

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE PLANTA  
NÍQUEL 150 TMDP – MINA VOLCAN – ANDAYCHAGUA**

**INFORME DE SUFICIENCIA  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:  
MIGUEL ANGEL HUAYNATE CALLUPE**

**PROMOCIÓN  
2007-II**

**LIMA-PERÚ  
2012**

**INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE PLANTA  
NÍQUEL 150 TMDP – MINA VOLCAN – ANDAYCHAGUA**

Agradezco en primer lugar a mis padres por su esfuerzo incondicional; como también a mi esposa Ketty y mi engreida Ángela Valentina.

## SUMARIO

En el presente informe de suficiencia, se muestra la síntesis de la ingeniería de detalle aprobada para el proyecto "INSTALACION Y PUESTA EN SERVICIO DE PLANTA NÍQUEL 150 TMDP – MINA VOLCAN – ANDAYCHAGUA". En este se incluyen detalles de la ingeniería desarrollada para la instalación y montaje del nuevo equipamiento electromecánico. El informe está organizado de la siguiente manera:

- En el Capítulo I, se habla de antecedentes y objetivos del proyecto
- En el Capítulo II, contiene la descripción del proyecto
- En el Capítulo III, describe las características generales para el equipamiento electromecánico
- En el Capítulo IV, se desarrolla la instalación y montaje de equipos eléctricos y electrónicos
- En el Capítulo V, describe cálculos justificativos del sistema de puesta a tierra, y el estudio de flujo de carga y cortocircuito en la unidad de producción Andaychagua.

Se incluye también un acápite de Conclusiones importantes del proyecto. Se concluye una lista de bibliografía de consultas y referencias.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>ANTECEDENTES</b> .....	2
1.1 Antecedentes del proyecto .....	2
1.2 Objetivo del proyecto .....	2
1.3 Descripción del área de la obra .....	2
1.3.1 Ubicación geográfica .....	2
1.3.2 Condiciones climatológicas .....	2
1.3.3 Topografía - altitud del área de la obra .....	3
1.3.4 Vías de acceso .....	3
1.3.5 Actividades económicas y sociales .....	3
1.4 Dirección técnica y mano de obra .....	3
1.5 Equipo y herramientas .....	3
1.6 Diseños y replanteo de planos .....	4
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....	5
2.1 Códigos y normas .....	5
2.2 Descripción del sistema eléctrico .....	5
2.2.1 Bases de cálculo de diseño .....	5
2.3 Instalaciones existentes .....	6
2.4 Sistema eléctrico proyectado .....	7
2.4.1 Esquema eléctrico .....	7
2.4.2 Equipos considerados .....	7
2.5 Estudio de la demanda eléctrica .....	8
2.5.1 Parámetros eléctricos .....	8
2.5.2 Reporte del analizador de redes .....	9
2.5.3 Reporte de flujo de potencia .....	9
2.6 Criterios para selección de equipos eléctricos .....	9
2.6.1 Selección de interruptores .....	9
2.6.2 Selección de motores eléctricos .....	10
2.6.3 Selección de tableros eléctricos .....	11

2.6.4	Selección del conductor eléctrico .....	11
2.6.5	Selección de las luminarias .....	11
2.6.6	Selección de bandejas .....	11
2.6.7	Selección de la tubería conduit.....	12
2.7	Equipos de protección control e instrumentación.....	12
2.8	Niveles de tensión .....	12

### **CAPÍTULO III**

#### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERALES PARA EL EQUIPAMIENTO**

<b>ELECTROMECAÁNICO</b> .....	13	
3.1	Bandejas portacables.....	13
3.2	Electroductos .....	14
3.3	Soportes.....	15
3.4	Cables de energía .....	15

### **CAPÍTULO IV**

#### **INSTALACIÓN Y MONTAJE**.....

4.1	Celda de media tensión.....	17
4.2	Transformador de distribución .....	18
4.3	Celdas de baja tensión CCM.....	19
4.4	Transformador de SS.AA. de 25 kVA .....	21
4.5	Estabilizador ferresonante de 15 kVA .....	21
4.6	Motores de baja tensión .....	21
4.7	Motores de media tensión .....	23
4.8	Cajas y pulsadores.....	24
4.9	Cajas de paso .....	24

### **CAPÍTULO V**

#### **CALCULOS JUSTIFICATIVOS**.....

5.1	Estudio de flujo de carga y cortocircuito en la unidad de producción.....	25
5.1.1	Conclusiones y recomendaciones .....	25
5.1.2	Informe técnico.....	26
5.2	Cálculo de malla de puesta a tierra de subestación planta níquel .....	32
5.2.1	Datos a considerar .....	32
5.2.2	Cálculo de la corriente de falla a considerar .....	33
5.2.3	Cálculo de la resistencia de la malla de tierra .....	34
5.2.4	Cálculo de las tensiones tolerables de toque y paso .....	35
5.2.5	Cálculo de la tensión de toque real.....	35
5.2.6	Cálculo de la tensión de paso real.....	37

5.2.7	Conclusión .....	38
5.3	Cálculo de malla de puesta a tierra del sistema de pararrayos.....	38
5.3.1	Datos a considerar .....	38
5.3.2	Cálculo de la resistividad aparente.....	39
5.3.3	Cálculo de las constantes de geometría .....	39
5.3.4	Cálculo de la resistencia de la malla de tierra.....	39
5.3.5	Conclusión .....	40
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>41</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>42</b>

## PRÓLOGO

El propósito de este informe es mejorar en la selección de equipos y materiales para el montaje electromecánico en plantas industriales, y también tener conocimiento necesario para los cálculos justificativos que involucren para el diseño del sistema de puesta a tierra y el estudio del flujo de carga y cortocircuito en la unidad de producción.

También la ejecución del proyecto tiene por objetivo suministrar energía eléctrica a la nueva planta, en 2.3 kV para el motor del molino y 460 V para los motores de Celdas, Bombas, Fajas y Soplador.

El punto de alimentación que se tomo es de la Subestación Principal, de la celda de ABB, la alimentación inicial es en 4.16 kV, el cual alimenta a un transformador de 1000 kVA de relación 4.16/0.46 kV, así mismo alimenta a un transformador de 640 kVA de relación 4.16/2.3 kV, estos a su vez alimentan a los CCM (Centro de Control de Motores) desde donde se controla los distintos arrancadores de motores



## **CAPÍTULO I ANTECEDENTES**

En este capítulo se presentan los antecedentes relacionados al proyecto desarrollado en este informe. Se especifican sus objetivos, se describe el área de la obra, la dirección técnica y mano de obra, así como el equipamiento

### **1.1 Antecedentes del proyecto**

Volcan Compañía Minera S.A.A. U.P. Andaychagua, es una empresa dedicada a la explotación de minerales de zinc, cobre y plomo, establece entre sus principales metas la mejora técnica y económica de su producción.

En cumplimiento de esta meta, Volcan Compañía Minera S.A.A. U.P. Andaychagua considera en su plan de expansión el desarrollo del estudio para la construcción de la Planta de Níquel.

La planta concentradora Andaychagua es parte de la Unidad Económica Administrativa Yauli, perteneciente a la Empresa Minera VOLCAN S.A.A

### **1.2 Objetivo del proyecto**

El objeto del proyecto es el diseño del sistema eléctrico en media y baja tensión e instrumentación de la planta de níquel ubicado dentro de la Planta Concentradora Andaychagua.

Cumplir a cabalidad la política SSOMAC (Seguridad, Salud Ocupacional, Medio Ambiente y Calidad) y reglamentos internos solicitados por la Empresa Minera.

### **1.3 Descripción del área de la obra**

En esta sección se desarrollan los siguientes tópicos: ubicación geográfica, condiciones climatológicas, topografía - altitud del área de la obra, vías de acceso, actividades económicas y sociales.

#### **1.3.1 Ubicación geográfica**

La Planta Concentradora Andaychagua de UEA Yauli, está ubicada en el distrito de Huayhuay, Provincia de Yauli, Departamento de Junín. La concentradora está a 181 Km de la ciudad de Lima.

#### **1.3.2 Condiciones climatológicas**

El área de la obra, presenta condiciones de clima seco frígido, con una temperatura media mayor o igual a 5 °C.

### **1.3.3 Topografía - altitud del área de la obra**

La topografía del terreno se caracteriza por ser accidentado y rodeado de cerros. La altitud del área de la ejecución está a un promedio de 4600 metros sobre el nivel del mar.

### **1.3.4 Vías de acceso**

Las vías de acceso al distrito de Huayhuay, es por la siguiente ruta:

Por la Carretera Central:

- Desde Huancayo hacia La Oroya, Yauli hasta acceder a Huayhuay
- Desde Lima hacia La Oroya, Yauli hasta acceder a Huayhuay.

### **1.3.5 Actividades económicas y sociales**

La actividad primordial es la extracción, procesado y venta de minerales. En un grado menor, el comercio y ganadería.

### **1.4 Dirección técnica y mano de obra**

El proyecto se ejecutó con ingenieros, técnicos y trabajadores experimentados, altamente calificados e idóneos para las funciones específicas que realicen.

Un responsable estuvo permanentemente en la obra (maestro de obra). Este responsable tuvo la autoridad para tomar decisiones inmediatas en coordinación con los ingenieros, acerca de los asuntos relacionados a las instalaciones y montaje eléctrico.

### **1.5 Equipo y herramientas**

Sean suministrado, para la ejecución de los trabajo los siguientes equipos y herramientas de acuerdo al requerimiento:

- a) Herramientas eléctricas, Amoladoras, berbiquies, taladros, corta cables, pistolas "HILTI", maquinas de soldar, compresora
- b) Herramientas manuales, alicates, llaves, cortadores, tarrajas, martillos, pela cables, cinta métrica, pinzas, desarmadores, cajas de herramientas, equipo oxicorte, escaleras, dobladoras de tubo, etc.
- c) Equipo de seguridad Personal, Mamelucos, casco de seguridad, guantes, anteojos, mascarar, mandiles de soldar, caretas de soldar, zapatos de seguridad, tapones de oído, arnés de seguridad con línea de vida.
- d) Equipo de maniobras, escaleras tipo tijera, escalera telescópica, tecles, estrobos, grilletes, silingas, tricos, tilford, sogas, barretas, etc.
- e) Accesorios consumibles, cintas aislante, terminales y conectores de compresión, varillas de soldar, lunas de soldador, oxigeno y acetileno, baterías, disolventes, pinturas, etc.
- f) Equipos e instrumentos de prueba para verificar la correcta instalación de los equipos.
  - Multitester
  - Medidor de resistencia a tierra (teluometro)

- Pinzas amperimetricas
- Megóhmetro, 500 voltios
- Megóhmetro, 5000 voltios
- Equipo de prueba de media tensión,(detector de tensión)
- Fasímetro
- Torquimetro

### **1.6 Diseños y replanteo de planos**

Se elaboró un diseño de las instalaciones de Bandejas porta cables, CCM, electro ductos, sistemas de malla a tierra para la planta y sub estación, disposición de CCM, circuitos de alumbrado y control de motores de acuerdo a obra.

## **CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

En este capítulo se realiza la explicación del proyecto. El capítulo está organizado de tal manera que desarrolla los siguientes ítems: códigos y normas, descripción del sistema eléctrico, instalaciones existentes, sistema eléctrico proyectado, estudio de la demanda eléctrica, criterios para selección de equipos eléctricos, equipos de protección control e instrumentación, niveles de tensión.

### **2.1 Códigos y normas**

Esta especificación se complementa con los siguientes documentos:

#### **- Reglamentos y Códigos Locales**

- CNE Código Nacional de de Electricidad
- NLE Normas Legales de Electricidad
- RNC Reglamento Nacional de Construcción
- RSHM Reglamento de Seguridad e Higiene Minera

#### **- Estándares de Seguridad**

- NFPA National Fire Protection Association
- ASTM American Society of Testing adn Materials
- ANSI American National Standard Institute
- NESC National Electric Safety Code
- IEEE Institute of Electrical Manufacturers Association
- NEMA National Electrical Manufacturers Association

### **2.2 Descripción del sistema eléctrico**

La alimentación en media tensión es 4,16 kV, de distribución radial, estrella trifásica y 2,3 kV para alimentación del Molino 7 ½'x7".

En baja tensión 0,46 kV estrella trifásica, para alimentar el Centro de Control de Motores.

Asimismo en los servicios particulares se empleara el sistema trifásico 230 V y para el alumbrado público se empleara el sistema monofásico 230 V.

#### **2.2.1 Bases de cálculo de diseño**

Para ello se tienen en cuenta los siguientes parámetros: tensión nominal, pérdidas de energía, y el sistema de puesta a tierra.

### a. Tensión nominal

Son los siguientes datos:

- Entre fases 4160, 2300, 460 V
- A tierra 2401, 1328, 265 V
- Frecuencia 60 Hz
- Máxima caída de tensión 5%

### b. Pérdidas de energía

Las pérdidas de potencia y energía en la distribución e instalación de los equipos son calculados considerando el efecto joule, las cuales por naturaleza se refiere a las perdidas técnicas del sistema.

$$Q=I^2RT \quad (2.1)$$

Donde

- Q = cantidad de energía calorífica producidas por el conductor (joule)
- I = intensidad de corriente (ampere)
- R = resistencia eléctrica del conductor (ohm)
- T = tiempo (segundos)

### c. Sistema de puesta a tierra

Según lo estipulado en el "Código Nacional de Electricidad – Suministro", en el sistema de distribución 440/220 V, el neutro de la red debe de estar conectado a tierra, en el centro de control de motores, al final del circuito y en el recorrido del circuito, en puntos intermedios menores a 200 m.

Para el dimensionamiento de la puesta a tierra, se considera los siguientes criterios: La resistencia a tierra del neutro de un circuito conectado al CCM debe ser igual o menor a 10  $\Omega$ . En cualquier punto estando conectados todas las puestas a tierra debe ser igual o menor a 5  $\Omega$ , y no debe ser superior a 25  $\Omega$  cuando no está conectado al neutro del sistema.

Se ha realizado el diseño de malla a tierra obteniendo los siguientes valores:

- Sistema de fuerza 460 V : 4,2  $\Omega$
- Instrumentación : 4,482  $\Omega$
- Pararrayos : 3.471  $\Omega$

## 2.3 Instalaciones existentes

En la actualidad el suministro eléctrico a la unidad de producción Andaychagua tiene las siguientes características:

- Subestación Principal Andaychagua con una capacidad 7500 kVA y relación de transformación 50/4.16 kV, el cual es alimentado por la Línea proveniente de la Sub Estación San Cristóbal (ubicado a 30 km. de la unidad de producción Andaychagua)

- En el cuarto de control de la S.E. principal, existe 1 switchgear nuevo Marca ABB, de 3 alimentadores, proyectados para cargas futuras. En el cual la salida 1 alimentará a la planta de níquel.

## **2.4 Sistema eléctrico proyectado**

En esta sección se explican los siguientes ítems: El esquema eléctrico y los equipos considerados.

### **2.4.1 Esquema eléctrico**

Consiste de los siguientes valores:

- Nivel de tensión del alimentador principal : 4,16 kV
- Conductor principal : 3-1x70 mm<sup>2</sup> N2XSY 8,5/15 kV
- Corriente cortocircuito Lado 50 kV : 1,399 kA
- Corriente cortocircuito Lado 4,16 kV : 20 kA
- Nivel de aislamiento : 60 kV – BIL
- Altitud considerada : 4600 msnm

### **2.4.2 Equipos considerados**

Son los siguientes:

#### **Área Chancado primario**

- Motor tracción reversible – 3.73 kW: Desplaza la faja móvil de izquierda a derecha y viceversa, receptora de mineral ubicado en la tolva existente. Compuesto por un arrancador reversible, mando remoto start/stop y un selector para variar el sentido de rotación.
- Faja 30"x9m – 14.92 kW: Recepciona a la faja 5 de acuerdo a los requerimientos del operador. Se instalará una botonera de prueba cercana a la ubicación del motor que no dependerá del funcionamiento de los otros equipos.
- Faja Belt Feeder 24"x6.5m – 14.92 kW, arranque directo.

#### **Área Chancado**

- Molino Bolas 7 ½'x7": de 149.2 kW, 2300 V, 35 A, 400 RPM, Marca: General Electric, Iex: 52.5 A DC, Vex: 125 V DC.
- Molino Bolas 6 x 4 ½ ": Reserva de 93.25 kW, 460 V, 156 A, 100-150 RPM.
- Bomba Wilfley – 44.76 kW, 460 V, 77 A, arranque estrella triangulo.

#### **Área Flotación**

- Motores de agitación: 11.19 kW, 460 V, 21 A.
- Bombas Verticales: 14.92 kW, 460 V, 27 A
- Soplador :44.76 kW, arranque estrella triangulo
- Compresora: 7.46 kW, para proveer aire al sistema de instrumentación

## 2.5 Estudio de la demanda eléctrica

El suministro de Energía es por medio de la Sub Estación de 7.5 MVA, la cual provee de energía a Planta Concentradora y a Mina.

La potencia instalada que demandará los nuevos equipos que se requieren para este proyecto estará dada por:

$$\sum P = PF + PA + P_{Tom} + R \quad (2.2)$$

Donde:

PF = Potencia de fuerza (tableros eléctricos)

PA = Potencia de Alumbrado

P<sub>Tom</sub> = Potencia de tomacorrientes

R = Reserva

Dando como resultado → Potencia Instalada Proyectada = 876,60 kW

Para el cálculo de la máxima demanda se considera en primer caso:

$$MD = P.I. \times F.s \times F.d \quad (2.3)$$

Donde:

M.D. Máxima Demanda

P.I. Potencia Instalada

F.s Factor de simultaneidad

F.d Factor de Demanda

Dando como resultado → Máxima Demanda Proyectada = 771.37 kW

A continuación se desarrollan los siguientes ítems: parámetros eléctricos, reporte del analizador de redes, reporte flujo de potencia.

### 2.5.1 Parámetros eléctricos

Son los siguientes:

#### Corriente a plena carga Motores:

Anotado de la tabla 44 del "Código Nacional de Electricidad Utilización".

#### Factor Simultaneidad:

- Cargas con funcionamiento constante : 0.9
- Cargas con funcionamiento interrumpido : 0.3, 0.6
- Dos bombas en paralelo : 0.5
- Sistema de Iluminación, tomacorrientes : 0.5

Factor de Potencia	Considerado	Diseñado
- Molinos (Motores Síncronos)	: 1.00	1.00
- Cargas proyectadas	: 0.80	0.95

## Factor de demanda

Es la relación entre la demanda máxima de un sistema y la respectiva potencia instalada, acorde a una carga Industrial continua.

$$F_d = \frac{\text{Demanda máxima (kVA)}}{\text{Potencia Instalada (kVA)}} \quad (2.4)$$

Dando  $\rightarrow F_d = 519,85 / 876,60 = 0,59$ .

### 2.5.2 Reporte del analizador de redes

Se instaló un analizador de redes de Marca Utilizer 901 Unipower Sweden, el día 19 de junio 11:30 am por 24 horas, a la salida del Power Quality Meter EPM 9450, instalado en la Sub Estación principal, obteniendo los valores siguientes (Tabla 2.1):

**Tabla 2.1** Valores reportados (Fuente: Propia)

Potencia / Hora	Existente		Demanda Máxima Planta Níquel (kW)	Total
	(kVA)	(kW)		
Mínimo / 11:45 am	6065.30	6810.94	519.85	7330.80
Máximo / 1:30 am	7323.60	5640.73	519.85	6160.59

Llegando a la conclusión de que el transformador de 7.5/10 MVA (ONAN/ONAF), trabajará a un 73% de su capacidad con respecto a su potencia ONAF.

### 2.5.3 Reporte de flujo de potencia

Para mejorar el factor de potencia de 0,8 a 0,95 se debe instalar:

- Un banco de condensadores de 100 kVAR en el CCM (fajas, molienda), y
- Un banco de condensadores de 100 kVAR en el CCM (flotación).

Cuando se retira la carga de la Planta de Níquel, se eleva las tensiones dentro de los márgenes permitidos ( $\pm 5\%$ ), y no hay consumo de potencia reactiva capacitiva, recomendando instalar banco de condensadores fijos.

## 2.6 Criterios para selección de equipos eléctricos

Se desarrollan los criterios para los siguientes equipos: Interruptores, motores eléctricos, tableros eléctricos, conductor eléctrico, luminarias, bandejas y tubería conduit.

### 2.6.1 Selección de interruptores

Se seleccionó en base a la tabla 50 del Código Nacional de Electricidad – Utilización, para una impedancia del transformador menor a 7,5%.

- Capacidad Fusible 150% In transformador
- Interruptores Automáticos Menor o igual a 300% In Transformador

### 2.6.2 Selección de los motores eléctricos

Para seleccionar los motores eléctricos se tomaron en consideración:

- La potencia del motor (kW).
- La tensión de alimentación (V).



- La altura de trabajo del motor (msnm).

### Potencia del motor (kW)

$$P_m = \frac{P_p}{0.95} \quad (2.5)$$

Potencia requerida (hp)

$$hp = \frac{P_m}{0.746} \quad (2.6)$$

Potencia hp requerida en altura

$$hp.reque = \frac{hp}{0.77} \quad (2.7)$$

Donde:

$P_p$  = Potencia del piñon (kW)

$P_m$  = Potencia del motor (kW)

hp = Caballos de fuerza

hp reque. = Motor requerido en altura (4600 msnm)

### Factor de Servicio

Capacidad de sobrecarga con limites de temperatura definida.

- F.S. = 1.15 1–200 hp (150 kW)/3600 rpm y 1–500 hp (375 kW)/1800 rpm

- Otros = 1.0

Ver Tabla 2.2

**Tabla 2.2** Capacidad Nema de Motores (Fuente: fabricante)

NEMA	Capacidad Corriente (A)	Potencia HP	
		230 V	460 V
1	27	7.5	10
2	45	15	25
3	90	30	50
4	135	50	100
5	300	100	200
6	600	200	400
7	820	350	860

### 2.6.3 Selección de tableros eléctricos

Para la selección de los tableros eléctricos se tomaron en consideración:

- La tensión de operación.

- La intensidad del circuito.
- El nivel de cortocircuito.
- La altitud.
- El grado de protección del tablero.

#### **2.6.4 Selección del conductor eléctrico**

Para los siguientes casos: motores y tableros eléctricos.

##### **a. Motores eléctricos**

Para el dimensionamiento del calibre del conductor se toma en cuenta dos factores importantes,

- La corriente de diseño que es el 25% más de la corriente a plena carga según la potencia del motor.
- La distancia a recorrer desde el tablero hasta el motor. Ya que dependiendo de la longitud aumenta la resistencia del conductor originando una caída de tensión y por norma esa caída no puede exceder el 5%.

##### **b. Tableros eléctricos**

Para la selección de los conductores de los tableros eléctricos se considerara:

- La potencia total del circuito.
- La intensidad de corriente de cada tablero.

#### **2.6.5 Selección de las luminarias**

Para la selección de las luminarias y el cable para la iluminación se ha considerado

##### **a. Luminarias**

Considerado:

- El área de iluminación (largo ancho altura)
- El tipo de iluminación (baja, media, alta )

##### **b. Cables eléctricos**

Considerada:

- La corriente de los circuitos ( 400 W, 250 W, 2x40 W)
- La distancia de las mismas al tablero de distribución (m)

#### **2.6.6 Selección de bandejas**

Para el dimensionamiento y metrado de bandejas que van desde los tableros de fuerza que están dentro del CCM se tiene que tener en cuenta:

- El recorrido físico del cable.
- El número de cables.
- La sección nominal del cable.
- Tipo de Bandeja a utilizar (fibra de vidrio o metálico).

### **2.6.7 Selección de la tubería conduit**

Para el dimensionamiento y metrado de las tuberías conduit se tiene que tener en cuenta:

- El recorrido físico del cable.
- El número de cables.
- La sección nominal del cable.

### **2.7 Equipos de protección control e instrumentación**

Orientado a las fajas

- 02 Push Bottom (start /stop).- Cumplirán la función de arranque, parada y prueba de los motores de las fajas.
- 01 Push Bottom (tres posiciones).- Para accionamiento del motor reversible entre las faja 5 existente y la faja Nueva 30".
- 01 Sirena.- Una vez pulsado el push de prueba, acciona la sirena durante 10 seg. Para dar paso al arranque de las faja.
- 02 Switch parada de emergencia.- instalado en el centro de la faja, en la parte inferior de la faja, con accionamiento mecánico mediante una cuerda de acero.
- 01 switch de velocidad cero.- Se instalara en la base inferior de la faja, para la monitorización de estados de velocidad excesiva, insuficiente o velocidad cero, con accionamiento automático.
- Relees.- Se instalarán 05 relés temporizados (rt) de 0.1 a 30 seg, al trabajo con cuatro contactos auxiliares 02 contactos instantáneos, un contacto temporizado al cierre , un contacto temporizado a la apertura y 03 (rc) con 6 contactos auxiliares.

### **2.8 Niveles de tensión**

El sistema tiene los siguientes niveles de Tensión:

#### **Media Tensión**

4.16 kVAC, 3 fases, 60 Hz

2.30 kVAC, 3 fases, 60 Hz

#### **Baja Tensión**

460 VAC, 3 fases, 60 Hz

230 VAC, 1 fase, 60 Hz, para alumbrado y tomacorriente.

#### **Control e Instrumentación**

120 VAC, 1 fase, 60 Hz, para control de motores. e instrumentación

### **CAPÍTULO III**

## **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERALES PARA EL EQUIPAMIENTO ELECTROMECÁNICO**

El capítulo está organizado de la siguiente manera: bandejas portacables, electroductos, soportes, cables de energía.

### **3.1 Bandejas portacables**

Según las normas eléctricas, el sistema de bandeja portacable es una unidad o una serie de unidades de ensamblaje asociadas a conexiones formando así una estructura rígida para realizar un tendido de cables ordenado asegurando los cables con seguridad. Un sistema porta cables apoya una tablería como un puente porta el tráfico vehicular, por tanto este es un componente estructural primordial de un sistema eléctrico.

Las normas NEMA (Asociación Nacional de Productores Eléctricos), cubren las definiciones generales de soporte para cables, estándares de manufacturas, performance, información sobre pruebas y aplicaciones, así como una guía del manejo, mantenimiento y prácticas generales de instalación

#### **Descripción:**

- 1.- Tramo recto de bandeja
- 2.- Codo horizontal .90°
- 3.- Tee
- 4.- Cruz
- 5.- Reducción
- 6.- Curva vertical exterior
- 7.- Curva vertical interior
- 8.- Tee vertical

#### **Descripción de la Instalación**

El sistema de canalizaciones está constituido por bandejas de acero galvanizado en caliente, del tipo escalaria, desde la sub estación principal pasando por el cuarto de control y culminado en la nave. Las bandejas instaladas tienen la siguiente medida: bandeja de 600x150x6000 mm, bandeja de 300x150x6000 mm.

El recorrido de bandejas desde la sub estación principal hasta la entrada del cuarto de control tiene un solo nivel y de allí hasta la entrada de la nave son 3 niveles. Con medidas de 600x150x6000 mm, con tapa de 3 m de largo a dos aguas, están soportadas con viga

H de 6" y un brazo de canal U de 4", las bandejas están ancladas al brazo con grapas tipo uña y pernos auto perforantes de  $\frac{1}{4}$ "x1", las tapas están anclada a la bandeja con pernos auto perforante de  $\frac{1}{4}$ "x1"

Las bandejas instaladas debajo del cuarto de control tienen la siguiente medida, bandeja de 600x150x6000 mm, bandeja de 300x150x6000 mm, para las derivaciones se han instalado accesorios de bandejas tipo T, tipo X, reducciones de 600mm a 300mm, curvas horizontales 600mm de 90°, curva horizontales de 300 mm de 90° y para las subida a los CCM se han fabricado en obra, el acabado se realizo con pintura Super Aluminio. En esta zona se han instalado 3 niveles de bandeja y están soportados por varillas roscadas de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro zincado, anclado al techo con tacos de expansión y las divisiones son con riel unistrut de perfil bajo de 4x2cm, sujetado a la varilla con tuercas cuadradas unistrut, las tapas para esta zona son planas y están sujetadas con pernos auto perforante de  $\frac{1}{4}$ "x1", las bandejas que entran y salen de los transformadores son de 300x150 mm y están soportado con soporte tipo H y soporte tipo T y están anclados al piso.

Las bandejas instaladas en la nave en la parte superior son de 600x150x6000 mm y están soportada con soporte tipo angular de  $\frac{1}{4}$ "x3" y  $\frac{1}{4}$ "x2  $\frac{1}{2}$ ", pintado con pintura Amercoat 385 Gris Ral 7001 y soldados a la estructura de la nave, las bandejas están ancladas al soporte con grapas tipo uña con pernos auto perforante de  $\frac{1}{4}$ "x1", sus tapas son a dos aguas y ancladas con perno auto perforantes de  $\frac{1}{4}$ "x1"

Las bandejas instaladas en el primer nivel de la nave son de 600x150x6000mm y 300x150x6000 mm, en esta zona se le dio doble capa de pintura Super Aluminio, están soportada con varillas roscadas de  $\frac{1}{2}$ " zincado y riel unistrut perfil bajo de 40x20 mm, sujetado con tuercas cuadrada unistrut, sus tapas son a dos agua y están anclada con pernos auto perforante de  $\frac{1}{4}$ "x1"

Las bandejas instaladas en tres niveles están separada 250 mm entre si, en el recorrido de la sub estación principal hasta la entrada de la nave y los soportes esta a una distancia promedio de 4 m. Las bandejas instaladas en la nave en 3 niveles están separadas 600 mm en si, a lo largo de su recorrido se le pintado con una capa de pintura Super Aluminio, donde ha sido necesario.

Los conductores instalados en las bandejas se han sujetado a este mediante amarre con doble hilo de pabilo y cintillo de plásticos, a lo largo de todo su recorrido.

### **3.2 Electroductos**

La Tubería Conduit es fabricada por el método de reducción En caliente, logrando que el acero se homogeneicé y obtenga una maleabilidad que facilite el doblado y roscado del producto. Se galvaniza la tubería por el método de inmersión en caliente, el

cual garantiza un galvanizado uniforme tanto interior como exterior (recubrimiento mínimo de 150 gr./m<sup>2</sup>.) dándole una resistencia a la corrosión muy superior a los demás métodos.

Los procesos de fabricación están vigilados por estrictos controles de calidad a través de diferentes pruebas, entre ellas la hidrostática y la de doblez a 90 para brindar al usuario una máxima seguridad en la protección de cableados eléctricos.

### **Descripción de la Instalación**

La instalación de electroductos se ejecuto de la siguiente manera:

- Tubería conduit y flexible de ¾" para circuito de pulsadores de los motores, alumbrado de planta y sub estación, circuito de control de fajas, sirenas de alarma, luz de emergencia, circuito de parada de emergencia.
- Tubería conduit de 1" para conexionado de motores menores a 11.19 kW, circuito de tomacorriente industrial de 220 V, circuito de punto + de soldadura, circuito de pulsadores de motores, circuito de control de fajas.
- Tubería conduit y flexible de 1 ½", para conexionado de motores de 14.92 kW, circuito de punto + de soldadura, circuito de tomacorriente industrial 440 V, circuito de excitatriz de motor síncrono.
- Tubería conduit y flexible de 2", para conexionado de motores de 44.76 kW, circuito de fuerza faja móvil.
- Tubería conduit y flexible de 4", para conexionado de motor de 149.2 kW.

Todo los electroductos está sujetado con abrazaderas unistrut sobre rieles unistrut que su ves esta soldado en la estructura.

Las derivaciones o uniones de los electroductos se han realizado con cajas condulet de los tipos, LL, LR, LB, C, T y tamaños para cada diámetro. El dobles de la tubería se han realizado con dobladora hidráulica, respetando el radio para cada diámetro, la fabricación de rosca se realizo con terrajas para los distintos diámetros de tubería

### **3.3 Soportes**

Los soportes fabricados, están hecho con Ángulos de ¼"x3", ¼"x21/2", ¼"x2", canales U de ¼"x4", planchas de ¼", Tubos de 2" cedula 40C, y se han soldado con soldadura Cellocord de 1/8" y el acabado con supercito de 1/8", su pintado la primera capa con base zincromato y el acabado con pintura anticorrosiva Amercoat 385 Gris Ral 7001.

### **3.4 Cables de energía**

Se toman en cuenta: Cables de Media Tensión, Cables de Baja Tensión y Cables de Control

#### **a. Cables de Media Tensión**

Conductores de cobre electrolítico recocido, cableado concéntrico comprimido

compactado. Semiconductor de cintas o extruido sobre el conductor. Aislamiento de polietileno termoplástico. Pantalla: semiconductor de cintas o extruida y cinta de cobre. Barrera térmica de poliéster. Cubierta exterior de PVC color rojo

Los cables de media tensión instalados son del tipo unipolar N2XSY de 8.7/15 kV, en 70 mm<sup>2</sup> y 35 mm<sup>2</sup>, se instalaran terminaciones en ambas puntas, para el nivel de tensión indicado, del tipo interior y exterior una vez terminado se procederá a medir el aislamiento del conductor con tensión de 5000 V y 2500 V

#### **b. Cables de Baja Tensión**

Uno, dos, tres o cuatro conductores de cobre electrolítico recocido, sólido o cableado comprimido, compactado o sectorial. Aislamiento de polietileno reticulado, relleno de PVC y cubierta externa de PVC

Los cables de baja tensión instalados son del tipo N2XY de 0.6/1 kV en los siguientes calibres, cable tetra polar de 4x4 mm<sup>2</sup>, tetra polar de 4x6 mm<sup>2</sup>, tetra polar de 4x10 mm<sup>2</sup>, tetra polar de 4x16 mm<sup>2</sup>, tripolar de 3x25 mm<sup>2</sup>, + 16 mm<sup>2</sup>, Unipolar de 1x400 mm<sup>2</sup>, Concluida la instalación se midió la resistencia del aislamiento del cable con 500 V.

#### **c. Cables de Control**

Conductores de cobre electrolítico recocido, sólido o cableado aislamiento de polietileno reticulado color negro con numeración correlativa para identificación. Los conductores aislados reunidos entre si llevan un relleno de PVC que da una mejor protección mecánica. Cubierta exterior de PVC

Los cable usados en los circuitos de control e instrumentación son del tipo N2XY de 0.6/1kV, cables apantallado de 4x18 AWG, tripular de 3x2.5 mm<sup>2</sup>, control 7x2.5 mm<sup>2</sup>, control 12x2.5 mm<sup>2</sup>, instrumentación 16x18 AWG.

## **CAPÍTULO IV INSTALACIÓN Y MONTAJE**

En el presente capítulo se tocan los temas involucrados a la instalación y el montaje. Se consideran los siguientes aspectos: Celda de media tensión, transformador de distribución, celdas de baja tensión CCM, transformador de SS.AA. de 25 kVA, estabilizador ferresonante de 15 kVA, motores de baja tensión, motor de media tensión, cajas y pulsadores, cajas de Paso

### **4.1 Celda de media tensión**

Se describe lo relacionado al sistema de puesta a tierra ya a la pintura.

#### **Sistema de Puesta a Tierra**

En La celda existe una barra de cobre de 5x30 mm, sólidamente empernada a la estructura y ubicada en la parte posterior-inferior. La puerta y los paneles se unen eléctricamente a la barra de puesta a tierra mediante barras y cables flexibles, permitiendo de este modo, una efectiva conexión a tierra de la envolvente.

#### **Pintura**

Todas las partes metálicas son sometidas a un tratamiento anticorrosivo de decapado y fosfatizado por inmersión en caliente, para asegurar una limpieza de la plancha y adherencia perfecta de la pintura de acabado, lo que repercute en una mayor protección contra la corrosión. Las partes externas tendrán un acabado con pintura ANSI 61 Gris Claro, aplicado electrostáticamente y secado al horno a 180 °C.

Descripción de la Instalación. La celda de media tensión proyectada, es alimentado des de la celda de ABB ubicado en el cuarto de control de la sub estación principal, en 4.16 kV, a través de un conductor unipolar del tipo N2XSY- 8.7/15 kV, de 70 mm<sup>2</sup>, se instaló terminación autocontraíbles de goma silicona para 15 kV, del tipo interior marca 3M en ambas celdas.

El cable se encuentra aterrado en la celda, con cable de cobre desnudo de 35 mm<sup>2</sup>, a la barra de tierra de la celda y esta a su vez al sistema de malla a tierra de la sub estación

Celda de salida a transformador de 1000 kVA, esta celda alimenta al transformador de 1000 kVA a través de un conductor unipolar del tipo N2XSY - 8.7/15 kV, de 35 mm<sup>2</sup>, se instaló terminación autocontraíbles de goma silicona para 15kV, del tipo interior marca



3M, el cable se encuentra aterrado a la barra a tierra de la celda.

Celda de salida a transformador de 640 kVA, esta celda alimenta al transformador de 640 kVA a través de un conductor unipolar del tipo N2XSY - 8.7/15 kV, de 35 mm<sup>2</sup>, se instaló terminación autocontraíbles de goma silicona para 15 kV, del tipo interior marca 3M, el cable se encuentra aterrado a la barra a tierra de la celda. Todas la celdas están ancladas al piso mediante tacos de expansión de ½"x2"

Celda Llegada de Transformador de 640 kVA, esta celda es alimentada por el transformador de 640 kVA, a través de un conductor unipolar del tipo N2XSY - 8.7/15 kV, de 35 mm<sup>2</sup>, se instaló terminación autocontraíbles de goma silicona para 15 kV, del tipo interior marca 3M, el cable se encuentra aterrado a la barra a tierra de la celda. Arrancador de motor síncrono, es alimentada de la celda 7210-SG-001, mediante un conductor unipolar del tipo N2XSY - 8.7/15 kV, de 35 mm<sup>2</sup>, se instaló terminación autocontraíbles de goma silicona para 15 kV, del tipo interior marca 3M. Este arrancador alimenta al motor síncrono mediante un cable unipolar del tipo N2XSY - 8.7/15 kV, de 35 mm<sup>2</sup>, se instaló terminación autocontraíbles de goma silicona para 15 kV, del tipo interior marca 3M

#### **4.2 Transformador de distribución**

Se denomina transformador a una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir el voltaje o tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia.

La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc. los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio de grano orientado. las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según corresponde a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. Existen transformadores con más devanados, de acuerdo a las necesidades de un proyecto particular.

**Transformador de 1000 kVA.** Este Transformador está instalado sobre una base de concreto mezcla 210 kg/cm<sup>2</sup> a una altura 20 cm sobre el nivel del terreno, esta base está diseñado con 2 canales comunicados entre sí, que servirán como contingencia en caso de derrame de aceite del transformador, cuenta con los siguientes accesorios: Pozo Termométrico, Relé Buchholz, Válvula de Seguridad, Termómetro con contacto, Indicador de nivel de aceite, Placa de Características

Descripción de la instalación. El transformador está alimentado de la celda de media

tensión 7000-SG-001, con cable unipolar del tipo N2XSY 8.7/15 kV de 35 mm<sup>2</sup>, en 4.16 kV, se instaló terminación autocontraíbles de goma silicona para 15 kV, del tipo exterior marca 3M, en el secundario del transformador se instaló con cable unipolar del tipo N2XY 0.6/1kV de 400 mm<sup>2</sup>, 2 ternas en 460 V, el conexionado al borne del transformador se hizo con Barras de cobre de 2(5x50)mm por fase, en donde se conectó el cable con terminales de compresión, el cual se aisló con manga termo contraíble, este transformador alimenta a la celda.

El transformador se encuentra conectado a tierra en el lado inferior derecho con cable de cobre desnudo de 120 mm<sup>2</sup>.

**Transformador de 640 kVA.** Al igual que el transformador de 1000 kVA, está instalado sobre una base de concreto mezcla 210 kg/cm<sup>2</sup> a una altura 20 cm sobre el nivel del terreno, esta base está diseñada con 2 canales comunicados entre sí, que servirán como contingencia en caso de derrame de aceite del transformador, cuenta con los siguientes accesorios: Válvula de Seguridad, Termómetro sin contacto, Indicador de nivel de aceite, Placa de Características

Descripción de la instalación. El transformador está alimentado de la celda de media tensión, con cable unipolar del tipo N2XSY 8.7/15 kV de 35 mm<sup>2</sup>, en 4.16 kV, se instaló terminación autocontraíbles de goma silicona para 15 kV, del tipo exterior marca 3M, en el secundario del transformador se instaló con cable unipolar del tipo N2XSY 8.7/15 kV de 35 mm<sup>2</sup>, este transformador alimenta a la celda en 2.4 kV, el transformador es exclusivo para el motor síncrono de 149 kW.

El transformador se encuentra conectado a tierra en el lado inferior derecho con cable de cobre desnudo de 120 mm<sup>2</sup>.

### **4.3 Celdas de baja tensión CCM**

El CCM Serie Evolution de GE provee una centralización de arrancadores y equipamiento de control relacionado seguro y flexible. Permite la combinación de unidades de control de motores, alimentadores, transformadores de distribución, paneles de iluminación, relés de bloqueo, control programable, medición y otros dispositivos, contenidos en una simple estructura autosoportada alimentada de una barra principal.

Los CCMs GE son construidos de secciones verticales que encierran barras verticales y horizontales, canales de cables y unidades de control compartimentadas. Las partes transportables son atornilladas juntas para formar un solo ensamble alineado. Las unidades son montadas y cableadas de acuerdo con la clase de cableado especificada.

Las barras principales pueden ser alimentadas a través de un interruptor de llegada o directamente mediante terminales.

Descripción de la instalación del tablero de distribución, este tablero es alimentado

por el transformador de 1000 kVA, a través de 2 ternas de cable unipolares de 1x400 mm<sup>2</sup>, está conectado con terminal de compresión y manga termocontraible.

Este tablero tiene 2 interruptores de salida de una de 1000 A que alimenta al CCM-001 y otro de 800 A que alimenta al CCM-002, en ambos interruptores se le cambio sus conectores de salida por doble barras de 10x40mm, debido que los cables de 400 mm<sup>2</sup> no se adaptaban a los conectores, se alimento al CCM-001 y CCM-002 con una terna de cable de 400 mm<sup>2</sup>.

Descripción de instalación de CCM-001, este es alimentado por el Tablero de Distribución, con una terna de conductores unipolares de 1x400 mm<sup>2</sup>, su interruptor principal de 800 A, también se cambio los conectores de la entrada, por doble barra de cobre de 10x40mm

Descripción de instalación de CCM-002, esta celda también es alimentada por el Tablero de Distribución con una terna de conductor unipolar de 1x400 mm<sup>2</sup>, su interruptor principal es de 1000 A, al igual que el CCM-001 se cambio sus conectores por doble barra de cobre de 10x40 mm.

En este CCM se cambio un arranque estrella-triángulo por un arranque con Soft Starter de 93.25 kW, destinado para el soplador, debido que el motor vino con solo tres salidas.

Descripción de instalación de T.D. SS.AA., este tablero de servicios auxiliares es alimentado por un transformador seco de 25 kVA de 480/240 V, este tablero esta adosado a la pared con pernos de anclaje de 3/8"x4".

Debido a la necesidad se realizo cambios de algunos componentes internos. Inicialmente vino con interruptores termomagnéticos de 2x20 A tipo tornillo, El circuito de alumbrado superior de la planta requería un interruptor de mayor capacidad debido que su consumo superaba al interruptor de 2x20 A, se cambio por un interruptor termomagnético de 2x50 A tipo tornillo.

El Circuito de tomacorriente industriales de 220 V, también se le cambio por un interruptor de 2x50 A y se puso en paralelo 2 interruptores de protección de 2x25 A, debido que eran don circuitos de tomacorrientes en el tablero y solo se ejecuto un solo circuito para la planta.

También se instalo solo 3 Fococélulas, una para el circuito de alumbrado interior superior de la planta, uno para el circuito de alumbrado exterior de la planta y uno para el circuito de alumbrado exterior de la subestación, cambiando la configuración inicial del tablero que vino para instalar 5 fococélulas y solo llegaron 3 el cual 2 circuitos quedan en manual. Circuito de alumbrado interior primer nivel de la planta y el circuito de alumbrado de tolva de finos.

En el estudio del proyecto no se considero la instalación de alumbrado para la escalera que comunica la tova de finos con la nave, el cual se ejecuto en el desarrollo dl proyecto y este circuito se unió con el de alumbrado del primer nivel de la nave.

#### **4.4 Transformador de SS.AA. de 25 kVA.**

Transformador en seco para servicios auxiliares, marca HEVI-DUTY color gris, Los transformadores secos cuentan con un gabinete robusto que les permite ser alojados en pisos estos transformadores proveen un método muy exacto para hacer pequeñas correcciones, elevando o reduciendo las tensiones de alimentación.

Descripción de la instalación, este transformador es alimentado con cable de 4x6 mm<sup>2</sup>.

#### **4.5 Estabilizador ferroresonante de 15 kVA**

Es alimentado del tablero de distribución del Soplador Spencer de 44.76 kW, con 460 VCA y este a su vez alimenta al mismo tablero con 120 V estabilizado.

#### **4.6 Motores de baja tensión**

Se describen los siguientes motores de 44.76 kW, 14.92 kW, 11.19 kW, 5.5 kW

##### **a. Motores de 5.5 kW**

Motor fabricado bajo la norma IEEE-45 y cuenta con las siguientes: con f.p.:0.82, F.S.:1.15, modelo: R97DRS132SA, clase de aislamiento F, grado de protección: IP55, Tensión 440 V, corriente: 9.95 A.

Motor de faja N°2, está alimentado con cable tatrapolar tipo N2XY-0.6/1 kV de 4x4 mm<sup>2</sup> y trabajara con una tensión de 460 V, tiene 9 salidas para configurar a doble tensión, 440 V conexión Y y 220 V conexión YY, el motor tiene un arranque directo y la transmisión es por fajas, la vía para el conductor es con tubería flexible con forro de PVC y esta sujetado a la caja de borne con conectores rectos galvanizado

Motor de Tracción de Faja N°1, está alimentado con cable tetra polar tipo N2XY-0.6/1 kV de 4x4 mm<sup>2</sup> y trabajara con una tensión de 460 V, tiene 9 salidas para configurar hasta en dos tensiones diferentes, 440 V conexión Y y 220V conexión YY, el motor tiene un arranque con inversor de giro, con la finalidad de trasladar toda la estructura en ambos sentido, la transmisión es por cadena , la vía para el conductor es como sigue, inicialmente existe una caja de paso de 400x300x200 mm, fijado en la plataforma, desde donde sale la tubería flexible galvanizado hacia una caja de pase fijado en la estructura de la faja móvil, desde allí se deriva tubo conduit y finalmente se conecta a la caja de borne del motor con tubería flexible y conectores rectos galvanizado

Antes de arrancar este motor sonara una alarma advirtiendo que la faja va a entrar en movimiento.

La Tabla 4.1 muestra las características de la sirena WERMA Signaltechnik

**Tabla 4.1** Sirena WERMA Signaltechnik (Fuente: Fabricante)

<b>Tensión</b>	115 VAC
<b>Corriente</b>	200 mA
<b>G. Protección</b>	IP 55
<b>Tonalidad</b>	Continuo
<b>Rango de Tem.</b>	-20 +60 °C
<b>Nivel de Ruido</b>	108 dB
<b>Dimensiones</b>	152x148x356
<b>Material</b>	ABS

**b. Motores de 11.19 kW**

Motor fabricado bajo la norma IEEE 841-2001, con rendimiento: 88.6%, clase de aislamiento: F, F.S: 1.15, Grado de protección IP 55, Rpm: 1755, tensión: 220/380/440 V, corriente: 39.3/22.8/19.7<sup>a</sup>,  $\Delta t$ : 80k, F.P.: 0.83, fabricado para 1000 msnm.

Está alimentado con cable tetra polar tipo N2XY-0.6/1 kV de 4x4 mm<sup>2</sup> y trabajara con una tensión de 460 V, tiene 12 salidas para configurar hasta en tres tensiones diferentes, 440 V conexión  $\Delta$ , 380 V conexión YY y 220V conexión  $\Delta\Delta$ , el motor tiene un arranque directo, la transmisión es por fajas, estos motores corresponden a la celdas de flotación Scavenger, celdas Rougher y celdas limpiadoras, son un total de 12 motores distribuidos en las celdas, la vía de acceso de conductor a la caja de bornes, es con tubo flexible con forro de PVC de 1", sujetos con conectores rectos galvanizado

**c. Motores de 14.92 kW**

Los motores Baldor, fabricado bajo la norma IEEE-841-2001, Sus características de diseño y construcción los hacen ideales para los procesos mineros más severos donde el ambiente corrosivo e inclemente acorta la vida útil de los motores comunes. Clase de aislamiento F, Factor de Servicio: 1.15, Protección NEMA Premium, tensión nominal: 460 V, corriente: 24.3 A., Rpm: 1775 máximo. Temperatura Ambiente: 40 °C

Está alimentado con cable tetra polar tipo N2XY-0.6/1 kV de 4x4 mm<sup>2</sup> y trabajara con una tensión de 460 V, tiene 3 salidas solo trabaja en una tension 440v, el motor tiene un arranque directo, la transmisión es por fajas, estos motores corresponden a la Bombas Verticales N° 1, 2, 3, 4, 5, 6 y a las Bombas de sumidero N°1 y N°2, la vía de acceso de conductor a la caja de bornes, es con tubo flexible con forro de PVC de 1 ½", sujetos con conectores rectos galvanizado.

A acepción del motor de faja Móvil de 15 kW, que solo tiene 9 salidas que corresponde a una configuración de 440 V conexión Y y 220 V conexión YY, este motor también es alimentado con 460 V.

**d. Motores de 44.76 kW**

Mores fabricados bajo la norma IEEE – 45, con una eficiencia de 95%, modelo:

B437714 clase de aislamiento: F, tipo: P, S.F: 1.15, tensión: 460 V, corriente nominal: 70.5 A, Rpm: 1785, grado de protección NEMA.

Motor de Bombas Wilfley está alimentado con 2 ternas de cable tetra polar tipo N2XY-0.6/1 kV de  $2(3 \times 25 + 16 \text{ mm}^2)$  y trabajara con una tensión de 460 V, tiene 6 salidas, el motor tiene un arranque estrella - Triangulo, la trasmisión es por fajas, estos motores corresponden a la Bomba Wifley N°1 N°2, la vía de acceso de conductor a la caja de bornes, es con tubo flexible con forro de PVC de 2", sujetados con conectores rectos galvanizado.

Soplador está alimentado con 2 ternas de cable tetra polar tipo N2XY-0.6/1 kV de  $2(3 \times 25 + 16 \text{ mm}^2)$  y trabajara con una tensión de 460 V, tiene 3 salidas, el motor tiene un arranque por Soft Starter de 93.25 kW, la trasmisión es directa por acoplamiento, la vía de acceso de conductor a la caja de bornes, es con tubo flexible con forro de PVC de 2", sujetados con conectores rectos galvanizado.

#### **4.7 Motor de media tensión**

Se refiere al motor tipo síncrono de 149.2 kW. Este motor cuenta con las siguientes características:

- Marca general electric, modelo: 5TS850541AL,
- Voltaje: 2300 V,
- Corriente: 49.7 A,
- RPM : 400,
- F.P.: 0.80,
- Tipo: TS,
- Excitatriz: 125 VDC,
- Corriente (excitatriz): 27.5 A,

Su función es mover el molino de Bolas de  $7 \frac{1}{2} \times 7$ ", está alimentado con cable unipolar para media tensión tipo N2XSY – 8.7/15 kV de  $35 \text{ mm}^2$  y trabaja con una tensión de 2.4 kV, tiene instalado terminaciones autocontroles de goma silicona marca 3M, tiene 3 salidas, el motor tiene un arranque directo, la trasmisión es directo por acoplamiento, la vía de acceso para el conductor es por tubería flexible con forro de PVC de 4", sujetadas con conectores corvo y recto galvanizado.

La alimentación para la excitatriz del motor es con cable de  $4 \times 1.5 \text{ mm}^2$ , agarrados en paralelo, borne positivo negro y rojo, borne negativo blanco y amarillo, se alimenta con 120 VDC desde el arrancado, datos 125 VDC, 27.9 A,  $4.5 \Omega$ . Antes de arrancar este motor sonara una alarma por un tiempo de 30seg y luego quedara listo para arrancar el motor con un nuevo pulso.

Todos los motores se han conectado al sistema de puesta a tierra

#### **4.8 Cajas y pulsadores**

Los caja de pulsadores modelo DR, instalados para Prueba, Arranque y parada son de las siguientes características, Caja de fierro fundido con 3 huecos de 30.5 mm NEMA 4/4X, marca Eaton Cutler – Hammer, usa, equipado con un pulsador de color rojo Heavy Duty, NEMA4/4X, marca Eaton/Cutler Hammer, con contacto NC, un pulsador de color verde Heavy Duty, NEMA4/4X, marca Eaton/Cutler Hammer, con contacto NA y un pulsador de color negro Heavy Duty, NEMA4/4X, marca Eaton/Cutler Hammer, con contacto NC y NA, a los cuales le corresponde un rotulo de Parada, Arranque y Prueba respectivamente

#### **4.9 Cajas de paso**

Son fabricados de plancha de fierro de 1.5 mm de espesor, en las siguientes medidas: caja de 100x100x50 mm, cajas de 200x200x150 mm, cajas de 300x200x200 mm, cajas de 300x300x300 mm, cajas de 400x400x250 mm, (ancho, largo, profud.) y tiene un acabado final de color naranja

## **CAPÍTULO V CALCULOS JUSTIFICATIVOS**

En el presente capítulo se desarrollan los cálculos justificativos del proyecto. Se organiza en tres secciones principales.

- Estudio de flujo de carga y cortocircuito en la unidad de producción Andaychagua.
- Cálculo de malla de puesta a tierra de subestación planta níquel.
- Cálculo de malla de puesta a tierra de sistema de pararrayos para la planta níquel.

### **5.1 Estudio de flujo de carga y cortocircuito en la unidad de producción**

La Compañía Volcán SAC Unidad de Producción Andaychagua, ha decidido dentro de su plan de expansión, aumentar la producción de su unidad, de 2300 tcs a 3450 tcs, para ello tiene planeado cambiar y/o añadir equipos en su planta de procesamiento de minerales, así como otras áreas de producción como es mina subterránea.

Paralelamente a ello ha decidido instalar una planta de procesamiento de Níquel cuyas cargas se detallan más adelante.

Para la elaboración del presente estudio se ha tenido en cuenta datos proporcionados por la compañía Volcan SAC, acerca de los valores de cortocircuito en la barra principal de la subestación Andaychagua, teniendo en cuenta la proyección y variación de la misma en el futuro.

#### **5.1.1 Conclusiones y recomendaciones**

Son las siguientes:

- a. La potencia de cortocircuito considerada en la barra de 4.16 kV, es de 20 kA, la cual tiene en cuenta las modificaciones que pudiera haber en el lado de suministro.
- b. Siendo un sistema básicamente radial, se ha tenido cuidado en analizar si las tensiones en las barras de alimentación salen fuera de rango, para ello se ha añadido bancos de condensadores en las barras de suministro de Filtrado, Molienda, Chancado, Níquel y Mina a fin de que las tensiones en dichos puntos no supere los límites máximos y mínimos ( $\pm 5\%$  de la tensión nominal).

Se concluye que sin dichos bancos de condensadores se supera el límite mínimo por lo que para un funcionamiento normal del sistema dichos bancos deben existir.

- c. También se ha analizado la posibilidad de que el sistema se quede sin carga y la influencia que los bancos de condensadores puede tener en estos eventos,



- encontrándose de que dichos casos las tensiones límites no se superan en ningún punto.
- d. Los bancos de condensadores se han añadido en función de conseguir en barras principales un  $\text{Cos } \varnothing$  superior a 0.95, que es el límite mínimo para no tener que pagar por el consumo de reactivos. El valor del  $\text{cos } \varnothing$  en barras sería de 0.97442.
- e. El banco de condensadores a añadir en la planta de Niquel es de 200 kVAR.

### 5.1.2 Informe técnico

Está conformado por la descripción del sistema eléctrico, los datos del sistema eléctrico y el análisis de flujo de carga y cortocircuito.

#### a. Descripción del sistema eléctrico

El sistema eléctrico de alimentación consta de un transformador de 7.5/10 MVA ONAN/ONAF, 48/4.16 kV, alimentado por la línea desde Marh Tunel (unidad localizado a 60 km de la unidad de Andaychagua), siendo el sistema totalmente radial.

La tensión de distribución primaria es de 4.16 kV. En este nivel de tensión se instalará dos transformadores:

- Uno de 1000 kVA, 4.16/0.46 kV que alimentará a un CCM
- Otro de 640 kVA, 4.16/2.3 kV que alimentará a un motor síncrono de 149.2 kW

#### b. Datos del sistema eléctrico

Los datos del cable de alimentación de la planta y los datos de los transformadores son los siguientes son los mostrados en las tablas siguientes.

**Tabla 5.1** Datos del cable de alimentación (Fuente: Informe técnico)

Sección mm <sup>2</sup>	Resistencia Ω/km	Reactancia Ω/km	Ampacidad A	Longitud m
70	0.342	0.1301	345	92

**Tabla 5.2** Datos de transformadores (Fuente: Informe técnico)

Potencia kVA	Tensión en kV		V <sub>cc</sub> %	Tap	Grupo Conexión
	Alta	Baja			
1000	4.16	0.46	5.75	± 5%	Dyn5
640	4.16	2.3	5.75	± 5%	Dyn5

#### c. Análisis de flujo de carga y cortocircuito

Se desarrollan en tres partes: Consideraciones previas, acerca del programa de flujo y cortocircuito, y reportes de flujo de cargas.

##### Consideraciones previas

Sobre el sistema de suministro se ha tenido en cuenta una corriente de cortocircuito proyectada de 20 kA en la barra principal de 4.16 kV lo que da los siguientes parámetros equivalentes:  $\text{MVA} = 1.732 \times 4.16 \times 20 = 141.1042$  MVA. Siendo la impedancia equivalente para el suministro:  $Z_{p,u} = P_{\text{base}}/P_{\text{real}} = 15/141.1024 = 0.1063$

Caracterización de las cargas a considerarse se muestra en la Tabla 5.3:

**Tabla 5.3** Caracterización de las cargas (Fuente: Informe técnico)

CARGA	Nominal	Cos Ø	Máxima Demanda	Potencia reactiva
	kVA (hp)		kW	kVAR
Mina		0.8	2800	2097.2
Campamentos		0.9	1710	827.8
Casa Compresoras		0.8	650	486.8
Molino 1	(800)	-0.98	600.2	-120.28
Molino 2	(400)	0.99	242.53	34.08
Molino 3	(300)	0.98	204.78	41.04
Molino 4	(400)	0.98	257.6	51.62
Chancado	800	0.7	620	630.9
Molienda	2500	0.85	1440	888.1
Niquel 0.46 kV	1000	0.80	659	319
Niquel 2.3 kV	640	1	149.2	0

También se consideran los siguientes bancos de condensadores:

**Tabla 5.4** Bancos de condensadores (Fuente: Informe técnico)

Nombre de S.E.	Banco de condensadores kVAR	Factor para llevar Cos Ø a 0.95
Molienda	-300	0.291
Chancado	-600	0.691
Mina	-1200	0.421
Níquel	-200	0.421

#### **Acerca del programa de flujo y cortocircuito**

El programa a utilizarse será el Winflu V 2.3 – 2002, corriéndose las opciones de flujo de potencia y cortocircuito trifásico en todas las barras mostradas en el diagrama unifilar.

Se han corrido las opciones de tener bancos de condensadores de 300 kVAR o de 600 kVAR, en las subestaciones de Molienda y chancado, eligiéndose finalmente las de 300 kVAR ya que en dicha opción no se inyecta reactivos al sistema teniéndose un factor de potencia promedio de 93.51% a plena carga y cuando salen las cargas principales de 99.99%.

En cambio cuando se tiene bancos de condensadores de 600 kVAR en la subestación de molienda, se tiene un factor de potencia de 95.116% a plena carga, pero se tendría un factor de potencia en adelanto de 98.9% cuando salgan las cargas principales.

En ambos casos no se tiene valores de salgan fuera de los límites permisibles de tensión en todas las barras ( $\pm 5\%$  de la tensión nominal). Para la Planta de Niquel se requiere instalar un banco de condensadores de 200 kVAR.

#### **Reportes de flujo de cargas**



DATOS DE TRANSFORMADORES 2 DEVANADOS

oo

Barra Ini.	Barra Fin	MVA	vcc(%)	pcu(%)	phi(%)	cmag(%)	Vp(kV)	Vs(kV)	Tap(%)	Vnp(kV)	Vns(kV)
SE_MOLIN	MOLINO_4	0.5	4.000	0.000	0.000	0.000	4.2	0.5	0.0	4.2	0.5
MOLIENDA	MOLIENDA	2.5	5.750	0.000	0.000	0.000	4.2	0.5	0.0	4.2	0.5
SE_CHANC	CHANCADO	1.5	5.750	0.000	0.000	0.000	4.2	0.5	0.0	4.2	0.5
PLANT_NIQUEL_0.46		1.0	5.750	0.000	0.000	0.000	4.2	0.5	0.0	4.2	0.5
PLANT_NIQUEL_2.3kVº		0.6	5.750	0.000	0.000	0.000	4.2	2.3	0.0	4.2	2.3

**Tabla 5.6** Reporte del flujo de potencia (Fuente: Resultados obtenidos)

Numero de Barras : 11

Numero de Generadores : 1

\*\*\*\*\*

\* BARRAS DEL SISTEMA

\*\*\*\*\*

Nombre	Tipo	Tensión	Angulo	F.Perdidas	Carga	Shunt	Area
		( kV )	(pu)	(Grados)	(MW)	(MVAR)	(MVAR)
BARRA_4.16	2	4.160	1.000	0.000	1.000000	2.360	1.315
SE_MOLIN	0	4.144	0.996	-0.106	1.007531	1.048	-0.045
MOLINO_4	0	0.456	0.992	-1.301	1.007554	0.258	0.052
MOLIENDA	0	4.138	0.995	-0.037	1.008281	0.000	0.000
SE_CHANC	0	4.140	0.995	-0.046	1.009433	0.000	0.000
MOLIENDA	0	0.451	0.980	-1.982	1.010102	1.440	0.588
CHANCADO	0	0.457	0.994	-1.423	1.009503	0.620	0.031
MINA 570	0	4.127	0.992	-0.122	1.014616	2.800	0.897
PLANT_NIQUEL0		4.159	1.000	-0.004	1.000259	0.000	0.000
NIQUEL_0.46	0	0.456	0.992	-2.193	1.000271	0.659	0.119

NIQUEL 2.3kV 0 2.299 1.000 -0.785 1.000260 0.149 0.000 1

\*\*\*\*\*

\* FLUJOS ENTRE LINEAS Y TRANSFORMADORES

\*\*\*\*\*

ENVIO	RECEPCION	Longitudinal (MW)	(MVAR)	P.Transv. (MW)	P. Totales (MW)	(MVAR)	Tap (visual)
-------	-----------	----------------------	--------	-------------------	--------------------	--------	-----------------

BARRA\_4.16 -----

SE_MOLIN		1.310	0.014	0.000	0.005	0.002	
MOLIENDA		1.440	0.646	0.000	0.007	0.004	
SE_CHANC		0.620	0.046	0.000	0.003	0.001	
MINA 570		2.820	0.910	0.000	0.020	0.013	
PLANT_NIQUEL		0.808	0.147	0.000	0.000	0.000	

SE\_MOLIN -----

MOLINO_4		0.258	0.057	0.000	0.000	0.006	1.000
BARRA_4.16		-1.305	-0.012	0.000	0.005	0.002	

MOLINO\_4 -----

SE_MOLIN		-0.258	-0.052	0.000	0.000	0.006	1.000x
----------	--	--------	--------	-------	-------	-------	--------

MOLIENDA -----

BARRA_4.16		-1.432	-0.642	0.000	0.007	0.004	
MOLIENDA		1.440	0.645	0.000	0.000	0.058	1.000

SE\_CHANC -----

BARRA_4.16		-0.617	-0.046	0.000	0.003	0.001	
CHANCADO		0.620	0.046	0.000	0.000	0.015	1.000

MOLIENDA -----

MOLIENDA		-1.440	-0.587	0.000	0.000	0.058	1.000x
----------	--	--------	--------	-------	-------	-------	--------

CHANCADO -----

SE_CHANC		-0.620	-0.031	0.000	0.000	0.015	1.000x
----------	--	--------	--------	-------	-------	-------	--------

MINA 570 -----



*****		
* TENSIONES FUERA DE LIMITES		
*****		
Nombre	Tension	Tensiones limites
	(pu)	Min Max

**Tabla 5.7** Potencias de cortocircuito trifásico (Fuente: Resultados obtenidos)

Nombre	Pcc 3F (MVA)	Icc (p.u.)	X/R	Z (p.u.)	
BARRA_4.16	141.102		1.411	1194954.5	0.709
SE_MOLIN	110.454		1.109	2.985	0.899
MOLINO_4	11.108		0.112	31.010	8.857
MOLIENDA	106.932		1.075	3.094	0.925
SE_CHANC	84.676		0.851	1.187	1.170
MOLIENDA	30.103		0.307	11.176	3.193
CHANCADO	20.627		0.208	6.274	4.788
MINA 570	110.763		1.116	3.712	0.889
PLANT_NIQUEL	138.693		1.387	45.016	0.721
NIQUEL_0.46	15.215		0.153	404.210	6.471
NIQUEL 2.3kV	10.150		0.102	615.164	9.848

## 5.2 Cálculo de malla de puesta a tierra de subestación planta níquel

El cálculo de la malla de tierra se hará, siguiendo los lineamientos descritos en el Estándar 80-2000 de la IEEE "Guide for Safety in AC Substation Grounding", cuyas fórmulas y metodología están descritos en el capítulo 16 de la mencionada norma.

### 5.2.1 Datos a considerar

Son los datos del terreno y los datos de conexión, mostrados en las Tabla 5.8 y 5.9.

**Tabla 5.8** Datos de terreno (Fuente: Informe Técnico)

Lado mayor de la malla	m	14
Lado menor de la malla	m	11
Resistividad equivalente de terreno $\rho$	$\Omega$ -m	100
Resistividad de capa superficial $\rho_s$	$\Omega$ -m	940
Espesor de capa superficial	m	0.01
Area de la malla A (14x11)	m <sup>2</sup>	154
Profundidad de la malla	m	0.5

**Tabla 5.9** Datos de conexión (Fuente: Informe Técnico)

Tiempo de despeje de la falla $t_f$	seg	0.5
Temperatura máxima de operación	°C	450
Temperatura ambiente	°C	10

**5.2.2 Cálculo de la corriente de falla a considerar**

Se realiza el cálculo en el lado de alta de la subestación.

- Tensión entre fases VL1 = 4160 Voltios
- Tensión fase a neutro VLN = 2401.85 Voltios
- VCC = 10% (Se considera Z0= 85% de Z1)
- Resistencia de puesta a tierra del neutro = 1.5 ohmios
- RF = Se considera cero

Asumiendo una barra infinita en la fuente de alimentación, para simplificar los cálculos, se tiene que la corriente de cortocircuito monofásica a tierra en alta es aproximadamente igual a:

$$I_A = \frac{V_{LN}}{\frac{(2Z_1+Z_0)}{3+R_F+Z_G}} \quad (5.1)$$

$I_A = 1505.86 \text{ A}$  (Corriente de falla en el lado de alta)

De igual manera se calcula en forma simplificada la corriente de cortocircuito en el lado de baja a 100 m de la subestación y que retorna por la malla de tierra:

- Tensión entre fases VL1B = 460 Voltios.
- Tensión fase a neutro VLNB = 265.59 Voltios.
- VCC = 5.75%.
- ZG = 1 (Resistencia de malla estimada).

**Tabla 5.10** Cuadro de impedancias (Informe Técnico)

Impedancia de cable de cable		Impedancia del transformador	
Z11	0.005	Z1	0.0575
Z21	0.005	Z2	0.0575
Z20	0.005	Z0	0.048875

$$I_{AB} = \frac{V_{LN}}{\frac{2(Z_1+Z_{11})+(Z_0+Z_{20})}{3+R_F+Z_G}} \quad (5.2)$$

$I_{AB} = 250.64 \text{ A}$

Se asume una relación X/R = 25

El Factor de decremento será:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left( 1 + e^{-\frac{2t_f}{T_a}} \right)} \quad (5.3)$$



Donde:

$$T_a = \frac{X/R}{2\pi f} \quad (5.4)$$

Tabulando los resultados se tiene lo siguiente:

**Tabla 5.11** Resultados (Fuente: Informe Técnico)

Corriente de Falla a Tierra $I_f$ Lado AT	A	1505.86
Corriente de Falla a Tierra $I_f$ Lado BT	A	250.64
Relación X/R del Sistema	-	25
Factor de Decremento $D_f$	-	1.064

Luego la corriente de diseño de los conductores de la malla será:

$$IF = D_f \times I_f \quad (5.5)$$

$$IF = 1.064 \times 1505.86$$

$$IF = 1602.2 \text{ A}$$

### 5.2.3 Cálculo de la resistencia de la malla de tierra

La resistencia de la malla a tierra será calculada empleando las fórmulas de Swartz y son:

#### Resistencia de las jabalinas

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi L_T N_R} \left[ \ln \left( \frac{4L_C}{b} \right) - 1 + \frac{2L_T K_1}{\sqrt{A}} (\sqrt{N_R - 1})^2 \right] \quad (5.6)$$

Siendo:

$$N_R = \text{Número de varillas} = 2$$

$$L_T = \text{Longitud de la varilla} = 3 \text{ m}$$

$$K_1 = \text{Coeficiente 1} = 1.35$$

$$P = \text{Resistencia aparente} = 100 \text{ } \Omega\text{-m}$$

$$A = \text{Área de la malla} = 154 \text{ m}^2$$

$$L_C = \text{Longitud total de la malla} = 342 \text{ m}$$

$$\text{Resultando } R_2 = 16.611 \text{ Ohmios}$$

#### Resistencia a tierra de la malla

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[ \ln \left( \frac{2L_C}{a'} \right) + \frac{k_1 L_C}{\sqrt{A}} - k_2 \right] \quad (5.7)$$

Donde:

$$a' = \sqrt{a \cdot 2h}$$

$$2a = \text{Diámetro del conductor enterrado} = 0.019 \text{ m}$$

$$h = \text{Profundidad a que ha sido enterrado el conductor} = 0.5 \text{ m}$$

$$k_2 = \text{Coeficiente 2} = 1.36$$

$$\text{Resultando } R_1 = 4.2 \text{ Ohmios}$$

### Resistencia mutua $R_m$

Resistencia mutua entre la malla de tierra y las jabalinas

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[ \ln \left( \frac{2L_C}{L_T} \right) + \frac{k_1 L_C}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right] \quad (5.8)$$

Resultando  $R_m = 3.979$  ohmios

### Resistencia total del sistema $R_g$

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (5.9)$$

Resultando  $R_g = 4.197$  Ohmios

### 5.2.4 Cálculo de las tensiones tolerables de toque y paso

Se realiza el cálculo del factor de reducción de terreno, el cálculo de la tensión de toque tolerable y el cálculo de la tensión de paso tolerable.

- Cálculo del factor de reducción de terreno  $C_s$

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09} \quad (5.10)$$

$P =$  Resistividad equivalente del terreno = 100  $\Omega$ -m

$\rho_s =$  Resistividad de la capa superficial = 940  $\Omega$ -m

$h_s =$  Espesor de la capa superficial = 0.1 m

$C_s = 0.72$

- Cálculo de la tensión de toque tolerable

$$E_{\text{touch}} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t}} \quad (5.11)$$

Para un  $t = 0.5$  seg

$E_{\text{touch}} = 448.27$  Voltios

- Cálculo de la tensión de paso tolerable

$$E_{\text{step}} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t}} \quad (5.12)$$

$E_{\text{step}} = 1127$  Voltios

### 5.2.5 Cálculo de la tensión de toque real

$$E_m = \frac{\rho k_m k_i I_G}{L_M} \quad (5.13)$$

Donde:

$$L_M = L_C + L_R \quad (5.14)$$

$L_C =$  Longitud total de conductor utilizada en la malla

= 342 m

Para el caso de utilizar varillas en los extremos de la malla:

$$L_M = L_C + \left[ 1.55 + 1.22 \left( \frac{L_T}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R \quad (5.15)$$

$L_T$  = Longitud de una varilla = 3 m

$L_x$  = Longitud mayor de la malla = 14 m

$L_y$  = Longitud menor de la malla = 11 m

$L_R$  = Longitud total de las varillas =  $2 \times 3 = 6$  m

Reemplazando valores se tiene:

$L_M = 176.619$  m

- **Cálculo del factor geométrico  $k_m$  (Fórmulas de Sverak)**

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{k_{ii}}{k_h} \ln \left[ \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \quad (5.16)$$

$D$  = Espaciamiento entre conductores = 1 m

$h$  = Profundidad de la malla = 0.5 m

$d$  = Diámetro del conductor de la malla (4/0 AWG) = 13.3 mm = 0.0133 m

$k_{ii} = 1$  Para mallas con jabalinas en las esquinas

$$k_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (5.17)$$

donde  $h$  = profundidad de la malla = 0.5 m

$h_0$  = Profundidad de referencia = 1 m

$k_m = 0.459$

- **Cálculo del factor de irregularidad  $k_t$**

$$k_t = 0.644 + 0.148n \quad (5.18)$$

$n$  = Número efectivo de conductores en paralelo

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d \quad (5.19)$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_c}{L_p} \quad (5.20)$$

$L_p$  = Longitud perimetral de la malla

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}} \quad (5.21)$$

$n_c = 1$  Para mallas cuadradas y rectangulares

$n_d = 1$  Idem

$n = 7.31$

Reemplazando valores tenemos que:

$$k_i = 0.644 + 0.147(7.31)$$

$$k_i = 1.725$$

- **Cálculo de la corriente de diseño  $I_G$**

La Corriente de diseño  $I_G$  es calculada por las ecuaciones mostradas a continuación y está dado para prevenir el sobrediseño del sistema de puesta a tierra, solamente una porción de la corriente de falla total, que fluye a través de la malla a tierra remota será usada para el diseño de la malla, sin embargo la corriente  $I_G$  refleja la peor condición de falla y el factor de decremento y está dada por las siguientes ecuaciones:

$$I_G = I_f \cdot D_f \cdot S_f \quad (5.22)$$

Donde  $S_f$ , el factor de división de corriente, está dado por:

$$S_f = \frac{Z_{eq}}{Z_{eq} + R_g} \quad (5.23)$$

$Z_{eq} = 2$  Impedancia equivalente de los cables de tierra

$R_g = 4.135$  Resistencia de la malla a tierra

$$S_f = 0.3279$$

Luego:

$$I_G = 449 \text{ Amperios}$$

Reemplazando todos estos valores en la fórmula de tensión de toque real será

$$E_m = \frac{\rho k_m k_i I_G}{L_M} = \frac{100 \times 0.459 \times 1.725 \times 449}{176.619} \quad (5.24)$$

Resultando  $E_m = 107.89$  Voltios, lo que es menor a 448.27 voltios, concluyéndose que el diseño es correcto.

**5.2.6 Cálculo de la tensión de paso real**

$$E_s = \frac{\rho \cdot k_s \cdot k_i \cdot I_G}{L_s} \quad (5.25)$$

$$P = 100 \text{ } \Omega\text{-m}$$

$$K_i = 2.676 \text{ (Factor de irregularidad)}$$

$$I_g = 517A$$

$k_s$  = Factor de espaciamiento para tensión de paso

$L_s$  = Longitud efectiva para voltaje de paso

- **Cálculo del factor de espaciamiento para tensión de paso  $k_s$**

Empleando la ecuación de Sverak, aplicable a mallas enterradas a menos de 2.5 m de profundidad:

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \quad (5.26)$$

Donde:

$h$  = Profundidad de la malla = 0.5 m

$D$  = Espaciamiento entre conductores de la malla = 1 m

$n$  = Número efectivo de conductores en la cuadrícula = 13.73

Luego:

$K_s = 0.849$

- **Cálculo de  $L_s$**

$$L_s = 0.75L_c + 0.85L_R \quad (5.27)$$

$L_c$  = Longitud total de cable enterrado = 342 m

$L_R$  = Longitud total de varillas enterradas = 6 m

Luego:

$L_s = 260.6$  m

Reemplazando estos valores en la fórmula de tensión de paso, tenemos:

$$E_s = \frac{100 \times 0.849 \times 2.676 \times 517}{260.6}$$

Resultando  $E_s = 450.78$  Voltios, lo que equivale al 40% de Tensión paso tolerable, concluyéndose que el diseño es correcto.

### 5.2.7 Conclusión

Las tensiones de toque y paso que se tendrán en la subestación serán de 24.07% de la tensión de toque permisible y el 40% de la tensión de paso permisible, por lo que se puede concluir que el diseño de la malla planteada pone estos valores de tensión por debajo que los códigos de seguridad exigen.

### 5.3 Cálculo de malla de puesta a tierra del sistema de pararrayos

El cálculo de la malla de tierra se hará siguiendo los lineamientos descritos en el Estándar 80-2000 de la IEEE "Guide for Safety in AC Substation Grounding", cuyas fórmulas y metodología están descritos en el capítulo 16 de la mencionada norma.

Se ha escogido las fórmulas de Schwartz, que escoge el modelo de dos capas para modelar la resistividad de tierra.

#### 5.3.1 Datos a considerar

Son los mostrados en la Tabla 5.12. Entre ellas se pueden mencionar: Lado mayor de la malla, lado menor de la malla, resistividad equivalente de terreno, resistividad de capa superficial, espesor de capa superficial ( $h$ ).

**Tabla 5.12** Datos de cálculo (Informe Técnico)

Lado mayor de la malla	m	20
Lado menor de la malla	m	15
Resistividad equivalente de terreno $\rho$	$\Omega$ -m	100
Resistividad de capa superficial $\rho_s$	$\Omega$ -m	1000

<b>Espesor de capa superficial (h)</b>	m	0.1
<b>Area de la malla A (20x15)</b>	m <sup>2</sup>	300
<b>Profundidad de la malla (s)</b>	m	0.25
<b>Largo de varilla (L)</b>	m	0.5
<b>Radio de varilla</b>	m	0.009525
<b>Radio de conductor enterrado ( 2/0 AWG)</b>	m	0.00535
<b>Cantidad de varillas</b>		5
<b>Longitud total de la malla L<sub>c</sub></b>	m	70

### 5.3.2 Cálculo de la resistividad aparente

Se desarrolla la siguiente ecuación:

$$\rho_a = \frac{L \cdot \rho \cdot \rho_s}{[\rho(h-s) + \rho_s(L+s-h)]} \quad (5.28)$$

Reemplazando se obtiene 89.888.

### 5.3.3 Cálculo de las constantes de geometría

Se desarrolla la siguiente fórmula:  $s = <0.1\sqrt{A} = 1.732$ . Se tendrá que las siguientes fórmulas son aplicables para hallar las constantes geométricas (Ver Std 80-2000 de la IEEE):

$$k_1 = -0.05 \frac{L_2}{L_1} + 1.2 = 1.1625 \quad (5.29)$$

$$k_2 = 0.1 \frac{L_2}{L_1} + 4.68 = 4.755 \quad (5.30)$$

### 5.3.4 Cálculo de la resistencia de la malla de tierra

La resistencia de la malla a tierra será calculada empleando las fórmulas de Swartz y son:

#### - Resistencia de las jabalinas

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi L_T N_R} \left[ \ln \left( \frac{4L_C}{b} \right) - 1 + \frac{2L_T K_1}{\sqrt{A}} (\sqrt{N_R} - 1)^2 \right] \quad (5.31)$$

Siendo:

$N_R =$  Número de varillas = 5

$L_T =$  Longitud de la varilla = 1.2 m

$K_1 =$  Coeficiente 1 = 1.1625

$P =$  Resistencia aparente = 89.88  $\Omega$ -m

$A =$  Area de la malla = 300 m<sup>2</sup>

$L_C =$  Longitud total de la malla = 70 m

Resultando  $R_2 = 16.88$  Ohmios

#### - Resistencia a tierra de la malla

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[ \ln \left( \frac{2L_C}{a} \right) + \frac{k_1 L_C}{\sqrt{A}} - k_2 \right] \quad (5.32)$$

Donde:

$$a' = \sqrt{a \cdot 2h}$$

2a = Diámetro del conductor enterrado = 0.019 m

h = Profundidad a que ha sido enterrado el conductor = 0.25 m

$k_2$  = Coeficiente 2 = 4.755

Resultando  $R_1 = 3.568$  Ohmios

- **Resistencia mutua  $R_m$**

Resistencia mutua entre la malla de tierra y las jabalinas

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[ \ln \left( \frac{2L_C}{L_T} \right) + \frac{k_1 L_C}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right] \quad (5.33)$$

$R_m = 2.331$  ohmios

- **Resistencia total del sistema  $R_g$**

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (5.34)$$

Resultando  $R_g = 3.471$  Ohmios

### 5.3.5 Conclusión

Luego la malla, hecha con conductor 2/0 AWG, hecho alrededor del perímetro de la nave principal de la planta de níquel, enterrado a 25 cm del suelo y reforzado con cemento conductivo al fondo de la zanja y una capa de bentonita para atrapar la humedad y cinco pozos de tierra en los extremos, enterrados a una profundidad de 1.2 m, ya que el fin de la malla es dar protección contra descargas atmosféricas, dará como resultado una resistencia global de 3.471 ohmios.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. La malla, hecha con conductor 2/0 AWG, hecho alrededor del perímetro de la nave principal de la planta de níquel, enterrado a 25 cm del suelo y reforzado con cemento conductivo al fondo de la zanja y una capa de bentonita para atrapar la humedad y cinco pozos de tierra en los extremos, enterrados a una profundidad de 1.2 m, ya que el fin de la malla es dar protección contra descargas atmosféricas, dará como resultado una resistencia global de 3.471 ohmios.
2. Las tensiones de toque y paso que se tendrán en la subestación serán de 24.07% de la tensión de toque permisible y el 40% de la tensión de paso permisible, por lo que se puede concluir que el diseño de la malla planteada pone estos valores de tensión por debajo que los códigos de seguridad exigen.
3. La potencia de cortocircuito considerada en la barra de 4.16 kV, es de 20 kA, la cual tiene en cuenta las modificaciones que pudiera haber en el lado de suministro.
4. Siendo un sistema básicamente radial, se ha tenido cuidado en analizar si las tensiones en las barras de alimentación salen fuera de rango, para ello se ha añadido bancos de condensadores en las barras de suministro de Filtrado, Molienda, Chancado, Níquel y Mina a fin de que las tensiones en dichos puntos no supere los límites máximos y mínimos ( $\pm 5\%$  de la tensión nominal).

### Recomendaciones

1. Es altamente recomendable que se respeten la normatividad vigente a fin de asegurar los niveles de desempeño del sistema implementado.
2. Debe supervisarse estrictamente el desarrollo de los trabajos, documentándose adecuadamente los trabajos realizados a fin de servir de referencia a otros grupos de trabajo.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Normas Técnicas de la Calidad del Servicio Eléctrico
- [2] Código Nacional de Electricidad – Suministro 2001
- [3] Procedimiento de Fiscalización en Líneas y Subestaciones Eléctricas de MT – Resolución OSINERGMIN N° 011-2004-OS/CD
- [4] Recomendación de operación y mantenimiento de los fabricantes de equipos.
- [5] Normas ISO 9001, 14001 Y OHSAS 18001