

Universidad Nacional de Ingeniería
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



**Diseño Eléctrico de la Central
Hidroeléctrica de Misapuquio**

Tesis

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

José Miguel Tavera Salazar

PROMOCION 1974-2

**LIMA - PERU
1985**

A MI MADRE, HERMANOS, ESPOSA, HIJOS Y AMIGOS

A mi querida esposa por su perseverante
aliento.

A Marisa por su invalorable ayuda.

A COSAPI por su decidido apoyo.

I N D I C E

	<u>N° de Página</u>
INTRODUCCION	1
I. BASES DEL DISEÑO	
1.1 Ubicación de las Instalaciones	4
1.2 Condiciones de Servicio de las Instalaciones	4
1.3 Demanda Eléctrica	4
1.4 Caudal Aprovechable	5
1.5 Caudal Nominal de Diseño	5
1.6 Datos del Sistema Electromecánico Proyectado	5
1.6.1 Tubería Presión	6
1.6.2 Turbinas Hidráulicas	6
1.6.3 Generador Eléctrico	7
1.7 Datos del Sistema de Servicios Auxiliares	7
II. MEMORIA DESCRIPTIVA	
2.1 Generalidades	9
2.2 Presa "Huisca - Huisca"	9
2.3 Presa "Arcata"	12
2.4 Canal de Conducción	13
2.5 Cámara de Carga	13
2.6 Canal de Demasías	14
2.7 Tubería de Presión y Válvulas	14
2.8 Casa de Máquinas	15
2.9 Subestaciones "Misapuquio" y "Arcata"	17
2.10 Línea de Transmisión	19

III. DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO ELECTRICO

3.1	Cálculo de la Corriente de Cortocircuito	20
3.2	Diseño de la Malla de Puesta a Tierra	40
3.3	Diseño del Ducto de Barras 660V, 4000A	46
3.4	Cálculo del Transformador de Medida y Protección	54
3.5	Selección de la Protección del Generador	56

IV. ESPECIFICACIONES TECNICAS

4.1	Equipos de Maniobra	68
4.2	Equipos de Protección	69
4.3	Equipos de Medición	78
4.4	Transformadores de Corriente y Tensión	84
4.5	Equipos para Servicios Auxiliares	87.
4.6	Banco de Baterías y Cargador	92
4.7	Ducto de Barras	94
4.8	Cables de Fuerza y Control	96
4.9	Tableros de fuerza, Mando, Control y Servicios Auxiliares	98
4.10	Material Diverso	100

V. COSTOS

5.1	Determinación del Costo de Producción de Energía	107
5.2	Determinación del Costo por KW Instalado	110

VI. PUESTA EN SERVICIO DE LOS EQUIPOS ELECTRICOS

6.1	Resumen de Pruebas y Verificaciones	111
6.2	Pruebas y Ajustes de los Relés de Protección	112
6.3	Ensayos y Comprobaciones de los Generadores	117
6.4	Ensayos y Comprobaciones Operativas	118

	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
+	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	124
	RELACION DE PLANOS	127

INTRODUCCION

Debido al crecimiento de la producción de concentrados de la Compañía Minera "MINAS ARCATA S.A.", se proyecta un crecimiento de la demanda eléctrica, necesidad que no podrá ser cubierta por la actual Central Térmica Diesel.

Ante tales necesidades "MINAS ARCATA S.A." contrató los servicios de MOTLIMA CONSULTORES S.A. para la elaboración de un Estudio Preliminar, Anteproyecto y Estudio de Factibilidad de la Central Hidroeléctrica de Misapuquio de 3.8 MW.

Probado Mediante el anteproyecto y estudio de factibilidad, la conveniencia técnico-económica del Proyecto se procedió a ejecutar el diseño básico.

Las desventajas principales de continuar con centrales térmicas son

El difícil abastecimiento de combustible, por la lejanía del complejo minero de ciudades importantes

El alto costo de los combustibles derivados del petróleo

Los altos costos operativos

Por otro lado las pequeñas centrales hidráulicas ofrecen las siguientes ventajas :

Costo de operación reducida

Larga duración de servicio

Conformidad con las exigencias de la protección del medio ambiente

Ahorro de energía insustituible.

Según las definiciones dadas por la Organización Latino Americana de Energía (OLADE), la Central Hidroeléctrica de Misapuquio sería :

!

Por su potencia y salto, está en la denominación de "Pequeña Central Hidroeléctrica"

Por su captación, sería del tipo con embalse o represa

Por su vinculación con el sistema eléctrico, sería una central aislada

Por su concepción tecnológica, está definida como una central con tecnología convencional, con obras civiles de calidad en la toma, canal y cámara de carga, tubería de presión de acero, equipo electromecánico de alto costo y construido con los más exigentes criterios de materiales y procesos de fabricación, tableros ampliamente instrumentados.

La presente desarrolla el diseño ejecutivo de las instalaciones eléctricas y auxiliares, parte muy importante ya que de ella dependerá en gran medida la confiabilidad y buena operación de la central, tomando como premisa que la elección de las turbinas y generadores ya han sido determinadas en el diseño básico ejecutado por MOTLIMA CONSULTORES S.A.

Así también la tesis abarca la puesta en servicio de las instalaciones.

La primera parte de la tesis, nos describe en forma resumida los parámetros básicos que sirvieron para la determinación de la potencia de las unidades turbina-generador, así como para el diseño de las obras civiles necesarias para asegurar la buena operación de la central.

En el Capítulo "Memoria Descriptiva", se detallan las características de cada una de las obras necesarias para la ejecución del proyecto.

El Capítulo III "Dimensionamiento del Equipo Eléctrico", se presentan los cálculos, diseños y los criterios de selección, para asegurar una buena elección del equipamiento eléctrico necesario a adquirir.

En el Capítulo "Especificaciones Técnicas" se detallan en una forma ordenada y completa los requerimientos técnicos de cada uno de los equipos eléctricos, en base a las solicitudes calculadas en el Capítulo III.

En el Capítulo V "Costos", se analiza con costos reales de producción de energía, la comparación entre la Central Diesel (existente) y la nueva Central Hidroeléctrica ya funcionando.

En el Capítulo VI "Puesta en Servicio de los Equipos Eléctricos", se detallan en forma selectiva las principales y más importantes pruebas y ensayos.

CAPITULO I BASES DE DISEÑO

1.1 Ubicación de las Instalaciones

El Complejo Minero de Arcata está ubicado en el Distrito de Cayarani, Provincia de Condesuyos, Departamento de Arequipa y, en las proximidades de la siguientes coordenadas geográficos.

Longitud Oeste	72° 18' 14"
Latitud Sur	14° 58' 50"

1.2 Condiciones de Servicio de las Instalaciones

Temperatura

Máxima	14 °C
Media	3.6 °C
Mínima	-15 °C

Altitud

Las instalaciones se encuentran a una altitud promedio de 4,200 m.s.n.m.

1.3 Demanda Eléctrica

La generación eléctrica actual es realizada por una central diesel eléctrica, con una potencia instalada de 3000 KVA, ubicada en el complejo minero a una altitud de 4,700 m.s.n.m.

De la proyección de la energía generada en los últimos 10 años y tomando en cuenta los programas de desarrollo del Complejo Minero, para un período futuro de 10 años, la demanda de energía será de 25 millones de KW-h anuales para el fin del período en estudio. Tomando en cuenta además el factor de carga histórico del Complejo Minero (Factor de Carga = 0.75), podríamos deducir que la potencia de generación instalada necesaria, debería ser aproximadamente de 3,800 KW

1.4 Caudal Aprovechable

De los estudios hidrometeorológicos para la determinación del caudal aprovechable, se deduce que para el aprovechamiento óptimo de la energía hidráulica disponible, es necesario la creación de dos embalses en las lagunas de Arcata y Huisca-Huisca, mediante la construcción de dos presas.

Así el programa de descarga de las dos presas, optimiza el caudal de estiaje.

Resultando el caudal aprovechable anual constante de 1.5 m³/seg., durante todo el año, totalizando un volumen anual de agua turbinable de 47'304,000 m³, equivaliendo al 74% de la esorrentía anual en la toma de la laguna de Arcata.

1.5 Caudal Nominal de Diseño

Conociendo que el costo de las obras hidráulicas no aumenta en relación directa al caudal aprovechable, puesto que con la misma obra de embalse pueden aprovecharse caudales mayores con solo aumentar las obras de conducción, cuyo costo por su parte, no está en razón directa con su capacidad.

Para el cálculo del caudal nominal de diseño, utilizamos la fórmula

$$Q_n = \frac{Q_u}{F.C.}$$

Donde

Q_n Caudal nominal de diseño en m³/seg.

Q_u Caudal aprovechable

F.C. Factor de carga o capacidad

$$Q_n = \frac{1.5 \text{ m}^3/\text{seg.}}{0.75} = 2.00 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

1.6 Datos del Sistema Electromecánico Proyectado

1.6.1 Tubería de Presión

Instalación	Tipo exterior
Material	Acero
Diámetro Interior	1.09 m.
Longitud	589 m.
Salto Bruto	231 m.
Salto Neto Disponible	224 m.
Caudal de Diseño	2.00 m ³ /seg.
Espesor	5/16" a 5/8"

1.6.2 Turbinas Hidráulicas

Tomando en cuenta :

Caudal de agua turbinable

Caída neta

Trabajo dentro del rango de mayor rendimiento

Continuidad de servicio

Resistencia al desgaste por abrasión o relaves
mineros

Se optó por elegir dos turbinas Peltón con dos toberas o inyectores.

Datos técnicos de las turbinas (cantidad dos)

Tipo	Peltón de dos toberas
Tipo de Servicio	Continuo durante 24 horas diarias
Altura de Instalación	4,200 m.s.n.m.
Salto Hidráulico Bruto	231 m.
Salto Hidráulico Neto	224 m.
Caudal Turbinable	1 m ³ /seg.
Velocidad	600 r.p.m.
Potencia	2688 H.P.
Posición del Eje	Horizontal
Tipo de Regulación	Automática, exterior regulación doble por desviación del

chorro y de la aguja de la tobera.

1.6.3 Generador Eléctrico

Datos Técnicos :

Tipo	Síncronos
Potencia Aparente	2.300 KVA
Tensión Nominal	660 V
Factor de Potencia	0.80
Número de Fases	Tres
Altura de Instalación	4,200 m.s.n.m.
Clase de Aislamiento	Tipo F
Frecuencia Nominal	60Hz
Velocidad Nominal	600 r.p.m.
Posición del Eje	Horizontal
Conexión	Estrella con 6 bornes

Apto para trabajar en paralelo

Auto excitado y auto regulado

Con anillos de amortiguamiento

Variación de tensión más o menos 1% entre plena carga y marcha en vacío.

Con sistema de ajuste de la tensión teórica en más o menos 5% mediante potenciómetro para ser ubicado en el tablero de control.

Acoplamiento directo con la turbina

Excitación tipo estática.

1.7 Datos del Sistema de Servicios Auxiliares

1.7.1 Servicios Auxiliares C.A.

Tipo	Trifásico
Tensión Nominal	230V

Límites de Tensión	+/- 10%
Frecuencia	60 Hz
Límites de Frecuencia	+/- 5%

1.7.2 Servicios Auxiliares C.D.

Tipo	Bifilar
Tensión Nominal	120V
Límites de Tensión	
En circuitos de disparo	+/- 10%, -5%
En otros circuitos	+/- 10%.

CAPITULO 2

MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1 Generalidades

El potencial hidroeléctrico del proyecto está comprendido desde la Laguna de Arcata ubicada a 4,452 m.s.n.m. y la casa de máquinas ubicada a 4,195 m.s.n.m., aprovechando una caída bruta de 257 mt.

Las aguas serán reguladas mediante la construcción de dos presas.

La presa Huisca-Huisca será para una regulación anual de 4.1 millones de m³ de agua y la presa Arcata será para embalsar y regular un volumen de agua anual de 9.2 millones de m³.

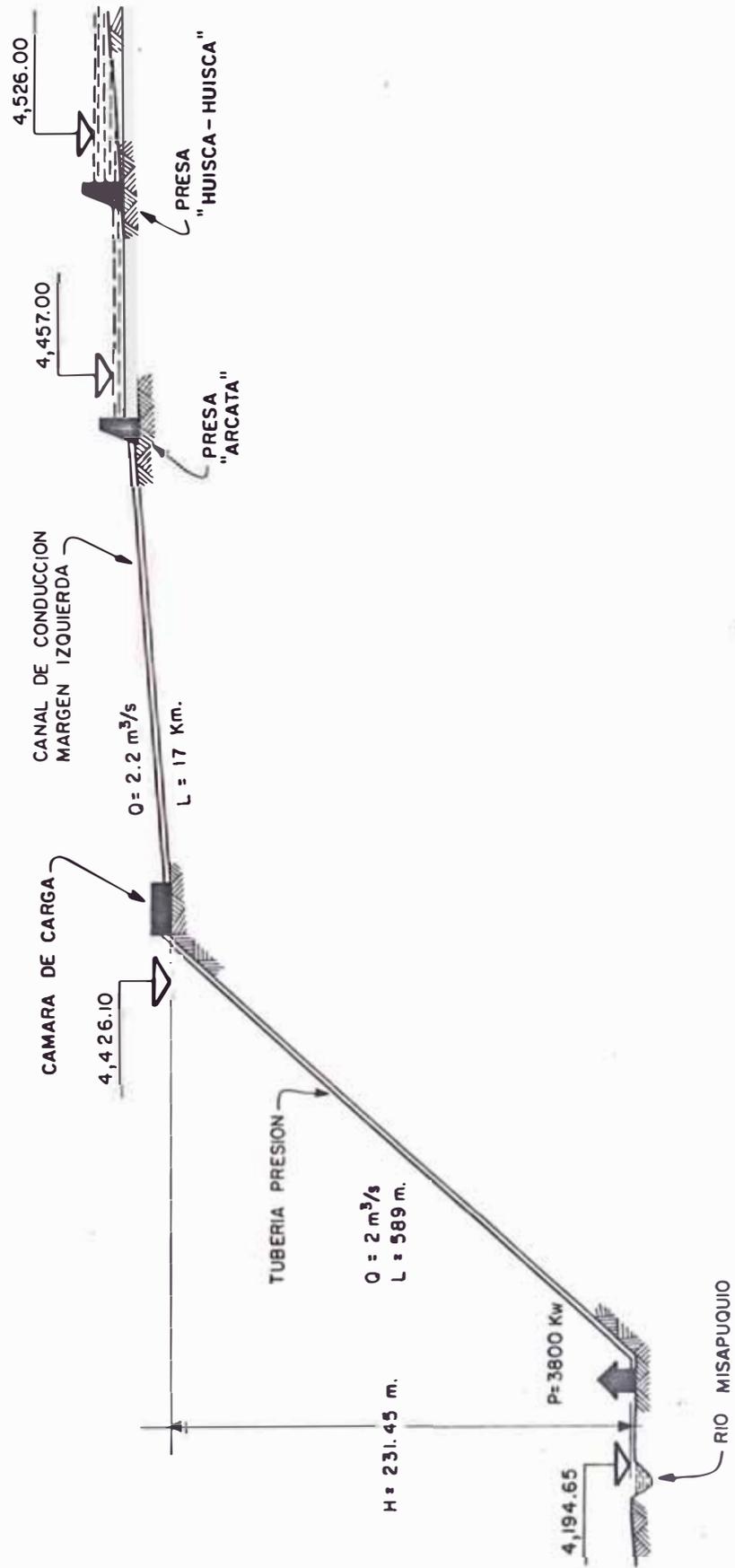
Las aguas de la Laguna Huisca-Huisca fluirán hacia el embalse Arcata. Desde la presa Arcata las aguas fluirán en un volumen de 2.0 m³/seg. hasta la cámara de carga, mediante un canal revestido de concreto de una longitud aproximada de 17 kilómetros y con una pendiente de uno por mil.

Desde la cámara de carga, en la cota 4,426.10 m.s.n.m. las aguas turbinadas serán conducidas hasta la casa de máquinas (cota 4,194.65 m.s.n.m.) por una tubería de presión de 589 metros de longitud y 1.06 metros de diámetro, con una caída bruta de 231.45 metros.

La casa de máquinas estará equipada con dos grupos turbo-generadores para producir una potencia instalada total de 4,600 KVA.

2.2 Presa "Huisca-Huisca"

La presa se ha ubicado a la salida de la laguna de



Huisca-Huisca, a una altitud de 4,522 m.s.n.m.

Sobreelevando en 3.6 m. el espejo de la laguna de Huisca-Huisca, la presa permite un volumen útil de almacenamiento de 4.10 millones de m³ de agua.

Es una presa de tierra, con núcleo de arcilla.

El objeto de esta presa es lograr un embalse para la adecuada compensación anual de los caudales del río Huisca-Huisca para una buena operación de la Central Hidroeléctrica de Misapuquio.

Las dimensiones principales de la presa Huisca-Huisca son las siguientes :

Presa	Longitud de coronamiento	72.00 m.
	Ancho máximo de base	42.00 m.
	Altura	9.00 m.
	Ancho de coronamiento	6.00 m.
	Cota de coronamiento	4,529 m.s.n.m.
	Nivel máximo de embalse	4,526 m.s.n.m.
	Nivel mínimo de embalse	4,522.40 m.s.n.m.
Borde libre	3.00 m.	
Aliviadero	Ancho	9.00 m.
	Alto	8.00 m.
	Longitud	34.00 m.
Descarga de Fondo	Ancho	1.20 m.
	Alto	1.20 m.
	Longitud	22.00 m.
Cámara de Compuerta	Sección	12.80 m ²
	Altura	10.00 m.

Compuerta	Ancho	1.28 m.
	Alto	1.28 m.

2.3 Presa Arcata

La presa se ha ubicado a la salida de la laguna de Arcata, a una altitud de 4,452 m.s.n.m.

La presa permite elevar el espejo de agua en 5.00 m., permitiendo un volumen útil de almacenamiento de 9.2 millones de m³ de agua.

Es una presa de tierra con núcleo de arcilla.

El objeto de la presa es lograr un embalse para la compensación anual y diaria de los caudales del río Misapuquio.

Las dimensiones principales de la presa Arcata son las siguientes :

Presa :	Longitud de coronamiento	76.00 m.
	Altura	12.00 m.
	Ancho máximo de base	65.00 m.
	Ancho de coronamiento	6.00 m.
	Cota de coronamiento	4,460 m.s.n.m.
	Nivel máximo embalse	4,457 m.s.n.m.
	Nivel mínimo embalse	4,452 m.s.n.m.
	Borde libre	3.00 m.
Aliviadero :	Ancho	12.00 m.
	Alto	10.50 m.
	Longitud	50.00 m.
Descarga de Fondo :	Ancho	1.50 m.
	Alto	1.50 m.
	Longitud	84.00 m.

Cámara de Compuerta	Sección	9.00 m ²
	Altura	12.00 m.
Compuerta : Ancho		1.50 m.
Alto		1.50 m.

2.4 Canal de Conducción

Las aguas reguladas por las presas de Huisca-Huisca y Arcata son transportadas por un canal de conducción de concreto, de sección rectangular o trapezoidal según el tipo de terreno de pase.

El canal es del tipo "enterrado" y tiene una longitud aproximada de 17 kilómetros, se desarrolla faldeando la margen izquierda del río Misapuquio, con pendientes de 1/1000 y 2/1000 desde la presa Arcata hasta la cámara de carga.

El canal ha sido diseñado para conducir 2.20 m³/S.

2.5 Cámara de Carga

La cámara de carga está ubicada entre el final del canal de conducción (cota 4,429.90 m.s.n.m.) y el inicio de la tubería de presión (cota 4,426.10 m.s.n.m.).

La cámara de carga con capacidad para almacenar hasta 5,000 m³ de agua, está constituida por transición, pulmón, reservorio y vertedero.

La función de la cámara de carga es el de adecuar el caudal constante suministrado por el canal de conducción a un caudal variable (demanda) durante las horas del día.

Paralelo a la cámara de carga se ha instalado una tubería de by-pass de Diámetro = 850 mm., con el objeto de conducir el agua en caso de mantenimiento de la cámara de carga.

La cámara de carga es una estructura de concreto armado de aproximadamente 170 m. de longitud y 7 m. de ancho, los muros tienen una altura de 3.75 m. En la parte central del piso, longitudinalmente, lleva un canal de limpia de 60 x 60 cm². de sección.

2.6 Canal de Demasías

El canal de demasías se inicia en el encausamiento del vertedero y canal de limpia de la cámara de carga, y termina a una altitud de 4,369.37 m.s.n.m.

El canal de demasías está compuesto de las siguientes estructuras de concreto armado

- Canal inclinado con tapa
- Poza amortiguadora de energía
- Canal abierto
- Poza disipadora

2.7 Tubería de Presión y Válvulas

La tubería de presión está ubicada entre el final de la cámara de carga (cota 4,426.10 m.s.n.m.) y el inicio de la casa de máquinas (cota 4,194.65 m.s.n.m.), siendo diseñada para un caudal de 2 m³/S.

La tubería de presión de Diámetro = 1,090 mm., desarrolla una caída bruta de 231 m. en 589 m. de longitud, siguiendo aproximadamente el perfil del terreno.

Al inicio de la tubería de presión se ha instalado una válvula del tipo mariposa, la cual será accionada hidráulicamente. La misma en caso de emergencia podrá ser cerrada desde la casa de máquinas, así también tiene contactos que indican su posición.

Luego la tubería de presión lleva una tubería de venteo de 6" de diámetro, en su recorrido la tubería de presión varía su espesor de 5/16" a 5/8".

Antes de su llegada a la casa de máquinas, la tubería se bifurca en dos ramales iniciándose con un diámetro interno de 770 mm. y terminando con un diámetro interno de 520 mm., formando un pantalón.

En su recorrido la tubería de presión tiene cinco juntas de dilatación.

Cada uno de los ramales de la tubería alimenta a una turbina respectivamente.

En el extremo de cada uno de los ramales del pantalón se ha adoptado una válvula globo o esférica de fundición de acero, con extremos bridados, será accionada hidráulicamente a presión de aceite, permitiendo hacer labores de limpieza y mantenimiento de la turbina.

2.8 Casa de Máquinas

La casa de máquinas es un edificio de estructuras metálicas con cobertura de calamina, está ubicada en una plataforma de cota 4,194.65 m.s.n.m. al final de la tubería de presión y al margen izquierdo del río Misapuquio.

El edificio que ocupa un área de 13.65 m. de ancho por 20.0 m. de largo, está dividido en los siguientes ambientes :

La nave principal que ocupa aproximadamente 180 m² de área con una altura de 9.48 mt., en donde están ubicadas las dos válvulas globo o esféricas, los dos grupos turbina-generador con sus respectivos reguladores de velocidad, grupo eléctrico de

emergencia así como están previstos los espacios libres para descarga y montaje.

Para el montaje y servicio de mantenimiento de los equipos pesados se cuenta con un puente grúa marca Demag de 6,300 Kg. de capacidad.

Nave lateral, contigua a la nave principal, con un área de 93 m², en donde se sitúan los siguientes ambientes.

Zona de tableros y pasadizos

Sala de baterías

Taller

Sala de Comunicaciones

Almacén

Servicios higiénicos

Esta nave tiene el techo inclinado y su altura varía de 3.25 a 4.80 m. La circulación entre los ambientes es a través de los pasadizos y para la iluminación se han considerado ventanas al exterior. Los muros interiores serán de mampostería.

Los sistemas de tomacorrientes e iluminación normal tanto interior como exterior de la casa de máquinas se ha previsto serán alimentados por el transformador de servicios auxiliares de 50 KVA, 660 V/230V.

En caso de emergencia, esta alimentación podrá ser hecha por un grupo electrógeno de 230 V. El cual será de arranque manual y no podrá nunca trabajar en paralelo con los grupos de generación principales.

Además se ha previsto un sistema de iluminación en corriente continua, el cual será alimentado por el banco de baterías en 120 V C.D.

2.9 Subestaciones "Misapuquio y Arcata"

2.9.1 Subestación de salida "Misapuquio"

Está ubicada adyacente a la casa de máquinas en una plataforma de cota 4,194 m.s.n.m., es del tipo intemperie y ocupa un área de 15 m. de ancho por 25 m. de largo, su equipamiento principal es :

Un transformador trifásico de potencia, de 5,000 KVA, relación de transformación 33/0.660 KV, grupo de conexión ydn5.

Un interruptor trifásico de potencia, del tipo de pequeño volumen de aceite, operado con motor eléctrico, 72.5 KV de tensión nominal.

Un seccionador trifásico, con cuchillas de puesta a tierra, accionado por motor eléctrico, 630A de corriente nominal y 72.5 KV de tensión nominal.

Tres transformadores monofásicos de corriente para medición y protección, de doble núcleo secundario, relación de transformación 100/5/5A, 72.5 KV de tensión nominal.

Tres transformadores monofásicos de tensión, para medición, clase de precisión 1, relación de transformación $33 \div \sqrt{3} / 0.110 \div \sqrt{3}$ KV.

Tres pararrayos unipolares de 66.0 KV de tensión nominal.

2.9.2 Subestación de Llegada "Arcata"

Está ubicada adyacente a la central térmica existente

del centro minero de Arcata, en una plataforma de cota 4,628.60 m.s.n.m., es del tipo intemperie y ocupa un área de 13.0 m. de ancho por 21.50 m. de largo, su equipamiento principal es

Un transformador trifásico de potencia, de 5,000 KVA, relación de transformación 33/10 KV, grupo de conexión Dyn5.

Un interruptor trifásico de potencia del tipo de pequeño volumen de aceite, operado con motor eléctrico, 72.5 KV de tensión nominal.

Un seccionador trifásico con cuchillas de puesta a tierra, accionado por motor eléctrico, 630A de corriente nominal y 72.5 KV de tensión nominal.

Tres transformadores monofásicos de corriente para medición y protección de doble núcleo secundario, relación de transformación 100/5/5A, 72.5 KV de tensión nominal.

Tres transformadores monofásicos de tensión para medición, clase de precisión 1, relación de transformación $33 \div \sqrt{3} / 0.110 \div \sqrt{3}$ KV.

Tres pararrayos unipolares para 66 KV de tensión nominal.

Un interruptor trifásico de potencia, uso interior, del tipo de pequeño volumen de aceite, operado con motor eléctrico, 24 KV de tensión nominal, 630A de corriente nominal.

Dos seccionadores fusibles tripolares, uso interior, con operación manual mediante palanca, 400 A de corriente nominal y 24 KV de tensión

nominal.

2.10 Línea de Transmisión

La energía generada por la central, será transmitida desde la subestación de Misapuquio hasta la subestación de Arcata por medio de una línea de transmisión con torres metálicas.

Sus principales características son

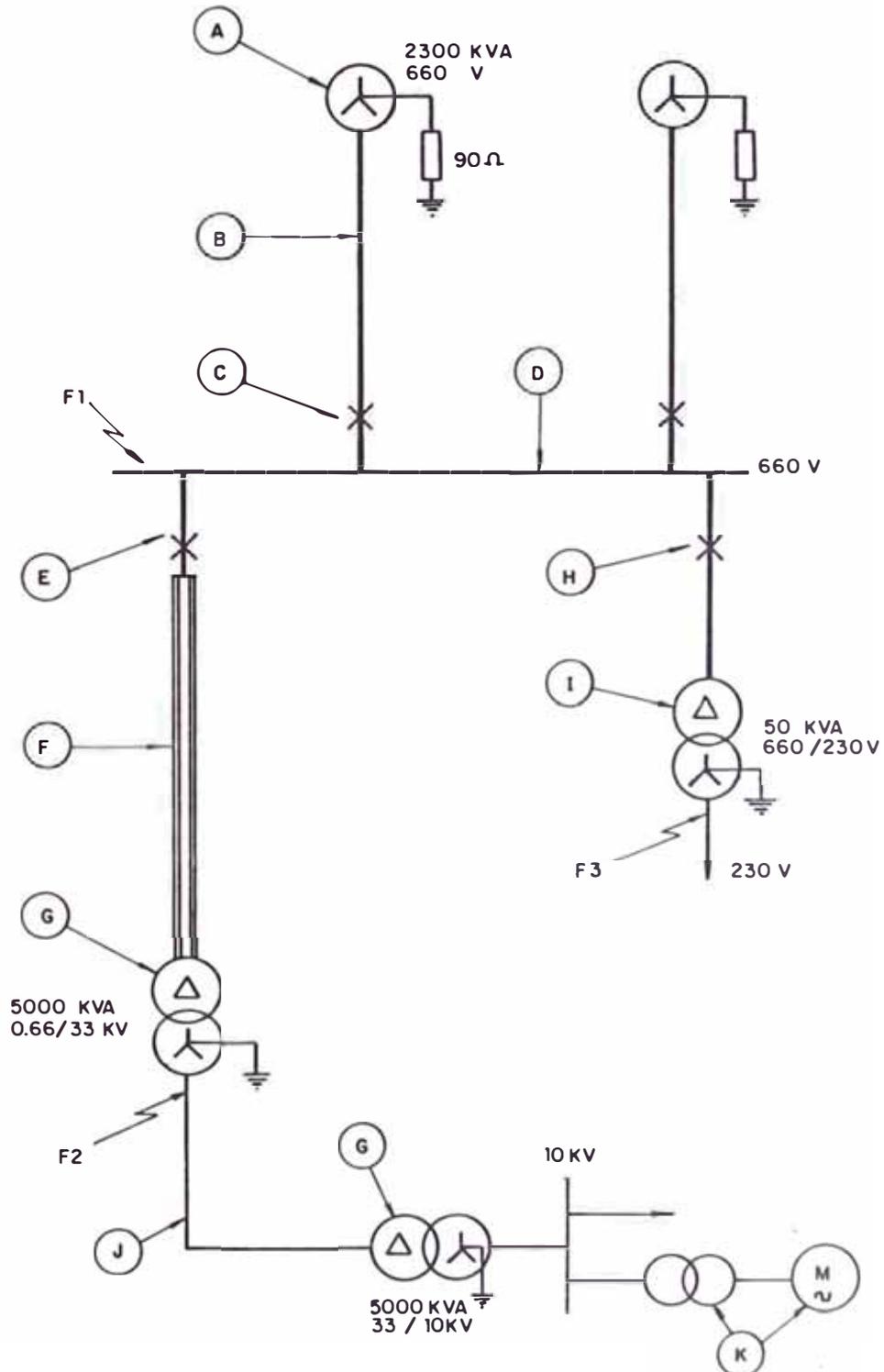
Longitud	21.60 Km.
Número de torres	80.00 u.
Tensión nominal de servicio	33.00 KV
Potencia de transmisión	4,600 KVA
Frecuencia nominal	60.00 Hz
Conductor	
Tipo	AASC Aleación Aluminio
Calibre	4/0 AWG - 19 HILOS
Sección	107.3 mm ²
Cable de guarda	2 u.

CAPITULO 3

DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO ELECTRICO

3.1 Cálculo Corriente de Cortocircuito

3.1.1 Esquema Eléctrico Considerado



3.1.2 Impedancia de los distintos trechos del circuito eléctrico

$$P_{Base} = 2.30 \text{ MVA}$$

A) Generador

$$X''d = 0.138 \text{ p.u.}$$

$$R_G = 0.07 \times X''d = 0.0097 \text{ p.u.}$$

$$X'd = 0.187 \text{ p.u.}$$

$$X_o = \frac{X''d}{3} = 0.046 \text{ p.u.}$$

$$R_n = 90 \times \frac{(P_{Base})}{2} = \frac{90 \times 2.30}{2} = 475.2 \text{ p.u.}$$

$$(V_{Base}) \quad (0.66)$$

B) Cable de .66 KV

Tipo THW, 3 x (4 x 1000 MCM) L = 20 m.

neutro 1 x 4 AWG

Tomando en cuenta la disposición de los conductores tenemos :

$$X_c = 0.02 \text{ km} \times 0.105 \frac{\text{ohm}}{\text{Km}} = 2.1 \times 10^{-3} \text{ ohm}$$

$$X_l = \frac{X_c}{4} = 0.525 \times 10^{-3} \text{ ohm} = 2.77 \times 10^{-4} \text{ p.u.}$$

$$r_c = 0.02 \times 0.035 = 0.70 \times 10^{-3} \text{ ohm}$$

$$R_l = \frac{r_c}{4} = 0.175 \times 10^{-3} \text{ ohm} = 0.924 \times 10^{-4} \text{ p.u.}$$

$$R_{neutro} = 0.02 \times 0.712 = 14.24 \times 10^{-3} \text{ ohm}$$

$$= 75.19 \times 10^{-4} \text{ p.u.}$$

$$R_o = R_1 + 3 R_{\text{neutro}} = 226.49 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

$$X_o = 3 X_1 = 8.31 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

C) Interruptor de BT (660V), 2900A
Resistencia y reactancia mínimas

D) Barras de celdas 4000A, 660V
L = 6 m
Resistencia y reactancia mínimas

E) Seccionador B.T. (660V) 4000A
Resistencia y reactancia mínimas

F) Ducto de barras 4000A, 660V L = 20 m

$$X = 1.377 \times 10^{-1} \frac{\text{ohm}}{\text{Km}} \times 0.02 \text{ Km} = 2.754 \times 10^{-3} \text{ ohm}$$

$$X_1 = 14.54 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

$$r = 0.0984 \times 10^{-1} \frac{\text{ohm}}{\text{km}} \times 0.02 \text{ km} = 0.197 \times 10^{-3} \text{ ohm}$$

$$R_1 = 1.04 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

$$X_o = 3 X_1 = 43.62 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

$$R_o = R_1 = 1.04 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

G) Transformador de 5000 KVA, 33/0.66 KV
VCC = 6.2%

$$X_1 = 0.062 \times \frac{2.30}{5.00} = 0.0285 \text{ p.u.}$$

$$X_o = 0.95 \times X_l = 0.027 \text{ p.u.}$$

$$R_l = 0.008 \times \frac{2.30}{5.00} = 0.0037 \text{ p.u.}$$

H) Interruptor 125A, 660V
Resistencia y reactancia mínimas

I) Transformador de Servicios Auxiliars
50KVA, 660/220V

$$VCC = 4\%$$

$$X_l = 0.04 \times \frac{2.30}{0.05} = 1.84 \text{ p.u.}$$

$$X_o = 0.95 \times X_l = 1.75 \text{ p.u.}$$

$$R_l = 0.02 \times \frac{2.30}{0.05} = 0.92 \text{ p.u.}$$

J) Línea de Transmisión 33KV, 3# 4/0, AWG, Al.

$$X = 0.4661 \frac{\text{ohm}}{\text{km}} \times 21.6 \text{ km} = 10.068 \text{ ohm}$$

$$X_l = 10.068 \times \frac{2.3}{33} = 0.0213 \text{ p.u.}$$

$$r = 0.2689 \frac{\text{ohm}}{\text{Km}} \times 21.6 \text{ km} = 5.807 \text{ ohm}$$

$$R_l = 5.807 \times \frac{2.3}{33} = 0.0123 \text{ p.u.}$$

- K) Transformadores de distribución, líneas, cables que alimentan a los motores del Complejo Minero en 440V.

Potencia equivalente de motores 3,000KVA

Reactancia equivalente del sistema de distribución, aproximadamente 30%.

$$X1 = 0.30 \times \frac{2.30}{3.00} = 0.23 \text{ p.u.}$$

ota:

El calculo de la corriente de c.c. , está basado en las Normas VDE-0102 " Directrices para el calculo de las corrientes de corto circuito"

Los factores " μ " , " χ " , y " λ " necesarios para hallar las corrientes de ruptura, impulso y permanente respectivamente, son tomados de las siguientes figuras (Normas VDE)

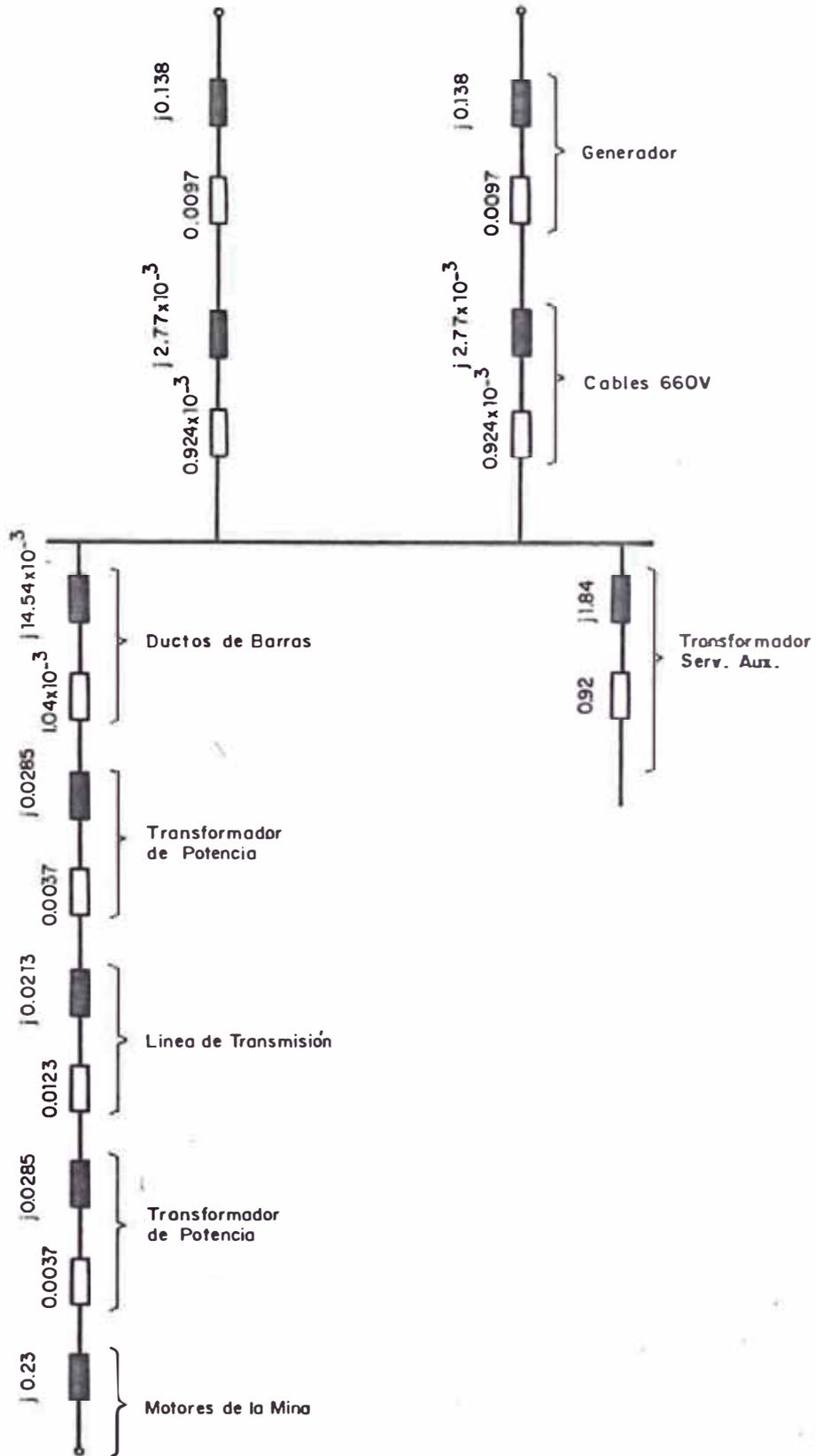
χ — Fig. 2 , Parte 5

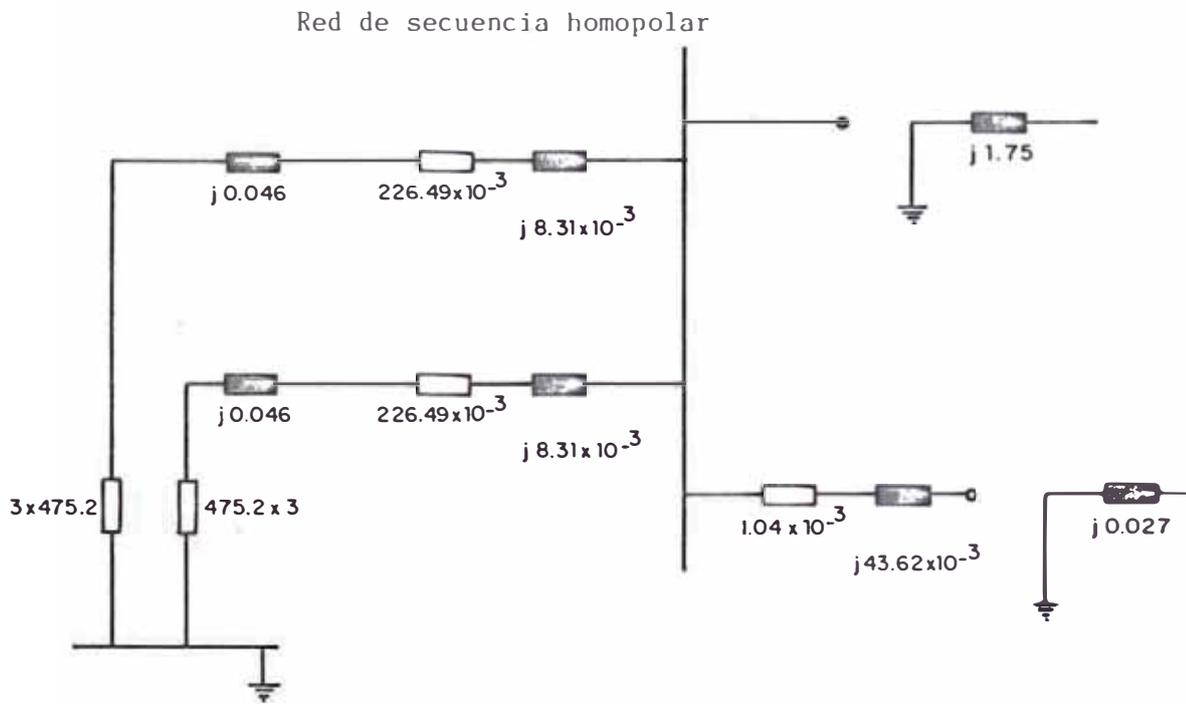
μ — Fig. 3 , Parte 5

λ — Fig. 5 , Parte 5

3.1.3 Diagramas Equivalentes

Red de Secuencia (+) y (-)





3.1.4 Fórmulas para el cálculo de corto circuito en p.u.

Falla Trifásica

$$I''K_{3p} = \frac{E''}{U} \times \frac{1}{Z_f} = \frac{E''}{U} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{R_1^2}{2} + \frac{X_1^2}{2}}}$$

Falla Bifásica

$$I''K_{2p} = \frac{E''}{U} \times \frac{\sqrt{3}}{Z_f} = \frac{E''}{U} \times \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{\frac{(R_1 + R_2)^2}{2} + \frac{(X_1 + X_2)^2}{2}}}$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{2} I''K_{3p}$$

Falla Monofásica

$$I''K1p = \frac{E''}{U} \times \frac{3}{Zf} = \frac{E''}{U} \times \frac{3}{\sqrt{(R1 + R2 + R0)^2 + (X1 + X2 + X0)^2}}$$

3.1.5 Cálculo de c.c. Falla en Punto 1

3.1.5.1 Falla Trifásica

Corriente máxima de cortocircuito

$$\text{Tenemos } \frac{E''}{U} = 1.1$$

$$R1 = 0.0053$$

$$X1 = 0.0703$$

$$Zf = \sqrt{0.0053^2 + 0.0703^2} = 0.0705$$

$$I''K3p = \frac{1.1}{0.0705} = 15.60 \text{ p.u.}$$

$$I''K3p = 15.60 \times \frac{2300}{\sqrt{3} \cdot 660} = 31.42 \text{ KA}$$

$$N''K = \sqrt{3} \times 31.42 \times 0.66 = 35.88 \text{ MVA}$$

Los valores parciales son

Generador 1 $N''k = 14.73 \text{ MVA}$, $I''K = 12.90 \text{ KA}$

Generador 2 $N''k = 14.73 \text{ MVA}$, $I''K = 12.90 \text{ KA}$

Grupo de motores $N''K = 6.42 \text{ MVA}$, $I''K = 5.62 \text{ KA}$

Corriente de Ruptura I_a

Generador 1 $I_a = \mu I''K = 1.0 \times 12.90 = 12.90 \text{ KA}$

Generador 2 $I_a = \mu I''K = 1.0 \times 12.90 = 12.90 \text{ KA}$

Grupo Motores $I_a = \mu I''K = 0.90 \times 5.62 = 5.06 \text{ KA}$

La corriente de ruptura total es obtenida aproximadamente como la suma de las corrientes parciales

$$I_a = 30.86 \text{ KA}$$

Impulso de la Corriente de Cortocircuito

$$I_s = X \sqrt{2} I''K$$

De la impedancia $Z = 0.0053 + j 0.0703$ se obtiene la relación $r = \frac{0.0053}{X} = 0.0754$

De donde obtenemos $X = 2$

$$I_s = 2 \times \sqrt{2} \times 31.42 = 88.87 \text{ KA}$$

Los valores parciales de la corriente de impulso

Generador 1 $I_s = 36.49 \text{ KA}$

Generador 2 $I_s = 36.49 \text{ KA}$

Grupo de Motores $I_s' = 15.89 \text{ KA}$

Corriente permanente de cortocircuito I_{k3p}

Para el Generador 1 ó 2

$$I_k \text{ máx} = \lambda \text{ máx} I_n$$

$$I_k \text{ mín} = \lambda \text{ mín} I_n$$

Para nuestro caso :

$$\lambda \text{ máx} = 3.8$$

$$\lambda \text{ mín} = 1.5$$

$$I_k \text{ máx} = 7.6 \text{ KA}$$

$$I_k \text{ mín} = 3.0 \text{ KA}$$

3.1.5.2 Falla Bifásica sin Contacto a Tierra

Corriente Máxima de Corto Circuito

$$I''_{k2p} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_{k3p} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 31.42 = 27.21 \text{ KA}$$

Los valores parciales son :

$$\text{Generador 1} \quad I''_{k2p} = 11.16 \text{ KA}$$

$$\text{Generador 2} \quad I''_{k2p} = 11.16 \text{ KA}$$

$$\text{Grupo de motores} \quad I''_{k2p} = 4.89 \text{ KA}$$

Corriente de Ruptura I_a

$$\text{Generador 1} \quad I_a = \mu I''_k = 1 \times 11.16 = 11.16 \text{ KA}$$

$$\text{Generador 2} \quad I_a = \mu I''_k = 1 \times 11.16 = 11.16 \text{ KA}$$

$$\text{Grupo de motores} \quad I_a = \mu I''_k = 0.90 \times 4.89 = 4.40 \text{ KA}$$

La corriente de ruptura total es obtenida aproximadamente como la suma de las corrientes parciales.

$$I_a \text{ total} = 26.72 \text{ KA}$$

Impulso de la Corriente de Cortocircuito

$$I_s = X \sqrt{2} I''_{k2p}$$

Donde $X = 2$, similar al cortocircuito trifásico

$$I_s = 2 \sqrt{2} \times 27.21 = 76.96 \text{ KA}$$

Los valores parciales son

$$\text{Generador 1} \quad I_s = 31.56 \text{ KA}$$

$$\text{Generador 2} \quad I_s = 31.56 \text{ KA}$$

$$\text{Grupo de motores} \quad I_s = 13.84 \text{ KA}$$

Corriente Permanente de Cortocircuito I_{k2p}

Para el generador 1

$$I_{k \text{ máx } 2p} = \lambda_{\text{máx}} \sqrt{3} \cdot I_n$$

$$I_{k \text{ mín } 2p} = \lambda_{\text{mín}} \sqrt{3} \cdot I_n$$

Para nuestro caso

$$\lambda_{\text{máx}} = 3.0 \quad \lambda_{\text{mín}} = 1.3$$

$$I_{k \text{ máx } 2p} = 10.38 \text{ KA}$$

$$I_{k \text{ mín } 2p} = 4.50 \text{ KA}$$

3.1.5.3 Falla Monofásica a Tierra

Corriente Máxima de Cortocircuito

$$I''_{k1p} = \frac{E''}{U} \times \frac{3}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0.0053 + j 0.0703$$

$$Z_0 = 713 + j 0.027$$

$$Z_F = \sqrt{(2 \times 0.0053 + 713)^2 + (2 \times 0.0703 + 0.027)^2}$$

$$Z_F = 713.01 \text{ p.u.}$$

$$I''_{k1p} = 1.1 \times \frac{3}{713.01} = 0.0046 \text{ p.u.}$$

$$I''_{k1p} = 0.0046 \times \frac{2300}{\sqrt{3} \cdot 660} = 9.26 \text{ A}$$

Los valores parciales son :

$$\text{Generador 1} \quad I''_{k1p} = 4.63\text{A}$$

$$\text{Generador 2} \quad I''_{k1p} = 4.63\text{A}$$

$$\text{Grupo de motores} \quad I''_{k1p} = 0.0 \text{ A}$$

3.1.5.4 Corriente Mínima de Cortocircuito

Para el cálculo de las corrientes mínimas de cortocircuito, trifásica, bifásica o monofásica, se aplican las mismas fórmulas que para la corriente máxima de cortocircuito, pero tomando las siguientes consideraciones.

$$* \quad \frac{E''}{U} = 0.95$$

* Sustituyendo la resistencia ohmica a 80 Grados Centigrados, la cual aproximadamente es :

$$R_{80 \text{ Grados C}} = 1.24 R_{20 \text{ Grados C}}$$

En nuestro caso por la corta longitud de los cables y barras, así como por que el valor de resistencia es menor que el 10% de la reactancia. Podemos para el cálculo de la corriente de c.c. mínima prescindir de la variación de la resistencia ohmica.

Por lo tanto, para el cálculo de la corriente mínima de c.c. sólo tendremos en cuenta el grado de excitación del generador.

Falla Trifásica

$$I''K_{3p} = \frac{0.95}{0.0705} = 13.47 \text{ p.u.}$$

$$I''K_{3p} = 13.47 \times \frac{2300}{\sqrt{3} \cdot 660} = 27.13 \text{ KA}$$

Los valores parciales

Generador 1	$I''K = 11.14 \text{ KA}$
Generador 2	$I''K = 11.14 \text{ KA}$
Grupo de motores	$I''K = 4.85 \text{ KA}$

Falla Bifásica sin Contacto a Tierra

$$I''K_{2p} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''K_{3p} = 23.47 \text{ KA}$$

Los valores parciales

Generador 1	$I''K = 9.63 \text{ KA}$
Generador 2	$I''K = 9.63 \text{ KA}$
Grupo de motores	$I''K = 4.21 \text{ KA}$

Falla Monofásica a Tierra

$$I''K_{1p} = 0.95 \times \frac{3}{713.01} = 0.0040 \text{ p.u.}$$

$$I''K_{1p} = 0.0040 \times \frac{2300}{\sqrt{3.660}} = 8.06 \text{ A}$$

Los valores parciales

Generador 1	$I''K_{1p} = 4.03 \text{ A}$
Generador 2	$I''K_{1p} = 4.03 \text{ A}$
Grupo de motores	$I''K_{1p} = 0.00 \text{ A}$

3.1.6 Cálculo de c.c. \ Falla en Punto 2 (lado 33 KV del Transformador

3.1.6.1 Falla Trifásica

Corriente Máxima de Cortocircuito

$$\text{Tenemos } \frac{E''}{U} = 1.1$$

$$R1 = 0.0064$$

$$X1 = 0.0806$$

$$ZF = \sqrt{(0.0064)^2 + (0.0806)^2} = 0.0809$$

$$I''_{K3p} = \frac{1.1}{0.0809} = 13.60 \text{ p.u.}$$

$$I''_{K3p} = 13.60 \times \frac{2300}{\sqrt{3} \times 33} = 548A$$

Los valores parciales son :

Generador 1 (Lado 33 KV)	I''_K	= 195.00 A
(Lado 660 V)	I''_K	= 9.75 KA
Generador 2 (Lado 33 KV)	I''_K	= 195.00 A
(Lado 660 V)	I''_K	= 9.75 KA
Grupo de motores	I''_K	= 158.00 A

Potencia de ruptura N''_K

$$N''_K = \sqrt{3} \times 0.548 \times 33 = 31.28 \text{ MVA}$$

Corriente de Ruptura I_a

Los valores parciales son :

Generador 1	$I_a = 1 \times 195$	= 195A
Generador 2	$I_a = 1 \times 195$	= 195A
Grupo de motores	$I_a = 0.90 \times 158$	= 142A

La corriente de ruptura total se obtiene de la suma de los valores parciales :

$$I_a = 532 \text{ A}$$

Impulso de la Corriente de Cortocircuito

$$\text{Donde } \frac{r}{x} = \frac{0.0064}{0.0806} = 0.0794$$

Por lo tanto $X = 2$

$$I_s = 2 \sqrt{2} \times 548 = 1550A$$

Los valores parciales son :

Generador 1 ó 2 (lado 33 KV)	$I_s = 551 A$
(lado 660 V)	$I_s = 27.55 KA$
Grupo de motores	$I_s = 448 A$

3.1.6.2 Falla Bifásica sin Contacto a Tierra

Corriente máxima de cortocircuito

$$I''K_{2p} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''K_{3p} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 548 = 474 A$$

Los valores parciales son :

Generador 1 ó 2 (lado 33 KV)	$I''K = 169A$
(lado 660 V)	$I''K = 9.75 KA$
Grupo de motores	$I''K = 136A$

Los valores de la corriente de ruptura y la corriente de impulso de c.c., serán mas bajos que los correspondientes al cortocircuito "trifásica", por lo que no los calcularemos.

3.1.6.3 Falla Monofásica a Tierra

$$Z_1 = Z_2 = 0.0064 + j 0.0806$$

$$Z_0 = j 0.027$$

$$Z_F = \sqrt{\frac{(0.0064+0.0064+0)}{2} + \frac{(0.0806+0.0806+0.027)}{2}}$$

$$= 0.1886$$

$$I''K1p = 1.1 \times \frac{3}{0.1886} = 17.50 \text{ p.u.}$$

$$I''K1p = 17.50 \times \frac{2300}{\sqrt{3} \cdot 33} = 705 \text{ A}$$

La falla reflejada en el lado de 660V del transformador sería :

$$I''Ks = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot I''Kp = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 17.50 = 10.12 \text{ p.u.}$$

$$I''Ks = 10.12 \times \frac{2300}{\sqrt{3} \cdot 660} = 20.40 \text{ KA}$$

3.1.7 Cálculo de c.c. Falla en Punto 3 (lado 230V del Transformador de Servicios Auxiliares)

3.1.7.1 Falla Trifásica

Corriente máxima de cortocircuito

$$\text{Tenemos } \frac{E''}{U} = 1.1$$

$$R1 = 0.92$$

$$X1 = 1.90$$

$$ZF = \sqrt{0.92^2 + 1.9^2} = 2.11$$

$$I''K3p = \frac{1.1}{2.11} = 0.5213 \text{ p.u.}$$

$$I''K3p = 0.5213 \times \frac{2300}{\sqrt{3} \cdot 230} = 3 \text{ KA}$$

3.1.7.2 Falla Monofásica a Tierra

$$Z_1 = Z_2 = 0.92 + j 1.90$$

$$Z_0 = j 1.75$$

$$Z_F = \sqrt{(0.92 + 0.92)^2 + (1.90 + 1.90 + 1.75)^2}$$

$$= 5.85 \text{ p.u.}$$

$$I''_{K1p} = 1.1 \times \frac{3}{5.85} = 0.564 \text{ p.u.}$$

$$I''_{K1p} = 0.564 \times \frac{2300}{\sqrt{3} \cdot 230} = 3.26 \text{ KA}$$

La falla reflejada en el lado de 660V del transformador sería :

$$I''_{Ks} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad I''_{Kp} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 0.564 \text{ p.u.} = 0.326 \text{ p.u.}$$

$$I''_{Ks} = 0.326 \times \frac{2300}{\sqrt{3} \cdot 660} = 657 \text{ A}$$

VALORES DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO FALLA EN PUNTO 1 (660V)

	<u>I''K máx</u>	<u>I''K mín</u>	<u>Ia</u>	<u>Is</u>	<u>IK máx</u>	<u>IK mín</u>
	<u>(KA)</u>	<u>(KA)</u>	<u>(KA)</u>	<u>(KA)</u>	<u>(KA)</u>	<u>(KA)</u>

Falla Trifásica

Generador 1 ó 2	12.90	11.14	12.90	36.49	7.6	3.0
Grupo de Motores	5.62	4.85	5.06	15.89		
TOTAL	31.42	27.13	30.86	88.87		

Falla Bifásica

Generador 1 ó 2	11.16	9.63	11.16	31.56	10.38	4.50
Grupo de Motores	4.89	4.21	4.40	13.84		
TOTAL	27.21	23.47	26.72	76.96		

Falla Monofásica

	<u>I''K máx</u>	<u>I''K mín</u>
	<u>(A)</u>	<u>(A)</u>

Generador 1 ó 2	4.63	4.03
Grupo de Motores	0.00	0.00
TOTAL	9.26	8.06

VALORES DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO FALLA EN PUNTO 2 (33KV)

	I''K máx (A)	I''K mín (A)	I _a (A)	I _s (A)
<u>Falla Trifásica</u>				
Generador 1 ó 2	195		195	551
Grupo de Motores	158		142	448
TOTAL	548		532	1,550

<u>Falla Bifásica</u>	
Generador 1 ó 2	169
Grupo de Motores	136
TOTAL	474

<u>Falla Monofásica</u>	
Generador 1 ó 2	
Grupo de Motores	
TOTAL	705

VALORES DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO FALLA EN PUNTO 3 (230V)

I''K máx
(KA)

<u>Falla Trifásica</u>	
Generador 1 ó 2	
Grupo de Motores	
TOTAL	3.00

<u>Falla Monofásica</u>	
Generador 1 ó 2	
Grupo de Motores	
TOTAL	3.26

3.2 Diseño de la Malla de Puesta a Tierra

3.2.1 Generalidades

El sistema de puesta a tierra deberá cumplir los siguientes fines

Proveer seguridad al personal de operación

Proveer una buena conexión a tierra de los neutros de los alternadores, descargadores de sobretensión, pararrayos atmosféricos, así como a todas las partes metálicas expuestas (estructuras, tanques, cercos, etc.)

Correcta operación de la protección.

Para cumplir con lo anterior el sistema de tierra debe tener :

La gradiente de potencial a tierra dentro y cerca de la casa de máquinas debe ser tal que al ocurrir una falla a tierra, la tensión de paso y de toque, queden limitados a valores seguros

Los conductores deben ser capaz de llevar la máxima corriente de falla a tierra sin sufrir daños ni sobrecalentamientos.

3.2.2 Datos Disponibles

ρ_o	= Resistividad del terreno	= 100 ohm-m
Icc	Corriente de cortocircuito a tierra	= 3,260A
ρ_{si}	= Resistividad superficial dentro de la casa de máquinas	= 3,000 ohm-m

ρ_{se}	= Resistividad superficial al exterior de la casa de máquinas	= 3,000 ohm-m
T	= Tiempo de eliminación de la falla	= 20 ciclos (0.33 seg.)
h	= Profundidad de enterramiento	= 1.5 m
ρ_h	= Resistividad promedio del hombre entre ambos pies	= 1,000 ohm
	Dimensiones de la casa de máquinas	= 25 x 15 m

Nota :

1. Como corriente de cortocircuito a tierra tomamos la de mayor valor (ver cálculo de cortocircuito).

3.2.3 Cálculos

3.2.3.1 Máxima Tensión de Toque Permisible

$$E_T = \frac{165 + 0.25 \rho_{se}}{\sqrt{T}} \quad (\text{Ref. 11})$$

$$E_T = \frac{165 + 0.25 \times 3000}{\sqrt{0.33}} = 1,593V$$

3.2.3.2 Máxima Tensión de Paso Permisible

$$E_P = \frac{165 + \rho_s}{\sqrt{T}} \quad (\text{Ref. 11})$$

$$E_P = \frac{165 + 3000}{\sqrt{0.33}} = 5,510V$$

3.2.3.3 Cálculo de la Resistencia de Puesta a Tierra Teórica

Fórmula de Laurent

$$R = \frac{\rho_o}{4r} + \frac{\rho_o}{L} \quad (\text{Ref. 11})$$

Donde

r = Radio en metros de una placa circular de área igual a la malla
 = 10.92 m.

L = Longitud en metros del total del conductor enterrado. Para nuestro caso la longitud mínima del conductor, será la necesaria para formar el perímetro de la casa de máquinas y las conexiones necesarias a los equipos = 200 m.

$$R = \frac{100}{4 \times 10.92} + \frac{100}{200} = 2.29 + 0.50 = 2.79 \text{ ohms}$$

3.2.3.4 Cálculo del Conductor (Efecto Térmico)

$$S = \frac{I_{cc}}{1973 \sqrt{\frac{\left(\log \frac{T_m - T_a + 1}{234 + T_a} \right)}{33 T}}} \quad (\text{Ref. 11})$$

Donde :

S = Sección del conductor en mm²

T_m = Máxima temperatura permisible en grados centígrados

T_a = Temperatura ambiente en grados centígrados = 30 grados centígrados

T_m para juntas empernadas = 250 grados centígrados (Ref.12)

$$S = \frac{3,260}{1973 \sqrt{\frac{\log \left(\frac{250 - 30 + 1}{234 + 30} \right)}{33 \times 0.33}}}$$

$S = 10.63 \text{ mm}^2$ que corresponde a un No. 6 AWG

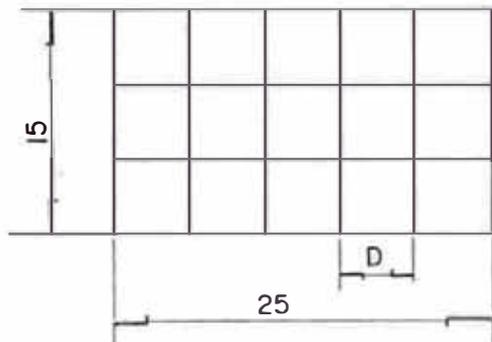
Según las recomendaciones del IEEE Grounding Guide, tomamos el conductor de calibre No. 2/0 AWG (67.43 mm², 10.5 mm Diámetro).

3.2.3.5 Configuración Preliminar de la Malla de Tierra

La longitud mínima de la malla de tierra será la necesaria para formar el perímetro de la casa de máquinas y la conexión a los equipos y estructuras a poner a tierra.

Por lo que la configuración mínima sería :

$$\text{Donde : } D = \frac{25}{5} = 5 \text{ m.}$$



$$L = 200 \text{ m.}$$

3.2.3.6 Cálculo de la Tensión de Toque

$$E = K_m K_i \frac{I_o}{L} \text{ Icc (Ref. 11)}$$

Donde :

K_m = Factor de configuración de la malla

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16 h d} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{(3)(5) \dots (2n-3)}{(4)(6) \dots (2n-2)}$$

$$K_i = \text{Factor de corrección de irregularidad} = 0.65 + 0.172 n$$

D = Espaciamiento entre conductores (m)

h = Profundidad de enterramiento = 1.5 m

d = Diámetro del conductor (m)

n = Número de conductores en paralelo

L = Longitud total del conductor (m)

Cálculos :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{5^2}{16 \times 1.50 \times 0.0105} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{(3)(5)(7)(9)}{(4)(6)(8)(10)}$$

$$= 0.732 - 0.226 = 0.506$$

$$K_m = 0.506$$

$$K_i = 0.65 + 0.172 n = 1.68$$

Luego :

$$E = 0.506 \times 1.68 \times \frac{100}{200} \times 3,260 = 1,386V$$

La cual es menor que la tensión de toque permisible.

3.2.3.7 Cálculo de la Tensión de Paso

$$E = K_s K_i \rho_o \frac{I_{cc}}{L} \quad (\text{Ref. 11})$$

Donde

$$KS = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots + \frac{1}{(n-1)D} \right]$$

$$KS = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \times 1.5} + \frac{1}{5+1.5} + \frac{1}{2 \times 5} + \frac{1}{3 \times 5} + \frac{1}{4 \times 5} + \frac{1}{5 \times 5} \right]$$

$$KS = \frac{1}{\pi} [0.7438] = 0.2368$$

Luego :

$$E = 0.2368 \times 1.68 \times \frac{100}{200} \times 3260 = .648 \text{ V}$$

Valor que es menor que la tensión de paso permisible.

3.2.3.8 Cálculo de la Resistencia de Puesta a Tierra Real

Método de Laurent

$$R = \frac{\rho_o}{L} + \frac{\rho_o}{4r} \quad r = \frac{\sqrt{A}}{1.77}$$

Donde :

A = Area cubierta por los conductores (m2)

$$R = \frac{100}{200} + 0.443 \times \frac{100}{\sqrt{25 \times 15}}$$

$$= 0.50 + 2.29 = 2.79 \text{ ohms}$$

Método de Schwarz

$$R = \frac{\rho_o}{L\pi} \left[\ln \frac{2L}{\sqrt{2hd}} + K1 \frac{L}{\sqrt{A}} - K2 \right]$$

Donde

A = Area cubierta por los conductores (m²)

K1 = 1.33 coeficientes que dependen de la forma de la malla y de la profundidad de enterramiento

K2 = 5.7

$$R = \frac{100}{\pi \times 200} \left[\frac{\ln \frac{2 \times 200}{\sqrt{2 \times 0.0105 \times 1.5}} + 1.33 \times \frac{200}{\sqrt{25 \times 15}}}{2} \right]$$

$$R = \frac{100}{\pi \times 200} \left[8.4135 + 13.73 - 5.7 \right]$$

$$R = \frac{100}{\pi \times 200} \left[16.4435 \right] = 2.6171 \text{ ohms}$$

3.3 Diseño Ducto de Barras 660V, 4000A

3.3.1 Parámetros de Diseño

Condiciones Climáticas

Temperatura máxima	14 Grados Centígrados
Temperatura mínima	-15 Grados Centígrados
Temperatura máxima media	+10 Grados Centígrados
Temperatura mínima media	-5 Grados Centígrados

Características Eléctricas

Capacidad de corriente	4000A
Tensión de servicio	660V

3.3.2 Elección de la Sección y Disposición de las Barras

Por la facilidad de encontrarlo en el mercado nacional escogemos barras de cobre, de una conductividad equivalente al tipo E-Cu, según DIN 43671.

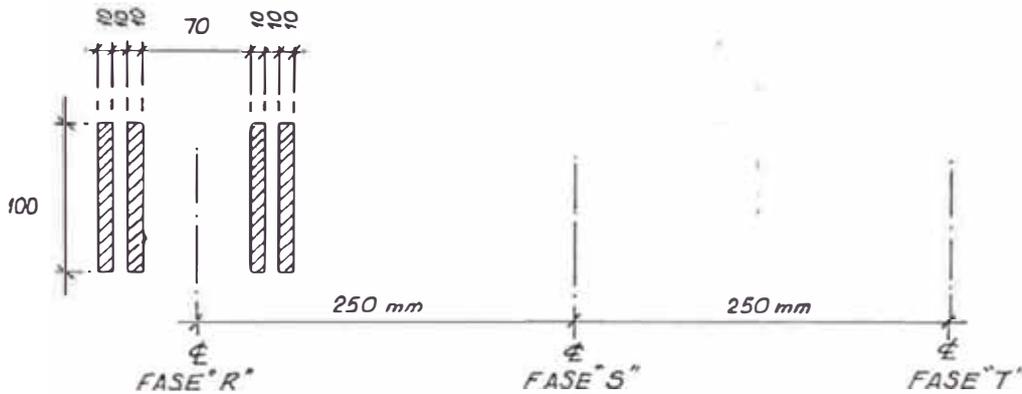
Las tablas dadas por las normas DIN 43671, donde están los valores de la capacidad corriente de diferentes secciones de barras, deben ser corregidas a las exactas condiciones del lugar donde serán instaladas.

$$I_{\text{real}} = I_{\text{tabla}} \times K1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5$$

Donde

- K1 = Factor de corrección por cambio de conductividad
- K2 = Factor de corrección por diferente temperatura del aire y/o barra
- K3 = Factor de corrección para variaciones de carga térmica debido a diferencias de disposición del embarrado
- K4 = Factor de corrección de carga eléctrica (en c.a.) debido a diferente disposición del embarrado

Para facilitar el montaje, convenimos en emplear cuatro barras planas de 100 x 10 mm, con el siguiente arreglo.



Los valores de los factores los hallamos del Manual BBC.

• Factor "K1"

Para un cobre de conductividad 55 m/OHM-mm²

$$K1 = 1.00$$

• Factor "K2"

Temperatura ambiente = 10 Grados Centígrados

Temperatura barras = 65 Grados Centígrados

$$K2 = 1.45$$

• Factor "K3"

Para barras en posición vertical K3 = 1

• Factor "K4"

Tomando en cuenta el arreglo de las barras, tenemos :

$$K4 = 0.74$$

• Factor "K5"

a 4,000 m.s.n.m. K5 = 0.90

Según tablas, para 4 barras de 100 x 10 mm y un material del tipo E-Cu F30

$$I \text{ tabla} = 4,530A$$

$$I_{real} = 4530 \times 1.0 \times 1.45 \times 1.00 \times 0.74 \times 0.90 = 4,375 \text{ Amp.}$$

Corriente que es mayor que la corriente solicitada de 4000 A.

3.3.3 Cálculo Dinámico, Térmico y de Resonancia

Cálculo Dinámico

- Solicitación entre fases (según VDE. 0103)

$$FH = 2.04 \times I_s \times 10^2 \times \frac{l}{a} \quad (\text{Kgs.})$$

Donde :

I_s = impulso de la corriente de corto circuito (KA)
= 88.87 KA (del estudio de c.c.)

l = separación entre apoyos = 100 cms

a = distancia entre centros de conductores principales
= 25 cms

$$FH = 2.04 \times (88.87) \times 10^2 \times \frac{100}{25} = 644 \text{ kgs.}$$

Esfuerzo de la fase

$$\sigma_H = \beta \frac{FH \cdot l}{8 \cdot w}$$

$\beta = 0.73$ (Tabla 5-2 del manual BBC)

$l = 100$ cms.

Por no tener refuerzos intermedios entre soportes:

$$W = t \times W_y$$

Donde

W_y = momento de resistencia de barra 100 x 10 mm

t = número de fases parciales

$W = 4 \times 1.666 = 6.664 \text{ cm}^3$

$$\sigma_H = 0.73 \times \frac{644 \text{ Kg.} \times 100 \text{ cm.}}{8 \times 6.664 \text{ cm}^3} = 882 \text{ Kg./cm}^2$$

- Solicitación entre fases parciales :

$$F_T = 2.04 \times \left(\frac{I_s}{t} \right)^2 \times 10^{-2} \times \frac{l_t}{a_t}$$

t = número de fases parciales

l_t = distancia máxima entre distanciadores

a_t = distancia efectiva entre las fases parciales

En nuestro caso :

$$t = 4$$

$$l_t = 100 \text{ cm.}$$

$$a_t = 2.5 \text{ cm. (Figura 5-2 del Manual BBC)}$$

$$F_T = 2.04 \times \left(\frac{88.87}{4} \right)^2 \times 10^{-2} \times \frac{100}{2.6} = 387 \text{ Kg.}$$

Esfuerzo de la fase parcial

$$\sigma_T = \frac{F_T \times l_t}{16 W_T}$$

$$W_T = \text{momento resistente} = 1.666 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_T = \frac{387 \times 100}{16 \times 1.666} = 1452 \text{ Kg./cm}^2$$

- Esfuerzo resultante:

$$\sigma_{\text{res}} = \sigma_H + \sigma_T = 882 + 1452 = 2,334 \text{ Kg./cm}^2$$

- Esfuerzo del soporte

$$F_s = V_f \alpha F_H$$

$$V_f = \frac{0.8 \sigma'_{02}}{\sigma_{RES}} \quad \text{para} \quad \sigma_{RES} < 0.80 \sigma'_{02}$$

Donde :

$$\sigma'_{02} = \text{Limite fluencia máxima} = 3,600 \text{ kg./cm}^2$$

$$V_f = \frac{0.80 \times 3,600}{2,334} = 1.23$$

$$\alpha = 1.00 \text{ (tabla 5.2 del manual BBC)}$$

$$F_s = 1.23 \times 1.00 \times 644 = 792 \text{ kg.}$$

Por lo tanto el esfuerzo de ruptura en la punta del aislador deberá ser como mínimo 1,250 kg.

- Esfuerzos Admisibles, se debe cumplir

$$\sigma_{RES} \leq 1.5 \sigma_{02} \quad \text{y}$$

$$\sigma_T \leq \sigma_{02}$$

Donde

$$\sigma_{02} = \text{Limite fluencia mínimo} = 2500 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{RES} = 2,334 \text{ Kg/cm}^2 \leq 1.5 \times \sigma_{02} = 3,750 \text{ Kg./cm}^2$$

$$\sigma_T = 1,452 \text{ Kg/cm}^2 \leq \sigma_{02} = 2,500 \text{ Kg./cm}^2$$

Por lo tanto el embarrado estaría bien diseñado.

Cálculo de Resonancia

Frecuencia natural

$$f_n = 112 \sqrt{\frac{E \times J}{G \times L^4}} \text{ ciclos/seg.}$$

Donde :

E = módulo de elasticidad = 1.10×10^6 Kg/cm²

J = momento de inercia = 0.833 cm⁴

G = peso de la barra en Kg/cm = 8.9×10^{-2} Kg/cm

L = long. barra = 100 cm.

$$f_n = 112 \sqrt{\frac{1.1 \times 10^6 \times 0.833}{8.9 \times 10^{-2} \times 100^4}} = 112 \times 0.321 = 35.95 \text{ ciclos/seg}$$

Se debe cumplir

$$f_n = 35.95 < 0.9 f_e = 0.9 \times 60 = 54 \text{ c/s}$$

Por lo tanto la solución es adecuada por resonancia.

Efectos Térmicos Debido a la Corriente de C.C.

Calculamos para el caso mas desfavorable

$$I_{th} = I''k \sqrt{(m + n) \times t_1}$$

Donde

m = factor de la componente asimétrica

n = factor de la componente simétrica

$t_1 =$ Tiempo de desconexión de la falla = 0.4 seg

$$\left. \begin{array}{l} I''K = 31.42 \text{ KA} \\ IK = 15.20 \text{ KA} \end{array} \right\} \frac{I''K}{IK} = 2.07$$

$$I_{th} = 31.42 \sqrt{(0.25 + 0.80) \times 0.4} = 20.36 \text{ KA}$$

que es el valor medio térmicamente activo, m y n se obtienen de la fig. 5-6 del manual BBC.

Tomando en cuenta que tenemos 4 barras de 100 x 10 mm por fase, la densidad de corriente sería :

$$S_{th} = \frac{20.36 \text{ KA}}{4(100 \times 10)} = 5.09 \text{ AMP/mm}^2$$

La densidad de corriente de breve duración nominal admisible, partiendo de una temperatura inicial $\theta_a = 85$ Grados Centígrados y no superando una temperatura final de $\theta_f = 200$ Grados Centígrados, se obtiene de la Fig. 5-7 del manual BBC.

$$S_{th n} = 130 \text{ A/mm}^2$$

Por lo tanto la solución es adecuada por efecto térmico.

3.3.4 Expansión Longitudinal de las Barras

La variación de longitud para el tramo más largo del ducto de barras (10 m), la hallamos mediante

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta \theta$$

Donde

$$L_0 = 10 \text{ m.}$$

-1

$$\alpha = 0.000017 \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta \theta = 85 \text{ Grados} - 10 \text{ Grados} = 75 \text{ K}$$

$$\Delta L = 10 \times 0.000017 \times 75 = 0.0128 \text{ m} = 12.80 \text{ mm}$$

Variación que será absorbida por las juntas de dilatación de este tramo.

La conexión del ducto de barras con el transformador de potencia, será ejecutado mediante junta de dilatación para que no sea transmitido al ducto, las vibraciones del transformador.

3.4 Cálculo del Transformador de Medida y Protección

3.4.1 Transformador de Potencial para Medición y Protección Carga Activa

	(VA)	Factor Potencia	Watts
Contador de KW-h	10.0	0.15	1.50
Vatímetro	8.5	1.00	8.50
Cosfímetro	12.5	1.00	12.50
Voltímetro	10.0	1.00	10.00
Frecuencímetro	10.0	0.99	9.90
Sincronoscopio	15.0	1.00	15.00
Voltímetro doble	10.0	1.00	10.00
Frecuencímetro doble	10.0	0.99	9.90
Relé de energía inversa	25.0	0.15	<u>3.75</u>
			81.05

Carga Reactiva

	(VA)	VAR
Contador de KW-h	10 x 0.989	9.89
Frecuencímetro	10 x 0.14	1.40
Frecuencímetro doble	10 x 0.14	1.40
Relé de energía inversa	25 x 0.985	<u>24.72</u>
		37.41

$$VA = (81.05 + 37.41) = 89.26 \text{ VA}$$

$$f.p. = \frac{81.05}{89.26} = 0.908$$

Por lo que el transformador de potencial elegido es de 100 VA, para un factor de potencia mínimo de 0.80 inductivo. Para nuestro caso es aconsejable que sea Clase 1.

3.4.2 Transformador de Corriente para Medición y Protección

Carga Activa

	(VA)	Factor Potencia	Watts
Relé de energía inversa	5	0.50	2.500
Contador de KW-h	2.5	0.37	0.925
Vatímetro	3	0.99	2.970
Cosfímetro	3	0.99	2.970
Amperímetro	0.7	0.80	0.560
Cables (5 metros)	2	1.00	<u>2.000</u>
			11.925

Carga Reactiva

	(VA)		VAR
Relé de energía inversa	5	x 0.866	4.3300
Contador de KW-h	2.5	x 0.929	2.3225
Vatímetro	3	x 0.141	0.4230
Cosfímetro	3	x 0.141	0.4230
Amperímetro	0.7	x 0.60	<u>0.4200</u>
			7.9185

$$VA = (11.925^2 + 7.9185^2)^{1/2} = 14.31 \text{ VA}$$

$$\text{f.p.} = \frac{11.925}{14.31} = 0.83$$

Por lo que el transformador de corriente, será de 20 VA, a un factor de potencia de 0.80.

Las precisiones serían :

Medición Clase 1.0; fs = 5
 Protección Clase 5P10

Para el caso de un cortocircuito, el núcleo de medida del transformador, tendrá un factor de saturación de :

$$F_s (\text{real}) = 5 \times \frac{20 \text{ VA}}{14.31 \text{ VA}} = 6.99$$

Por lo tanto, los instrumentos de medida y contadores deberán ser capaces de soportar una corriente momentánea no menor de 35 amperios.

3.5 Selección de la Protección del Generador

3.5.1 Introducción

Siendo el generador el núcleo de un sistema eléctrico de potencia, su protección supone la consideración de las máximas posibilidades de condiciones de funcionamiento anormal, en comparación con la protección de cualquier otro equipo del sistema.

La protección del generador concierne la protección de la máquina eléctrica, circuitos eléctricos, turbina, etc.

No es posible medir todos los riesgos o condiciones peligrosas de funcionamiento con un solo dispositivo de protección, por lo que se emplea una serie de ellos, los cuales deben desconectar la máquina inmediatamente, cuando la falla es interna o cuando las condiciones externas son tan anormales que de continuar en funcionamiento se producirían daños.

En este caso particular el tamaño del generador "no" ha determinado necesariamente la calidad de la protección, lo que ha prevalecido es el tratar de evitar que el generador sufra un daño considerable, debido a una falla prolongada, que lo haga salir de servicio por largo tiempo.

Ante una falla a tierra del bobinado estatórico del generador a objeto de limitar el daño de la falla se ha optado por conectar el neutro del generador a tierra mediante una resistencia (90 ohmios), la cual limita la corriente de falla a tierra a menos de 5A.

Las ventajas obtenidas de conectar el neutro a tierra son

Reduce la magnitud de las sobretensiones transitorias

Mejora la calidad del servicio

Reduce la frecuencia de las fallas

Aumenta la seguridad del personal

Simplifica la localización de una falla

Los siguientes riesgos requieren consideración

Falla en el aislamiento del estator

Sobre carga

Sobrevoltaje

Carga desbalanceada

Falla en el rotor

Perdida de excitación

Perdida de sincronismo

Falla en el motor-primo

Falla del sistema de lubricación

Excesiva vibración

Sobre velocidad

3.5.2 Protecciones Aplicadas

De las recomendaciones de los fabricantes de dispositivos de protección (ver referencia) y del proveedor de la turbina y el generador, se han seleccionado los siguientes equipos de protección.

3.5.2.1 Protección de Sobrecorriente

El cual es usado para la protección del generador. En este caso el relé de sobrecorriente está incorporado en el interruptor del generador.

3.5.2.2 Protección Sobrecarga

Protege a los circuitos de corriente, arrollamientos, cables, contra el sobre calentamiento.

Para la protección por sobrecarga estamos utilizando:

Relés térmicos de protección de sobrecarga, alimentados por transformadores de corriente, los cuales tienen la misma constante de tiempo que la del generador.

Termoresistencias (Pt100) embebidas en el arrollamiento del estator, en el ducto de entrada y salida del aire de refrigeración del generador.

3.5.2.3 Protección de Inversión de Energía

Es una prevención para la protección del generador y especialmente su motor-primo (turbina) contra sobrevelocidad, sobre temperatura y daño mecánico.

Para proteger esta falla usamos un relé de energía inversa.

3.5.2.4 Protección de Cortocircuito del Arrollamiento Estatórico

La principal protección contra corrientes de cortocircuito es la protección diferencial, es usada para la detección de cortocircuitos internos en la zona definida por los transformadores de corriente.

3.5.2.5 Protección de Sobre Voltaje

Es la protección de las máquinas eléctricas y circuitos de corriente contra daños causados por sobre voltajes.

El sobrevoltaje puede referirse a un transitorio o a la frecuencia industrial.

Sobre Voltaje Transitorio

Son los originados en el sistema de transmisión debido a las maniobras de operación y a disturbios atmosféricos. Para proteger al generador de este fenómeno se han ubicado para-rayos en las barras de 660V de los generadores.

Sobre Voltaje a Frecuencia Industrial

Puede ser causada por

Operación defectuosa del regulador de voltaje

Repentina pérdida de carga

Cortocircuito asimétrico

Para proteger al generador usamos un relé de sobrevoltaje de un ajuste alto.

3.5.2.6 Protección Falla a Tierra del Estator

Para limitar la corriente de falla a tierra, se ha optado por conectar el neutro del generador a tierra a través de una resistencia.

Al estar conectados en paralelo los dos generadores, se ha adoptado la utilización de dos relés, los que pasamos a describir.

En primer lugar tenemos un relé de sobrecorriente a tiempo definido, conectado al neutro del generador a través de un transformador de corriente 5/5A.

Luego tenemos un relé direccional de falla a tierra, el cual está conectado en la salida del generador, el cual toma la corriente residual de 3 transformadores de corriente 2000/20A y tensión residual de 3 transformadores de tensión $660/\sqrt{3}/100/\sqrt{3}$ V.

Los relés están conectados de tal manera que cuando ocurre una falla dentro de la zona de protección actúa el relé de sobrecorriente y no actúa el relé direccional, por lo que se abrirá el interruptor del generador. Asimismo, si la falla está fuera de la zona de protección, debe actuar primero o únicamente el relé direccional, no permitiendo que opere el interruptor del generador.

3.5.2.7 Protección de Sobrevelocidad

La desconexión de una carga del sistema causa sobrevelocidad, asimismo otro motivo de sobre velocidad es la mala operación del sistema de control de velocidad.

La transmisión de la velocidad de la unidad turbina-generador es hecha mediante un taquímetro generador el cual es montado adosado al extremo del eje de la turbina hidráulica.

La medición y comparación de la velocidad, es realizada por 4 relés de velocidad, los que están calibrados a las velocidades

Velocidad demasiada baja	540 rpm (0.90xVn)
Velocidad nominal (Vn)	600 rpm
Primera sobre velocidad	830 rpm (+38%)
Segunda sobre velocidad	870 rpm (+45%)

3.5.2.8 Fallas Mecánicas

Sobre Calentamiento de los Cojinetes

La unidad turbina-generador, posee tres cojinetes denominados:

- Posterior de turbina
- Medio del Generador
- Anterior del generador

En cada uno de los cojinetes, tenemos un termómetro de bulbo, con contactos para las funciones de alarma y parada de emergencia.

Además en el cojinete posterior de la turbina, tenemos una termoresistencia (Pt 100) para la medición remota de la temperatura.

Gobernador de Velocidad

Para supervisar la buena operación del gobernador (regulador) de velocidad, tenemos los siguientes dispositivos de protección

- Falla (rotura) de la correa de transmisión de velocidad al péndulo del gobernador
- Presión del aceite (regulación hidráulica) demasiado baja (14 bar)

- Nivel de aceite en el regulador demasiado bajo

Cámara de Carga

Para supervisar el nivel de agua en la cámara de carga, se tiene un interruptor de nivel del tipo flotador, el cual cumple las funciones de alarma (bajo nivel) y de parada de emergencia de los dos grupos (muy bajo nivel de agua).

3.5.3 Funciones de las Protecciones

3.5.3.1 Funciones Protección Turbina - Generador

Descripción de la Falla	Alarma	Disparo Interruptor	Supresión Campo	Cierre Rápido	Cierre V. Globo (esférica)
Temperatura cojinete posterior turbina 80 °C	X				
Temperatura cojinete posterior turbina 85 °C	X	X	X	X	X
Temperatura cojinete medio generador 80 °C	X				
Temperatura cojinete medio generador 85 °C	X	X	X	X	X
Temperatura cojinete anterior generador 80°C	X				
Temperatura cojinete anterior generador 85°C	X	X	X	X	X
Nivel de aceite regulador muy alto	X				
Nivel de aceite regulador muy bajo	X	X	X	X	X
Presión de aceite regulador muy baja	X	X	X	X	X
Falla correa péndulo	X	X	X	X	X
Velocidad turbina alta 830 rpm (138%)	X	X	X	X	X
Velocidad turbina excesiva 870 rpm (145%)	X	X	X	X	X
Temperatura bobinado generador alta	X				
Temperatura bobinado generador excesiva	X	X	X	X	X
Temperatura aire salida generador alta	X				
Temperatura aire salida generador excesiva	X	X	X	X	X
Falla circulación aceite cojinetes generador	X				
Protección sobrecorriente	X	X			
Protección sobrecarga	X	X			
Protección inversión de energía	X	X			
Protección diferencial	X	X	X	X	X
Protección sobrevoltaje	X	X	X	X	X
Protección a tierra estator	X	X	X	X	X

3.5.3.2 Funciones de Protección Generales

<u>Descripción de la Falla</u>	<u>Alarma</u>	<u>Parada de Emergencia G.1</u>	<u>Parada de Emergencia G.2</u>
Cierre de la válvula mariposa	X	X	X
Bajo nivel agua cámara carga	X		
Muy bajo nivel agua cámara carga	X	X	X
Temp. elevada Trans. Serv. Aux.	X		
Falta tensión Serv. Aux. CA.	X		
Falla del cargador de batería	X		
Cargador de batería desconectado	X		
Falta de tensión Serv.Aux. C.D.	X		
Falla a tierra en Serv.Aux. C.D.	X		

3.5.3.3 Significado de las Funciones

Alarma

Mediante la actuación de un relé de alarma tipo bandera es señalizada en forma específica la falla ocurrida. Asimismo, la operación de cualquiera de los relés de alarma hará funcionar un relé de parpadeo y una sirena de C.D.

Disparo del Interruptor

Mediante la acción del relé de protección o un sensor es excitada la bobina de disparo del interruptor 660V del generador involucrado.

Supresión del Campo

Consiste en suprimir el campo de la excitatriz del generador, esto se logra cortocircuitando dos bornes específicos del generador.

Como medida de seguridad existe un enclavamiento entre la posición del interruptor del generador y la posibilidad de suprimir el campo de excitación de tal forma que solo se podrá suprimir el campo de excitación cuando el interruptor este abierto.

Por otro lado se ha impuesto la condición que estando el interruptor del generador abierto no existirá "excitación" hasta que no se halla obtenido una velocidad mínima de 90% de velocidad nominal (V_n).

Cierre Rápido

Consiste en activar un solenoide ubicado en el regulador que produce el cierre de las toberas de inyección de agua a la turbina, haciendo actuar instantáneamente los deflectores del chorro de agua.

Cierre Válvula Globo (Esférica)

Ordena el cierre de la válvula globo, además de bloquear el circuito de apertura de la misma.

Parada de Emergencia

Consiste en realizar las siguientes funciones (ya descritas)

Disparo del interruptor

Supresión del campo de la excitatriz

Cierre rápido

Cierre válvula globo

3.5.4 Enclavamientos de Seguridad

El interruptor 660V del generador solo puede cerrar si se cumplen las siguientes condiciones :

Velocidad del grupo mayor que 90% de veloc.nominal

Que el conmutador de sincronización, está en la posición correcta

La supresión del campo de la excitatriz puede ser efectuado siempre que el interruptor 660V del generador esté en posición abierto.

Cumplida la condición anterior, el campo estará permanentemente suprimido, si la velocidad del grupo no supera el 90% de la velocidad nominal.

El conmutador de aumento de velocidad del grupo deberá quedar bloqueado cuando opera el relé de bloqueo o disparo.

Si la válvula mariposa está cerrada en más de 10%, estará bloqueado el circuito de apertura de la válvula globo o esférica.

CAPITULO 4 ESPECIFICACIONES TECNICAS

Las presente especificaciones tienen la finalidad de proporcionar los lineamientos generales para el suministro del equipamiento electromecánico de la Central Hidroeléctrica de Misapuquio.

El suministrador deberá entregar toda la información necesaria para la elaboración de la ingeniería de detalle.

4.1 Equipos de Maniobra

Posición 1

2 x 1 Interruptor tripolar automático. Con cámara de extinción en aire. Accionamiento manual y motorizado. Extraíble. Con un relé incorporado del tipo magnético para la protección de cortocircuito.

Características Principales

- Montaje	En celda interior
- Altitud de instalación	4200 m.s.n.m.
Tensión nominal	660V
Tensión de ensayo a frecuencia industrial (1')	3 KV
Frecuencia	60 Hz
- Corriente nominal	2500A
- Capacidad de apertura simétrica	45KA (rms)
- Capacidad de conexión	100KA (cresta)
- Máximo tiempo de apertura	50 ms
- Tensión auxiliar del motor	120V C.D.
Regulación del relé magnético	6 a 15 KA
- Con bobina de disparo del interruptor a distancia	
- Contactos auxiliares a 120V C.D.	
Poder de cierre	: \geq 5.A CD
Poder de corte	: \geq 0.5A(inductivo)

4.1.1 Diseño y Construcción

Para el diseño, construcción y pruebas deberán tomarse en cuenta las recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional. Publicación 157-1 y la VDE 0660.

Los equipos deberán tener una placa conteniendo las características eléctricas principales.

Deberá ser resistente a golpes y vibraciones

Deberá tener contactos auxiliares para la señalización remota de la posición del interruptor.

4.2 Equipos de Protección

Para el diseño de los equipos de protección se deberá tener en cuenta las siguientes características :

Tensión nominal de generación	660 V
Sistema de generación	Neutro a tierra mediante resistencia
Frecuencia	60 Hz
Corriente máxima de servicio continuo:	2000A
Potencia nominal del generador	2300KVA
Relación de transformación de los transformadores de corriente	2000/5 A

Posición 2

2 x 1 Relé diferencial de tanto por ciento, trifásico para su aplicación en la protección del generador.

Características Principales

- Montaje	Vertical saliente bornes hacia adelante
Corriente nominal	5A
- Tensión nominal auxiliar	120V C.D.
- Sobrecarga continua permisible	2 x In
- Máxima corriente permisible	
Por un segundo	50 x In
Por cinco segundos	30 x In
Límite de regulación de insensibilidad	10 a 50%
- Tiempo de operación	inmediato
- Contactos de disparo y señalización a 120 V C.D.	
Cantidad	: 4
Poder de cierre	: \geq 5A C.D.
Poder de corte	: \geq 0.5A (inductivo)
- Indicador de operación	
Tipo	Reposición manual

Posición 3

2 x 1 Relé de sobretensión, trifásico, para su aplicación en la protección del generador

Características Principales

- Montaje	Vertical saliente bornes hacia adelante
-----------	--

- Tensión nominal	: 110V - 3 ∅
- Valor de operación ajustable entre	: 1.2 a 2 Un
- Sobretensión continua permisible	: 2.5 Un
- Número contactos auxiliares	: 2
- Capacidad de los contactos a 120V C.D.	
A régimen continuo	: ≥ 5A C.D.
Poder de cierre	: ≥ 5A C.D.
Poder de corte	: ≥ 0.5A (Inductivo)
- Tiempo de operación ajustable entre	: 0.1 a 10 seg.
- Frecuencia	: 60 Hz
- Tensión nominal auxiliar	: 120V C.D.
- Indicador de operación	
Tipo	: Reposición manual
Señalización	: Sobretensión Fase R Sobretensión Fase S Sobretensión Fase T

Posición 4

2 x 1 Relé de falla a tierra del estator.

Se trata de una combinación de dos relés que en conjunto detectan y señalan la falla a tierra del bobinado estatórico del generador.

Relé Direccional

Deberá actuar cuando la falla a tierra este fuera de la zona de protección. Por lo tanto no deberá actuar cuando la falla a tierra esté dentro de la zona de protección. Será conectado a la tensión y corriente residual.

Características Principales

- Montaje	Vertical saliente, bornes hacia adelante
Tensión nominal auxiliar	120 V C.D.
Tiempo de operación ajustable	0.1 a 6 seg.
- Corriente nominal (bornes de corriente)	0.5A
- Rango de sensibilidad apropiada para poder ajustar el rango de protección a un mínimo del 90% del generador	
Número de contactos auxiliares	2
- Capacidad de los contactos	
A régimen continuo	\geq 5A C.D.
Poder de cierre	\geq 5A C.D.
Poder de corte	\geq 0.5 (inductivo)
- Indicador de operación tipo	Reposición manual

Relé de sobrecorriente de puesta a tierra, secundarios a tiempo independiente.

Características Principales

- Montaje	Vertical saliente, bornes hacia adelante
- Tensión nominal auxiliar	120V C.D.
Corriente nominal	1A
- Máxima corriente permisible	
Por un segundo	50 In
Por cinco segundos	30 In
Corriente de actuación	0.5 a 2 A
Temporización	0.1 a 10 seg.
- Contactos de disparo a 120 V C.D.	
Cantidad	\geq 2
Poder de cierre	\geq 5A C.D.
Poder de corte	\geq 0.5A (inductivo)
Indicador de operación tipo	Reposición manual

Posición 5

2 x 1 Relé térmico secundario, para su aplicación en la protección del generador

Características Principales

Montaje	Vertical saliente
Corriente nominal	5A
- Máxima corriente permisible	
Por un segundo	50 In
Por cinco segundos	30 In
- Constante de tiempo	40 minutos
- Temperatura de desconexión, dominio de regulación	0 - 100 °C
Contactos de apertura y señalización a 120V C.D.	
Cantidad	≥ 2
Poder de cierre	≥ 5A C.D.
Poder de corte	≥ 0.5 A (inductivo)
Con indicación continua de temperatura	

Posición 6

2 x 1 Relé de potencia inversa trifásico, para su aplicación en la protección del generador

Características Principales

- Montaje	Vertical saliente, bornes hacia adelante
Corriente nominal	5A
Tensión nominal	110V 3 Ø
Tensión nominal auxiliar	120V C.D.
Sobrecarga continua permisible	1.5 In
Sobretensión continua permisible	1.2 Vn

- Valor de operación ajustable entre : 0.5 a 8% Pn
- Temporización
- Temp. 1 1 - 6 seg.
- Temp. 2 10-60 seg.
- Capacidad de los contactos a 120V CD
- A régimen continuo \geq 5A C.D.
- Poder de cierre \geq 5A C.D.
- Poder de corte \geq 0.5A (inductivo)
- Indicador de operación tipo Reposición manual

Posición 7

Relés de sobrevelocidad, los cuales serán suministrados junto con la turbina.

El equipamiento completo por grupo estará compuesto por

1 generador taquimétrico que estará instalado al extremo del eje de la turbina hidráulica

4 relés de velocidad que operarán a las siguientes velocidades

Relé No. 1	540 rpm	o	90% VN
Relé No. 2	600 rpm	o	100% VN
Relé No. 3	830 rpm	o	138% VN
Relé No. 4	870 rpm	o	145% VN

Características Principales

- | | |
|----------------------------------|-------------------|
| Montaje | Vertical saliente |
| - Tensión nominal auxiliar | 120V C.D. |
| - Número de contactos auxiliares | \geq 2 |
| - Capacidad de los contactos | \geq 0.5A C.D. |

Posición 8

2 x 1 Relé de bloqueo o disparo de alta velocidad, aplicado para las operaciones simultáneas de desconexión del generador y parada de la turbina.

Características Principales

Montaje	Vertical saliente
Tensión nominal auxiliar	120 V C.D.
Tiempo de operación	≤ 12 ms
Contactos auxiliares	Reposición manual
Número de contactos auxiliares	8 pares
- Capacidad de los contactos	
A régimen continuo	≥ 5A C.D.
Poder de cierre	≥ 5A C.D.
Poder de corte	≥ 0.5 A (inductivo)
- Indicador de operación tipo	Reposición manual

Posición 9

1 relé de mínima tensión para corriente alterna trifásica, para su aplicación en los servicios auxiliares CA.

Características Principales

- Montaje	Vertical saliente
- Tensión nominal	230V, 3 Ø
- Funcionamiento sin fuente auxiliar	
Valor de operación ajustable entre	0.45 a 0.85 Un
- Sobretensión continua permisible	1.2 Un
Número de contactos auxiliares	2 NA
Capacidad de contactos a 120 V C.D.	
A régimen continuo	≥ 5A C.D.
Poder de cierre	≥ 5A C.D.
Poder de corte	≥ 0.5A (inductivo)
- Frecuencia	60 Hz

Posición 10

1 relé de mínima tensión para corriente continua.

Características Principales

Montaje	Vertical saliente
Tensión nominal	120V, C.D. (Un)
- Funcionamiento sin fuente auxiliar	
Valor de operación regulable entre	70 a 90% Un
Sobretensión continua permisible	1.2 Un
Número de contactos auxiliares	≥ 2
- Capacidad de contactos a 120 V C.D.	
A régimen continuo	≥ 5A C.D.
Poder de cierre	≥ 5A C.D.
Poder de corte	≥ 0.5A (inductivo)

Posición 11

1 relé para la detección de fallas a tierra de las baterías, con indicación del polo fallado.

Características Principales

Montaje	Vertical saliente
- Tensión nominal	120V, C.D. (Un)
- Sensibilidad	1000 ohm/V
- Número de contactos auxiliares	2 (uno para polo positivo y uno para polo negativo)
- Capacidad de contactos	
A régimen continuo	≥ 5A C.D.
Poder de cierre	≥ 5A C.D.
Poder de corte	≥ 0.5A (inductivo)

4.2.1 Diseño y Construcción

Para el diseño y construcción propiamente dicho, así como para las pruebas, deberán tenerse en cuenta las recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional. Publicaciones 225 (1ra, 2da y 3era parte) y 255-0-20 u otros que aseguren una calidad igual o superior a las recomendadas por la CEI.

Todos los relés comprendidos en el suministro deberán llevar una placa conteniendo las características técnicas principales, diagramas o esquemas eléctricos.

Los relés de protección deberán ser de alta precisión de medida, de tiempos cortos de actuación y de consumos reducidos para los transformadores de tensión y corriente y para las otras fuentes auxiliares.

Todos los elementos componentes de los relés de protección deberán alojarse en caja única de color negro y provistas de portezuela con vidrio transparente y de cierre hermético a prueba de polvo y humedad, todo lo cual deberá formar parte del suministro.

Deberán poder ser ensayados cuando están en servicio, operación que debe poder llevarse a cabo con la mayor facilidad.

Deberán ser resistentes a golpes y vibraciones.

Deberán ser diseñados con márgenes generosos de seguridad. En ningún caso y para ningún elemento constitutivo de los relés, se aceptará subdimensionamientos que comprometan la robustez y calidad de los aparatos.

Los relés de protección deberán disponer de elementos de señalización.

Los relés auxiliares deberán ser montados sobre bases de material duro y aislante y deberán tener el cuerpo o zócalo enchufable a la base y protegido por una cubierta transparente removible o prueba de polvo, humedad y ambientes corrosivos.

4.2.2 Pruebas

Las pruebas de aceptación se efectuarán según las normas CEI y tendrán lugar en los talleres y/o laboratorios del fabricante.

De todas las pruebas efectuadas se proporcionarán 4 copias del protocolo respectivo, debidamente firmadas por el fabricante de los equipos.

4.3 Equipos de Medición

4.3.1 Instrumentos Indicadores

Los instrumentos indicadores deberán conectarse al secundario de los transformadores de corriente y/o tensión y deberán tener las siguientes características principales.

Altitud de la instalación	:4200 m.s.n.m.
Tensión en el secundario del transformador de tensión	110 V CA
Corriente en el secundario del transformador de corriente	5A
Frecuencia de la red	60 Hz
Tensión de ensayo a frecuencia industrial, 1 minuto	2 KV rms
Clase de precisión	1.5
Dimensiones	96 x 96 mm
Amplitud de escala	
Fondo	blanco
Escala	negro
Montaje	empotrado
Posición	vertical

Posición 15

2 x 1 Voltímetro de hierro móvil, conectado a un transformador de tensión de 660/110V, alcance de medida 0-150V, escala 0-900V.

Posición 16

2 x 3 Amperímetros, conectado a transformador 2000/5A
Escala 0... 2/4 KA.

Posición 17

2 x 1 Frecuencímetro de láminas vibrantes, conectado a transformador de tensión 660/110V, escala 57-60-63 ciclos/seg.

Posición 18

2 x 1 Kilovatímetro de bobina móvil, conectado a transformadores de tensión 660/110V y transformadores de corriente 2000/5A, para cargas asimétricas. Escala 0-2.0 MW.

Posición 19

2 x 1 Cosfímetro de bobina móvil, conectado a transformador de tensión 660/110V y transformador de corriente 2000/5A, para cargas asimétricas. Escala capacitivo 0.50-1-0.50 inductivo.

Posición 20

1 Voltímetro doble de hierro móvil, para sincronización, conectado a transformadores de tensión 660/110V, alcance de medida 0-150V, escala 0-900V, dimensiones 144 x 144 mm.

Posición 21

- 1 Frecuencímetro doble de láminas vibrantes, para sincronización, conectado a transformador de tensión 660/110V, alcance de medida 55-60-65 ciclos/seg., máximo error permisible 0.3 % del valor real, dimensiones 144 x 144 mm.

Posición 22

- 1 Sincronoscopio de cocientes electrodinámicas, para sincronización, conectado a transformador de tensión 660/110V, aguja rotatoria, dimensiones 144 x 144 mm.

Posición 23

- 3 Amperímetros para servicios auxiliares 230V CA, conectado a transformador de corriente 150/5A. Escala 0-150/300A.

Posición 24

- 1 Voltímetro para servicios auxiliares 230V CA, escala 0-250V.

Posición 25

- 1 Kilovatímetro de bobina móvil, para servicios auxiliares CA, conectado directamente a la tensión de 220V CA y transformadores de corriente 150/5A, para cargas asimétricas escala 0-50 KW.

Posición 26

- 1 Voltímetro para servicios auxiliares de corriente continua. Escala 0-250V C.D.

Posición 27

- 1 Amperímetro para servicios auxiliares de corriente continua, conectado por medio de un reostato shunt de 6A/60 mv, escala 0-6A.

4.3.2 Instrumentos Indicadores de Temperatura

Los indicadores de temperatura deberán conectarse a termómetros de resistencia tipo Pt 100 (conexión bifilar) ubicados en los bobinados, hierro y ductos de salida y entrada de aire del generador, así como en el cojinete de la turbina.

Características Principales

Altitud de instalación	4200 m.s.n.m.
Sensor	Termómetro resistencia tipo Pt 100
Conexión	Bifilar
Tensión auxiliar	120V C.D.
Escala	0-150 °C

Posición 28

- 2 x 1 Indicador de temperatura, a conectarse al sensor de la entrada de aire de ventilación del generador.

Posición 29

- 2 x 5 Indicadores de temperatura dotados además de relés de alta y muy alta temperatura para alarma y desconexión. Usos :

- 3 para los bobinados y el hierro del estator
- 1 aire de salida de ventilación del generador
- 1 cojinete de la turbina.

4.3.3 Contadores de Energía

Los contadores de energía se conectarán al secundario de los transformadores de tensión y de corriente y deberán tener las siguientes características principales :

Altitud de instalación	:4200 m.s.n.m.
Tensión del secundario del transformador de tensión	110V CA
Corriente del secundario del transformador de corriente	5A
Frecuencia de la red	60 Hz
Tensión de ensayo a frecuencia industrial, 1 minuto	2 KV rms
Clase de precisión	1.5
Número de dígitos	6
Montaje	Vertical saliente bornes hacia adelante

Posición 30

2 x 1 Contador de energía activa trifásica, conectado a transformadores de tensión 660/110V, y transformadores de corriente 2000/5A, apto para cargas asimétricas.

Posición 31

1 Contador de energía activa trifásica, para servicios auxiliares CA, conectado a transformadores de corriente 150/5A y directamente a la tensión CA trifásica 230V CA.

4.3.4 Conmutadores

Posición 32

- 3 Conmutador voltimétrico de 4 posiciones para ser usados con los voltímetros de las posiciones (15) y (24).

Posición 33

- 1 Conmutador de sincronización, de 3 posiciones, para ser usado con los instrumentos de posición (20), (21) y (22). Con llave de seguridad.

<u>Posición</u>	Estado
0	Reposo
1	Comparación G1/barras 660V
2	Comparación G2/barras 660V

4.3.5 Diseño y Construcción

Los aparatos serán diseñados y contruidos teniendo en cuenta las recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

Los equipos serán diseñados considerando que su instalación será a una altitud de 4200 m.s.n.m.

La placa de los equipos deberá contener las características técnicas principales y diagramas eléctricos en idioma español.

4.3.6 Pruebas

Los equipos serán probados de acuerdo a las normas CEI u otras que aseguren igual o mejor calidad para los equipos.

4.4 Transformadores de Corriente y Tensión

Posición 40

2 x 3 Transformadores de corriente para su uso en la protección diferencial del generador. Los transformadores instalados en el punto neutro del generador, han venido suministrados en el propio generador.

Características Principales

Montaje	Interior
Tipo	Toroidal
Altitud de instalación	4200m.s.n.m.
Tensión nominal	660V
Frecuencia	60 Hz
Tensión de ensayo frecuencia industrial, 1 minuto	2 KV r.m.s.
Relación de transformación	2000/5A
Clase de precisión	5P10
Potencia de salida	20 VA
Sobrecarga continua permisible	20%
Corriente límite térmica durante 1 seg. I_{th}	10 KA
Corriente límite dinámica (I_s)	40KA

Posición 41

2 x 3 Transformadores de corriente, para su uso en el relé de potencia inversa y en los equipos de medición del generador.

Características Principales

Montaje	Interior
Tipo	Toroidal

Altitud de instalación	4200 m.s.n.m
Tensión nominal	660 V
Frecuencia	60 Hz
Tensión de ensayo a frecuencia industrial, 1 minuto, seco y húmedo	2 KV r.m.s.
Relación de transformación	2000/5A
Clase de precisión	Clase 1
Potencia de salida	20 VA
- Sobrecarga continua permisible	20%
- Factor de saturación, menor o igual	5
Corriente límite térmica durante 1 seg. Ith	10 KA
- Corriente límite dinámica	40 KA

Posición 42

2 x 2 Transformadores de tensión, para su uso con los equipos de medición del generador y de sincronización.

Características Principales

- Montaje	Interior
- Altitud de instalación	4200 m.s.n.m
- Tensión nominal	660 V
- Tensión de aislamiento	1000 V
- Frecuencia	60 Hz
Tensión de ensayo a frecuencia industrial, 1 minuto seco y húmedo	2 KV rms
- Rango de tensión de operación para la precisión garantizada, de 660 V	80 a 120%
- Relación de transformación	660/110 V
Número de arrollamientos secundarios	1
Clase de precisión	1
Potencia de precisión a f.p. = 0.8	100 VA
- Rango de carga de operación para la precisión garantizada, de la potencia de : 25 a 100% precisión	

Posición 43

2 x 3 Transformadores de tensión para su uso con el relé de sobretensión trifásico, para la protección del generador.

Características Principales

Similares a los transformadores de la posición (42).

Posición 44

2 x 1 Transformadores de corriente, para su uso con el relé térmico secundario, para la protección del generador.

Características Principales

Similares a los transformadores de la posición (40).

Posición 45

1 Transformador de tensión, para su uso en los instrumentos de sincronización.

Características Principales

Similares a los transformadores de la posición (42).

Posición 46

3 Transformadores de corriente, para su uso, en los instrumentos de medición del tablero de servicios auxiliares de CA.

Características Principales

- Montaje

Interior

Tipo	Toroidal
Altitud de instalación	4200 m.s.n.m.
Tensión nominal	230 V
Frecuencia	60 Hz
Tensión de ensayo o frecuencia industrial, 1 minuto seco y humedo	2 KV rms
- Relación de transformación	150/5A
Clase de precisión	Clase 1
Potencia de salida	10 VA
Sobrecarga continua permisible	20%

4.5 Equipos para Servicios Auxiliares

Los servicios auxiliares serán alimentados por las barras principales de 660V o por un grupo electrógeno de emergencia.

Posición 50

- 1 Transformador de servicios auxiliares CA.

Características Principales

- Montaje	En celda interior
Altitud de instalación	4200 m.s.n.m.
- Potencia nominal	50 KVA
- Número de fases	Tres
- Frecuencia	60 Hz
Tipo	Seco
- Devanado Primario	
Tensión nominal	660 +/- 2x 1.5% V
Conexión	Delta
- Devanado Secundario	
Tensión nominal	230 V
Conexión	Estrella con neutro a tierra
- Cambiador de derivaciones	

Tipo	Vacío
Gama de regulación	+/- 2 x 1.5%

Estará dotado de dos sensores de temperatura que indiquen alta y muy alta temperatura en los bobinados del transformador.

Posición 51

1 Grupo electrógeno de emergencia.

Se ha implementado un grupo existente en el complejo minero.

Características Principales

- Montaje	Interior
- Altitud de instalación	4200 m.s.n.m.
- Potencia nominal	250 KVA
- Número de fases	3
- Frecuencia	60 Hz
Factor de potencia	0.80
- Tensión nominal	230 V

Posición 52

Interruptor automático, compacto, trifásico, para la protección del transformador de servicios auxiliares, lado de 660V

Características Principales

Tipo	Termomagnético
Montaje	Rasante en tablero
Tensión nominal	660V
Corriente nominal	100A

- Poder de corte	40 KA
Contactos auxiliares	1 NA + 1 NC
- Capacidad del contacto auxiliar	
Poder de corte	0.5A, 120V C.D.
Poder de cierre	1.0A, 120V C.D.
- Debe incluir enclavamiento de puerta	
- Operación	Frontal manual

Posición 53

Conmutador manual de doble cambio para ser utilizado en la elección de alimentación a los servicios auxiliares CA.

Características Principales

Tipo	Manual
Montaje	Rasante en tablero
- Número de fases	3
- Tensión nominal	230V CA
Corriente nominal	150A
Con contactos auxiliares para indicación de la posición del conmutador.	

Posición 54

Interruptor automático, compacto, trifásico, ubicado entre el conmutador de la posición (53) y las barras de 230V de servicios auxiliares de CA.

Características Principales

Tipo	Termomagnético
Montaje	Rasante en tablero
Tensión nominal	230V CA
Corriente nominal	150A CA
Poder de corte	10KA

Contactos auxiliares	1NA + 1 NC
Capacidad del contacto auxiliar	
Poder de corte	0.5A
Poder de cierre	1.0A
Debe incluir enclavamiento de puerta	
Operación	Manual frontal

Posición 55

Interruptores automáticos, para el tablero de servicios auxiliares C.A.

Características Principales

- Tipo	Termomagnético
- Montaje	Rasante en tablero
- Tensión nominal	230V CA
Corriente nominal	35-50A
- Poder de corte	10 KA
- Operación	Manual frontal
Número de polos	3

Posición 56

Interruptores automáticos, para el tablero de servicios auxiliares C.D.

Características Principales

Tipo	Termomagnético
Montaje	Rasante en tablero
Tensión nominal	120V CD
Corriente nominal	10-30A
Poder de corte	0.6 KA C.D.
Operación	Manual frontal
Número de polos	2

Posición 57

- 1 Seccionador bajo carga, para desconectar el suministro de corriente continua desde el cargador.

Características Principales

Montaje	rasante en tablero
Tensión nominal	120V C.D.
Corriente nominal	150 A
Operación	Manual frontal
Número de polos	2

Posición 58

- 1 Seccionador fusible, para la protección del banco de baterías

Características Principales

- Montaje	Rasante en tablero
- Tensión nominal	120 V C.D.
- Corriente nominal	150A
Operación	Manual frontal
Número de polos	2
Capacidad de los fusibles	35A

4.5.1 Diseño y Construcción

Para el diseño, construcción y pruebas de los interruptores de baja tensión se tendrán en cuenta las normas CEI. Publicaciones 293, 337 y 408 u otras que aseguren igual o mejor calidad.

Todos los equipos deberán ser resistentes a golpes y vibraciones.

Todos los equipos deberán llevar una placa conteniendo las características principales, diagramas o esquemas eléctricos, indicando la función de cada uno de los bornes de conexión.

Los interruptores automáticos deberán ser alojados dentro de caja protectora, la cual deberá ser de color negro. Los bornes para la instalación de los conductores deberán quedar cubiertos para la protección del personal.

4.5.2 Pruebas

El fabricante de los materiales eléctricos deberá certificar las características y la calidad de los materiales, para lo cual deberán efectuar las pruebas correspondientes a los equipos, debiendo proporcionar los respectivos protocolos de prueba.

Dichas pruebas se efectuarán según normas CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) u otras normas que aseguren igual o mejor calidad para los equipos.

4.6 Banco de Baterías y Cargador

Las baterías y el cargador alimentarán los circuitos auxiliares en 120 V corriente continua, que a continuación describimos

Circuitos de iluminación de emergencia

Circuito de mando

Circuito de señalización

Circuito de protección

Posición 60

1 Banco de baterías del tipo estacionario de

Niquel-Cadmio, montadas sobre soportes de madera tratada o soportes metálicos pintados con una capa básica de pintura resistente al electrolito y un terminado de esmalte gris. Desde el punto de vista de mantenimiento, todas las celdas deberán alcanzarse fácilmente mediante acceso directo.

Características Principales

Tipo	Niquel-Cadmio
Número de celdas	100
- Tensión nominal	120V C.D.
- Tensión mínima	96V
- Tensión máxima	144V
- Capacidad nominal en 5 horas	90 A-hora

Posición 61

- 1 Cargador automático para las baterías de la posición (60). El cargador deberá operar en el sistema de 230 voltios, con una variación de $\pm 10\%$ y una desviación de frecuencia de $\pm 5\%$. El cargador estará en paralelo con las baterías y será diseñado para operar en dos regímenes de carga.

Flotante Para suministrar la carga normal de la casa de máquinas y las pérdidas internas de la batería.

Rápido Para cargar la batería durante un tiempo igual al del régimen de descarga normal (5 horas), desde la tensión mínima de 96 voltios hasta la tensión de carga completa.

Para el control de la tensión y corriente de carga, se deberá prever un voltímetro y un amperímetro, con una escala igual a 150% las condiciones nominales.

Características Principales

Tensión de alimentación	230 V CA (monofásico)
Frecuencia nominal	60 Hz
Tensión nominal	120 V C.D.
Corriente nominal	10A C.D.

4.6.1 Diseño y Construcción

Las baterías deberán ser construidas de acuerdo con las siguientes recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

- a. Publicación 95-1 Prescripciones generales y métodos de ensayo
- b. Publicación 95-2 Dimensiones de baterías
- c. Publicación 95-3 Dimensiones e indicaciones de polaridad de bornes

u otras normas que aseguren una calidad igual o superior a las recomendadas por la CEI.

Los equipos serán diseñados teniendo en cuenta que serán instalados a una altura de 4200 m.s.n.m.

Las baterías y el cargador serán para montaje interior.

4.7 Ducto de Barras

Posición 62

Ducto de barras, 3 fases con envoltura metálica, el cual conectará los tableros de salida de los generadores con el transformador de la S.E. de salida.

4.7.1 Características Eléctricas Principales

Montaje	Interior y exterior
Altitud de instalación	4200 m.s.n.m.
Tensión nominal	660 V
Tensión de aislamiento	2.0 KV
Frecuencia	60 Hz
Corriente nominal	4000 A
- Tensión de ensayo o frecuencia industrial, 1 minuto	2 KV rms
- Barras de conducción	Cobre 100 x 10 mm, E-Cu-F30 (DIN 43671).

4.7.2 Características Mecánicas Principales

El ducto deberá tener ángulos de refuerzo a todo lo largo, así como cada metro deberá tener marcos de refuerzo.

El espesor de la plancha del ducto será de 1/16". Galvanizada en caliente.

El techo del ducto deberá ser removible y en donde va ubicado a la intemperie deberá tener una inclinación o doble inclinación para el drenaje del agua de lluvia.

El ducto estará formado básicamente por 3 tramos rectos de una longitud de

Tramo 10 mt.

Tramo 4.32 mt.

Tramo 6.30 mt.

Los pernos, tuercas, arandelas deberán ser cadmiadas.

Las barras serán pintadas según las normas DIN

Fase R color amarillo

Fase S color verde

Fase T color lila

Su ventilación será natural.

4.7.3 Pruebas

Las pruebas se efectuarán en el taller del fabricante. Para la aceptación de los ductos, deberán hacerse satisfactoriamente las siguientes mínimas pruebas :

Ensayos dieléctricos

Ensayo de elevación de temperatura

Ensayo de estanqueidad a la lluvia

4.8 Cables de Fuerza y Control

4.8.1 Cables de Fuerza

- Tensión nominal	1 KV
Conductor	cobre electrolítico
Aislamiento	PVC
Tensión de Prueba 1 minuto	3 KV rms

Diseño y Fabricación

Los cables de fuerza serán diseñados y fabricados bajo las siguientes normas u otras que aseguren igual o mejor calidad.

Conductor de cobre electrolítico	ASTM -B3
- Cableado de los hilos, aislamiento y protección	CEI 20-1

4.8.2 Cables de Control

Los cables de control se utilizarán para la conexión de los circuitos de mando, protección, señalización y medición de las instalaciones.

Los cables de mando, protección y medición tendrán una sección mínima de 2.5 mm². Los cables de señalización y alarmas tendrán una sección mínima de 1.5 mm².

Características Principales

Forro exterior del cable	PVC
Aislamiento de los conductores	PVC
Tensión nominal	1 KV
Frecuencia nominal	60 Hz
Tensión de prueba frecuencia industrial, 1 minuto	3 KV rms

Diseño y Fabricación

Los cables de control serán diseñados y fabricados de acuerdo a las normas de fabricación de cables de la CEI No. 227, 227a, 228 y 230 y VDE (normas alemanas) No. 0271, en concordancia con la forma de instalación y operación de dichos cables.

Los hilos de los cables deberán ser claramente identificables en el aislamiento de PVC. Este aislamiento, en los cables de hasta 4 hilos inclusive, deberá ser de color (de preferencia amarillo, verde, blanco y rojo) y en los de más de cuatro hilos deberá llevar numeración correlativa.

El color del forro externo será el mismo para todos los cables y será de color negro.

4.8.3 Pruebas

Las siguientes pruebas deberán ser efectuadas en los laboratorios del fabricante, tomándose una muestra de cada tipo de cable fabricado.

- a. Prueba de tensión de acuerdo al Artículo 11 de la norma VDE 0271
- b. Prueba de resistencia a la tensión, bajo humedad y temperatura elevada de acuerdo al artículo 12 de la norma VDE 0271
- c. Prueba de rigidez dieléctrica y resistencia de aislamiento de acuerdo al capítulo 1.5 de la norma CEI 227.

4.9 Tableros de Fuerza, Mando, Control y Servicios Auxiliares

4.9.1 Fabricaciones Metálicas

Los tableros deberán permitir un fácil acceso a su interior. Las láminas de acero de los paneles, no deberán presentar ondulaciones ni aplastamientos y serán de un espesor no menor de dos milímetros.

Las estructuras metálicas de los tableros deben ser construidas en perfiles de acero en forma de L o U, de dimensiones convenientes para asegurar una gran rigidez al conjunto. Los tableros deberán fabricarse en módulos para facilitar su transporte, siendo ensamblados en obra por medio de pernos.

Todos los paneles del tablero, así como todos los bastidores deberán tener sus bornes para conexión de puesta a tierra.

La soldadura a utilizar será en todos los casos del tipo eléctrico.

Las deformaciones de las piezas por efecto de soldadura deberán ser rectificadas sólo térmicamente.

Los pernos y arandelas serán en todos los casos de fierro galvanizado.

Los paneles no tendrán piso, para el fácil acceso de los cables desde los canales de cables.

4.9.2 Tratamiento Anticorrosivo

Una vez concluidos los trabajos a efectuarse sobre las partes metálicas, tales como cortes, taladrado de huecos, soldaduras, etc. se procederá a efectuar el siguiente tratamiento anticorrosivo.

- a. Preparar la superficie metálica a pintar eliminando la capa de laminación de óxido, grasa o suciedad.
- b. Una vez con la superficie limpia, aplicar una mano de pintura imprimante (wash primer)
- c. Aplicación de pintura anticorrosiva del tipo zinc coat hasta obtener un espesor de 2 mills.
- d. Aplicación de pintura de acabado, del tipo esmalte hasta completar un espesor de 3 mills.
- e. Resanes de la pintura de acabado, una vez instalados en la obra.

4.9.3 Montaje de Aparatos y Cableado

Una vez concluida la fase de pintura en taller, el suministrador procederá al montaje de aparatos y cableado del tablero.

Los conductores deberán disponerse en capas en canales cerrados de buena apariencia estética y que permitan un fácil cableado.

Los aparatos que se monten en el interior de los tableros, deberán ser fácilmente accesibles.

Los conductores de preferencia deberán ser de los siguientes colores según su uso :

Rojo En los circuitos de transformadores de corriente y de tensión

Negro Conexiones de los circuitos de corriente alterna que no sean transformadores de corriente o tensión.

Azul Conexiones de los circuitos de corriente continua.

Los conductores a usarse, salvo en los circuitos de fuerza que deberán ser adecuados a las cargas, serán los siguientes :

Para los circuitos de mando y tensión 1.5 mm² de sección

Para los circuitos de corriente 2.5 mm² de sección

4.10 Material Diverso

Las siguientes especificaciones se refieren al material diverso que se utilizará en la ejecución de las instalaciones.

El material diverso estará diseñado para una tensión de ensayo a frecuencia industrial 60 Hz de 2 KV rms, 1 minuto.

Posición 63

Relés auxiliares para corriente continua, compuestos de zócalo o base de material duro y aislante y cuerpo extraíble de la base.

Características Principales

Tensión nominal	120 V C.D.
Número de contactos	≥ 4
- Capacidad de los contactos a tensión nominal	
A régimen continuo	5A CA o CD
Poder de cierre	10A CA o CD
Poder de corte	0.1A (inductivo)
- Montaje	Saliente
Bornes	Hacia adelante

Posición 64

Contactores trifásicos, para motores tipo jaula de ardilla. Con relés térmicos montados directamente sobre el contactor.

Características Principales

Tensión del motor	220 V CA
Potencia del motor	0.75 KW
Tensión auxiliar del contactor	120 V C.D.
Número de contactos auxiliares	2 N.A. + 2 N.C.
- Capacidad de los contactos auxiliares	
A régimen continuo	5A C.D.
Poder de cierre	5A C.D.
Poder de corte	0.5A (inductivo)
Montaje	saliente
- Bornes	hacia adelante

Posición 65

Relés auxiliares, temporizados a la excitación.

Características Principales

Tensión nominal	120 V C.D.
- Rango de temporización	
Número de contactos	uno conmutable
- Capacidad de los contactos	
A régimen continuo	5A C.D.
Poder de cierre	5A C.D.
Poder de corte	0.5A (inductivo)
Montaje	saliente
- Bornes	hacia adelante

Posición 66

Relés para luz intermitente, para ser usados en el parpadeo de los focos que señalizan una falla.

Características Principales

Tensión nominal	120 V C.D.
Número de contactos	dos
- Capacidad de los contactos	
A régimen continuo	5A C.D.
Poder de cierre	5A C.D.
Poder de corte	0.5A (inductivo)
Montaje	saliente
Bornes	hacia adelante

Posición 67

Relés anunciadores de alarma óptica, de 3 posiciones "Alarma" "Alarma Apagada" y "Falla Remediada".

Características Principales

Tensión nominal	120 V C.D.
Número de contactos auxiliares	dos conmutables
- Capacidad de los contactos	
A régimen continuo	5A C.D.
Poder de cierre	5A C.D.
Poder de corte	0.5A (inductivo)
Montaje	Empotrado
Posición	Vertical

Posición 68

Pulsadores de mando para maniobras a distancia.

Características Principales

Tensión nominal	120 V C.D.
- Poder de cierre de los contactos	5A C.D.
- Con placa leyenda	
- Diámetro	30 mm
Montaje	rasante en el ta- blero
- Número de contactos	≥ 4

Posición 69

2 x 1 pulsadores para parada de emergencia de los grupos

Características Principales

- Tipo	: Hongo rojo Diám. 45 mm
Tensión nominal	120V C.D.
Montaje	rasante en el ta- blero
Poder de cierre de los contactos	5A C.D.
Número de contactos	≥ 4

Posición 70

Focos de indicación de posición y señalización de fallas completos.

Características Principales

Tensión nominal	120V C.D.
Diámetro	30 mm
- Con placa leyenda	
- Montaje	rasante en tablero

Posición 71

2 x 1 Conmutador de tres posiciones para seleccionar el funcionamiento de la bomba principal o de reserva del sistema de lubricación de los cojinetes de los generadores.

Características Principales

Tipo	3 posiciones
Tensión Nominal	120 V C.D.
Poder de cierre de los contactos	5A C.D.
Montaje	rasante en tablero

Posición 72

2 x 1 Conmutador de tres posiciones con retorno automático a la posición central, para el control remoto de la velocidad de la turbina "más lento" o "más rápido".

Características Principales

Tensión Nominal	120 V C.D.
Poder de cierre de los contactos	5A C.D.
Montaje	rasante en tablero

Posición 73

Bocinas de alarma 'acústica.

Características Principales

Tensión Nominal	120 V C.D.
Nivel de sonido a 1 m.	110 dB
Clase de protección según CEI 144	IP 54

Posición 74

Seccionador fusible tripolar ubicado en el primario (lado de 660V) de los transformadores de tensión

Características Principales

- Tensión Nominal	660 V
- Tensión de ensayo, frecuencia industrial, 1 minuto	2 KV rms
Corriente nominal	10A
- Corriente de cortocircuito admisible durante 1 segundo	12 KA rms
Clase de protección según CEI 144	IP40

4.10.1 Diseño y Construcción

Para el diseño y construcción, así como pruebas de los relés auxiliares se deberá tomar en cuenta las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional, Publicaciones 252, 255-1, 255-2, 255-3 y 255-020 u otras que aseguren igual o mejor calidad.

Todos los equipos deberán ser resistentes a golpes y vibraciones.

Los relés auxiliares deberán ser montados sobre bases de material duro y aislante, así como también tener el cuerpo o zócalo enchufable a la base.

Todos los equipos deberán llevar una placa conteniendo las características principales, diagramas o esquemas eléctricos, indicando la función de cada uno de los bornes de conexión.

CAPITULO 5 - COSTOS

5.1 Determinación del Costo de Producción de Energía

5.1.1 Premisas y Datos Físicos

- a. Potencia instalada 3940 KW
- b. Número de unidades dos
- c. La vida útil de las instalaciones se ha estimado en 10 años (período máximo de recuperación de las inversiones en la actividad minera).

5.1.2 Inversiones

El monto de las inversiones correspondientes a la Central Hidroeléctrica de Misapuquio asciende a 13'668,700 US\$ que se distribuye de la siguiente forma :

Obras de Ingeniería Civil

	<u>Miles de Dólares Americanos</u>
- Presa "Huisca-Huisca"	389.1
- Presa "Arcata"	855.6
- Canal de conducción	4,509.3
- Cámara carga y canal de masas	1,173.7
- Tubería de presión	577.5
- Casa de máquinas	410.3
- S.E. Misapuquio	12.4
- S.E. Arcata	12.5
- Línea de Transmisión	<u>143.0</u>
	(59%) 8,083.4

Suministros electromecánicos (en miles de dólares americanos)

	Suministro	Montaje	Total
- Cámara de carga	130.1	27.3	157.4
- Tubería de presión	530.8	243.8	774.6
- Casa de máquinas	1,516.7	103.4	1,620.1
- S.E. Misapuquio y Arcata	342.7	140.3	483.0
- Línea de transmisión	440.7	90.3	531.0
		(26%)	3,566.1

Obras Complementarias

Miles Dólares Americanos

- Viviendas personal de operación		188.9
- Caminos de acceso		262.7
- Túneles		184.3
Facilidades temporales		<u>427.8</u>
	(8%)	1,063.7

Estudios, ingeniería, gastos generales y administrativos, seguros	(7%)	955.5
---	------	-------

TOTAL (100%) 13'668.7 Kx US\$

5.1.3 Producción de Energía

En base al estudio de la demanda de los próximos años, concluimos en determinar un factor de carga de 0.60 con respecto a la potencia instalada, así obtenemos la producción anual de energía eléctrica.

$$3,940 \text{ KW} \times 8,760 \text{ horas} \times 0.60 = 21' \text{ KWh}$$

5.1.4 Gastos Directos de Producción Anuales

Los cuales son descritos por naturaleza del gasto

Sueldos	US\$ 18,900
Jornales	67,200
- Materiales y herramientas	6,300
- Energía (consumibles)	2,100
Mantenimiento de maquinarias	27,300
- Mantenimiento de edificios	16,800
- Servicios generales	2,100
- Servicios de terceros	<u>2,100</u>
	US\$142,800
- Seguros	<u>14,700</u>
	US\$157,500

5.1.5 Determinación del Costo Directo de Producción

De acuerdo a los resultados hallados en el cálculo del gasto anual (US\$ 157,500) y de la energía eléctrica producida (21' KWh).

$$\text{Costo de la energía} = \frac{\text{Gastos anuales}}{\text{energía producida}} = \frac{157,500 \text{ US\$}}{21 \text{ KWh}} = 0.75 \text{ centavo US\$}$$

5.1.6 Costo Directo de Producción de la Central Diesel Eléctrica

El costo de la producción de energía eléctrica de la Central Diesel Eléctrica existente (reemplazada por la C.H.E. de Misapuquio) de una potencia de 2,730 KW es de 8.5 centavos US\$/kw-H.

5.1.7 Costo Directo de Producción Incluyendo la Depreciación

Agregándole a la inversión el interés del financiamiento parcial del proyecto, tendremos que

$$\text{Depreciación anual} = \frac{\text{inversión} + \text{interés}}{\text{años depreciación} \times \text{energía producida}}$$

$$= \frac{13'700,000 \text{ US\$}}{6} = 652 \text{ centavo de US\$/KW-h}$$

10 años x 21 x 10 KWh

$$\text{Costo directo} + \text{depreciación} = 7.27 \text{ centavo de US\$/KW-h}$$

Para el caso de la Central Diesel-Eléctrica ya descrita es de 12.8 centavo de US\$/KW-h

5.2 Determinación del Costo por KW instalado

El cálculo del costo unitario de la central por KW instalado, lo determinamos tomando en cuenta el monto de la inversión más el interés del financiamiento dividido entre la potencia instalada

$$\text{Costo } \frac{\text{US\$}}{\text{KW}} = \frac{13'700,000 \text{ US\$}}{3,940 \text{ KW}} = 3,477 \text{ US\$/KW}$$

El cual incluye el costo de las subestaciones y el sistema de transmisión.

CAPITULO 6 - PUESTA EN SERVICIO DE LOS EQUIPOS ELECTRICOS

Para asegurar una exitosa puesta en servicio, es necesario realizar una serie de pruebas y verificaciones.

6.1 Resumen de las Pruebas y Verificaciones

Medición de la resistencia de aislamiento de los generadores, barras, ductos, transformadores. Utilizando un megómetro de 2000V, tomando la lectura después de 1 minuto.

Verificaciones visuales de acabado de pintura, puestas a tierra, acoplamientos, conexiones eléctricas, datos de placas.

Prueba de todos los mandos en casa de máquinas con sus condiciones de enclavamiento

Prueba de todas las alarmas y ajustes correspondientes

Prueba de los disparos originados por el relé de bloqueo

Pruebas y ajustes de los sistemas de servicios auxiliares C.D. Y C.A.

Comprobación de las indicaciones de todos los aparatos e instrumentos de medición

Comprobación del equipo de sincronización

Pruebas y ajustes de los relés de protección

Ensayos y comprobaciones de los generadores

Ensayos y comprobaciones operativas

6.2 Pruebas y Ajustes de los Relés de Protección

Se ajustaron mediante pruebas primarias.

6.2.1 Relé Diferencial

Prueba con cortocircuito dentro de la zona protegida

Grupo No. 1

Ajuste de prueba	0.5A	1.0A
Disparo real	0.48A	1.0A

Grupo No. 2

Ajuste de prueba	0.5A
Disparo real	0.55A

Prueba con cortocircuito fuera de la zona protegida.

Grupo No. 1

Ajuste de prueba	0.5A (10%)
------------------	------------

Grupo No. 2

Ajuste de prueba	0.5A (10%)
------------------	------------

Se comprobó que a la corriente nominal del generador de aproximadamente 2,000A la corriente diferencial es despreciable (nunca mayor de 40 mA).

Este último resultado permite el ajuste de los relés más sensibles, a saber 0.5A (10%).

6.2.2 Relé de Sobretensión

Calibración Grupo No. 1

Ajuste de Prueba	120V
Disparo 3 fases	140V
Ajuste definitivo	150V
Temporización	2 seg. (mínima)

Calibración Grupo No. 2

Ajuste de Prueba	120V
Disparo 3 fases	134V
Ajuste definitivo	150V
Temporización	2 seg. (mínima)

Comprobación

No hay disparo del relé al excitarse el generador ni al rechazo de plena carga (2000A).

6.2.3 Relé de Falla a Tierra

Se trata de una combinación de dos relés que se utilizarán tanto para detectar y señalar la falla a tierra del bobinado estático del generador, que de la falla a tierra del sistema de 660V.

Resultados y ajustes para ambos grupos

Prueba con falla a tierra del generador.

Resistencia en el punto neutro puesta a 90 ohmios,

Resistencia en el transformador de tensión con bobinados en triangulo abierto puesta en la mitad.

Con los siguientes ajustes se pudo verificar que el relé direccional no bloquea mientras que el relé de neutro opera.

Relé direccional : Sensibilidad óptima
Temporización 4 seg.
Corriente Holmgren 0 mA

Relé neutro Ajuste 1.5A
Temporización 8 seg.
Actuación a 36% de la tensión nominal del generador

Prueba con falla a tierra externa

Resistencias como antes

Ajuste de los relés como antes

Relé direccional
Corriente Holmgren 10 mA
Corriente de triangulo aprox. 25 mA
Actuación (bloqueo) a 33% de la tensión nominal del generador

Relé neutro actúa como arriba

Nota: No fue posible lograr un ajuste más sensible (mayor protección del generador) con una secuencia de actuación de los relés requerida y segura. Se comprobó que la corriente Holmgren en operación normal es despreciable (menos de 2 mA). El grado de protección se considera satisfactorio considerando que se trata de generadores de 660V de tensión nominal.

6.2.4 Relé de Potencia Inversa

Ajuste de 1% de potencia inversa con temporización de 3 seg.

Comprobación del funcionamiento después de la sincronización.

La temporización de 3 seg. obligará a los operadores de cargar rápidamente después de la sincronización. Esta temporización se escogió a base de los resultados de cierre de la válvula globo a plena potencia (gradiente de cambio de potencia muy rápida).

6.2.5 Relé de Sobrecarga (Térmico) del Generador

A base de ensayo de calentamiento del grupo 1, los relés se ajustaron a 95 °C (valor alcanzado aprox. 88 °C).

Nota: Estas temperaturas se refieren al elemento bimetálico del relé y no tiene nada que ver con la temperatura absoluta del generador 60 °C corresponde a 100% de calentamiento.

6.2.6 Relé de Sobrecorriente Instantáneo (interruptor 660V)

Ajuste al valor máximo de 15 KA, correspondiente aproximadamente al valor de la corriente de cortocircuito trifásico en las barras de 660V.

6.2.7 Relés de Sobrevelocidad

Se comprobó el funcionamiento de los relés a 138 y 145% de la velocidad nominal.

A base de los ensayos de rechazo de carga (máxima sobre velocidad alcanzada 121%). Se procedió al cambio de ajuste a 130 y 135%.

6.2.8 Supervisión de Temperatura en Cojinetes

A base del ensayo de calentamiento de los grupos, los ajustes fueron

Cojinete posterior de la turbina

Temperatura medida	58 °C
Ajuste contacto alarma	65 °C
Ajuste contacto disparo	70 °C

Cojinete Medio del Generador

Temperatura medida	60 °C
Ajuste contacto de alarma	68 °C
Ajuste contacto disparo	74 °C

Cojinete Anterior del Generador

Temperatura medida	54 °C
Ajuste contacto de alarma	64 °C
Ajuste contacto disparo	70 °C

Notas Temperaturas medidas con termómetros ubicados en los cojinetes. La diferencia de temperaturas entre los cojinetes medio y anterior del generador son debidos al aire caliente saliendo sobre el cojinete medio del generador.

Las temperaturas alcanzadas son satisfactorias.

6.3 Ensayos y Comprobaciones de los Generadores

Resistencia de aislamiento :

Todas satisfactorias. No fue necesario el secado.

Inspección visual

Satisfactoria

Vibraciones y ruidos :

Existen pequeñas vibraciones axiales, que no presentan ni peligro ni problema práctico.

Excitación :

Satisfactoria. Ajuste de tensión entre 590 y 750V. Siendo un ajuste preciso para ponerse en paralelo con los grupos diesel de Arcata, quedando un margen para suministrar energía reactiva.

Ajuste del estatismo : satisfactoria

Velocidad de regulación satisfactoria.

Cojinetes :

Calentamiento satisfactorio

Ruido normal

Ensayo de Calentamiento

El grupo fue operado durante toda una noche, al 80% de la potencia aparente.

Los datos eléctricos durante el ensayo fueron

Potencia: 2280....2300 KVA, 660V, 2000A

f.p. promedio 0.82, 60 Hz.

Se hicieron lecturas de temperaturas en

- Cojinetes
- Aire del generador
- Bobinas del estator
- Carcaza

Comprobándose los valores obtenidos en fábrica.

6.4 Ensayos y Comprobaciones Operativas

6.4.1 Operaciones en Paralelo

Se realizaron operaciones en paralelo entre

- 1 grupo hidráulico con uno o más grupos diesel
- 2 grupos hidráulicos con grupos diesel
- 2 grupos hidráulicos sin grupos diesel (caso normal en el futuro).

Se observó

Quedan satisfactorias todas las variantes de operación en paralelo

Existen claramente más variaciones de frecuencia sin grupos diesel en paralelo. Con las variaciones de carga rutinaria de la mina se observaron variaciones de frecuencia entre 57 y 63 Hz. en extremo.

En promedio la frecuencia aproximadamente oscila en +/- 1 Hz.

La mayor variación de frecuencia se obtiene debido a la reacción más lenta de las turbinas respecto a los motores diesel (limitación impuesta principalmente por la tubería de presión y la necesidad de evitar oscilaciones en la columna de agua).

Queda perfecta la entrega de carga entre los grupos hidráulicos y diesel e igualmente la distribución de cargas que puede elegirse libremente.

6.4.2 Distribución y cambios de cargas en central hidráulica

6.4.2.1 Estatismos

Los estatismos de los reguladores de las turbinas se ajustaron iguales en aprox. 4%. Una reducción en el valor de ajuste no mejoró el comportamiento de la turbina respecto a la eliminación de variación de la frecuencia, sin embargo rindió difícil una distribución estable de cargas activas entre los grupos.

Los estatismos de los reguladores de tensión se mantuvieron en el valor ajustado en fábrica (aprox. 3%) cambios con respecto a este valor no originaron un comportamiento mejorado de distribución de cargas reactivas.

6.4.2.2 Distribución y Cambio de Cargas Activas

Se comprobó que la distribución de cargas activas escogidas queda estable. De preferencia se operarán los grupos con cargas activas iguales.

El cambio de cargas de un grupo al otro se realiza sin problemas actuando los conmutadores de cambio de velocidad.

6.4.2.3 Distribución y Cambios de Cargas Reactivas

Se comprobó que la distribución de cargas reactivas es estable y no se varía por cambios de cargas activas.

Los potenciómetros de ajuste tienen calibraciones iguales, a saber con una distribución de las cargas reactivas balanceadas, se tienen posiciones de los potenciómetros iguales.

El cambio de las cargas reactivas entre los generadores funciona sin problemas.

6.4.2.4 Rechazo de Carga

El rechazo de carga de un generador en plena carga no presentó problemas de toma de carga en la central diesel.

La sobretensión originada después del rechazo de carga se indica bajo el capítulo sobre relés de protección.

6.4.2.5 Operación Recomendada

Considerando que el rendimiento más favorable de las turbinas se encuentra entre 50 y 80% de su carga nominal, se recomienda operar los dos grupos siempre en paralelo.

Teniendo esta forma de operación las siguientes ventajas :

- Reserva girante disponible

Menos solicitación a los generadores por calentamiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La hidroenergía es una de las fuentes que deberán desarrollarse prioritariamente, por su abundancia, su carácter renovable y no contaminante, considerando que en su desarrollo se emplean tecnologías probadas y maduras.

Para un desarrollo óptimo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, es necesario la elaboración de inventarios hidroenergéticos sistemáticos de cuencas hidrográficas.

La recopilación de datos hidrometeorológicos es posible hacerlo en forma automática, mediante el uso de "plataformas de envío de datos", a satélites usados específicamente con este fin. Plataformas que incluso pueden ser alimentadas con energía solar.

Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, donde existen recursos hidroenergéticos aprovechables en pequeña escala, constituyen una de las fuentes de energía no convencionales y renovables más fácilmente accesibles. Ampliando las posibilidades de desarrollo en las cercanías de los centros de consumo.

El presente trabajo pretende ser una guía para el adecuado diseño ejecutivo del equipamiento eléctrico de una Pequeña Central Hidroeléctrica.

Los cálculos de cortocircuito se hacen en forma bastante detallada, como deben ser para sistemas eléctricos de grandes corrientes, algo frecuente en pequeñas centrales ubicadas a más de 3,000 m.s.n.m., en donde limitamos a valores bajos la tensión de generación.

Por la topografía del área de ubicación de la central, así como por las condiciones de operación con buenos rendimientos a lo largo de un gran sector de regulación, se opta por elegir la turbina de impulsión Peltón, así como para aumentar la confiabilidad de la generación se decide tener dos turbina-generador.

El regulador de velocidad escogido del tipo oleo-hidráulico, fue determinado por las exigencias propias de la central, su lejana ubicación y la operación de la misma con personal no especializado. El tipo de regulador oleo-hidráulico tiene las siguientes ventajas :

Facilidad de maniobra

Facilidad de servicio

Máxima resistencia a averías

Alto grado de precisión para las funciones requeridas

Accionamiento de emergencia a mano, en el caso de fallar el suministro de presión de aceite

Parada en caso de peligro, independiente del modo de operación, a través de una válvula de cierre rápido

Obtención rápida de piezas de recambio.

Por las malas condiciones de nuestros caminos es aconsejable embalar los equipos en forma especial; sobre todo los equipos de medición y protección, los que deberán ser desmontados de los tableros y transportados adecuadamente embalados.

Es recomendable el uso de un sistema automático de sincronización.

Por las condiciones severas de temperatura es recomendable no usar equipos con elementos de estado sólido, en especial los relés de protección.

Por la cantidad de los equipos de protección, así como por las funciones de la protección que cumplen, es necesario el uso de relés de disparo o bloqueo, los que deberán ser robustos y de muy alta confiabilidad. Así también en algunos casos es aconsejable duplicar la señal de disparo.

Tal como se detalla en el punto 5.1.2 "Inversiones", nos confirma la importancia de la inversión de la ingeniería civil, y dentro de ésta la del canal de conducción que representa la tercera parte de la inversión total.

La inversión unitaria, deduciendo la inversión en las subestaciones y línea de transmisión, nos da aproximadamente US \$ 3,100/KW, la cual es alta, ya que normalmente fluctúa entre US \$ 2,200 y 2,800/KW para pequeñas centrales hidroeléctricas.

La importancia dada a la protección del generador se refleja en el 11% que representa el porcentaje de inversión en protección respecto a la inversión en el generador (valores FOB).

Es recomendable la operación de las turbinas en paralelo, teniendo esta forma de operación las siguientes ventajas :

Reserva girante disponible

Menor sollicitación a los generadores por calentamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Centrales Hidroeléctricas
G. Zoppetti
- (2) Centrales Eléctricas
G. Castelfranchi
- (3) Desarrollo Tecnológico para el Equipamiento de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. ITINTEC
- (4) Manual de Diseño, Estandarización y Fabricación de Equipos para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas
Programa Latinoamericano de Cooperación Energética (PLACE)
Organización Latinoamericana de Energía (OLADE)
- (5) Minicentrales Hidroeléctrica
(Manual para toma de decisiones)
ONUUDI - OLADE
- (6) Saltos de agua con Turbinas de Acción
Idom
- (7) Turbinas Estandarizadas para Pequeñas Centrales Eléctricas
VOEST-ALPINE
Dr. F. Strohmer
Ing. K. Wolfartsberger
- (8) Pequeñas Centrales Hidroeléctricas
Asociación Electrotécnica Peruana (AEP)
Ing. Tsuguo Nozaki
- (9) Directrices para el cálculo de las corrientes de cortocircuito
VDE-0102

- (10) Corrientes de Cortocircuito en Sistemas de Corriente Alterna de Baja y Media Tensión
General Electric - Equipos de Maniobra
A.G. Darling, R. H. Kaufmann, R. M. Wilson, D.L. Beeman
- (11) IEEE 80 - Guide for Safety in Substation Grounding (New York Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- (12) Cables y Conductores para Transporte de Energía Lothar Heinhold - SIEMENS
- (13) Valores Básicos de Cálculo para Sistemas de Alta Tensión
Heinrich Langrehr - AEG TELEFUNKEN
- (14) Switchgear Manual
6th Edition
Brown Boveri
- (15) Conductos de Barras
Electro Mecánica Argentina
- (16) Manual AEG
AEG TELEFUNKEN
- (17) Fundamentos de Teoría y Selección de Transformadores para Medición
Electrotécnica Balteau S.A.
Antonio Cardenas Loaeza
- (18) Introducción a los Transformadores de Medida
Electrotécnica Arteché Hnos. S.A.
- (19) Plantas Eléctricas - Teoría y Proyecto
Carlos Luca M.
- (20) El arte y la Ciencia de la Protección por Relevadores
C. Rusell Mason

- (21) Protective Relays Application Guide
GEC Measurements
- (22) Applied Protective Relaying
Westinghouse Electric Corporation
- (23) The Selection of Generation Protection Systems
Publication CH-ES31-01E
Brown Boveri
- (24) Generator Protection Relay Course
Brown Boveri

RELACION DE PLANOS

PLANOS GENERALES

<u>Plano No.</u>	<u>Título</u>	<u>Formato</u>
IG-01	Plano de Ubicación del Proyecto	A1
IG-02	Planta General del Conjunto	A1-2X

CASA DE MAQUINAS

IE-01	Planta - Disposición General	A1
IE-02	Secciones - Cortes - Detalles	A1
IE-03	Disposición General - Sistema Tierra	A1
IE-04	Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas	A1
ID-01	Diagrama Unifilar General	A1

PLANOS GRUPO DE GENERACION No. 1

<u>Plano No.</u>	<u>Título</u>	<u>Formato</u>
ID-100 Hoja 1	Diagrama Unifilar	A2-2x
ID-100 Hoja 2	Diagrama Trifilar	A2-2y
ID-100 Hoja 3	Diagrama de Mando Int. 660 V	A2-2x
ID-100 Hoja 4	Diagrama Protección y Parada de Emergencia	A2-2y
ID-100 Hoja 5	Diagrama Trifilar y Funcional Mando Sistema Lubricación Cojinetes del Generador Diagrama Supresión Campo Excitatriz	A2-2y
ID-100 Hoja 6	Diagrama Medición de Temperatura del Alternador	A2-2x
ID-100 Hoja 7	Diagrama Funcional de Medición de Velocidad Turbina	A2-2x
ID-100 Hoja 8	Diagrama Funcional del Regulador	A2-2x
ID-100 Hoja 9	Diagrama Trifilar y Funcional Mando Válvula Esférica (globo)	A2-2y
ID-100 Hoja 10	Diagrama de Alarmas	A2-2y
ID-100 Hoja 11	Diagrama de Señalizaciones	A2-2x

PLANOS FUNCIONALES GENERALES

<u>Plano No.</u>	<u>Título</u>	<u>Formato</u>
ID-105	Diagrama Trifilar de Sincronización	A2-2x

SERVICIOS AUXILIARES C.C.

ID-110	Hoja 1	Diagrama Unifilar	A2-2x
ID-110	Hoja 2	Diagrama Bifilar	A2-2x
ID-110	Hoja 3	Diagrama de Alarmas	A2

SERVICIOS AUXILIARES C.A.

ID-111	Hoja 1	Diagrama Unifilar	A2-2x
ID-111	Hoja 2	Diagrama Trifilar	A2-2y
ID-111	Hoja 3	Diagrama de Alarmas	A2

VALVULA MARIPOSA Y CAMARA DE CARGA

ID-140	Hoja 1	Diagrama de Mando	A2-2x
ID-140	Hoja 2	Diagrama de Alarmas y Señalización	A2-2x

PLANOS DE TABLEROS

<u>Plano No.</u>	<u>Título</u>	<u>Formato</u>
ID-150 Hoja 1	Disposición General	A2-2x
ID-150 Hoja 3	Tablero Salida Seccionador 660V	A2-2x
ID-150 Hoja 4	Tablero del Interruptor de Salida Grupo 1 y 2	A2-2x
ID-150 Hoja 5	Tablero Alarma y Sincronización	A2-2x
ID-150 Hoja 6	Tablero Medición, Mando, Protección y Señalización Grupo 1 y 2	A2-2x
ID-150 Hoja 7	Tablero Servicios Auxiliares C.A. y C.C.	A2-2x

RELACION DE PLANOS

PLANOS GENERALES

<u>Plano No.</u>	<u>Título</u>	<u>Formato</u>
IG-01	Plano de Ubicación del Proyecto	A1
IG-02	Planta General del Conjunto	A1-2X

CASA DE MAQUINAS

IE-01	Planta - Disposición General	A1
IE-02	Secciones - Cortes - Detalles	A1
IE-03	Disposición General - Sistema Tierra	A1
IE-04	Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas	A1
ID-01	Diagrama Unifilar General	A1

PLANOS GRUPO DE GENERACION No. 1

<u>Plano No.</u>	<u>Título</u>	<u>Formato</u>
ID-100 Hoja 1	Diagrama Unifilar	A2-2x
ID-100 Hoja 2	Diagrama Trifilar	A2-2y
ID-100 Hoja 3	Diagrama de Mando Int. 660 V	A2-2x
ID-100 Hoja 4	Diagrama Protección y Parada de Emergencia	A2-2y
ID-100 Hoja 5	Diagrama Trifilar y Funcional Mando Sistema Lubricación Cojinetes del Generador Diagrama Supresión Campo Excitatriz	A2-2y
ID-100 Hoja 6	Diagrama Medición de Temperatura del Alternador	A2-2x
ID-100 Hoja 7	Diagrama Funcional de Medición de Velocidad Turbina	A2-2x
ID-100 Hoja 8	Diagrama Funcional del Regulador	A2-2x
ID-100 Hoja 9	Diagrama Trifilar y Funcional Mando Válvula Esférica (globo)	A2-2y
ID-100 Hoja 10	Diagrama de Alarmas	A2-2y
ID-100 Hoja 11	Diagrama de Señalizaciones	A2-2x

PLANOS FUNCIONALES GENERALES

<u>Plano No.</u>	<u>Titulo</u>	<u>Formato</u>
ID-105	Diagrama Trifilar de Sincronización	A2-2x

SERVICIOS AUXILIARES C.C.

ID-110	Hoja 1	Diagrama Unifilar	A2-2x
ID-110	Hoja 2	Diagrama Bifilar	A2-2x
ID-110	Hoja 3	Diagrama de Alarmas	A2

SERVICIOS AUXILIARES C.A.

ID-111	Hoja 1	Diagrama Unifilar	A2-2x
ID-111	Hoja 2	Diagrama Trifilar	A2-2y
ID-111	Hoja 3	Diagrama de Alarmas	A2

VALVULA MARIPOSA Y CAMARA DE CARGA

ID-140	Hoja 1	Diagrama de Mando	A2-2x
ID-140	Hoja 2	Diagrama de Alarmas y Señalización	A2-2x

PLANOS DE TABLEROS

<u>Plano No.</u>		Título	Formato
ID-150	Hoja 1	Disposición General	A2-2x
ID-150	Hoja 3	Tablero Salida Seccionador 660V	A2-2x
ID-150	Hoja 4	Tablero del Interruptor de Salida Grupo 1 y 2	A2-2x
ID-150	Hoja 5	Tablero Alarma y Sincronización	A2-2x
ID-150	Hoja 6	Tablero Medición, Mando, Protección y Señalización Grupo 1 y 2	A2-2x
ID-150	Hoja 7	Tablero Servicios Auxiliares C.A. y C.C.	A2-2x