformadores Rectificadores de Potencia.

Rectificadores de respaldo.

Generadores de respaldo.

Sistemas de barras conductoras.

Suministro eléctrico.

Racks de almacenamiento de electrodos.

Sector de almacenamiento de electrodos.

Sala Eléctrica.

Area 48 - Almacenamiento y Preparación de Reactivos, y Servicios:

Tanque de almacenamiento y distribución de ácido sulfúrico.

Tanque diario de ácido de aglomeración.

Tanque y distribución de diluyente.

Almacenamiento y carga de extractante.

Almacenamiento de sulfato de cobalto.

Almacenamiento de guar.

Almacenamiento de arena antracita.

Almacenamiento de arcilla.

Tanque diario de diesel.

Sistema de aire comprimido seco.

Distribución de aire comprimido de planta para operación e instrumentación.

Sistema de adición automática de reactivos a EW.

Mezcladores estáticos de adición de ácido.

Centrífuga horizontal y filtro de orgánico tipo Sparkler.

Area 49 - Almacenamiento y Distribución de Agua:

Tanque y distribución de agua industrial.

Tratamiento de agua por Osmosis Inversa.

Tanque y distribución de agua tratada.

Mangueras de nave electrodeposición.

Tanque y surtidor de agua de rechazo.

Duchas de emergencia.

Calentadores y sistema de calentamiento de agua.

Red húmeda y grifos contra incendios.

Sistema de alcantarillado.

Area 58 - Caminos Interiores:

Caminos de acceso interiores.

Estacionamientos en terracerías.

Area 72 - Subestación Principal:

Sala Eléctrica Principal.

Filtros de armónicas.

Generador de respaldo.

Límites de Batería:

Recepción de mineral triturado grueso en almacenamiento de gruesos.

Descarga de aglomerado a camiones.

Succión de bombas en piletas de PLS, SLI y refino.

Succión de bombas en piletas provisionales de PLS, SLI.

Descarga de pileta de PLS.

Entrega de cátodos enzunchados en patio de cátodos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar el diseño eléctrico del Proyecto, incluyendo, el dimensionamiento, especificación, selección y protección de equipos, materiales e instalaciones eléctricas que se requieran para ser implementado en el Municipio de Santa Cruz, estado de Sonora, México por la Compañía Minera La Parreña S.A. de C.V.

1.2.2 Objetivos Específicos

El cálculo y la especificación de los equipos e instalaciones eléctricas deberán considerar:

- Diseño eficiente desde el punto de vista energético, con tendencia a la reducción de las pérdidas caloríficas en los equipos y materiales.
- Las características específicas de los materiales y productos deberán contar con la certificación de las normas mexicanas (NOM).
- Los equipos deberán ser de la mejor calidad, fabricados de acuerdo a estrictos procedimientos de control de calidad y con materiales de primera calidad, con certificación NOM.
- Provisión de espacio y capacidad para ampliaciones futuras.
- Estandarización de conjuntos y componentes seleccionados para cubrir una amplia gama de aplicaciones y reducir los inventarios de bodega durante la construcción y posteriormente en la operación de la planta.
- Diseño de bajo costo de capital y mantenimiento. Pero de alta confiabilidad operacional y seguridad de personas e instalaciones, deberán haber sido probados extensivamente en la práctica, de manera que no se permitan prototipos.
- Partida del equipo de proceso accionado, bajo condiciones de plena carga, inmediatamente después de cualquier detención de operación.
- Instalación de enchufes de fuerza y de servicio en todas las áreas.

- El diseño del sistema eléctrico debe considerar principalmente el uso racional de la energía. Para esto, se deben tomar acciones tanto en los motores con dispositivos de ajuste de velocidad como en el control de las demandas de energía de las diferentes áreas de la planta.
- En motores comandados con variadores de frecuencia, se debe tener presente un equipo que posea un óptimo control de las variables de rendimiento y factor de potencia para diferentes regímenes de carga del proceso.
- Especial atención se debe tener en evitar el sobredimensionamiento excesivo de los motores principales de la planta.
- Será implementado un sistema SCADA (por otros) para supervisión del sistema eléctrico cuya definición y alcance será definido por el Cliente. En el proyecto se considerará el alambrado al Sistema SCADA, para señales de todos los equipos de media tensión (4.16 y 13.2 kV) hasta los Centros de Control de Motores de baja tensión (480 V) inclusive.

1.3 Información de la Zona del Proyecto

1.3.1 Ubicación

El Proyecto Milpillas está ubicado al Sudeste de la Sierra el Chivato en el Municipio de Santa Cruz, Estado de Sonora, México. El sitio se localiza aproximadamente a 40 Km del Noreste de la comunidad de Cananea, Sonora. Las coordenadas geográficas son Latitud 30°58' Norte; Longitud 110°17' Oeste.

Las instalaciones superficiales propuestas se ubicarán en un terreno moderadamente inclinado, con elevaciones de 1,410 a 1,500 metros sobre el nivel del mar.

1.3.2 Datos del Lugar

Condiciones Generales

Elevación Promedio del lugar	:	1,450 m.s.n.m.
Lluvias	:	Máximo 24 hrs. 90 mm. Diseño 24 hrs. 150 mm.
Radiación Solar	:	0.5 kW/m ²
Nieve	:	14 cm , 9 días por año, considerando máxima precipitación en 24 horas y peso específico de la nieve : 0.5 .

Sismos	:	La zona sísmica asociadas a la ubicación del sitio de ubicación de las estructuras corresponde a la zona sísmica B de la Regionalización Sísmica de la República Mexicana, definida en el inciso 3.3 del capítulo C.1.3 del Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE.
Temperaturas Diseño	:	- 5 ° C Mínima, 35 ° C Máxima.
Temperaturas Extremas	:	-14 ° C Mínima, 45 ° C Máxima.
Humedad relativa		Mínima 11 %
	:	Media 50 %
	:	Máxima 99 %
	:	
Presión barométrica	:	Promedio a 94.7 kPa.
Dirección viento	:	Preferencial SW-NE
Velocidad del viento	:	0 - 10 km/h Sur-Suroeste. 10 - 20 km/h Sur. 20 - 30 km/h Suroeste. Promedio 14 km/h Máxima 100 km/h Diseño 140 km/h
Probabilidad de rayos por tormenta eléctrica	:	Alta Probabilidad Promedio : 20 Descargas por año Diseño: 56 Descargas por año
Neblina Acida	:	Las instalaciones estarán expuestas a neblina ácida proveniente de la nave de E.W. y de las pilas de Lixiviación

Accesos del Lugar

Se accesa al sitio a través de la carretera. Hermosillo – Cananea, o por Nogales – Cananea. Carretera pavimentada de un carril por sentido.

Transporte de camión por carreteras hacia Milpillas

Carga normal : 45 ton.
 Largo : 12 m
 Ancho : 2.2 m
 Alto : 4.5 m

Carga especial (Volumen)

Largo : 18 m
 Ancho : 6.5 m
 Alto : 6 m

Tren Sonora Santa Cruz : No hay

Puerto mas Cercano : Puerto de Guaymas por el Pacífico.
 Puerto de Tampico por el Golfo de México

Aeropuerto : En Hermosillo.

Distancias Aproximadas

Hermosillo-Proyecto : 300 km, últimos 17 km de terracería.
 Hermosillo-C. México : 1,950 km.

Otras Características

Tormentas de polvo no registradas.

1.3.3 Datos de Servicios

Energía Eléctrica

En el lugar actualmente hay energía eléctrica en 33 kV alimentada desde Cananea.

Combustible

Combustible no hay, se transporta por camión desde Cananea.

CAPÍTULO II
ESTUDIO DE MÁXIMA DEMANDA DE LA PLANTA

2.1 Procedimiento

Para el estudio de la Máxima Demanda de la Planta se ha elaborado un Listado de Cargas, considerando todas las cargas en operación y, teniendo en cuenta, los factores de demanda y de diversidad. Las cargas de los equipos en Stand By no son considerados.

2.2 Listado de Cargas

AREA 41 y 42 – ALMACENAMIENTO DE GRUESOS - TRITURACIÓN Y CURADO

Tag N°	Cantidad		Nombre	Potencia HP / kVA Instalada		Potencia Dem. (kVA)
	Oper.	St/by		Oper.	St/by	
CONSUMOS DE MEDIA TENSION (CCM 42703) EN 4.16 kV						
42502M	1		Quebrador Secundario	800		680
42516M	1		Quebrador Terciario	800		680
	2	0		1,600	0	1,360
					Corriente In = 226.5	

Tag N°	Cantidad		Nombre	Potencia HP / kVA Instalada		Potencia Dem. (kVA)
	Oper.	St/by		Oper.	St/by	
CONSUMOS DE BAJA TENSIÓN (CCM 42705 : Trituración y Almacenamiento) EN 480 V						
42501M	1		Criba Secundaria	50		42.5
42503M	1		Transportador de Banda	100		85
42505M1	1		Criba Terciaria	30		25.5
42505M2	1		Criba Terciaria	30		25.5
42507M	1		Transportador de Banda	15		12.75
42508M	1		Transportador de Banda	125		106.25
42509M	1		Banda Electroimán	5		4.25
42509	1		Rectificador Electroimán	15		12.75
—	1		Puente Grúa Edificio Trituración (Futuro)		65*	55.25*
—	1		Puente Grúa Edificio Cribado (Futuro)		45*	38.25*
42502M2	1		Bba. Sist. Hidroset Quebrador Secundario	10		8.5
42502M3	1		Bba. Lubricación Quebrador Secundario	7.5		6.375
42502M4	1		Bba. Lubricación Quebrador Secundario	0.33		0.28
42502M5	1		Ventilador Quebrador Secundario	7.5		6.375
42502M6	1		Ventilador Quebrador Secundario	0.5		0.43
42502H	1		Sist. De Calentamiento Quebrador Secundario	8.76		7.45

Tag N°	Cantidad		Nombre	Potencia HP / kVA Instalada		Potencia Dem. (kVA)
	Oper.	St/by		Oper.	St/by	
42516M2	1		Bba. Sist. Hidroset Quebrador Terciario	10		8.5
42516M3	1		Bba. Lubricación Quebrador Terciario	7.5		6.375
42516M4	1		Bba. Lubricación Quebrador Terciario	0.33		0.28
42516M5	1		Ventilador Quebrador Terciario	7.5		6.375
42516M6	1		Ventilador Quebrador Terciario	0.5		0.43
42516H	1		Sist. De Calentamiento Quebrador Terciario	8.76		7.45
42574	1		Unidad Hidráulica Alimentador	50		42.5
41504M	1		Transportador de Banda	75		63.75
41505M	1		Banda Electroimán	5		4.25
41505	1		Rectificador Electroimán	17.5		14.88
41512M	1		Ventilador Túnel Bajo Pila de Acopio	7.5		6.375
41522	1		Unidad Hidráulica Alimentador de Banda	30		25.5
41523	1		Unidad Hidráulica Alimentador de Banda	30		25.5
41524	1		Unidad Hidráulica Alimentador de Banda	30		25.5
42587	1		Sist. Enfriamiento Sala Eléctrica N° 5	20*		17*
42589	1		Sist. Aire Acondicionado Sala de Control N° 2	5*		4.25*
42710	1		Transformador para Alumbrado	45		38.25
42731	1		Transformador para Alumbrado	30		25.5
		1	Receptáculos de Fuerza Trifásico (9 unid.)		468	0
	34	1		784.2	578	760.1
				Corriente In = 1,097.1		

(*) Valores estimados

Tag N°	Cantidad		Nombre	Potencia HP / kVA Instalada		Potencia Dem. (kVA)
	Oper.	St/by		Oper.	St/by	
CONSUMOS DE BAJA TENSIÓN (CCM 42707 : Tambor Aglomerador y Curado) EN 480 V						
48510M	1		Bba. Dosificadora Acido Aglomerador	1		0.85
48542M		1	Bba. Dosificadora Acido Aglomerador		1	0
42518M	1		Transportador de Banda	100		85
42523M	1		Transportador de Banda	30		25.5
42524M	1		Transportador de Banda	25		21.25
42528	1		Sistema Automático de Muestreo	8.5		7.225
42580M	1		Bba. Piso Derrames Area Aglomerador	2		1.7
48548M	1		Bba. Piso Derrames Area Estanque de Acido	2		1.7
42579	1		Unidad Hidráulica Alimentador de banda	25		21.25
42576	1		Demister Sistema Extractor de Gases (Futuro)	10 *		8.5
42717	1		Transformador para Alumbrado	45		38.25
42588	1		Sist. De Enfriamiento Sala Eléctrica N° 6	20 *		17 *
		1	Receptáculos de Fuerza Trifásico (7 unid.)		364	0
42709	1		CCM Tambor Aglomerador	150		127.5
	12	2		418.5	365	355.7
				Corriente In = 513.4		

AREA 43 – LIXIVIACION Y PILETAS DE SOLUCIONES

Tag N°	Cantidad		Nombre	Potencia HP / kVA Instalada		Potencia Dem. (kVA)
	Oper.	St/by		Oper.	St/by	
CONSUMOS DE BAJA TENSION (CDC 43703) EN 480 V						
43510M	1		Bomba de Refino	600		510
43511M	1		Bomba de Refino	600		510
43512M		1	Bomba de Refino		600	0
	2	1		1,200	600	1,020
					Corriente In = 1,472	
CONSUMOS DE BAJA TENSION (CCM 43705 : Area Lixiviación y Piletas de Soluciones) EN 480 V						
51502	1		Planta de Osmosis Inversa	162		137.7
51525M	1		Bba. De Osmosis Inversa	25		21.25
51526M		1	Bba. De Osmosis Inversa		25	0
51541M	1		Bomba Agua Tratada	5		4.25
51542M		1	Bomba Agua Tratada		5	0
51507M	1		Bomba Agua Tratada	2		1.7
51508M		1	Bomba Agua Tratada		2	0
51530M	1		Bomba Agua Tratada	3		2.55
51531M		1	Bomba Agua Tratada		3	0
51532M	1		Bomba Agua Tratada (Futuro)	1		0.85
51533M	1		Bomba Agua Tratada (Futuro)	1		0.85
43513M	1		Bba. Refino Impulsión Refino a Aglomeración	20		17
48511M	1		Bomba Dosificadora Acido Sulf. Lixiviación	7.5		6.375
48513M		1	Bomba Dosificadora Acido Sulf. Lixiviación		7.5	0
48512M	1		Bomba Dosificadora Acido Sulf. SX	1		0.85
48514M		1	Bomba Dosificadora Acido Sulf. SX		1	0
48545M	1		Bomba Dosificadora Acido LX	20		17
48546M		1	Bomba Dosificadora Acido LX		20	0
43714	1		Transformador para Alumbrado	45		38.25
43540	1		Sist. De Enfriamiento Sala Eléctrica N° 4	20 *		17 *
		1	Receptáculos de Fuerza Trifásico (4 unid.)		208	0
	13	8		312.5	271.5	265.6
					Corriente In = 383.4	
CONSUMOS TOTALES DE BAJA TENSIÓN				1,512.5	871.5	1,285.6
					Corriente In = 1,855.6	

Tag N°	Cantidad		Nombre	Potencia HP / kVA Instalada		Potencia Dem. (kVA)
	Oper.	St/by		Oper.	St/by	
CONSUMOS DE BAJA TENSIÓN (CDC 43704) EN 480 V						
43520M		1	Bomba de Solución Intermedia		600	0
43521M	1		Bomba de Solución Intermedia	600		510
43522M	1		Bomba de Solución Intermedia	600		510
43523M	1		Bomba de Solución Intermedia (Futuro)	600		510
43524M	1		Bomba de Solución Intermedia (Futuro)	600		510
	4	1		2,400	600	2,040
					Corriente In = 2,944.5	

AREA 45 – EXTRACCIÓN POR SOLVENTES

Tag N°	Cantidad		Nombre	Potencia HP / kVA Instalada		Potencia Dem. (kVA)
	Oper.	St/by		Oper.	St/by	
CONSUMOS DE BAJA TENSIÓN (CCM 45703 : Extracción por Solventes) EN 480 V						
45515M	1		Turbina de DOP E1	50		42.5
45516M	1		Turbina de DOP E2	50		42.5
45517M	1		Turbina de DOP R2	50		42.5
45518M	1		Turbina de DOP R1	50		42.5
45519M	1		Agitador Spirok E-1	30		25.5
45520M	1		Agitador Spirok E-1	30		25.5
45521M	1		Agitador Spirok E-2	30		25.5
45522M	1		Agitador Spirok E-2	30		25.5
45523M	1		Agitador Spirok R-2	30		25.5
45524M	1		Agitador Spirok R-1	30		25.5
45585M	1		Agitador de Impulsión L (Futuro)	25		21.25
45586M	1		Agitador de Secundario L (Futuro)	25		21.25
	12			430		365.5
						Corriente In = 528
CONSUMOS DE BAJA TENSIÓN (CCM 45704 : Patio de Tanques y Filtros) EN 480 V						
45526M	1		Bomba Orgánico Cargado	30		25.5
45527M	1		Bomba Orgánico Cargado	30		25.5
45528M		1	Bomba Orgánico Cargado		30	0
45593M	1		Soplador para Filtro Electrolito	75		63.75
45597M	1		Soplador para Filtro Electrolito	75		63.75
45538M	1		Bomba Alimentación Filtro	100		85
45539M		1	Bomba Alimentación Filtro		100	0
45565M	1		Bomba Refino Pileta Emergencia SX	25		21.25
45531M	1		Bomba Acuoso Recuperado	1		0.85
45532M		1	Bomba Acuoso Recuperado		1	0
45545	1		Compresor de Tornillo	207.5		176.375
45553	1		Compresor de Tornillo (Respaldo)	207.5		176.375
45551	1		Secador de Aire Instrumentos	20		17
	10	3		771	131	655.35
						Corriente In = 946
CONSUMOS DE BAJA TENSIÓN (CCM 45705 : Patio de Tanques y Filtros) EN 480 V						
45591M	1		Bomba de Retrolavado	40		34
45592M		1	Bomba de Retrolavado		40	0
45594M	1		Bomba de Rechazo	5		4.25
45595M		1	Bomba de Rechazo		5	0
45542M	1		Bomba Electrolito Cargado a Limpieza	125		106.25
45543M		1	Bomba Electrolito Cargado a Limpieza		125	0
45534M	1		Bomba Filtro Orgánico	5		4.25
45540M	1		Centrifuga de Grumos	20		17
45541M	1		Agitador Tanque Pre-Capa	10		8.5
45560M	1		Bba. Alimentación Centrifugadora de Grumos	1		0.85
45561M	1		Bba. Alimentación Centrifugadora de Grumos	1		0.85
45566M	1		Agitador Tanque Colector de Grumos	10		8.5
45567M	1		Agitador Tanque Tratamiento Orgánico	10		8.5
45569M	1		Bomba Tanque Pre-capa	10		8.5
45572M		1	Bomba Tanque Pre-capa		10	0
45580	1		Polipasto N° 1	10		8.5
45544	1		Polipasto	1		0.85
45575	1		Sist. Enfriamiento Sala Eléctrica N° 2	20*		17
45576	1		Sist. Aire Acondicionado Sala de Control N° 1	5*		4.25
48520	1		Polipasto de Reactivos	5		4.25
485xx	1		Planta Preparación de Reactivos	40		34
		1	Receptáculos de Fuerza Trifásico (6 unid.)		312	0
45706	1		Transformador para Alumbrado	45		38.25
45719	1		Transformador para Alumbrado	45		38.25

51511M	1		Bomba Agua Caliente	5		4.25
51512M		1	Bomba Agua Caliente		5	0
51514M	1		Calentador de Agua	Pend. (10) *		8.5 *
51515M	1		Calentador de Agua	Pend. (10) *		8.5 *
51529M	1		Calentador de Agua (Futuro)	Pend. (10) *		8.5 *
51518M	1		Bomba Agua Caliente	5		4.25
51527M	1		Bomba Agua Caliente (Futuro)	5		4.25
51536M	1		Bomba Agua Caliente	15		12.75
51537M		1	Bomba Agua Caliente (Stand-By)		15	0
51538M	1		Bomba Agua Caliente	1		0.85
51539M		1	Bomba Agua Caliente (Stand-By)		1	0
45563M	1		Bomba de Sumidero Electrodeposición	2		1.7
51505M	1		Bomba Agua Caliente	5		4.25
51506M	1		Bomba Agua Caliente	5		4.25
	30	8		481	513	408.85
						Corriente In = 590.1
CONSUMOS DE BAJA TENSIÓN (CCM 47704 : Bombas Circulación Electrolito) EN 480 V						
47501M	1		Bomba Electrolito Descargado	50		42.5
47502M		1	Bomba Electrolito Descargado		50	0
47506M	1		Bomba Circulación Electrolito	200		170
47507M	1		Bomba Circulación Electrolito	200		170
47509M		1	Bomba Circulación Electrolito		200	0
	3	2		450	250	382.5
						Corriente In = 552
CONSUMOS TOTALES DE BAJA TENSIÓN				2,132	894	1,812.2
						Corriente In = 2,672

AREA 47 – ELECTROLISIS

Tag N°	Cantidad		Nombre	Potencia HP / kVA Instalada		Potencia Dem. (kVA)
	Oper.	St/by		Oper.	St/by	
CONSUMOS DE BAJA TENSIÓN (CCM 47703 : Electrólisis) EN 480 V						
47570M	1		Sist. De Enfriamiento Sala Eléctrica N° 3	20*		17
47705	1		Transformador para Alumbrado	45		38.25
47718	1		Transformador para Alumbrado	45		38.25
		1	Receptáculos de Fuerza Trifásico (7 unid.)		364	0
	1		Portón Nave Electrodeposición	0.167		0.142
	1		Portón Nave Electrodeposición	0.167		0.142
	1		Portón Nave Electrodeposición	0.167		0.142
	1		Portón Nave Electrodeposición	0.167		0.142
	1		Trolley Puente Grúa 47535	100		85
47726	1		Transformador Auxiliar	100		85
	9	1		310.7	364	264.1
				Corriente In = 381.2		
Tag N°	Cantidad		Nombre	Potencia HP / kVA Instalada		Potencia Dem. (kVA)
	Oper.	St/by		Oper.	St/by	
CONSUMOS DE BAJA TENSIÓN (CCM 47745: Sistema de Ventilación Electrólisis) EN 480 V						
47550M	1		Bba. Transferencia	1		0.85
47597M		1	Bba. Transferencia		1	0
47551M	1		Bba. Transferencia	1		0.85
47598M		1	Bba. Transferencia		1	0
47594	1		Grúa de Mantenimiento	7.5		6.375
47544M	1		Ventilador Sist. Vent. Nave Electrodeposición	350		297.5
47545M	1		Ventilador Sist. Vent. Nave Electrodeposición	350		297.5
	5	2		709.5	2	603
				Corriente In = 870		
CONSUMOS DE BAJA TENSIÓN (Máquina Despegadora de Cátodos)				368.6	0	313.33
				Corriente In = 452.3		
Tag N°	Cantidad		Nombre	Potencia HP / kVA Instalada		Potencia Dem. (kVA)
	Oper.	St/by		Oper.	St/by	
CONSUMOS DE BAJA TENSIÓN (TDF 43730: Piletas Auxiliares) EN 480 V						
43541M	1		Bba. Auxiliar ILS	200		170
43542M		1	Bba. Auxiliar ILS (Stand-By)		200	0
43543M	1		Bba. Auxiliar PLS	200		170
43544M		1	Bba. Auxiliar PLS (Stand-By)		200	0
43734	1		Transformador para Alumbrado	5		4.25
43548	1		Sist. Enfriamiento Sala Eléctrica N° 3A	10		8.5
		1	Receptáculos de Fuerza Trifásico (1 Unid.)		52	0
	4	3		415	452	352.8
				Corriente In = 509.2		
CONSUMOS TOTALES DE BAJA TENSIÓN				1,803.8	818	1,533.23
				Corriente In = 2,213		

CAPÍTULO III PLANTEAMIENTO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

3.1 Del Diseño del Sistema Eléctrico

3.1.1 Dimensionamiento de los Cables en Media y Baja Tensión

Antecedentes

Los cálculos sobre el dimensionamiento de los cables en media y baja tensión, se basan en las potencias de las cargas y equipos eléctricos que se utilizarán en el proyecto; además, de las características de dichos cables.

En general, los cálculos determinarán el dimensionamiento de los conductores que alimentarán las cargas, los cuales, deben cumplir con la capacidad de corriente a plena carga y la regulación o caída de tensión en función del largo del conductor; además, de la capacidad por cortocircuito.

Se consideran para el cálculo, el artículo 318.11 de NOM-001-SEMP-1994, la Tabla 310.16 NOM-001-SEMP-1994 para conductores a 600 V y además el artículo 318.13 de NOM-001-SEMP-1994 y las tablas 310-69, 310-70 para conductores a 5 kV. Para la regulación de los conductores (caída de tensión) en baja tensión se considera menor al 5% total, y para cumplir esto, se determinó en general aceptar como máximo 2% en los cables de distribución y el 3% faltante en los alimentadores de las cargas.

Como antecedentes del cálculo, el factor de potencia de trabajo de los motores se sacó de las tablas del fabricante (TECO – Westinghouse Motor Company, 1800 rpm).

En los cuadros de resultados se muestran:

Los cálculos de los conductores para circuitos de fuerza en 480 V y en 4.16 kV,

La carga total a conectar, además de la regulación de ellas.

El largo de los conductores de cada equipo se estimó de acuerdo a los planos de disposición de canalización y equipos.

Los cables a utilizar en baja tensión serán del tipo XTU para los monoconductores y XTMU para los multiconductores, que pueden trabajar a 90 °C y 600 V. Para media tensión los cables serán del tipo XAT monoconductores, que pueden trabajar a 90 °C, 5 kV ó 15 kV.

Dimensionamiento

A la suma total de las cargas conectadas, se le aplican los factores de demanda y diversidad, dando así una potencia de demanda promedio, que sirve como base de cálculo para dimensionar la sección de los conductores del alimentador de los Centros de

Control de Motores (CCM) y Centros de Distribución de Cargas (CDC), en uno o varios conductores por fase para una regulación máxima, en general del 2%, o en su defecto en vez de conductores usar ducto de barras, esto dependiendo de la potencia de las subestaciones.

Los alimentadores de las cargas que tienen variadores de frecuencia, pueden tener una regulación del 5% desde el variador a la carga, debido a que éste entrega una tensión de salida nominal con la frecuencia variable.

3.1.2 Del Diseño del Sistema de Alumbrado

El diseño de alumbrado se remite al cálculo de la cantidad de equipos por área, basándose en los niveles de iluminación recomendados por las NOM-001-SEDE-1999 (Normas Oficiales Mexicanas) Instalaciones Eléctricas (Utilización), Tabla 924-5 "Niveles Mínimos de Iluminación Requeridos", para cada área.

Para el diseño del alumbrado se consideran los siguientes niveles de iluminación:

Tipo de Lugar	Iluminación (lux)
Oficinas-salas de Control-Laboratorios	400
Salas eléctricas (frente de tableros de control con instrumentos, diversos e interruptores, etc.)	270
Planta General	200
Áreas de Operación Exterior (áreas de maniobra)	160
Pasillos, plataformas (pasillos y escaleras, medidas al nivel del piso)	30
Subestación Exterior	50
Patios (general) y otros sin tránsito	22

Se considera proveer alumbrado de emergencia, mediante unidades autónomas respaldadas por baterías en áreas críticas, tales como: Salas de Control, Vías de Evacuación de Edificios y Salas Eléctricas.

Las lámparas a utilizar serán del tipo industrial, HPS (High Pressure Sodium). En Salas Eléctricas se utilizarán unidades fluorescentes.

En general, los cálculos determinarán la cantidad y tipo de luminarias que se instalarán en cada área, los cuales tienen que tomar en cuenta la altura de instalación del equipo, la potencia de la lámpara, la distribución lumínica del equipo, los niveles mínimos de iluminación del área, la vida útil de la lámpara con su disminución de lúmenes en el tiempo, el mantenimiento del equipo, el área a instalarse y la capacidad de instalación del equipo en terreno.

En las áreas externas, las luminarias deberán tener reflectores para evitar la contaminación lumínica del área.

El método a ser utilizado es el de las Cavidades Zonales y el de Punto por Punto.

3.1.3 Del Estudio de Cortocircuitos Simétricos

El presente Estudio de Cortocircuitos Simétricos (capacidad de ruptura) del Sistema Eléctrico del Proyecto, definen el dimensionamiento de la capacidad de ruptura de los equipos eléctricos proyectados que operarán en la Planta.

El estudio se realizó utilizando el programa computacional ETAP Power Station.

Consideraciones Generales

El sistema en estudio está constituido por una S/E Principal 230/13,2 kV, 2 x 30/40/50 MVA, la cual, alimenta a cinco (5) subestaciones secundarias de manera radial, desde las cuales, se alimentan las cargas eléctricas de los distintos procesos que se realizan en la Planta.

Los niveles de cortocircuito en la barra de 230 kV de la S/E Principal, fueron proporcionados por la CFE (Comisión Federal de Electricidad de México), las cuales, se mencionan a continuación:

$$MVA_{cc, 3\phi} = 1.092 \text{ MVA} \quad (3.1)$$

$$MVA_{cc, 1\phi} = 929 \text{ MVA} \quad (3.2)$$

Los parámetros de los Transformadores de Poder de la S/E Principal que alimentan a toda la Planta, son:

Nivel de Potencia	30/40/50 MVA (OA/FA/FOA)
Nivel de Tensión	230/13,2 kV
Conexión	Dy-1 (Estrella aterrizada a través de resistor 200 A, 10 seg.)
Impedancia	Prim.-Sec. $Z_{12} = 9 \%$, base 30 MVA ($X/R = 23,7$)

Para determinar la impedancia de secuencia cero, se considera que ésta corresponde a un 80% de la impedancia de secuencia positiva.

Para determinar los parámetros de los transformadores de Media Tensión del sistema eléctrico a modelar en el estudio, se utilizaron los valores estándares de impedancia para estos equipos en función de su potencia y nivel de tensión.

Consideraciones para Estudio de Cortocircuitos

Como se pretende dimensionar la capacidad de ruptura o de cortocircuito de los equipos eléctricos, en particular de las protecciones del sistema eléctrico, se considerará el valor de la corriente de cortocircuito a 30 ciclos (0,5 segundos) de ocurrida la falla, la importancia de esta consideración, radica en la contribución que los motores hacen a la falla, producto de la inercia de éstos.

Las cargas de la Planta, son en su mayoría no lineales (motores de inducción, rectificadores, variadores de frecuencia, etc.) y fueron modeladas de esta forma para obtener resultados más precisos.

Casos a Estudiar

Con el objetivo de determinar la mayor corriente de falla, se analizará un sólo caso que considera la peor condición de operación, y es el siguiente:

Caso 1: Demanda máxima del sistema con todos los equipos operando normalmente, con compensación reactiva y sin conexión del interruptor de enlace.

La metodología de Cálculo es el de la ANSI/IEEE donde un equivalente de la fuente de voltaje en el lugar de la falla, la cual equivale al voltaje de pre-falla en el lugar, reemplaza a todas las fuentes de voltaje externas y fuentes de voltaje internas de las máquinas. Todas las máquinas son representadas por sus impedancias internas. Las capacitancias de las líneas y las cargas estáticas no son consideradas. Los taps de los transformadores pueden ser ajustados a su posición nominal. Las impedancias del sistema son asumidas para un sistema trifásico balanceado, y el método de componentes simétricas es usado para cálculos de falla desbalanceada. Se forman tres impedancias diferentes de las redes para calcular las corrientes de cortocircuito momentáneo, interrupción y estado estacionario. Estas redes son: red de ½ ciclo (red subtransiente), red de 1 ½ - 4 ciclos (red transiente) y red de 30 ciclos (red estado estacionario).

3.1.4 De la Determinación del Conductor para las Líneas Aéreas de 13.2 kV

Para el diseño de las líneas, de acuerdo a las condiciones del lugar, se especificó el conductor ACSR y el conductor AAAC que cumplen con los requerimientos de potencia.

Los conductores adecuados para transmitir hasta 8 MVA, considerando una temperatura de operación del conductor de 75 °C y bajo las condiciones del emplazamiento, son los siguientes: ACSR: Partridge, y AAAC: Alliance.

Para los conductores determinados, se calculó el límite de corriente cuando se transmiten 8 MVA; es decir, Partridge: 365 A y Alliance: 350 A.

Para los conductores determinados, se calculó la temperatura de operación del conductor cuando transmite 8 MVA, o sea: Partridge: 71 °C y Alliance: 75 °C.

Metodología

La variación de la temperatura de un conductor en el tiempo, queda determinada por el balance de energías:

$$Q(t) = Q_{\text{Joule}} + Q_{\text{Mag}} + Q_{\text{Sol}} - Q_{\text{Rad}} - Q_{\text{Conv}} - Q_{\text{vap}} \quad (3.3)$$

En que:

$Q(t)$ es el calor almacenado en el conductor en función del tiempo en [W/m]

Q_{Joule} es el calor generado en el conductor por efecto Joule.

Q_{Mag} es el calor generado por efectos magnéticos, histéresis y corrientes de Foucault.

Q_{Sol} es la energía radiada por el sol que es captada por la superficie del conductor.

Q_{Rad} es la energía emitida por la superficie del conductor en forma de radiación

- Q_{Conv} es el calor disipado por convección al medio ambiente.
- Q_{Vap} es el calor disipado al medio ambiente por evaporación de agua en conductores húmedos.

Asumiendo que el conductor es isotérmico en la zona de interés, es decir cualquier gradiente de temperatura al interior del conductor es despreciable, se puede escribir la siguiente ecuación de equilibrio:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} \quad (3.4)$$

En donde m es la masa por unidad de largo del conductor, C_p es el calor específico del material, T la temperatura del conductor y t el tiempo.

El resto de las variables de la ecuación son dependientes de la temperatura T y no de sus derivadas temporales, como se mostrará más adelante. Luego para evaluar la temperatura del conductor en régimen permanente:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} = 0 & \Rightarrow Q = m \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} = 0 \\ & \Rightarrow Q_{Joule} + Q_{Mag} + Q_{Sol} - Q_{Rad} - Q_{Conv} - Q_{vap} = 0 \\ & \Rightarrow Q_{Joule} + Q_{Mag} + Q_{Sol} = Q_{Rad} + Q_{Conv} + Q_{vap} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Q_{Mag} es producto de que la corriente alterna genera flujos magnéticos cíclicos y este calentamiento por corrientes parásitas (o de Foucault) y por histéresis, sin embargo estos efectos son poco apreciables en conductores no ferromagnéticos (cobre y aluminio). Para conductores con alma de acero, el calentamiento por causas magnéticas es mayor, pero se considerará como un factor de peso agregado a Q_{Joule} mediante el parámetro K_j .

Q_{Vap} se presenta cuando el conductor está húmedo. La evaporación del agua que está sobre el conductor facilita la transferencia de calor, no obstante Q_{vap} es despreciable comparado con los otros términos.

Así la ecuación a analizar se simplifica a: $Q_{Joule} + Q_{Sol} = Q_{Rad} + Q_{Conv}$.

Efecto Joule

El calor generado por la corriente alterna que fluye por un conductor es:

$$Q_{Joule} = I^2 \cdot R_{AC} = I^2 \cdot K_J \cdot R_0 \cdot (1 + A_0 \cdot (T - Tr)) \quad (3.6)$$

En el que "I" es la corriente de carga efectiva del conductor en [A]. R_{AC} y R_0 son respectivamente las resistencias de corriente alterna y de corriente continua del conductor en [Ω]. K_j es un factor adimensional que refleja el efecto Skin. A_0 es el coeficiente de temperatura (coeficiente adimensional). Tr es la temperatura de referencia. Por último T es la temperatura a la que se evalúa el calor producto del efecto Joule del conductor.

Esta ecuación considera la resistencia en corriente alterna del conductor R_{AC} como una función lineal con respecto a la temperatura, lo que es válido en el rango de temperaturas de 0°C a 150°C , cometiendo un error ínfimo.

Radiación Solar

La ganancia de calor por efecto de la radiación solar en el conductor puede expresarse como:

$$Q_{\text{Sol}} = \xi_A \cdot D \cdot I_{\text{Sol}} \quad (3.7)$$

En donde ξ_A es el coeficiente de absorción, D es el diámetro del conductor e I_{Sol} es la energía incidente por unidad de área en la superficie del conductor en $[\text{W}/\text{m}^2]$.

I_{Sol} se calcula como:

$$I_{\text{Sol}} = I_B \cdot \text{sen} \theta + \frac{\pi}{2} \cdot I_d \quad (3.8)$$

En donde I_B es la radiación solar directa e I_d es la radiación solar difusa, ambas en $[\text{W}/\text{m}^2]$.

θ es el ángulo entre la radiación solar directa y el eje del conductor, el que es considerado horizontalmente, permite que ese ángulo coincida con la altitud solar.

Una relación para θ será:

$$\text{sen} \theta = \text{sen} \delta_s \cdot \text{sen} \text{Fi} + \cos \delta_s \cdot \cos \text{Fi} \cdot \cos W_s \quad (3.9)$$

Donde δ_s es la declinación solar en $[^{\circ}\text{DEG}]$ y W_s es el ángulo horario del sol en $[^{\circ}\text{DEG}]$.

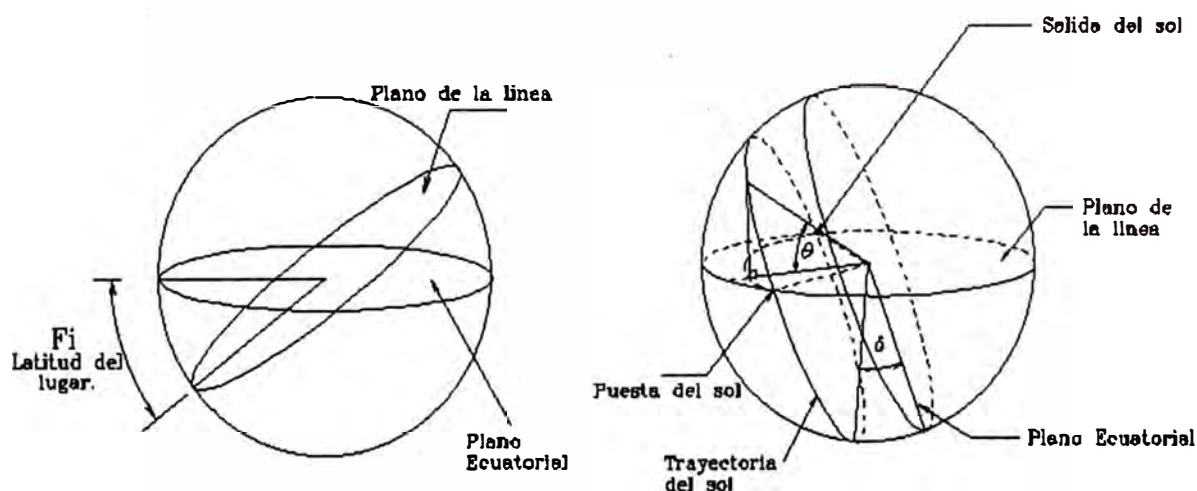


Figura 3.1: Radiación solar

δ_s se puede evaluar en función del día del año n de la siguiente forma:

$$\delta_s = -23.458 \cdot \text{sen}(360 \cdot (284+n)/365).$$

El ángulo horario del sol W_S es determinado por la declinación solar δ_S (y por lo tanto el día del año n), la latitud geográfica del lugar Fi y las horas después del amanecer t_S , se evalúan como:

$$W_S = \arccos[-\text{tg}(\delta_S) \cdot \text{tg}(Fi)] - 15 \cdot t_S \quad (3.10)$$

t_S se evalúa como: $t_S = (\text{HORA} - 12) + t_{\text{dia}}/2$

En que t_{dia} representa las horas de día del día n , y se calcula:

$$t_{\text{dia}} = (2/15) \cdot \arccos[-\text{tg}\delta_S \cdot \text{tg}(Fi)]. \quad (3.11)$$

Siguiendo con el desarrollo, la radiación solar directa I_B varía con la masa de aire atravesada, y por lo tanto con la altitud solar H_s y la turbiedad de la atmósfera. Al nivel del mar y para una atmósfera limpia, esta radiación puede expresarse como:

$$I_{B0} = \frac{1280 \cdot \text{sen}\theta}{\text{sen}\theta + 0.314} \quad (3.12)$$

Así, para una altura cualquiera sobre el nivel del mar H_m , y una condición atmosférica con un coeficiente de turbiedad C_n , la radiación I_B vale:

$$I_B = C_n \cdot [I_{B0} + 1.4 \cdot 10^{-4} \cdot H_m \cdot (1353 - I_{B0})] \quad (3.13)$$

La radiación solar difusa se puede expresar como:

$$I_d = (570 - 0.47 \cdot I_{B0}) \cdot (\text{sen}\theta)^{1.2} \quad (3.14)$$

Radiación

Normalmente el enfriamiento por radiación es una parte pequeña de la pérdida total de calor, sobre todo cuando hay convección forzada. Por esto es bastante buena la aproximación:

$$Q_{\text{Rad}} = \pi \cdot D \cdot \xi_E \cdot \sigma_B \cdot [(T+273)^4 - (T_a+273)^4] \quad (3.15)$$

Con $\sigma_B = 5.6697 \cdot 10^{-8}$ [W/m²·°K⁴], constante de Estefan-Boltzmann.

En que T_a , temperatura ambiente, es medida en [°C]. ξ_E es el coeficiente de emisividad de radiación ($\xi_E = 0.8 - 0.03$).

Bajo una brisa suave la pérdida de calor por radiación puede llegar a ser un cuarto de la pérdida total, con viento esta fracción se reduce considerablemente.

Convección

En una línea bajo condiciones nulas de viento, la densidad del aire alrededor del conductor caliente disminuye, esto provoca fuerzas de empuje que causan un flujo de aire ascendente alrededor de la superficie del conductor. Este proceso se llama convección natural.

Por otro lado cuando el viento sopla sobre el conductor se produce un enfriamiento mayor. El calor transferido en esta condición, es principalmente función de la velocidad y dirección del viento, además de las rugosidades superficiales y el arreglo de

subconductores por fase. Este proceso se llama convección forzada. En este caso se consideró que el viento era perpendicular al eje del conductor.

Según Newton una fórmula general para la convección es:

$$Q_{\text{Conv}} = \pi \cdot D \cdot h \cdot (T - T_a) \quad (3.16)$$

donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, y cuya expresión es:

$$h = k_A \cdot \frac{\text{Nu}}{D} \quad (3.17)$$

con k_A la conductividad térmica del aire en $[W/m \cdot ^\circ C]$, y que varía con la temperatura en la siguiente forma:

$$k_A = 0.02423645 + 7.4565 \cdot 10^{-5} \cdot T_F \quad \text{en que } T_F = 0.5 \cdot (T + T_a) \quad (3.18)$$

Nu es el número de Nusselt, que según Mc. Adams vale:

$$\text{Nu} = B_A + B_B \cdot (\text{Re})^m \quad (3.19)$$

en que Re es el número de Reynolds, el que se calcula como:

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D}{\mu_c} \quad \text{en que } \mu_c \text{ es la viscosidad cinemática del aire, la que se define}$$

como:

$$\mu_c = \frac{\mu_A}{\delta_A} \quad \text{en que } \mu_A \text{ es la viscosidad absoluta del aire, la que fue}$$

parametrizada

En función de la temperatura según datos medidos y δ_A es la densidad absoluta del aire que depende de la temperatura y de la altura sobre el nivel del mar. Como dato de temperatura se toma T_F temperatura media del aire circundante al conductor.

$$\mu_A = 4.58 \cdot 10^{-8} \cdot T_F + 1.7233 \cdot 10^{-5} \quad \delta_A = 298 \cdot \frac{10^{\frac{Hm}{18336}}}{T_F + 273} \quad (3.20)$$

B_A , B_B y m son constantes empíricas, cuyos valores son, en función de Re :

$$B_A = \begin{cases} 0.32 & \text{si } 0.1 \leq \text{Re} \leq 1000 \\ 0 & \text{si } 1000 \leq \text{Re} \leq 50000 \end{cases} \quad B_B = \begin{cases} 0.43 & \text{si } 0.1 \leq \text{Re} \leq 1000 \\ 0.24 & \text{si } 1000 \leq \text{Re} \leq 50000 \end{cases}$$

$$m = \begin{cases} 0.52 & \text{si } 0.1 \leq \text{Re} \leq 1000 \\ 0.6 & \text{si } 1000 \leq \text{Re} \leq 50000 \end{cases} \quad (3.21)$$

quedan así determinados todos los parámetros y se puede evaluar:

$$Q_{\text{Conv}} = \pi \cdot D \cdot h \cdot (T - T_a). \quad (3.22)$$

3.1.5 Del Dimensionamiento de Transformadores de Distribución

Determinación de la Capacidad de Diseño

Para determinar la capacidad de potencia mínima requerida por cada uno de los transformadores a ser usados en el Proyecto, se procede a determinar la máxima potencia, a la cual ellos se verán sometidos de acuerdo a las condiciones de operación proyectadas, agregándose potencia de respaldo (15 a 20%). Además, se considera para efectos de cálculos de diseño que $1 \text{ HP} \cong 1 \text{ kVA}$.

Capacidad de Potencia de los Transformadores de Distribución

Para determinar la potencia de diseño para cada transformador, se tiene presente que cada uno de ellos debe ser capaz de operar dentro de los rangos especificados por normas, aún en las condiciones más adversas.

De acuerdo a esto, los temas de interés a evaluar en cada uno de ellos son los siguientes:

Satisfacer la Demanda Máxima de Potencia.

Cumplir con la regulación de voltaje durante la conexión de cargas principales.

Determinación de Demanda Máxima de Potencia

Para determinar la demanda a que se verá sometido cada transformador, se tiene en cuenta el Listado de Cargas que evalúa la Máxima Demanda de la Planta, desarrollado en el Capítulo II.

Para el cálculo de la potencia asignada a cada transformador, se ha considerado los factores de demanda (f_{dem}) igual a 0.85 y diversidad (f_{div}) igual a 1.0 (equivale a suponer que todos los equipos alcanzan su demanda máxima en el mismo instante de tiempo).

Regulación de Voltaje durante la conexión de Cargas Principales

Para evaluar la capacidad de cada transformador y que respondan a los requerimientos momentáneos de grandes potencias, se tiene que, el elemento más incidente, es la partida de los motores.

Según se indica en la norma IEEE 141-1993 Figura 3-16 (Ver Anexo 2, "Dimensionamiento de Transformadores de Distribución"), la mínima tensión aceptable en bornes del motor de inducción durante la partida, es de aproximadamente 76% (para un motor de 800 HP); pero, para efectos de esta memoria la consideramos en 87%.

Debido a que las bombas comandadas por Variadores de Frecuencia, hacen que el Transformador al cual están conectadas, no esté sometido a carga adicional durante la partida.

Para determinar la capacidad mínima del transformador, consideramos la peor condición que ocurre cuando existen un motor funcionando (ejemplo 800 HP) y, entra el

segundo, en esta situación, tomaremos como 87% la máxima caída de tensión permisible en el secundario del transformador.

Bajo estas condiciones de operación, de acuerdo a lo indicado en la Figura 3-16 de la norma IEEE 141-1993, la capacidad mínima del transformador requerida para mantener la tensión especificada de 87% al momento de la partida del último motor (ejemplo 800 HP) es de 3,000 kVA.

3.1.6 Del Dimensionamiento de los Generadores de Emergencia

Consideraciones

Para el caso de la Subestación Principal, se estableció como criterio, un Grupo Motor-Generador de mayor capacidad que la requerida, con el objeto de tener una capacidad de reserva eventual para servicios en el área de la subestación.

Para servicios de emergencia del Área Húmeda se ha considerado la implementación de un grupo motor-generador para asistir algunas instalaciones consideradas esenciales durante la caída del servicio normal de energía de la planta, tales como:

- Alumbrado Nave Electrólisis (Electro-obtención, Electrodeposición)
- Fuentes Ininterrumpibles de Poder (UPS's) del Área Húmeda, para mantener operativo el Sistema de Control de la Planta.
- Puentes Grúas Nave Electrólisis
- Cintas Calefactoras Cañerías Electrolito
- Respaldo Fuentes de Poder del sistema de control de los CCM's

Asimismo, para la Nave de Electrólisis (Electro-obtención), se requieren dos grupos motor-generador para alimentación de los sistemas de emergencia de las celdas electrolíticas, uno para cada sistema principal de CC (Corriente Continua), en cada Ala de la Nave. Estos sistemas de emergencia de corriente continua, están constituidos por dos unidades rectificadoras de emergencia para atender las dos alas de la Nave. Cada Ala de la Nave está constituida por 80 celdas electrolíticas.

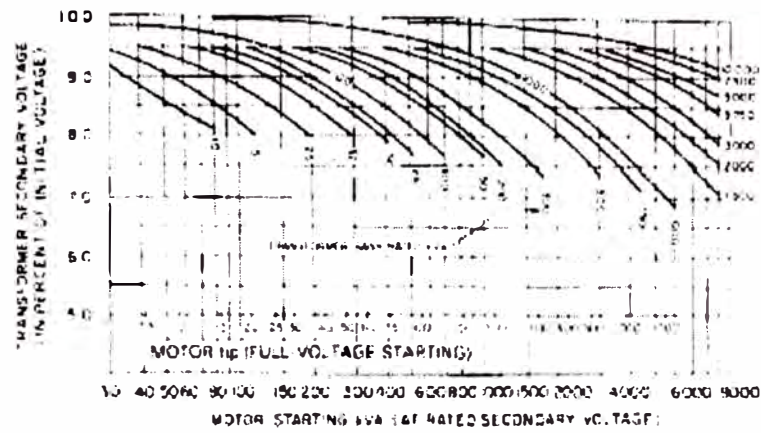
Se considera en el Proyecto dos etapas de implementación:

Etapa 1, Producción de 45,000 tpa. de cátodos de cobre LME Grado A

Etapa 2, Producción de 65,000 tpa. de cátodos de cobre LME Grado A

Para el nivel de Producción de la Etapa 1 se requieren 110 celdas con 84 cátodos de 1 m² y 85 ánodos de plomo cada una.

Para el nivel de producción de 65,000 tpa, se adicionarán 50 celdas, haciendo un total de 160 celdas.



NOTES: (1) The scale of motor horsepower is based on the starting current being equal to approximately 5.5 times normal.

(2) Short-circuit capacity of primary supply is assumed to be as follows:

Transformer bank load (kVA)	Primary short-circuit capacity (kVA)
1-300	25 000
500-1000	50 000
1500-3000	100 000
3750-10 000	250 000

(3) Transformer impedances are assumed to be as follows:

Transformer bank load (kVA)	Primary bank impedance (percent)
10-50	3.0
75-150	4.0
200-500	5.0
750-2000	5.7
3000-10 000	6.0

(4) Representative values of primary system voltage drop, expressed as a fraction of total drop, for the assumed conditions, are as follows:

Transformer bank load (kVA)	System drop / Total drop
100	0.09
1000	0.25
10 000	0.44

Figure 3-16—Approximate voltage drop in a transformer due to full-voltage starting of a motor

Metodología

Grupo Motor-Generador Rectificadores de Emergencia EW

Este grupo se destina al suministro de energía para los rectificadores de emergencia de la Nave de Electrodeposición, los cuales entrarán en servicio por la falta del suministro normal de energía, de manera de evitar el efecto de pasivación de los ánodos. Este efecto es acumulativo y se produce también cuando el potencial por celda es inferior a 1.66 V, produciendo daño a los ánodos, los cuales se deterioran, causando diversos problemas de conducción de corriente en la Nave.

Cada Ala de la Nave tendrá su propio sistema de rectificadores de emergencia para energización de las 80 celdas, por lo anterior se requieren dos grupos motor-generador idénticos.

Grupo Motor-Generador Planta

Este grupo se destina a los servicios de emergencia de la planta con una capacidad de reserva eventual del 20%.

3.1.7 Del Dimensionamiento de Líneas Aéreas en 13.2 kV

Descripción

El sistema de distribución aéreo en 13.2 kV, considerado en el proyecto, está constituido por cuatro (4) líneas en estructura común y una línea simple, alimentadas desde la Subestación Principal e identificadas en el proyecto de la siguiente manera:

Alimentador N° 15 Circuito para S/E Mina.

Alimentador N° 6 Circuito para Sala Eléctrica N° 2 (Área Extracción por Solventes (SX)).

Alimentador N° 18 Circuito para Sala Eléctrica N° 5 (Área Trituración y Curado).

Alimentador N° 19 Circuito para Sala Eléctrica N° 4 (Área Lixiviación)

Alimentador N° 17 Circuito simple para empalme con línea existente para el Sector Administrativo.

El trazado de estas líneas recorrerá la planta, teniendo derivaciones de sus circuitos hacia los diferentes centros de cargas, finalizando en un circuito simple en la Subestación Mina.

Estos alimentadores aéreos se agruparán en el trecho inicial en estructuras que contendrán cuatro circuitos, posteriormente se transforma en estructuras con tres circuitos, continuando con circuito duplo hasta el área de Chancado Secundario/Terciario y finalmente un circuito de línea simple hasta la Subestación Mina, según se indica en el Plano de Planta N° 917-00-70PL-002. El conductor para todos estos circuitos será, por estandarización, de Aleación de Aluminio AAAC Tipo Alliance 246.9 kCM. Estos circuitos aéreos serán protegidos en toda su extensión por un cable guarda (cable de guardia) del tipo OPGW (Optic Guard Wire).

Potencia a Transmitir

Las líneas en general tienen la finalidad de suministrar Energía Eléctrica a las Salas Eléctricas, ubicadas en los diferentes sectores de proceso de la Planta, por lo que su capacidad de transmisión estará dada por la potencia instalada en cada una de ellas. De acuerdo al diagrama unilineal general de la planta, la máxima potencia instalada se encuentran en las Sala Eléctricas N° 4 y 5 las cuales corresponden a dos transformadores de 3 y 2 MVA respectivamente, se considerará una reserva de 3 MVA. Como estandarización las líneas serán diseñadas para transmitir una potencia de 8 MVA, para lo cual, se ha seleccionado un conductor de Aleación de Aluminio AAAC Tipo Alliance 246.9 kCM.

Para el caso de la línea del Sector Administración, se considerará el mismo conductor de los circuitos de fuerza para la planta, asumiendo que Peñoles (Cliente), podría eventualmente utilizar a futuro esta misma línea para el segundo alimentador previsto para la Mina. Este circuito utilizará como cable guarda un cable de acero 3/8" tipo EHS.

Características del Conductor y Cable de Guarda

Conductor AAAC Tipo Alliance, 246.9 kCM

Número de hebras	:	7 de aluminio.
Sección total	:	125.10 mm ² .
Diámetro	:	14.31 mm.
Peso unitario	:	0.345 kg/m.
Tensión de rotura	:	3884 kg.
Módulo de elasticidad final	:	6450 kg/mm ² .
Coeficiente de dilatación lineal	:	0.000 023 (1°C).
Resistencia eléctrica en CA a 25°C	:	0.2728 (ohm/km).

Cables de Guarda

Se considera la utilización de dos tipos de cable de guarda formado por cable OPGW (cable compuesto tierra-óptico), para los circuitos de la planta y cable de acero del tipo EHS, para la línea al Sector Administrativo.

Cable OPGW:

Armadura aluminio / Acero (N°hebras/mm diam.)	:	13/2.44
Sección	:	60.75 mm ² .
Diámetro	:	13 mm.
Espesor tubo Al.	:	0.95 mm
Peso unitario	:	0.50 kg/m.
Tensión de rotura	:	7.500 kg.
Módulo de elasticidad	:	12800 kg / mm ² .

Coefficiente de dilatación lineal	:	0.0000142 (1 / ° C)
Resistencia eléctrica a 20°C	:	0.76 Ohm/km
Radio de Curvatura mínimo	:	400 mm.

Temperatura Máxima en el Conductor

Para las líneas se ha considerado una temperatura ambiente de 35 °C, sol brillante, viento con velocidad media de 2.2 km/hr, coeficiente de emisividad en el conductor de 0.5, altura sobre el nivel del mar de 1,450 m, una temperatura máxima del conductor de 75°C, pudiendo transmitir una corriente de 355.07 Amperes (igual a 8.10 MVA en 13.2 kV).

Metodología para bases de Cálculo para el Conductor y Cables de Guarda

Estas líneas fueron diseñadas con las bases de cálculo para el conductor y los cables de guarda que se indican a continuación:

Sobrecarga a menor temperatura:

Temperatura mínima	:	-5 ° C.
Espesor radial de hielo	:	0 mm.
Viento sobre el conductor sin hielo	:	40 kg/m ² .

Sobrecarga de viento máximo:

Viento sobre el conductor sin hielo	:	89 kg/m ² .
Temperatura ambiente máxima	:	0 ° C.

Flecha máxima del conductor:

Temperatura máxima en el conductor sin viento	:	75 ° C.
---	---	---------

Cálculo de las Sobrecargas en el Conductor y Cables de Guarda

Las fórmulas genéricas para determinar las sobrecargas para cualquier tipo de cable o conductor serán las siguientes:

Presión de viento sobre el conductor sin hielo

$$P_v = p_v * D / 1000 \quad (\text{kg/m}) \quad (3.23)$$

En que:

P_v = presión unitaria de viento de 89 kg/m²

Peso total del conductor con viento máximo

$$P_t = [(P_o)^2 + (P_v)^2]^{1/2} \quad (\text{kg/m}).$$

Donde P_o = peso propio del conductor

En el cuadro del Anexo 2, ("Dimensionamiento Líneas Aéreas en 13.2 kV" – "Peso de Conductores"), se indican los resultados de estos pesos para el conductor AAAC Tipo ALLIANCE y para los cables OPGW y Allumoweld.

Aislamiento

Aislamiento para el Sobrevoltaje de Maniobra

Para el cálculo del aislamiento necesario en la línea con sobrevoltajes de maniobra, se usó la expresión siguiente:

$$V_s = 1,1 * V_n * 2^{0,5} * K_s * H / (3^{0,5} * d^n * K_{II}) \quad (3.24)$$

En que:

V_s = voltaje transiente crítico en seco, de maniobras que debe resistir la cadena.

K = 1,1 factor de sobretensión normal de la línea

V_n = voltaje nominal, fase a fase, de la línea

K_s = factor de sobretensión por maniobras = 2,5

H = factor de corrección por humedad = 1,1

d = densidad del aire = 0.90 para 1450 m.s.n.m.

n = exponente de la densidad = 1.0 para cadenas de longitud > 1.5 m

K_{II} = factor de corrección por lluvias = 1

Para un voltaje nominal de 13.2 kV el voltaje transiente crítico de maniobras $V_s = 95$ kV.

Este sobrevoltaje crítico de maniobras puede ser resistido por una cadena de 1 unidades de aisladores de disco normales de 254 x 146 mm, la cual resiste 110 kV.

Aislamiento por Contaminación

Las líneas se encuentran ubicadas en una zona de contaminación ambiental alta, por lo que se adopta una distancia de fuga unitaria de 31 mm por kV fase a fase.

El número de aisladores se determina por la ecuación:

$$N_{ac} = V_n * D_{fr} / (D_{fa} * d^{0,5}) \quad (3.25)$$

En que:

D_{fr} = distancia de fuga requerida, 31 mm.

D_{fa} = distancia de fuga de cada aislador, 292 mm.

d = densidad del aire a 1450 m.s.n.m. = 0.9

El número de aisladores necesarios es 2 y para prevenir la rotura de uno, las cadenas de anclaje llevarán 3 unidades de 254 x 146 mm.

Distancias Eléctricas

Distancias Eléctricas entre el Conductor y la Estructura

Para fijar esta distancia se establecen dos casos, a saber:

Distancia mínima para resistir los sobrevoltajes normales en la línea, el cual vale:

$$V_{fi} = 1,1 * K_{fi} * H * V_n / (3^{0,5} * (1 - 0,02 * k) * d^n) \quad (3.26)$$

En que:

V_{fi} = voltaje crítico a frecuencia industrial

K_{fi} = factor de sobrevoltaje a frecuencia industrial = 1,5

H = factor de humedad = 1

K = número de desviaciones normales = 3

d = densidad del aire (a 1450 m.s.n.m.) = 0,9

n = exponente = 1

V_{fi} vale 14.86 kV, lo que requiere una distancia mínima de 40 mm. (3.27)

Distancia mínima para resistir todas las sobretensiones que puedan presentarse, para lo cual, se adopta la distancia calculada de acuerdo a la misma ecuación, pero considerando el factor K_{fi} = 2,5 con lo cual:

V_{fi} = 24.77 kV, y la distancia requerida es 60 mm. (3.28)

Adicionalmente, la distancia entre el conductor y la estructura (fase-tierra) se puede determinar por la siguiente expresión:

$$D = 8 + 0,6 (V-10) \quad (3.29)$$

Donde:

D = distancia mínima entre conductor y estructura (cm)

V = voltaje entre fases (kV) incluido el "derating" correspondiente a la altitud.

$$D = 8 + 0.6 (13.2/ 0.9*0.5 -10) \quad (3.30)$$

$$D = 104 \text{ mm} \quad (3.31)$$

Para el diseño de las estructuras, se considera una distancia fase – tierra mínima calculada, más desfavorable.

Distancia entre los Conductores en el Medio del Vano

Para fijar esta distancia se utiliza la ecuación:

$$S = 0,36 F^{0,5} + (V_n /130) + 0,5* L_c \quad (3.32)$$

En que:

S = separación entre fases.

F = flecha máximo en el vano respectivo.

V_n = voltaje nominal = 13.2 kV.

L_c = longitud de la cadena de suspensión = 0 porque se utiliza aislador de alfiler.

Para un vano máximo, de acuerdo a la ubicación de estructuras de las líneas con conductor AAAC tipo Alliance, de 170 m, la flecha máxima será de 3.15 m:

Por tanto: S = 0.74 m.

Para el diseño de las estructuras se considera una separación mínima vertical de conductores de 1.50 m y una separación horizontal mínima de conductores de fase de 0.80 m, cumpliendo ambas distancias con la condición más desfavorable.

Separación Mínima del Conductor al Suelo

La distancia al suelo se determina de la siguiente forma:

En zonas transitables:

$$D = 6 + V_n * 0,006 = 6.1 \text{ m.} \quad (3.33)$$

$$V_n = 13.2 \text{ kV} \quad (3.34)$$

$$D. \text{ adoptada} = 6.10 \text{ m.} \quad (3.35)$$

En zonas no transitables:

$$D = 5 + V_n * 0,006 = 5.1 \text{ m.} \quad (3.36)$$

$$D. \text{ adoptada} = 5.1 \text{ m.} \quad (3.37)$$

En Cruce de Caminos:

Sobre caminos se adoptó una distancia mayor que los 10 m.

En Cruce de Caminos Mineros:

Sobre caminos se adoptó una distancia mayor que los 14 m.

Todas estas distancias se garantizan con el conductor a una temperatura de 50 °C, sin viento.

Tipos de Estructuras Utilizadas

En las líneas se han considerado la utilización de Estructuras tipo portal, multi-circuitos para los conductores, con un cable de guardia, siendo utilizadas de acuerdo a las necesidades del proyecto como suspensión o como anclaje para uno o varios circuitos, con las siguientes designaciones:

- PS2 Portal de Suspensión doble circuito
- PS3 Portal de Suspensión triple circuito
- PS4 Portal de Suspensión cuatro circuitos
- PA2 Portal de Anclaje en ángulo doble circuito, con tirantes dobles para los conductores y simple para el cable de guarda.
- PA3 Portal de Anclaje en angulo triple circuito. Tirantes dobles para los conductores y simple para el cable de guarda.
- PA4 Portal de Anclaje en ángulo cuatro circuitos, y remate de un circuito con derivación por cable. Tirantes dobles para los conductores y simple para el cable de guarda.
- PD2 Portal de Anclaje doble circuito, derivación de un circuito con tensión mecánica reducida y continuación del otro. Tirantes dobles para los conductores y simple para el cable de guarda.
- PD3 Portal de Suspensión triple circuito, remate y derivación para un circuito. Tirantes dobles para los conductores y simple para el cable de guarda.
- PR4 Portal de Remate cuatro circuitos y cable de guarda, con doble estructura. Tirantes dobles para los conductores y simple para el cable de guarda.
- RD1 Remate y derivación para simple circuito y cable de guarda. Tirantes dobles para los conductores y simple para el cable de guarda.
- S1 Suspensión simple circuito y cable de guarda.
- R1 Remate simple circuito y cable de guarda. Tirantes dobles para los conductores y simple para el cable de guarda.

Las crucetas deberán ser adecuadas para las cargas reales del proyecto y serán reforzadas, en caso de ser necesario.

Diseño de Tirantes para Conductor y Cable de Guarda

Las estructuras de anclaje y remate tendrán tirantes, tanto para los conductores como para el cable de guarda, los cuales son diseñados a continuación:

Tirantes para los conductores

De acuerdo a las Tensiones Horizontales máximas para los diferentes vanos que se encuentra en el Anexo 2 ("Dimensionamiento Líneas Aéreas en 13.2 kV" – "Estados de Carga"), los tirantes deberán ser diseñados para la carga máxima encontrada.

Para el vano 170 m, la tensión del conductor $T_H = 1000$ kg por cada conductor. Si los tirantes se instalan con los ángulos respecto a la vertical de 45° tendremos que la carga que tendrá cada tirante será:

$$T_{T \text{ conductor}} = 2^{0,5} \times 3 \times T_H = 2^{0,5} \times 3 \times 1000 = 4243 \text{ kg.} \quad (3.38)$$

Si consideramos un factor de seguridad F.S = 2 para esta condición eventual, el tirante deberá ser diseñado para una tensión máxima de:

$$T_{T \text{ conductor}} = 2 \times 4243 = 8486 \text{ kg.} \quad (3.39)$$

Por lo tanto, deberá utilizarse doble tirante para los conductores, a muertos de anclaje separados y para que puedan ser instalados en paralelo y en el sentido opuesto a la carga, los tirantes tendrán ángulos de 40° y 45° respecto a la vertical.

Se deberá utilizar para cada tirante, un cable de acero galvanizado de $3/8"$ E.H.S, barra de anclaje de $7/8"$ y un muerto cónico de anclaje de 5000 kg, enterrado a una profundidad de 2,20 m.

Tirantes para los Cables de Guarda

Para los tirantes del cable de guarda en el vano de 170 m, tendremos una tensión horizontal $T_H = 860$ kg con un ángulo respecto a la vertical de 45° , lo cual se traduce en:

$$T_{T \text{ cable de guarda}} = 2^{0,5} \times T_H = 2^{0,5} \times 860 = 1216 \text{ kg.} \quad (3.40)$$

Si consideramos un factor de seguridad F.S = 2 para esta condición eventual, el tirante deberá ser diseñado para una tensión máxima de:

$$T_{T \text{ cable de guarda}} = 2 \times 1216 = 2432 \text{ kg.} \quad (3.41)$$

Se deberá utilizar para cada tirante, un cable de acero galvanizado de $3/8"$ E.H.S, barra de anclaje de $3/4"$ y un muerto cónico de anclaje de 2500 Kg, enterrado a una profundidad de 2.20 m.

Ubicación de Estructuras

La ubicación de estructuras se realizó respetando las distancias mínimas ya indicadas con el conductor a 30° C.

En el Anexo 2 ("Dimensionamiento Líneas Aéreas en 13.2 kV" – "Cuadros de Ubicación de Estructuras Líneas") respectivo, se muestran los Cuadros de Ubicación de

Estructuras para las diferentes líneas, con sus vanos reales, vanos equivalente, desniveles, cotas al suelo, alturas, y los correspondientes vanos de viento y peso de las estructuras para las tensiones del conductor a 30 ° C.

Tensiones Mecánicas en los Conductores y Cables de Guarda

Las cargas máximas se presentan cuando los conductores se encuentren a 0° C, con viento máximo de 89 kg/m² y serán de 1000 kg aproximadamente. La tensión normal a 15°C sin viento, para el conductor será de 316 kg . El cable de guarda se colocará con una tensión de 430 kg a 15 °C sin viento, con lo cual se tendrá el 90% de la flecha del conductor correspondiente en la misma condición.

En el Anexo 2 (“Dimensionamiento Líneas Aéreas en 13.2 kV” – “Estados de Carga”), se encuentran los valores de tensión máxima en el conductor y en el cable de guarda para los diferentes vanos de todas las Líneas.

Estados de Cargas de las Estructuras

Se calcularon los diferentes Estados de Carga (indicados en el Anexo 2, “Dimensionamiento Líneas Aéreas en 13.2 kV” – “Estados de Carga) para las estructuras de cada tipo, en la situación que presente mayor solicitud, de acuerdo a los vanos de viento y peso calculados para cada caso. Con las cargas verticales, horizontales y transversales calculadas para los conductores y cable guarda de las estructuras de suspensión y anclaje existentes en las líneas, se verificaron las crucetas, alfileres, postes y se definieron las fundaciones de las estructuras utilizadas en las líneas.

3.1.8 Del Dimensionamiento del Sistema de Puesta a Tierra

Se toma en consideración las corrientes de cortocircuito monofásicos y trifásicos simétricos.

Datos Preliminares

- Estratificación del Terreno:

Para el diseño de la malla de puesta a tierra, se considera la Resistividad Equivalente, suministrado por Peñoles, siendo ésta de:

Resistividad Equivalente	1,000 Ω-m
--------------------------	-----------

- Resistencia de la malla $R_M \leq 1 \Omega$ (sistema industrial pesado)
- Tiempo de despeje de la falla $t_{OP,DESP.} = 0.5 \text{ s}$ (30 ciclos)
- Voltaje de Media Tensión U_1 (kV)
- Voltaje de Media Tensión U_2 (kV)
- Voltaje de Baja Tensión U_3 (kV)

Se proyecta la malla para Media Tensión y Baja Tensión, para lo cual se analiza en los dos sistemas, teniendo en cuenta las condiciones de seguridad.

Sistema de Media Tensión (13.2 kV)Impedancia de secuencia positiva y negativa

$$x_1 = x_2 = U_1 / (\sqrt{3} \cdot I_{CC,3\phi}) \dots\dots\dots \Omega \quad (3.42)$$

Impedancia de secuencia cero

$$x_0 = \sqrt{3} \cdot U_1 / I_{CC,1\phi} - 2 \cdot x_1 \dots\dots\dots \Omega \quad (3.43)$$

Teniendo en cuenta la resistencia de la malla:

$$I_{CC,1\phi} = \sqrt{3} \cdot U_1 / \sqrt{((3 \cdot R_M)^2 + (x_1 + x_2 + x_0)^2)} \quad (3.44)$$

Donde:

$$\Sigma X = x_1 + x_2 + x_0 \dots\dots\dots \Omega \quad (3.45)$$

Considerando la resistencia de la malla igual a $R_M = 1 \Omega$, se tiene:

$$I_{CC,1\phi} = I_F \dots\dots\dots A \quad (3.46)$$

Sección del Conductor (S)

Se considera uniones soldadas.

$$S = I_F / 1,973.42 \times \sqrt{[\log((450 - 25) / (234 + 25) + 1) / (33 \times t_{op})]} \quad (3.47)$$

$$t_{op} = 0.5 \text{ s} \quad (3.48)$$

$$S = .\text{mm}^2 \quad (3.49)$$

Se utiliza cable de Cu desnudo de sección S (mm^2) de tal manera de obtener una corriente máxima admisible de:

$$I_C > I_F \quad (3.50)$$

Diseño de la Malla Propuesta

Superficie de la malla : A (m^2)

Largo del conductor : L (m)

Profundidad de enterramiento : h (m)

Diámetro del conductor : d (mm)

Resistividad Equivalente del Terreno

Se considera la resistividad equivalente de $1,000 \Omega\text{-m}$, dato suministrado por Peñoles.

Determinación de la Resistencia de la Malla

Usando la Ecuación de Sverak (IEEE Std 80-2000)

$$R_M = \rho_{eq} [(1/L) + (1/\sqrt{20A})(1+(1/(1+h\sqrt{(20/A)})))] \quad (3.51)$$

Donde L considera la longitud del conductor más los electrodos.

Corriente de falla a tierra considerando el valor de R_M :

$$I_{CC,1\phi} = \sqrt{3} \times U_1 / \sqrt{((3 \cdot R_M)^2 + (\Sigma X)^2)}$$

$$I_{CC,1\phi} = I_F \dots\dots\dots A \quad (3.52)$$

Cálculo de los Gradientes de Potencial

- Tensión de Borde de la Malla o Voltaje Máximo de Contacto Mano-Pie:

$$E_m = k_m \cdot k_i \cdot \rho_{eq} \cdot I_F / L \dots\dots\dots (V) \quad (3.53)$$

Donde:

$$k_m = (1 / (2\pi)) \cdot [\ln[(D^2 / (16 \cdot D \cdot d)) + (D + 2 \cdot h)^2 / (8 \cdot D \cdot d) - (h / (4 \cdot d))] + (k_{ii} / k_h) \cdot \ln (8 / (\pi \cdot (2n-1)))] \quad (3.54)$$

Siendo:

$k_{ii} = 1 / (2 \cdot n)^{2/n}$ Para mallas sin barras verticales o con unas pocas barras en el perímetro.

$k_h = (1 + h/h_0)^{1/2}$ con $h_0 = 1$ m (profundidad de referencia de la malla).

$k_i = 0.656 + 0.172 n$ n: # conductores paralelos en una dirección.

- Tensión Periférica de la Malla o Voltaje Máximo de Paso:

$$E_{pp} = k_s \cdot k'_i \cdot \rho_{eq} \cdot I_F / L \dots\dots\dots (V) \quad (3.55)$$

Donde:

$k_s = 1/\pi [1/(2 \cdot h) + 1/(D+h) + (1/D) \cdot (1 - 0.5^{(n-2)})]$, para ($h > 0.25$ m y $h < 2.5$ m)

$k'_i = 1.25 k_i$ (con factor de seguridad de 1.25)

- Corriente que pasa por el cuerpo en el Centro de la Malla:

$$I_{cm} = E_m / (1,000 + 1.5 \rho_s) \quad \text{donde } \rho_s = 3,000 \Omega\text{-m}$$

$$I_{cm} \dots\dots\dots (A) \quad (3.56)$$

- Corriente que pasa por el cuerpo en la Periferia de la Malla:

$$I_{cp} = E_{pp} / (1,000 + 6 \rho_s) \dots\dots\dots (A) \quad (3.57)$$

Gradientes Máximos Admisibles

- Tensión de Seguridad de Contacto:

$$E_c = (116 + 0.174 \rho_s) / \sqrt{t_{op}} \dots\dots\dots (V) \quad (3.58)$$

- Tensión de Seguridad de Paso:

$$E_p = (116 + 0.696 \rho_s) / \sqrt{t_{op}} \dots\dots\dots (V) \quad (3.59)$$

- Corriente Admisible por el Cuerpo:

$$I_{cr} = 0.116 / \sqrt{t_{op}} \dots\dots\dots (A) \quad (3.60)$$

Condiciones de Seguridad

Debe cumplirse que:

$$E_m \leq E_c \quad I_{cm} \leq I_{cr} \quad (3.61)$$

$$E_{pp} \leq E_p \quad I_{cp} \leq I_{cr} \quad (3.62)$$

Luego, la malla cumple con las condiciones fijadas de tiempo de operación de la protección y gradientes de potencial.

Resistencia Equivalente de las Mallas

Para la interconexión de las mallas se usarán las siguientes ecuaciones:

$R_{12} = \rho / (2\pi s)$; donde: $R_{12} =$ Resistencia mutua (método de la semiesfera) entre las dos mallas a interconectarse.

ρ = Resistividad del suelo ($\Omega\text{-m}$)

s = Distancia entre los centros de mallas

Considerando la impedancia de los cables de conexión de las mallas muy pequeña ($z \cong 0$), la resistencia total de conexión de ambas mallas, es:

$$R = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2R_{12}} \quad (3.63)$$

Donde: R_1 y R_2 resistencia de puesta a tierra de malla 1 y 2 respectivamente.

3.1.9 Del Cálculo de las Tablas de Tensado para Líneas Aéreas de 13.2 kV

Estas Tablas corresponden tanto para los Conductores como para el Cable de Guarda de las líneas mencionadas.

Cálculo del "Creep"

El "creep" es el estiramiento plástico que sufre el conductor cuando está sometido a una tensión mecánica.

Se hizo el cálculo del "creep", considerando la tensión normal final a 15 °C sin viento en un período de 10 años.

En el caso del conductor AAAC el "creep" se consideró de 10 °C y para el cable de guarda OPGW el creep será de 0° C.

Tablas de Tensado

Para cada tramo entre anclajes, se calcularon las Tablas de Tensado que se incluyen y que están compuestas de las siguientes secciones:

Cuadro de Ubicación de Estructuras:

Sirvieron para el cálculo de cada tramo en el que se indican además de las características del conductor, el tramo, y el valor del vano equivalente del tramo correspondiente.

Tabla con las tensiones iniciales en cada tramo:

Estas son las tensiones con que debe quedar el conductor una vez engrampado, al construir la línea.

Se indican los vanos con su correspondiente desnivel y para las distintas temperaturas las flechas en metros.

La tensión de tendido recomendada es la tensión inicial a 15 °C, sin embargo, se entregan las Tablas de Tensiones y Flechas para diferentes temperaturas.

Para el cálculo mecánico de las líneas se aplican tres hipótesis:

- Hipótesis I : Condición Normal de Templado
- Hipótesis II : Condición de Máximo Esfuerzo
- Hipótesis III: Condición de Flecha Máxima

A continuación se encuentran las Tablas de Tensado para la Línea completa y para la línea en el tramo paralelo, tanto para el conductor como para el cable de guarda.

Para la determinación de esta tabla, se realizaron los cálculos adicionales para cambios de estados, partiendo de la Hipótesis II hacia la Hipótesis I, para varios valores de temperatura ambiental y para un vano de 170 m, determinando la flecha que corresponde a cada valor de temperatura. Finalmente, se calculan las flechas para todos los otros vanos de la línea y para los mismos valores de temperatura.

3.1.10 Del Estudio de Coordinación de Protecciones Eléctricas

La coordinación se realizó utilizando el programa computacional ETAP Power Station.

Alcance

El estudio cubre el desarrollo de la coordinación y ajuste de las protecciones del sistema eléctrico, cubriendo los niveles de tensión 230 kV, 13.2 kV, 4.16 kV y 480 V, incluyendo relés de protección y fusibles, de tal modo que se asegure la operación correcta de las protecciones de los equipos del proyecto.

Consideraciones Generales y Antecedentes

El presente estudio ha considerado dar protección a los equipos, respetando hasta donde ha sido posible, los principios fundamentales de los sistemas de protección: Sensibilidad, Selectividad, Rapidez y Seguridad.

Para efectuar el ajuste y coordinación de las protecciones del sistema eléctrico, se usó como base la información proveniente del proyecto y de los proveedores de los equipos eléctricos, la cual, no es necesariamente certificada, y puede variar en la entrega final de los equipos.

La coordinación de protecciones de los motores grandes (ejm. 800 hp) ha sido estudiada para la condición de operación a plena tensión.

La selección de las curvas y el ajuste de los relés de protección de transformadores de poder, ha considerado la curva de daño para falla frecuente de los transformadores protegidos. No se ha considerado la protección por sobrecarga con las protecciones de sobrecorriente. Esta función queda residente en la protección de sobretensión propia de cada transformador de poder.

La corriente de inrush, fue dibujada de acuerdo a la siguiente regla:

Potencia \geq 300 kVA, Inrush = 8 x In transformador para 0.1 s (6 ciclos)

Potencia < 300 kVA, Inrush = 12 x In transformador para 0.1 s (6 ciclos)

Los ajustes de cada uno de los relés se muestra en los gráficos de coordinación de protecciones y el reporte de ajustes del software del relé correspondiente se adjunta a cada conjunto de gráfica.

El sistema en estudio está constituido por una S/E Principal 230/13,2 kV, 2 x 30/40/50 MVA la cual alimenta a cinco (5) subestaciones secundarias de manera radial, desde donde se alimentan las cargas eléctricas de los distintos procesos que se realizan en la Planta (Ver Plano N° 917-00-70PL-001). El estudio no considera el sistema eléctrico Mina.

Los niveles de cortocircuito en la barra de 230 kV de la S/E Principal, considerando máxima generación y que fueron proporcionados por el CFE, son:

$$MVA_{cc, 3\phi} = 1.092 \text{ MVA} \quad (3.64)$$

$$MVA_{cc, 1\phi} = 929 \text{ MVA} \quad (3.65)$$

Los parámetros de los Transformadores de Poder de la S/E Principal que alimentan a toda la Planta son:

Nivel de Potencia	30/40/50 MVA (OA/FA/FOA)
Nivel de Tensión	230/13,2 kV
Conexión	Dy-1 (Estrella aterrizada a través de resistor)
Impedancia	Prim.-Sec. $Z_{12} = 9 \%$, base 30 MVA (X/R = 23,7)

Para determinar la impedancia de secuencia cero se considera que esta corresponde a un 80% de la impedancia de secuencia positiva.

Los puntos INRUSH y curvas de daño de los Transformadores de Poder, fueron calculados por el programa ETAP.

El estudio de coordinación de protecciones comprende a los interruptores de las Subestaciones hasta el nivel de 480 V (interruptores principales de los CCM, CDC).

Curvas Tiempo / Corriente (Ver Anexo 2, "Estudio de Coordinación de Protecciones Eléctricas)

TCC – 1 , Circuito 1: Coordinación de Protecciones Interruptor CB1 Principal, Interruptor CB2, Transformador T1, Cable 13, Interruptor CB4, Fusible Fuse12, Cable 4, Transformador T9.

TCC – 2 , Circuito 2: Coordinación de Protecciones Interruptor CB1 Principal, Interruptor CB2, Transformador T1, Cable 13, Interruptor CB4, Interruptor CB8, Cable 5.

TCC – 3 , Circuito 3: Coordinación de Protecciones Interruptor CB1 Principal, Interruptor CB2, Transformador T1, Cable 13, Interruptor CB4, Interruptor CB9, Cable 1, Fusible Fuse2, Transformador S/E 47701, Interruptor CB1, Interruptor CB20.

TCC – 4 , Circuito 4: Coordinación de Protecciones Interruptor CB1 Principal, Interruptor CB2, Transformador T1, Cable 13, Interruptor CB4, Interruptor CB10, Cable 2, Fusible Fuse3, Transformador S/E 45701, Interruptor CB24, Interruptor CB25.

TCC – 5 , Circuito 5: Coordinación de Protecciones Interruptor CB1 Principal, Interruptor CB2, Transformador T1, Cable 13, Interruptor CB4, Interruptor CB12, Cable 7, Transformador T4.

TCC – 6 , Circuito 6: Coordinación de Protecciones Interruptor CB1 Principal, Interruptor CB3, Transformador T2, Cable 14, Interruptor CB5, Interruptor CB18, Cable 3, Fusible Fuse4, Transformador S/E 42701, Interruptor CB32, Motor 42502M.

TCC – 7 , Circuito 7: Coordinación de Protecciones Interruptor CB1 Principal, Interruptor CB3, Transformador T2, Cable 14, Interruptor CB5, Interruptor CB18, Cable 3, Fusible Fuse8, Transformador S/E 42735, Interruptor CB50.

TCC – 8 , Circuito 8: Coordinación de Protecciones Interruptor CB1 Principal, Interruptor CB3, Transformador T2, Cable 14, Interruptor CB5, Interruptor CB18, Cable 3, Fusible Fuse5, Transformador S/E 42702, Interruptor CB33.

TCC – 9 , Circuito 9: Coordinación de Protecciones Interruptor CB1 Principal, Interruptor CB3, Transformador T2, Cable 14, Interruptor CB5, Interruptor CB19, Cable 6, Fusible Fuse9, Transformador S/E 43701, Interruptor CB37.

TCC – 10 , Circuito 10: Coordinación de Protecciones Interruptor CB1 Principal, Interruptor CB3, Transformador T2, Cable 14, Interruptor CB5, Interruptor CB19, Cable 6, Fusible Fuse10, Transformador S/E 43702, Interruptor CB43.

3.1.11 Del Estudio de Flujo de Carga

El estudio se realizó utilizando el programa computacional ETAP Power Station.

Objetivos

El desarrollo de este estudio tiene como finalidad cumplir con los siguientes objetivos:

- Determinar las condiciones de regulación de tensión en condiciones normales y de contingencia del sistema eléctrico en las barras de 230 kV, 13,2 kV, 4,16 kV y 0,48 kV.
- Determinar el factor de potencia del sistema, en particular en las barras de M.T. y A.T., y mejorar dicho factor a través de compensación reactiva por medio de banco de condensadores.
- Determinar de manera estimativa las pérdidas del sistema por efecto Joule, producidas en los equipos eléctricos de la instalación.

Consideraciones Generales

El sistema en estudio está constituido por una S/E Principal 230/13,2 kV, 2 x 30/40/50 MVA la cual alimenta a cinco (5) subestaciones secundarias de manera radial, las que a su vez alimentan las cargas eléctricas de los distintos procesos que se realizan en la Planta (Ver Plano N° 917-00-70PL-001). El estudio no considera el sistema eléctrico Mina.

Los niveles de cortocircuito en la barra de 230 kV de la S/E Principal que fueron proporcionados por el CFE, son:

$$MVA_{cc, 3\phi} = 1.092 \text{ MVA} \quad (3.66)$$

$$MVA_{cc, 1\phi} = 929 \text{ MVA} \quad (3.67)$$

Los parámetros de los Transformadores de Poder de la S/E Principal que alimentan a toda la Planta son:

Nivel de Potencia	30/40/50 MVA (OA/FA/FOA)
Nivel de Tensión	230/13,2 kV
Conexión	Dy-1 (Estrella aterrizada a través de resistor)
Impedancia	Prim.-Sec. $Z_{12} = 9 \%$, base 30 MVA ($X/R = 23,7$)

Para determinar la impedancia de secuencia cero se considera que esta corresponde a un 80% de la impedancia de secuencia positiva.

Para determinar los parámetros de los transformadores de M.T. del sistema eléctrico a modelar en el estudio, se utilizaron los valores estándares de impedancia para estos equipos en función de su potencia y nivel de tensión.

Consideraciones para Flujo de Potencia

Los transformadores de poder de la S/E Principal poseen cambiador de derivaciones bajo carga en el lado de 230 kV, los cuales consideran 20 etapas desde -10% a +10%, con escalones de 1,0% de la tensión nominal para cada derivación (tap).

Se estima dentro de la norma una regulación de tensión en el rango de $\pm 5\%$ del valor nominal de voltaje en las barras analizadas.

Las cargas de la Planta son en su mayoría no lineales (motores de inducción, rectificadores, variadores de frecuencia, etc.) y fueron modeladas de esta forma para obtener resultados más precisos.

Casos a Estudiar

Con el objetivo de determinar la regulación de tensión, factor de potencia en barras y pérdidas del sistema, se analizará el siguientes caso:

Caso 1: Demanda máxima del sistema con todos los equipos operando normalmente, con compensación reactiva y sin conexión del interruptor de enlace.

3.1.12 Del Estudio de Partida de Motores

Alcance

El presente informe contempla realizar el estudio de partida de motores de 500 HP y 800.

Se considera que todos los motores son del tipo de inducción y su partida es del tipo directa.

Consideraciones Generales

Se estudiará el tipo de partida (directa) de los motores, bajo la condición más desfavorable.

Tal situación ocurre cuando sólo un motor parte y el otro está funcionando.

CAPÍTULO IV PLANTEAMIENTO TÉCNICO

4.1 Parámetros y Criterios de Diseño

Antes de la determinación de las características del Sistema de Suministro Eléctrico, se debe tener en cuenta en el diseño ciertos criterios y parámetros que permitan dar seguridad y condiciones de servicio a un mínimo costo de inversión. Son estos criterios y parámetros los que se explican a continuación.

4.1.1 Criterio de Diseño Eléctrico

El objetivo básico es establecer los criterios generales de diseño eléctrico para el desarrollo del Proyecto, incluyendo, entre otros, el dimensionamiento, la especificación, la selección y protección de equipos, materiales e instalaciones eléctricas, que son requeridos.

Dicho Criterio de Diseño se aplicará a todas las instalaciones y equipos del proyecto, cuyas directrices se complementan con las correspondientes Especificaciones Técnicas de equipos y materiales asociados al proyecto.

De las Normas y Reglamentos

El diseño del nuevo sistema eléctrico, así como la fabricación, instalación y operación de los diferentes equipos, deberá ajustarse a la última edición de las siguientes normas y reglamentos:

NOM	Normas Oficiales Mexicanas (NOM-001-SEDE-1999)
CFE	Comisión Federal de Electricidad – México
AISC	American Institute of Steel Construction
ASCE	Manual N° 52 “Guide for Design of Steel Transmission Tower”
NEMA	National Electrical Manufacturer’s Association
ANSI	American National Standard Institute
NEC	National Electrical Code
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
NFPA	National Fire Protection Association
NESC	National Electric Safety Code
IEC	International Electrotechnical Commission
IES	Illumination Engineers Association
ISA	Instrument Society of America
ASTM	American Society for Testing of Materials

UL	Underwriters Laboratories
ICEA	Insulated Cable Engineers Association
MSHA	Mine Safety and Health Administration
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
UBC	Uniform Building Code
FMEA	Factory Mutual Engineers Association
PSC	Painting Council manual
NMX-J-109	Transformadores de Corriente, 1977.
NMX-J-123	Aceite Aislante No Inhibido para Transformadores, 1982.
NMX-J-151	Productos de Hierro y Acero Galvanizado por Inmersión en Caliente, 1976

Adicionalmente, el diseño deberá satisfacer todas las leyes, reglamentos y ordenanzas existentes y vigentes en la región. En caso de conflictos o contradicciones entre estas normas y reglamentos, se aplicará aquella que imponga mayor rigor y/o exigencia.

De la Clasificación de Areas

Desde el punto de vista de clasificación de áreas (riesgos), las áreas de la Planta serán consideradas, en general, como no peligrosas, excepto los sectores de almacenamiento o transporte de elementos combustibles derivados del petróleo. Las áreas de Lixiviación y Piletas de Soluciones, Extracción por Solventes, Patio de Estanques y Electrólisis (Electrodeposición) se consideran como áreas corrosivas.

De los Factores de Derrateo

Debido a la altitud que es de 1,450 metros sobre el nivel del mar, los equipos eléctricos aislados y enfriados por aire deben ser reducidos en su capacidad nominal de tensión, corriente y potencia, en conformidad con las Normas ANSI. Esto implica, básicamente, las siguientes reglas:

El factor de reducción de tensión para equipos aislados por aire (switchgear, CCM's) será de 0,95, que corresponde a una altura de 1,500 m.s.n.m., que se puede aplicar en una de estas dos condiciones:

- a) El equipo será diseñado con una sobre capacidad nominal de $1/0.95 = 1.05$, calculado sobre una base del nivel del mar para la tensión de servicio, tensión de soporte de un minuto y nivel de impulso básico (BIL).
- b) Se usarán medios de protección contra sobretensiones para evitar tensiones superiores a 0.95 veces las tensiones de aislamiento nominales sobre la base del nivel del mar de la tensión de servicio, la tensión de soporte de un minuto y el nivel de impulso básico (BIL).

- c) La capacidad nominal de los apartarrayos (pararrayos) en cada circuito mantendrá los voltajes transitorios bajo los niveles de voltaje reducidos.

Los factores de reducción de corriente y de potencia serán aquellos indicados por la norma ANSI correspondiente a una altitud de 1,500 metros sobre el nivel del mar.

En adelante se resumen algunos factores de reducción:

Desconectores y barras colectoras	: 0.95
Transformadores enfriados por agua	: 1.00
Tipo seco	: 0.94
Enfriado con aceite	: 0.92
Enfriado por aire forzado	: 0.90

Motores: Varían con la clase de aislamiento y el sistema de refrigeración. La elevación de temperatura se reduce en 1% por cada 100 m de altitud sobre 1,000 m.s.n.m.

De cualquier forma, no se pueden exceder las temperaturas más altas para cada clase de aislamiento a potencia nominal, a máxima temperatura ambiente y a la altitud del lugar.

Se deberá solicitar a los fabricantes indicar el aumento máximo de la temperatura a nivel del mar, a fin de no exceder el aumento de temperatura permitido a la altitud del lugar.

Estos datos se usarán para las pruebas que se lleven a cabo a menos de 1,000 m.s.n.m.

Para equipos con aislamiento del tipo vacío, gas SF6, aceite mineral y aislamiento sólido, el derrateo se aplicará sólo en aquéllas partes en las cuales el aislamiento sea afectado por la altitud, tales como: bushings, separación de barras, etc. En tales casos el fabricante ofrecerá equipos estándares y deberá establecer claramente que medios de protección o sobredimensionamiento deberán ser usados y el impacto (si lo hubiera) en el voltaje de servicio, voltaje de soporte de un minuto y el BIL.

Adicionalmente a las sobrecapacidades debido a la reducción por altura de los equipos mencionados antes, se considera un sobredimensionamiento para expansiones futuras, seguridad de respaldo bajo condiciones de falla, este criterio estará de acuerdo con la clase de equipo y su importancia en el proceso.

En la medida que sea posible, se debe usar la sobre capacidad nominal por aire forzado de los transformadores para este propósito.

Del Sobredimensionamiento de Instalaciones y Equipos

El incremento de potencia futuro del sistema de distribución eléctrica de la planta, debido a la implementación de la segunda fase del Proyecto (Aumento de Producción), es un factor a ser considerado como un 15 a 20% de aumento.

Los transformadores y los equipos de maniobras (switchgear), deberán contar con una capacidad mayor en un 15% de la demanda definida, a lo menos. Los alimentadores respectivos a estos equipos, se calcularán para cubrir la capacidad nominal de los transformadores.

Del Factor de Potencia y Distorsión por Armónicas

Los requerimientos de potencia reactiva serán determinados considerando los siguientes factores:

- a) El factor de potencia total de la planta operando a plena producción no deberá ser inferior a 95%.
- b) Los motores de media tensión deberán tener un factor de potencia a plena carga igual o superior a 90%.

La distorsión de corriente y tensión debido a armónicas será controlada de acuerdo con las prácticas e índices recomendadas por la IEEE 519.

Para los rectificadores de EW se deberán usar filtros de armónicas, además de corregir el factor de potencia.

Del Suministro de Energía Eléctrica

La energía requerida para las nuevas instalaciones del proyecto, será proporcionada por una línea aérea de 230 kV, desde la Subestación CANANEA localizada a 25 km de las instalaciones, la que llegará hasta la Subestación Principal, la cual, contará con dos transformadores de 230/13.2 kV de capacidad adecuada a los requerimientos del proyecto. En caso de ser necesario, cada transformador por si sólo deberá ser capaz de proporcionar toda la potencia requerida por la Planta, considerando inclusive la futura implementación de la segunda fase del proyecto (aumento de producción).

El esquema normal de operación de la subestación, será con dos transformadores en forma individual, en la eventualidad de salida de un transformador de poder, el sistema funcionará en el esquema de barra única; es decir, un transformador será capaz de atender todas las instalaciones de los diversos centros de consumo de la planta trabajando en la condición de régimen forzado de enfriamiento.

Para el diseño de las instalaciones del patio y equipos asociados al proyecto se deberán considerar las siguientes características del sistema primario de suministro de energía:

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| • Tensión primaria | 230 kV +/- 10% |
| • Frecuencia | 60 Hz +/- 1% |
| • Nivel de Cortocircuito (230 kV) | 1,092 MVA por CFE México (*) |
| • Tipo de conductor | ACSR/TA por CFE México |
| • Sección del conductor | 1,113 kCM por CFE México |

(*) CFE – Comisión Federal de Electricidad de México.

Del Sistema Primario de Distribución de Energía

El sistema de distribución primario será en 13.2 kV, 60 Hz. siendo un sistema radial de alimentadores desde el switchgear principal localizado en la sala eléctrica de la subestación. Estos alimentadores serán a través de líneas aéreas del tipo pesado y/o bancos de ductos, según la conveniencia y grado de contaminación ambiental. Para el caso del área de piletas se deberá considerar línea aérea.

De los Niveles de Tensión de Distribución

13.2 kV, 3 fases, 3 conductores,	Sistema primario de distribución
4.16 kV, 3 fases, 3 conductores,	Sistema de distribución de media tensión
480 V, 3 fases, 3 conductores,	Sistema de distribución de baja tensión sólidamente puesto a tierra
220/127 V, 3 fases, 4 conductores,	Sistema de distribución de BT sólidamente puesto a tierra.
120 V, 1 fase, 2 conductores,	Voltaje de control, sólidamente puesto a tierra.
125 VCC, 2 conductores, 4-20 mA, Señalización.	Voltaje de control.

De los Niveles de Tensión de Utilización

4.0 kV, 3 fases, motores de media tensión
460 V, 3 fases, motores de baja tensión
220 V, 3 fases, motores de baja tensión
120 V, 1 fase, voltaje de control y servicios
125 VCC, voltaje de control.
4-20 mA, señalización.

Los equipos deberán operar normalmente con variaciones de hasta un 10% en voltaje, sin sobrecalentamiento y falla de aislamiento.

La caída de tensión en barras de CCM's o de switchgears, durante la partida de motores, no deberá superar el 13%.

De los Niveles de Tensión de Circuitos de Control

- Centro de control de motores de media y baja tensión
120 V, 1 fase, 2 conductores, desde transformadores de control individuales, incluidos en cada partidor.
- Switchgear de 13.2 kV y 4.16 kV, Interruptores de 230 kV
125 Vcc, desde baterías y cargadores.
- Dispositivos de protección y medición
120 V, 1 fase, 2 conductores, desde transformador de potencial.

Equipo Eléctrico Principal

Los equipos eléctricos de proceso principales de la planta son los siguientes:

- Switchgears de media tensión (13.2 kV y 4.16 kV)
- Centro control de motores de media y baja tensión (4.16 kV y 480 V)
- Variadores de frecuencia de media y baja tensión (4.16 kV y 480 V)
- Centros de distribución de cargas de baja tensión (480 V)
- Transformadores de distribución 13.2/4.16 kV y 13.2/0.48 kV
- Sistema de corriente continua electrodeposición
- Transformadores Rectificadores de Poder
- Generadores de emergencia

Los equipos eléctricos arriba mencionados, son tratados en forma más explícita en el Anexo, referente a las especificaciones técnicas para estos equipos.

Del Grado de Protección de los Equipos

En general, los Switchgears, CCM's, variadores de frecuencia, paneles de fuerza y alumbrado y otros serán instalados en el interior de salas eléctricas de albañilería o prefabricadas, los grados de protección a considerar serán los siguientes:

- Equipos uso interior, NEMA 12, o IEC equivalente
- Equipos uso exterior, áreas secas, NEMA 4, o IEC equivalente
- Equipos uso exterior, áreas húmedas corrosivas, NEMA 4X
- Para variadores de frecuencia podrá usarse protección NEMA 1A, debido a los problemas de ventilación que estos equipos presentan.
- Paneles de control, uso interior, NEMA 1A
- Botoneras NEMA 4 y NEMA 4X para áreas corrosivas.
- Los equipos instalados en zonas clasificadas peligrosas, deberán tener gabinetes con protección adecuada para esa clasificación.

De los Motores Eléctricos

En general, los motores serán de inducción del tipo jaula de ardilla y formarán parte integral de los equipos mecánicos, debiendo ser seleccionados según sus requerimientos de carga, velocidad y torque para operación continua a la altura y temperatura ambientales.

Los motores deberán atender a las siguientes características y voltajes nominales:

- Desde 300 a 5,000 HP 4,000 V, 3 fases, 60 Hz.
- Desde 1 a 250 HP 460 V, 3 fases, 60 Hz.
- Menor que 1 HP 220 V, 3 fases, 60 Hz.

Todos los motores con potencia igual o superior a 300 HP (media tensión) deberán contar con RTD's para medición de temperatura en los enrollados (dos por fase),

y en los descansos, alambrados a una caja independiente en el exterior del motor (carcaza).

Los motores serán apropiados para operar a carga nominal y de acuerdo a los datos del lugar de la zona del Proyecto.

Los motores deberán ser fabricados con rodamientos antifricción.

Todos los motores de baja tensión (460 V) serán diseñados para partida directa (a plena tensión). Los motores menores de 1 HP, poseerán partida por condensador para altos torques de arranque o partida por deslizamientos de fase donde se requiera un arranque normal.

Las cargas con torque de arranque normal tendrán motores diseño NEMA B, y cuando sea requerido alto torque de partida, los motores serán diseño NEMA C o D (o IEC equivalentes). La letra de diseño NEMA (que relaciona la corriente de partida y las características de torque), será determinada por los requerimientos del torque de partida de la carga.

Los tipos de protección de los motores estarán definidos por el grado de exposición al polvo y humedad, generalmente serán como sigue:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| - Motores inferiores a 1 HP | TEFC o TENV |
| - Motores desde 1 hasta 500 HP | TEFC o TEBC |
| - Motores desde 500 hasta 1,000 HP | TFFC o TEAAC |
| - Motores mayores a 1,000 HP (húmedo) | WP-I, WP-II o TEAAC, sellado y resistente a la abrasión. |

Los motores de baja tensión tendrán aislamiento clase F, con aumento de temperatura clase B. El factor de servicio será 1,15.

Los motores de media tensión tendrán aislamiento clase F, con aumento de temperatura clase B. El factor de servicio será 1,00.

Los motores deberán ser de alta eficiencia, enfriados por ventilador (TEFC), para servicio químico (“severe duty” según IEEE 841). La caja de terminales deberá ser del tamaño inmediatamente superior al estándar provisto, con un terminal de puesta a tierra en su interior.

Los motores de media tensión con capacidad superior a 1,000 HP, deberán suministrarse equipados con condensadores y pararrayos de protección de sobretensión en los terminales del motor, montados en la misma caja de conexiones principal. Se deberá también considerar tierra a la estructura del motor y malla de tierra local.

Los motores superiores a 300 HP serán equipados con calefactores (space heaters).

El voltaje en los terminales de los motores deberá ser suficiente para asegurar el torque y aceleración del motor. En general, la caída de voltaje en el sistema durante la partida de motores no deberá exceder los siguientes valores:

- Barras primarias del sistema distribución (13.2 kV)	5%
- Barras secundarias del sistema distribución (4.16 kV)	10%
- Terminales de los motores (4.16 kV y 480 V)	15%

Del Sistema de Puesta a Tierra

El sistema de puesta a tierra estará constituido por mallas de tierra locales interconectadas, construidas con conductores de cobre desnudo de temple blando N° 4/0 AWG, y conexiones a los equipos a través de conductor N° 2/0 AWG. Las mallas deberán ser enterradas a un mínimo de 0.6 m de profundidad, y las conexiones deberán ser del tipo exotérmicas.

El sistema de Puesta a Tierra deberá ser diseñado en conformidad al estándar IEEE 80. El diseño deberá asegurar potenciales de paso y de contacto seguros dentro y fuera de las áreas cubiertas por las mallas. Para este efecto se deberá considerar la falla a tierra más desfavorable con una duración mínima correspondiente al tiempo máximo de despeje de tal falla, en ningún caso se podrá considerar una duración inferior a medio segundo.

En los sistemas de charolas, trincheras o canaletas de hormigón, se deberá considerar un cable de cobre desnudo, 19 hilos, N° 2/0 AWG, a lo largo de las mismas y afianzados mediante prensas de dos piezas y con derivaciones a tierra a cada 60 m como mínimo, Deberá permitir también derivar conductores hacia equipos que no cuenten con un cuarto conductor en su alimentador.

Todas las mallas locales dedicadas y puntos de puesta a tierra deberán interconectarse a través de los bancos de ductos subterráneos (cable cobre desnudo) y líneas de distribución aérea (cable de guardia). Las partes estructurales metálicas del perímetro de cada edificio también deberán ser conectadas a estas mallas. Asimismo, las conexiones entre mallas deberán ejecutarse mediante una cámara de medición, donde se ejecutarán mediciones parciales.

Todos los equipos que se alimentan con cable multiconductor, serán conectados a tierra por un conductor del propio cable. La puesta a tierra de los motores será única y se hará mediante la conexión directa a la malla de tierra cuando se utilice cable monoconductor, o a través del cuarto conductor cuando se utilice cables multiconductores.

El proyecto no considera malla especial de puesta a tierra para instrumentación, cualquier sistema de control y/o instrumentación deberá ser conectado a la misma malla de puesta a tierra del sistema eléctrico del área respectiva.

Todos los equipos de distribución de fuerza deberán tener como mínimo dos puntos diferentes de conexión a la malla de tierra por equipo (transformadores, CCM's, switchgears de baja y media tensión).

De los Conductores, Cables y Terminaciones

Los cables de baja tensión en general deberán ser del tipo THW-LS, retardantes a la flama y a la propagación de incendio, con aislación de Policloruro de Vinilo (PVC) resistente al agua y al calor. Los cables de media tensión serán del tipo Polietileno de Cadena Cruzada (XLP) con cubierta de PVC. Las clases de aislamiento serán: para baja tensión clase 600 V, para media tensión 5 kV (para sistema 4.16 kV) y 15 kV (para sistema de 13.2 kV) respectivamente, con nivel de aislamiento de 100% para sistemas con neutro aterrizado y temperaturas de 90 °C para operación normal, 130 °C para máxima sobrecarga (emergencia) y 250 °C para cortocircuito.

Para media tensión se usarán solamente cables del tipo monopolar, del tipo apantallados y su calibre mínimo será N° 2 AWG, la pantalla deberá ser conectada a tierra en un solo punto. Para alimentación a centros de distribución los calibre mínimos a considerar (previa verificación del cortocircuito más desfavorable), son los siguientes: N° 4/0 AWG para los de clase 15 kV y 2/0 AWG para los de clase 5 kV. Asimismo, para alimentación de motores de media tensión el calibre mínimo a utilizar será el N° 2 AWG.

Los cables de baja tensión serán del tipo THWN y podrán ser monoconductores y/o multiconductores dependiendo de sus calibres, el calibre mínimo para alimentación de motores será N° 12 AWG. Se utilizarán cables multiconductores hasta la sección N°4 AWG, superior a este calibre serán monoconductores. Para alimentación de centros de distribución, el calibre mínimo será 500 kCM.

Los cables de control serán multiconductores de cobre blando, sin estaño, cableados con aislamiento de polietileno reticulado y sin blindaje, aptos para temperatura de servicio de 90 °C y aislación clase 600 V y con calibres N° 14 AWG y N° 12 AWG. Para instrumentación se deberá usar un par torcido N° 16 AWG, 90°C, 300 V y un multipar torcido N° 18 AWG, 90°C, 300 V.

Para alumbrado se utilizarán cables multiconductores de 7 hilos, aislamiento termoplástico y de las siguientes secciones: N° 14, 10, 8 y 6 AWG. En charolas se utilizarán cables multiconductores y los monoconductores se utilizarán en conduits. Asimismo, para enchufes de fuerza se utilizarán los calibres: N° 10, 6 y 4 AWG.

Para efectos de estandarización de cables de fuerza y control, a ser utilizados en el proyecto, se considerarán los siguientes calibres:

Monoconductores de 600 V: 2 AWG, 1/0 AWG, 4/0 AWG, 350 kCM y 500 kCM.

Multiconductores de 600 V: 12 AWG, 10 AWG, 6AWG y 4AWG.

Monoconductores de 5KV:	2 AWG, 2/0 AWG, 4/0 AWG, 350 kCM y 500 kCM
Monoconductores de 15 kV:	2 AWG, 2/0, 4/0 AWG y 350 kCM.
Cables de control de 600 V:	12 AWG y 14 AWG de: 3, 5, 9, 19, y 27 conductores.

Los conectores y terminales de los cables de fuerza de baja tensión, deberán ser del tipo compresión, cilindro largo, tipo cobre/aleación cobre. Para control, el alambrado deberá ser terminado en regletas de terminales con conectores de prensa tipo tubular.

En media tensión (5 y 15 kV) los cables serán instalados con terminaciones de conos de alivio en ambos extremos.

El código de colores para los cables de fuerza obedecerá a las normas vigentes en México. Asimismo el código de colores para cables de control será según las Normas Mexicanas y/o según ICEA S-19-81, método 1.

De las Canalizaciones

En general, en el diseño se utilizarán los siguientes soportes para las canalizaciones de cables de fuerza, control, instrumentación y alumbrado:

- Conduits a la vista de acero galvanizado y/o PVC según ambiente
- Charolas portaconductores de acero galvanizado o FRP según ambiente.
- Bancos de ductos para canalizaciones subterráneas
- Trincheras, canaletas y túneles.

Conduits a la Vista

Para la canalización a la vista en interiores y áreas no corrosivas se usarán conduits de acero rígidos galvanizados en caliente, norma ANSI C80.1. En el caso de atmósferas corrosivas y áreas exteriores se usará conduit de acero rígido cubierto con PVC con fittings de acero inoxidable.

Cuando se requieran tramos largos, los conduits instalados a la vista deberán incluir cajas de unión a distancias que no excedan los 20 m con un máximo de dos curvas de 90° o 180° totales acumulados en curvas.

Las cajas de unión exteriores serán NEMA 4 o Nema 4X dependiendo el ambiente en que se instalen.

Independiente del servicio que presten, el tamaño mínimo de los conduits será de ¾" para conduits de acero galvanizado y 25 mm para PVC.

Los tamaños normales de conduits de acero a utilizar serán: ¾", 1", 1 1/2", 2", 3", 4" y 6".

Los cables que se canalizan en conduits metálicos rígidos serán dimensionados e instalados cumpliendo los siguientes requerimientos:

El área interna máxima del conduit que puede ser ocupada por los cables, cumplirá con lo indicado en las Normas Oficiales Mexicanas y/o el NEC.

Las conexiones a motores y otros elementos sometidos a vibraciones, se efectuarán con ductos metálicos flexibles, estancos, con cubierta de PVC.

En general, los cables de fuerza y control se canalizarán en ductos separados.

Charolas Portaconductores (Escalerillas)

Se emplearán charolas portaconductores para canalización de cables de fuerza, control e instrumentación, particularmente en salas de equipos eléctricos y en áreas de proceso. Los cables de fuerza y control de un mismo nivel de aislamiento, podrán ser canalizados en una charola común con el uso de separadores; en caso contrario, se utilizarán charolas independientes, según recomendaciones de la IEEE 518 y los requerimientos del NEC.

Las charolas portaconductores deberán fabricarse con material resistente a la corrosión o metal con una terminación resistente a la corrosión, de acuerdo a NEMA(FRP).

Las charolas metálicas deberán ser galvanizadas en caliente después de fabricadas, de acuerdo con la norma ASTM A123, Clase B2 (peso medio recubrimiento de zinc de 0.1 lb/ft²). Constructivamente las charolas metálicas deberán ser de acero 2 mm de espesor mínimo, para trabajo pesado, en tramos de 3 m de longitud, con laterales de 100 mm, palillos ranurados de 1.5 mm. de espesor soldados, dispuestos a una distancia no superior a 15 cm.

En áreas corrosivas se emplearán charolas de poliéster o vinilester, reforzada con fibra de vidrio (FRP), serán para trabajo pesado, con palillos soldados, separados a distancias no superiores a 20 cm. Las charolas de este tipo a ser utilizadas en el exterior deberán tener protección para la radiación ultravioleta.

En las zonas externas o intemperie, se instalará sobre las charolas una tapa de 1.5 mm. de espesor mínimo, del mismo material de la charola.

Las eclisas de unión y pernos serán del mismo material que el de las charolas, para el caso de charolas de FRP estos elementos serán de acero inoxidable.

Todas las Charolas instaladas al exterior deberán ser con tapas y sus soportes deberán ser de material no combustible y resistente a la radiación UV.

Los conductores y cables deberán ser amarrados a los travesaños para prevenir movimiento excesivo debido a las fuerzas magnéticas de corrientes de cortocircuito.

Las amarras plásticas deberán ser retardantes a la llama y mantener sus características mecánicas considerando el aumento de temperatura de los cables.

Los soportes deben ser resistentes a la corrosión.

Se regirán conforme recomendaciones del NEC y/o la norma IEC 364-5-523.

Deberá mantenerse una distancia útil mínima de 30 cm entre el borde superior de la charola y el cielo de la sala u otro obstáculo de la construcción.

Cuando las charolas se dispongan verticalmente, deberán estar separadas como mínimo en 30 cm.

En cruces de charolas, la separación mínima útil en sentido vertical será de 15 cm.

En racks para instalaciones de servicio, las charolas deben ocupar el nivel más alto en el rack, sobre las tuberías de proceso y/o servicios.

Las charolas no deberán ser instaladas entre o por debajo de tuberías de proceso y/u otros servicios similares.

Debe evitarse donde sea posible, ubicar charolas en los lados exteriores de los racks o a bajo nivel dentro del rack, donde son más vulnerables. Si por razones de servicio y/o construcción, esto no es posible, debe suministrarse protección mecánica.

Canalización Subterránea

Se usará este método de distribución sólo cuando ninguno de los otros métodos indicados sea factible.

En Canalización subterránea no se permitirá el uso de conductores directamente enterrados.

Las canalizaciones subterráneas se efectuarán con bancos de ductos de hormigón, se harán con conduits de acero galvanizado ANSI C80.1 y conduits de PVC sch 40. Cuando crucen una zona de tránsito pesado se emplearán conduits de PVC sch 80. Los bancos de ductos podrán ser con o sin armadura de acero, todos los bancos de ductos subterráneos llevarán concreto y mortero de color rojo en su cara superior, con un espesor exterior de una envolvente de concreto de a lo menos 75 mm, el espacio libre entre ductos no será inferior a 50 mm. Los bancos de ductos que crucen zonas de tránsito pesado, se instalarán con barras reforzadas o armaduras a una profundidad mínima de 750 mm medidos a la cara superior del banco.

Los bancos de ductos deberán incluir un cable de tierra a lo largo de todo su recorrido y derivaciones a barras en todas las cámaras. La canalización del cable de tierra deberá ser exterior al banco de ductos.

Los bancos de ductos deberán incluir una provisión de conduits de reserva de 25% como mínimo y cámaras de acceso dispuestas a distancias no superiores a 90 metros. Los conduits se instalarán de preferencia en forma rectilínea. La configuración de bancos de conduits con curvas horizontales y/o verticales, si fuere estrictamente necesario, deberá ser tal que el cálculo demuestre que los esfuerzos de tensión sobre los cables en las faenas de tendido no sobrepase el máximo admisible. Los ductos instalados en los bancos deberán tener una pendiente de 0.4% entre cámaras.

La capacidad de corriente de los cables que se instalen en los bancos de conduits cumplirá con lo indicado en las Normas Oficiales Mexicanas y/o NEC.

Canaletas, Trincheras y Túneles

En lugares donde no haya tránsito vehicular y se requiera un fácil acceso a los cables se utilizarán canaletas y/o trincheras de albañilería, construidas con radier de hormigón y estucadas, las trincheras serán de hormigón. El fondo de las canaletas tendrá una pendiente de 0.5% hacia fosas de drenaje. Las canaletas serán cubiertas con tapas de hormigón, resistentes al tránsito peatonal y de tamaños tales que sean removibles, fácilmente por una persona, en cruces de caminos de circulación de vehículos menores las canaletas y sus tapas deberán ser armadas.

El ancho mínimo y profundidad mínima de las canaletas será 600 mm, la profundidad dependerá de la cantidad de cables y niveles de charolas que se instalen en su interior. El nivel superior de las canaletas, incluidas sus tapas deberá sobresalir 200 mm sobre el nivel del terreno, para evitar la entrada de agua, o líquidos en general.

Los cables de fuerza irán lanzados directamente sobre el fondo de la canaleta y los de control irán sobre charolas adosadas en las paredes de la misma. En el interior de la canaleta correrá un cable de cobre desnudo N° 2/0 AWG ó 4/0 AWG, según corresponda, conectados a la malla de tierra en ambos extremos.

En aquellos lugares donde exista una gran cantidad de cables de fuerza y control (Sala Eléctrica Subestación Principal, por ejemplo), se construirán trincheras adecuadas con charolas en ambas paredes en cantidades que el proyecto lo requiera, considerando también futuras expansiones.

Donde haya tránsito vehicular pesado o instalaciones subterráneas bajo equipos mayores se utilizarán túneles, los que al igual que las trincheras llevarán charolas en sus paredes, además de la iluminación correspondiente.

De los Paneles de Control

Los gabinetes o cajas de paneles de control a ser instalados en el interior de salas eléctricas serán de protección NEMA 12. Los dispositivos interiores deberán ser alambrados a regletas de terminales.

Los paneles de control instalados en áreas exteriores de proceso, no corrosivas, serán NEMA 4, y en los sectores donde exista presencia de corrosión, deberán ser fabricados con protección NEMA 4X.

En general, los equipos mecánicos serán provistos sin los arrancadores, excepto donde el dispositivo de control y arranque forma parte integral del equipo suministrado.

Las regletas para interconexión con equipos externos, serán ensambladas y alambradas completamente en fábrica.

Los relevadores de control deberán ser del tipo enchufables y su bobina será adecuada para operar en el rango de 85% a 110 % de su voltaje nominal.

Los relevadores temporizados serán del tipo estado sólido, enchufables, con ajuste en el tiempo de retardo.

Todos los relevadores y contactos deberán ser aptos para 120 V, 10 A de operación continua.

Las luces piloto serán del tipo transformador para sistema CA y de resistencia en sistema CC.

Los colores para las luces serán los siguientes:

Rojo	Equipo corriendo
Ambar	Falla
Verde	Energizado/ Listo/Detenido
Blanco	Indicador de posición
Azul	Indicador de nivel

Todos los motores poseerán dos (2) modos de operación: Remoto (DCS) y Local (Prueba).

El modo de operación remoto estará centralizada en los cuartos de control, los cuales contendrán el equipamiento adecuado para este fin.

El modo de operación Local se hará desde la Estación de Control Local, la que contará con pulsadores Partir y Parar (Emergencia) y su ubicación será tal que permita estar "a la vista del motor". La distancia máxima entre motor y Estación de Control Local no deberá ser superior a 6 m.

Los enclavamientos críticos de seguridad, se harán en forma física y con alambrado directo al elemento de control eléctrico. Al DCS se enviará una señal de estado de este enclavamiento.

La alimentación eléctrica para el Sistema de Control debe ser independiente de las alimentaciones correspondientes a los sistemas de Alumbrado y tomacorrientes. Además, deberá ser respaldada por UPS.

Los equipos que posean control de velocidad mediante VDF operarán bajo el mismo criterio definido para los motores y en lo relacionado con el ajuste de velocidad en modo Local (Prueba – Panel) se definirá según los requerimientos de operación que plantee cada equipo.

De los Dispositivos de Control

Botoneras

Se usarán en el comando local de cada motor eléctrico, con botones prueba-parar de emergencia, Serán para operación en 120 V, tipo trabajo pesado, con dispositivo de bloqueo en posición "Detenido" (off) y con adecuada protección que impida su operación

accidental. Las botoneras tendrán caja tipo NEMA 4 en las áreas secas y 4X para instalación en áreas corrosivas. El código de colores será: verde para "Prueba", y rojo para "Parar". La botonera estará ubicada cerca del motor, en un lugar accesible para el operador y con visión completa del motor operado.

Switches Selectores

En general, los selectores LOCAL/REMOTO serán por software desde la estación de operación del DCS.

Asimismo, los switches selectores, si se requieren, deberán ser tipo trabajo pesado, estancos, en caja NEMA 12 para instalación interior y NEMA 4 para intemperie, o NEMA 4X para áreas corrosivas. Cuando se instalen a la intemperie, deberán estar contenidos en la misma caja o panel local que el equipo a servir.

Lámparas Piloto

Las lámparas piloto de indicación de estado de funcionamiento de motores, válvulas, calefactores o posición de equipos, serán del tipo "Push-to-test" y deberán cumplir con el siguiente código de colores:

- Rojo	Funcionando
	Conectado
	Válvula Abierta
	Interruptor Cerrado
- Verde	Detenido
	Desconectado
	Válvula Cerrada
	Interruptor Abierto

Alarmas

Toda condición anormal en el sistema de distribución de potencia deberá ser anunciada por el sistema de alarma en la Sala de Control. Cuando se provea un anunciador local, éste debe incluir alarma audible y silenciador, toma de conocimiento, rearme y botonera de prueba. Los circuitos de alarma deberán ser a prueba de fallas, siempre que sea posible.

Se deben proveer, en lo posible, las siguientes alarmas:

- a) Motores de gran capacidad
 - Temperatura alta devanados
 - Temperatura alta descansos
 - Sobrecarga y operación por sobrecorriente
- b) Accionamientos de frecuencia variable
 - Temperatura alta devanados motor
 - Sobrecarga accionamiento y falla.

Medición

Se deberá proveer medición para el sistema de distribución de energía eléctrica y para los equipos principales de proceso y consumos importantes. Los dispositivos a ser utilizados serán los de tipo estado sólido multifuncionales de última generación, que permitan comunicación.

Los dispositivos de medición en media tensión (4.16 y 13.2 kV) deben ser conectados a los secundarios de transformadores de potencial (120 V) y de corriente (5 A) respectivamente. Los transformadores de corriente para estos casos deberán tener núcleos separados para medida y protección.

De los Seccionadores de Seguridad

Se utilizará este tipo de seccionadores para la alimentación de puentes grúas y enchufes de soldadoras, serán del tipo trabajo pesado, en caja con protección NEMA 4 para áreas secas y NEMA 4X para áreas húmedas corrosivas, deberá también considerarse provisión para instalación de candado.

De los Enchufes de Soldadora, Fuerza y Servicios

Los enchufes de Fuerza y para uso de soldadoras deberán ser ubicados en lugares adecuados para energizar maquinas portátiles, soldadoras y equipos similares. Cada uno de ellos servirá un área de 50 m de radio.

Los enchufes monofásicos estarán ubicados en áreas de proceso cercanos al los equipos y serán para uso de alumbrado auxiliar y herramientas manuales o similares. Cada uno de ellos servirá un área de 15 m de radio.

Todos estos enchufes (para igual función) serán idénticos en todas las áreas consideradas en el proyecto.

Todos los enchufes deberán ser instalados en cajas de protección Nema 4 o Nema 4X dependiendo del área y no deberán ser instalados en áreas clasificadas de riesgo.

El número máximo de estos enchufes por circuito será de 3 y la capacidad máxima del alimentador será de 100 A. La posición de fases (faseo) deberá ser idéntica para todos los enchufes.

Los enchufes tomacorrientes a instalar en campo serán:

- 120 V: Twist Lock con línea a tierra, monofásico, 20 A.
- 480 V: 63 A, 600 V, 3 conductores 4 polos (tres fases mas tierra)

Los tomacorrientes de servicios a instalar en el interior de Salas Eléctricas u otras instalaciones interiores similares serán:

- 120 V: 15A, monofásico con línea a tierra

Se limitará la caída de tensión al 5%.

Del Sistema de Alumbrado

Los sistemas de iluminación deberán ser diseñados para proveer los niveles de iluminación indicados en las Normas Oficiales Mexicanas

En lugares interiores donde se instalan motores o equipos rotatorios, el diseño debe eliminar el efecto estroboscópico.

Los siguientes tipos de alumbrado interior y artefactos de alumbrado serán usados en el proyecto:

Equipos fluorescentes del tipo encendido rápido con balastro electrónico y ahorradores de energía, se usarán en salas eléctricas y de control, oficinas, áreas de mantenimiento u otras áreas donde sea aplicable.

En todas las áreas de la Planta, exceptuándose oficinas y cuartos de control, se utilizarán luminarias de vapor de sodio de alta presión.

El sistema de alumbrado interior/externo se alimentará desde transformadores secos exclusivos para alumbrado, razón 480/220-127 V, 3 fases, 4 conductores, neutro aterrizado. Las potencias serán: 15, 30 o 45 kVA. El comando del alumbrado para las áreas de proceso se hará directamente desde los tableros y para las áreas de servicio (oficinas, campamentos, etc.) con interruptores de pared.

Los circuitos de alumbrado se cargarán como máximo hasta un 80% de la capacidad permanente de los conductores e interruptores, con un máximo de 4 kW por circuito.

Todas las luminarias deberán tener un contacto y clavija para facilitar el mantenimiento.

Si se requiere alumbrado exterior localizado, éste será similar al alumbrado interior, pero con luminarias apropiadas para exterior y será controlado por contactores de alumbrado accionados por medio de fotoceldas.

La caída de voltaje en circuitos de alumbrado se limitará a un 5% del voltaje de utilización desde el transformador de alumbrado hasta el punto final de aplicación en el circuito.

El alumbrado interior será controlado por medio de interruptores manuales instalados cerca de las puertas. Si surge la necesidad del control simultáneo de más de un circuito de alumbrado, se emplearán contactores de alumbrado de 30 A con selector de operación manual/automático.

Tableros de Alumbrado

Los tableros de alumbrado serán para montaje sobrepuesto o embutido. Los interruptores serán termomagnéticos, de caja moldeada, tripolares y monopolares, con una capacidad de interrupción mínima de 10 kA .

La plancha frontal del tablero, cubre equipos, será removible, para así proveer un acceso fácil al alambrado interno con propósitos de mantenimiento. Tendrán tapa abisagrada y con cerradura.

Dependiendo del lugar donde se instale, el grado de protección de los tableros serán NEMA 12 para montaje interior y Nema 4 o Nema 4x para montaje exterior.

Los tableros, para áreas de servicio, no deberán contener más de 30 interruptores monopolares.

Alumbrado de Emergencia

Se proveerá alumbrado de emergencia en recintos interiores y exteriores de proceso para así asegurar una adecuada iluminación al personal en caso de un corte de energía eléctrica, permitiendo una evacuación rápida y ordenada.

El alumbrado de emergencia será efectuado por unidades autónomas, alimentadas desde enchufes en 120 V, tomados de circuitos independientes o dedicados para este fin. La autonomía mínima será de 3 horas con batería en gel, sellada de libre mantenimiento. El período de recuperación de la batería no será superior a 6 horas.

Para el sector de electrodeposición, el sistema de iluminación deberá ser conectado total o parcialmente al Generador de emergencia del área.

Tipo y Modo de Canalización

En áreas de proceso (industrial), se utilizará cable multiconductor, calibre mínimo # 12 AWG, canalizado en charolas y conduits rígidos a la vista.

En áreas de servicios (no industrial), se utilizará cable monoconductor, trenzado, 90°C, 600 V, en tubo eléctrico metálico (EMT) en cielos y/o pisos falsos, embebidos en concreto de las paredes.

Tamaño mínimo de los conduits y/o tubo eléctrico metálico, 3/4" de diámetro.

Equipos de Alumbrado

En conformidad con lo detallado anteriormente, el resumen siguiente grafica la situación en cuanto al tipo de lámparas a utilizar en el proyecto:

AREAS DE PROCESO	:	Sodio Alta Presión
AREAS EXTERNAS	:	Sodio Alta Presión
		Subestaciones
		Patios
AREAS INTERIORES	:	Fluorescente, color "blanco frío"
		Salas de control
		Salas equipo eléctrico
		Oficinas de Mantenimiento

De la Protección contra Transientes y Descargas Atmosféricas

Se deberán considerar supresores de transientes en todos los contactores de tipo al vacío de los motores de media tensión. Asimismo se deberán considerar supresores de transientes en los puntos en que una línea aérea cambia a cable subterráneo, o donde un equipo eléctrico se conecta a una línea aérea.

No se considera protección contra descargas atmosféricas en aquellos edificios de estructura metálica con techo metálico, y otras estructuras, incluidos los tanques. Todos estos edificios y estructuras metálicas, deberán ser conectados sólidamente a la malla de tierra local de la planta.

Se considera instalación de apartarrayos en el edificio de Electrodeposición (EW), área de SX, tanques de combustibles y en los edificios de concreto.

De las Baterías y Cargadores

Las baterías y los cargadores asociados deberán ser de 125 VCC, utilizados para el control de interruptores de los switchgears de media tensión (13.2 kV y 4.16 kV) y equipos del patio de la subestación principal, también para el sistema de detección y alarma de incendio.

Las baterías serán del tipo libre de mantenimiento, selladas y deberán ser instaladas en recintos dedicados y/o en gabinetes de construcción no corrosiva ni inflamable.

Los bancos de baterías deberán ser dimensionados para 24 horas de operación, después de una caída de servicio, con una pérdida de tensión máxima de 10%. Asimismo, los cargadores de los bancos de baterías serán del tipo estado sólido, con capacidad para alimentar las cargas permanentes durante el proceso de carga, en un tiempo máximo de 12 horas.

Los sistemas de corriente continua deberán ser aislados de tierra e incluir protección de sobretensión y alarmas por falla a tierra y por baja tensión, debido a pérdidas de carga. La protección de sobrecorriente será por medio de interruptores tipo caja moldeada y fusibles limitadores.

De las Líneas aéreas de Distribución en 13.2 kV

Las líneas serán las encargadas de suministrar la energía eléctrica desde la subestación principal a las subestaciones que alimentarán las siguientes áreas del proyecto:

- Trituración Secundaria / Terciaria y Aglomeración
- Sector Administración y Servicios
- Lixiviación y Piletas de Soluciones

El criterio para dimensionamiento de las líneas, en cuanto a capacidad de energía será el de considerar, como estandarización, una capacidad máxima para cada circuito

de 10 MVA . Con esta estandarización se pretende también facilitar la adquisición de materiales y accesorios para la construcción y montaje, como también el stock de piezas y accesorios para el mantenimiento futuro de las mismas.

Para el diseño de las líneas de distribución de 13.2 kV se deberán considerar los requerimientos impuestos por el clima de la zona y las necesidades de servicio acorde con la importancia de los consumos.

Debido a fenómenos, propios del sector, (contaminación y corrosión), temperaturas y elevadas velocidades de vientos, se deberán usar aisladores, conductores y otros materiales adecuados para estas condiciones.

Las líneas de transmisión a diseñar operarán en un sistema con las siguientes características:

-	Voltaje nominal	:	13.2 kV
-	Longitudes	:	Desde 300 a 2,200 m. aprox.
-	Frecuencia nominal	:	60 Hz
-	Número de fases	:	3
-	Número de circuitos	:	4
-	Tensión máxima	:	14.52 kV
-	Clase de aislamiento	:	17.5 kV
-	Nivel básico de impulso (BIL):	:	95 kV a 1,500 m.s.n.m.
-	Cable guarda	:	Cable OPGW con 24 filamentos

Diseño Mecánico de los Conductores y Estructuras

Se considera aplicar las siguientes hipótesis de carga:

a) VIENTO MÁXIMO

Temperatura (*)	0 °C
Viento sobre conductores y cable guarda	80 Kg/m ²
Viento sobre estructura	140 Kg/m ²

Sin hielo

Peso propio estructura, conductores, cable guarda y aisladores.

(*) Se considera una densidad del aire a 1,450 m.s.n.m, $d = 0.90$

b) VIENTO MINIMO SIN HIELO

Temperatura	- 5 °C
Viento sobre conductores y cable guarda	40 Kg/m ²
Viento sobre estructura	70 Kg/m ²

Espesor manguito de hielo 0 mm

Peso propio estructura, conductores, cable guarda, aisladores

c) TENDIDO DE CONDUCTORES

Temperatura	15 °C
-------------	-------

Viento sobre conductores y cable guarda 0 Kg/m²

Viento sobre estructura 0 Kg/m²

Sin hielo

Peso propio estructura, conductores, cable guarda, aisladores.

d) **CORTADURA DE CONDUCTORES**

El tipo de estructura formada por postes, considera la cortadura de 1/3 de los conductores y un cable guarda, desequilibrio de tensiones que deberá ser soportado por los tirantes de las estructuras.

e) **OTROS**

Tensión longitudinal sobre conductor, tal que a 75°C la distancia al suelo sea mínimo de 6 m en forma normal y de 12 m para cruces de caminos mineros.

Tensión longitudinal sobre cable de guarda, tal que su flecha sea 95% de la flecha del cable de fase.

En ninguna de las Hipótesis anteriores, los conductores y cable guarda podrán sobrepasar el 40% de la carga de rotura del conductor o cable guarda su Tensión Longitudinal por sobre:

Factores de seguridad: 1,5 en general

1,2 para hipótesis b)

Conductores de fase y cable Guarda

Dado las características ambientales, debido a las nuevas instalaciones, se ha seleccionado para utilizar en las nuevas líneas conductores del tipo AAC (All Aluminum Conductor) para las fases y para el cable guarda se utilizará el cable OPGW (Optical Ground Wire), que deberán cumplir con las siguientes características mínimas:

Conductores de Fases

Conductor AAC Tipo Laurel, 266,8 kCM

Número de hilos	:	19 de aluminio.
Sección total	:	135.2 mm ²
Diámetro	:	15.06 mm.
Peso unitario	:	0.372 kg/m.
Tensión de rotura	:	2,195 kg.
Módulo de elasticidad final	:	619.00 kg/cm ² .
Coefficiente de dilatación lineal	:	0.000 023 (1/°C).
Resistencia eléctrica en CA a 25°C	:	0.2728 (ohm/km).

Cable Guarda

Tipo de cable: OPGW, monomodo

- Sección transversal	:	79 mm ²
- Diámetro nominal del cable	:	12.6 mm

-	Número de hilos armadura aluminio-acero	:	7
-	Número de filamentos ópticos	:	24
-	Diámetro de hilos	:	3.78 mm
-	Resistencia a la rotura	:	8,950 kgf
-	Peso	:	0.565 kg/km
-	Módulo de Elasticidad final	:	15,030 kgf/mm ²
-	Resistencia eléctrica a 25°C	:	0.75 Ohm/km
-	Coefficiente de dilatación lineal	:	13.3E-6 (1/°C)
-	Capacidad máx. de corriente cortocircuito	:	23 kA , 2 seg.

Aislamiento

En función de las características eléctricas de las líneas, altitud y condiciones ambientales del lugar de instalación, se especifican aisladores de alfiler para suspensión del conductor y cadenas de aisladores de disco para el anclaje.

Debido al grado de contaminación existente en la Planta se considera utilizar una distancia de fuga unitaria de 31 mm/kV (Nivel IV de la Norma IEC815).

Aisladores de Alfiler

Para la suspensión del conductor se utilizarán aisladores de alfiler de 23 kV, con distancia de fuga adecuada para el nivel de contaminación considerado con alfileres de 1-3/8".

-	Clase ANSI	:	56-2
-	Distancia de Fuga (mm)	:	432
-	Resistencia al Cantilever (Kg)	:	1,360
-	Tensión de arco seco (kV)	:	110
-	Tensión de arco húmedo (kV)	:	70
-	Descarga crítica de impulso positiva (kV)	:	175
-	Descarga crítica de impulso negativa (kV)	:	225
-	Voltaje de perforación a frecuencia industrial (kV)	:	145

Cadenas de Aisladores

Estarán compuestas por aisladores de disco de 10" x 5 3/4" tipo Ball and Socket, Anti-Neblina, de acuerdo a IEC.

Características de los aisladores

-	Tipo	:	ANSI 52-3
-	Diámetro (mm)	:	254
-	Espaciamiento máximo (mm)	:	146
-	Distancia de fuga mínima (mm)	:	292
-	Carga de trabajo (KN)	:	11.340 kg
-	Tensión de arco seco (kV)	:	80

-	Tensión de arco húmedo (kV)	:	50
-	Descarga crítica de impulso positiva (kV)	:	125
-	Descarga crítica de impulso negativa (kV)	:	130
-	Voltaje de perforación a frecuencia industrial (kV)	:	130

El número de aisladores que constituirán las cadenas se verificará mediante los siguientes métodos, considerando la altura con respecto al nivel del mar en que se ubican las líneas:

- Según el nivel de contaminación
- Por sobrevoltajes de maniobra
- Por sobrevoltajes a frecuencia industrial

Se seleccionará el método que requiera el mayor número de unidades en las cadenas de aisladores.

Las cadenas de anclaje deberán considerar la utilización de un aislador adicional a los que determinen los cálculos.

Distancias Eléctricas

Para el diseño de las estructuras se determinarán las siguientes distancias eléctricas:

Distancia Mínima entre Conductor y Estructura

Para determinar la distancia mínima entre el conductor y la estructura (distancia fase-tierra), se usará la siguiente expresión:

$$D = 8 + 0.6 (V-10) \quad (5.1)$$

Donde:

D = distancia mínima entre conductor y estructura (cm)

V = voltaje entre fases (kV) incluido el "derrating" correspondiente a la altitud.

Distancia Mínima entre Fases

Para determinar la distancia mínima entre conductores en el centro de la luz se utilizará la siguiente expresión:

Para cualquier zona y en cualquier dirección:

$$S = 0,36\sqrt{F} + \frac{kV}{130} + 0,5C \quad (5.2)$$

S = separación entre conductores en m.

F = flecha en m.

C= largo de la cadena de suspensión

En este caso C = 0 porque se utilizan aisladores de espiga.

Separación Conductor-Cable Guarda

La separación entre el cable guarda y los conductores debe ser tal que el ángulo de protección sea mínimo de 30°, con al menos, la misma distancia entre fases.

Altura Mínima de los Conductores sobre el Suelo

Para determinar las distancias del conductor al suelo se utilizará el siguiente criterio, asociado a la expresión correspondiente:

LUGARES	ALTURAS *
Poco transitable (montañas, praderas, etc.)	6+0.006 por kV
Transitables (caminos, calles, etc.)	6.50 + 0.006 por kV
Cruces de caminos Mineros	12.00 m

* Estos valores se deberán considerar a la máxima temperatura que se espera obtener en los conductores, sin sobrecarga.

El cálculo de la distancia vertical en cruces con otras líneas se hará de acuerdo a la siguiente expresión:

$$D = 1,5 + \frac{kVs + kV1}{170} \quad (5.2)$$

D = distancia de separación vertical en cruce

kVs = Kilovolts entre fases de la línea superior

kV1 = Kilovolts entre fases de la línea inferior

Condiciones:

- Conductores de la línea superior sin sobrecarga a la temperatura máxima definida en estos Criterios.
- Conductores de la línea inferior sin sobrecarga a temperatura de 15°C.

Ubicación de Estructuras

Una vez definido los vértices de la línea y levantado el perfil longitudinal se realizará la ubicación de las estructuras atendiendo a las siguientes consideraciones:

- Perfil topográfico de la línea
- Características de las estructuras.
- Distancias al suelo
- Instalaciones de las diferentes áreas
- Distancias mínimas de seguridad.
- Altura sobre caminos mineros

Al realizar la ubicación de estructuras, se deberá considerar la máxima crecida del arroyo que cruza las instalaciones.

Tipos de Estructuras

Se contempla la utilización de estructuras formadas con un poste y Portales de Suspensión, Anclaje y Remate, formados por postes metálicos cilíndricos de tres secciones y crucetas metálicas. Los postes tendrán una altura y una carga máxima en la

punta que va a depender del número de circuitos que se instalen en cada estructura y el ángulo de protección del cable guarda.

Se podrán utilizar extensiones para el cable guarda, cuando las características de la estructura así lo requiera.

A lo largo de la línea y dependiendo de las derivaciones de los diferentes circuitos, las estructuras podrán llevar hasta tres circuitos, los cuales se podrán distribuir en varios niveles, considerando las distancias eléctricas, los ángulos de la línea y la ubicación de los tirantes en el caso de las estructuras de anclaje y remate.

CAPÍTULO V RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

Los resultados del diseño del Sistema de Suministro Eléctrico obtenidos para este Proyecto en mención, cubre casi toda la gama de la aplicación de la Ingeniería Eléctrica en cuanto a Proyectos se refiere, en especial, los proyectos de la minería. Dichos resultados del diseño cubren lo siguiente:

Dimensionamiento de los cables en media y baja tensión, donde se establecen los criterios normalizados para la selección de los cables, ubicados en tableros, centros de control de motores (CCM), etc., usados en este proyecto.

Diseño del sistema de alumbrado, donde el procedimiento para el dimensionamiento de los conductores, se basa en la caída de voltaje máxima permitida en estos circuitos, de manera que el sistema de iluminación funcione eficientemente. Además, de la selección de las luminarias de acuerdo a los métodos establecidos por la ingeniería de iluminación, como los métodos punto por punto y de cavidades zonales.

Estudio de cortocircuitos simétricos, cuyos resultados determinan la capacidad de ruptura de los equipos involucrados en el proyecto.

Determinación del conductor para las líneas aéreas de 13.2 kV, cuyos resultados, indican que su capacidad de transporte de energía, determinada en el proyecto, abastecen en forma segura y eficiente el suministro eléctrico a las cargas que se conectan a ella.

Dimensionamiento de transformadores de distribución, donde se ha considerado en forma importante la partida de los motores que están conectados a ellos; además, del incremento de potencia como respaldo.

Dimensionamiento de los generadores de emergencia, resultados importantes, que aseguran un respaldo de energía a las cargas más críticas de la Planta, ante la falla del suministro eléctrico.

Dimensionamiento del sistema de puesta a tierra, resultados también importantes para la seguridad de las personas, ante cualquier falla a tierra, cumpliéndose con los gradientes de potencial establecidos por las normas de la IEEE.

Estudio de coordinación de protecciones eléctricas, cuyos resultados nos aseguran un sistema bien protegido y selectivo, de tal manera, que ante una falla eléctrica (sobrecarga, cortocircuito), el sistema sea estable, y sólo actúen los elementos

que están cerca de la falla, aislándola. Permitiendo la continuidad de funcionamiento del resto del sistema.

Estudio de flujo de carga, cuyos resultados nos determinan el consumo de potencia de la Planta, además, de la regulación de voltaje, potencia reactiva y factor de potencia. Requerimientos importantes para la solicitud del suministro de energía hacia la Planta, además de su costo de energía (precio del kWh).

Los resultados se muestran en el Anexo 2, para cada punto mencionado líneas arriba.

CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Del Estudio de Cortocircuitos Simétricos

En las barras de 13,2 kV del Sistema Eléctrico de la Planta, la corriente de cortocircuito para una falla monofásica es pequeña debido fundamentalmente a las puestas a tierra de los neutros de los transformadores de poder de la S/E Principal que se consideraron precisamente para limitar la corriente ante este tipo de fallas.

En general la corriente de cortocircuito en las barras para distintos niveles de tensión se enmarcan en las siguientes bandas:

13,2 kV	7,400 – 11,400 Amperes
4,16 kV	6,000 Amperes
0,48 kV	12,800 – 50,600 Amperes

6.2 Del Estudio de Flujo de Carga

Regulación de Tensión en Barras

Nivel de tensión en 230 kV

La barra de 230 kV no se ve afectada por los requerimientos de potencia de la Planta, manteniendo su tensión nominal en 1.00 p.u., esto se debe fundamentalmente a la alta potencia de cortocircuito que presenta la barra.

Nivel de tensión en 13,2 kV

En todas las subestaciones la regulación de tensión, se mantiene dentro de los márgenes aceptables ($\pm 5\%$) para el caso estudiado, oscilando entre 0.9518 p.u. y 0.9718 p.u.

Nivel de tensión en 4,16 kV

Las barras en este nivel de tensión presentan una regulación levemente bajo la banda de 0.9495 p.u. cuando hay compensación reactiva, situación que sirve para minimizar el efecto de la partida de los motores de gran potencia.

Nivel de tensión 0,48 kV

Algunas barras en este nivel de tensión presentan mejoras de regulación con compensación reactiva (0.9503 a 0.9520 p.u.). Otras barras tienen una regulación levemente bajo la banda (0.9353 a 0.9446 p.u.) situación que se debe principalmente a que los transformadores de distribución fueron considerados en un nivel de tensión superior a la tensión de alimentación de las cargas, esto es 13.2/0.48 kV, lo cual permite

disminuir el efecto de la pérdida de voltaje producida en los alimentadores que proveen de energía a las cargas eléctricas de la planta.

Factor de Potencia

El factor de potencia de la Planta para el caso estudiado es:

Casos	Factor de Potencia (%)
1	89.54

Tabla 6.1 Factor de potencia

El factor de potencia del sistema eléctrico de la Planta es inferior a lo exigido (según el Criterio de Diseño Eléctrico que se especifica ≥ 0.95), esto es principalmente por cuanto la gran mayoría de las cargas eléctricas del sistema son no lineales y por ende de bajo factor de potencia. Esta situación se puede mejorar por medio de bancos de condensadores regulados por voltaje e instalados en las distintas subestaciones de manera proporcional y de acuerdo a la potencia instalada en cada una de ellas y/o compensación reactiva incorporada en los Filtros de Armónicos conectados en Barras de 13.2 kV de la S/E Principal.

Pérdidas en el Sistema

Las pérdidas en el sistema eléctrico por efecto Joule en alimentadores y otros equipos eléctricos, son las siguientes:

Casos	Pérdidas (kW)
1	367.1

Tabla 6.2 Pérdidas en el Sistema

Las pérdidas totales para todos los casos son bastantes inferiores a las establecidas comúnmente para sistemas eléctricos de subtransmisión (13.2 kV) y distribución (0.48 kV) que en general son del orden del 3% y 6% respectivamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De los Cables en Media y Baja Tensión

Los cuadros obtenidos indican la sección de los conductores a utilizar en cada carga, la regulación, el largo de cada alimentador y la carga total estimada para los CCM (baja y media tensión) y CDC (baja tensión).

Del Estudio de Cortocircuitos Simétricos

El aporte a la corriente de falla realizado por los motores de la Planta no debe ser despreciada para efectos del cálculo y dimensionamiento de equipos.

Los valores de cortocircuito calculados están dentro de los rangos esperados para el Sistema Eléctrico proyectado, con algunas excepciones en barras de 0,48 kV.

De la Determinación del Conductor para las Líneas Aéreas de 13.2 kV

En resumen se tiene que el sistema a resolver para determinar la temperatura T de operación del conductor es la ecuación no-lineal, no-diferencial:

$$I^2 \cdot k_J \cdot R_0 \cdot (1 + A_0 \cdot T) + \xi_A \cdot D \cdot I_{Sol} - \pi \cdot \xi_E \cdot E_S \cdot \sigma_B \cdot [(T+273)^4 - (T_a+273)^4] - \pi \cdot D \cdot h \cdot (T - T_a) = 0$$

Esta ecuación se resuelve por métodos de optimización.

Del Sistema de Puesta a Tierra

Se deberá verificar la interconexión de todas las mallas de puesta a tierra indicadas, con el fin de reducir el riesgo de transferencia de tensiones peligrosas entre las diversas mallas.

La interconexión entre las diversas mallas también es necesaria para una mejor disipación de las corrientes de falla, lo que reduce la probabilidad de que aparezcan tensiones peligrosas tanto de paso como de contacto.

Con la interconexión de las mallas se logra obtener un valor más bajo de resistencia.

Hay que tener en cuenta que no se está considerando las resistencias que generan las interconexiones, ya que también se sumarían en forma paralela a la resistencia equivalente, por lo que no cabe duda que el valor de dicha resistencia bajaría aún más.

Del Estudio de Coordinación de Protecciones Eléctricas

Los ajustes indicados en este informe son preliminares. Como producto del cálculo de ajustes efectuado por el Programa, deberán ser confirmados en sitio al

efectuarse la puesta en servicio de las instalaciones, ya que se debe verificar la demanda real de las cargas y especialmente las razones de los Transformadores de Corriente de medida y protección.

Para el estudio de coordinación de protecciones, a falta de datos certificados y de datos técnicos de otros equipos eléctricos, se asumieron las siguientes informaciones de catálogos:

- Los relevadores para la protección de los interruptores de poder en 230 kV, denominados como: OCR1, OCR2, OCR3, OCR5 y OCR6 (ver diagrama unifilar, Anexo 11.1), se asumieron de SEL 351.
- Los relevadores que van insertos en el Tablero Metalclad de 13.2 kV, denominados OCR4, OCR7, OCR8, OCR9, OCR10, OCR11, ..., OCR21, se consideraron el tipo SEL 351, similar al 351A, al no tener datos técnicos certificados.
- Los fusibles de protección de los transformadores de distribución, se asumieron de marca Westinghouse, tipo CLE, según el Listado de Equipos Eléctricos.
- Los valores de las impedancias de los transformadores de distribución, se tomaron del Listado de Equipos Eléctricos.
- Los interruptores de potencia en 480 V, se asumieron marca C-H/Westinghouse con unidades de protección tipo RMS 520 Series al no disponer curvas tiempo/corriente de las unidades de protección de los interruptores Magnum DS.

Del Estudio de Flujo de Carga

El sistema eléctrico proyectado para la Planta cumple los requerimientos técnicos necesarios para entregar un suministro adecuado a las distintas instalaciones eléctricas contempladas en el Proyecto. Tanto desde el punto de vista de regulación de voltaje como pérdidas eléctricas, se cumple con las normas establecidas para este tipo de instalaciones.

De la Partida de Motores

Los porcentajes de caída de tensión para los motores de las diferentes áreas están dentro de los límites permitidos, de acuerdo a lo mencionado en el Criterio de Diseño Eléctrico.

RECOMENDACIONES

Del Estudio de Cortocircuitos Simétricos

La capacidad de ruptura de los equipos de maniobra de las instalaciones eléctricas deberán ser considerados con la siguiente especificación de acuerdo a su nivel de tensión:

Equipos de Maniobra de 13,2 kV	18000 Amperes
Equipos de Maniobra de 4,16 kV	10000 Amperes
Equipos de Maniobra de 0,48 kV	42000 y 65000 Amperes

Del Estudio de Flujo de Carga

Es recomendable mantener operativo los dos transformadores de poder de manera que éstos funcionen no a plena carga ni en régimen forzado para así disminuir las pérdidas en sus enrollados e incrementar su vida útil.

ANEXO A
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS ELÉCTRICOS

ANEXO A ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS ELÉCTRICOS

ALCANCE

Estas Especificaciones Técnicas, comprenden los requerimientos técnicos necesarios para el diseño, fabricación, acabados, pruebas, certificados de pruebas, instructivos y el suministro de los equipos, solicitados para el Proyecto "Milpillás" de la Compañía Minera La Parreña S.A. de C.V., ubicado en el Municipio de Santa Cruz, Estado de Sonora, México.

Los equipos deberán ser diseñados, fabricados y probados según la edición más reciente de los Códigos y/o Normas aplicables de las Instituciones mencionadas en el Criterio de Diseño Eléctrico "Normas y Reglamentos". A continuación se mencionan las especificaciones de los equipos eléctricos involucrados en el Diseño.

A.0 DESCONECTADORES DE 230 kV

A.0.1 General

El suministro incluye los equipos y todos sus accesorios, ya sea de fuerza, control, protección e instrumentación, así como la estructura de apoyo por encima de la cimentación.

Los desconectadores serán diseñados de acuerdo con la presente Especificación.

1.0.2 Requerimientos de Diseño

Los desconectadores serán tripolares, servicio intemperie, operación en grupo, apertura central, motorizados, montaje horizontal y deberán tener las características eléctricas nominales según las condiciones de servicio.

Características Constructivas Generales

a) Disposición de los Polos

Los contactos principales de los desconectadores deberán ser tripolares de operación simultánea tanto para la operación motorizada como manual. Asimismo, los desconectadores con cuchillas de puesta a tierra deberán ser también de operación tripolar y comando manual.

La disposición de los polos será del tipo apertura central con dos columnas rotatorias y montaje horizontal.

Los desconectadores tripolares con cuchillas de puesta a tierra deberán incluir en sus mecanismos un enclavamiento mecánico para impedir el cierre de las cuchillas de tierra estando cerradas las cuchillas principales, y el cierre de las cuchillas principales estando cerradas las cuchillas de tierra.

Los polos de los desconectores deben resistir sin ajustes ni mantenimiento, mil (1,000) operaciones cerrar - abrir con corriente de magnetización de transformadores y cuatro (4) años en una posición sin ser operados.

b) Características de los Aisladores

Los desconectores tendrán aisladores de pedestal color café del tipo "station post" o de núcleo sólido ("Solid Core") de alta resistencia mecánica, fabricados y probados de acuerdo con las Normas IEC o ANSI más recientes.

Los aisladores del suministro deberán cumplir con una distancia mínima de fuga mayor o igual a 31 mm/kV para una tensión de 245 kV, además de considerar el factor de corrección por el diámetro medio de los aisladores según la IEC-60815. Luego, para la determinación de distancia mínima de fuga no se acepta la aplicación de tolerancias negativas, dicha distancia deberá ser señalada tanto en los planos del desconector como en los planos de las columnas aisladoras.

Los aisladores serán fabricados en porcelana. No se aceptarán aisladores fabricados en resinas sintéticas. Las alas de los aisladores estarán producidas por un proceso húmedo y fabricadas con material homogéneo, sin laminaciones, cavidades, grietas u otro tipo de imperfección que afecte a la resistencia mecánica o calidad dieléctrica del aislador. El barniz vítreo será de color uniforme y libre de defectos. El método de unión de los aisladores asegurará un esfuerzo uniforme de la porcelana. En la unión brida-porcelana no se aceptará el uso de ningún pegamento que tenga azufre como componente principal. En todos los demás aspectos constructivos los aisladores deberán cumplir con la norma IEC-60273. Asimismo, deberán cumplir satisfactoriamente con las pruebas especificadas en la norma IEC-60168.

Las características eléctricas de los aisladores serán de acuerdo a lo mencionado en las Hojas de Datos, tomando en cuenta el voltaje nominal, el voltaje máximo del sistema y el nivel básico de aislamiento.

Los aisladores deberán cumplir con las condiciones establecidas para el nivel de contaminación IV de la Publicación N° 815 de la IEC.

c) Distancias Mínimas

Los desconectores deberán diseñarse de modo que las distancias mínimas entre cualquier parte viva y los puntos adyacentes puestos a tierra sean mayores que las distancias determinadas por la norma y corregidas a la altitud de operación. Asimismo, para coordinar la distancia de arco seco a tierra de la columna aisladora con la distancia mínima de aislamiento (metal a metal) de los desconectores, no se aceptará el uso de chisperos. El diseño deberá asegurar que la distancia mínima de aislamiento (metal a metal) del desconector sea, a lo menos, un diez por ciento (10 %) mayor que la distancia de arco seco de la columna aisladora.

Esfuerzos Mecánicos por Cortocircuito

La resistencia al cantiléver especificado por el proveedor para la columna del aislador con sus bridas de fijación, deberá ser suficiente para resistir los esfuerzos máximos de respuesta horizontal introducidos por esfuerzos de

posibles cortocircuitos en las columnas, más los esfuerzos provenientes de los cables de conexión.

d) Contactos

Todas las superficies de los contactos de los desconectores deberán estar recubiertos de una capa gruesa de plata o deberán tener plata sólida insertada. Asimismo, los contactos de las cuchillas de puesta a tierra en los desconectores con este dispositivo, deberán tener las características anteriores.

Los contactos expuestos a rozamientos (ejm.: contactos principales) serán fabricados en cobre, aluminio o aleación de éstos, y se deberán suministrar con un revestimiento de plata de un espesor mínimo de 30 micrones. Los contactos fijos (ejm.: terminales), fabricados en estos mismos materiales, se deberán suministrar con revestimiento de plata de un espesor mínimo de 15 micrones. Si el proveedor presenta plateados de contactos de espesores menores a lo señalado anteriormente, deberá informarlo para su aprobación.

No se aceptarán partes conductoras de corriente de acero galvanizado.

Los contactos de los desconectores y cuchillas de puesta a tierra deberán tener una presión de contacto mínima como la recomendada por la norma, y una resistencia de contacto adecuada para las condiciones especificadas de corriente nominal de operación y corrientes de cortocircuito. El diseño de los desconectores deberá asegurar que esta presión de contacto se mantenga dentro de los límites aceptables durante la vida útil del equipo.

El diseño de los contactos deberá asegurar que, durante las condiciones de cortocircuito especificadas, aumente la presión de contacto y las cuchillas móviles sean positivamente mantenidas en su posición.

Durante el cierre, los contactos deberán tener un efecto de auto limpieza.

Los desconectores deberán tener contactos auxiliares para realizar enclavamientos eléctricos y poder indicar en forma remota la posición de las cuchillas de línea y de puesta a tierra. Cada desconector deberá contar con a lo menos (4) contactos normalmente abiertos (tipo "a") y cuatro (4) contactos normalmente cerrados (tipo "b") a una regleta de terminales. Asimismo, cuando los desconectores tengan cuchillas de puesta a tierra deberán tener también los contactos auxiliares antes mencionados para las cuchillas.

Los contactos auxiliares normalmente abierto (tipo "a") sólo se deberán cerrar cuando las cuchillas de fase asociados estén completamente cerradas (finalizado la carrera), a su vez, los contactos auxiliares normalmente cerrados (tipo "b") sólo se deberán abrir cuando las cuchillas de fase asociados estén completamente cerrados (finalizado la carrera).

También deberán suministrarse, a lo menos dos (2) contactos tipo "aa" y dos (2) tipo "bb" (que cambian su estado al inicio de la carrera de las cuchillas de fase).

e) Partes Metálicas

Todas las partes metálicas de los desconectores y cuchillas de puesta a tierra deberán diseñarse de modo que no sean dañadas por el paso de la corriente y/o por influencias atmosféricas (corrosión, etc.).

Los desconectadores no deberán tener paso de corriente por rodamientos, resorte o puntos de rotación. Las articulaciones que deben llevar corriente serán aceptables siempre que sean especialmente diseñadas como contactos rotativos o móviles.

El contacto rotativo en las columnas de aisladores, deberá ser realizado mediante conductores trenzados flexibles, protegidos adecuadamente de influencias atmosféricas. Los mecanismos giratorios deben ser de fácil fabricación.

Los desconectadores incluirán terminales tipo grapa para los conductores desnudos e incluirán facilidades para conectar a tierra las bases metálicas. Para la conexión de la estructura a la malla de tierra se usarán terminales para conductor de cobre 4/0 AWG.

Para la conexión de cada fase se usarán terminales planos de aluminio tipo "flat" con 4 barrenos norma 4 NEMA plateados, adecuados para conducir 2,500 A en 245 kV, de acuerdo con las recomendaciones IEC y adecuados también para conectores y conductores aéreos de aluminio de igual característica que la línea de alimentación de alta tensión.

Todas las partes metálicas de los desconectadores y cuchillas de puesta a tierra estarán adecuadamente protegidos de la corrosión (Nivel IV, según Norma IEC-815).

El diseño y construcción de los desconectadores permitirá su rápida instalación y fácil desarme para mantenimiento, así como accesos fáciles a todas las partes que requieran ajustes, limpieza, lubricación u otro servicio de mantenimiento.

El gabinete de control de los desconectadores motorizados, será de lámina de acero, con un acabado galvanizado especial, de acuerdo a la Norma NOM-J-151. También todos los tornillos, tuercas, roldanas, etc., deberán tener el galvanizado especial. Estos gabinetes serán para servicio intemperie, tipo NEMA 4 (Norma NEMA ICS.1).

f) Elevación de Temperatura

Los desconectadores y cuchillas deberán ser capaces de llevar en forma permanente la corriente nominal especificada, sin sobrepasar los aumentos de la temperatura que se indican:

a. Partes conductoras expuestas a los efectos atmosféricos:

- | | |
|----------------------|-------|
| i. Contactos | 50 °C |
| ii. Las demás partes | 35 °C |

b. Partes conductoras positivamente protegidas de los efectos atmosféricos: 50 °C

h) Características del Mecanismo de Accionamiento

La operación manual del desconectador se efectúa a través de una barra vertical giratoria, construida con un tubo de acero galvanizado.

El dispositivo de accionamiento del mecanismo para operación local, se deberá poder enclavar mediante un candado, o llave tipo "Kirk Key".

El ángulo de operación del mecanismo deberá corresponder al ángulo de giro de la barra del desconectador.

El Proveedor debe asegurar el correcto funcionamiento de los desconectadores, según las condiciones ambientales de la zona del proyecto.

El mecanismo debe poder asegurar, que no se podrán operar las cuchillas principales estando cerrada la puesta a tierra del desconectador.

Los desconectadores motorizados podrán ser operados en forma local o remota. El mecanismo eléctrico deberá operar en un rango de 0.7 y 1.3 veces la tensión nominal de control.

Se debe asegurar la operación en forma local y manual desde el piso, mediante una manivela, la que al insertarse al mecanismo debe desconectar la acción eléctrica.

La manivela de operación manual debe estar localizada a un metro de altura sobre el piso.

Deben proveerse los elementos necesarios con objeto de fijar la manivela de accionamiento en las posiciones extremas de apertura y cierre del desconectador, para que la hoja de la cuchilla quede asegurada en sus posiciones finales.

La manivela debe proveerse con un cable de cobre trenzado de suficiente longitud para quedar conectado a tierra durante la operación de apertura o cierre.

Los mecanismos de accionamiento motorizado deberán permitir operar simultáneamente los tres polos del desconectador, tanto en régimen motorizado como manual.

El mecanismo deberá permitir las siguientes formas de operación:

Manual, mediante palanca o manivela.

Eléctrica local.

Eléctrica a distancia, mediante contacto seco en 120 V c.a.

Estas formas de operación podrán elegirse mediante llave selectora u otro dispositivo que proporcione los enclavamientos correspondientes.

El mecanismo deberá ser adecuado para funcionamiento permanente a la intemperie, para lo cual, junto con sus elementos de control, mecanismos de control a distancia y accesorios, deberá ir montado en un gabinete que cumpla con la clase de protección NEMA 4. Este gabinete deberá suministrarse con puerta provista de manilla con llave.

El mecanismo será montado adosándolo al pilar de la estructura soporte del desconectador asociado, el cual deberá ser operable manualmente desde una altura de un metro sobre la plancha de puesta a tierra del operador.

El mecanismo a motor deberá contar con dispositivos de escape o freno para evitar sobredesplazamientos o esfuerzos por inercia más allá de los límites de la carrera ajustada.

La carrera o recorrido del mecanismo a motor deberá ser limitada por medios mecánicos como respaldo del ajuste por dispositivos de control eléctrico.

En su operación eléctrica mediante orden local o a distancia, el mecanismo deberá recorrer su carrera completa aunque la orden sea momentánea.

El ajuste de la carrera del mecanismo se deberá realizar a través de dispositivos eléctricos o electromecánicos de control.

Si el desconectador o el mecanismo se trabase en alguna posición extrema o intermedia, es deseable que el motor soporte la corriente a rotor bloqueado sin dañarse durante un tiempo prudencial para que la anomalía, debidamente señalada, sea detectada. En este caso, la orden de funcionamiento deberá poder anularse.

Dentro de la caja o gabinete del mecanismo se deberá incluir una resistencia calefactora con interruptor manual independiente para evitar la condensación de la humedad. Esta resistencia se alimentará con 120 V, 60 Hz.

Es deseable que las conexiones al o del exterior del mecanismo a motor se hagan a través de bornes o terminales ordenados en regletas claramente identificados y que permitan la instalación de conductores N° 14 AWG. Entre estos bornes o terminales deberá haber 10 libres para empleo externo.

Para todos los circuitos de control y protección se deberá emplear sólo interruptores automáticos y no se aceptará el uso de cualquier tipo fusible.

Los desconectores de puesta a tierra deberán tener un enclavamiento eléctrico que impida su operación (cierre) en caso que la línea esté energizada.

De igual forma, los desconectores asociados deberán tener un enclavamiento eléctrico que impida su operación (cierre) cuando el desconector de puesta a tierra esté en posición cerrado.

Para conseguir los enclavamientos antes descritos, u otra condición de enclavamiento que requiera el Cliente, todos los mecanismos motorizados de los desconectores deberán disponer de los dispositivos adecuados para enclavar eléctricamente su operación. Además, éstos mecanismos deberán contar con un switch auxiliar que tenga los contactos auxiliares en la cantidad y secuencia de operación requeridos. Los contactos deberán tener una capacidad de corriente térmica no menor de 20 A, 600 V c.a.

Los mecanismos de operación de los desconectores deberán permitir la posibilidad de ser enclavados mecánicamente por medio de un sistema de llaves, u otro medios de acuerdo a las necesidades que se fijen en el proyecto.

Se deberá suministrar un mecanismo de operación eléctrico y uno de operación manual por desconector.

i) Bastidores Soporte

El Proveedor suministrará un bastidor soporte por polo para los desconectores.

El diseño de este bastidor soporte debe ser tal, que además del peso del desconector, soporte los esfuerzos producidos por las operaciones de apertura y cierre y los producidos por los agentes externos tales como presión de vientos, vibraciones, sismos, etc.

El bastidor debe ser de acero con galvanizado especial de acuerdo con la Norma NOM-J-151, después de haber soldado sus partes y hecho todas las perforaciones requeridas por el diseño. Además, toda la tornillería, tuercas, roldanas, pernos, etc., debe tener el galvanizado especial.

Se deben proporcionar los medios necesarios para conectar a tierra en dos puntos de cada polo del desconector, incluyendo todos los tornillos y roldanas necesarias.

En ningún caso se deberán suministrar ruedas en la base del bastidor.

j) Gabinete de Control

Se deberá suministrar un gabinete de control por cada desconector, en este gabinete estarán contenidos todos los dispositivos y accesorios de operación, control, señalización y alarma incluyendo el motor de accionamiento. El gabinete de control será instalado en uno de los polos extremos del desconector, el cual será definido por el propietario y deberá tener protección tipo NEMA 4.

Además, el gabinete de control deberá contener:

- Un interruptor termomagnético general para la alimentación de los diversos circuitos interiores.
- Previsión conectada a tablillas terminales para la operación remota de apertura o cierre.
- Resistencia calefactora y control con termostato, protegida con rejilla metálica y fusibles.
- Una placa de diagrama de interconexión.
- Visor para indicación de estado del desconector.

Alambrado de los Circuitos Auxiliares de Control y de Fuerza

El alambrado de los circuitos auxiliares de control y de fuerza debe ser hecho por el Proveedor, atendiendo los siguientes requisitos:

El alambrado interno efectuado por el Proveedor debe llegar a un mismo lado de la tablilla terminal. Cualquier conexión común que se requiera por el proveedor debe ser hecho en este mismo lado, dejando libre el otro lado.

La ruta del alambre debe ser ordenada y no obstaculizar la apertura de puertas, cubiertas, revisión de equipo, acceso a terminales, a aparatos y al alambrado en el campo.

El alambrado debe agruparse en paquetes y asegurarse con lazos no inflamables y no metálicos.

El arreglo del alambrado debe ser tal que los aparatos e instrumentos puedan ser removidos sin causar problemas en el alambrado.

Todo el alambrado debe soportar las pruebas de acuerdo a la Norma CFE E0000-01-1990 (Conductores para Alambrado de Tableros Eléctricos).

El Proveedor deberá realizar en fábrica todo el alambrado interno completo, correspondiente a los polos, gabinetes de control, contactos auxiliares, alarmas, bloqueos, resistencias calefactoras, circuitos de fuerza, etc., hasta las tablillas terminales.

Los cables conductores y accesorios que se utilicen en el alambrado deberán cumplir con lo indicado a continuación:

Cables de los circuitos auxiliares de control y de fuerza.

- Deberá utilizarse cable tipo flexible para 600 V y 90 °C.
- Los cables que pasen a puertas embisagradas deberán ser del tipo extraflexible, adecuado para esta aplicación.
- El calibre de los conductores usados deberá ser el adecuado para cada aplicación, pero en ningún caso menor que el 14 AWG (19 hilos), de acuerdo con la Norma CFE E0000-01.
- No deberá efectuarse ningún empalme de cable en el gabinete de control o en ductos o tubos conduit.
- Cada cable deberá ser identificado con un número en los extremos, por medio de una manga termocontráctil.

Terminales

- Las terminales de los conductores deberán ser tipo ojo o anillo y sujetarse a las tablillas terminales por medio de tornillos.
- No se aceptarán otro tipo de zapatas, como abiertas, tipo espada, etc.
- No se permitirá más de dos conexiones del alambrado interno por punto de terminal.

l) Requisitos para evitar la corrosión

Todos los elementos expuestos a la intemperie deberán cumplir con los siguientes requisitos:

Con la excepción de las cajas de control de los mecanismos motorizados, las que pueden ser pintadas, todos los elementos de fierro o acero serán galvanizados por inmersión en caliente. Esta galvanización deberá cumplir con las normas ASTM última edición. Se usará Zinc de la calidad "Intermediate" o superior, de acuerdo a la norma ASTM, con un contenido de aluminio inferior a 0.005 %. Si el proveedor utiliza otras normas para la galvanización en caliente, éstas deberán ser informadas al Cliente para su aprobación.

- Para evitar la corrosión galvánica que se presenta en la zona de materiales diferentes en contacto, deberá proveerse combinaciones de metales o sus aleaciones o ambas, que no produzcan una diferencia de potencial galvánico superior a 0.6 V (excepto para elementos bimetálicos).

Los pernos, tuercas, golillas, pasadores y otros elementos de fijación deberán fabricarse de materiales de alta resistencia a la corrosión y de

alta resistencia mecánica. Pernos, tuercas y golillas, empleados en zonas por donde circule la corriente, deberán fabricarse en materiales no magnéticos (acero inoxidable o Durium).

Placas de Datos

a) Placa de Datos del Desconectador (Cuchilla Desconectadora)

Esta placa deberá ser de acero inoxidable. La fijación de la placa al portaplaca será por remaches o puntos de soldadura. No se aceptarán placas atornilladas.

El grabado de la placa deberá ser bajo relieve profundo y no se aceptará el de tipo de golpe, excepto en la fecha de fabricación, número de serie y pedido que si pueden ser de golpe, siempre y cuando sea claro y permanente.

La placa deberá incluir como mínimo los siguientes datos:

- Nombre del fabricante y fecha de fabricación.
- Número de serie.
- Tipo y modelo.
- Tensión nominal.
- Nivel básico de aislamiento al impulso, por rayo o por maniobra.
- Altitud de operación sobre el nivel del mar.
- Frecuencia nominal.
- Corriente nominal.
- Corriente de aguante de corta duración.
- Tiempo de la corriente de aguante de corta duración.
- Tensión nominal de auxiliares.
- Masa por polo del desconectador en kg.
- Instructivo de referencia.
- Número de pedido y partida CFE.

b) Placa de Datos del Motor del Mecanismo de Operación Eléctrica

Esta placa deberá contener como mínimo los siguientes datos:

- Nombre del Fabricante.
- Número de serie.
- Potencia nominal.
- Tensión nominal.
- Corriente nominal.
- Número de fases.
- Frecuencia nominal.
- Velocidad en rpm.
- Elevación de temperatura.
- Clase de aislamiento.

c) Placa de Datos de la Resistencia Calefactora

Esta placa deberá contener como mínimo los siguientes datos:

- Nombre del Fabricante.
- Tensión nominal.
- Potencia.

b) Placa de Datos del Desconectador y Mecanismo de Puesta a Tierra

Se deberá suministrar una placa de datos que deberá incluir como mínimo lo siguiente:

Nombre del Fabricante y fecha de fabricación.
 Número de serie.
 Tipo y modelo.
 Tensión nominal.
 Corriente nominal.
 Corriente de aguante de corta duración.
 Tiempo de la corriente de aguante de corta duración.

1.0.3 Pruebas

Las pruebas especificadas a continuación deberán realizarse en fábrica y ser presenciadas por un inspector o un representante autorizado, para lo cual el Proveedor dará el aviso anticipadamente. Los desconectadores no deberán sufrir daños antes, durante o después de realizadas estas pruebas. Además, el Proveedor deberá realizar todas las pruebas especificadas en las normas aplicables para comprobar la calidad de los materiales y mano de obra empleada en la fabricación del equipo y partes del suministro.

- Prueba de Tensión de Impulso Resistida en un desconectador completamente armado, o, al menos, sobre dos polos del desconectador, de acuerdo a la Norma IEC-129.
- Prueba de Tensión Resistida en 60 Hz, húmedo, en un desconectador completamente armado, o, al menos, sobre dos polos del desconectador, de acuerdo a la Norma IEC-129.
- Prueba de contaminación artificial en un polo completamente armado del desconectador, de acuerdo a la Norma IEC-129.
- Prueba de Tensión Radiointerferencia en un polo completamente armado, de acuerdo a la Norma ANSI C37.3. Durante esta prueba no deberá aparecer corona visible en los desconectadores a la tensión máxima de operación a tierra, según la Norma ANSI C37.34a.
- Prueba de elevación de temperatura en un polo completamente armado, de acuerdo a la Norma IEC-129.
- Prueba de corriente de cortocircuito de tres (3) segundos y momentánea (valor cresta), en un polo completamente armado, de acuerdo a la Norma IEC-129.
- Prueba de operación y resistencia mecánica en un desconectador completamente armado, incluidos los correspondientes mecanismos de operación (principal y/o de puesta a tierra), de acuerdo a la Norma IEC-129.
- Los desconectadores sometidos a estas pruebas no podrán formar parte del suministro sin haber reemplazado en ellos las piezas de contacto eléctrico expuestas a roce, por ejemplo: contactos principales, contactos de puesta a tierra, etc. Asimismo, cualquier otra pieza del desconectador que muestre daño, deterioro o desgaste excesivo, después de ejecutada la prueba.

Cada unidad suministrada deberá ser sometida a las pruebas de rutina que se indican, y se entregarán con el correspondiente protocolo de pruebas.

- En cada polo:
 - a) Medición de la resistencia de corriente continua entre terminales, con los contactos cerrados, en todas las fases.
 - b) Medición de la presión de contacto, en todas las fases.
 - c) Verificación de la correcta operación de las cuchillas principales (apertura y cierre).
 - d) Control del espesor del plateado de los contactos.
- Controles en cada mecanismo de operación y equipo auxiliar.
 - a) Prueba de tensión aplicada de 2 kV, 60 Hz, 1 minuto.
 - b) Verificación de Alambrado.
 - c) Resistencia de aislamiento.
- En un desconector de cada tipo, completamente ensamblado con su mecanismo de operación.
 - a) Prueba de voltaje resistido a frecuencia industrial, con los contactos principales en la posición cerrado y abierto.
 - b) Medida de la distancia de aislamiento (Metal a Metal) entre los polos abiertos.
 - c) Verificación de la correcta apertura y cierre de los contactos principales y contactos para puesta a tierra, correcta operación de enclavamiento.
 - d) Comprobación de las tolerancias mecánicas de los contactos principales al cerrar el desconector.
 - e) Medición del torque de operación requerido para las operaciones de apertura y cierre del desconector.
 - f) Medición del torque inicial requerido para rotar el terminal conector, a las posiciones abierto y cerrado.
 - g) Prueba de Operación de acuerdo a lo estipulado en la Sección 6 de la Publicación N° 129 del IEC (o equivalente), para desconectores y cuchillos de puesta a tierra.
 - h) Medición del tiempo de operación.
- Columnas Aisladoras

Las columnas aisladoras de los desconectores deberán cumplir satisfactoriamente con las pruebas especificadas en la Norma IEC-168.

2.0 PARARRAYOS DE 230 kV

2.0.1 General

Los Pararrayos serán diseñados de acuerdo con la presente especificación.

Trabajos Incluidos

Los trabajos deberán incluir, pero no estar limitados a, ingeniería, asesoría de montaje, materiales, equipos y mano de obra para diseñar, fabricar y probar los Pararrayos de 230 kV.

Los equipos deberán entregarse completamente armados, alambrados, probados y listos para su instalación. Su desarme para transporte deberá ser solamente por seguridad de manejo, adecuada protección en el traslado y restricciones de transporte.

Los equipos deberán ser adecuadamente embalados para transporte marítimo y terrestre.

Trabajos Excluidos

- Transporte al sitio de instalación.
- Descarga en terreno.
- Cimentaciones y pernos ancla.
- Instalación de los equipos en terreno.
- Alambrado, conexiones y canalizaciones externas.

2.0.2 Diseño y Características Técnicas

Los Pararrayos deberán ser capaces de resistir la máxima tensión permanente de operación garantizada durante toda su vida útil, bajo las condiciones de contaminación ambiental imperantes y después de ser sometidos a sollicitaciones mecánicas de origen sísmico especificadas y repetidas descargas de energía.

Los Pararrayos deberán resistir sin daño las sobre tensiones de diversos orígenes. La capacidad de disipación de energía deberá ser tal que, aún después de efectuar la descarga de las sobre tensiones más severas, la temperatura de trabajo de los varistores de ZnO se encuentre siempre por debajo del punto donde se establece el desequilibrio térmico, tomando en cuenta un amplio margen de seguridad.

Deberán ser suministradas las curvas características Tensión vs. Tiempo de los pararrayos, en las que se indique las máximas duraciones de tiempo durante las cuales los pararrayos pueden resistir determinados niveles de sobre tensión de 60 Hz, en condiciones establecidas de temperatura inicial de los varistores de ZnO y de absorción inicial de energía, para las que se garantiza que no se produzcan daños, ni desequilibrio térmico en los dispositivos.

Requerimientos Constructivos Generales

Los Pararrayos de 230 kV serán monofásicos, en Oxido de Zinc (ZnO), para uso al exterior, construidos por bloques, y aptos para montaje vertical sobre estructura (que no forma parte de este suministro), con tapa de porcelana en la parte superior y serán herméticamente sellados.

El diseño debe contemplar un dispositivo de alivio de presión interna y de prevención de la fragmentación explosiva de sus piezas y encapsulado como resultado de descargas que excedan su capacidad de disipación de energía y que puedan provocar la eventual falla del equipo, el cual debe soportar las condiciones de servicio normales respecto a la sobre tensión temporal, capacidad de absorción energética y contaminación.

El fabricante deberá incluir una memoria de cálculo del diseño sísmico del Pararrayos de 230 kV completo, considerando el nivel de sismicidad equivalente a la Zona B de acuerdo a la Norma Mexicana.

Sus bases de soporte deberán ser de piezas de fácil montaje, livianas y alta resistencia sísmica. El diseño de la base permitirá el montaje del pararrayos sobre una estructura metálica auto soportante.

Todos los elementos expuestos a la intemperie deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Todas sus partes metálicas estarán protegidas contra la corrosión mediante un tratamiento adecuado. Sus componentes de fierro o acero serán tratados para evitar el ataque de gases sulfurosos y/ o neblina ácida proveniente de la Nave de EW y polvo abrasivo. Pernos, tuercas, pasadores y otros elementos estarán fabricados de un material libre de corrosión.
- b) Todas las partes de fierro o acero expuestas al medio ambiente serán tratadas según se establece en el párrafo siguiente.

Si procede, para evitar la corrosión galvánica que se presenta en la zona de contacto entre materiales diferentes, deberán proveerse combinaciones de metales o aleaciones que no produzcan una diferencia de potencial galvánico superior a 0.6 V.

Todas aquellas partes metálicas que no se encuentran normalmente sometidas a alta tensión, deberán tener una conexión metálica directa a tierra, las que consistirán en placas de acero inoxidable, soldadas a la estructura. Estas placas tendrán un contenido mínimo de cromo de 12 % y el espesor no podrá ser inferior a 15 mm.

El diseño del Pararrayos deberá asegurar que las partes aisladas no absorban humedad alguna, durante el transporte, montaje y en las condiciones de operación normal.

Cada pararrayos traerá incorporado terminales adecuados para conectores y conductor de aluminio de características similares a la línea de alimentación de alta tensión (1 conductor por fase), y conector tipo prensa para terminal de puesta a tierra de cobre desnudo N° 4/0 AWG.

Los terminales deberán ser plateados y aptos para operar sobre 75 °C. Las columnas de aisladores deberán ser de porcelana no aceptándose las fabricadas en material sintético.

En la unión brida-porcelana no se aceptará el uso de ningún pegamento que contenga azufre como componente principal.

Las columnas de aisladores del pararrayos deberán ser de una sola pieza y cumplir con las condiciones establecidas para el nivel de contaminación IV de la Publicación N° 815 de la IEC, el factor que considera su diámetro medio y el factor de contaminación (Profile factor) mayor que 0.7.

La porcelana deberá ser homogénea, libre de laminaciones, cavidades o porosidades que afecten la resistencia mecánica o calidad dieléctrica del aislador. Asimismo, el barniz vítreo deberá estar libre de imperfecciones y será de color uniforme.

La resistencia al cantilever especificado por el proveedor para la columna del aislador con sus bridas de fijación, deberá ser suficiente para resistir los esfuerzos

máximos de respuesta horizontal introducidos por movimientos sísmicos en la columna, más los esfuerzos provenientes de los cables de conexión, con un factor de seguridad de 1.5.

Cada pararrayos deberá estar provisto, a lo menos, con los siguientes elementos:

- a) Un (1) contador de descargas por cada pararrayo.
- b) Una base metálica.
- c) Sub-base aislante que permita el uso de un contador de descargas.
- d) Dispositivo de seguridad y sobre presión para la eliminación de los gases producidos durante una descarga.
- e) Placa de características en idioma Español.

2.0.3 Pruebas

Pruebas Tipo

Es requisito indispensable para optar a este suministro que el tipo y modelo de pararrayos haya sido sometido exitosamente a las pruebas tipo que indican las normas. Para estos efectos, el Proveedor deberá incluir en su oferta los protocolos de pruebas que corresponda a equipos del mismo tipo que el ofrecido.

En el eventual caso que los protocolos de pruebas solicitados en los Planos y Documentos Requeridos no fueran aceptables a juicio de la Empresa, éste podrá solicitar la ejecución de la prueba cuyo protocolo haya sido rechazado, a cargo del Proveedor.

Las pruebas tipo serán realizadas antes de las pruebas de rutina, efectuadas en conformidad con la Norma IEC / ANSI.

Pruebas de Rutina

Los pararrayos y sus componentes, deberán ser sometidos a las pruebas de rutina que se indican, y se entregarán con el correspondiente protocolo de pruebas.

El Proveedor deberá realizar las siguientes pruebas de rutina en fábrica, especificadas según las Normas IEC / ANSI:

- a) Prueba de descarga disruptiva a frecuencia industrial.
- b) Control de sellado.
- c) Medida de corriente de fuga a voltaje nominal.
- d) Características voltaje-tiempo para descarga disruptiva con frente de onda escarpado.
- e) Prueba de voltaje de descarga (residual) con 10 kA de corriente de descarga.
- f) Prueba no disruptiva a frecuencia industrial (aislamiento).

El Proveedor deberá proporcionar certificados con los resultados de las pruebas y de calidad de la materia prima utilizada.

Será motivo de rechazo del equipo el incumplimiento de cualesquiera de las pruebas especificadas en ANSI / IEEE C62.11-1987 ó IEC TC 37 WG4 87.

Cualquier material erróneamente fabricado o especificado, tal que su instalación en terreno requiera reemplazo o trabajo extra, será de responsabilidad del fabricante, quién asumirá el costo total de los gastos involucrados.

El Proveedor deberá entregar un documento (Memoria de Cálculo) que acredite que cumple con las condiciones sísmicas equivalente a la Zona B de acuerdo a la Norma Mexicana.

3.0 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL DE 230 kV

3.0.1 General

Los Transformadores de Potencial deberán ser suministrados con todos sus accesorios y en condiciones de entrar en operación en forma inmediata.

3.0.2 Requerimientos de Diseño

Los Transformadores de Potencial deberán ser de diseño y fabricación para servicio pesado (heavy-duty design and construction), incorporando las más modernas características de diseño probadas y avances tecnológicos disponibles para este tipo de equipos y operación.

Los transformadores serán suministrados para instalación a la intemperie, unipolares, de montaje vertical, tipo columna, completos con sus aisladores y cualquier otro elemento que se requiera.

Los transformadores serán utilizados para alimentación de dispositivos de medición, protección y de control.

Los núcleos de los Transformadores de Potencial se considerarán en la parte inferior, con aislamiento de papel y contenido mínimo de aceite.

Los Transformadores de Potencial deberán ser tipo columna, diseñados y construidos con los siguientes requerimientos:

- a) Aislamiento de papel impregnado en aceite.
- b) Libres de presión y herméticamente sellados para prevenir contaminación de aceite.
- c) Componentes externos metálicos y de acero, pintados con pintura epóxica.
- d) Empaquetaduras de goma sintética resistente al aceite, diseñadas para garantizar la hermeticidad del equipo durante su vida útil.
- e) Color café para la unidad, incluyendo aisladores de porcelana vitrificados, los cuales serán diseñados para la distancia de fuga especificada.
- f) Indicador magnético del nivel de aceite con marcas normal, bajo y alto.
- g) Tapón de llenado y válvula de drenaje.
- h) Conectores terminales de alta tensión cilíndricos adecuados para conectores y conductores aéreos de aluminio de iguales características que la línea de alimentación de alta tensión (ACSR-1,113 kCM).

- i) Caja de conexiones de baja tensión para intemperie (NEMA 4), con bornes terminales de los devanados secundarios y un conector de puesta a tierra del transformador para conductor de cobre desnudo 4/0 AWG.
- j) Orejas y ganchos adecuados para izaje y maniobras del transformador ensamblado, en forma segura y confiable.
- k) Base de sustentación para fijar el transformador de potencial a la estructura soporte. La base deberá contar con los elementos necesarios para nivelar el transformador. Deberá tener el marco con las perforaciones necesarias para recibir los pernos de anclaje de la estructura soporte. El diseño de la base de sustentación deberá soportar la masa del transformador de potencial y los esfuerzos por agentes externos, tales como: presión del viento, vibraciones y sismos.
- l) Los transformadores de potencial, deberán tener una capacidad sísmica para soportar esfuerzos horizontales y verticales en conformidad con la respectiva zona sísmica. Se deberá considerar que estos esfuerzos están aplicados en la dirección más desfavorable y en forma simultánea.

Placas de Datos

La placa de datos deberá ser de acero inoxidable 304. La fijación de la placa deberá hacerse por medio de remaches o puntos de soldadura. La información contenida en la placa deberá ser de bajo relieve profundo y no se aceptará de tipo por golpe, excepto para el número de serie, fecha de fabricación y número de pedido. Las leyendas deberán estar en idioma español y en el Sistema General de Unidades de Medida.

La placa deberá incluir los siguientes datos:

- Leyenda: transformador de potencial inductivo.
- Nombre del fabricante y logotipo.
- Mes y año de fabricación.
- Número de serie.
- Tipo y modelo.
- Nivel de aislamiento al impulso.
- Altitud de operación sobre el nivel del mar.
- Frecuencia nominal.
- Tensión nominal primaria.
- Tensión nominal secundaria.
- Tensión nominal terciaria 1.
- Tensión nominal terciaria 2.
- Relación nominal de transformación.
- Carga y clase de exactitud en cada devanado secundario.
- Carga nominal térmica.
- Identificación de terminales en cada devanado secundario.
- Masa total.
- Litros de aceite, en caso de llevarlo.
- Número de pedido.
- Aceleración sísmica.

3.0.3 Pruebas

Pruebas Tipo

Estas pruebas deberán ser cotizadas separadamente y podrán ser solicitadas si a juicio del Cliente fuesen estrictamente necesarias.

Las pruebas tipo serán efectuadas en conformidad con las Normas IEC 186 y ANSI C57.13 y serán las siguientes en orden de secuencia:

- Prueba de Cortocircuito.
- Pruebas de Descargas Parciales.
- Prueba de Impulso.
- Prueba de Elevación de Temperatura.
- Prueba de Determinación de Límites de Error.
- Pruebas de Rutina.

Se efectuarán las siguientes pruebas de rutina:

- a) Medida de Resistencia en Frío.
 - b) Prueba de polaridad e identificación de terminales.
 - c) Prueba de descargas parciales.
 - d) Prueba de tensión aplicada entre devanados secundario y tierra por un (1) minuto.
 - e) Prueba de tensión aplicada a devanado primario con neutro conectado a tierra por un (1) minuto.
 - f) Medición de error (precisión).
 - g) Corriente de magnetización (I_0) en el devanado secundario a $\sqrt{3} \times V_n$.
 - h) Medida de tangente delta.
 - i) Resistencia de aislamiento.
 - j) Pruebas y criterio de aceptación de aisladores, según IEC 815 e IEC 233.
- En particular, la Prueba de Descargas Parciales se realizará inmediatamente después de la Prueba de Tensión Inducida y con una Tensión de Prueba de 1.4 veces la tensión nominal entre fases (V_n) durante 15 segundos, y después, disminuyendo la tensión de prueba y midiendo el nivel de descargas parciales a 1.1 y 0.7 V_n . Las Descargas Parciales no serán mayores que 5 pC a 1.1 V_n y 2 pC a 0.7 V_n .

4.0 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE DE 230 kV

4.0.1 General

Los Transformadores de Corriente deberán ser suministrados con todos sus accesorios y en condiciones de entrar en operación en forma inmediata.

4.0.2 Requerimientos de Diseño

Los Transformadores de Corriente deberán tener las características eléctricas nominales descritas para operar según las condiciones de operación de la zona del proyecto.

- Los Transformadores de Corriente deberán ser de diseño y fabricación para servicio pesado (heavy-duty), incorporando las más modernas características de diseño probadas y avances tecnológicos disponibles para este tipo de equipos y operación.
- Los transformadores serán suministrados para instalación a la intemperie, unipolares, de montaje vertical, tipo columna, completos con sus aisladores y cualquier otro elemento que se requiera.

- o Los transformadores serán adecuados para operación de dispositivos de medición, protección y elementos de control. Además, serán del tipo multi-relación.
- o Los transformadores de corriente deberán ser diseñados y construidos con los siguientes requerimientos:
 - a) Aislamiento de papel impregnado en aceite.
 - b) Libres de presión y herméticamente sellados para prevenir contaminación de aceite.
 - c) Componentes externos metálicos y de acero, pintados con pintura epóxica.
 - d) Empaquetaduras de goma sintética resistente al aceite, diseñada para garantizar la hermeticidad del equipo durante su vida útil.
 - e) Color café para la unidad, incluyendo aisladores de porcelana vitrificadas, los cuales serán diseñados para la distancia de fuga especificadas.
 - f) Indicador magnético del nivel de aceite, con marcas de nivel normal, bajo y alto.
 - g) Tapón de llenado y válvula de drenaje.
 - h) Conectores terminales de alta tensión cilíndricos y/o planos, adecuados para conectores y conductores aéreos de aluminio los cuales serán de iguales características a la línea de alimentación de alta tensión (ACSR 1,113 kCM).
 - i) Dos cajas de conexiones de baja tensión, para intemperie (NEMA 4), con bornes terminales de los devanados secundarios, una con los devanados secundarios correspondientes a la medición de CFE (Comisión Federal de Electricidad) y la otra con los devanados de medición y protección de Peñoles. Además, se debe considerar un conector de puesta a tierra por cada caja del transformador para conductor de cobre desnudo hasta 4/0 AWG.
 - j) Medios para levantar con seguridad el transformador completamente armado con aceite.
 - k) Base de sustentación para fijar el transformador de corriente a la estructura soporte. La base debe contar con los elementos necesarios para nivelar el transformador. La base deberá soportar la masa del transformador de corriente y los esfuerzos producidos por agentes externos como: presión de viento, vibraciones, sismos, etc.
 - l) Perforaciones necesarias para recibir los pernos de anclaje de la estructura soporte.

Placas de Datos

La placa de datos será de acero inoxidable 304. La fijación de la placa deberá hacerse por medio de remaches o puntos de soldadura. La información contenida en la placa deberá ser en bajo relieve profundo y no se aceptará de tipo por golpe, excepto para el número de serie, fecha de fabricación y número de pedido. Las leyendas deberán estar en idioma español y en el Sistema General de Unidades de Medida. La placa deberá incluir los datos siguientes:

Leyenda: Transformador de corriente.
 Nombre del fabricante.
 Mes y año de fabricación.
 Número de serie.
 Tipo y modelo.
 Tensión nominal.
 Nivel de aislamiento al impulso
 Altitud de operación sobre el nivel del mar.

- Frecuencia nominal.
- Corriente nominal primaria.
- Corriente nominal secundaria.
- Corriente térmica de cortocircuito.
- Corriente dinámica de cortocircuito.
- Factor térmico de sobrecorriente en permanencia de la corriente nominal.
- Relación nominal de transformación.
- Carga y clase de exactitud para protección y medición en cada devanado secundario.
- Aceleración horizontal.
- Masa total.
- Litros de aceite.
- Número de pedido.

4.0.3 Pruebas

Es requisito indispensable para optar a este suministro que el tipo de Transformadores de Corriente, haya sido sometido exitosamente a las pruebas tipo que se indican más adelante.

Pruebas Tipo

Estas pruebas deberán ser cotizadas separadamente y podrán ser solicitadas si a juicio del Cliente fuesen estrictamente necesarias.

Las pruebas tipo serán efectuadas en conformidad con las Normas IEC 185 y/o ANSI C57.13 y serán las siguientes:

- o Pruebas de Cortocircuito.
- o Pruebas de Descargas Parciales.
- o Prueba de Impulso.
- o Prueba de Elevación de Temperatura.
- o Prueba Curvas de Excitación.
- o Pruebas para núcleos de protección para régimen transitorio, según IEC 44-6.
- o Pruebas de Rutina.

Cada unidad suministrada, deberá ser sometida a las Pruebas de Rutina que se indican, y se entregarán con el correspondiente protocolo de pruebas.

- a) Medida de resistencia en frío.
- b) Prueba de polaridad e identificación de terminales.
- c) Prueba de tensión inducida.
- d) Prueba de descarga parciales.
- e) Prueba para núcleos de protección para régimen transitorio según IEC 185.
 - o Errores de relación y ángulo.
 - o Determinación de la resistencia secundaria.
 - o Características de excitación.
 - o Determinación del factor de remanencia.
 - o Determinación de la constante de tiempo secundario.
- f) Prueba de tensión aplicada entre devanados secundario y tierra por 1 minuto.
- g) Prueba de tensión aplicada a devanado primario con neutro conectado a tierra por 1 minuto.

- h) Medida del factor de potencia del aislamiento.
- i) Pruebas y criterio de aceptación de los aisladores, según IEC 185 e IEC 233.

5.0 INTERRUPTORES EN GAS SF6 DE 230 kV

5.0.1 General

Los interruptores de potencia serán diseñados de acuerdo con la presente Especificación.

5.0.2 Requerimientos de Diseño

Características de Operación

El mecanismo de operación en base a resorte cargado con motor, deberá cumplir con las siguientes características mínimas:

- a) No se realizará una operación de cierre hasta que el resorte esté completamente cargado. El resorte será cargado automáticamente después de completada una operación de cierre.
- b) Deberá permitir cargar el resorte del interruptor, mediante una palanca o manivela que bloquee el circuito eléctrico de alimentación del motor. Esta función deberá cumplirse aún en el caso en que la carga del resorte haya sido iniciada por el motor.
- c) El mecanismo deberá contar con un sistema antibombeo ("Antipumping").
- d) Deberá permitir efectuar un ciclo completo "0-tiempo muerto-CO", con el motor de carga desconectado.

Para mantenimiento, se podrá descargar la energía almacenada en el mecanismo de operación.

El mecanismo deberá ser adecuado para operación local y remota. Será posible operarlo manualmente.

El diseño deberá asegurar una protección total al operador que opere localmente el interruptor contra la máxima corriente de falla especificada.

Cada mecanismo de operación deberá ser suministrado con las siguientes bobinas:

- Una bobina de cierre de c.c. por fase.
- Dos bobinas independientes de apertura de c.c. por fase.

Las bobinas deberán operar en forma correcta con voltajes de alimentación que pueden variar entre el 70 % y el 130 % del voltaje nominal y con una corriente que no exceda 15 A para el voltaje mínimo de operación.

Todas las bobinas de c.c. serán equipadas con supresores de sobre voltajes, tales como varistores de óxidos metálicos conectados a través de las bobinas para descarga de voltajes transitorios. El dispositivo supresor, tendrá capacidad suficiente para disipar en forma segura la energía almacenada en las bobinas, además de no interferir con la operación normal del interruptor.

Mecanismos de disparo que actúen directamente por corrientes primarias no serán aceptados.

El dispositivo de control de cierre será equipado con un contacto de sello para asegurar el completo cierre del interruptor bajo una señal de cierre tan corta como 60 ms.

Cada mecanismo de operación deberá incluir, para propósitos de mantenimiento, medios para realizar aperturas y cierres en forma lenta.

El mecanismo de cierre y apertura será diseñado para garantizar la operación tripolar del interruptor, dentro del margen de tolerancia de discrepancia de fases que permiten las normas. Para garantizar la correcta operación del interruptor, se deberá considerar un sistema automático de apertura de los tres polos del interruptor, en caso de que cualquiera de los polos no complete la carrera de cierre.

Se deberá proveer un monitoreo continuo de cada bobina para ambas posiciones de apertura y cierre del interruptor. Se suministrará una unidad de supervisión con luces indicadoras para cada bobina de apertura en el gabinete del interruptor en cada polo. También un contacto de salida para alarma externa si la bobina de apertura está en circuito abierto.

Se suministrarán interruptores de cuchilla en lugar visible que permitan aislar los circuitos de fuerza de apertura y cierre de sus fuentes de alimentación.

El mecanismo de operación de comando será lateralmente a un costado del interruptor.

Los interruptores con bobinas de apertura dedicadas por fase, conectadas en paralelo serán equipados con un temporizador de desajuste de fase con un rango de tiempo de 0.2 a 3 segundos. El temporizador tendrá una alarma externa e iniciará la apertura tripolar.

Aspectos Mecánicos y Constructivos

El interruptor se diseñará para operar satisfactoriamente y sin necesidad de mantenimiento bajo cualquiera de las siguientes condiciones, como mínimo:

- 2,000 operaciones cierre-apertura sin corriente de carga.
- 1,000 operaciones cierre-apertura a corriente nominal.
- 4 años en posición cerrado o abierto sin operación.
- 1,000 operaciones apertura de falla (mínimo).

Todo deterioro mecánico o eléctrico de los contactos del interruptor deben ser reducidos al mínimo a través de la aplicación de inserciones de metal u otros métodos estandarizados por el proveedor.

Todas las cubiertas y depósitos deberán ser construidas con materiales adecuados, y sus soldaduras serán dobles y continuas, bien fusionadas y penetradas, para asegurar la buena resistencia a los cambios de la presión interna y evitar que las partes aislantes absorban humedad.

Todas las superficies de las cubiertas, depósitos y componentes metálicos serán previamente arenados, aplicándose posteriormente suficientes manos de pintura base como primera capa, antióxido, pintura intermedia y final epóxica, de tal modo que tengan el espesor, propiedades y terminaciones de acuerdo con la Norma

Painting Council Manual (PSC-SP-63). Todas las partes de acero expuestas al medio ambiente serán protegidas adecuadamente para evitar la corrosión producida por el medio ambiente del lugar.

El diseño de los interruptores deberá asegurar que las partes aisladas no absorban humedad alguna, durante el transporte, montaje y en las condiciones de operación normal.

El diseño y construcción del interruptor deberá facilitar su desmontaje para realizar el mantenimiento y permitir un rápido acceso a todas las partes que requieran ajustes, limpieza, lubricación, etc. Las partes susceptibles a sufrir desgastes deben ser rápidamente accesibles para inspección y reemplazo.

El interruptor será diseñado para apertura y cierre monopolar o tripolar y reconexión monopolar o tripolar (si es necesario). Su diseño deberá permitir el fácil reemplazo de cada polo por uno nuevo. Además, cada unidad podrá ser ajustada en forma independiente.

Gabinete de control con protección tipo NEMA 4.

El alambrado y los terminales serán claramente identificados con marcas indelebles, de acuerdo a los planos certificados del proveedor. El alambrado será con aislamiento para 600 V, resistente al aceite, llama y humedad y, cumpliendo el código de colores de IPCEA.

Los terminales de los interruptores serán tipo "flat" Norma 4 NEMA plateados y adecuados para conectores y conductores aéreos de aluminio, los cuales tendrán las mismas características que la línea de alimentación de alta tensión y sección (ACSR 1,113 kCM).

Las columnas de aisladores serán de porcelana y no serán aceptadas las fabricadas en material sintético.

Las columnas de aisladores de cada interruptor deberán cumplir con las condiciones establecidas para el nivel de contaminación IV de la Publicación N° 815 de la IEC (31 mm / kV) y factor de importancia (Profile Factor) de 1.67.

Los interruptores en gas SF6 incluirán, a lo menos, los siguientes accesorios para el control del gas:

- a) Medios para el relleno de gas durante el servicio.
- b) Manómetros para cada nivel de presión.
- c) Sistema de monitoreo de la densidad.
- d) Válvulas de seguridad.
- e) Medios para filtrado y secado del gas SF6.
- f) Medios para llamada inicial.

El suministro deberá incluir la estructura soportante del interruptor fabricado en acero galvanizado en caliente, para ser anclada directamente a la cimentación y deberá agregar planos con las dimensiones de la estructura. Todo el conjunto deberá soportar los esfuerzos provocados por sismos de acuerdo al sitio. El proveedor entregará los requerimientos para su anclaje y diseño de la cimentación.

La resistencia al cantilever especificado por el proveedor para la columna del aislador con sus bridas de fijación, deberá ser suficiente para resistir los esfuerzos máximos de respuesta horizontal introducidos por movimientos sísmicos en la columna, más los esfuerzos provenientes de los cables de conexión.

Circuitos de Control y Alarmas

La alimentación de los circuitos de control de cierre y apertura se protegerá mediante interruptores termomagnéticos, tipo miniatura.

Los circuitos de control de cierre y apertura dispondrán de facilidades para permitir enclavamientos externos, que habiliten o bloqueen la operación del interruptor según sea el caso. Dichos puntos deberán quedar disponibles en las regletas de interconexión del interruptor.

Se proveerán contactos auxiliares de alarma para cubrir, a lo menos, las siguientes funciones:

- Mecanismo de energía almacenada descargado.
- Sobrecarga del motor de carga del sistema de accionamiento.
- Pérdida de SF6 o baja presión de SF6, primer nivel, alarma.
- Disparo o bloqueo por pérdida de SF6, segundo nivel.
- Falta de tensión de alimentación en c.c.
- Otras alarmas recomendadas por el fabricante.

Estos estados y alarmas deben ser comunicados a un Sistema SCADA Eléctrico.

No se aceptarán interruptores de transferencia local/remoto en los circuitos de control del interruptor.

Todos los contactos auxiliares y contactos para alarmas, serán del tipo libres de tensión ("secos") y vendrán alambrados hasta una regleta de terminales ubicado en el gabinete principal.

Deberá ser suministrado control eléctrico local en el gabinete de control para propósitos de prueba y/o mantenimiento. Todos los controles serán enclavados de manera tal que el interruptor no pueda ser operado bajo condiciones inseguras.

Accesorios

Los siguientes accesorios serán suministrados y de preferencia alojados en el gabinete de comando del interruptor:

- a) Medios para cierre y apertura local sin voltaje de control.
- b) Contador de operaciones.
- c) Indicador local de la posición de los contactos del interruptor.
- d) Protección de sobrecarga del motor.
- e) Calefactores y termostato, con interruptor independiente, para evitar condensación de humedad en el interior del gabinete. Los calefactores se alimentarán con tensión monofásica de 120 V, 60 Hz.
- f) Regleta de terminales con identificación para 15 bornes libres para uso del Cliente.
- g) Cerradura del gabinete por medio de candado.
- h) El interruptor deberá disponer de un interruptor auxiliar que contendrá ocho (8) contactos NA (52 a) y ocho (8) NC (52 b), eléctricamente independientes y alambrados a un block de terminales en el panel de

control principal, para usos del Cliente, además de los necesarios para operación normal. Los contactos deberán ser para 125 V c.c., 10 A.

- i) Relé de bajo voltaje con contactos auxiliares NA para alarma.
- j) Alumbrado interior del gabinete de control con interruptor enclavado con la puerta.

Dos (2) terminales para conexión a tierra, serán provistos en la estructura, para conectar a la malla de tierra a través de conductor de cobre N° 4/0 AWG.

Deberán ser suministrados diagramas esquemáticos de control de c.c. y c.a.

Se deberá suministrar suficiente gas SF6 para llenar y recargar el interruptor. Si fuera necesario, el suministro incluirá medios para filtrado, secado y compresión del gas.

El suministro incluirá suficientes empaquetaduras de repuesto para todas las bridas.

Se incluirán elementos para detección de fuga del gas SF6.

El suministro incluirá todos los accesorios normales y herramientas especiales necesarias para el montaje, mantenimiento y puesta en servicio.

Se debe incluir en el suministro un galón de pintura de terminación, para retocar después de la instalación.

Todos los equipos, componentes y materiales deben ser adecuados para las condiciones de servicio especificadas y deben estar de acuerdo con lo mencionado en las Hojas de Datos.

Todos los equipos, componentes y materiales suministrados deben ser nuevos, de óptima calidad, diseñados para servicio pesado y deben cumplir o exceder los requerimientos de esta especificación.

Todos los equipos y componentes deben ser de reciente fabricación y diseño, para los cuales el reemplazo de partes y servicios sea fácilmente obtenible.

5.0.3 Pruebas

Las pruebas especificadas a continuación deberán realizarse en fábrica y ser presenciadas por un inspector del Cliente o un representante autorizado si éste lo estima conveniente, para lo cual el Proveedor dará el aviso anticipadamente. Los interruptores no deberán sufrir daños antes, durante o después de realizadas estas pruebas. Además, el Proveedor deberá realizar todas las pruebas especificadas en las normas aplicables para comprobar la calidad de los materiales y mano de obra empleada en la fabricación del equipo y partes del suministro.

Las pruebas tipo, incluidas en la orden, deberán ser realizadas antes de las pruebas de rutina y en la secuencia que se indica a continuación:

- o Prueba de maniobra con baja corriente inductiva. El método de prueba utilizado deberá ser aprobado por el Cliente.
- o Prueba de impulso, de acuerdo a la Norma IEC 56-4, o equivalente.
- o Prueba de elevación de temperatura, según Norma IEC 56-2, o equivalente.

Las siguientes pruebas de rutina deberán ser realizadas a todos los equipos de este suministro en fábrica, de acuerdo a la Norma IEC 56, entre ellas deberán estar:

- Pruebas de resistencia dieléctrica a frecuencia industrial por 1 minuto en seco.
- Medición de la resistencia de los contactos en c.c. (caída de voltaje a través de contactos cerrados).
- Diez (10) operaciones cierre-apertura a voltaje máximo de servicio y máxima presión de alimentación del gas.
- Diez (10) operaciones de cierre-apertura a voltaje mínimo de servicio y mínima presión de alimentación del gas.
- Cinco (5) operaciones cierre-apertura con el mecanismo de disparo energizado por el cierre de los contactos principales, a voltaje nominal de servicio y presión nominal de alimentación del gas.
- Cinco (5) operaciones de reconexión, a voltaje nominal de servicio y a la presión nominal. Los tiempos de conexión y apertura deben ser determinados en cada operación. Las curvas de la carrera de los contactos (registros de tiempo-carrera y tiempo-velocidad) deben ser registrados en la primera y última operación.
- Componentes para SF₆:
 - a) Los envases de gas, tuberías, válvulas y aparatos auxiliares, deben ser probados de acuerdo a las normas de fabricación.
 - b) Las pruebas de presión deben ser realizadas con el doble de la presión de operación de las válvulas de seguridad asociadas. La prueba debe ser realizada durante un tiempo suficiente para asegurar que no habrá derrame.
 - c) El interruptor en SF₆ o unidad ensamblada debe ser presurizada a la máxima presión de trabajo por un tiempo mínimo de 4 horas, antes de las pruebas de rutina. No se deben presentar pérdidas de presión con la alimentación del gas desconectada.
 - d) La hermeticidad de las uniones y soldaduras, del interruptor y sus accesorios, deben ser probadas en fábrica con un detector halógeno u otro medio de sensibilidad comparable.
 - e) Los envases presurizados hechos de material aislante deben ser probados a presión después de finalizado todo el trabajo de pulido y ajuste a que deben ser sometidos. Las pruebas deben ser realizadas durante 15 minutos y a las siguientes presiones:
 - Para envases sometidos durante el servicio a la presión estática del gas pero sin grandes esfuerzos mecánicos, la prueba debe ser realizada al doble de la máxima presión de trabajo.
 - Para envases sometidos a rápidos cambios en la presión del gas y/o altos esfuerzos mecánicos, la prueba debe ser realizada al triple de la máxima presión de trabajo.
- Las siguientes pruebas serán realizadas al control y elementos eléctricos auxiliares:
 - d) Prueba de resistencia dieléctrica a frecuencia industrial, aplicando 2 kV rms durante un (1) minuto.
 - e) Revisión del alambrado, control y calibraciones para asegurar un correcto funcionamiento del interruptor y equipos auxiliares incluidos en el suministro.

o Bushings y Aisladores

- a) Se deberán presentar protocolos con las pruebas de ruptura al cantilever y por presión interior, pruebas dieléctricas a 60 Hz, y de impulso realizadas en aisladores del mismo tipo que los instalados en los interruptores ofrecidos. Se debe medir la distancia de fuga del aislador.
- b) Las pruebas en la fábrica de los aisladores y el criterio de aceptación será el descrito en la Publicación IEC-233.

6.0 TRANSFORMADORES DE POTENCIA 230/13.2 kV

6.0.1 General

A continuación se hace una relación de los equipos, accesorios y servicios que integran el suministro:

- Núcleo y devanados del transformador, ensamblados y montados en un tanque de acero soldado.
- Boquillas de alta tensión, baja tensión y neutro, conectadas y montadas en el transformador.
- Sistema de enfriamiento.
- Gabinete de control.
- Sistema conservador de aceite.
- Cambiador de derivaciones.
- Transformadores de corriente tipo boquilla.
- Accesorios normales y accesorios especiales.
- Lote de partes de repuesto.
- Herramientas especiales.
- Pruebas de rutina.
- Pintura y recubrimientos.
- Embalaje, empaque y llenado de gas inerte o aire seco para embarque.
- Embarque.
- Diagramas, instructivos e información técnica del equipo instalado.
- Planos de: dimensiones generales externas e internas, montaje de equipo, ensamble del conjunto núcleo-bobinas.

Los transformadores de poder serán diseñados de acuerdo con la presente Especificación.

6.0.2 Requerimientos Generales

Los transformadores serán del tipo inmerso en aceite, tanque con conservador, y deberán ser diseñados, construidos y probados de acuerdo a las últimas versiones de los códigos y reglamentos.

Cada transformador constituirá un equipo integral, autocontenido y fácilmente transportable. Será de construcción compactada y resistente, con tanque de acero, y deberá contener los elementos que se requieran para permitir una apropiada y segura operación, izado, gateo, montaje y transporte del mismo.

6.0.3 Requerimientos Técnicos

Capacidad Nominal del Transformador

La capacidad nominal del transformador debe estar de acuerdo con los valores especificados y, además, deberá cumplir con lo siguiente:

- a) Satisfacer lo indicado en las Normas NMX-J-284 y ANSI C57-12.00.
- b) La elevación promedio de temperatura de los devanados a tensiones y frecuencias nominales y a capacidad plena, no debe exceder de 55 °C, cuando sea medida por el método de resistencia, sobre una temperatura ambiente máxima de 40 °C y una temperatura promedio de 30 °C durante un período de 24 horas.
- c) Se proporcionará aislamiento para 65 °C, cumpliendo lo indicado en el inciso b) anterior y con lo siguiente:
 - todos los aislamientos del transformador deben ser capaces de operar en forma continua a una elevación de 65 °C sobre 40 °C de temperatura ambiente máxima y la elevación de temperatura del punto más caliente, no debe exceder de 80 °C, con un incremento de capacidad de 12 % sobre los kVA nominales a 55 °C.
 - La elevación de temperatura de los devanados, a tensión nominal y 112 % de los kVA nominales, no debe exceder de 65 °C, sobre 40 °C de temperatura ambiente máxima, medida por el método de resistencia. La elevación de temperatura del punto más caliente puede alcanzar hasta 80 °C.

Devanados

La capacidad nominal de cada devanado de alta tensión (AT), y los de media tensión (MT), debe estar de acuerdo con los valores consignados en las Hojas de Datos.

Cambiador de Derivaciones

El transformador de potencia deberá estar equipado con cambiador de derivaciones con carga, éste deberá cumplir con la norma IEC 214 y con las siguientes características:

- a) El cambiador de derivaciones bajo carga será Maschinen Fabrik Rheinhausen o similar, con escalones de diez (10) posiciones arriba y diez (10) abajo de la tensión primaria nominal siendo ésta la posición media.
- b) Todas las derivaciones deben tener capacidad nominal para servicio continuo.
- c) El cambiador de derivaciones debe ser de operación automática (motorizado) para operación energizada, y manualmente operado, con facilidades para operación manual (local) y remota, equipado con indicador de posición. El cambio de derivaciones será simultáneo en todas las fases.
- d) El conmutador o interruptor disyuntor del cambiador deberá estar contenido en un recipiente de aceite propio e independiente, con las mismas características de presión y vacío que el tanque principal del transformador.
- e) El cambiador deberá suministrarse con los aparatos y accesorios necesarios para su control e indicación de posición tanto local como remota.
- f) Los cambiadores de derivaciones deben contar con los siguientes equipos y accesorios:
 - Tanque conservador de aceite independiente con indicador de nivel y contacto de alarma por bajo nivel.
 - Contacto de disparo por mecanismo trabado.
 - Contacto de disparo por discrepancia de pasos de las fases.
 - Fusible mecánico o diafragma que opere bajo condiciones de sobrepresión con contactos de disparo.

Relevador Buchholz con contactos independientes de alarma y disparo.
Válvula para muestras de aceite.

- g) El mecanismo para el cambio de derivaciones debe ser ubicado convenientemente, para operación desde el nivel de piso, y debe considerar un dispositivo de bloqueo con candado, en cada posición de la derivación.
- h) El cambiador de derivaciones se ubicará en el primario (lado de 230 kV).
- i) El cambiador de derivaciones deberá tener un rango de regulación de más o menos 10 % del voltaje nominal con pasos de 1 %.

Resistencia de Puesta a Tierra

- a) Cada Transformador será suministrado con una Resistencia de Puesta a Tierra para montaje en una cimentación separada.
- b) La Resistencia estará construida con elementos de acero inoxidable, y será del tipo abierto para operación a la intemperie. Se deberá suministrar una cubierta tipo malla conectada sólidamente a tierra para protección de la Resistencia. La Resistencia será diseñada, probada y dimensionada de acuerdo con la norma IEEE N° 32.

Boquilla de Alta Tensión, Media Tensión y Neutro

- a) Las boquillas de alta (AT) y media tensión (MT), deben ser del tipo condensador para uso a la intemperie en condiciones ambientales de elevada contaminación y adecuadas también para operación en las condiciones indicadas según la zona del proyecto.
- b) Las boquillas deben ser adecuadas para ser retiradas para mantenimiento, sin necesidad de acceder al interior del tanque del transformador, y sin desplazamiento de las conexiones internas del transformador.
- c) Las boquillas deben ser dispuestas de tal manera, que permitan la conexión de cables de adecuada capacidad.
- d) Se instalarán pararrayos en el lado de AT del transformador (primario), sobre una estructura auxiliar, a objeto de limitar las sobretensiones transitorias producidas por descargas atmosféricas y las producidas en la red de 230 kV.
- e) Las boquillas serán de porcelana y tendrán depósito sellado con indicador de nivel de aceite. Asimismo, deberán contar con medios para llenado y drenado del aceite.
- f) La corriente nominal de la boquilla será del valor normalizado superior equivalente al 150 % del valor de corriente nominal del transformador asociado.
- g) Las boquillas primarias tendrán anillos equipotenciales
- h) No se aceptará el uso de pararrayos para aumentar la capacidad nominal de aislamiento de las boquillas de alta y media tensión.
- i) Se incluirá una boquilla para el neutro en el lado de MT, el cual será completamente aislado interiormente, y accesible exteriormente sólo a través de esta boquilla.
- j) Las boquillas tendrán integradas en su interior Transformadores de Corriente (tipo "bushings") de acuerdo con la cantidad y razones de transformación de corriente.

Cajas de Terminales y Terminaciones

Los transformadores tendrán cajas metálicas laterales para protección de las boquillas secundarias.

- a) Las cajas de terminales de MT (secundario) y piezas de terminación, deben ser proporcionados para conexión de ductos de barras.
- b) Las cajas de terminales deben ser a prueba de agua, polvo y nieve, NEMA 4, con placas removibles a cada lado, con amplio espacio previsto para permitir la fácil instalación de los ductos de barras.

Aceite Aislante

El aceite aislante del transformador será aceite mineral, y deberá cumplir o exceder todos los requerimientos indicados en las normas ASTM y la norma NOM J-123.

Sistema de Enfriamiento

Este sistema deberá cumplir con lo especificado en la norma ANSI C57.12.10, así como con lo siguiente:

- a) El transformador debe ser equipado con sistema de autoenfriamiento y con dos pasos de enfriamiento por aire forzado mediante ventiladores (OA / FA / FOA), los cuales deberán ser del tipo axial, con aspas metálicas, rejilla de protección y motores trifásicos sellados.
- b) El transformador deberá contar con un número suficiente de radiadores o enfriadores, detectores de temperatura, sistemas de control y protección, etc., con el objeto de que el transformador no exceda las temperaturas máximas permisibles señaladas en esta especificación.
- c) El sistema de enfriamiento anterior debe ser automáticamente controlado. El control automático será por el método de medición de la temperatura de los devanados; es decir, por un termómetro de imagen térmica de los devanados.
- d) El diseño de los grupos de ventiladores, debe ser tal que permita el acceso en operación con seguridad a cada ventilador para su cambio y/o mantenimiento.
- e) El proveedor deberá indicar la cantidad de enfriadores que tendrá el transformador, la cantidad de ventiladores por etapa e indicar la disminución de la capacidad al perder un ventilador y, al perder un enfriador.

Conexión a Tierra

El tanque de cada Transformador debe ser suministrado con dos conectores de conexión a tierra para cable N° 4/0 AWG, ubicados en lados diagonalmente opuestos del estanque, las cuales deberán ser de acero inoxidable o bronce.

Gabinete de Control del Transformador

- a) El gabinete debe tener un montaje a prueba de golpes para prevenir los efectos de la vibración del equipo. El nivel de protección del gabinete, será tipo NEMA 4.
- b) El gabinete de control debe ser provisto de puertas con bisagras (a todo lo alto), con chapa de acero inoxidable y llave.
- c) El gabinete de control deberá estar ubicado de tal manera que su parte más alta no exceda de 2 m y su parte más baja se localice a más de 500 mm del piso.
- d) Este gabinete deberá alojar lo siguiente:
Tablillas terminales de control, fuerza y para terminales de transformadores de corriente. Las tablillas de control deberán ser independientes de las de fuerza, y de las de los transformadores de corriente, deberán cumplir con la norma NEMA ICS-4, estas tablillas deberán estar perfectamente identificadas.

Tablillas de control.- Estas tablillas deberán ser para 600 V, 30 A y deberá proveerse un 20 % de terminales en reserva.

Tablillas de fuerza.- Deberán ser para 600 V, y de la capacidad necesaria.

Las tablillas indicadas deberán cumplir con la especificación CFE 54000-48.

- e) Interruptores termomagnéticos por grupo o etapa de enfriamiento.
- f) Contactores magnéticos directos a la línea, para partida y parada de grupo de ventiladores o etapas de enfriamiento.
- g) Se debe considerar un interruptor termomagnético principal.
- h) El gabinete de control deberá contener un dispositivo para operación manual / automático; manual (sin los dispositivos térmicos) y automático (con dispositivos térmicos). Este selector será del tipo servicio pesado rotatorio, de dos posiciones.
- i) Se deberá considerar en el gabinete, una resistencia calefactora con termostato. La potencia deberá ser la adecuada de acuerdo al tamaño del gabinete de control. El termostato deberá tener un rango de 0 a 50 °C.
- j) El gabinete incorporará una placa metálica que contenga el diagrama de conexiones, para identificación de terminales y equipos.
- k) Al interior del gabinete en su base, tendrá una barra de cobre para conexión a tierra.
- l) El montaje del gabinete no deberá ser rígido y considerar el amortiguamiento entre este y el tanque.

Gabinete de Control del Cambiador de Derivaciones

El Gabinete de Control del Cambiador de Derivaciones deberá incluir el mecanismo a motor y conmutadores para los circuitos de control incluyendo el sistema de indicación y control y las regletas para conexión local y remota. El sistema de control debe incluir la posibilidad de operar bajo el esquema "MAESTRO" / "ESCLAVO". Asimismo, deberá incluir conmutador remoto / local de contactos sostenidos y subir / bajar de contactos momentáneos, además de un indicador de posición (no se aceptará del tipo lámpara).

El gabinete debe incluir regletas para salida de cables con señales hacia el gabinete de control del transformador.

El gabinete de control del cambiador de derivaciones deberá estar instalado a un costado del tanque del transformador y altura similar a la del gabinete principal, deberá tener puerta con bisagras y manija para colocación de candado, tendrá resistencia calefactora. La entrada y salida del cableado será por conduits desde la parte inferior del gabinete. El gabinete deberá incluir su respectiva placa metálica de características.

Caja de Control Sistema de Enfriamiento

El transformador incluirá una caja de control para el sistema de enfriamiento en la cual se instalarán los partidores de los ventiladores, el sistema de control de los ventiladores, regletas para conexión de los cables de potencia y de control.

Caja de Conexión de Transformador de Corriente

El Transformador tendrá una caja de conexiones de los transformadores de corriente con interconexiones hacia el gabinete de control del transformador.

Método de Alambrado del Equipo Auxiliar

- a) Todo el control interno, energía auxiliar, circuitos de alarma y protección, deben ser completamente alambrados por el fabricante en cañería rígida de acero galvanizado. Todo el alambrado en el gabinete de control debe ser marcado adecuadamente, con su código de identificación conforme a los diagramas de alambrado proporcionados por el fabricante.
- b) Las regletas terminales deben ser marcadas para conexión externa, utilizable por el cliente, y en ellas se deberá prever un 20 % de reserva para futuras conexiones.
- c) Cada punto terminal debe tener capacidad para conectar 2 conductores de circuito externo N° 12 AWG.
- d) Las marcas del alambrado serán indelebles, y deben hacerse en los dos puntos extremos, para todos los conductores de control e instrumentación. La identificación debe hacerse con manguitos de plástico termocontraíble u otro medio igualmente efectivo.
- e) Los cables de fuerza deben ser identificados en forma indeleble en sus extremos con abrazaderas de fibra o material no ferroso, o metal a prueba de corrosión.

Placa de Características

- a) La placa de características de cada transformador debe colocarse aproximadamente en un nivel visual, desde la base del transformador, y debe estar de acuerdo con las normas aplicadas. Será de acero inoxidable con caracteres estampados, donde constarán los datos del transformador de acuerdo a normas ANSI y NMX-J-284.
- b) La placa de características debe contener como mínimo la siguiente información:
 - KVA nominales.
 - Voltaje nominal en vacío.
 - Polaridad, conexión de devanados, diagrama vector e identificación de bornes en el Primario y Secundario.
 - Porcentaje de impedancia en la derivación central, obtenido durante las pruebas de fábrica.
 - Derivaciones.
 - Desplazamiento angular de tensiones.
 - Frecuencia.
 - Pesos (con líquido, sin líquido, núcleo, radiador).
 - Corriente primaria y secundaria.
 - Pérdidas de potencia a tensión y frecuencia nominales.
 - Cantidad y tipo de aceite aislante.
 - Nivel de aislamiento.
 - Altura sobre el nivel del mar.
 - Aumento de temperatura en los devanados a tensión, frecuencia y cargas nominales.

Pintura de Fábrica

- a) Todas las superficies del tanque principal deben quedar libres de escamas, oxidaciones o exceso de soldadura. La limpieza se hará mediante chorro de arena. El interior del tanque debe ser limpiado con aire a presión, con un tratamiento para evitar la acción química del aceite aislante del transformador.

- b) Previo a la pintura, el tanque se debe limpiar con granalla metálica para exponer el metal seco y limpio. Finalmente debe darse una cubierta de dos manos de antióxido base alquídica, y tres manos de pintura de terminación base alquídica.
- c) Junto con cada transformador deben ser enviados dos galones de pintura de terminación para retoques en terreno.

Accesorios

- a) En adición a los equipos especificados, hay accesorios que deben ser proporcionados con cada transformador. Estos deben estar de acuerdo con los requerimientos de códigos y normas y, serán los siguientes:
 - Relé de presión súbita, con 2 contactos NO y 2 contactos NC.
 - Válvula de seguridad para alivio de presión, montada sobre la cubierta del transformador, con 2 contactos NC para alarma, de reposición automática, y con indicador visual de operación.
 - Indicador de temperatura del aceite aislante, tipo dial, con aguja indicadora de máxima, con contactos para alarma y desconexión.
 - Indicador de temperatura del bobinado mediante medición por imagen térmica, con contactos para alarma y disparo.
 - Indicador de presión de vacío en volumen de gas sobre el aceite.
 - Indicador magnético de nivel de aceite aislante con contactos de alarma, por bajo nivel.
 - Válvula combinada de drenaje y muestreo del aceite aislante y niple superior para relleno.
 - La alimentación a bobinas de relés de protección será en 125 VCC, suministrada por una fuente externa.
 - Los contactos de control y alarma, deberán ser del tipo contacto seco, NEMA A300.
 - Todos los materiales y equipos accesorios no especificados aquí, pero los cuales son normalmente suministrados y requeridos para control y operación de los transformadores, deben ser parte integral del transformador, incluyendo los equipos de protección.

Motores para Ventilación Forzada

- a) Todos los motores deberán ser trifásicos TEFC, de inducción tipo "Jaula de Ardilla", con protección IP55 o NEMA equivalente.
- b) La tensión de servicio disponible para los motores de los ventiladores será 480 V, 3 ϕ , 60 Hz. Tendrán clase de aislamiento tipo B, con elevación de temperatura 80 °C.
- c) Los motores deberán tener caja terminal moldeada. Los dispositivos de partida deberán ser individuales para cada motor.
- d) Los motores deben ser diseñados para partida a pleno voltaje.

Características Constructivas

a) Base

- 1) El Transformador se debe proveer con una base de acero estructural, adecuada para montaje sobre una cimentación de concreto. La base se debe diseñar para facilitar el movimiento del transformador en cualquier dirección paralela a los ejes del transformador.

- 2) El montaje incluirá dispositivos para impedir el desplazamiento del Transformador bajo condiciones de sismos.

b) Ganchos y Apoyos de Gatas

Se deben proveer ganchos en cantidad necesaria para tirar el transformador en cualquier dirección y para levantar el transformador con grúa o con gatas. También se deben incluir los ganchos para desmontar la tapa y el núcleo.

c) Tanque Principal

- 1) El tanque principal debe ser del tipo sellado, con conservador de aceite, y debe ser soldado por ambos costados, y de calidad tal que pueda soportar las presiones y esfuerzos resultantes de la operación y transporte del equipo. También debe ser diseñado para permitir vaciar completamente el aire interior del tanque.
- 2) En el tanque se deben incluir también las escotillas para el acceso al extremo de las boquillas de alta tensión, e inspección general.
- 3) El tanque principal del transformador, y cualquier compartimiento sujeto a presión de operación debe ser diseñado para resistir, sin deformación permanente, presiones 25% mayores que la máxima presión de operación.
- 4) Los tanques y radiadores deben ser dimensionados para llenado en vacío y deben ser capaces de resistir los rigores normales de embarque y manejo.
- 5) Los compartimientos auxiliares no diseñados para llenado en vacío, deben ser debidamente identificados y deben ser equipados con válvulas de aislamiento.
- 6) Las partes del transformador que deben ser abiertas para mantenimiento, deben ser provistas de empaquetaduras o sellos con "topes", para prevenir esfuerzos de sobre-compresión de la empaquetadura. Las empaquetaduras de unión para la cubierta del tanque, del conservador de aceite, boquillas y otras partes apernadas, deben ser diseñadas de tal manera que no queden expuestas al agua.

d) Radiadores

Los radiadores deberán ser intercambiables y se acoplarán al tanque mediante bridas empernados, e incluirán válvulas tanto en el extremo superior como inferior, de manera de permitir su instalación y retiro sin extraer el aceite del tanque. Los tubos radiadores deben tener fácil acceso para inspección visual y reparación de pinturas.

Repuestos y Herramientas Especiales

- a) El proveedor debe incluir en el suministro todos los repuestos, herramientas especiales y elementos necesarios para el adecuado transporte, instalación y verificación de los equipos.
- b) Asimismo, debe incluir repuestos, herramientas especiales e instrumentos necesarios para permitir la operación y mantenimiento sin problemas durante 5 años, los cuales deben ser listados junto con su oferta.

6.0.4 Inspecciones y Pruebas en Fábrica

Facilidades de Inspección

- a) Durante todo el período de fabricación y armado de los Transformadores, que se inicia con la recepción por el Proveedor de los Planos y Listados de Componentes Aprobados para Construcción, se facilitará el acceso a la Fábrica y su Oficina Técnica, a los inspectores o representantes, designados para la revisión del diseño y fabricación en sus distintas etapas, hasta la recepción final de cada Transformador y todos sus equipos instalados en él, los que incluirán todos los componentes, elementos y accesorios indicados en el diseño y fabricación de los equipos, previo a su entrega, recepción y liberación en fábrica y despacho.
- b) A menos que se especifique otra cosa, cada Transformador debe ser completamente alambrado y ajustado en la fábrica y debe hacerse una inspección común de chequeo de alambrado, pruebas de operación, pruebas de continuidad y pruebas dieléctricas para cada circuito con el fin de asegurar su apropiado funcionamiento. El fabricante debe entregar copia de todos los protocolos de pruebas con los resultados de las pruebas correspondientes, incluyendo las correcciones efectuadas.
- c) Las inspecciones a que se someterán los equipamientos, durante su período de diseño y fabricación son:

Inspección de fabricación mecánica, en que se verifican las dimensiones, la rigidez, refuerzo y armado general de cada Transformador.

Inspección de "montaje de equipos y componentes", la cual será previa al inicio de los conexiones y alambrado de equipos, verificándose el soporte de componentes y accesorios, acceso a interiores y disposición general.

Inspección de "terminaciones" (pintura, doblado de planchas, bordes, etc.), revisión de los sellos, pasadas de cables, la operabilidad de los componentes, alambrados punto a punto y la realización de pruebas funcionales de los componentes y equipos.

Al final de cada Inspección se emitirá un informe, dejando una constancia de Aprobación Parcial y Autorización para proceder con la etapa siguiente, o su Desaprobación con Observaciones y/o Cambios de Diseño correspondientes. Después de la última Inspección se dará por entregado el Transformador, procediendo luego a su preparación para el transporte. Lo anterior es válido para cada transformador.

Pruebas

Cada transformador debe ser sometido a las mediciones y pruebas que se indican a continuación, según procedimientos indicados en las Normas ANSI C57.12.90, NMX-J-123, NMX-J-169 y NMX-J-271.

Se deben hacer al menos las siguientes pruebas:

- a) Resistencia de todos los devanados (en todas las posiciones de las derivaciones).
- b) Relación de transformación (en todas las posiciones de las derivaciones): Primario-Secundario.
- c) Desplazamiento angular y polaridad: Primario-Secundario.
- d) Relación de fases.
- e) Medida de pérdidas en vacío y corriente de excitación.
- f) Impedancia: Primario-Secundario.
- g) Pérdidas bajo carga.
- h) Rigidez dieléctrica del aceite.
- i) Aumento de temperatura.

- j) . Potencial aplicado.
- k) Potencial inducido.
- l) Cálculo de la regulación y eficiencia.
- m) Resistencia de aislamiento: Primario-Secundario.
- n) Prueba de Impulso de acuerdo sólo con la Norma ANSI (sólo para uno de los transformadores).

Aspectos Generales

- a) Todos los equipos comprendidos en esta especificación estarán sujetos a inspección por parte del Propietario, o por la persona a quien éste designe, con anterioridad al embarque. El despacho de cada equipo, no exime al Proveedor de la responsabilidad del suministro conforme a todos los requerimientos de la orden de compra, ni invalida cualquier reclamo que el Propietario pueda hacer por causa de equipo defectuoso o no satisfactorio.
- b) El Propietario debe ser notificado al menos con dos meses de anticipación de la fecha de las pruebas.
- c) Cualquier deficiencia encontrada durante las pruebas, debe ser informada al Propietario, documentada y corregida antes de ser embarcados los equipos.
- d) El Proveedor deberá contar con herramientas, equipos para inyección de corrientes y tensiones trifásicas, instrumentos y todos los elementos necesarios para poder llevar a cabo las pruebas y verificaciones a que se deberá someter cada equipo.
- e) El Proveedor deberá entregar un cronograma con todas las actividades involucradas en el suministro, en especial deberá indicar aquellas en las cuales se requiere la inspección del Propietario (pruebas finales, embalaje y entrega para transporte).

7.0 TABLERO METAL-CLAD DE 13.2 KV (SWITCHGEAR DE MEDIA TENSION)

7.0.1 General

El suministro incluye el equipo con todos sus accesorios, ya sea de fuerza, control, protección, cuadros de alarmas y señales e instrumentación.

El Tablero Metal-Clad será diseñado de acuerdo con la presente Especificación.

El Tablero Metal-Clad será instalado en el interior de la Sala Eléctrica N° 1 ubicada en la Subestación Principal de 230 kV, la cual, tendrá presurización y aire acondicionado. Además, el Tablero Metal-Clad estará conectado a los secundarios de los transformadores de potencia (02), 230/13.2 kV, a través de cables aislados de potencia.

7.0.2 Requerimientos de Diseño

Sistema Eléctrico

El Tablero Metal-Clad, deberá ser apto para operar bajo las condiciones eléctricas indicadas, tomando en cuenta la tensión de servicio y la nominal, frecuencia, fases, nivel de cortocircuito simétrico, y todas las características eléctricas nominales.

Todos los componentes y accesorios deberán ser diseñados o seleccionados para operar bajo las condiciones nominales especificadas.

En el diseño del Tablero Metal-Clad, y todos los componentes incluyendo los interruptores, se deberá tener especial consideración en la corriente de cortocircuito simétrico indicada para la tensión de servicio.

Requerimientos Constructivos Generales

a) General

- El Tablero Metal-Clad deberá ser del tipo, autosoportante, con interruptores de entrada, acoplador (enlace) y alimentadores del tipo extraíbles. El Tablero tendrá un sistema de barras trifásico horizontal (barras principales) y vertical, además de tierra.
- Los interruptores serán del tipo al vacío y aislamiento en aire. Tendrán el dispositivo mecánico para detección de falta de tensión de control (undervoltage release).
- La disposición del Tablero Metal-Clad será de acuerdo al diagrama unifilar correspondiente y deberá permitir futuras extensiones en ambos extremos.
- Las barras, interruptores, y cualquier componente conectado a partes vivas, deberán diseñarse para un aislamiento pleno de acuerdo a las características especificadas. Todos los materiales aislantes deberán ser retardantes a la flama y de autoextinción, con resistencia al arco según las normas y resistentes a la humedad.
- El Tablero Metal-Clad y sus componentes deberán diseñarse para soportar los efectos de embalaje y transporte.

b) Características Constructivas

- El Tablero Metal-Clad deberá diseñarse de acuerdo a la clasificación NEMA 12 ó IP 51 para el grado de protección de su cubierta y debe ser resistente al arco, según norma IEC 298. Esta prueba deberá ser certificada.
- El Tablero Metal-Clad deberá diseñarse por un conjunto continuo de secciones verticales.
- Las secciones verticales asociadas a interruptores de salida (alimentadores), deberán diseñarse considerando la instalación de un (1) equipo por sección como máximo. Cada interruptor, tendrá todos sus equipos de protección, control y medida según se indique en el diagrama unifilar respectivo.
- El acceso a cables de control, componentes y conexiones de control, protección y medida, se hará por el frente; en cambio, el acceso a los cables de fuerza (media tensión) se hará por la parte posterior.
- El Tablero Metal-Clad deberá diseñarse autosoportado, para montaje con pernos de anclaje sobre rieles o pletinas embutidas en concreto. Además, deberá tener la suficiente rigidez para soportar los esfuerzos producidos por el transporte, instalación y operación, incluyendo sismos y cortocircuitos. Asimismo, mantendrá su alineación y sus puertas permanecerán cerradas frente a condiciones de falla. Deberán proveerse los rieles o perfiles para montaje en piso de concreto.
- Las puertas deberán montarse con bisagras removibles y con cerradura rápida tipo tornillo de ¼ de vuelta.

- Todos los equipos indicados como reserva deberán instalarse en celdas completamente equipadas con interruptor, barras, puertas, barreras aislantes, protecciones y alambrado de control a regletas terminales.
- En caso de solicitarse previsión de espacios en el equipo, éstos quedarán en celdas totalmente equipadas con barras, puertas y barreras aislantes, protecciones, alambrado de control, lista para instalar un futuro interruptor.
- La entrada y salida de cables de media tensión, serán por la parte inferior o superior del Equipo de Maniobra.
- Las celdas de entrada (incoming) recibirán los cables de media tensión desde los transformadores de potencia vía túnel subterráneo, los cuales, entrarán por la parte inferior del Tablero Metal-Clad. Asimismo, la salida de cables de fuerza de los alimentadores de media tensión (13.2 kV) será también por la parte inferior del equipo.
- La entrada y salida de cables de control, podrá ser por la parte inferior o superior del Equipo de Maniobra.
- Deberán incluirse conectores y terminales para las terminaciones de los cables de fuerza y control, además del sistema de marcación correspondiente.

Barras

- El tablero tendrá dos juegos de barras horizontales principales, interconectados a través de un interruptor de acoplamiento. Además, el Tablero Metal-Clad deberá incluir una barra de tierra horizontal a través de toda su extensión. Estas barras se diseñarán de tal forma que permitan conexiones futuras en ambos extremos.
- Las barras deberán diseñarse de cobre de alta conductividad, plateadas en las uniones y terminales. Se diseñarán para una densidad de corriente menor a 1.5 A / mm^2 y para la capacidad de transporte indicada en el Diagrama Unifilar correspondiente.
- Todas las conexiones de barras verticales por celda, se deberán diseñar para una corriente permanente a lo menos igual a la capacidad del interruptor ubicado en dicha celda.
- Las barras y conexiones serán completamente aisladas en fábrica, utilizando material aislante epóxico o superior, retardante a la flama. Se proveerá la cantidad y calidad del material aislante no-inflamable para aislar en terreno las uniones de ensamblado.
- La barra de tierra deberá diseñarse con una sección suficiente para soportar las corrientes de cortocircuito y las tensiones mecánicas impuestas por las conexiones a tierra en cuestión y deberá instalarse en la parte inferior del Tablero Metal-Clad.
- Todas las estructuras metálicas, cubiertas, pantallas y barreras estarán conectadas directamente a la barra de tierra.
- La barra de tierra deberá poseer dos (2) conectores (uno en cada extremo) como mínimo, que permitan la conexión a la malla de tierra de la subestación, con un conductor de cobre desnudo de sección N° 4/0 AWG.

- Los soportes de las barras se deberán dimensionar considerando los esfuerzos mecánicos que provocará la corriente de cortocircuito, de lo cual el fabricante entregará la memoria de cálculo correspondiente.

Interruptores de Potencia de Media Tensión

- Los interruptores de potencia tendrán como medio de extinción el vacío, serán extraíbles montados en carro, y de energía acumulada por resorte accionado por motor, tripolares, disparo eléctrico y mecánicamente libre, con mecanismos de cierre y apertura operados eléctricamente. Cada interruptor tendrá la capacidad de ruptura especificada con un tiempo máximo de apertura de 5 ciclos.
- La capacidad de corriente permanente de cada interruptor estará de acuerdo a lo indicado en el Diagrama Unifilar correspondiente.
- Cada interruptor tendrá mecanismo de operación por resorte operado por motor alimentado en 125 VCC. Será del tipo trip free tanto mecánicamente como eléctricamente, incluirá un sistema antibombeo y no se realizará una operación de cierre hasta que el resorte esté completamente cargado. El resorte será cargado automáticamente después de completada una operación de cierre.
- La tensión de control en corriente continua 125 VCC, será suministrada mediante un Banco de Baterías (por otros) en un punto de cada sector del Tablero Metal-Clad (Barra 1 y 2 respectivamente).
- Además, deberá permitirse cargar el resorte manualmente mediante una palanca o manivela que bloquea el circuito eléctrico de alimentación del motor.
- Cada interruptor será suministrado con bobinas de cierre y apertura en 125 VCC, las cuales podrán ser accionadas independientemente por comandos locales, a excepción de los interruptores de las celdas N° 4, 6, 7 y 9, los cuales podrán ser accionados por comandos local y remoto. Los circuitos de cierre y apertura tendrán incorporados los respectivos enclavamientos de posición del interruptor, antibombeo, y funcionales según el Diagrama Unifilar correspondiente.
- Las bobinas de cierre y apertura deberán operar en forma correcta con voltajes de alimentación que varían entre 0.8 y 1.1 veces del voltaje nominal de control. La secuencia de operación del interruptor será según IEC-56 o según ANSI C37.20.2.
- Todos los contactos auxiliares de los interruptores serán del tipo seco, libres de potencial y eléctricamente independientes. Además, cada interruptor deberá poseer contactos auxiliares estacionarios, cuatro (4) N.O. (52/a) y cuatro (4) N.C. (52/b) para indicar su posición, los cuales deberán ser alambrados a una regleta de terminales y dispuestos para operar el mecanismo del interruptor sólo en su posición de operación (insertado). También deberán proveerse adicionalmente cuatro (4) contactos N.O. y cuatro (4) contactos N.C. para indicar la posición del carro, los cuales operarán sólo cuando el interruptor es extraído de su posición de operación (insertado).
- Las señales de comando serán alambradas a regleta de terminales, tal que sea posible cambiar desde el modo cierre local, sólo en la posición de prueba, al modo de cierre local en la posición de operación, mediante la adición de puentes en la regleta de terminales. También se alambrarán a la regleta de terminales las señales de comando para cierre y apertura de los interruptores con opción de comando remoto (celdas N° 4, 6, 7 y 9), y enclavamientos remotos.
- El interruptor extraíble tendrá una posición intermedia de prueba, la cual permitirá la operación normal con los contactos primarios (media tensión)

desconectados. Barreras automáticas serán completamente cerradas en esta posición y sólo se abrirán cuando el interruptor cambie a su posición conectado.

- Cada interruptor incluirá todos los enclavamientos necesarios para la seguridad y protección a las personas, tal que sólo pueda ser operado cuando el interruptor está completamente enchufado o está en su posición de prueba.
- Los interruptores serán diseñados para operar satisfactoriamente, sin mantenimiento, en cualquiera de las siguientes condiciones de servicio:
 - a) 10,000 operaciones cierre-apertura sin corriente de carga.
 - b) 1,000 operaciones cierre-apertura a la corriente nominal.
 - c) Tres (3) años en su posición cerrada o abierta, sin realizar ninguna operación.
 - d) 100 operaciones apertura de fallas (mínimo).
- Cada interruptor deberá incluir como mínimo los siguientes accesorios:
 - a) Sistema antibombeo.
 - b) Botoneras de cierre y apertura locales.
 - c) Selector Local/Remoto (solo los interruptores de las celdas N° 4, 6, 7 y 9).
 - d) Contactos auxiliares del selector Local/Remoto, dos (2) contactos normalmente abiertos (N.O.) y dos (2) contactos normalmente cerrados (N.C.), alambrados a regleta de terminales, en las celdas mencionadas anteriormente (4, 6, 7 y 9).
 - e) Contador de operaciones sin reposición, registrando las acciones de cierre.
 - f) Contactos auxiliares (52/a, 52/b), cuatro (4) de cada tipo, alambrados a regleta de terminales.
 - g) Contactos auxiliares para indicación remota de carro insertado, cuatro (4) N.O. y cuatro (4) N.C., alambrados a regleta de terminales.
 - h) Protección de sobrecarga del motor de accionamiento.
 - i) Indicación de alarma y disparo.
 - j) Relé de falta de tensión continua en sus circuitos de control, con contactos auxiliares para indicación de alarma remota, dos (2) N.O. y dos (2) N.C., alambrados a regleta de terminales.
 - k) Dispositivo mecánico para detección de falta de tensión de control (undervoltage release).
 - l) Luces indicadoras tipo led: Rojo (cerrado), Verde (abierto) y Blanca (trip).
 - m) Calefactor de ambiente (por celda) controlado por termostato (ajuste de 0 °C a 40 °C) para prevenir condensación. Los calefactores serán alimentados en 120 V, 1 ϕ , 60 Hz, desde un circuito externo al Tablero Metal-Clad.
 - n) Cierre y apertura manual y lento para mantenimiento.
 - o) Enchufe de control.
 - p) Elementos de bloqueo del equipo mediante candado.

Sistema de Protección y Medida

- La configuración de los esquemas de protección y medida para el Tablero Metal-Clad (interruptores de entrada, salida y acoplador), deberá diseñarse de acuerdo a lo indicado en el Diagrama Unifilar N° 917-72-70PL-001.
- Los dispositivos de protección y medida, deberán ser para montaje embutido, de tecnología digital, en general del tipo multifunción y multim medida basado en microprocesador con memoria no volátil y con capacidad de comunicaciones

con protocolos ModBus RTU, Profibus o Device Net. Además, deberán contar también con un puerto serial frontal RS 232 para programación del relevador.

- Se deberá suministrar el software de configuración por cada tipo de dispositivo de protección y medida.
- Para realizar el traspaso de información al Sistema de Monitoreo de Energía (SME) de la Planta, los dispositivos de protección y medida deberán contar con un mapa de memoria usuario con 50 registros como mínimo.
- Las características eléctricas nominales para los dispositivos de protección y medida son las siguientes:

• Voltaje (fase-fase)	120 VCA.
• Voltaje (fase-neutro)	120 / $\sqrt{3}$ VCA.
• Corriente	5 A
• Frecuencia	60 Hz
• Tensión Auxiliar de Control	125 VCC.

- Las características generales de protección y medida para el Tablero Metal-Clad son las siguientes:

a) Interruptores de Entrada (Incoming)

- Relevador de protección tipo multifunción, con funciones de sobrecorriente de fases, residual, instantáneo y temporizado (50, 51, 50N y 51N), bajo voltaje (27), sobrevoltaje (59), secuencia de fases (47) y alarma (30).
- Relevador función 86, para bloqueo con reposición manual, con contactos auxiliares.
- Instrumento tipo multimedicación de estado sólido, con indicaciones de medidas de voltaje de fases y neutro, corriente de fases, frecuencia, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, energía activa y demanda.

b) Interruptores de Salida (Feeders)

- Relevadores de protección tipo multifunción con protecciones y alarma de sobrecorriente de fase, residual y tierra, instantáneo y temporizado (50, 51, 50N, 51N, 50G, 51G), dispositivo de alarma (30). Se debe incluir también capacidad de control del interruptor. En el caso de alimentadores de cargas capacitivas se deben considerar además, protección de baja tensión, tensión de secuencia negativa y sobretensión (27, 47 y 59).
- Relevador de bloqueo con reposición manual y contactos auxiliares (función 86).
- Medidor multimedicación, con las mismas características indicadas para el interruptor de entrada.

c) Acoplamiento Barras de Media Tensión (Interruptor de Acoplamiento)

El acoplamiento de las barras del Equipo de Maniobra tendrán las siguientes protecciones:

- Relevador de protección de sobrecorriente instantáneo de fases (50/51) e instantáneo de tierra (50G), con indicación para alarma (30).

- Los dispositivos de protección de los relevadores multifunción deberán tener las siguientes características particulares:
 - Serán de estado sólido y se ubicarán en el panel frontal de las celdas, serán del tipo enchufable y su esquema deberá permitir la incorporación de elementos de prueba y calibración sin removerlos.
 - Los relevadores deberán tener características de operación seleccionables y programables para las diversas funciones, y estarán dotados de unidades de operación instantánea. Además, deberán tener puertos series de comunicación RS 232 y RS 485.
 - Las unidades instantáneas y de tiempo serán ajustables en forma continua y programables en forma local y/o remota.
 - Cada unidad deberá tener indicación visual de operación, a través de LED indicadores, incluyendo indicación de estado (status) del relevador.
 - Cada unidad deberá tener contactos independientes, libres de potencial para señales de alarma y disparo.
 - Tendrán capacidad de capturar y almacenar eventos en forma selectiva.
 - Las protecciones de bajo y sobre voltaje (27 y 59 respectivamente) deberán operar con retardos de tiempo ante una condición de bajo voltaje.

- Instrumentos de Medida

Para la indicación de las variables eléctricas (mediciones) asociadas a cada celda del Tablero Metal-Clad, se deberán utilizar instrumentos digitales de estado sólido tipo multimedida, estos instrumentos permitirán la medida de voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, demanda de potencia, energía activa, energía reactiva, y máxima demanda.

Deberán poseer capacidad de comunicación remota (ModBus RTU, Profibus o Device Net) de todas sus lecturas en forma digital y salida analógica para voltaje, corriente y potencia activa.

La corriente nominal y el voltaje nominal para los instrumentos multimedida deberán ser suministrados de transformadores de corriente con secundario de 5 A y desde transformadores de voltaje de $120/\sqrt{3}$ V trifásico, 60 Hz respectivamente.

- Transformadores de Voltaje y Corriente

- a) Los transformadores de voltaje y corriente serán del tipo seco encapsulados en epoxy, clase de tensión 15 kV, frecuencia 60 Hz y relaciones conforme se indican en el Diagrama Unifilar N° 917-72-70PL-001. Sus terminales primarios y secundarios tendrán marcas de polaridad y estarán alambrados a una regleta de terminales accesible.
- b) Los transformadores de corriente para medida tendrán una clase de precisión 0.2 y burden de 15 VA.
- c) Los transformadores de corriente para protección tendrán una clase de precisión 5P10 y burden de 15 VA.
- d) Los transformadores de corriente deberán soportar los esfuerzos producidos por la corriente de cortocircuito y una sobrecarga continua de

1.2 veces la corriente nominal. Su clase de aislamiento y su nivel básico de impulso de aislamiento (BIL) será según lo especificado.

- e) Los Transformadores de Voltaje serán del tipo extraíbles, y su razón de transformación, clase de aislamiento y nivel básico de impulso de aislamiento será de acuerdo a lo indicado. Su clase de precisión será 0.2 para un burden de 100 VA y deberán soportar los esfuerzos producidos por un cortocircuito en el secundario con voltaje nominal en el primario.
- f) El primario y secundario de los transformadores de potencial estarán protegidos por fusibles.
- g) Cada alimentador (salida) del Tablero Metal-Clad tendrá un transformador de corriente tipo ventana, impregnado en resina con cinta aislante, clase de tensión 0.72 kV, relación 50/5 A.
- h) Los terminales de los Transformadores de Corriente deberán ser cortocircuitables.

Celdas

- Alambrado y conexiones
 - a) Para el alambrado y conexiones se usarán cables de cobre trenzado, clase de aislamiento 600 V para los circuitos de control (120 VCA), fuerza (220/127 VCA.) y corriente con secciones mínimas de N° 12 AWG y 10 AWG respectivamente.
 - b) El material de la cubierta exterior de los conductores será retardante a la flama, autoextinguible, libre de halógenos y en situación de incendio no emitirá gases tóxicos, ni corrosivos y de baja emisión de humo.
 - c) Para conexiones a circuitos externos (por parte del cliente), se dejará a lo menos un 20 % de terminales de reserva en cada celda. Las regletas de terminales serán correlativamente numeradas y serán accesibles desde el frente de cada celda.
 - d) Cada circuito de cierre y apertura de los interruptores será protegido con un tipo de interruptor del tipo miniatura con contactos para alarma.
 - e) Los cables de control serán canalizados por la parte superior o inferior de cada celda.
 - f) Deberán proveerse bridas, conectores y levantadores de barras, para la conexión de barras del tipo metal-enclosed .
 - g) El alambrado de control será aislado de la media tensión con una cubierta protectora.
 - h) Todos los extremos de circuitos y cables serán marcados.
 - i) La salida de los cables de fuerza de los alimentadores será por la parte inferior del equipo de maniobras.
- Panel de Alarmas
 - a) Se considerará un panel de alarmas digital, con leds, el cual deberá instalarse en el extremo superior del Tablero Metal-Clad.
 - b) El panel incluirá anunciadores para indicar fallas de los equipos. Estos anunciadores podrán ser tipo miniatura.
 - c) La operación del panel de alarmas será de acuerdo a la secuencia ISA.
 - d) El panel incluirá a lo menos los siguientes botones de comando:

- Reset
- Reconocimiento
- Emergencia
- Alarma
- Prueba de luces

e) El panel deberá tener puerto de comunicación ModBus RTU, Profibus o Device Net para señal remota de las alarmas correspondientes a los alimentadores N° 4, 6, 7 y 9 respectivamente.

- Otros Accesorios

Cada celda del Tablero Metal-Clad deberá contener, a lo mínimo, los siguientes accesorios:

- a) Los diversos circuitos de control tendrán fusibles de protección adecuados y/o interruptores del tipo miniatura.
- b) Para señalización se deberán incluir señalizadores del tipo "LED" completos con reductor electrónico de tensión 125/24 VCC. y lentes color rojo, verde y blanco.
- c) Para cada interruptor habrá una llave de mando de 3 posiciones "Apertura – 0 – Cierre", con retorno automático a la posición central, de 8 contactos, clase de tensión 600 V e indicación mecánica de última operación efectuada.
- d) Se deben considerar conjuntos de bornes universales, para cables hasta 6 mm², con 100 bornes (mínimo) y barras multishunt fijas de 10 polos. Asimismo, se deben considerar conjuntos de bornes de ensayo para circuitos de intensidad, para cables de hasta 6 mm², con 20 bornes.
- e) Conjunto para iluminación y calefacción con termostato ajustable.
- f) Relevadores y contactores auxiliares.
- g) Las celdas N° 4, 6, 7 y 9 deberán tener selector Local / Remoto, para permitir operación remota desde el SCP en la Sala de Control de la Planta.

- Placa de Características

- a) Cada celda del Tablero Metal-Clad tendrá una placa de identificación de acero inoxidable, donde se indicará el nombre y el número de Tag del equipo y el N° de Orden de Compra.
- b) Los interruptores, transformadores de medida, relevadores, dispositivos auxiliares, elementos de control y medida, blocks de fusibles y terminales deberán ser identificados, de acuerdo a la designación dada en los diagramas elementales del proveedor.
- c) Todas las celdas estarán provistas de una placa indicadora de acero inoxidable con caracteres estampados, remachada o atornillada, la cual contendrá los datos del equipo de maniobra de acuerdo a normas ANSI.

7.0.3 Pruebas en Fábrica

- El Tablero Metal-Clad y sus componentes, deberán ser sometidos a las pruebas de rutina que se indican, y se entregarán con el correspondiente protocolo de pruebas.

- a) Pruebas mecánicas de: barreras automáticas (Shutters), enclavamientos, mecanismos de desenchufe, etc.
 - b) Prueba de la efectividad del sistema de tierra de las partes metálicas y de aquellos elementos removibles.
 - c) Prueba de dieléctrico a frecuencia nominal, durante un minuto en cada fase, con todos los interruptores en su posición de cerrado.
 - d) Medida de la resistencia de aislamiento con Megger 500 V c.c.
 - e) Prueba de elevación de temperatura con corriente continua según la norma de fabricación aplicada.
 - f) Verificación de la correcta operación lógica de los circuitos de control.
- En cada Interruptor:
 - a) Medidas de resistencia de contactos con corriente continua.
 - b) Cinco (5) cierre/apertura completos con el voltaje máximo, el mínimo y nominal (este último con los mecanismos de apertura energizados por cierre de los contactos principales).
 - c) Medida de la resistencia de aislamiento.
 - En transformadores de medida se considerará las siguientes pruebas de rutina:
 - a) Medida de resistencia en frío.
 - b) Clase de precisión.
 - c) Factor de potencia del aislamiento.
 - d) Prueba de polaridad e identificación de terminales.
 - e) Prueba con voltaje sostenido para frecuencia nominal.
 - f) En un transformador de corriente de cada tipo y razón de transformación: medida del voltaje de excitación del secundario, necesario para diversas corrientes de excitación del mismo devanado, con el primario abierto y determinación del punto de inflexión de las curvas de excitación.
 - En equipos que contengan unidades de protección se considerarán las siguientes pruebas:
 - a) Deberán ser sometidos a pruebas individuales de recepción en fábrica, de acuerdo a las recomendaciones de las normas de fabricación del equipo.
 - b) Todos los equipos deberán ser sometidos a las pruebas descritas en la Norma ANSI / IEEE C37.90.1-1989, Surge Withstand Capability (SWC) Test, o las pruebas equivalentes descritas en la publicación IEC-255-6.7.6; o en su defecto a la indicada en el catálogo correspondiente.

8.0 SUBESTACIONES ELECTRICAS DE 13.2/4.16 kV Y 13.2/0.48 kV

8.0.1 Requerimientos de Diseño

Las S/E's Eléctricas de Distribución serán autosoportadas en una base común para montaje en concreto, constituidas por una celda de entrada de media tensión con desconectador bajo carga y base portafusibles, transformador de poder y ducto de barras de Baja Tensión.

Celda de Maniobra de Alta Tensión

La celda de maniobra de alta tensión estará constituida por un desconectador bajo carga y fusibles de poder del tipo limitadores de corriente.

La celda de maniobra de alta tensión y todos sus componentes serán diseñados de acuerdo a los datos técnicos correspondientes.

El gabinete será diseñado con un grado de protección de su cubierta NEMA 4 (IP 54). Será autosoportado y se unirá mecánicamente con el transformador.

La puerta del gabinete será con chapa y llave, deberá tener enclavamientos mecánicos del tipo:

Puerta / Desconectador Abierto.

Puerta / Desconectador Cerrado.

Bobina de Apertura / Desconectador Cerrado.

La puerta del gabinete tendrá ventana de vidrio inastillable y transparente, será herméticamente sellada y dispuesta de tal manera de permitir la inspección visual completa desde el exterior del desconectador, fusibles y sus mecanismos. El gabinete tendrá su parte frontal libre de potencial eléctrico y la entrada de cables será por la parte inferior. Se proveerán terminales para cables clase 15 kV, de sección # 4/0 AWG a 250 kCM, dejando espacio suficiente para el montaje de conos de alivio. Adicionalmente se dejará un espacio para la entrada de cables de control.

La unión gabinete-transformador se ejecutará por medio de barras de cobre y no admitirá filtración alguna de agua o polvo. El desacople de ambos equipos será de fácil ejecución. Se deberá proveer los conectores para cable de tierra.

El gabinete de alta tensión vendrá equipado con calefactores anticondensación, operados por un termostato. Incluirán enchufe, contactor, interruptor termomagnético y serán alambrados a una regleta de terminales con conductor aislado de sección # 12 AWG. El voltaje de operación será 120 V c.a., monofásico, 60 Hz.

El desconectador será trifásico, de apertura bajo carga en aire. Será de accionamiento por mecanismo de energía almacenada y botones de cierre y apertura desde el exterior que permita la apertura y cierre de los contactos principales, además tendrá un sistema mecánico de disparo accionado por los percutores de los fusibles. Al abrir o cerrar el desconectador a través del accionamiento manual, su accionamiento será simultáneo en las tres fases. El desconectador bajo carga deberá permitir su apertura a través de una bobina de disparo y contactos auxiliares que utilizará un "capacitor trip" para su operación.

El desconectador tendrá un mecanismo para extinción de arco del tipo encapsulado.

La celda del desconectador tendrá un elemento de soporte para los cables, de tal modo que éstos se conecten a sus terminales sin mayor esfuerzo mecánico. El desconectador dispondrá de contactos auxiliares, a lo menos dos (2) NA y dos (2) NC, eléctricamente independientes y libres de potencial, los cuales estarán alambrados hasta una regleta de terminales para efectos de señalización. Asimismo, en la base del chasis tendrá una consola porta-pararrayos.

Los fusibles serán de poder, tipo limitadores de corriente y cartucho. Se suministrarán tres (3) fusibles para servicio de la subestación unitaria. La capacidad de corriente y la curva de operación de los fusibles, deberán ser recomendadas por el fabricante. Habrá un dispositivo que abrirá el desconectador al operar un fusible. Su clase de aislamiento será 15 kV.

Transformador

a) Tipo

El transformador deberá ser trifásico, 60 Hz, OA, con prevision para FA cuando se indique en las Hojas de Datos, dos devanados, para uso al exterior, con base de acero estructural para montaje sobre una base de concreto, sumergido en aceite (norma IEC), con tanque sellado, cambiador de derivaciones sin carga y accesorios.

b) Potencia Nominal

Los transformadores para las subestaciones deberán entregar las potencias nominales indicadas en las Hojas de Datos correspondientes

c) Voltajes Nominales

Primario	:	13.2 kV
Secundario	:	4.16 kV y 0.48 kV

d) Voltajes Máximos

Primario	:	17.5 kV
Secundario	:	7.2 kV y 1.2 kV

e) Conexiones Devanados

Primario	:	Delta
Secundario	:	Estrella, neutro accesible conectado a tierra a través de una resistencia para S/E de media tensión y sólido a tierra para S/E de baja tensión.

f) Grupo de Conexión y Polaridad
D y 1, polaridad sustractiva.

g) Impedancia

Para el voltaje nominal, potencia nominal, OA, 65 °C temperatura de los devanados, la impedancia del transformador deberá ser según la norma ANSI C.57.12.

h) Elevación de Temperatura

Los valores nominales de temperatura del transformador estarán de acuerdo a la norma ANSI C57.92-1981, para una temperatura ambiente máxima de 35 °C, dichos valores serán:

- Elevación de temperatura de los devanados, Medida por resistencia : 65 °C
- Punto más caliente de los devanados : 80 °C
- Elevación de temperatura del aceite : 60 °C

i) Capacidad de Resistencia a Cortocircuitos

Los transformadores serán capaces de resistir sin daños de ningún tipo, los esfuerzos mecánicos y térmicos originados por cortocircuitos externos, hasta doce (12) veces el valor de plena carga por cinco (5) segundos con un sistema primario $X/R = 7$.

j) **Aislamiento y Nivel Básico de Impulso de Aislamiento (BIL)**

El transformador será diseñado para la clase de aislamiento y BIL (a una altura de operación del transformador de 1,450 m.s.n.m.) siguientes:

Devanado	Clase de Aislamiento KV, rms	Nivel Básico de Impulso de Aislamiento (BIL) KV, rms
Primario	15	95
Secundario	5 y 1.2	60 y 10

Requerimientos Constructivos

a) **Núcleos, Bobinas y Aislamiento**

Los núcleos serán fabricados de fierro silicoso laminado de grano orientado, calidad M4, armado y reforzado para resistir los esfuerzos experimentados en el servicio y el embarque.

Todos los conductores para las bobinas y puentes serán de cobre electrolítico de alta pureza con aislamiento de papel termoestabilizado.

Las bobinas serán de construcción cilíndrica, del tipo de disco continuo. Consideraciones apropiadas serán dadas para todos los factores de servicio, tales como: alta capacidad dieléctrica, resistencia mecánica de aislamiento, el diseño de las bobinas y restricciones mínimas para una libre circulación del aceite. Serán provistas barreras adecuadas entre los devanados de alta y baja tensión. La conexión de los devanados en delta (alta tensión) y estrella (baja tensión) será hecha en el interior del transformador. Los devanados deben ser de cobre.

Todos los componentes metálicos deberán ser protegidos contra la corrosión.

b) **Tanque**

- El tanque será de construcción sellada, con chapa soldada, bridada y atornillada. Deberá diseñarse para resistir sin deformaciones permanentes los esfuerzos producidos por el gateo, izamiento, transporte y llenado con aceite al vacío.
- Todas las superficies del tanque deberán ser diseñadas para prevenir la acumulación de agua.
- Para las conexiones a tierra del tanque se deberán proveer dos (2) terminales conductores de cobre sección # 2/0 a 4/0 AWG.
- Los tornillos utilizados deberán ser de acero galvanizado o cadminizados, con arandelas planas de presión.

c) **Boquillas**

Las boquillas del transformador deberán ser provistos con empaquetaduras. Su diseño deberá considerar las condiciones de operación (altura y contaminación) de acuerdo a la zona del proyecto.

Para el lado de alta tensión, los terminales de los conductores de fase, serán aptos para la conexión por cables con la celda de maniobra de alta tensión. Además, en el lado de baja tensión, los terminales serán aptos para ducto de barras.

d) Líquido Aislante

Se usará como líquido aislante y refrigerante aceite (norma IEC) de alta capacidad dieléctrica y térmica.

e) Equipo de Enfriamiento

- Se deberán ofrecer radiadores desmontables, éstos deberán tener válvulas de corte inferior y superior apropiadas para facilitar su remoción. Las válvulas de corte deberán ser dispuestas de tal manera que no se necesite drenar o bajar el nivel del líquido aislante en el estanque del transformador para remover los radiadores. Deberán proveerse tapones de venteo de aire y drenaje del líquido aislante en la conexión superior e inferior de cada radiador.
- Los radiadores y sus cabezales deberán ser diseñados de tal manera que no queden nichos o superficies en que puedan acumularse agua o polvo.
- Los tubos de los radiadores deberán ser fácilmente accesibles para inspección visual, limpieza y reparaciones de pintura, sin que sea necesario retirar los radiadores del tanque del transformador.
- Cuando se indique, se deberán instalar ventiladores, relevadores auxiliares, dispositivos y controles para la operación de la etapa de ventilación forzada (FA). Deberán ser apropiados para ser conectados a la energía auxiliar de fuerza y control indicados.
- La etapa de enfriamiento (FA), deberá ser iniciada automáticamente por el dispositivo de temperatura de devanados del punto más caliente. Además, se deberá proveer la partida manual y remota de la etapa de enfriamiento y, contactos secos, eléctricamente independientes, para indicación de falla eléctrica.

f) Cambiador de Derivaciones

Se suministrará un cambiador de derivación sin carga y sin tensión instalado en el devanado primario, con pasos de derivación de $\pm 2.5\%$ en el rango 0 – 5 y todas las derivaciones para plena capacidad.

El cambiador de derivaciones será operado manualmente (volante) y externamente y será para operación simultánea en todas las fases; y, será diseñado tal que sea posible efectuar el cambio de derivaciones desde el nivel de piso. Se deberá proveer un sistema para enclavar y bloquear el mecanismo de operación del cambiador, de modo que en ninguna condición cambie su posición. La indicación de la posición del cambiador será claramente visible.

g) Gabinete de Control y Alambrado

- El gabinete de control será tipo NEMA 4 y deberá ubicarse en el lado de baja tensión del transformador. El gabinete deberá tener una cubierta atornillada con empaquetadura y una tapa removible en la parte inferior para perforar las entradas de tuberías (conduits).
- Se deberá proveer un (1) calefactor con control automático dentro del gabinete de control. El calefactor será para uso en 120 V, 60 Hz.
- Todo el control, energía auxiliar, transformadores de corriente y circuitos de alarma, deberán ser completamente alambrados y terminados en el gabinete de control en regletas de terminales.
- Todas las conexiones para los circuitos externos del Comprador, deberán ser llevados al gabinete de control y alambradas a regletas de terminales.
- Las regletas de terminales deberán tener conectores de presión tipo espada y láminas de recubrimiento contra polvo, apropiadas para ser grabadas. Las regletas de terminales deberán ser provistas con las marcas correspondientes a aquéllas de los diagramas de alambado del Proveedor, y deberán tener espacio en las marcas para la inscripción del Comprador. Las regletas de terminales deberán tener al menos un 20 % de terminales de reserva.
- Los cables de control deberán tener una sección mínima de # 14 AWG, conductor de cobre cableado, 90 °C, aislamiento clase 600 V.
- Los cables de fuerza deberán tener una sección mínima de # 12 AWG, conductor de cobre cableado, 90 °C, aislamiento clase 600 V.
- Los cables de circuitos de corriente deberán tener una sección mínima de # 10 AWG, conductor de cobre cableado, 90 °C, aislamiento clase 600 V.
- Los cables deberán ser canalizados en tuberías rígidas de acero galvanizado (conduits).
- Todos los contactos auxiliares de los dispositivos de protección (alarma y trip) e indicación, serán del tipo seco, eléctricamente independientes, libres de potencial, dos (2) NA y dos (2) NC.

h) Accesorios

La ubicación de los accesorios deberá ser de acuerdo a las normas ANSI C57.

Los indicadores tipo dial, las válvulas y la rueda del cambiador de derivaciones, deberán estar agrupadas en el lado de baja tensión del transformador para fácil acceso y mantenimiento. Ninguno de estos elementos deberá sobresalir más allá del área determinada por la superficie de los radiadores. Todos los indicadores que queden a más de dos (2) metros del suelo, deberán tener sus caras inclinadas hacia abajo en un ángulo de 30° de la vertical.

Los accesorios que podrán ser suministrados según se indique en las Hojas de Datos son los siguientes (esta lista no es taxativa ni excluyente):

- Un (1) indicador magnético de nivel de líquido, con contactos secos, eléctricamente independientes para indicación de alarma de bajo nivel.
- Un (1) termómetro tipo dial para indicación de la temperatura del aceite, con indicador del punto máximo y tres (3) conjuntos de contactos secos, eléctricamente independientes para señales de alarma y disparo.
- Válvula inferior tipo globo combinada de drenaje y filtrado con dispositivo para muestras. Las válvulas de drenaje y de muestreo deberán ser ubicadas para permitir el drenaje y muestreo del fondo del tanque.

- Válvula superior de filtrado.
- Cáncamos (gancho de izaje) para levante del transformador, ubicados en la parte superior del tanque.
- Orejas de levante para izar el transformador completo.
- Provisión para gatear (jacking) el transformador completo, en las cuatro esquinas de la parte inferior.
- Provisión para izar el conjunto núcleo y bobinas del tanque.
- Dos (2) placas de tierra perforadas con sus terminales (aptos para conectar un cable de cobre desnudo # 4/0 AWG) para aterrizar el estanque del transformador. Las placas de tierra deberán estar ubicadas diagonalmente a ambos costados del transformador. Las placas no deberán ser ubicadas en las placas de gateo.
- Un (1) dispositivo mecánico de alivio de sobrepresión montado en la cubierta, con operación automática de reposición, sellado y señalización mecánica para indicación de operación y, contactos secos eléctricamente independientes para señales de alarma y disparo.
- Un (1) detector de temperatura para indicación del punto más caliente del devanado con tres (3) etapas, transformador de corriente y térmico. Cada etapa deberá tener como mínimo un (1) juego de contactos secos, eléctricamente independientes. La primera etapa será para comando de partida y parada del sistema de enfriamiento forzado. La segunda etapa deberá dar alarma cuando la temperatura del cobre alcance su límite máximo de operación segura, y la tercera etapa deberá dar apertura al interruptor de baja tensión cuando se alcance una temperatura excesiva del cobre.
- Un (1) relevador de presión súbita (transformador sellado), de reposición manual y con contactos secos para señales de alarma y disparo.
- Una (1) base de montaje, según se especifique en las respectivas Hojas de Datos.
- Dispositivo de purga, presión y vacío sin contador.

i) Placas de Características

Se suministrarán dos (2) placas de características de acero inoxidable. La primera indicará la identificación del Cliente en caracteres no menores a 60 mm de alto, la segunda indicará la siguiente información mínima:

- i. Nombre del Fabricante.
- ii. Número de Serie del Transformador.
- iii. Año de Fabricación.
- iv. Clase.
- v. Número de Fases.
- vi. Frecuencia.
- vii. Capacidad Nominal en MVA y Corriente Nominal.
- viii. Diagrama Fasorial.
- ix. Desfase entre el Devanado de Alta y Baja Tensión.
- x. Aumento de Temperatura en °C.
- xi. Impedancia en % obtenida durante las Pruebas.
- xii. Diagrama de Conexiones y Polaridad.
- xiii. Nivel de Impulso (BIL).
- xiv. Altura de Operación.
- xv. Derivaciones.
- xvi. Peso del Transformador sin líquido aislante.
- xvii. Peso y volumen del líquido aislante.

xviii. Peso Total del Transformador.

j) Pintura y Terminaciones

• Transformador

Todas las superficies, externas e internas, serán limpiadas con chorro de arena hasta obtener metal blanco e interiormente serán prolijamente limpiadas para evitar toda posterior contaminación. Las superficies exteriores serán limpiadas y fosfatizadas antes de la aplicación de pintura, éstas serán preparadas con dos (2) capas de pintura epóxica y terminadas con otras dos (2) capas. El interior del tanque se tratará para evitar una reacción química con el líquido aislante del transformador. El procedimiento de aplicación, a ser utilizado, deberá garantizar un espesor final de 2 micrones para cumplir con los estándares ANSI.

El color de la pintura final para el exterior será conforme al estándar del Proveedor.

• Celda de maniobra de Alta Tensión

Las superficies metálicas de la celda y su soporte serán tratadas, después de los cortes y plegados, con granallado metálico hasta conseguir metal blanco, el cual será decapado y lavado con solventes desoxidantes y desengrasantes. Posteriormente se les aplicará imprimante tipo washprimer, dos (2) capas de pintura anticorrosiva de diferentes colores para asegurar su completa aplicación y finalmente dos (2) capas de esmalte epóxico o resistente a la corrosión, de color estándar del Proveedor en un proceso de secado al horno.

k) Resistencia de Puesta a Tierra

- El fabricante suministrará para las S/E's de Distribución de media tensión (13.2/4.16 kV) la resistencia de puesta a tierra integrada a la misma subestación.
- Los elementos resistivos serán de acero inoxidable y serán cubiertos por una caja metálica, la cual tendrá un grado de protección NEMA 4 y será conectada a tierra a través de un conductor desnudo de sección # 4/0 AWG. La resistencia de puesta a tierra será diseñada y probada de acuerdo a la norma ANSI/IEEE Std. 32.
- Los valores de diseño para la resistencia de puesta a tierra serán de acuerdo a las indicadas en las Hojas de Datos.
- La resistencia de puesta a tierra será suministrada con un transformador de corriente conectado en el neutro, clase de precisión para señal de protección y razón de transformación según lo indicado en las Hojas de Datos.
- El fabricante suministrará los terminales y el alambrado para la interconexión entre la resistencia de puesta a tierra y la boquilla del neutro. Los terminales serán aptos para un conductor de cobre de sección # 2/0 a 4/0 AWG.

Ductos de Barras de Baja tensión

- El proveedor deberá diseñar los ductos de barras de cobre de alta conductividad (99.99 %), para conectar los secundarios de los

Transformadores de Potencia instalados a la intemperie, con un Equipo de Maniobra instalado al interior de la Sala Eléctrica de cada área.

- Los ductos de barras serán del tipo "metal-enclosed", no segregados, sin barreras de interfase, trifásicos, a prueba de humedad con barreras no metálicas cortafuego en la intersección con el muro de la respectiva Sala Eléctrica.
- Las barras de cobre de los ductos serán montadas sobre soportes, retardantes a la llama, los cuales se colocarán a lo largo del ducto. Estos soportes serán responsabilidad del Proveedor.
- Los ductos de barras serán autoenfriados y no se equiparán con ningún tipo de ventilación forzada.
- Los ductos de barras serán provistos de cubiertas removibles en ubicaciones apropiadas para así permitir la instalación, mantenimiento y revisión de los conectores flexibles y juntas de expansión. Todas las uniones serán plateadas con tratamiento electrolítico.
- Los ductos de barras serán suministrados con bridas a cada lado de la pared de la Sala Eléctrica. Estos serán diseñados para la instalación después de que se haya instalado la cubierta del ducto.
- El diseño de los ductos de barras, aisladores y soportes será tal que permita la flexibilidad a los equipos, para resistir los efectos mecánicos y térmicos de corrientes trifásicas permanentes y momentáneas de la magnitud especificada. Este debe permitir absorber dilataciones y problemas en terreno.
- Se deberán tomar las provisiones necesarias para evitar los posibles daños al transformador o al equipo de maniobra debido a las corrientes, cambios de temperatura y condiciones de cortocircuito. Se incluirá en el suministro todos los elementos de unión necesarios, sean éstos conexiones terminales e intermedias flexibles (bridas de cobre), juntas de expansión y uniones de barras, cuya disposición será indicada en el esquema del ducto de barras.
- Cada extremo de los ductos de barras, será provisto con terminales y conectores para puesta a tierra con un conductor de cobre desnudo N° 2/0 AWG.
- Las uniones de barras y los terminales de los ductos de barras deberán ser como mínimo de 4 tornillos.
- Los ductos de barras serán diseñados, construidos y probados, para una densidad máxima de corriente no superior a 155 A/cm^2 y tal que ninguna de sus partes exceda a un aumento de temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$, basado en la temperatura ambiente especificada en el punto 3.2.
- Todas las curvas deberán ser pre-ensambladas en fábrica.
- El diseño de las uniones del ducto de barras deberá asegurar la continuidad de la tierra a lo largo de todo el ducto.
- El Proveedor suministrará los ductos de barras con los calefactores anticondensación y termostatos que sean necesarios. Los calefactores deberán ser aptos para 120 V, 60 Hz, 1 fase.
- El Proveedor de los ductos de barras deberá realizar una coordinación conjunta con el proveedor del transformador de potencia y del equipo de maniobra, con la finalidad de afinar los detalles de diseño en la acometida y terminación entre el ducto de barras, el transformador y el equipo de maniobra. Esta comunicación deberá ser informada y coordinada con el Comprador.
- La disposición, montaje y dimensiones de los ductos de barras estarán en conformidad con los planos y/o croquis del proyecto.
- Los ductos de barras serán diseñados para los requerimientos sísmicos especificados.

- El Proveedor deberá suministrar el estudio del análisis sísmico, mecánico (incluida dilatación térmica) y eléctrico del ducto de barras y certificar que ha sido diseñado para las condiciones sísmicas especificadas.
- El Proveedor indicará los puntos de soporte de los ductos de barras tanto para su tramo exterior como interior. Para esto el Proveedor diseñará y proveerá las piezas estructurales requeridas para el soporte.
- Se deberán suministrar conectores y tornillos de acero inoxidable para prevenir corrosión por contacto de metales diferentes.
- Cada ducto de barras deberá poseer una placa característica de acero inoxidable con las siguientes características eléctricas:
 - a) Voltaje nominal.
 - b) Corriente nominal.
 - c) Corriente de cortocircuito simétrico.
 - d) Frecuencia.
 - e) Clase de aislamiento.
 - f) Tag del ducto de barras.

8.0.2 Pruebas

Una vez que las S/E's Eléctricas hayan sido completamente armadas y ejecutado todo su conexionado, éstas serán probadas en la fábrica, notificando previamente al Comprador con un mínimo de tres (3) semanas de anticipación para que su Inspector asista a las pruebas.

El Fabricante extenderá los certificados de las pruebas realizadas.

Todos los defectos detectados como resultado de las pruebas serán reparados o reemplazados por el Fabricante, el cual solventará todos los gastos que se generen.

Celdas de Maniobra de Alta Tensión

Se ejecutarán como mínimo las siguientes pruebas:

- a) Operación del desconectador sin carga.
- b) Prueba de aparatos eléctricos auxiliares.
- c) Medida de la resistencia de aislamiento con Megger 500 V c.c.
- d) Continuidad eléctrica y verificación del alambrado.
- e) Operación de enclavamientos.
- f) Potencial aplicado y voltaje en circuitos auxiliares
- g) Inspección visual de superficies de unión.

El fabricante entregará los protocolos de prueba de los fusibles tipo limitadores de corriente.

Transformadores

Las pruebas deberán ser realizadas con el transformador armado en su propio tanque con sus boquillas y enfriadores instalados. Se deberán enviar al Comprador los informes de las pruebas certificadas cubriendo todas las pruebas y ensayos realizados. Todos los defectos detectados como resultado de las pruebas, deberán ser reparados o reemplazados por el Fabricante a sus propios costos.

El Fabricante deberá realizar las pruebas de rutina en fábrica, especificadas según el estándar ANSI C57.12.90-1980. A saber:

- i) Relación de transformación (TTR) sobre todos los voltajes nominales de conexión y todas las conexiones del cambiador de derivaciones.
- ii) Polaridad y relación de fases sobre todas las conexiones del cambiador de derivaciones.
- iii) Pérdidas a voltaje nominal en vacío.
- iv) Corriente de excitación a voltaje nominal.
- v) Pérdidas de carga a corriente nominal.
- vi) Medición de resistencia de los devanados en todas las derivaciones.
- vii) Medición de impedancia (positiva y secuencia cero).
- viii) Voltaje aplicado.
- ix) Voltaje inducido.
- x) Resistencia de aislamiento.
- xi) Rigidez dieléctrica y acidez del aceite.
- xii) Presión del tanque y accesorios.

El Fabricante realizará además, las pruebas de calentamiento e impulso, según el estándar ANSI C57.12.90-1980. Para esto informará en su oferta el costo de dichas pruebas.

Ductos de Barras

Las siguientes pruebas serán hechas a los Ductos de Barras por el Fabricante de acuerdo con las últimas publicaciones ANSI C 37.20:

- a) Prueba de dieléctrico realizada para las condiciones de servicio según los factores aplicados por las pruebas de Dieléctrico referidos al punto 6.8 de la Norma ANSI C.57.13-1968.
- b) Prueba de aislamiento para el Ducto de Barras.
- c) Prueba de corriente momentánea de acuerdo al punto 8.2.2.3 de la Norma ANSI C.37.20.C.
- d) Prueba de temperatura a la corriente permanente para un período de tiempo determinado (intervalos de 30 minutos) de acuerdo al punto 8.2.2.2 de la norma ANSI C.37.20.C.
- e) Prueba de precipitación artificial para observar si es resistente al agua.
- f) Prueba de aislamiento de los materiales retardantes a la llama.
- g) Prueba de funcionamiento calefactores y termostatos.

Junto a las pruebas anteriores, el Fabricante también deberá verificar todas las características geométricas y constructivas del ducto de barras.

9.0 POWER RECTIFIERS - TRANSFORMER UNITS

9.0.1 General

Power Rectifiers-Transformers and auxiliary equipment shall be the Seller's latest design, proven in service to meet the requirements and intent of this specification.

All components and materials shall be new, unused, and of current manufacture by generally recognized well established firms in the industry. Replacement parts required for normal maintenance shall be readily available from stock.

BIBLIOGRAFÍA

1. Protecciones de Sistemas Eléctricos, por Luis A. Brand C., Juan A. Moncada V.
2. Diseño de Subestaciones Eléctricas, por José Raúl Martín
3. Estaciones Transformadoras y de Distribución, por G. Zoppetti
4. Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, por William D. Stevenson
5. Switchgear Manual, por Asea Brown Boveri Pocket Book
6. The Art & Science of Protective Relaying, by C. Russell Mason
7. Normas Oficiales Mexicanas (NOM-001-SEDE-1999)
8. NEC - National Electrical Code, Cap. 5 – Art. 500-3
9. NEC, artículo 300-17, 346 y Capítulo 9.
10. IEEE, Std 141-1986, “Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants”
11. Catálogo general 1996 – Siemens; Low Voltage Three Phase Motors
12. McIntosh Redpath Engineering, Hard Rock Miner’s Handbook, edition 1, 2000
13. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-21, N° 4, May/June 1985. “Energy Losses in Electrical Power Systems”, W. J. McDonald and H. N. Hickok
14. “Evaluating the Effects of Motor Starting on Industrial and Commercial Power Systems”. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-14, N° 4, July/August 1978, Pag. 292-305
15. Introducción al Proyecto Eléctrico, 3º Edición, Jorge valenzuela
16. Instalaciones Eléctricas Tomo II. Gunter G. Seip (Siemens Aktiengesellschaft) 2ª Edición reelaborada y ampliada 1998.
17. Short Circuit Performance of Metallic Shields and Sheaths on Insulate Cable. ICEA Publication P-45-482-1998.
18. Westinghouse Consulting Applications Guide. Westinghouse Catalog 55-000, 9th Edition 1989-1990.