

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**“INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE COMO FACTOR DE GESTION
EN LAS SUBESTACIONES DE TRANSMISION (SET), CASO: SET
CANTERA 220/60 kV”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRICISTA

AUTOR(es):

- CUEVA RONCAL, HENRY
- ISIDRO NUÑEZ, JULIO WALTHER

**CALLAO, PERÚ
2018**

HOJA DE REFERENCIA JURADO EVALUADOR

MIEMBROS DEL JURADO:

Dr.	:	JUAN HERBER GRADOS GAMARRA	PRESIDENTE
Dr.	:	SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ	ASESOR
Mg.	:	PEDRO ANTONIO SANCHEZ HUAPAYA	VOCAL

ASESOR: NIKO ALAIN ALARCON CUEVA

DEDICATORIA:

Dedicamos esta tesis a Dios, que ha estado con nosotros, cuidándonos y guiándonos en cada paso; a nuestros padres, sin ellos no habiéramos conseguido labrarnos un futuro; a nuestros hermanos, familia y amigos en general, por su apoyo. También dedico esta tesis a mi esposa e hija, mis compañeras, ellas representan mi esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio. Gracias a nuestros profesores por el conocimiento impartido. Sin ellos apoyándonos no habiéramos logrado alcanzar nuestros sueños.

CUEVA RONCAL, HENRY

ISIDRO NUÑEZ, JULIO WALTHER

AGRADECIMIENTO:

En primer lugar a Dios por habernos guiado en el tiempo que éramos estudiantes, por darnos la fuerza de voluntad en los momentos difíciles de nuestra carrera; en segundo lugar a cada uno de los miembros de nuestras familias, a nuestras madres Guillermina Roncal Cabrera y Alejandra Nuñez Povez, a nuestros padres Segundo German Cueva Chávez y Julio Isidro Solís, a nuestros hermanos Lady Cueva Roncal, Diana Cueva Roncal y Paul Isidro Nuñez, por su apoyo incondicional; a mi esposa María Flores Sánchez, mi eterna compañera, por ser el pilar que me sostiene, por ser mi fortaleza y darme la fuerza necesaria para levantarme cada vez que me caía; a mi hija Mireia Catalina Cueva Flores, por ser la luz que me ilumina en mis noches; a nuestros amigos por estar con nosotros apoyándonos, hago mención especial a mi amigo Jaime Boñon Gutierrez y su madre Juliana, gracias por confiar en mí; a nuestros profesores a quienes debemos los conocimientos adquiridos, gracias por su paciencia y dedicación; finalmente un eterno agradecimiento a nuestra Universidad, nuestra alma mater, quien nos cobijó en sus aulas, para prepararnos para un mejor futuro.

CUEVA RONCAL, HENRY

ISIDRO NUÑEZ, WALTHER JULIO

INDICE

RESUMEN	15
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1 Identificación del Problema	17
1.2 Formulación del Problema	17
1.2.1 Problema General	17
1.2.2 Problemas Específicos	17
1.3 Objetivos de la Investigación	18
1.3.1 Generales.....	18
1.3.2 Específicos	18
1.4 Justificación de la Investigación.....	18
1.5 Limitaciones y Facilidades	18
1.5.1 Limitaciones	18
1.5.2 Facilidades.....	18
II. FUNDAMENTO TEORICO	19
2.1 Antecedentes del Estudios.....	19
2.1.1 Ingeniería Conceptual.....	19
2.1.2 Ingeniería Básica.....	20
2.1.3 Ingeniería de Detalle	20
2.2 Conceptos y Definiciones.....	23
2.2.1 Ingeniería Básica.....	23
2.2.2 Ingeniería Detalle	24
2.2.3 Modelo de Gestión Eléctrica	24
2.2.4 Condición Climatológica	24
2.2.5 Condición Ambiental	24
2.2.6 Faja de Servidumbre	24
2.2.7 Nivel de Contaminación.....	24
2.2.8 Normas.....	25
III. ANALISIS GEOTECNICO.....	26

3.1	CONDICIONES GEOLÓGICAS GENERALES.....	26
3.2	GEOLOGÍA REGIONAL	26
3.2.1	Geomorfología.....	26
3.2.1.1	Región Costanera	26
3.2.1.1.1	<i>Pampas Costaneras</i>	27
3.2.2	Estratigrafía	28
3.2.2.1	Depósitos Cuaternarios (Qr).....	29
3.2.2.1.1	<i>Depósitos Aluviales Recientes (Qr-AI)</i>	30
3.2.3	Geología Estructural Regional.....	30
3.3	GEOLOGÍA LOCAL.....	31
3.4	GEODINÁMICA	31
3.4.1	Geodinámica Externa	31
3.4.2	Geodinámica Interna (Sismicidad)	32
3.5	GEOTECNIA	33
3.5.1	TRABAJOS REALIZADOS	33
3.5.1.1	Trabajos de Campo.....	33
3.5.1.1.1	<i>Reconocimiento de Campo y Ubicación de Calicata</i>	33
3.5.1.1.2	<i>Excavación de Calicata</i>	34
3.5.1.1.3	<i>Muestreo y Registro de Excavaciones</i>	35
3.5.1.1.4	<i>Evaluación Geomecánica</i>	35
3.5.1.2	Ensayos de Laboratorio	35
3.5.1.2.1	<i>Ensayo de Carga Puntual</i>	36
3.5.1.2.2	<i>Ensayo de Propiedades Físicas de la Roca</i>	37
3.5.2	RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES GEOGNÓSTICAS ..	37
3.5.2.1	Descripción del Perfil Estratigráfico	37
3.5.2.1.1	<i>Calicata C-Ca1</i>	37
3.5.2.2	Análisis de los Resultados	38
3.5.2.2.1	<i>Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso</i>	38
3.5.2.2.2	<i>Clasificación Geomecánica</i>	39
3.5.2.2.3	<i>Perfil del Suelo sobre la SET Cantera</i>	42

3.5.2.2.4	Condiciones del Suelo con Fines de Fundación.....	43
3.6	ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN DE SUELOS	43
3.6.1	Determinación de Parámetros de Resistencia	43
3.6.2	TIPOS DE SUELO Y PROFUNDIDAD DE CIMENTACION PARA LA AMPLIACION DE LA SET CANTERA	44
3.6.3	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE PARA LA AMPLIACIÓN DE LA SET CANTERA	44
3.6.4	FALLA GENERAL POR CORTE.....	48
3.6.5	POR ASENTAMIENTOS	50
3.7	ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.....	54
3.7.1	PARÁMETROS DE RESISTENCIA CORTANTE DEL MACIZO ROCOSO 54	
3.7.1.1	Criterio de Resistencia Hoek-Brown (2002).....	54
3.7.1.1.1	Determinación de la Constante (m_i) de la Matriz de Roca.....	55
3.7.1.1.2	Resistencia a la Compresión de la Matriz Rocosa (σ_{ci})	55
3.7.1.1.3	Índice Geológico de Resistencia (GSI)	55
3.7.1.2	Criterio de Deformación de Macizos Rocosos	57
3.7.2	PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN PARA EL MACIZO ROCOSO	57
3.7.3	CAPACIDAD ADMISIBLE DEL MACIZO ROCOSO PARA LA AMPLIACIÓN DE LA SET CANTERA	58
3.7.3.1	Método de Serrano y Olalla (2001)	58
3.7.3.2	Método de Hoek et al (2002).....	58
3.7.3.3	Método de Carter y Kulhawy (1988).....	58
3.7.4	VALORES OBTENIDOS DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE DE LA ROCA EN LA SET CANTERA.....	59
3.8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
IV.	MEDICIÓN Y CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL TERRENO EN LA SET CANTERA	67
4.1	MEDICIÓN DE La RESISTIVIDAD	67
4.1.1	CONSIDERACIONES INICIALES	67
4.1.2	RESULTADOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN EN CAMPO.....	67

4.2	Determinación de la resistividad aparente (ρ_a)	68
4.3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
V.	CRITERIOS DE DISEÑO – SUBESTACIÓN CANTERA 220/60 kV	71
5.1	Generalidades.....	71
5.2	Descripción del Estudio.....	71
5.3	Normas y Reglamentos.....	77
5.4	Niveles de Tensión y Aislamiento.....	77
5.5	Niveles de Protección	77
5.6	Niveles de Corriente.....	77
5.7	Equipamiento Electromecánico	78
5.7.1	Equipos en Patio de Llaves 220 kV	78
5.7.1.1	Interruptores de Potencia	78
5.7.1.2	Seccionadores de Barra.....	78
5.7.1.3	Transformadores Combinados.....	79
5.7.1.4	Transformadores de Corriente	79
5.7.1.5	Pararrayos	80
5.7.2	Equipos en Patio de Llaves 60 kV	80
5.7.2.1	Interruptores de Potencia	80
5.7.2.2	Seccionadores de Barra.....	81
5.7.2.3	Seccionadores de Línea.....	81
5.7.2.4	Transformadores Combinados.....	81
5.8	Coordinación de Aislamiento.....	82
5.8.1	OBJETIVO	82
5.8.2	NORMAS Y REFERENCIAS	82
5.8.3	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA.....	82
5.8.4	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	83
5.8.5	METODOLOGÍA PARA LA COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO	83
5.8.5.1	Determinación de las Sobretensiones Representativas (U _{rp}).....	83
5.8.5.1.1	<i>Sobretensiones a Frecuencia Industrial</i>	83
5.8.5.1.2	<i>Sobretensiones Temporales</i>	83

5.8.5.1.3	Sobretensiones Representativas Temporales	84
5.8.5.1.4	Sobretensiones de Frente Lento	85
5.8.5.2	Determinación de las Tensiones soportadas de Coordinación (Ucw)	86
5.8.5.2.1	Sobretensiones Temporales	86
5.8.5.2.2	Sobretensiones de frente lento	86
5.8.5.2.3	Sobretensiones de frente rápido	88
5.8.5.3	Determinación de las Tensiones Soportadas Especificadas (Urw)	89
5.8.5.3.1	Factor de Seguridad	89
5.8.5.3.2	Factor de corrección atmosférico	89
5.8.5.3.3	Tensiones de soportabilidad requeridas	89
5.8.5.4	Determinación de las Tensiones Soportadas Normalizadas (Uw)	91
5.8.5.4.1	Conversión a tensión de soportabilidad de corta duración a frecuencia Industrial	91
5.8.5.4.2	Conversión a tensión de soportabilidad del impulso tipo rayo (LIW)	92
5.8.5.5	Selección de Valores de Tensiones Soportadas Normalizadas	92
5.8.6	SELECCIÓN DE VALORES DE TENSIONES SOPORTADAS NORMALIZADAS PARA SISTEMA DE TENSIÓN 60 KV	93
5.9	Distancias Mínimas de Seguridad	96
5.9.1	Objetivo	96
5.9.2	NORMAS	96
5.9.3	METODOLOGIA	96
5.9.4	CÁLCULO DE LAS DISTANCIAS MINIMAS DE SEGURIDAD	97
5.9.5	CONCLUSIONES	98
5.9.6	SELECCIÓN DE VALORES DE DISTANCIAS MINIMAS DE SEGURIDAD PARA EL SISTEMA DE TENSIÓN 60 KV	98
5.10	Sistemas de Barras	98
5.10.1	Pórticos	98
5.10.2	Conductores para Barras	99
5.10.3	Aisladores	99
5.11	EVALUACIÓN DE LA MALLA A TIERRA EXISTENTE	99
5.11.1	OBJETO	99

5.11.2	NORMAS	99
5.11.3	PREMISAS ADOPTADAS	99
5.11.4	DATOS DE CÁLCULO	100
5.11.5	SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR DE MALLA	100
5.11.6	CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y PASO PERMISIBLES 101	
5.11.7	VERIFICACIÓN DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y PASO EN LA MALLA EXISTENTE 102	
5.11.8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
5.12	DISEÑO PARA LA AMPLIACIÓN DE MALLA A TIERRA	104
5.12.1	OBJETO	104
5.12.2	NORMAS	105
5.12.3	PREMISAS ADOPTADAS	105
5.12.4	DATOS DE CÁLCULO	105
5.12.5	SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR DE MALLA	105
5.12.6	CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y PASO PERMISIBLES 106	
5.12.7	CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y PASO EN LA MALLA AMPLIADA 107	
5.12.8	CONCLUSIONES	109
5.13	Sistema de puesta a tierra superficial	109
5.13.1	OBJETIVO	109
5.13.2	ALCANCE	110
5.13.3	METODOLOGIA	110
5.13.4	CRITERIOS	110
5.13.5	SELECCIÓN DE PLETINA	110
5.13.6	CONCLUSIONES	111
5.14	Cargabilidad de Transformadores de Corriente	112
5.15	Sistema de Automatización	112
5.15.1	Sistema de Control	112
5.15.2	Comunicaciones	113

5.16	Criterios de Diseños Civiles	113
5.16.1	Normas y Reglamentos de Referencia	113
5.16.2	Estructuras	114
5.16.2.1	Cargas	114
5.16.2.2	Factores de Seguridad	114
5.16.2.3	Cimentaciones de Bases.....	114
5.16.2.4	Caseta de Control	115
5.16.2.5	Elementos Varios de Concreto.....	115
5.16.2.6	Consideraciones del Refuerzo	116
VI.	VARIABLES E HIPOTESIS	117
6.1	HIPOTESIS	117
6.1.1	General.....	117
6.1.2	Específicas	117
6.2	VARIABLES.....	117
6.2.1	Variable Independiente.....	117
6.2.2	Variable Dependiente.....	117
VII.	METODOLOGIA	118
7.1	Relación entre las Variables.....	118
7.2	Tipo de Investigación.....	118
7.3	Diseño de la Investigación	118
7.4	Etapas de la Investigación.....	119
7.5	Cronograma de Actividades.....	119
VIII.	RESULTADOS.....	120
IX.	CONCLUSIONES	121
X.	RECOMENDACIONES	122
XI.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	123
XII.	ANEXO.....	124

TABLAS DE CONTENIDO

Tablas

Tabla 1: Características de la Línea Existente LT 60 kV SET Cantera - SET San Vicente.....	21
Tabla 2: Coordenadas Referenciales de la Línea Existente 60 kV L-6610 (Sistema UTM WGS 84 Zona 18).....	22
Tabla 3: Unidades Geomorfológicas Regionales.....	27
Tabla 4: Zonificación Geológica Regional.....	29
Tabla 5: Columna Estratigráfica Regional de la Ampliación de la SET Cantera 220/60 kV.....	29
Tabla 6. Parámetros Sísmicos.....	32
Tabla 7: Ubicación y Coordenadas de la Calicata Ejecutada.....	34
Tabla 8: Ensayos Realizados a Calicatas.....	35
Tabla 9: Resultados de los Ensayos de Carga Puntual.....	36
Tabla 10: Resumen de los Ensayos de Propiedad Física de la Roca.....	37
Tabla 11: Clasificación Geomecánica RMR - Ampliación SET Cantera.....	42
Tabla 12: Valores Típicos Ángulos de Fricción para Suelos Granulares.....	43
Tabla 13: Propiedades Físicas de los Suelos.....	44
Tabla 14: Resumen de Ensayo de Corte Directo de la Calicata C-Ca1 en SET Cantera.....	46
Tabla 15: Resumen de Parámetros Geotécnicos del Ensayo de Corte Directo de SET Cantera.....	46
Tabla 16: Parámetros Geotécnicos de la Capacidad Portante de los Suelos de Ampliación de la SET Cantera.....	46
Tabla 17: Cálculo Capacidad Admisible de Carga - con diferentes Anchos de Zapatas y Profundidades Variables para la Ampliación SET Cantera.....	51
Tabla 18: Parámetros Elásticos par a Varios Tipos de Suelos.....	52
Tabla 19: Resumen de los Parámetros de Elasticidad.....	52
Tabla 20: Asentamientos (Si) Carga Rígida para la Ampliación de la SET Cantera.....	53
Tabla 21: Determinación de la Constante “mi”.....	55
Tabla 22: Parámetros de Entrada al Criterio de Resistencia de Hoek - Brown.....	57
Tabla 23: Resumen de Profundidad de Cimentación de la Roca.....	58
Tabla 24: Capacidad Admisible de las Calizas Formación Imperial - Ampliación SET Cantera.....	59
Tabla 25: Parámetros del Macizo Rocosos para la Ampliación SET Cantera.....	60
Tabla 26: Resultados de las mediciones de resistencia eléctrica del terreno en la SET Cantera.....	67
Tabla 27: Cálculo de la resistividad promedio.....	68
Tabla 28: Cálculo de la resistividad aparente (ρ_a), con el programa Aspix.....	68
Tabla 29: Cálculo de la resistividad aparente (ρ_a), con el programa Resist.....	69
Tabla 30: Factores de conversión para rango I.....	91
Tabla 31: Tensiones de soportabilidad requeridas $U_{rw}(s)$. Para 220 kV.....	93
Tabla 32: Tensiones de soportabilidad requeridas $U_{rw}(s)$. Para 60 kV.....	94
Tabla 33: Distancias Mínimas en el Aire.....	96
Tabla 34: Dimensiones promedio.....	97
Tabla 35: Resumen de las Distancias Mínimas de Seguridad.....	97
Tabla 36: Resumen de las Distancias Mínimas de Seguridad.....	98

Figuras

Figura 1: Disposición de las instalaciones existentes, SET Cantera 220/60 kV, vista de planta.	
Figura 2: Disposición de las instalaciones proyectadas, SET Cantera 220/60 kV, vista de planta.	
Figura 3: Diagrama unifilar general de la SET Cantera 220/60 kV.....	
Figura 4: Diagrama unifilar de los equipos de protección y medida existentes y proyectados, de la SET Cantera 220/60 kV.....	
Figura 5: Línea de Transmisión 60 kV SET Cantera - SET San Vicente, L-6610 (Existente) ..	22
Figura 6: Unidades Geomorfológicas Regionales en la SET Cantera 220/60 kV.....	28
Figura 7: Zonificación Geológica Regional de la SET Cantera 220/60 kV.	29
Figura 8: Zonas Sísmicas.....	33
Figura 9: Ubicación de la Calicata Ejecutada al interior de la SET Cantera.....	34
Figura 10: Parámetros RMR y sus Valuaciones	41
Figura 11: Mecanismo de Falla de un Cimiento Superficial	49
Figura 12: Índice Geológico GSI.....	56
Figura 13: Reporte de cálculo mediante el programa Aspix.....	69
Figura 14: Reporte de cálculo mediante el programa Resist.....	70
Figura 15: Disposición de las instalaciones existentes, SET Cantera 220/60 kV, vista de planta.....	73
Figura 16: Disposición de las instalaciones proyectadas, SET Cantera 220/60 kV, vista de planta.....	74
Figura 17: Diagrama unifilar general de la SET Cantera 220/60 kV.	75
Figura 18: Diagrama unifilar de los equipos de protección y medida existentes y proyectados, de la SET Cantera 220/60 kV.	76

RESUMEN

La Subestación Cantera 220/60 kV, es existente y se ubica en el AA. HH. La Cantera, perteneciente a la jurisdicción del Distrito Nuevo Imperial, Provincia de Cañete, Región Lima, a una altitud aproximada de 230 msnm. Su ubicación aproximada en coordenadas UTM WGS84 es la siguiente: Zona 18, Coordenada Este: 358 724, Coordenada Norte: 8 555 752, Cota: 230 msnm.

La subestación cuenta con un sistema de barra 220 kV, configuración simple barra (preparada para configuración doble barra), implementado con dos celdas de línea 220 kV y una celda de transformación 220 kV, un transformador de potencia 220/60/10 kV y un sistema de barra 60 kV configuración simple barra, implementado con una celda de línea 60 kV, una celda de transformación 60 kV.

Esta subestación cuenta con espacio para su ampliación, la que consistirá en la ampliación y adecuación del sistema de barra 220 kV de configuración simple barra a configuración doble barra, implementación de una celda de acoplamiento 220 kV, implementación de una celda de transformación 220 kV, implementación del sistema de barra 60 kV configuración simple barra, implementación de una celda de línea 60 kV, implementación de una celda de acoplamiento longitudinal 60 kV, implementación de un transformador de potencia 220/60/10 kV, 25/25/8.33 MVA, realizar las obras civiles necesarias para la zona de la ampliación. Implementación y adecuación de los sistemas de control, protección, medida y comunicación, con pórticos y equipamiento convencional instalado al exterior.

El alcance del presente proyecto de tesis comprende el desarrollo de la Ingeniería de Detalle de la ampliación de los patios de llaves 220 kV y 60 kV, y ampliación de los paneles de control, mando y señalización a instalarse en el edificio de control existente.

El Proyecto de Tesis **“INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE COMO FACTOR DE GESTION EN LAS SUBESTACIONES DE TRANSMISION (SET), CASO: SET CANTERA 220/60 kV”**, permitirá la construcción de una Línea Eléctrica de 60 kV en forma área, mediante postes metálicos y de concreto que unirán a las Subestaciones Existentes, estas Subestaciones serán ampliadas para darles mayor capacidad y para ello se realizaran estudios de las condiciones geológico-geotécnicas del terreno sobre el área estudiada, y la determinación de los valores de resistividad en la zona en puntos en el área interior de la Subestación, seleccionados previamente.

ABSTRACT

The Substation Cantera 220/60 kV, is existing and is located in the AA. HH. La Cantera, belonging to the jurisdiction of the Imperial New District, Province of Cañete, Lima Region, at an approximate altitude of 230 meters above sea level. Its approximate location in UTM WGS84 coordinates is as follows: Area 18, East Coordinate: 358 724, North Coordinate: 8 555 752, Elevation: 230 msnm.

The substation has a 220 kV bus system, simple bar configuration (prepared for double bus configuration), implemented with two 220 kV line cells and a 220 kV transformation cell, a 220/60/10 kV power transformer and a 60 kV bus system simple bus configuration, implemented with a 60 kV line cell, a 60 kV transformation cell.

This substation has space for its expansion, which will consist of the extension and adaptation of the 220 kV bus system from simple configuration to double bar configuration, implementation of a 220 kV coupling cell, implementation of a 220 kV transformation cell, implementation of the 60 kV bar system simple bus configuration, implementation of a 60 kV line cell, implementation of a 60 kV longitudinal coupling cell, implementation of a 220/60/10 kV power transformer, 25/25/8.33 MVA, carry out the necessary civil works for the area of the extensión. Implementation and adaptation of the control, protection, measurement and communication systems, with porticos and conventional equipment installed abroad.

The scope of the present thesis project includes the development of detailed engineering of the extension of the 220 kV and 60 kV key yards and extension of the control, command and signaling panels to be installed in the existing control building.

The Thesis Project "BASIC ENGINEERING AND DETAIL AS A MANAGEMENT FACTOR IN TRANSMISSION SUBSTATIONS (SET), CASE: SET CANTERA 220/60 kV", will allow the construction of a 60 kV Electric Line in an area, using concrete poles that will join the Existing Substations, these Substations will be expanded to give them greater capacity and for this, studies of the geological-geotechnical conditions of the land on the studied area will be carried out, and the determination of the resistivity values in the area in points in the area. Substation interior, previously selected.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del Problema

El problema objeto de estudio del presente proyecto de Tesis es proponer un modelo de Gestión utilizando como herramienta la Ingeniería Básica y de Detalle aplicado a la SET Cantera 220/60 kV, determinando de esta forma las condiciones Geológicos-Geotécnico, capacidad de soporte y valores de Resistividad de la zona de Ampliación (Sistema UTM WGS84).

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

El modelo de Gestión de subestaciones utilizando la Ingeniería Básica necesarios para establecer las condiciones Geológicos-Geotécnico, capacidad de soporte y valores de Resistividad, nos hacemos la siguiente pregunta:

- ✓ ¿Cuál es la Mejora al implementar un modelo de Gestión utilizando la Ingeniería Básica y de Detalle para la SET Cantera 220/60 kV de la provincia de CAÑETE?

1.2.2 Problemas Específicos

- ✓ ¿Cuál es la condición geológico-geotécnicas del terreno para implementar el modelo de Gestión de la SET Cantera 220/60 kV?
- ✓ ¿En qué medida la capacidad de soporte para fines de cimentación de las estructuras en la zona Influye en el modelo de Gestión de la SET Cantera 220/60 kV?
- ✓ ¿En qué medida los valores de resistividad eléctrica del terreno en la zona influyen en el modelo de Gestión de la SET Cantera 220/60 kV?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Generales

- ✓ Presentar las mejoras de Implementar un modelo de Gestión utilizando la Ingeniería Básica y de Detalle para la SET Cantera 220/60 kV.

1.3.2 Específicos

- ✓ Determinar las condiciones geológico-geotécnicas del terreno dentro del área de la SET Cantera 220/60 kV.
- ✓ Determinar la capacidad de soporte para fines de cimentación de las estructuras dentro de la SET Cantera 220/60 kV.
- ✓ Determinar los valores de resistividad eléctrica del terreno en la zona de la SET Cantera 220/60 kV.

1.4 Justificación de la Investigación

Con la ejecución del presente proyecto de tesis se conseguirá presentar la mejora de implementar un modelo de gestión utilizando la Ingeniería Básica y de Detalle para conocer las condiciones Geológicos-Geotécnico, capacidad de soporte y valores de Resistividad eléctrica del terreno de la zona de Ampliación (Sistema UTM WGS84).

1.5 Limitaciones y Facilidades

1.5.1 Limitaciones

La mayor limitante del presente proyecto de tesis, sería su detención por falta de financiamiento económico para los estudios a realizar.

1.5.2 Facilidades

Entre las facilidades del presente proyecto de tesis, es obtener toda la información por medio de la Ingeniería Básica y de Detalle para proponer mejoras en la implementación de un modelo de gestión en la subestación de transmisión (SET) Cantera de 220/60 kV.

II. FUNDAMENTO TEORICO

2.1 Antecedentes del Estudios

La Ingeniería Conceptual* sirve para identificar la viabilidad técnica y económica del proyecto y marcará la pauta para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle. Se basa en un estudio previo (estudio de viabilidad) y en la definición de los requerimientos del proyecto.

Los principales conceptos a analizar y estudiar en esta fase son:

- Productos y capacidad de producción.
- Normativa y regulación.
- Descripción del proceso de fabricación y requerimientos de usuario.
- Descripción general de instalación.
- Plan, diagramas de bloques, distribución de salas, planos de flujos de materiales y personas, planos de áreas clasificadas, diagramas de procesos básicos.
- Estimación de requerimientos de servicios auxiliares.
- Lista de equipos preliminar.
- Estimación económica de la inversión \pm 30%.

2.1.1 Ingeniería Conceptual

La Ingeniería Conceptual sirve para identificar la viabilidad técnica y económica del proyecto y marcará la pauta para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle. Se basa en un estudio previo (estudio de viabilidad) y en la definición de los requerimientos del proyecto.

Los principales conceptos a analizar y estudiar en esta fase son:

- Productos y capacidad de producción.
- Normativa y regulación.
- Descripción del proceso de fabricación y requerimientos de usuario.
- Descripción general de instalación.

* <http://www.ingenieriaquimica.net>

- Plan, diagramas de bloques, distribución de salas, planos de flujos de materiales y personas, planos de áreas clasificadas, diagramas de procesos básicos.
- Estimación de requerimientos de servicios auxiliares.
- Lista de equipos preliminar.
- Estimación económica de la inversión $\pm 30\%$.

2.1.2 Ingeniería Básica

En la Ingeniería Básica quedarán reflejados definitivamente todos los requerimientos de usuario, las especificaciones básicas, el cronograma de realización y la valoración económica.

Durante esta fase se definen los siguientes trabajos:

- Revisión detallada de la ingeniería conceptual y requerimientos de usuario.
- Hojas de datos de todas las salas (críticas y no críticas).
- Cálculo de cargas térmicas y caudal de aire en cada una de las salas.
- P&ID básico de aguas y HVAC.
- Distribución de puntos de uso de servicios.
- Revisión de Layout de salas, incluyendo áreas de servicios.
- Listas de consumos.
- Listas de equipos.

La Ingeniería Básica se desarrolla en dos etapas: la primera consiste en la toma de datos y elaboración de requerimientos de usuario y en la segunda se desarrolla el resto de trabajos descritos anteriormente.

La aprobación de esta ingeniería supone una sólida base para el desarrollo de la Ingeniería de Detalle.

2.1.3 Ingeniería de Detalle

El alcance de actividades en esta etapa es el siguiente:

- Revisión detallada de la Ingeniería Básica.
- Especificaciones técnicas de equipos y materiales.
- Especificaciones funcionales.

- Dimensionamiento de conductos, tuberías e instalaciones eléctricas.
- Listado de equipos, instrumentación, accesorios y materiales.
- Planos de detalle de las instalaciones: layout de tuberías y conductos, isométricos, detalles de arquitectura, unifilares eléctricos.

Actualmente existe una interconexión entre la SET San Vicente y la SET Cantera, a través de una Línea de Transmisión en 60 kV con las siguientes características:

Tabla 1: Características de la Línea Existente LT 60 kV SET Cantera – SET San Vicente.

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Tensión	60 kV
Longitud de la línea	8,1 km
Numero de Ternas	1 circuito
Estructuras	Postes de Concreto / Madera
Numero de Estructuras	44 Estructuras
Disposición	Vertical
Conductor	AAAC 120 mm ²
Vano promedio	190 m
Aislamiento	Aisladores poliméricos y de porcelana
Crucetas	Crucetas de Concreto y de Madera
Cable de Guarda	No

La Línea de Transmisión en 60 kV SET Cantera – SET San Vicente, perteneciente a la **Empresa de Distribución EDECAÑETE**, tiene una longitud aproximada de 8.1 kilómetros. Actualmente la línea está conformada por estructuras de concreto y algunas estructuras de madera, cuyas alturas son entre 18 y 21 metros aproximadamente.

Así mismo estas estructuras cuentan con crucetas de concreto y madera (para los postes de madera) que se encuentran preparadas para soportar una doble terna; sin embargo en uno de los lados de las estructuras, se encuentra instalada la Línea de 60 kV desde la estructura P003 próxima a la SET Cantera hasta la estructura P043, próxima a la SET San Vicente. Al otro lado se encuentra instalada una red eléctrica en 22.9 kV desde la estructura P028 hasta las estructura P042.

La numeración de las estructuras de la Línea de 60 kV se inicia en la SET Cantera hacia la SET San Vicente, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 1: Línea de Transmisión 60 kV SET Cantera – SET San Vicente, L-6610 (Existente).



A continuación, se muestran las coordenadas de la Línea Existente L-6610.

Tabla 2: Coordenadas Referenciales de la Línea Existente 60 kV L-6610 (Sistema UTM WGS 84 Zona 18).

VÉRTICE	ESTE	NORTE	DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA ACUMULADA
	(m)	(m)	(m)	
P001	358,712.23	8,555,737.42		
P002	358,705.23	8,555,805.42	68.36	68.36
P003	358,740.23	8,555,826.42	40.82	109.18
P004	358,646.33	8,555,996.79	194.53	303.71
P005	358,559.57	8,556,154.92	180.37	484.08
P006	358,471.46	8,556,313.49	181.40	665.48
P007	358,347.42	8,556,537.10	255.72	921.20
P008	358,315.06	8,556,590.85	62.74	983.94
P009	357,911.93	8,556,474.04	419.71	1,403.65
P010	357,689.65	8,556,409.75	231.39	1,635.04
P011	357,443.78	8,556,338.91	255.87	1,890.91
P012	357,279.63	8,556,291.32	170.91	2,061.82
P013	357,116.22	8,556,244.32	170.03	2,231.85
P014	356,952.65	8,556,197.22	170.22	2,402.07
P015	356,809.32	8,556,156.18	149.09	2,551.16
P016	356,667.69	8,556,115.45	147.38	2,698.54
P017	356,352.59	8,556,024.86	327.86	3,026.40
P018	356,085.32	8,555,949.19	277.77	3,304.17
P019	355,919.60	8,555,902.62	172.14	3,476.31

VÉRTICE	ESTE	NORTE	DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA ACUMULADA
	(m)	(m)	(m)	(m)
P020	355,754.82	8,555,857.07	170.96	3,647.27
P021	355,588.67	8,555,807.66	173.34	3,820.61
P022	355,386.92	8,555,744.24	211.48	4,032.09
P023	355,228.90	8,555,698.00	164.65	4,196.74
P024	355,071.32	8,555,651.98	164.16	4,360.90
P025	354,916.00	8,555,607.16	161.66	4,522.56
P026	354,694.23	8,555,541.42	231.31	4,753.87
P027	354,378.23	8,555,439.42	332.05	5,085.92
P028	354,135.23	8,555,359.42	255.83	5,341.75
P029	354,004.23	8,555,430.42	149.00	5,490.75
P30	353,874.23	8,555,503.42	149.09	5,639.84
P031	353,759.57	8,555,354.36	188.06	5,827.90
T32	353,579.81	8,555,266.55	200.06	6,027.96
T33	353,398.29	8,555,180.75	200.78	6,228.74
T34	353,115.12	8,554,986.80	343.22	6,571.96
T35	352,973.03	8,554,890.64	171.57	6,743.53
T36	352,830.06	8,554,794.11	172.50	6,916.03
T37	352,687.37	8,554,696.91	172.65	7,088.68
T38	352,543.23	8,554,595.42	176.29	7,264.97
T39	352,403.19	8,554,504.86	166.77	7,431.74
T40	352,228.35	8,554,415.70	196.26	7,628.00
T41	352,068.18	8,554,334.17	179.73	7,807.73
T42	351,912.96	8,554,254.91	174.28	7,982.01
T43	351,915.23	8,554,207.42	47.55	8,029.56
T44	351,933.90	8,554,217.66	21.29	8,050.85

En base al conocimiento de las instalaciones existentes y dada la interconexión nueva y que se desarrollará por la misma zona en estudio; se establecerá el criterio de utilización de los mismos materiales de la Línea Existente para las nuevas instalaciones, considerando además que estos materiales han sido aprobados por el OSINERGMIN y verificado su utilización para los nuevos requerimientos de transporte de potencia y energía.

2.2 Conceptos y Definiciones

2.2.1 Ingeniería Básica

Aquella en la cual se desarrolla el proyecto (entiéndase planos o modelo) en lineamientos generales, o sea disposición de equipos principales, matrices importantes de cañerías, estaciones y

subestaciones eléctricas, incluye conceptos, criterios y metodología para llevar a cabo la subestación.[†]

2.2.2 Ingeniería Detalle

Una ingeniería de proyecto o ingeniería de detalle es el resultado del análisis de una obra particular para ser construida en steel framing y podría describirse como la traducción de los planos tradicionales a planos en steel framing[‡].

2.2.3 Modelo de Gestión Eléctrica

El término modelo proviene del concepto italiano de modelo. La palabra puede utilizarse en distintos ámbitos y con diversos significados. El concepto de gestión, por su parte, proviene del latín gesto y hace referencia a la acción y al efecto de gestionar o de administrar[§].

2.2.4 Condición Climatológica

Conjunto de condiciones atmosféricas propias de un lugar, constituido por la cantidad y frecuencia de lluvias, la humedad, la temperatura, los vientos, etc., y cuya acción compleja influye en la existencia de los seres sometidos a ella^{**}.

2.2.5 Condición Ambiental

La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores. Asimismo, y en la medida de lo posible, las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deben constituir una fuente de incomodidad o molestia para los trabajadores^{††}.

2.2.6 Faja de Servidumbre

Zona de influencia de electroducto o faja de servidumbre está representada por “b” que comprende: “a”, que es la proyección sobre el suelo de la faja ocupada por los conductores, más las distancias mínimas de seguridad establecidas en el Código Nacional de Electricidad^{‡‡}.

2.2.7 Nivel de Contaminación

[†] <http://gers.com.co/conceptos/ingenieria-basica.html>

[‡] <http://consulsteel.com/que-hacemos/que-es-una-ingenieria-de-detalle/>

[§] <https://definicion.de/modelo-de-gestion/>

^{**} <https://definicion.de/clima/>

^{††} <http://uprl.unizar.es/seguridad/lugaresdoc/cambientales.pdf>

^{‡‡} <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/9.Servidumbre.pdf>

La contaminación es la introducción de sustancias u otros elementos físicos en un medio que provocan que éste sea inseguro o no apto para su uso. El medio puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química, energía (como sonido, calor, luz o radiactividad).

2.2.8 Normas

ANSI	:	American National Standards Institute.
AISI	:	American Iron and Steel Institute.
ASTM	:	American Society for Testing and Materials.
FMEA	:	Factory Mutual Engineering Association.
IEEE	:	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
IES	:	Illuminating Engineering Society.
NEC	:	National Electrical Code.
NEMA	:	National Electrical Manufacturers Association.
NESC	:	National Electrical Safety Code.
NFPA	:	National Electrical Fire Protection Association.
OSHA	:	Occupational Safety and Health Administration.
UL	:	Underwriters Laboratories.
CSA	:	Canadian Standards Association.
DIN	:	Deutsche Industrie Normen.
VDE	:	Verband Deutsche Elektrotechniker.
AEIC	:	Association of Edison Illuminating Companies
OSHA	:	Occupational Safety and Health Administration.
IEC	:	International Electrotechnical Commission.

III. ANALISIS GEOTECNICO

3.1 CONDICIONES GEOLÓGICAS GENERALES

En el aspecto geológico, las labores de campo correspondieron al reconocimiento geológico llevado a cabo durante la visita a la SET Cantera, recopilándose previamente en gabinete la información geológica existente: geomorfología, estratigrafía, litología, estructural y geodinámica, ayudados con mapas geológicos del INGEMMET e imágenes del Google Earth. Con esta información se ha definido el Modelo Geológico para la obra.

El Modelo Geológico de la Obra “Ampliación de la SET Cantera 220/60 kV”, está relacionado con la deposición de Depósitos Cuaternarios Recientes de tipo aluvial (Qr-al).

3.2 GEOLOGÍA REGIONAL

Cabe destacar que la ubicación de la Subestación Cantera, está emplazada en las Pampas Costaneras, que caracterizan por presentar un relieve esencialmente llano con algunas lomadas y colinas que la enmarcan y que son remanentes de los procesos denudativos acontecidos en el Cuaternario Antiguo.

El estudio se desarrolla sobre la base de la información técnica publicada por el INGEMMET en sus Cuadrángulo Geológico “Geología de los Cuadrángulos de Mala, Lunahuana, Tupe, Conayca, Chincha, Tantara, y Castrovirreyna” (Hoja Geológica 27-K del Boletín N 44 de la serie A), levantados a escala 1:100 000; complementado con las observaciones efectuadas durante el trabajo de campo.

De acuerdo al análisis, el área específica de estudio no se encuentra en el rumbo de fallas que puedan inferirse desde las colinas y cerros de las estribaciones de la Cordillera, desde el Norte y el Este, hacia el área misma en el sector de la llanura aluvial.

3.2.1 Geomorfología

El área de estudio forma parte de la Región de la Costa Sur del Perú y comprende a la Región Costanera, que está disectada por valles transversales.

3.2.1.1 Región Costanera

El área en estudio se desarrolla a manera de una estrecha faja longitudinal, paralela a la Cadena Andina, con una anchura variable entre 5 y 30 kilómetros, comprendida entre el Litoral del Pacífico y las estribaciones bajas del Frente Andino, cuyas cotas llegan a los 500 msnm. Presenta un territorio de relieve moderado, en donde destacan de Oeste a Este, las Pampas Costaneras.

Teniendo en consideración estos contrastes morfológicos, se ha reconocido la Unidad Geomorfológica conocida como Pampa Costanera, que abarca el área de la zona en estudio.

Tabla 3: Unidades Geomorfológicas Regionales.

UNIDAD GEOMORFOLOGICA	UBICACION
Pampa Costanera	SET Cantera

3.2.1.1.1 Pampas Costaneras

Constituyen amplias superficies cubiertas por arenas, gravas, y materiales finos provenientes del transporte y sedimentación del río Cañete.

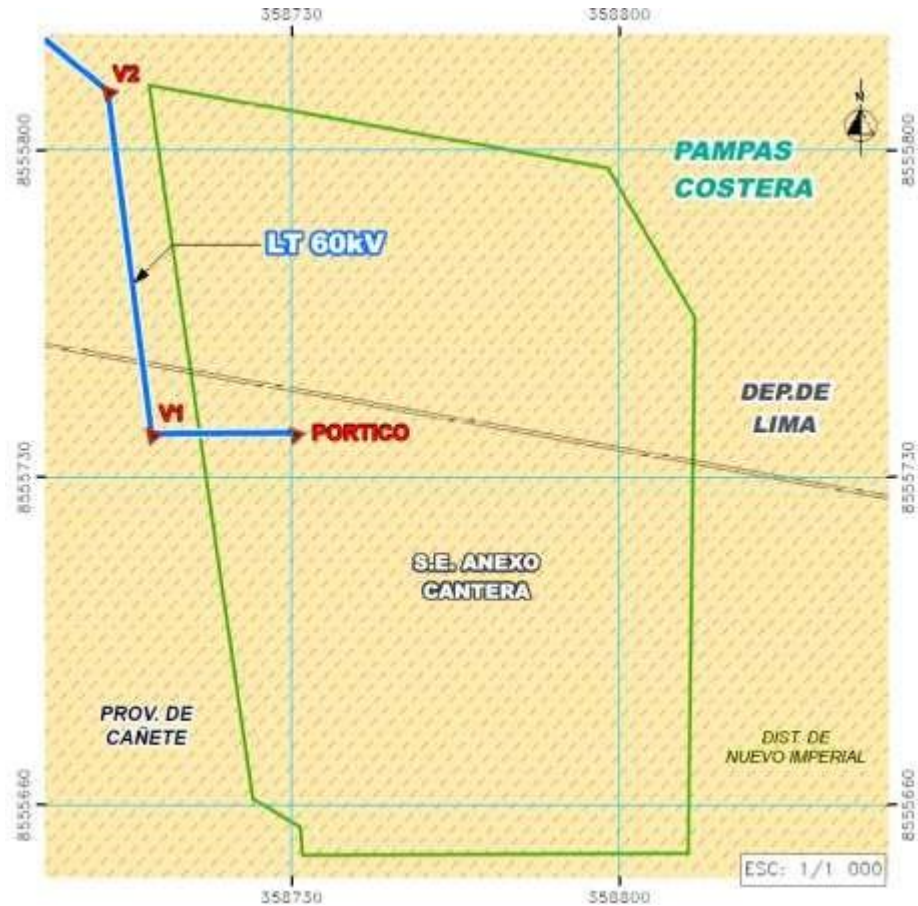
Esta unidad se desarrolla a lo largo de una faja paralela a la Costa, limitada al Oeste por la ribera litoral y al Este por cadenas de cerros bajos que corresponden a los primeros Contrafuertes Andinos con una altitud hasta de 200 metros aproximadamente. Las Pampas Costaneras se caracterizan por presentar una superficie relativamente plana y amplia que se extiende a lo largo del frente oceánico, localmente con algunas colinas y cerros bajos. Su anchura varía según la cadena de cerros bajos de las estribaciones del Frente Andino.

La morfología de las Pampas Costaneras en el área de estudio, está dada por la sucesión de terrazas aluviales correspondientes a antiguos conos de deyección del río Cañete que llegan hasta el mar; abanicos aluviales completan la morfología de las Pampas Costaneras en el sector de la desembocadura del río Cañete y quebradas secundarias.

En el curso inferior y desembocadura del río Cañete se presentan Depósitos Aluviales y antiguos conos deyección que han sido cortados a su vez por el curso actual, dejando en sus márgenes sucesivas terrazas aluviales a diferentes niveles sobre el lecho actual del río. Las alturas que alcanzan estas terrazas van desde un metro en el caso de las terrazas recientes, hasta más de 40 metros en las terrazas antiguas. Ejemplo típico de este rasgo

morfológico existen en el curso inferior y cono de deyección del río Cañete; donde generalmente las terrazas antiguas se suceden aisladamente en ambas márgenes del río, en cambio en los cursos deyectivos, las terrazas son continuas y con pendientes moderadas hacia la línea de Costa.

Figura 2: Unidades Geomorfológicas Regionales en la SET Cantera 220/60 kV.



3.2.2 Estratigrafía

Las Unidades Geológicas que afloran regionalmente sobre la zona de estudio, corresponden a Depósitos Aluviales que forman parte de las Pampas Costanera perteneciente al Cuaternario Reciente y a rocas calizas de la Formación Imperial.

Tabla 4: Zonificación Geológica Regional.

FORMACION GEOLOGICA	UBICACION
Depósitos Aluviales (Qr-al)	Zonas adyacentes a la SET Cantera y en la SET Cantera.

Figura 3: Zonificación Geológica Regional de la SET Cantera 220/60 kV.

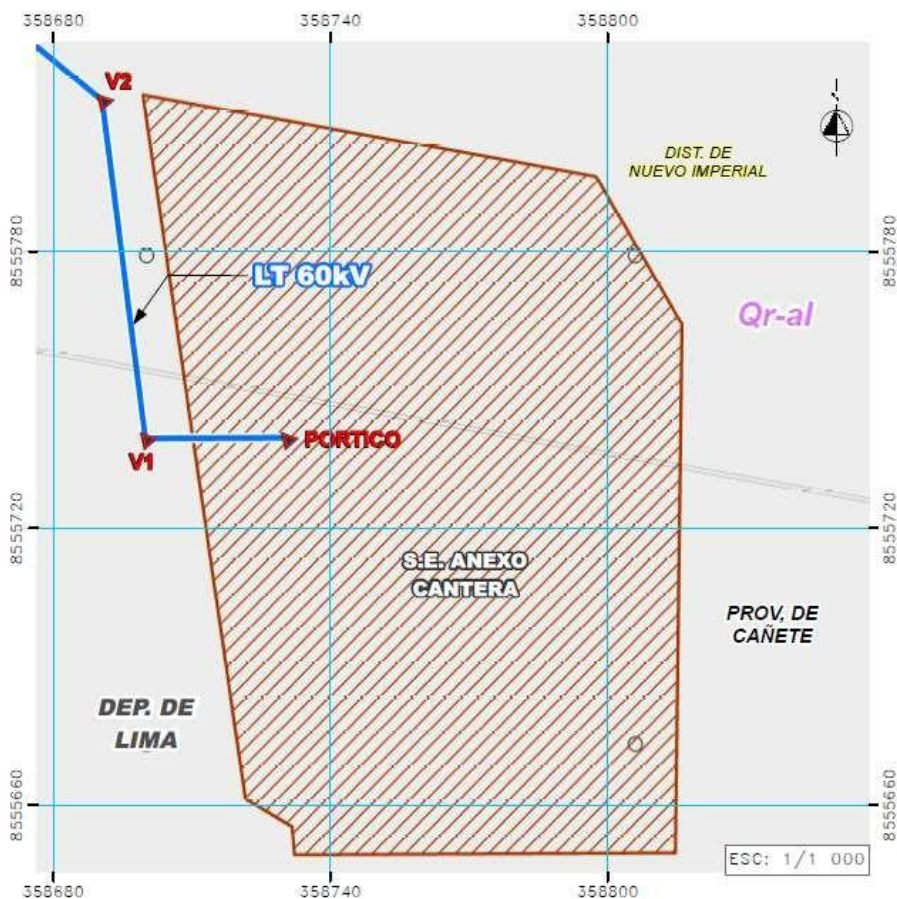


Tabla 5: Columna Estratigráfica Regional de la Ampliación de la SET Cantera 220/60 kV.

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	
			UNIDAD	SÍMBOLO
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Depósitos aluviales	Qr-al.
		PLEISTOCENO	Formación Cañete	Qp-c

3.2.2.1 Depósitos Cuaternarios (Qr)

Estos se formaron en el último millón de años, debido a procesos de meteorización, erosión, transporte de las partes altas y depositación en las zonas bajas, como producto de intensa precipitación pluvial en las partes altas. Se encuentra comprometida con la Línea de Transmisión.

Se ha reconocido a Nivel Regional en el área de estudio, los siguientes depósitos:

3.2.2.1.1 Depósitos Aluviales Recientes (Qr-AI)

Estos depósitos están ampliamente distribuidos en las Pampas Costaneras del área estudiada. Están representados por el cono deyeectivo del río Cañete así como los Depósitos Aluviales de las quebradas que desembocan a las Pampas Costaneras. Generalmente conforman un manto continuo por estar los conos aluviales anastomosados, algunas veces cubiertos por Depósitos Eólicos.

La llanura aluvial del área de estudio ha sido formada por el cono deyeectivo del río Cañete. La litología de estos Depósitos Aluviales recientes, comprende específicamente arenas, gravas y materiales finos.

Los clastos representan la variedad litológica de las rocas de las formaciones geológica presentes que han sido erosionados y transportados de las partes altas de la zona, pero son principalmente de origen sedimentario.

El material aluvial mal clasificado consiste de sedimentos inconsolidados de gravas, guijarros, arenas y limos arcillosos; las gravas y cantos tiene forma sub-redondeada a redondeadas y composición variada, combinando con brechas de naturaleza aluvional o de piedemonte.

El grosor de los depósitos aluviales varía desde pocos metros en las playas de inundación de los ríos hasta 60 metros en las terrazas localizadas en los flancos de los valles y quebradas principales.

Localmente en varios sectores de la zona de estudio, existe la presencia de material tipo relleno que infrayace en forma superficial a los Depósitos Aluviales. La potencia del material del relleno es variable de un punto a otro sobre el área de estudio.

3.2.3 Geología Estructural Regional

De acuerdo a los estudios del INGEMMET, el área de Cañete no se encuentra atravesada por fallas de magnitud regional.

3.3 GEOLOGÍA LOCAL

El área donde se ubica la Subestación Cantera, involucra a una superficie llana con suave declive (de 3 a 5 %) hacia el Oeste, formada por antiguos Depósitos Aluviales (Q-al) que se hallan rellenando las depresiones labradas en el macizo rocoso, aislando sus partes elevadas a manera de montes, isla de baja altitud, los mismos que hoy en día constituyen afloramientos de rocas sedimentarias de naturaleza caliza de la Formación Imperial, moderadamente fracturadas.

El desarrollo de la obra “Ampliación de la SET Cantera” proyecto a cargo de **Luz del Sur S.A.A.**, está ubicado en el Poblado de Cantera, Distrito de Nuevo Imperial. Los materiales encontrados dentro y en los alrededores de la Subestación, consisten en materiales no consolidados que conforman Depósitos Cuaternarios de materiales granulares y rellenos, que comprenden al suelo aluvional sobre una llanura correspondiente a las Pampas Costaneras.

Durante el reconocimiento de campo efectuado al área de la Ampliación de la SET Cantera, se observó que éste se encuentra cubierto por suelos limo-arenosos, donde subyace a los 0.40 metros, roca caliza de la Formación Imperial.

Hacia la zona de Imperial, los suelos son granulares, de naturaleza arena limosa y arena bien gradada con gravas. Esto también se extiende a un sector de Nuevo Imperial, adyacente a la zona de la Ampliación de la SET Cantera, donde los suelos se presentan rocosos y con una cobertura residual. En estas zonas, afloran rocas calizas de la Formación Imperial.

3.4 GEODINÁMICA

3.4.1 Geodinámica Externa

En toda la ruta en estudio, no se presentan problemas de geodinámica de gran magnitud que puedan involucrar la vulnerabilidad de la obra.

La zona aparentemente se muestra estable y no existe huella de Fenómenos de Geodinámica Externa, que la vayan a afectar y de darse esta situación, estaría circunscrita a problemas de procesos cársticos de las calizas cuando tenga lugar, lluvias de gran intensidad. Se debería prever la construcción de

drenajes para la Subestación, a fin de evitar el contacto del agua con las rocas calizas, que pudieran producir hundimientos o asentamientos.

3.4.2 Geodinámica Interna (Sismicidad)

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones “Norma Técnica de Edificación E-30-Diseño Sismo Resistente-2014” (aprobada por Decreto Supremo N° 002-2014-Vivienda y modificada por el Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda), la zona en estudio se encuentra enmarcada dentro de la Zona 4 – Sismicidad Alta, donde se espera la ocurrencia de sismos con intensidad entre VIII y XI en la Escala de Mercalli Modificada (MM), de acuerdo a Deza y Carbonell. Sin embargo, los principales sismos ocurridos en el Perú y que han tenido incidencia en el área, no han superado la intensidad de IX MM con focos en profundidades mayores a 33 km.

Para los fines del proyecto, teniendo en cuenta que la zona donde se emplaza es de alta sismicidad, es necesario tener en cuenta los parámetros de riesgo sísmico que permitan prever la seguridad de las instalaciones y de acuerdo al material encontrado dentro de la zona de la Ampliación de la SET Cantera así como los Mapas de Intensidades Sísmicas.

En las normas de diseño se especifican las cargas sísmicas. El coeficiente de diseño sísmico a ser usado en el diseño sísmico pseudo-estático, se determina en base a la zona, condición del suelo e importancia de la estructura.

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones y a la Norma Técnica de Edificación E-030 “Diseño Sismoresistente”, modificada el año 2016, se deberán tomar los siguientes valores:

Tabla 6. Parámetros Sísmicos.

TIPO DE MATERIAL	PERFIL TIPO	Z	S	Tp	Ti
Arena bien gradada con limos (SW-SM) y cascajo	S3	0,45	1,10	1,0	1,6
Roca caliza, moderadamente fracturada,	S1	0,45	1,0	0,4	2,5

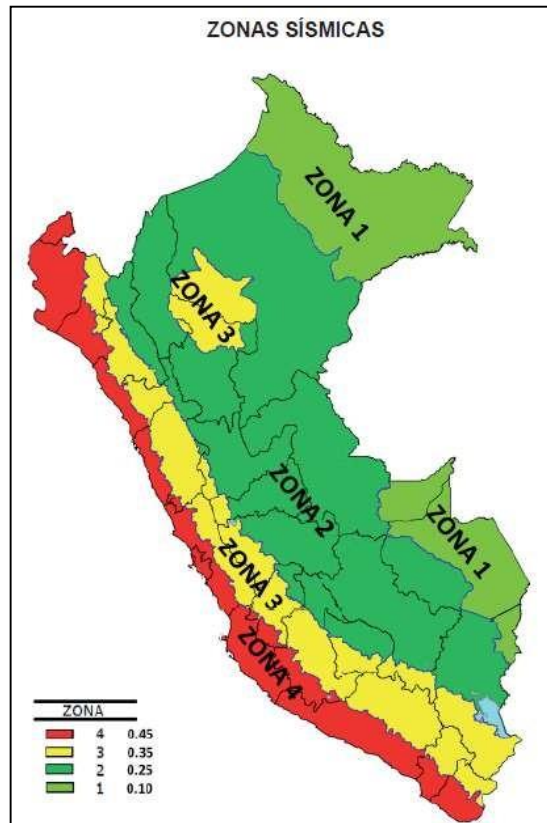
Dónde:

Z = Factor de zona de aceleración

To = Período de vibración de suelo

S = Factor de ampliación del suelo

Figura 4: Zonas Sísmicas.



3.5 GEOTECNIA

3.5.1 TRABAJOS REALIZADOS

Teniendo en cuenta las características de Proyecto, se procedió a elaborar un Programa de Investigaciones Geotécnicas, el cual consistió en la Prospección Geognóstica mediante la excavación de una (1) calicata o pozo exploratorio a cielo abierto y Ensayos Determinativos de Laboratorio.

La investigación de campo se ha efectuado con fines de cimentación de las estructuras de los equipos sobre la zona de Ampliación de la Subestación. Los trabajos efectuados fueron los siguientes:

3.5.1.1 Trabajos de Campo

3.5.1.1.1 Reconocimiento de Campo y Ubicación de Calicata

Esta actividad consistió en una visita de campo para reconocer el terreno dentro de la SET Cantera, donde se efectuará la ampliación, así como el lugar donde será excavada la calicata para la cimentación de las estructuras que soportaran a los equipos.

La calicata C-Ca1 dentro de la SET Cantera, fue ubicada en el lugar donde se ejecutarán las obras de la Ampliación.

3.5.1.1.2 Excavación de Calicata

La excavación de calicata constituye el medio más eficaz para explorar y obtener muestras para fines de investigación.

Con la finalidad de determinar el tipo de terreno, el perfil estratigráfico y las condiciones del subsuelo, que conllevará a la determinación de la resistencia del material encontrado, se realizó la excavación de una (01) calicata o pozo exploratorio de 0.80 m x 1.20 m aproximadamente, a cielo abierto y ubicada en el lugar donde se ejecutarán las obras de Ampliación de la Subestación.

La profundidad de excavación de la calicata C-Ca1 dentro de la zona de Ampliación de la SET Cantera, estuvo controlada por la presencia de material rocoso y la dureza de este material, llegándose a una profundidad máxima de 0.80 m desde la superficie actual del terreno. Esta calicata permitió la evaluación visual del subsuelo.

A continuación se muestra la ubicación de la calicata ejecutada, así como la profundidad alcanzada y los tipos de ensayos realizados:

Tabla 7: Ubicación y Coordenadas de la Calicata Ejecutada.

CALICATA	SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS 84		REFERENCIA
	ZONA 18S		
	ESTE	NORTE	
C-Ca1	358 728,00	8 555 803,00	Subestación Cantera

Figura 5: Ubicación de la Calicata Ejecutada al interior de la SET Cantera.



Tabla 8: Ensayos Realizados a Calicatas.

CALICATA	SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS 84 ZONA 18S		PROF ALCANZADA (m)	Nº DE MUESTRA	NIVEL FREÁTICO	ENSAYOS REALIZADOS
	N	E				
C – Ca1	358 728,00	8 555 803,00	0,80	1	No alcanzado	Ensayo de carga puntual, propiedades físicas de la roca.

3.5.1.1.3 Muestreo y Registro de Excavaciones

En la calicata excavada C-Ca1, donde se encontró roca, se obtuvieron fragmentos rocosos para su identificación petrográfica visual. Se describió el color y textura, el tipo de cobertura del suelo y la profundidad a que se encontró el macizo rocoso, así como también las características geotécnicas del tipo de roca encontrada. Posteriormente, las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, con el fin de obtener las propiedades geomecánicas.

En la calicata ejecutada se efectuó el registro del perfil estratigráfico, realizándose una descripción litológica, anotando las características del material encontrado en el respectivo formato.

La culminación de las investigaciones en campo termino con la toma de fotografías a calicata ejecutada C-Ca1, procediéndose finalmente al tapado de la misma.

3.5.1.1.4 Evaluación Geomecánica

En la calicata Cca-1 donde se encontró roca, se realizó la descripción de las características geomecánicas del macizo rocoso encontrado, mediante la metodología ISRM (1978-1980), que considera los siguientes parámetros dentro de su evaluación: grado de resistencia, fracturamiento y alteración o meteorización.

Se extrajeron fragmentos rocosos como muestras representativas de esta calicata y se enviaron al Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Pontificia Universidad Católica del Perú para el respectivo análisis.

De otro lado, se realizó el cálculo del RMR de la calidad del macizo rocoso, según las características reconocidas en campo.

3.5.1.2 Ensayos de Laboratorio

La elaboración del perfil estratigráfico requiere de una clasificación de materiales que se obtiene mediante análisis y ensayos en laboratorio, sobre las muestras extraídas en el campo así como de la observación al momento de efectuar la calicata.

Los ensayos de laboratorio se han efectuado considerando el desarrollo de la obra por proyectarse.

3.5.1.2.1 Ensayo de Carga Puntual

Se tomó una muestra de la roca extraída para la evaluación geomecánica del macizo rocoso de la calicata C-Ca1 (Ampliación de la SET Cantera).

El Ensayo de Carga Puntual tiene como objetivo estimar la resistencia de la compresión simple de la roca intacta, que será usada para determinar los parámetros físico-mecánicos del macizo rocoso.

El ensayo fue realizado en el “Laboratorio Geomecánico de la Facultad de Minas de la Pontificia Universidad Católica del Perú”, según lo indicado en la Norma ASTM D-5731-2 y consiste en comprimir la muestra de roca entre dos puntos situados en generatrices opuestas, hasta alcanzar la falla de la roca.

En el siguiente cuadro se presenta el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 9: Resultados de los Ensayos de Carga Puntual.

ESTACIÓN GEO MECÁNICA	MUESTRA	LITOLOGÍA	VALOR DE CARGA PUNTUAL IS(50) CORREGIDO (MPA)			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE CALCULADA EQUIVALENTE (MPA)			DUREZA
			MÍN	MÁX	PROM	MÍN	MÁX	PROM	
C-Ca1 (SET)	M1	Calizas	1,33	12,20	6,765	21,28	195,2	108,24	R5

- ❖ R1: Roca muy débil 1-5 Mpa
- ❖ R2: Roca débil 5-25 Mpa
- ❖ R3: Roca media 25-50 Mpa
- ❖ R4: Roca dura 50-100 Mpa
- ❖ R5: Roca muy dura 100-250 Mpa
- ❖ R6: Roca extremadamente dura >250 Mpa

3.5.1.2.2 Ensayo de Propiedades Físicas de la Roca

Con la muestra de roca obtenida de la evaluación geomecánica, se realizó el ensayo para determinar las propiedades físicas de la roca: porosidad, absorción y densidad (ASTM C-97-02). A continuación un resumen de los resultados:

Tabla 10: Resumen de los Ensayos de Propiedad Física de la Roca.

ESTACIÓN GEOMECÁNICA	MUESTRA	LITOLÓGÍA	ABSORCIÓN (PROMEDIO) (%)	DENSIDAD SECA (PROMEDIO) (G/CM3)	DENSIDAD SATURADA (PROMEDIO) (G/CM3)	POROSIDAD APARENTE (PROMEDIO) (%)
C-Ca1	M1	Calizas	0,239	2,804	2,811	0,671

3.5.2 RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES GEOGNÓSTICAS

De acuerdo a los datos obtenidos de la inspección visual a la Calicata ejecutada, se puede definir el siguiente Perfil Estratigráfico:

3.5.2.1 Descripción del Perfil Estratigráfico

3.5.2.1.1 Calicata C-Ca1

- Ubicación : Subestación Cantera
- Profundidad alcanzada : 0.80 m
- Perfil estratigráfico : Hasta la profundidad alcanzada, el subsuelo se encuentra constituido de un horizonte, de acuerdo a la estimación visual:
- 0.00 – 0.40 m**
- Cobertura formada por limos arenosos, de color beige, seco, suave.
- A más de 0.40 m**
- Roca caliza, ligeramente meteorizada (M2), moderadamente fracturada (F3), muy dura (R5), perteneciente a la Formación Imperial, con RMR = 64, Roca Tipo II, Buena.
- Nivel freático : En la excavación de la calicata C-Ca1, no se halló el nivel freático.

3.5.2.2 Análisis de los Resultados

3.5.2.2.1 Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso

Para la caracterización del macizo rocoso se usaron las siguientes tablas recomendadas por el ISRM (International Society of Rock Mechanics):

Tabla 1 Grados de Resistencia a la Comprensión del Macizo Rocoso (ISRM – 1978).

GRADO	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN	RANGO APROX. RESISTENCIA A COMPRESION UNIAxIAL (MPa)
Ro	Roca extremadamente débil	Es indentado por la uña dedo pulgar	0.25 – 1.00
R1	Roca muy débil	Se desmorona bajo golpes firmes con la punta del martillo de geólogo martillo de geólogo, puede ser descascarado por un cuchillo de bolsillo.	1.0 – 5.00
R2	Roca débil	Puede ser descascarado por un cuchillo de bolsillo con dificultad, cavidades poco profundas se forman con golpes firmes con la punta del martillo.	5.00 – 25.00
R3	Roca moderadamente resistente	No puede ser raspado por un cuchillo de bolsillo, el espécimen puede ser fracturado con un golpe firme del martillo.	25.0 – 50.00
R4	Roca dura	El espécimen requiere de más de un golpe con el martillo del geólogo para fracturarlo.	50.00 – 100.00
R5	Roca muy dura	El espécimen requiere de muchos golpes con el martillo de geólogo para fracturarlo.	100.00 – 250.00
R6	Roca extremadamente dura	El espécimen puede ser solamente descascarado con los golpes del martillo de geólogo.	> 250.00

Tabla 2 Grado de Meteorización del Macizo Rocoso (ISRM – 1980).

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
Fresca	Signos no visibles de meteorización del material rocoso, tal vez ligera decoloración sobre las superficies de las discontinuidades.	M1
Ligeramente meteorizada	La decoloración indica meteorización del material rocoso y superficies de las discontinuidades. Extremadamente todo el material puede estar algo más débil que en su condición fresca.	M2
Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La roca o decolorada está presente aún como una red o esqueleto discontinuo o como núcleos de roca.	M3
intensamente meteorizada	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La roca fresca o decolorada está presente aún como una red o esqueleto discontinuo o como núcleos de roca.	M4
Completamente meteorizada	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original del material esta aun presente.	M5
Suelo residual	Toda la roca está convertida en suelo. La fábrica y estructura original de la roca está destruida. Hay cambios de volumen pero el suelo no ha sido significativamente transportado.	M6

Tabla 3 Grado de Fracturamiento del Macizo Rocoso (ISRM – 1978).

INTERVALO (cm)	FRACTURAS	SIMBOLOS	TERMINO DESCRIPTIVO
> 200	2 a 6 fracturas /m.	F1	Masivo o levemente fracturada
60 – 200	6 a 12 fracturas /m	F2	Poco a moderadamente fracturado
20 – 60	12 a 20 fracturas/m	F3	Muy Fracturado
6 – 20	Más de 20 fracturas/m	F4	Intensamente fracturado
< 60	Fragmentada, disgregada	F5	Triturado

3.5.2.2 Clasificación Geomecánica

El macizo rocoso ha sido evaluado usando metodologías de clasificación de macizos rocosos. Para definir la calidad de la roca en la cual se fundarán las estructuras de los equipos en la zona de la Ampliación de la SET Cantera, se utilizó la clasificación RMR (Rock Mass Rating).

Clasificación de Bienawiski – Rock Mass Rating (RMR)

El Sistema de Clasificación RMR fue desarrollado por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, el cual tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- ❖ Resistencia a la Compresión Simple
- ❖ RQD
- ❖ Espaciamiento de las Discontinuidades
- ❖ Características de las Discontinuidades:
 - Continuidad o persistencia
 - Abertura
 - Rugosidad
 - Alteración
 - Relleno
 - Presencia del agua
- ❖ Orientación Relativa de las Discontinuidades

Figura 6: Parámetros RMR y sus Valuaciones.

RMR (1) RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA INTACTA							
VALOR (kg/cm ²)	> 2500	1000-2500	500-1000	250-500	50 -250	10-50	< 10
Valoración	15	12	7	4	2	1	0

RMR (2 + 3) RQD Y SEPARACIÓN DE DIACLASAS																
JUNTAS POR METRO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Valoración	40	34	31	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
JUNTAS POR METRO		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Valoración		17	16	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	9
JUNTAS POR METRO		3	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Valoración		9	8	8	7	7	7	6	6	6	5	5	5	4	4	4

RMR (4)	ESTADO DE LAS DIACLASAS				
PERSISTENCIA	< 1	1 -3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	20 m
Valoración	6	4	2	1	0
ABERTURA	0	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	5 mm
Valoración	6	5	4	1	0
RUGOSIDAD	MUY RUGOSA	RUGOSA	LIGERAMENTE RUGOSA	LISA	ESPEJO DE FALLA
Valoración	6	5	3	1	0
RELLENO	NO HAY	DURO CON ESPESOR < 5 mm	DURO CON ESPESOR > 5 mm	BLANDO CON ESPESOR < 5 mm	BLANDO CON ESPESOR > 5 mm
Valoración	6	5	3	2	0
GRADO DE METEORIZACIÓN	NO AFECTADO	LIGERO	MODERADO	ALTO	DESCOMPUESTO
Valoración	6	5	3	1	0

RMR (5)	EFECTO DEL AGUA				
ESTADO	SECO	LIG. HÚMEDO	HÚMEDO	GOTEANDO	CHORREANDO
Valoración	15	10	7	4	0

Modificada por Geocontrol, S.A

La clasificación de macizos rocosos para las calizas encontradas en la zona donde se emplazarán las obras de Ampliación de la SET Cantera, se muestran a continuación:

Tabla 11: Clasificación Geomecánica RMR – Ampliación SET Cantera.

PARÁMETROS		CALIZAS DE LA FORMACION IMPERIAL	
		DATOS	VALOR
1	Rc	100 – 250 kg/cm ²	12
2	RQD	25 – 50	13
3	Espaciamiento de discontinuidades	0.20 – 0.60 m	10
4	Condición de discontinuidades	Persistencia <1.0 m	6
		Separación 0,10 – 1 mm	3
		Ligeramente rugosa	3
		Relleno duro < 5 mm	4
		Ligeramente alterada	5
5	Agua subterránea	Seco	15
RMR Básico			71
Ajuste por Orientación	Cimentación	Regular	-7
RMR Ajustado o Corregido		64 (Roca tipo II – Buena)	

3.5.2.2.3 Perfil del Suelo sobre la SET Cantera

Tomando en consideración la calicata excavada cuyo resultado fue un suelo constituido por cascajo con matriz de arena bien gradada y limos (SW-SM); se puede decir lo siguiente:

- ❖ Según el perfil estratigráfico del subsuelo, la SET Cantera y la zona donde se ejecutará su ampliación, corresponde a un suelo heterogéneo constituido por depósitos gruesos de origen Cuaternario Aluvial y roca caliza de la Formación Imperial.

En base a los resultados de las Investigaciones Geognósticas se ha elaborado el siguiente perfil estratigráfico del área estudiada:

- ❖ Sobre la SET Cantera y su respectiva ampliación, se localizan en profundidad dos tipos de suelo: Un primer suelo formado por material granular, constituido por una capa de cascajo con una matriz de arena bien gradada con limos (SW-SM) y un segundo tipo, formado por roca caliza de la Formación Imperial, investigado con la Calicata C-ca1.
- ✚ La Calicata C-Ca-1 ejecutada, superficialmente, corresponde a una cobertura de suelo residual formada por limos arenosos, de color beige, seco, suave hasta una profundidad de 0,40 m, debajo de la cual, subyace hasta la profundidad investigada de 0,80 m roca caliza,

ligeramente meteorizada (M2), moderadamente fracturada (F3), muy dura (R5), perteneciente a la Formación Imperial con RMR = 64, Roca Tipo II – Buena. No se halló el nivel freático.

3.5.2.2.4 Condiciones del Suelo con Fines de Fundación

En la SET Cantera, el terreno está conformado por el siguiente estrato bien definido:

- ❖ Un estrato que en profundidad está constituido por roca caliza de la Formación Imperial, color gris, textura esparítica, ligeramente meteorizada (M2), moderadamente fracturada (F3), de resistencia muy dura (R5), reconocido sobre la zona de la Ampliación en la calicata ejecutada C-Ca1.

3.6 ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN DE SUELOS

El análisis efectuado a la cimentación, se ha desarrollado sobre la base de los resultados de la evaluación geológico-geotécnica así como la información existente.

Para estimar la capacidad admisible del terreno para la cimentación de las estructuras que soportaran a los equipos, se ha considerado una cimentación superficial y dimensiones de la estructura de cimentación variables. Los cálculos se han realizado por resistencia y verificado por asentamiento.

3.6.1 Determinación de Parámetros de Resistencia

Para obtener los parámetros resistentes del terreno a nivel de cimentación, se ha tomado en cuenta los resultados de los ensayos de laboratorio, logrando valores de fricción y cohesión. Estos parámetros se usarán para el cálculo de la capacidad portante en suelos.

Por otro lado, B.K. Hough, Basic Soils Engineering en 1957, presentó los siguientes valores típicos para suelos granulares.

Tabla 12: Valores Típicos Ángulos de Fricción para Suelos Granulares.

CLASIFICACIÓN	COMPACIDAD SUELTA	COMPACIDAD MEDIA	COMPACTA
Limo (no plástico)	27° a 30°	28° a 32°	30° a 34°
Arena limosa	27° a 33°	-	30° a 35°
Arena uniforme fina a media	28°	30° a 34°	32° a 36°
Arena bien graduada	33°	34° a 40°	38° a 46°
Arena y grava	35°	36° a 42°	40° a 48°

Tabla 13: Propiedades Físicas de los Suelos.

Material	Compacidad	D _r (%) (1)	N (2)	Densidad seca (gr/cm ³)	Índice de poros (e)	Angulo de rozamiento interno
GW: Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena	Densa	75	90	2.21	0.22	40
	Medianamente densa	50	55	2.08	0.28	36
	Suelta	25	<28	1.97	0.36	32
GP: Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena	Densa	75	70	2.04	0.33	38
	Medianamente densa	50	50	1.92	0.39	35
	Suelta	25	<20	1.83	0.47	32
SW: Arenas bien graduadas, arenas con grava	Densa	75	65	1.89	0.43	37
	Medianamente densa	50	35	1.79	0.49	34
	Suelta	25	<15	1.70	0.57	30
SP: Arenas mal graduadas, arenas con grava	Densa	75	50	1.76	0.52	36
	Medianamente densa	50	30	1.67	0.60	33
	Suelta	25	<10	1.59	0.65	29
SM: Arenas limosas	Densa	75	45	1.65	0.62	35
	Medianamente densa	50	25	1.55	0.74	32
	Suelta	25	<8	1.49	0.80	29
ML: Limos inorgánicos, arenas muy finas	Densa	75	35	1.49	0.80	33
	Medianamente densa	50	20	1.41	0.90	31
	Suelta	25	<4	1.35	1.00	27
CL: Arcillas baja plasticidad			30-2 (3)	2,15-1,5 (4)		28-25
MH: Limos alta plasticidad			30-2 (3)	2,15-1,5 (4)		25-22
CH: Arcillas alta plasticidad			30-2 (3)	2,15-1,5 (4)		20-17

(1) Dr es densidad relativa ó índice de densidad.

(2) N es el número de golpes por 30 cm de penetración en el SPT.

3.6.2 TIPOS DE SUELO Y PROFUNDIDAD DE CIMENTACION PARA LA AMPLIACION DE LA SET CANTERA

De la exploración realizada e información existente, se ha considerado lo siguiente con respecto a los tipos de suelos encontrados:

- ❖ Para la Ampliación de la SET Canteras, siendo conservadores con respecto al tipo de terreno en el que se fundarán las estructuras que soportaran a los equipos, se ha considerado las condiciones menos favorables.
- ❖ Existiendo dos tipos de materiales para el apoyo de las estructuras, se considera la condición más crítica, conservadoramente, es decir asumiendo como terreno de fundación al estrato formado por suelo granular constituido por una capa de cascajo con una matriz arenosa y conformada por arenas bien gradadas con limos (SW-SM).
- ❖ La profundidad de cimentación será como mínimo de un metro (1,0 m).

3.6.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE PARA LA AMPLIACIÓN DE LA SET CANTERA

El suelo existente donde se apoyarán las estructuras que soportaran a los equipos para la Ampliación de la SET Canteras, presenta principalmente,

características friccionantes. Los aspectos principales a tratarse son la capacidad portante y la deformación (asentamiento) del suelo.

La capacidad portante es la máxima presión que puede transmitir la cimentación al suelo, bajo las siguientes consideraciones:

- ❖ Factor de seguridad de una falla por cortante que sea.
- ❖ Asentamientos producidos que por la presión recomendada, no sean mayores a los asentamientos admisibles por la estructura.

La metodología para calcular la capacidad portante se inicia cumpliendo la primera consideración, es decir calculando la presión vertical y capacidad de carga, de tal forma que se divida entre el factor de seguridad.

Este análisis consiste en determinar la capacidad admisible por carga y el asentamiento esperado por estas cargas, en el tipo de suelo a nivel de fondo de cimentación.

Para el apoyo de las estructuras se plantea utilizar una cimentación superficial aislada con zapatas sobre suelo natural.

Los parámetros de resistencia de los suelos involucrados en la determinación de la capacidad portante, es decir, el ángulo de fricción interna (ϕ'), y la cohesión (C), han sido obtenidos por el ensayo de corte directo en muestras remoldeadas de los suelos según la Calicata C-Ca1, considerando los niveles donde se van a cimentar las estructuras (fondo de cimentación). Además se han corregido los parámetros considerando la falla local por corte.

Para el cálculo de la capacidad admisible se ha supuesto para todos los casos, una falla por corte localizado o punzonamiento, tomándose en cuenta la falla local, en la cual la deformación crece mucho para cargas próximas a la falla, debido a que la matriz arenosa mayormente se presenta en un estado de compactidad compacta a medianamente suelta, debiendo corregirse y utilizarse los parámetros de resistencia para falla local según la siguiente correlación propuesta por Terzaghi:

$$C' = 0,67 \times C$$

$$\phi' = \text{Arc Tg} (2/3 \text{ Tg } \phi)$$

Según el tipo de material existente, se han obtenido los siguientes parámetros para la Calicata C-Ca1:

Tabla 14: Resumen de Ensayo de Corte Directo de la Calicata C-Ca1 en SET Cantera.

CALICATA	MUESTRA	PROF (m)	CLASIF (SUCS)	DENSIDAD			
				SECA TOTAL (g/cm ³)	W (%)	C (kg/cm ²)	ϕ (°)
C-Ca1	M1	0,40 – 2,00	SW-SM	2,05	2,98	0,00	39,31°

Tabla 15: Resumen de Parámetros Geotécnicos del Ensayo de Corte Directo de SET Cantera.

CALICATA	TIPO DE SUELO	VALORES DE CORTE DIRECTO		CONSIDERANDO FALLA LOCAL		PARÁMETROS SEGÚN ϕ		
		ϕ (°)	C (kg/cm ²)	ϕ (°)	C (kg/cm ²)	Nc	Nq	$\frac{\gamma}{N}$
C-Ca1	SW-SM	39,31°	0,00	28,63	0,00	25,80	14,72	16,72

Para la Ampliación de la SET Cantera, siendo conservadores en el cálculo con respecto a los parámetros de resistencia cortante utilizados en el análisis, se ha considerado valores menos favorables de los obtenidos en el ensayo de corte directo.

Este material constituido por suelos de cascajo con matriz areno bien gradado con limo, en campo presentan compacidad compacta a medianamente suelta, lo que significa considerar la condición más desfavorable del análisis, ya que el material presenta un comportamiento muy diferente en estas condiciones, por lo que se ha considerado una falla local.

En general para el caso de suelos constituidos por arena bien graduada con limos (SW-SM), se tomaron valores críticos es decir, parámetros geotécnicos con respecto al menor valor favorable, esto es sobre la Calicata C-Ca1.

En base a las exploraciones de campo, resultados de laboratorio y al criterio del especialista, se asumen los siguientes parámetros:

El valor del Módulo de Elasticidad (E) y Módulo de Poisson (ϕ) se ha obtenido del Libro del Diseño de Cimentaciones, Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado.

Tabla 16: Parámetros Geotécnicos de la Capacidad Portante de los Suelos de Ampliación de la SET Cantera.

PARÁMETRO	SIMB.	UNIDAD	CALICATA C-Ca1
Tipo de suelo			SW-SM
Densidad natural seca	δ	gr/cm ³	2,05
Ángulo de fricción	ϕ	°	28,63

PARÁMETRO	SIMB.	UNIDAD	CALICATA C-Ca1
Cohesión	C	kg/cm ²	0,00
Nc			25,80
Nq			14,72
N _γ			16,72
Profundidad de desplante	Df	cm	100 a 200
Ancho de cimentación	B	cm	100 a 300
Módulo de deformación	Es	kg/cm ²	703,60
Relación de Poisson	μ		0.15
Factor de seguridad	Fs		3

Los valores de Nc, Nq y N_γ pueden ser obtenidos de la Tabla 5 según Vesic (1973), teniendo en consideración el ángulo de fricción obtenido de los ensayos de laboratorio de corte directo.

Tabla 5 Factores de Capacidad de Carga. Valores de Nc, Nq y N_γ según el ángulo de fricción.

φ	N _C	N _q	N _r	N _q /N _C	tan	φ	N _C	N _q	N _r	N _q /N _C	tan φ
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00	26	22.25	11.85	12.54	0.53	0.49
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02	27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03	28	25.80	14.72	16.72	0.57	0.53
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05	29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07	30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09	31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11	32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12	33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14	34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16	35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18	36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19	37	55.63	42.2	66.19	0.77	0.75
12	9.28	2.97	1.69	0.62	0.21	38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23	39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25	40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27	41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29	42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31	43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32	44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34	45	1433.88	134.88	271.76	1.01	1.00
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36	46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38	47	173.34	187.21	403.67	1.08	1.07
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40	48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42	49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45	50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47						

* Según Vesic (1973)

3.6.4 FALLA GENERAL POR CORTE

De acuerdo al material encontrado en la Calicata C-Ca1, éste corresponde a suelos granulares; conformados por arenas bien gradadas con limos (SW-SM). La teoría pertinente para calcular la capacidad portante del terreno es la utilizada por Terzaghi. Esta teoría supone que las resistencias correspondientes al peso del suelo y a la sobrecarga pueden calcularse una independientemente de la otra.

Partiendo de la citada hipótesis de Terzaghi, calculamos la capacidad de carga para los suelos del presente estudio.

Para cimentaciones que exhiben falla general por corte en suelos, Terzaghi y Peck (1967) sugirieron la siguiente fórmula para cimientos aislados y corridos:

$$q_c = S_c C N_c + S_r \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + S_q \gamma D_f N_q$$

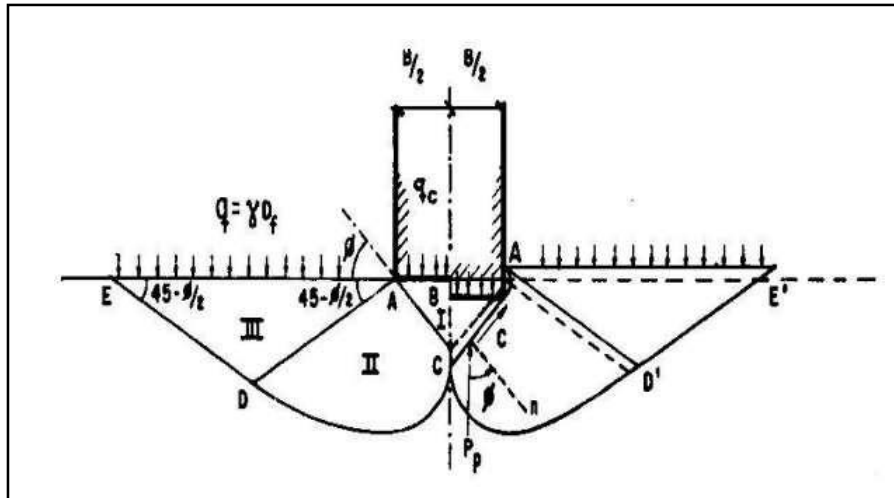
$$q_u = q_c / FS$$

$$S_\gamma = 1 - 0,4 \left(\frac{B}{L} \right) ; \quad S_c = 1 + \left(\frac{N_q}{N_c} \right) \times \left(\frac{B}{L} \right) \quad S_q = 1 + \operatorname{tg} \phi \left(\frac{B}{L} \right)$$

Dónde:

q_u	=	Capacidad última de carga
q_c	=	Capacidad admisible de carga
N_c, N_q, N_γ	=	Factores de capacidad de carga para falla loca
S_c, S_q, S_γ	=	Factores de forma (Vesic 1973)
B	=	Ancho de la estructura, de la faja cargable
L	=	Largo de estructura
FS	=	Factor de seguridad
γ	=	Densidad natural del suelo

Figura 7: Mecanismo de Falla de un Cimiento Superficial.



Para los cálculos se han considerado los parámetros de Vesic (1973) y un adecuado factor de seguridad (FS = 3) por las siguientes razones:

- ❖ Prevenir las variaciones naturales en la resistencia al corte del suelo.
- ❖ Precaerse contra la posible disminución local de la capacidad de carga durante el proceso constructivo.
- ❖ Prever asentamientos perjudiciales de las cimentaciones, cuando éste, está próximo a la carga crítica o a la rotura por corte.
- ❖ Las incertidumbres implicadas en los métodos y fórmulas utilizadas en la determinación de la carga.

Según el tipo de material que se localiza dentro de la SET Cantera, se ha sido asumido como el menos favorable, de características friccionantes, esto es sobre arenas bien gradadas con limos y cascajo (SW-SM).

Para la Ampliación de la SET Cantera con los parámetros geotécnicos indicados, se han efectuado los cálculos y se han obtenido valores de capacidad portante para diferentes profundidades. Se considera para fines de cálculo una profundidad mínima de 1,00 m por debajo del nivel del terreno.

Luego, aplicando la relación propuesta por Karl Terzaghi y Peck (1967) con los parámetros de Vesic; la capacidad portante admisible para cimientos aislados se muestra en la Tabla 17.

Resumiendo, el resultado obtenido de la capacidad portante para una profundidad mínima de fundación de 1,00 m y ancho de la estructura variable de 1,00 m x 1,00 m a 3,00m x 3,00 m, se tendrá una presión admisible que varía entre 1,90 kg/cm² a 2,58 kg/cm² para las arenas bien gradadas y limos con cascajo.

3.6.5 POR ASENTAMIENTOS

La interacción de los suelos del elemento cimiento de las cargas que se le imponen al suelo, provoca el asentamiento del mismo. Las presiones pueden generar asentamientos mayores a los admisibles, por lo tanto se verificarán los asentamientos previstos. Las características del asentamiento pueden deducirse de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas, según las consideraciones de Meyerhof.

En suelos friccionantes, los asentamientos son básicamente instantáneas del tipo inmediato que vienen a ser los asentamientos totales que sufrirá la cimentación. Los asentamientos dependerán de los valores del módulo de elasticidad.

Se ha adoptado el criterio de limitar el asentamiento máximo a 1" (2,54 cm). El asentamiento inicial según la Teoría de Elasticidad de Lambe y Whitman 1969, está dada por la siguiente ecuación:

$$S_i = \frac{qB(1-\mu^2)I_f}{E_s}$$

Dónde:

S_i =Asentamiento probable (cm)

μ =Relación de Poisson

E_s = Modulo de elasticidad (kg/cm²)

I_f =Factor de forma (cm/m)

q =Presión admisible o carga (kg/cm²)

B =Ancho de cimentación (m)

Tabla 17: Cálculo Capacidad Admisible de Carga – con diferentes Anchos de Zapatas y Profundidades Variables para la Ampliación SET Cantera.

CALICATA/ UBICACIÓN	MATERIAL (TIPO DE SUELO)	BXL Df (m)	CIMENTACIÓN CON ZAPATAS								γ g/cm ³	C kg/cm ² CORREG	ϕ (°) CORREG	Es kg/cm ²	μ
			q adm (kg/cm ²)												
			1,0 x 1,0	1,30 x 1,30	1,00 x 3,55	1,50 x 1,50	1,10 x 4,0	2,60 x 2,60	1,80 x 9,60	3,0 x 3,0					
C-Ca1 Ampliación SET Cantera	SW-SM	1,00	1,90	2,00	2,06	2,07	2,11	2,45	2,51	2,58	2,05	0,00	28,63°	703.60	0,15
		1,20	2,21	2,31	2,37	2,38	2,43	2,76	2,82	2,89					
		1,40	2,52	2,62	2,68	2,69	2,74	3,07	3,13	3,21					
		1,50	2,68	2,78	2,84	2,85	2,89	3,22	3,28	3,36					
		1,60	2,83	2,93	2,99	3,00	3,05	3,38	3,44	3,52					
		1,80	3,14	3,24	3,31	3,31	3,36	3,69	3,75	3,83					
		2,00	3,45	3,56	3,62	3,62	3,67	4,00	4,06	4,14					

Tabla 18: Parámetros Elásticos para Varios Tipos de Suelos.

TIPO DE SUELO	MODULO DE ELASTICIDAD (Es)		RELACION DE POISSON (μ)
	Mpa	kg/cm ²	
Arena suelta	10 – 25	102- 255	0,20 – 0,35
Arena media	25 – 50	255-510	
Arena densa	50 – 75	510 -765	0.30 – 0,40
Arena Limosa		105,46 – 175,76	0.20 – 0.40
Limo	2-20	20.4-204	0,30 – 0,35
Arcilla blanda	2,4 – 15	24,48-153	
Arcilla firme	15 – 50	153- 510	0,40 – 0,50
Arcilla rígida	50 – 100	510-1020	
Grava suelta	25-75	255-765	0,20-0,35
Grava media densa	75-100	765-1020	
Grava densa	100-200	1020-2040	0,30-0,40

Constantes elásticas de diferentes suelos de acuerdo con el U.S. Department of Navy (1982) y Bowles (1988). Sección 10, pág. 24, Tabla 10.6.2.2.3b-1 Manual de Cimentaciones AASHT.

A continuación se muestra un resumen de los Parámetros de Elasticidad.

Tabla 19: Resumen de los Parámetros de Elasticidad.

PARÁMETRO		UNIDAD	C-SV2
Tipo de material			SW-SM
Módulo de Young	Es	kg/cm ²	703,00
Coefficiente de Poisson	μ		0.15

Valores obtenidos de los Parámetros Típicos de la Tabla 18.

El asentamiento máximo será del orden de una pulgada (2,54 cm), teniendo en cuenta la metodología del asentamiento y los parámetros considerados. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 20.

Para la Ampliación de la SET Canteras, se resume que el resultado obtenido de los asentamientos para una profundidad mínima de cimentación de 1,00 metro, se tendrá un asentamiento que varía entre 0,34 cm a 1,39 cm por ancho de estructura, variable desde 1,00 m x 1,00 m a 3,00 m x 3,0 m para las arenas bien gradadas con limos y cascajo.

Tabla 20: Asentamientos (Si) Carga Rígida para la Ampliación de la SET Cantera.

Calicata/ Ubicación	Material (Tipo de suelo)	XL Df m)	q adm (Kg/cm2)		q adm (Kg/cm2)		q adm (Kg/cm2)		q adm (Kg/cm2)		q adm (Kg/cm2)		q adm (Kg/cm2)		q adm (Kg/cm2)		Si Cm	γ g/cm3	C kg/cm2 corregido	ϕ (°) Corregido	Es kg/cm2	μ	
			Si Cm.	Si Cm.	Si Cm.	Si Cm.	Si Cm.	Si Cm.	Si Cm.	Si Cm.													
			1,0x1,0	1,30x1,30	1,00x3,55	1,50x1,50	1,10x 4,0	2,60x2,60	1,80X9.60	3,0 x3,0													
C-Ca1/ SET Cantera	SP-SM	1,00	1,90	0,34	2,00	0,47	2,06	0,37	2,07	0,56	2,11	0,42	2,45	1,14	2,51	0,81	2,58	1,39	2,05	0,00	28,63°	703.60	0,15
		1,20	2,21	0,40	2,31	0,54	2,37	0,43	2,38	0,64	2,43	0,48	2,76	1,29	2,82	0,91	2,89	1,56					
		1,40	2,52	0,45	2,62	0,61	2,68	0,48	2,69	0,73	2,74	0,54	3,07	1,43	3,13	1,01	3,21	1,73					
		1,50	2,68	0,48	2,78	0,65	2,84	0,51	2,85	0,77	2,89	0,57	3,22	1,51	3,28	1,06	3,36	1,81					
		1,60	2,83	0,51	2,93	0,69	2,99	0,54	3,00	0,81	3,05	0,60	3,38	1,58	3,44	1,11	3,52	1,90					
		1,80	3,14	0,56	3,24	0,76	3,31	0,59	3,31	0,89	3,36	0,66	3,69	1,72	3,75	1,21	3,83	2,06					
		2,00	3,45	0,62	3,56	0,83	3,62	0,65	3,62	0,98	3,67	0,73	4,00	1,87	4,06	1,31	4,14	2,23					

3.7 ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Uno de los principales problemas para la determinación de la capacidad de soporte sobre basamento rocoso, es la estimación de las propiedades de resistencia y deformación del macizo rocoso.

Para fines del presente, se ha realizado ensayos en la roca intacta, a fin de determinar, los parámetros del macizo de manera confiable y realista.

3.7.1 PARÁMETROS DE RESISTENCIA CORTANTE DEL MACIZO ROCOSO

3.7.1.1 Criterio de Resistencia Hoek-Brown (2002)

El criterio original de Hoek y Brown, actualmente el de mayor aplicación, fue desarrollado en 1980 y está orientado a explicar el comportamiento previo a la rotura de todo tipo de rocas. Este criterio es totalmente empírico, pero se basa en la amplia experiencia de los autores en numerosos proyectos.

El criterio generalizado de Hoek-Brown, es el que reúne todas las modificaciones en su formulación, desde su origen y hasta el año 2002. Este criterio es expresado en términos de los esfuerzos efectivos principales mayor y menor, y la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

En su revisión más moderna, responde a la expresión:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \times \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Dónde:

σ_1' y σ_3' = Esfuerzos efectivos principales mayor y menor respectivamente

σ_{ci} = Resistencia a la compresión uniaxial de la matriz rocosa

m_b = Parámetro relacionado con la naturaleza friccionante del macizo rocoso

s, a = Constantes que dependen de la naturaleza del macizo rocoso

Los parámetros m, s y a del macizo rocoso han sido determinados mediante las siguientes expresiones:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right); \quad s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right); \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(\exp^{-GSI/15} - \exp^{-20/3} \right)$$

Dónde:

m_i = Es un parámetro dependiente de la litología de la roca, obtenido de los valores propuestos por Hoek et, al 1998

GSI = Índice de Resistencia Geológica

D = Factor de Perturbación

3.7.1.1.1 Determinación de la Constante (m_i) de la Matriz de Roca

Para determinar la constante “ m_i ”, se han utilizado las tablas sugeridas por Hoek y Brown (1997).

En la siguiente tabla se presentan los valores de la constante “ m_i ” por tipo de roca estimados para el cálculo de la capacidad admisible del macizo rocoso.

Tabla 21: Determinación de la Constante “ m_i ”.

TIPO DE ROCA	HOEK Y BROWN (1997)	ASUMIDO
Caliza	10	10

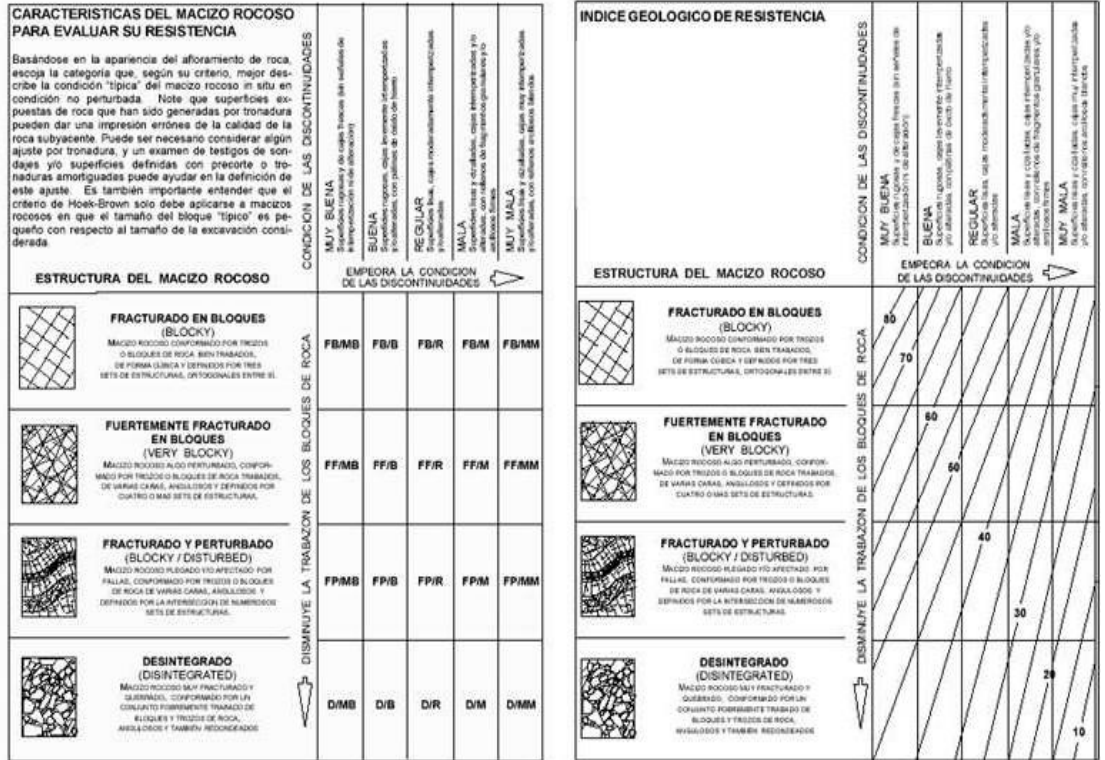
3.7.1.1.2 Resistencia a la Compresión de la Matriz Rocosa (σ_{ci})

La resistencia a la compresión de la matriz rocosa (σ_{ci}) se ha determinado a través de ensayos de carga puntual.

3.7.1.1.3 Índice Geológico de Resistencia (GSI)

La determinación del índice GSI se realizó sobre la base de la información mostrada a continuación.

Figura 8: Índice Geológico GSI.



A continuación se presentan los resultados asumidos y otros parámetros de entrada para acceder al criterio de resistencia de Hoek-Brown.

Tabla 22: Parámetros de Entrada al Criterio de Resistencia de Hoek – Brown.

VÉRTICE	LITOLÓGÍA	σ_{ci} (MPa)	m_i	GSI	RMR	D**
SET Cantera C-ca1	Caliza	108.24	10	59	64	0.2

Abreviaturas:

MR*: Relación modular, asumido sobre la base de las sugerencias de Hoek y Diederichs (2006).

D**: Factor de perturbación del macizo rocoso, Hoek et al, (2002).

3.7.1.2 Criterio de Deformación de Macizos Rocosos

Basándose en la clasificación geomecánica, varios autores han propuesto criterios empíricos para estimar el módulo de deformación del macizo rocoso, tales como, Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983), Kulhawy y Goodman (1980), Hoek (1995), Grimstad y Barton (1993), Gokceoglu et al, (2003), etc. Recientemente, en base a una revisión de varios criterios, resultados de ensayos in situ en China y Taiwán, Hoek y Diederichs (2006) propusieron una relación para determinar el módulo de deformación del macizo rocoso (E_m) en función del GSI, módulo de elasticidad de la roca intacta (E_i) y el grado de perturbación del macizo (D) por causa de la detonación de las voladuras y alivio de tensiones.

La relación se expresa por:

$$E_m = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI) / 11)}} \right)$$

3.7.2 PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN PARA EL MACIZO ROCOSO

De acuerdo a las características del terreno donde se ha proyectado la Ampliación de la SET Cantera, resultados de laboratorio y las dimensiones de las estructuras proyectadas, se recomienda cimentar a una profundidad de cimentación (D_f), desde el nivel de terreno natural, como se muestra a continuación.

Tabla 23: Resumen de Profundidad de Cimentación de la Roca.

UBICACIÓN/CALICATA	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	MATERIAL	Df (m)
SET Cantera/C-Ca1	EG-2	Caliza	1,5

Abreviatura:

Df: Profundidad de cimentación (con respecto al nivel del terreno natural).

3.7.3 CAPACIDAD ADMISIBLE DEL MACIZO ROCOSO PARA LA AMPLIACIÓN DE LA SET CANTERA

Para la obtención de la capacidad admisible del macizo rocoso existen numerosos métodos, de los cuales para fines de nuestros cálculos se ha usado los siguientes.

3.7.3.1 Método de Serrano y Olalla (2001)

La expresión empleada para la capacidad de carga está dada por las siguientes ecuaciones:

$$q_{ult} = \beta(N_{\beta} - \zeta) \quad \beta = \frac{m\sigma_{ci}}{8} = \frac{m_i\sigma_{ci}}{8} e^{\frac{RMR-100}{28}} \quad \zeta = \frac{8s}{m^2} = \frac{8}{m_i^2} e^{\frac{RMR-100}{9}}$$

Siendo m, s y mi, parámetros de Hoek y Brown y σ_{ci} es la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

El valor q_{ult} es dividido por un Factor de Seguridad F, obtenido como producto de dos factores $F = F_p \cdot F_m$. El Factor F_p considera las variaciones estadísticas de los parámetros de roca y la probabilidad de rotura de la roca; y el valor de F_m , considera la posibilidad de rotura por fragilidad por no ajustarse al modelo de Hoek y Brown.

3.7.3.2 Método de Hoek et al (2002)

De acuerdo a la teoría de Hoek et al, la capacidad admisible está dado por la resistencia global del macizo rocoso dividido entre un Factor de seguridad (FS) igual a 3.

$$q_a = \sigma'_{cm} / F_s \quad \sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)] (m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

3.7.3.3 Método de Carter y Kulhawy (1988)

El Método de Carter y Kulhawy es un método semiempírico que se basa en el criterio de rotura de Hoek y Brown. Cabe mencionar que este criterio está abierto a modificaciones del Proyectista, ya que como se observa, no toma en cuenta muchos parámetros como la base de cimentación, la profundidad, etc. Por lo que el valor de la capacidad ultima puede aumentar considerablemente.

Este método está dado por las siguientes relaciones:

$q_a = q_{ult} / FS$	$q_{ult} = \left(\sqrt{s} + (m\sqrt{s} + s)^{0.5} \right) q_0$	$m = m_1 e^{\frac{RMR_{80} - 100}{20}}$
----------------------	---	---

Dónde: FS = 3

3.7.4 VALORES OBTENIDOS DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE DE LA ROCA EN LA SET CANTERA

Aplicando los diferentes métodos se obtienen los siguientes valores:

Tabla 24: Capacidad Admisible de las Calizas Formación Imperial – Ampliación SET Cantera.

CAPACIDAD ADMISIBLE		
SERRANO Y OLALLA	HOEK et al	CARTER Y KULHAWY
8,86 kg/cm ²	71,67 kg/cm ²	215,42 kg/cm ²

Para fines de cimentación se ha adoptado el valor más conservador: **8,86 kg/cm²**.

Los parámetros de capacidad portante de la roca se han obtenido considerando el estado de meteorización de la roca, fracturamiento, diaclasamiento, espesor de juntas, relleno de juntas, RQD de la roca, resistencia a la compresión uniaxial, peso volumétrico, etc. Según la clasificación de Biewnaski, la roca caliza dentro de la Ampliación de la SET Cantera tiene un RMR corregido igual a 64, correspondiéndole a una clasificación de roca de Clase II (de I a V), que para fines de cimentación es una roca de buena resistencia.

Por lo tanto, la capacidad portante admisible de la roca caliza para la Ampliación de la SET Cantera es de **Qadm = 8,86 kg/cm² (valor más conservador en la roca)**.

A continuación se muestran los parámetros del macizo rocoso para el diseño de las estructuras:

Tabla 25: Parámetros del Macizo Rocoso para la Ampliación SET Cantera.

Ubicación	Litología	σ_{ci} (MPa)	RM R	V	Em (kg/cm ²)	Parámetros Hoek & Brown			Parámetros de Resistencia Cortante		Df (m)	q _{adm} (kg/cm ²)	τ (kg/cm ²)
						m _b	S	a	c _m (Kg/cm ²)	ϕ_m (°)			
SET Cantera / C-Ca1	Rocaliza	108.24	64	0,23	183542	1,965	0,0076	0,503	59,84	31,80	1,50	8,86	36,08

Dónde:

- Em Módulo de elasticidad del macizo rocoso
- m_b, s y a Constantes del macizo rocoso
- c_m, Cohesión del macizo rocoso
- ϕ_m Ángulo de fricción del macizo rocoso
- q_a Capacidad admisible del macizo rocoso
- τ Adherencia con el concreto
- V Módulo de deformación

Para la Ampliación de la SET Cantera, siendo conservadores con respecto al tipo de terreno en el cual se fundarán las estructuras, el Ingeniero Estructural tomará los valores más críticos, considerado las condiciones menos favorables así como la existencia de dos tipos de material, es decir, suelo granular constituido por una capa de cascajo con una matriz arenosa, conformado por arenas bien gradadas con limos (SW-SM) y al macizo rocoso conformado por calizas de la Formación Imperial. De los valores de capacidad portante de estos tipos de material, se asumirán los menos favorables.

3.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio se desarrolla en el Poblado de Cantera, Distrito de Nuevo Imperial en la Provincia de Cañete.

Las conclusiones para el presente Estudio son:

1. De acuerdo a los estudios del INGEMMET a Nivel Regional, la zona de estudio pertenece a la Unidad Geomorfológica conocida como Pampa Costera; y se encuentra limitada por los primeros contrafuertes andinos constituida por una cadenas de cerros bajos con altitud de hasta de 200 m.

2. El Proyecto se emplaza casi totalmente en la Unidad Morfológica “Pampa Costera”, que conforman los Depósitos Aluviales recientes del extenso cono de deyección del río Cañete, pero que han perdido configuración por actividad antrópica.

La morfología de las Pampas Costaneras en el área de estudio está dada por la sucesión de terrazas aluviales correspondientes a antiguos conos de deyección del río Cañete que llegan hasta el mar; abanicos aluviales completan la morfología de las Pampas Costaneras en el sector de la desembocadura río Cañete y quebradas secundarias.

3. Las Unidades Estratigráficas a Nivel Regional que aflora sobre la zona de estudio, corresponden a los Depósitos Aluviales y a rocas caliza de la Formación Imperial. La edad de estas unidades van desde el Cretáceo Inferior al Cuaternario Reciente.
4. La litología de estos Depósitos Aluviales Recientes comprende específicamente a las arenas, gravas y materiales finos (limos).

Los clastos representan la variedad litológica de las rocas de las formaciones geológicas presentes que han sido erosionados y transportados de las partes altas de la zona, pero son principalmente de origen ígneo sedimentario y tiene forma sub-redondeada a sub-angulosa.

Localmente sobre parte de la Ampliación de la SET Cantera, se encontró una capa residual de limos y subyaciendo, rocas calizas de la Formación Imperial.

5. En la zona de estudio, no se presentan problemas de geodinámica de gran magnitud que puedan involucrar la vulnerabilidad de la obra.

La zona aparentemente se muestra estable y no existen huellas de Fenómenos de Geodinámica Externa que la vayan a afectar y de darse esta situación, estaría circunscrita a problemas de procesos cársticos de las calizas cuando se presenten lluvias de gran intensidad, por lo que se debería prever drenajes en la Subestación, con el fin de evitar el contacto con el agua y evitar posibles hundimientos o asentamientos.

6. Considerando que el área de estudio se encuentra dentro de una zona de alta sismicidad, es necesario tener en cuenta el comportamiento de las

estructuras en condiciones dinámicas. Para el diseño sísmico deberá tenerse en cuenta los siguientes valores:

TIPO DE MATERIAL	PERFIL TIPO	Z	S	Tp	Tl
Arena bien gradadas con limos (SW-SM) y cascajo	S3	0,45	1,10	1,0	1,6
Roca caliza, moderadamente fracturada	S1	0,45	1,0	0,4	2,5

7. Según el perfil estratigráfico del subsuelo estudiado, el material encontrado corresponde a rocas calizas de la Formación Imperial de edad del Cretáceo Inferior.

En la Calicata C-Ca1, superficialmente, corresponde a una cobertura de suelo residual formada por limos arenosos, de color beige, seco, suave hasta una profundidad de 0,40 m, debajo de la cual subyace hasta la profundidad investigada de 0,80 m rocas caliza, ligeramente meteorizada (M2), moderadamente fracturada (F3), muy dura (R5), perteneciente a la Formación Imperial, con RMR = 64, Roca Tipo II – Buena. No se halló el nivel freático.

8. De la exploración realizada y de la información técnica existente para la SET Cantera, se tienen los siguientes tipos de material:
- ❖ Un estrato que en profundidad está constituido por roca caliza de la Formación Imperial, color gris, textura espartita ligeramente meteorizada (M2), moderadamente fracturada (F3), resistencia muy dura (R5), reconocido sobre la Calicata C-ca1.
 - ❖ Un Estrato que en Profundidad está constituido por un Suelo Granular constituido por una capa de cascajo con una matriz arenosa, conformado por Arenas bien gradadas con limos (SW-SM), de granulometría media a fina, compactidad densa a compacta.
9. El análisis de cimentación se ha desarrollado sobre la base de los resultados de la evaluación geológica-geotécnica.

Para el apoyo de las estructuras, se plantea utilizar una cimentación superficial aislada sobre el material existente dentro de la subestación. Se considera para fines de cálculo una profundidad mínima de 1,00 m por debajo del nivel superior del terreno.

10. De la exploración realizada y de la información existente, se ha considerado lo siguiente con respecto a los tipos de suelos encontrados:

- ❖ Para la Ampliación de la SET Cantera, siendo conservadores con respecto al tipo de terreno en la cual se fundarán las estructuras, se han considerado las condiciones menos favorables.
- ❖ Considerando que existen dos tipos de material para el apoyo de las estructuras, se considera a la condición más crítica, más conservadora, es decir tomando como terreno de fundación al estrato formado por suelo granular constituido por una capa de cascajo con una matriz arenosa, conformado por arenas bien gradadas con limos (SW-SM).

11. Para la Ampliación de la SET Cantera, con los parámetros geotécnicos tomados del terreno menos favorable, se han efectuado los cálculos, obteniéndose los valores de la capacidad portante para diferentes profundidades. Se considera para fines de cálculo una profundidad mínima de 1,00 m por debajo del nivel del terreno.

Resumiendo, el resultado obtenido de la capacidad portante para una profundidad mínima de fundación de 1,00 m y ancho de estructura variable de 1,00 m x 1,00 m a 3,0m x 3,0 m, se tendrá una presión admisible que varía entre 1,90 kg/cm² a 2,58 kg/cm² para las arenas bien gradadas con limos y cascajo.

12. Para la Ampliación de la SET Cantera, se resume que para un resultado obtenido de los asentamientos para una profundidad mínima de cimentación de 1,00 m, se tendrá un asentamiento que varía entre 0,34 cm a 1,39 cm para el ancho de la estructura, variable de 1,00 m x 1,00 m a 3,0 m x 3,0 m, para las arenas bien gradadas con limos.

13. Se ha calculado la capacidad admisible del macizo rocoso dentro de la Ampliación de la SET Cantera, que se obtiene los siguientes valores:

CAPACIDAD ADMISIBLE SET CANTERA		
Serrano y Olalla	Hoek et al	Carter y Kulhawy
8,86 kg/cm ²	71,67 kg/cm ²	215,42 kg/cm ²

Para fines de cimentación de la roca, se ha adoptado el valor más conservador: 8,86 kg/cm², correspondiendo según el RMR de Benjawski, igual a 64, Roca Tipo II - Buena Resistencia.










14. Los resultados obtenidos en el presente Estudio, así como las conclusiones y recomendaciones establecidas, solo son válidas para el Área de Influencia en la Calicata investigada.

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACIÓN DEL MATERIAL MENOS FAVORABLE

PARA CIMIENTOS AISLADOS

Tipo de cimentación	:	Aislada con zapatas
Estrato de apoyo a la cimentación favorable	:	Suelo menos favorable
con limos (SM)	:	Arena bien gradada (SW-)
Parámetros de diseño para la cimentación	:	
✚ Profundidad mínima de cimentación	:	Df = 1,00 m
✚ Densidad seca	:	2,05 gr/cm ³
✚ Presión admisible kg/cm ²	:	Q adm = 1, 90 a 2,58
✚ Factor de seguridad	:	3
✚ Asentamiento	:	0,34 cm a 1,39 cm
✚ Parámetros de resistencia cortante	:	c _{correg} = 0,00 kg/cm ² φ _{correg} = 28,63
Agresividad del suelo Portland Tipo I	:	Usar Cemento
Parámetros de diseño sísmico Tp=1,0 TI=1,6	:	S3; Z= 0,45 S= 1,10

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Tipo de cimentación	:	Aislada con zapatas
Estrato de apoyo a la cimentación	:	Macizo rocoso ligeramente meteorizada (M2), moderadamente fracturada (F3), resistencia muy dura (R5).
Parámetros de diseño para la cimentación	:	
 RMR (buena resistencia);	:	64, Roca tipo II GSI=59
 Profundidad de cimentación	:	Df = 1,50 m (en roca)
 Densidad seca	:	2,804 gr/cm ³
 Presión admisible	:	Q adm = 8,86 kg/cm ²
 Factor de seguridad	:	3
 Módulo de deformación (V)	:	0,23cm
 Adherencia al concreto (T)	:	36,08 kg/cm ²
 Parámetros Hoek & Brown	:	Mb = 1,965 S = 0,0076 a = 0,503
 Parámetros de resistencia cortante	:	c _m = 59,84 kg/cm ² φ _m = 31,80
Agresividad del suelo Portland Tipo V	:	Usar Cemento
Parámetros de diseño sísmico Tp=0,4 Tl=2,5	:	Z= 0,45 S= 1,0

IV. MEDICIÓN Y CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL TERRENO EN LA SET CANTERA

La medición de la resistividad eléctrica del terreno se ha realizado en el área interior de la subestación Cantera 220/60 kV y puntos seleccionados previamente, con el fin de determinar los valores de resistividad en la zona de estudio.

4.1 MEDICIÓN DE La RESISTIVIDAD

4.1.1 CONSIDERACIONES INICIALES

- ✓ El equipo de medición utilizado es un Telurómetro digital, de la marca LEM, modelo Saturn Geo Plus.
- ✓ Las medidas de la resistencia aparente (R) del terreno se realizaron de forma longitudinal y transversal, tal como se muestra en la Figura 1 del presente.
- ✓ La obtención de datos se realizó en campo, empleando la configuración de medición del método Wenner.
- ✓ La resistividad eléctrica del suelo para un espaciamento definido "a", se calculó con la siguiente fórmula: $\rho = 2\pi aR$.

4.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN EN CAMPO

A continuación se indica la fecha y hora del día que se realizaron las mediciones

Fecha : 04/05/2016

Hora : 1:00 p.m.

Temperatura : 22°C

En la Tabla 26 se muestran los resultados de las mediciones de resistencia eléctrica del terreno ubicados en el área de la SET Cantera.

Tabla 26: Resultados de las mediciones de resistencia eléctrica del terreno en la SET Cantera.

Distancia entre picas (m)	Longitudinal	Transversal
	Resistencia (Ω)	Resistencia (Ω)
1	48.6	55.9
2	22.9	17.33
4	8.6	7.64
6	5.14	5.31
8	3.25	3.82

4.2 Determinación de la resistividad aparente (ρ_a)

De los resultados obtenidos de la medición de campo, indicadas en el numeral 4.1.2, se muestra la siguiente tabla:

Tabla 27: Cálculo de la resistividad promedio.

Distancia entre picas (m)	Longitudinal		Transversal		Promedio (Ω -m)
	Resistencia (Ω)	Resistividad (Ω -m)	Resistencia (Ω)	Resistividad (Ω -m)	
1	48.6	305.36	55.9	351.23	328.30
2	22.9	287.77	17.33	217.78	252.77
4	8.6	216.14	7.64	192.01	204.08
6	5.14	193.77	5.31	200.18	196.98
8	3.25	163.36	3.82	192.01	177.69

De la tabla anterior se puede apreciar, que la variación de resistividad promedio entre la máxima y mínima, supera el 30% entre ellas, esto desde ya nos va dando una idea que el suelo debe considerarse como dos capas.

De lo antes mencionado, se ha desarrollado el cálculo de resistividad aparente del terreno, a partir de las mediciones efectuadas en campo, para el modelo de dos capas, mediante los programas Aspix y Resist, esto con la finalidad de tener presente la diferencia entre uno y otro programa.

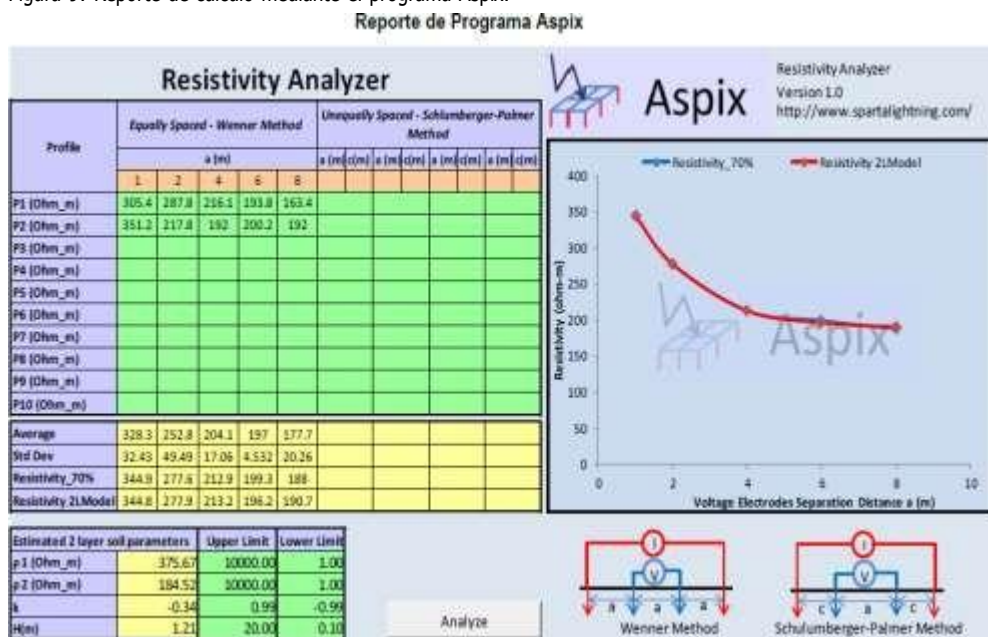
Cabe señalar que ambos programas dan valores de resistividad equivalente para la configuración de medición empleada (Método Wenner).

Con el programa Aspix, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 28: Cálculo de la resistividad aparente (ρ_a), con el programa Aspix.

Estimated 2 layer soil parameters		Upper Limit	Lower Limit
ρ_1 (Ohm_m)	375.67	10000.00	1.00
ρ_2 (Ohm_m)	184.52	10000.00	1.00
k	-0.34	0.99	-0.99
H(m)	1.21	20.00	0.10

Figura 9: Reporte de cálculo mediante el programa Aspix.



Con el programa Resist, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 29: Cálculo de la resistividad aparente (ρ_a), con el programa Resist.

MEDICIÓN	Resistividad (ohm-m)	Profundidad h (m)
Capa 1	346,76	1,18
Capa2	178,61	

Figura 10: Reporte de cálculo mediante el programa Resist.

Reporte de Programa Resist

DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS (m)	RESISTENCIA APARENTE (ohms)	RESISTIVIDAD APARENTE MEDIDA (ohms-m)	RESISTIVIDAD APARENTE TEORICA (ohms-m)
1.00	52.250000	328.296400	318.966600
2.00	20.115000	252.772500	259.951100
4.00	8.120000	204.077900	203.749500
6.00	5.225000	196.977800	189.021400
8.00	3.535000	177.688500	184.142400

0 VALORES ENCONTRADOS EN LA ITERACION No 5

RESISTIVIDAD CAPA SUPERFICIAL (ohms-m) : 346.76

RESISTIVIDAD CAPA INFERIOR (ohms-m) : 178.61

COEFICIENTE DE REFLEXION : -.32005

ESPESOR DE CAPA SUPERFICIAL (m) : 1.187

DESVIACION MINIMA CUADRATICA CON EL MODELO PROPUESTO (ohms²-m²) : 243.643200

De los resultados del programa Aspix, el cual promedia las mediciones 1 y 2, se aprecia que la resistividad aparente de la capa 1 es 375,67 ohm-m y la resistividad de la capa 2 es 184,52, para una profundidad de capa 1 de 1,21 m.

Del mismo modo, de los resultados del programa Resist, se aprecia que la resistividad aparente de la capa 1 es 346,76 ohm-m y la resistividad de la capa 2 es 178,61 ohm-m, para una profundidad de capa 1 de 1,18 m.

4.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los valores obtenidos por ambos programas son muy similares.
- Tomando en cuenta que los máximos valores obtenidos corresponden al programa Aspix, se recomienda utilizar éste valor para el cálculo de la malla a tierra.

V. CRITERIOS DE DISEÑO – SUBESTACIÓN CANTERA 220/60 kV

5.1 Generalidades

El estudio comprende el desarrollo de la ingeniería para la ampliación de los patios de llaves 220 kV y 60 kV y ampliación de los paneles de control, mando y señalización a instalarse en el edificio de control existente.

La ampliación del patio de llaves 220 kV lo conforman las siguientes instalaciones:

- Adecuación del sistema de barra 220 kV, de configuración simple barra a configuración doble barra.
- Adecuación de dos celdas de líneas y una celda de transformación 220 kV de conexión simple barra a conexión doble barra.
- Implementación de una celda de acoplamiento 220 kV.
- Implementación de una celda de transformación, conexión a doble barra, en 220 kV.
- Implementación de un autotransformador de potencia 214/60/13,8 kV.
- Realizar las obras civiles necesarias para la zona de la ampliación.

La ampliación del patio de llaves 60 kV lo conforman las siguientes instalaciones:

- Implementación de una celda de transformación 60 kV.
- Implementación de un sistema de barra 60 kV, de configuración simple barra.
- Implementación de una celda de acoplamiento longitudinal 60 kV.
- Implementación de una celda de línea 60 kV.
- Realizar las obras civiles necesarias para la zona de la ampliación.

La ampliación de equipos en el edificio de control lo conforman las siguientes instalaciones:

- 01 Tablero de protección y control de acople 220 kV.
- 01 Tablero de protección, control y medición del autotransformador 220/60/10 kV.
- 01 Tablero de protección, control y medición de línea 1 60 kV y acople 60 kV.
- Adecuación de los paneles existentes de control, protección, medida, con la incorporación del segundo seccionador.

5.2 Descripción del Estudio

La Subestación Cantera 220/60 kV, es existente y se ubica en el AA. HH. La Cantera, perteneciente a la jurisdicción del Distrito Nuevo Imperial, Provincia de Cañete, Región Lima, a una altitud aproximada de 230 msnm. Su ubicación aproximada en coordenadas UTM WGS84 es la siguiente:

- Zona : 18S
- Coordenada Este : 358 724
- Coordenada Norte : 8 555 752

➤ Cota : 230 msnm

La subestación cuenta con un sistema de barra 220 kV, configuración simple barra (preparada para configuración doble barra), implementado con dos celdas de línea 220 kV y una celda de transformación 220 kV, un transformador de potencia 220/60/10 kV y un sistema de barra 60 kV configuración simple barra, implementado con una celda de línea 60 kV, una celda de transformación 60 kV.

Esta subestación cuenta con espacio para su ampliación, la que consistirá en la ampliación y adecuación del sistema de barra 220 kV de configuración simple barra a configuración doble barra, implementación de una celda de acoplamiento 220 kV, implementación de una celda de transformación 220 kV, implementación del sistema de barra 60 kV configuración simple barra, implementación de una celda de línea 60 kV, implementación de una celda de acoplamiento longitudinal 60 kV, implementación de un transformador de potencia 220/60/10 kV, 25/25/8.33 MVA., realizar las obras civiles necesarias para la zona de la ampliación. Implementación y adecuación de los sistemas de control, protección, medida y comunicación, con pórticos y equipamiento convencional instalado al exterior.

Figura 11: Disposición de las instalaciones existentes, SET Cantera 220/60 kV, vista de planta.

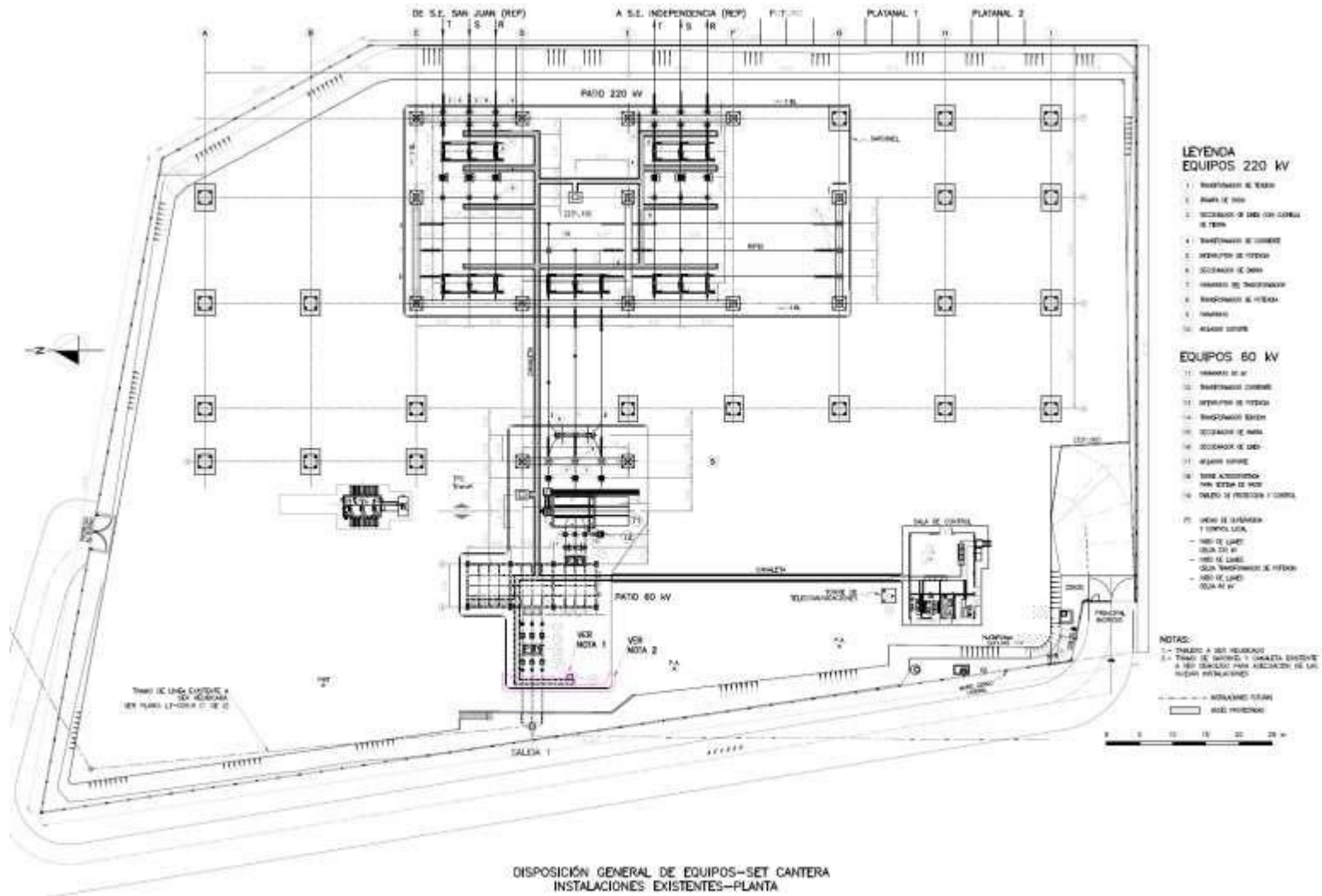
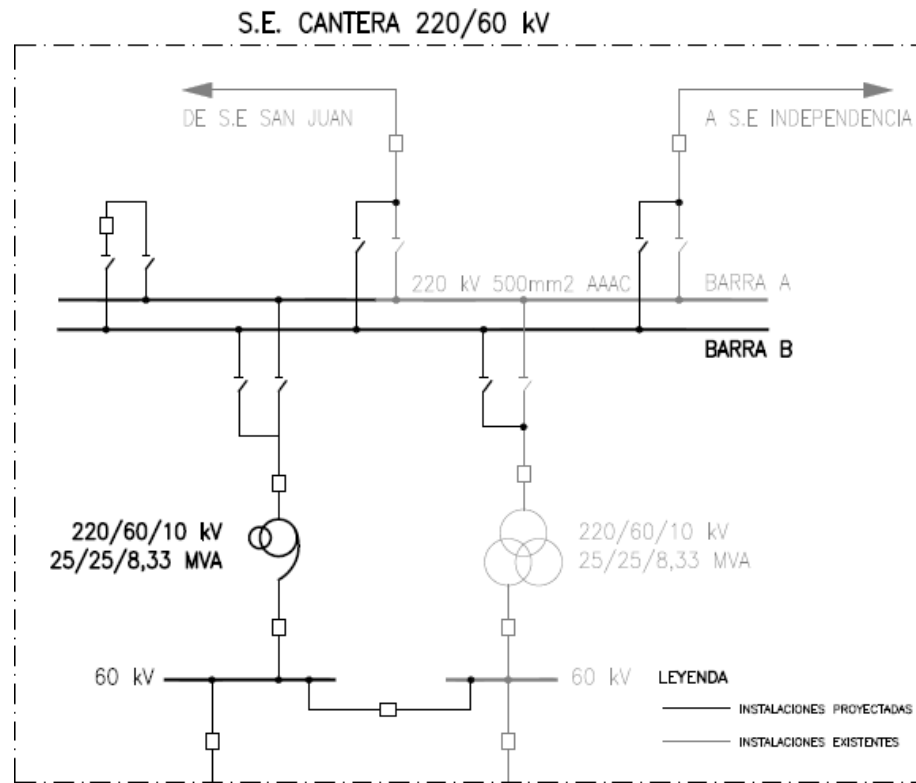


Figura 13: Diagrama unifilar general de la SET Cantera 220/60 kV.



5.3 Normas y Reglamentos

Las normas y reglamentos que se aplicarán para el desarrollo del estudio son:

- ✓ Ley de Concesiones Eléctricas, Decreto Ley N° 25844.
- ✓ Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas.
- ✓ Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas, aprobado por Decreto Supremo N° 029-94 EM.
- ✓ Código Nacional de Electricidad Suministro 2011, aprobado por Resolución Ministerial N° 214-2011-MEM/DM.
- ✓ Reglamento Nacional de Edificaciones.
- ✓ Normas IEC (International Electrical Commission).
- ✓ Normas ASTM (American Society for Testing and Materials).
- ✓ Normas IEEE (Institute of Electrical and electronics Engineers).

5.4 Niveles de Tensión y Aislamiento

Para la subestación Cantera, ubicada a 230 msnm, se aplicará los niveles de tensión y aislamiento de acuerdo a la norma IEC 60071-1.

– Altitud (msnm)	:	230	
– Tensión nominal kV (ef.)	:	220	60
– Tensión máxima de servicio kV (ef.)	:	245	72,5
– Tensión soportada a frecuencia industrial kV (ef.)	:	460	140
– Tensión soportada impulso tipo rayo kV (pico)	:	1050	325
– Puesta a tierra	:	Sólida	Sólida
– Frecuencia Hz	:	60	60

5.5 Niveles de Protección

Se aplicarán los siguientes niveles de protección

– Línea de fuga (mm/kV)	:	31
-------------------------	---	----

5.6 Niveles de Corriente

Todos los equipos de maniobra (interruptores y seccionadores) a efectos de soportar los requerimientos de esfuerzos por cortocircuito y capacidad de resistencia térmica, deberán cumplir con las siguientes características:

– Nivel de tensión kV	:	220	60
– Corriente nominal (A), no menor de	:	1200	2000

- Capacidad mínima de ruptura (kA) de cortocircuito trifásico, 1s, simétrica : 40 40

5.7 Equipamiento Electromecánico

5.7.1 Equipos en Patio de Llaves 220 kV

5.7.1.1 Interruptores de Potencia

Los interruptores de potencia a instalarse, son de operación tripolar, para operaciones en modo fase por fase y con cámara de extinción en Hexafluoruro de Azufre (SF6).

La cantidad de unidades a implementar y sus características son las siguientes:

	Nuevos	Reutilizados
• Cantidad	: 01 Unid.	01 Unid.
• Marca	: SIEMENS	CROMPTON
• Modelo	: 3AP1FG-2	200-SFM-40S
• Tensión Nominal	: 220 kV	220 kV
• Tensión máxima de servicio	: 245 kV	245 kV
• Corriente en servicio continuo	: 2000 A	3150 A
• Poder de ruptura simétrica	: 40 kA	40 kA
• Duración de cortocircuito asignada:	1 s	

5.7.1.2 Seccionadores de Barra

Los seccionadores de barra a instalarse, son del tipo apertura central, motorizados, con mando local y remoto.

La cantidad de unidades a implementar y sus características son las siguientes:

• Cantidad	: 07 Unid.
• Marca	: ABB
• Modelo	: SDF 245
• Tensión Nominal	: 220 kV
• Tensión máxima de servicio	: 245 kV
• Corriente en servicio continuo	: 1250 A
• Poder de ruptura simétrica	: 40 kA
• Duración de cortocircuito asignada	: 1 s

5.7.1.3 Transformadores Combinados

Los transformadores combinados son monofásicos, de la marca Artech, tipo KA-245.

La cantidad de unidades a implementar y sus características son las siguientes:

- Cantidad : 3 Unid.

Transformador de Tensión:

- Relación de transformación
- Primaria : 220/ $\sqrt{3}$ kV
- Secundaria : 110/ $\sqrt{3}$ V
- Clase de precisión
- Medición, 1 núcleo : CI 0,2
- Protección, 1 núcleo : 3P
- Consumo por núcleo : 30 VA

Transformador de Corriente:

- Tensión Nominal : 220 kV
- Tensión máxima de servicio : 245 kV
- Corriente primaria : 800 - 1600 A
- Corriente secundaria : 1 A
- Núcleos de medida : 1
- Clase de precisión : CI 0,2
- Consumo : 30 VA
- Núcleos de protección : 3
- Clase de precisión : 5P30
- Consumo : 30 VA

5.7.1.4 Transformadores de Corriente

Los transformadores de corriente son monofásicos, reutilizados, de la marca Crompton Greaves.

La cantidad de unidades a implementar y sus características son las siguientes:

- Cantidad : 3 Unid.
- Marca : CROMPTON GREAVES
- Modelo : IOSK 245
- Tensión Nominal : 220 kV
- Tensión máxima de servicio : 245 kV
- Corriente primaria : 150 - 300 A
- Corriente secundaria : 1 A

- Núcleos de medida : 1
- Clase de precisión : CI 0,2
- Consumo : 15 VA
- Núcleos de protección : 3
- Clase de precisión : 5P30
- Consumo : 15 VA

5.7.1.5 Pararrayos

Los transformadores de corriente son monofásicos, reutilizados, de la marca Crompton Greaves.

La cantidad de unidades a implementar y sus características son las siguientes:

- Cantidad : 3 Unid.
- Marca : CROMPTON GREAVES
- Modelo : IOSK 245
- Tensión Nominal del sistema : 220 kV
- Tensión máxima del sistema : 245 kV
- Tensión nominal del equipo : 198 kV
- MCOV : 168
- Corriente de descarga asignada (kA) : 10
- Clase : 3

5.7.2 Equipos en Patio de Llaves 60 kV

5.7.2.1 Interruptores de Potencia

Los interruptores de potencia a instalarse, son de operación tripolar, para operaciones en modo fase por fase y con cámara de extinción en Hexafluoruro de Azufre (SF6).

La cantidad de unidades a implementar y sus características son las siguientes:

- | | | | |
|--------------------------------------|---|----------|--------------|
| • Cantidad | : | 02 Unid. | 01 Unid. |
| • Marca | : | SIEMENS | ABB |
| • Modelo | : | 3AP1FG-2 | LTB 72.5D1/B |
| • Tensión Nominal | : | 60 kV | 60 kV |
| • Tensión máxima de servicio | : | 72,5 kV | 72,5 kV |
| • Corriente en servicio continuo | : | 2000 A | 3150 A |
| • Poder de ruptura simétrica | : | 31,5 kA | 40 kA |
| • Duración de cortocircuito asignada | : | | 1 s |

5.7.2.2 Seccionadores de Barra

Los seccionadores de barra a instalarse, son del tipo apertura central, motorizados, con mando local y remoto.

La cantidad de unidades a implementar y sus características son las siguientes:

- Cantidad : 04 Unid.
- Marca : COELME
- Modelo : CBD 72.5
- Tensión Nominal : 60 kV
- Tensión máxima de servicio : 72,5 kV
- Corriente en servicio continuo : 2000 A
- Poder de ruptura simétrica : 31,5 kA
- Duración de cortocircuito asignada : 1 s

5.7.2.3 Seccionadores de Línea

Los seccionadores de Línea a instalarse, son del tipo apertura central, motorizados, con mando local y remoto.

La cantidad de unidades a implementar y sus características son las siguientes:

- Cantidad : 01 Unid.
- Marca : COELME
- Modelo : CBD-E 72.5
- Tensión Nominal : 60 kV
- Tensión máxima de servicio : 72,5 kV
- Corriente en servicio continuo : 2000 A
- Poder de ruptura simétrica : 40 kA
- Duración de cortocircuito asignada : 1 s

5.7.2.4 Transformadores Combinados

Los transformadores combinados en 60 kV son monofásicos, de la marca Artech, tipo KA-72.

La cantidad de unidades a implementar y sus características son las siguientes:

- Cantidad : 09 Unid.

Transformador de Tensión:

- Relación de transformación
- Primaria : $60/\sqrt{3}$ kV
- Secundaria : $110/\sqrt{3}$ V

- Clase de precisión
- Medición, 1 núcleo : CI 0,2
- Protección, 1 núcleo : 3P
- Consumo por núcleo : 30 VA

Transformador de Corriente:

- Nivel de tensión : 60 kV
- Transformadores de corriente : 03 núcleos
- Corriente primaria : 750 - 1500 A
- Corriente secundaria : 1 A
- Núcleos de medida : 1
- Clase de precisión : CI 0,2
- Consumo : 30 VA
- Núcleos de protección : 3
- Clase de precisión : 5P30
- Consumo : 30 VA

5.8 Coordinación de Aislamiento

5.8.1 OBJETIVO

Establecer la correlación necesaria entre los niveles de aislamientos de los dispositivos eléctricos y los niveles de protección asegurados por los dispositivos de protección para prevenir que las sobretensiones incidentales puedan provocar averías a los equipos, normalizando el diseño de acuerdo a los criterios que se establecen en la norma IEC 60071-2.

5.8.2 NORMAS Y REFERENCIAS

Los procedimientos y cálculos están desarrollados bajo el marco de las siguientes normas:

- ▶ EN 60071-1.- COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO, PARTE 1: Definiciones, principios y reglas.
- ▶ EN 60071-2.- COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO, PARTE 2: Guía de aplicación.

5.8.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

Las características del sistema eléctrico son:

- Tensión nominal del sistema : 220 kV 60 kV
- Tensión máxima del sistema : 245 kV 72,5 kV
- Número de fases : 3 3

- Frecuencia : 60 Hz 60 Hz
- Puesta tierra : Sólida en Y Sólida en Y

5.8.4 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

Las características ambientales para la zona del proyecto son:

- Altitud sobre el nivel del mar : 230 msnm (máx. del proyecto)
- Temperatura mínima : 10°C
- Temperatura media : 20°C
- Temperatura máxima : 32°C
- Humedad relativa media anual : 84%
- Nivel de contaminación : Muy fuerte

5.8.5 METODOLOGÍA PARA LA COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

Los principales pasos para la coordinación de aislamiento, descritos en la norma IEC 60071-2 son:

- ▶ Paso 1: Determinación de las sobretensiones representativas (U_{rp})
- ▶ Paso 2: Determinación de las tensiones de soportabilidad para coordinación (U_{cw})
- ▶ Paso 3: Determinación de las tensiones de soportabilidad requeridas (U_{rw})
- ▶ Paso 4: Determinación de las tensiones de soportabilidad normalizadas (U_w)

5.8.5.1 Determinación de las Sobretensiones Representativas (U_{rp})

5.8.5.1.1 Sobretensiones a Frecuencia Industrial

Para propósitos de coordinación de aislamiento, la tensión a frecuencia industrial se considera igual a la tensión máxima de operación del Sistema (U_s), en la subestación.

Tomando en cuenta la tensión nominal del sistema, se tiene:

Tensión Nominal del Sistema:	220 kV	60 kV
Tensión Máxima de operación del Sistema U _s :	245 kV	72,5 kV

5.8.5.1.2 Sobretensiones Temporales

Se consideran los valores para las sobretensiones sugeridas en el anexo H de la norma IEC 60071-2, los cuales incluyen factores que llevan a resultados conservativos. Estas sobretensiones temporales se originan por fallas a tierra o rechazo de carga.

Sobretensiones por fallas a tierra

La ocurrencia de una falla a tierra en un determinado punto del sistema lleva a un aumento de la tensión fase - tierra en las fases sanas cuyo valor depende del grado de aterrizamiento del sistema.

Si el sistema está sólidamente puesto a tierra la norma considera que la máxima sobretensión eficaz no sobrepasa 1,4 veces la tensión máxima eficaz fase a tierra del sistema. Para sistemas con neutro aislado las sobretensiones alcanzan hasta 1,732 veces la tensión eficaz máxima.

$$U_{rp} (fase-tierra) = K * U_s / \sqrt{3}$$

Donde:

K: Factor de falla a tierra (Ver anexo B de la norma IEC 60071-2)

K = 1.4

Us: Máxima tensión del sistema, Kv

Us = 245

Reemplazando valores se tiene:

Urp(fase-Tierra) = 198 Kv

Sobretensiones por rechazo de carga

Otra fuente de sobretensiones temporales es el rechazo de carga el cual produce sobre tensiones que afectan el aislamiento fase - fase y fase - tierra.

- Fase a tierra $U_{rp} (fase-tierra) = 1,4 * U_s / \sqrt{3}$
- Fase a fase $U_{rp} (fase-fase) = 1,4 * U_s$

Reemplazando valores se tiene:

Urp (fase-Tierra) = 198 kV

Urp (fase-fase) = 343 kV

5.8.5.1.3 Sobretensiones Representativas Temporales

Las sobretensiones representativas temporales considerando las anteriores fuentes son:

Urp(fase-Tierra) = 198 kV

Urp(fase-fase) = 343 kV

5.8.5.1.4 Sobretensiones de Frente Lento

Impulsos que afectan los equipos en la entrada de la línea energización extremo remoto

La re-energización desde el extremo remoto resulta en impulsos de sobretensión fase a tierra U_{e2} y fase a fase U_{p2} , seleccionados a partir de la Figura 1 de la norma IEC 60071-2. Las sobretensiones representativas para los equipos en la entrada de la línea sin tener en cuenta los pararrayos son los siguientes:

$$U_{et} = 1,25 \cdot U_{e2} - 0,25$$

$$U_{pt} = 1,25 \cdot U_{p2} - 0,43$$

Donde:

U_{e2} : Valor de la sobretensión fase a tierra que tiene una probabilidad del 2% de ser excedido (Ver figura 1 de la norma IEC 60071-2).

U_{et} : Valor de sesgamiento de la distribución acumulada de las sobretensiones fase a tierra

U_{p2} : Valor de la sobretensión fase a fase que tiene una probabilidad del 2% de ser excedida (Ver figura 2 de la norma IEC 60071-2).

U_{pt} : Valor de sesgamiento de la distribución acumulada de las sobretensiones fase a fase

Reemplazando valores se tiene:

$$U_{et} = 425,1 \text{ kV}$$

$$U_{pt} = 639,1 \text{ kV}$$

Impulsos que afectan todos los equipos energización extremo local

La energización y re-energización local (extremo emisor) resulta en impulsos de sobretensión menos críticos que para el extremo receptor, con el fin de ser conservativos se seleccionan los valores recomendados por la norma U_{e2} y U_{p2} .

$$U_{et}' = 1,25 \cdot U_{e2}' - 0,25$$

$$U_{pt}' = 1,25 \cdot U_{p2}' - 0,43$$

Reemplazando valores se tiene:

$$U_{et}' = 700,1 \text{ kV}$$

$$U_{pt}' = 1039,2 \text{ kV}$$

Pararrayos en la entrada de la línea, energización desde el extremo remoto

Con el fin de controlar las sobretensiones por energización de la línea en el extremo remoto se instalan pararrayos en la entrada de la línea con las siguientes características de protección:

El NPM (Ups, Nivel de protección al impulso tipo maniobra) es igual a la máxima tensión residual para impulsos de corrientes de maniobra, 1kA.

El NPR (Upl, Nivel de protección para el impulso tipo rayo) es la tensión máxima residual para un impulso atmosférico a la corriente nominal de descarga, 10 kA.

Con el uso de pararrayos, las sobretensiones representativas pueden ser dadas directamente por Ups para las sobretensiones fase a tierra o 2Ups para las sobretensiones fase a fase si los valores de protección son menores a los máximos esfuerzos de sobretensión U_{et} y U_{pt} de frente lento.

Las sobretensiones de frente lento representativas son:

Para todos los otros equipos:

$$\text{Fase a tierra: } U_{rp}(\text{fase-tierra}) = 406 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } U_{rp}(\text{fase-fase}) = 639 \text{ kV}$$

Para equipo a la entrada de la línea:

$$\text{Fase a tierra: } U_{rp}(\text{fase-tierra}) = 406 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } U_{rp}(\text{fase-fase}) = 812 \text{ kV}$$

5.8.5.2 Determinación de las Tensiones soportadas de Coordinación (U_{cw})

5.8.5.2.1 Sobretensiones Temporales

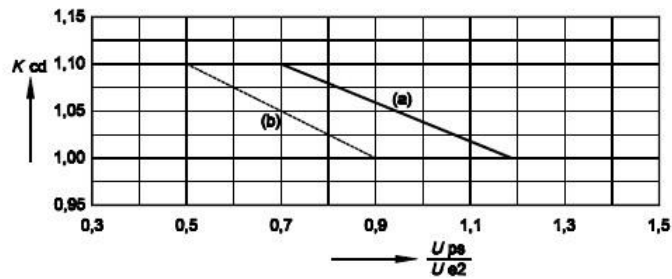
Para esta clase de sobretensiones, la tensión de soportabilidad de coordinación es igual a la sobretensión representativa temporal, por lo tanto el factor de coordinación K_c es igual a 1, por lo tanto:

$$\text{Fase a tierra: } U_{cw} = U_{rp} \cdot K_c = 198 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } U_{cw} = U_{rp} \cdot K_c = 343 \text{ kV}$$

5.8.5.2.2 Sobretensiones de frente lento

La tensión de coordinación de soportabilidad es obtenida multiplicando el valor máximo de la sobretensión representativa por un factor de coordinación determinístico K_{cd} el cual depende de la relación entre el nivel de protección al impulso de maniobra del pararrayos Ups y el valor de la sobretensión fase a tierra U_{e2}, en la figura 6 de la norma IEC 60071-2 se muestra la relación.



- a) Factor de coordinación aplicado al nivel de protección brindado por el pararrayos, para obtener la tensión no disruptiva de coordinación fase a tierra (se aplica también a aislamientos longitudinales).
- b) Factor de coordinación aplicado al doble del nivel de protección brindado por el pararrayos para obtener la tensión no disruptiva de coordinación entre fases.

Figura 6. Evaluación del factor de coordinación determinista K_{cd}

Factor de coordinación determinístico:

Para equipo a la entrada de la línea:

$$\text{Fase a tierra: } \frac{U_{ps}}{U_{e2}} \Rightarrow K_{cd} = 1,10$$

$$\text{Fase a fase: } 2 \frac{U_{ps}}{U_{p2}} \Rightarrow K_{cd} = 1,05$$

Para todos los otros equipos:

$$\text{Fase a tierra: } \frac{U_{ps}}{U_{e2}} \Rightarrow K_{cd} = 1,03$$

$$\text{Fase a fase: } 2 \cdot \frac{U_{ps}}{U_{p2}} \Rightarrow K_{cd} = 1,0$$

Las tensiones de coordinación serán $U_{cw} = K_{cd} \times U_{rp}$

Para equipo a la entrada de la línea:

$$U_{cw} \text{ fase-tierra} = 447 \text{ kV}$$

$$U_{cw} \text{ fase-fase} = 852 \text{ kV}$$

Para todos los otros equipos:

$$U_{cw} \text{ fase-tierra} = 417 \text{ kV}$$

$$U_{cw} \text{ fase-fase} = 639 \text{ kV}$$

5.8.5.2.3 Sobretensiones de frente rápido

La metodología estadística simplificada de la norma IEC 60071-2 permite calcular la tensión mínima de soportabilidad de los equipos mediante la siguiente ecuación:

$$U_{cw} = U_{pl} + \frac{A}{n} \cdot \frac{L}{L_{sp} + L_a}$$

Donde:

- U_{cw} : Tensión soportable de coordinación al impulso atmosférico, kV
- U_{pl} : Nivel de protección al impulso tipo rayo del pararrayos, kV
- A : Factor dado en la Tabla F.2 de la norma IEC 60071-2 que describe el comportamiento de la línea ante las descargas eléctricas atmosféricas, kV
- n : Número de líneas conectadas a la subestación, (n-1)
- L : Separación equivalente entre el pararrayos más cercano y el equipo en consideración, obtenido de:

$$L = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$$

- a_1 : Longitud de la conexión del pararrayos a la línea, m
- a_2 : Longitud de la conexión a tierra del pararrayos, m
- a_3 : Longitud del conductor de fase entre el pararrayos y el equipo a proteger para el aislamiento interno y para el aislamiento externo, m
- a_4 : Longitud de la parte activa del pararrayos m
- L_{sp} : Longitud del vano de las líneas, m
- L_a : Sección de línea aérea calculada a partir de una tasa de salida igual a una tasa de falla aceptable, R_a
- R_a : Tasa de falla aceptable para el equipo, 0,0067 fallas/año (1 falla/150 años)
- R_{km} : Tasa de fallas por año del primer kilómetro de línea desde la subestación, fallas/año/km

$$L_a = \frac{R_a}{R_{km}}$$

Las sobretensiones de frente rápido afectan los aislamientos fase a fase y fase a tierra de igual forma.

Reemplazando valores se tiene:

Aislamiento Externo: $U_{cw} = 769$ kV

Aislamiento Interno: $U_{cw} = 585$ kV

5.8.5.3 Determinación de las Tensiones Soportadas Especificadas (U_{rw})

Las tensiones de soportabilidad requeridas son obtenidas aplicando a las tensiones de soportabilidad para coordinación dos factores de corrección:

K_a : Factor de corrección que tiene en cuenta la altitud de la instalación

K_s : Factor de seguridad

5.8.5.3.1 Factor de Seguridad

El factor de seguridad es aplicable a cualquier tipo de sobretensión fase a fase y fase a tierra (temporal, frente lento, frente rápido).

para aislamiento interno k_s = 1,15

para aislamiento externo k_s = 1,05

5.8.5.3.2 Factor de corrección atmosférico

El factor de corrección atmosférico está definido por la siguiente ecuación:

$$K_a = e^{m \left(\frac{H}{8150} \right)}$$

Donde:

- *H*: Altura sobre el nivel del mar, m
- *m*: 1,0 para la coordinación de las tensiones de soportabilidad al impulso tipo rayo
- *m*: De acuerdo a la figura 9 de la norma IEC 71-2 para la coordinación de las tensiones de soportabilidad al impulso de maniobra.
- *m*: 0,65 voltajes de soportabilidad de corta duración a frecuencia industrial de distancias en el aire y de aisladores

Factor de corrección K_a para:

Tensión soportada a la frecuencia industrial	K _a	1,000
Tensión soportada al impulso tipo maniobra	K _a	1,000 Fase - tierra
	K _a	1,000 Fase - fase
Tensión soportada al impulso tipo rayo	K _a	1,000

5.8.5.3.3 Tensiones de soportabilidad requeridas

Los valores para las tensiones de soportabilidad requeridas son obtenidos aplicando la siguiente ecuación:

$$U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s \cdot K_a$$

Para sobretensiones temporales:

Aislamiento externo:

$$\text{Fase a tierra } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s \cdot K_a = 207,9 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s \cdot K_a = 360,2 \text{ kV}$$

Aislamiento interno:

$$\text{Fase a tierra } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s = 227,7 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s = 394,5 \text{ kV}$$

Para sobretensiones de frente lento:

Equipo a la entrada de la línea

Aislamiento externo

$$\text{Fase a tierra: } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s \cdot K_a = 468,9 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s \cdot K_a = 895,1 \text{ kV}$$

Para otros equipos

Aislamiento externo

$$\text{Fase a tierra: } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s \cdot K_a = 437,5 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s \cdot K_a = 671,1 \text{ kV}$$

Aislamiento interno

$$\text{Fase a tierra: } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s = 479,2 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s = 735,0 \text{ kV}$$

Para sobretensiones de frente rápido:

Aislamiento externo

$$\text{Fase a tierra: } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s \cdot K_a = 807,2 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s \cdot K_a = 807,2 \text{ kV}$$

Aislamiento interno

$$\text{Fase a tierra: } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s = 672,8 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } U_{rw} = U_{cw} \cdot K_s = 672,8 \text{ kV}$$

5.8.5.4 Determinación de las Tensiones Soportadas Normalizadas (U_w)

En el rango 1 (hasta 245 kV) el nivel de aislamiento es normalmente descrito por la tensión soportada a frecuencia industrial y la tensión soportada al impulso tipo rayo. La tabla siguiente muestra los factores de conversión requeridos, obtenidos de la Tabla 2 de la norma IEC 60071-2.

Tabla 30: Factores de conversión para rango I.

Aislamiento	Tensión de soportabilidad de corta duración a frecuencia industrial	Tensión de soportabilidad al impulso tipo rayo
Aislamiento externo (seco)		
Fase a tierra	$0,6 + U_{rw}/8500$	$1,05 + U_{rw}/6000$
Fase a fase	$0,6 + U_{rw}/12700$	$1,05 + U_{rw}/9000$
Aislamiento limpio, húmedo	0,6	1,3
Aislamiento interno		
GIS	0,7	1,25
Aislamiento inmerso en líquido	0,5	1,10
Aislamiento sólido	0,5	1,00

U_{rw} : Es la tensión de soportabilidad requerida para el impulso de maniobra.

5.8.5.4.1 Conversión a tensión de soportabilidad de corta duración a frecuencia Industrial

Equipo a la entrada de la línea:

Aislamiento externo

$$\text{Fase a tierra: } SDW = U_{rw} \cdot (0,6 + U_{rw}/8500) = 307,23 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } SDW = U_{rw} \cdot (0,6 + U_{rw}/12700) = 600,11 \text{ kV}$$

Para otros equipos:

Aislamiento externo

$$\text{Fase a tierra: } SDW = U_{rw} \cdot (0,6 + U_{rw}/8500) = 285,04 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } SDW = U_{rw} \cdot (0,6 + U_{rw}/12700) = 438,12 \text{ kV}$$

Aislamiento interno

$$\text{Fase a tierra: } SDW = U_{rw} \cdot 0,5 = 239,60 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } SDW = U_{rw} \cdot 0,5 = 367,50 \text{ kV}$$

5.8.5.4.2 Conversión a tensión de soportabilidad del impulso tipo rayo (LIW)

Equipo a la entrada de la línea:

Aislamiento externo

$$\text{Fase a tierra: } LIWL = U_{rw} \cdot 1,3^* = 529,03 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } LIWL = U_{rw} \cdot (1,05 + U_{rw} / 9000) = 1028,82 \text{ kV}$$

Para otros equipos:

Aislamiento externo

$$\text{Fase a tierra: } LIWL = U_{rw} \cdot 1,3^* = 568,8 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } LIWL = U_{rw} \cdot (1,05 + U_{rw} / 9000) = 754,68 \text{ kV}$$

Aislamiento interno

$$\text{Fase a tierra: } LIWL = U_{rw} \cdot 1,1 = 527,13 \text{ kV}$$

$$\text{Fase a fase: } LIWL = U_{rw} \cdot 1,1 = 808,50 \text{ kV}$$

* Caso más crítico para aisladores limpios y húmedos

5.8.5.5 Selección de Valores de Tensiones Soportadas Normalizadas

De acuerdo a la Tabla 2 de la norma IEC 60071-1 se seleccionan los valores normalizados de aislamiento correspondientes a un sistema con una tensión máxima U_m , estos niveles de aislamiento cubrirán cualquier aislamiento externo e interno fase-fase y fase-tierra.

La tabla de resumen muestra las tensiones de soportabilidad requeridas $U_{rw}(s)$ y su correspondiente valor a las tensiones de conversión $U_{rw}(c)$.

Tabla 31: Tensiones de soportabilidad requeridas Urw(s). Para 220 kV.

Valores de Urw Valores de tensión para corta duración a frecuencia industrial (valor eficaz kV) Valores de tensión para impulsos tipo rayo y tipo maniobra (valor de cresta kV)		Aislamiento Externo				Aislamiento interno	
		Equipos en entrada de línea		Otros equipos			
		Urw(s)	Urw(c)	Urw(s)	Urw(c)	Urw(s)	Urw(c)
Corta duración a frecuencia industrial	fase-tierra	208	307	208	285	228	240
	fase-fase	360	600	360	438	394	368
Impulso tipo maniobra	fase-tierra	469	-	438	-	479	-
	fase-fase	895	-	671	-	735	-
Impulso tipo rayo	fase-tierra	807	529	807	569	673	527
	fase-fase	807	1029	807	755	673	809

Según la Tabla 02 Niveles de Aislamiento Normalizados para la gama 1, los valores normalizados de 395 kV (para corta duración a frecuencia industrial) y de 950 kV (para el impulso tipo rayo) corresponden a una tensión máxima para equipo (Um) de 245 kV estos valores cubren todos los aislamientos fase-tierra y fase-fase, excepto los valores de aislamiento externo fase-fase en la entrada de la línea, para lo cual es necesario un valor mínimo soportado de 1029 kV, de acuerdo con la tabla A1 (IEC 60071-2) sería necesario una distancia mínima de 2.10 m entre fases para el equipo en la entrada de la línea, lo que corresponde a una tensión soportada a impulso tipo rayo normalizada de 1050 kV.

Por lo tanto según la Tabla 2, se tiene los siguientes valores normalizados:

Tensión más elevada del material	:	245 kV
Tensión soportada normalizada a frecuencia industrial	:	395 kV
Tensión soportada normalizada a impulso tipo rayo	:	950 kV

5.8.6 SELECCIÓN DE VALORES DE TENSIONES SOPORTADAS NORMALIZADAS PARA SISTEMA DE TENSIÓN 60 KV

Del mismo modo el procedimiento realizado para determinar el nivel de aislamiento para los equipos en los niveles de tensión 60 kV según metodología IEC, del cual se presenta la tabla de resumen de las tensiones soportadas especificadas mínimas.

Tabla 32: Tensiones de soportabilidad requeridas Urw(s). Para 60 kV.

Valores de Urw Valores de tensión para corta duración a frecuencia industrial (valor eficaz kV) Valores de tensión para impulsos tipo rayo y tipo maniobra (valor de cresta kV)		Aislamiento Externo				Aislamiento interno	
		Equipos en entrada de línea		Otros equipos			
		Urw(s)	Urw(c)	Urw(s)	Urw(c)	Urw(s)	Urw(c)
Corta duración a frecuencia industrial	fase-tierra	62	136	62	81	67	72
	fase-fase	107	202	107	122	117	109
Impulso tipo maniobra	fase-tierra	218	-	132	-	145	-
	fase-fase	323	-	199	-	218	-

Según la Tabla 02 Niveles de Aislamiento Normalizados para la gama 1, los valores normalizados de 140 kV (para corta duración a frecuencia industrial) a una tensión máxima para equipo (U_m) de 72,5 kV estos valores cubren todos los aislamientos fase-tierra y fase-fase.

Considerando que en el área afectada de la Subestación y línea SET Cantera -San Vicente 60kV no existen descargas de rayos, la tensión a impulsos tipo rayos es nula.

Para características de aislamiento de equipos con respecto a tensión de impulso tipo rayo, se ha considerado la tensión soportada normalizada a impulso tipo rayo normalizada de 325 kV que cubre todas las tensiones soportadas a impulso tipo maniobra.

Por lo tanto según la Tabla 2, se tiene los siguientes valores normalizados:

Tensión más elevada del material	:	72,5 kV
Tensión soportada normalizada a frecuencia industrial	:	140 kV
Tensión soportada normalizada a impulso tipo rayo	:	325 kV

Table 2 - Standard insulation levels for range I		
(1 KV < Um < 245 Kv)		
Highest voltage for equipment	Standard short-duration power-frequency withstand	Estándard lightning impulse withstand voltage
Um		
KV	KV	KV
(r.m.s value)	(r.m.s value)	(r.m.s value)
3.6	10	20
3.6	10	40
7.2	20	40
7.2	20	60
12	28	60
12	28	75
12	28	95
17.5	38	75
24	50	95
24	50	125
24	50	145
36	70	145
36	70	170
52	95	250
72.5	140	325
123	185	450
123	230	550
145	185	450
145	230	550
145	275	650
170	230	550
170	275	650
170	325	750
245	275	650
245	325	750
245	360	850
245	395	950
245	460	1050

5.9 Distancias Mínimas de Seguridad

5.9.1 Objetivo

Se presentarán los cálculos justificando las alturas de los diferentes niveles de conexión y la longitud de campo, garantizando las distancias críticas y de seguridad para ubicar los equipos de tal forma que se faciliten las labores de montaje, operación, y mantenimiento de los equipos de patio con el grado de seguridad requerido.

5.9.2 NORMAS

Las distancias críticas y de seguridad se calcularán a partir del valor básico dado por el nivel de aislamiento, resultante del estudio de coordinación de aislamiento, y siguiendo las recomendaciones de la norma IEC 60071 y del Comité N° 23 del CIGRÉ.

5.9.3 METODOLOGIA

A continuación se presenta la metodología de cálculo de distancias mínimas de seguridad.

En las Tablas 33 y 34 se presentan los valores de las separaciones mínimas en aire entre fase - tierra y fase - fase para $U_m \geq 52$ kV, junto con los valores de varios niveles normalizados de aislamiento según norma IEC 60071-2.

Tabla 33: Distancias Mínimas en el Aire.

BIL Fase - Tierra y Fase a Fase (kV pico)	Distancia Mínima Fase – Tierra y Fase - Fase (m)
250	0,48
325	0,63
450	0,90
550	1,10
650	1,30
750	1,50
850	1,70
950	1,90
1 050	2,10
1175	2,35

Tabla 34: Dimensiones promedio.

Dimensiones promedios por un operador	
Altura:	1,75 m
Brazos estirados Verticalmente:	2,25 m
Brazos estirados horizontalmente:	1,75 m
Mano alzada sobre plano de trabajo:	1,25 m

5.9.4 CÁLCULO DE LAS DISTANCIAS MINIMAS DE SEGURIDAD

Secuencia de Cálculo:

Distancia mínima 245 kV, BIL 950 kV fase a tierra a 230 m.s.n.m.

$D_{F-T} = 1,900$ [m]. Según tabla 34

Distancia mínima de diseño Fase –Fase: D_{F-F} [m]

$D_{F-F} = 1,8 \times D_{F-T}$ [m]

Para 245 kV $D_{F-F} = 1,8 \times 1,90 = 3,420$ [m]

Altura mínima de las partes vivas de los equipos sobre el nivel del suelo: H_e [m]

$H_e = 2,25 + 0,0105 \times U_m$ [m]

Donde:

U_m : Tensión máxima del equipo a 230 m.s.n.m.

$H_e = 2,25 + 0,0105 \times 245$ [m] = 4,82m

Altura mínima de las barras sobre el nivel del suelo, H_B [m]:

$H_B = 5,0 + 0,0125 \times U_m$ [m]

$H_B = 5,0 + 0,0125 \times 245$ [m] = 7,570m

La altura mínima de las llegadas de la línea a la subestación [H_{se}]:

$H_{se} = 5,0 + 0,006 \times U_m$ [m]

$H_{se} = 5,0 + 0,006 \times 245$ [m] = 6,47 m

Tabla 35: Resumen de las Distancias Mínimas de Seguridad.

U_n [kV]	220
U_m [kV]	245
BIL [kVp]	950
D_{F-T} [m]	1,900
D_{F-F} [m]	3,420
H_e [m]	4,82
H_B [m]	7,57
H_{se} [m]	6,47

(1) Según norma EN 60071-2 Tabla A.1

(2) Se considerará una altura mínima de 6,0 [m]

(3) Se considerará una altura mínima de 6,0 [m]

5.9.5 CONCLUSIONES

Las distancias mínimas de seguridad adoptadas para éste proyecto son:

- Distancia fase-tierra: 1,90 m
- Distancia fase-fase: 3,50 m
- Altura mínima de barras: 8,00 m
- Altura mínima de llegada de línea: 10,00 m

5.9.6 SELECCIÓN DE VALORES DE DISTANCIAS MINIMAS DE SEGURIDAD PARA EL SISTEMA DE TENSIÓN 60 kV

Del mismo modo el procedimiento realizado se determinó las distancias de seguridad mínimas para el sistema de tensión 60 kV, del cual se presenta la tabla resumen siguiente.

Tabla 36: Resumen de las Distancias Mínimas de Seguridad.

Un [kV]	60
Um [kV]	72,5
BIL [kVp]	325
D _{F-T} [m]	0,630 ⁽¹⁾
D _{F-F} [m]	1,134
H _e [m]	3,01
H _B [m]	5,76
H _{se} [m]	5,44 ⁽²⁾

(1) Según norma EN 60071-2 Tabla A.1

(2) Se considerará una altura mínima de 6,0 [m]

Las distancias mínimas de seguridad adoptadas para éste proyecto son:

- Distancia fase-tierra: 1,00 m
- Distancia fase-fase: 1,50 m
- Altura mínima de barras: 6,00 m
- Altura mínima de llegada de línea: 8,00 m

5.10 Sistemas de Barras

5.10.1 Pórticos

Los pórticos serán de celosía reticulado.

5.10.2 Conductores para Barras

Los conductores a utilizar en la barra, se seleccionarán teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- De acuerdo con las corrientes asignadas y de cortocircuito se considerará el uso de conductores de aleación de aluminio AAAC.
- La sección del conductor se determinará tomando como referencia la capacidad de corriente en condiciones normales y de contingencia, y de la capacidad de corriente en cortocircuito.

Para la Subestación Cantera, los conductores a utilizar en el sistema de barras, serán similares a las existentes.

5.10.3 Aisladores

Los aisladores serán del tipo polimérico, con características similares a las existentes, es decir:

Carga mecánica específica : 120 kN

Carga de tensión de rutina : 60 kN

Tensión sostenida a frecuencia industrial:

- En seco, un minuto : 395 kV
- Bajo lluvia, un minuto : 235 kV

5.11 EVALUACIÓN DE LA MALLA A TIERRA EXISTENTE

5.11.1 OBJETO

El objeto del cálculo, es evaluar si el sistema de puesta a tierra (PAT), existente en el patio 220 y 60 kV de la Subestación Cantera será suficiente para las ampliaciones proyectadas o requerirá su ampliación.

5.11.2 NORMAS

Para éste cálculo se han seguido los lineamientos de las siguientes normas:

Norma ANSI/IEEE std 80_2000

Código Nacional de Electricidad Suministro 2011

5.11.3 PREMISAS ADOPTADAS

- a - Como sistema de protección, se tiene conocimiento que la malla a tierra profunda existente, está conformada por pletina de cobre desnudo.
- b - Para la evaluación de la malla profunda existente, se adopta una corriente de cortocircuito a tierra de 3,9 kA (dato obtenido a partir de la base de datos del SEIN,

elaborado por el COES, para la barra 220 kV Cantera, la que indica I_{cc} a tierra 3,89 kA para el año 2016 y 4,01 kA para el año 2026).

c - De acuerdo a las mediciones de resistividad, realizadas en la SET Cantera, se adopta un valor de resistividad de suelo de 375,67 ohm-m para la primera capa y 184,52 ohm-m para la segunda capa.

d - Todos los equipos a instalarse, se deberán conectar rígidamente a la malla.

5.11.4 DATOS DE CÁLCULO

Los datos son los siguientes:

Dimensiones de la malla a tierra actual, patio 220 kV

Largo	75 m
Ancho	39 m
Cuadrículas	4 x 4 m (en su mayoría)
Área ocupada por la malla (A)	2925 m ²

Dimensiones de la malla a tierra actual, patio 60 kV

Largo	125 m
Ancho	50 m
Cuadrículas	7 x 7 m (en su mayoría)
Área ocupada por la malla (A)	6250 m ²

Corriente de Cortocircuito (I_{cc}) 3,9 kA

Resistividad aparente del terreno:

Capa 1	375,67 ohmios-metro
Capa 2	184,52 ohmios-metro

Resistividad de la superficie 3500 ohmios-metro

Tiempo máximo de falla (t) 0,5 seg.

Temperatura ambiente (T_a) 21° C

Profundidad de la malla (h) 0,8 m

Resistencia objetivo 1 ohm

5.11.5 SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR DE MALLA

Para nuestro caso la corriente de cortocircuito I_{cc} será igual a la corriente de diseño I_d, por lo que I_d = 3,9 kA; la sección del conductor la obtenemos de la siguiente fórmula simplificada:

$$S = I_{cc} * K_f * \sqrt{t} * f.c.$$

Donde:

S : Sección mínima del conductor en mm²

I_{cc} : Corriente de cortocircuito en kA (corriente de falla monofásica)

Kf : Constante para el cobre (obtenida de la tabla 2, Constante de Materiales, de la norma)

t : Tiempo de despeje de falla en s

f.c. : factor de Conversión de kcmil a mm²

Reemplazando valores se tiene:

$$S = 3,9 * 11,78 * \sqrt{0,5} * 0,5067 = 16,46 \text{ mm}^2$$

Sección mínima = 16,46 mm²

Sin embargo por documentación alcanzada por Luz del Sur, se sabe que el conductor de cobre utilizado en la malla de tierra existente es pletina de 70mm de ancho x 0,6 mm de espesor.

Comprobando la sección de la pletina de cobre por Admisibilidad de Corriente de Cortocircuito:

$$I_{cc} = \frac{K * S}{\sqrt{t}}$$

Donde:

K Constante para el cobre (142)

S Sección del conductor en mm²

t Tiempo de despeje de falla en s

Tomando la sección normalizada: 42 mm²

$$I_{cc} = 8,4 \text{ kA}$$

La corriente de cortocircuito que admite ésta pletina (42mm²), es superior a la corriente de cortocircuito adoptada para el cálculo.

5.11.6 CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y PASO PERMISIBLES

Se calculan las tensiones de toque y paso permisibles que no podrán ser sobrepasadas en ningún caso, según las siguientes fórmulas:

Tensión de Toque permisible:

$$E_t = (1000 + 1,5 C_s \cdot \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t}}$$

Tensión de Paso permisible:

$$E_p = (1000 + 6 C_s \cdot \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t}}$$

Factor de corrección de la capa superficial:

$$C_s = 1 - \frac{0,09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0,09}$$

Donde:

C_s : Factor de corrección de la capa superficial

ρ : Resistividad del suelo (ohm-m)

ρ_s : Resistividad superficial (ohm-m)

t : Tiempo máximo de la falla (s)

h_s : Altura de la capa superficial

Por lo que:

Factor de Correc.de Capa Superficial:

$$C_s = 0,7203$$

Tensión de Toque Permisible:

$$E_t = 1061,7 \text{ Voltios}$$

Tensión de Paso Permisible:

$$E_p = 3580,7 \text{ Voltios}$$

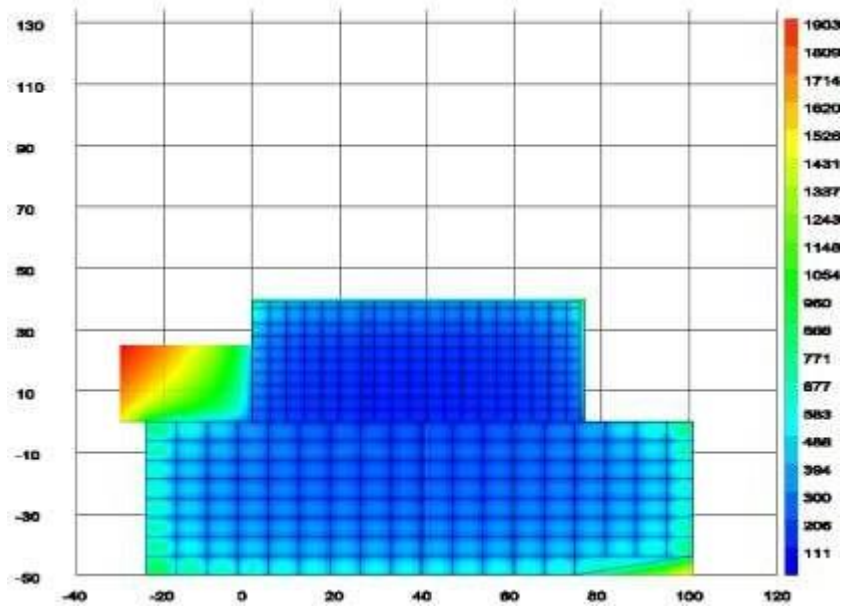
5.11.7 VERIFICACIÓN DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y PASO EN LA MALLA EXISTENTE

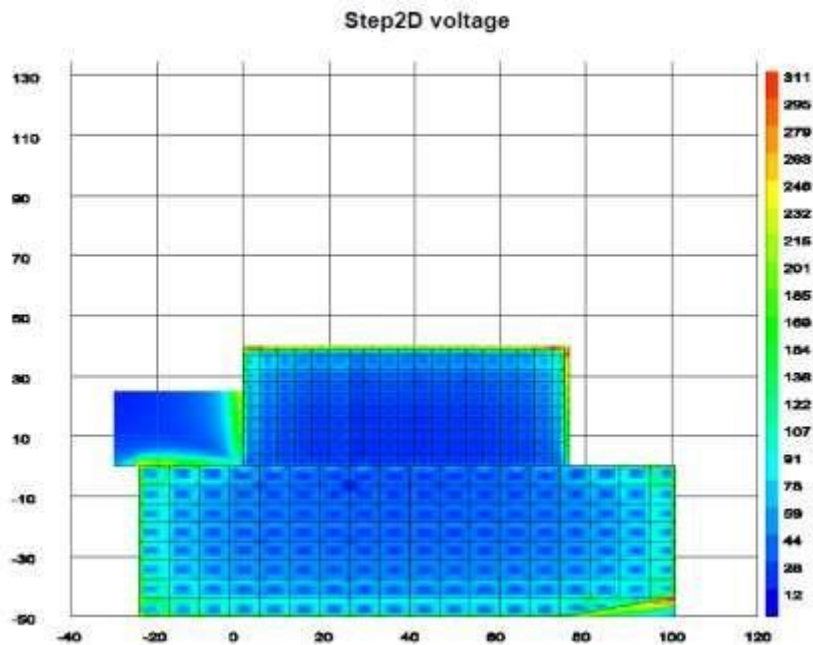
Para verificar las tensiones de toque y paso en la malla existente, así como en el área a ampliar, se ha utilizado el programa Aspix, cuyos resultados son:

Results

Grounding grid resistance (Ohm)	0.932
Ground Potential Rise GPR (V)	3636.020
Tollerable Touch Voltage - 70 kg person (V)	1054.771
Tollerable Touch Voltage - 50 kg person (V)	786.710
Touch Voltage (V)	1997.113
Tollerable Step Voltage - 70 kg person (V)	3592.989
Tollerable Step Voltage - 50 kg person (V)	2654.693
Step Voltage (V))	326.285

Touch2D voltage





Los resultados muestran que para el área donde se desarrollará la ampliación del patio 220 kV y que no cuenta con malla a tierra profunda, la tensión de toque supera los valores permitidos, mientras que la tensión de paso estaría por debajo de los valores permitidos.

5.11.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el área donde se desarrollará la ampliación del patio 220 kV y que no cuenta con malla a tierra profunda, el valor obtenido para la tensión de paso es satisfactorio; sin embargo el valor obtenido de tensión de toque supera el valor permisible, por lo que se recomienda ampliar la malla a tierra implementando cuadrículas de conductor de cobre.

El valor de resistencia obtenida mediante cálculo del programa es 0,93 ohm; Sin embargo las mediciones realizadas por Luz del Sur en los últimos 03 años (2013, 2014 y 2015) arrojan valores de resistencia cercanos a 1,5 ohmios; por lo que se recomienda realizar nuevas mediciones tomando en cuenta que la distancia C1C2 sea mínimo tres veces la distancia D.

De obtenerse valores superiores a 1 ohmio, en las nuevas mediciones, se recomienda el mantenimiento de la malla a tierra existente.

5.12 DISEÑO PARA LA AMPLIACIÓN DE MALLA A TIERRA

5.12.1 OBJETO

El objeto del presente cálculo, es el diseño de la ampliación del sistema de puesta a tierra (PAT), existente en el patio de 220 kV de la Subestación Cantera, de tal forma que cumpla con los valores permisibles.

5.12.2 NORMAS

Para éste cálculo se han seguido los lineamientos de las siguientes normas:

Norma ANSI/IEEE std 80_2000

Código Nacional de Electricidad Suministro 2011

5.12.3 PREMISAS ADOPTADAS

- a - Como sistema de protección se adoptará una malla de conductores de cobre desnudo.
- b - Para el cálculo de la malla profunda, se adopta una corriente de cortocircuito a tierra de 7 kA, para un horizonte de 20 años (dato obtenido a partir de la base de datos del SEIN, elaborado por el COES, para la barra 220 kV Cantera, la que indica Icc a tierra 3,89 kA para el año 2016 y 4,01 kA para el año 2026).
- c - De acuerdo a las mediciones de resistividad, realizadas en la SET San Vicente, se adopta un valor de resistividad de suelo de 375,67 ohm-m para la primera capa y 184,52 ohm-m para la segunda capa.
- d - Todos los equipos a instalarse, se deberán conectar rígidamente a la malla.

5.12.4 DATOS DE CÁLCULO

Los datos son los siguientes:

Dimensiones de la malla a tierra a ampliar, patio 220 kV

Largo	30 m
Ancho	24 m
Cuadrículas	4 x 4 m (en su mayoría)
Área ocupada por la malla (A)	720 m ²
Corriente de Cortocircuito (Icc)	7 kA
Resistividad aparente del terreno:	
Capa 1	375,67 ohmios-metro
Capa 2	184,52 ohmios-metro
Resistividad de la superficie	3500 ohmios-metro
Tiempo máximo de falla (t)	0,5 seg.
Temperatura ambiente (Ta)	21° C
Profundidad de la malla (h)	0,8 m
Resistencia Objetivo (R)	1 ohm

5.12.5 SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR DE MALLA

Para nuestro caso la corriente de cortocircuito I_{cc} será igual a la corriente de diseño I_d , por lo que $I_d = 7 \text{ kA}$; la sección del conductor la obtenemos de la siguiente fórmula simplificada:

$$S = I_{cc} * K_f * \sqrt{t} * f.c.$$

Donde:

S : Sección mínima del conductor en mm^2

I_{cc} : Corriente de cortocircuito en kA (corriente de falla monofásica)

K_f : Constante para el cobre (obtenida de la tabla 2, Constante de Materiales, de la norma)

t : Tiempo de despeje de falla en s

$f.c.$: factor de Conversión de kcmil a mm^2

Reemplazando valores se tiene:

$$S = 7 * 11,78 * \sqrt{0,5} * 0,5067 = 29,54 \text{ mm}^2$$

Sección mínima = $29,54 \text{ mm}^2$

Sin embargo por normalización de Luz del Sur, se utilizará conductor de cobre de 185 mm^2 .

Comprobando la sección del conductor de cobre por Admisibilidad de Corriente de Cortocircuito:

$$I_{cc} = \frac{K * S}{\sqrt{t}}$$

Donde:

K Constante para el cobre (142)

S Sección del conductor en mm^2

t Tiempo de despeje de falla en s

Tomando la sección normalizada: 185 mm^2

$$I_{cc} = 37,15 \text{ kA}$$

La corriente de cortocircuito que admite éste conductor (185 mm^2), es superior a la corriente de cortocircuito adoptada para el cálculo.

5.12.6 CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y PASO PERMISIBLES

Se calculan las tensiones de toque y paso permisibles que no podrán ser sobrepasadas en ningún caso, según las siguientes fórmulas:

Tensión de Toque permisible:

$$E_t = (1000 + 1,5 C_s \cdot \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t}}$$

Tensión de Paso permisible:

$$E_p = (1000 + 6 C_s \cdot \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t}}$$

Factor de corrección de la capa superficial:

$$C_s = 1 - \frac{0,09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0,09}$$

Donde:

C_s : Factor de corrección de la capa superficial

ρ_s : Resistividad superficial (ohm-m)

t : Tiempo máximo de la falla (s)

h_s : Altura de la capa superficial

Por lo que:

Factor de Correc.de Capa Superficial:

$$C_s = 0,7203$$

Tensión de Toque Permisible:

$$E_t = 1061,7 \text{ Voltios}$$

Tensión de Paso Permisible:

$$E_p = 3580,7 \text{ Voltios}$$

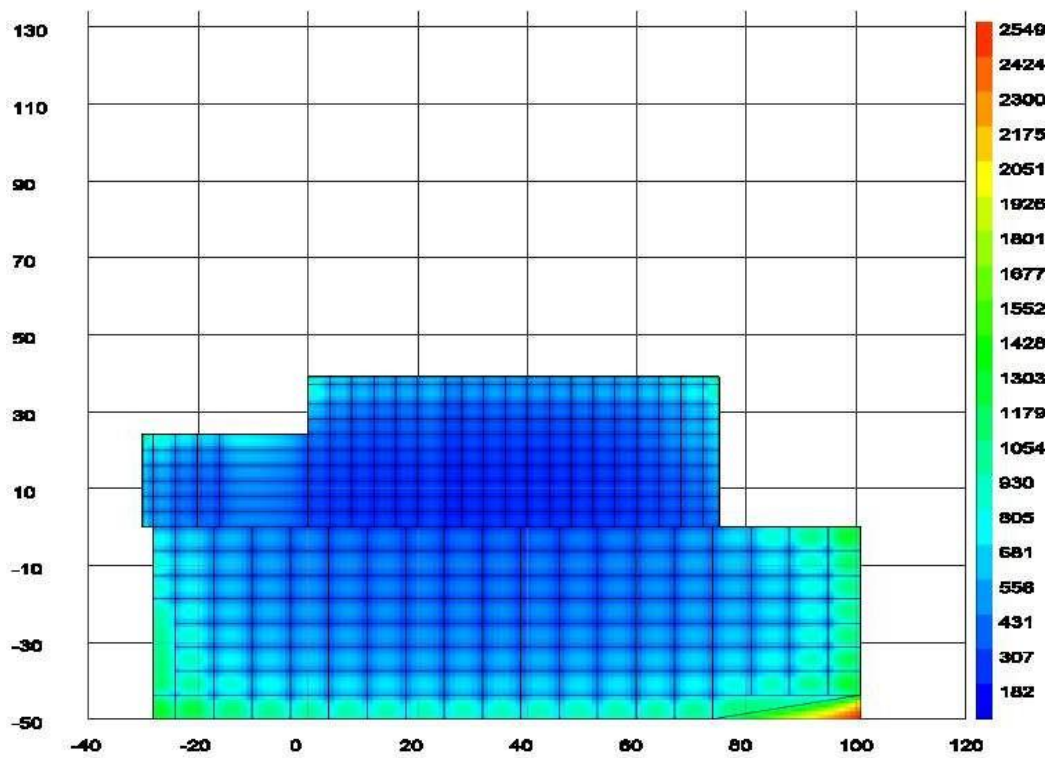
5.12.7 CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE TOQUE Y PASO EN LA MALLA AMPLIADA

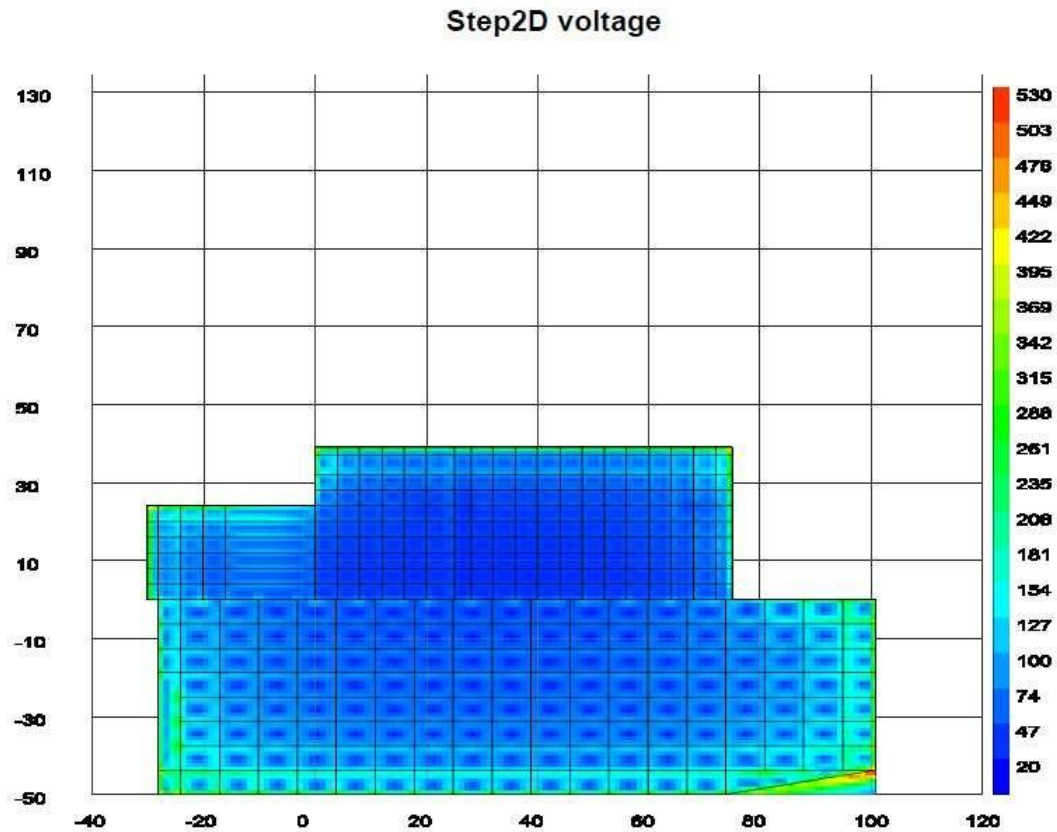
Para el cálculo de las tensiones de toque y paso de la malla a ampliar se ha utilizado el programa Aspix, cuyos resultados son:

Results

Grounding grid resistance (Ohm)	0.885
Ground Potential Rise GPR (V)	6193.483
Tollerable Touch Voltage - 70 kg person (V)	1064.771
Tollerable Touch Voltage - 50 kg person (V)	786.710
Touch Voltage (V)	2673.307
Tollerable Step Voltage - 70 kg person (V)	3592.989
Tollerable Step Voltage - 50 kg person (V)	2654.693
Step Voltage (V))	556.462

Touch2D voltage





Los resultados muestran que, con la configuración adoptada para el área donde se desarrollará la ampliación del patio 220 kV, las tensiones de toque y paso estarán por debajo de los valores permitidos.

5.12.8 CONCLUSIONES

Los valores obtenidos en el área de la malla a ampliar, con la configuración adoptada, son satisfactorios.

En resumen, se obtuvieron los siguientes valores de tensión de toque y paso:

Tensión de toque $E_t = 1050$ voltios

Tensión de paso $E_p = 510$ voltios

Al ampliar la malla con conductor de cobre de 185 mm² se espera obtener una resistencia aproximada a 0,88 ohm-m.

5.13 Sistema de puesta a tierra superficial

5.13.1 OBJETIVO

El presente calculo tiene como objeto determinar las características de las pletinas de puesta a tierra superficial necesaria a instalarse debido a la Ampliación de la SET Cantera 220/60 kV, a fin de cumplir con los estándares necesarios para este tipo de instalación, que principalmente establece los valores mínimos de tensiones tolerables y que fueran aplicables al personal en el interior y periferia de la malla de la subestación.

Con la implementación de las pletinas de la red de puesta superficial se busca lograr una adecuada dispersión de las corrientes de cortocircuito y garantizar la seguridad del personal y los equipos expuestos a tensiones peligrosas durante fallas a tierra, cumpliendo con los criterios establecidos en la norma ANSI/IEEE Std. 80 "IEEE Guide for Safety in A.C. Substation Grounding" (ANSI/IEEE Std. 80-2000), Código Nacional de Electricidad de Suministro.

5.13.2 ALCANCE

Determinación de la sección de las pletinas de la red de tierra superficial de en la SET Cantera 220/60 kV.

5.13.3 METODOLOGIA

Se aplica la metodología según la base conceptual de la norma IEEE Std. 80 - 2000 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding" y las recomendaciones para el cálculo de las mallas de puesta a tierra en plantas y subestaciones eléctricas de la norma IEEE Std. 142 – 2007 "IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems".

5.13.4 CRITERIOS

La selección del diseño de la red de tierra superficial debido a la ampliación de la SET Cantera 220/60kV se verificará los potenciales que se originan en la superficie cuando ocurre una falla en el sistema, estos potenciales deben ser inferiores a los máximos potenciales permitidos; también debe ser seleccionado el conductor de forma que pueda soportar esfuerzos mecánicos y térmicos. Se tomaron las siguientes consideraciones:

- Para el cálculo de la pletina de la red de tierra superficial, se adopta una corriente de cortocircuito a tierra de 3,9 kA (dato obtenido a partir de la base de datos del SEIN, elaborado por el COES, para la barra 220 kV Cantera, la que indica Icc a tierra 3,89 kA para el año 2016 y 4,01 kA para el año 2026).

- Tiempo de despeje de falla de 0,5 s. Esto está basado en la consideración de que los sistemas de protección para las líneas de transmisión, transformadores de potencia y sistema de barras, serán del tipo diferencial; por lo que, el tiempo de despeje de fallas es instantáneo.

5.13.5 SELECCIÓN DE PLETINA

De acuerdo a la norma IEEE Std. 80 – 2000 (página 41 y 43), la capacidad de corriente o la ampacidad del conductor de cobre es calculado de acuerdo a la variación de la fórmula de Sverak (ecuación 40).

Para la selección de la pletina, se considera una máxima corriente de cortocircuito de 3.9 kA; dato obtenido a partir de la base de datos del SEIN. Asimismo, se tiene en cuenta un tiempo máximo de actuación de las protecciones de 0,5 s.

Basándonos en esto se tiene:

$$I = A_{mm^2} \sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}$$

En donde:

I	kA	3.9	Corriente de cortocircuito			
Tm	°C	250	Máxima temperatura permisible.			
Ta	°C	20	Temperatura ambiente.			
α_r	sin	0.00381	Coeficiente térmico de resistividad referenciado a T			
ρ_r	$\mu\Omega\text{cm}$	1.78	Resistividad en referencia al conductor de tierra.			
Ko	Sin	242	$1/\alpha_0$ o $(1/\alpha_r) \cdot T_r$			
tc	s	0.5	Duración de la corriente			
TCAP	J/cm ³ /°C	3.42	Según Tabla adjunta			
A	mm²	15.47				

Sustituyendo los valores en la fórmula, se obtiene una sección mínima del conductor de 158.67mm². Sin embargo, por consideraciones mecánicas y de normalización se utilizará un conductor rígido de pletina de cobre de 40x5 mm.

Utilizando el valor estándar de la pletina de cobre de 40x5 mm, y sustituyendo en la fórmula de Sverak se determina la máxima corriente de cortocircuito que soporta:

A	mm ²	200	Corriente de cortocircuito			
Tm	°C	250	Máxima temperatura permisible.			
Ta	°C	20	Temperatura ambiente.			
α_r	sin	0.00381	Coeficiente térmico de resistividad referenciado a T			
ρ_r	$\mu\Omega\text{cm}$	1.78	Resistividad en referencia al conductor de tierra.			
Ko	Sin	242	$1/\alpha_0$ o $(1/\alpha_r) \cdot T_r$			
tc	s	0.5	Duración de la corriente			
TCAP	J/cm ³ /°C	3.42	Según Tabla adjunta			
I	kA	50.42				

5.13.6 CONCLUSIONES

- La corriente de cortocircuito considerada para el cálculo de la subestación es de 3.9 kA.
- Para el cálculo de las tensiones de toque y paso; y para la selección del conductor de la malla se adoptó un tiempo de despeje de la falla de 500 ms.

- La pletina de bajada de la red de tierra superficial de los equipos será de 40x5 mm.

5.14 Cargabilidad de Transformadores de Corriente

Los calibres de los cables a utilizar en los circuitos secundarios de corriente se seleccionarán de tal forma que tengan la capacidad de corriente adecuada en estado estable y en cortocircuito, y que permitan mantener la cargabilidad y la regulación dentro de los límites permitidos.

Para los circuitos secundarios de los transformadores de corriente utilizados para medida comercial, se verificará que la cargabilidad de los núcleos se encuentre en un rango entre 25% y 100% de la carga nominal, teniendo en cuenta el burden de los diferentes equipos que se conectan a sus circuitos secundarios.

5.15 Sistema de Automatización

Como consecuencia de la ampliación de la subestación Cantera, se necesitará de una modificación de la arquitectura actual del sistema de automatización de la subestación para integrar y monitorear las nuevas instalaciones y llevar estas señales al centro de control de Luz del Sur.

El nuevo sistema será construido para atender los siguientes servicios, teniendo en cuenta la infraestructura de los equipos existentes y su modo de operación. Estos servicios serán construidos utilizando los equipos con la funcionalidad en la forma que se describe a continuación.

5.15.1 Sistema de Control

El sistema de control y monitoreo compuesto por centro de control e instalaciones remotas se considera como un sistema totalmente automatizado, con equipos que permiten su control a través de RTU's, tableros mímicos de supervisión y mando.

El sistema de control en general funcionará de acuerdo a la arquitectura de control por niveles:

NIVEL 0	Nivel de control local o a pie de equipo. En este nivel los equipos tienen selectores que le permiten operar en un modo local-mantenimiento o remoto. Se consideran enclavamientos eléctricos para la no operación en trabajos de mantenimiento.
NIVEL 1	Nivel de IED para control de bahía, las señales de campo son introducidas al IED. Este módulo cuenta con un conmutador de local-remoto. En la posición remoto cede el control al nivel inmediatamente superior. En este nivel también se encuentran los tableros mímicos.

NIVEL 2	Nivel de Control de la Subestación se desarrolla a través de un controlador general de subestación más una interfaz hombre-máquina (IHM). En este caso el nivel 2 lo cubre la RTU.
NIVEL 3	Nivel de control del sistema. Las ordenas de mando se ejecutan desde instalaciones fuera de la subestación. A este nivel se encuentra el centro de control de Luz del Sur.

Los equipos formarán una red de comunicaciones en la subestación y se integrarán al switch existente de la sala de mando de la Sala de Control de la subestación, esta integración será bajo los requerimientos del protocolo IEC 61850.

Esta nueva arquitectura será de topología abierta de acuerdo a los estándares de IEC 61850. En el Centro de Control se ha previsto equipos para control local compuesto por una RTU con consola gráfica y software de monitoreo y control. Se han definido cuatro (4) niveles jerárquicos para la completa supervisión y operación de la subestación. Los dispositivos componentes del sistema se enlazan por una red LAN en configuración en estrella, con un switch, para crear redes de datos.

Los tableros mímicos serán retirados y ser reemplazados por el conjunto RTU e Interfaz gráfica.

El centro de control debe integrarse al centro de control existente en Lima de Luz del Sur.

5.15.2 Comunicaciones

Para enlazar las estaciones de campo ubicados en cubículos con la sala de mando se va a usar fibra óptica multimodo.

5.16 Criterios de Diseños Civiles

El diseño de la subestación y equipos cumplirán con los siguientes requerimientos.

5.16.1 Normas y Reglamentos de Referencia

Todos los cálculos de diseño, procedimientos y especificaciones de materiales y equipos serán en base a las siguientes Normas (teniendo como prioridad las Normas y Reglamentos Nacionales):

- R.N.E. Reglamento Nacional de Edificaciones
 - Norma de cargas E.020
 - Norma de Diseño Sismo resistente E.030
 - Norma de Concreto Armado E.060

- Norma de albañilería E.070
- C.N.E. Código Nacional de Electricidad
- A.C.I. American Concrete Institute
- ASTM American Society for Testing and Materials

En todos los casos, se usarán las normas correspondientes en su última versión vigente y teniendo siempre presente que las exigencias de las Normas se consideran mínimas, por lo que serán complementadas si fuera necesario.

5.16.2 Estructuras

5.16.2.1 Cargas

Las cargas serán las estipuladas en la Norma de Edificación E.020 Cargas.

Las cargas muertas corresponderán al peso propio de cada estructura. Las cargas vivas serán las cargas eventuales que pudiera haber durante la construcción de la estructura.

En el caso se presenten cruces de vías se considerará las cargas de los vehículos tomando en cuenta la carga de un camión de diseño de acuerdo al manual de diseño de puentes.

5.16.2.2 Factores de Seguridad

Para los diseño se utilizarán los requisitos de resistencia y servicio establecidos por la Norma E.060 (capítulo 9) donde nos brinda los factores de amplificación para carga muerta, carga viva entre otra cargas que se puedan presentar.

Para carga muerta el factor de amplificación será de 1.4 y para carga viva será de 1.7.

5.16.2.3 Cimentaciones de Bases

Para el diseño de la base de las bases de los equipos se empleará el método de Burklin. Dependiendo del diseño la base será un solo bloque o un esquema tipo pedestal- zapata.

El método Burklin considera el aporte del terreno. El momento de la fuerzas exteriores referidos al plano AB', las carga vertical P que comprenden todas las acciones verticales que llegan a la base, el peso del cimiento, el peso de la zona de relleno sobre la zapata, considerando la zona activa limitada por el plano inclinado de ángulo β con la vertical, así como la resultante H de todas

las acciones horizontales se reciben en la base. Todas estas acciones determinan un momento M_e , que se equilibrarán por el momento M' que resultan de los empujes pasivos E_{p1} y E_{p2} , afectando este ultimo de un grado de seguridad adoptado. (Figura 1)

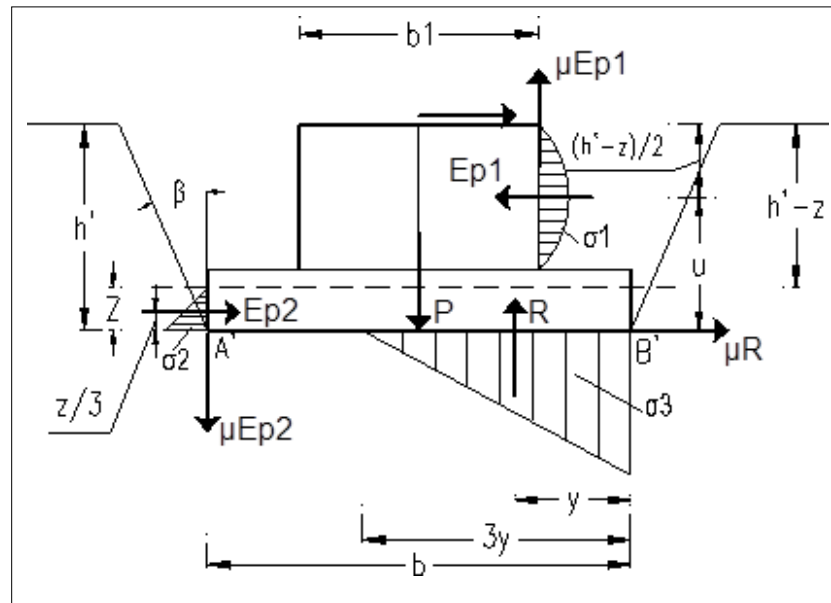


Figura 1

5.16.2.4 Caseta de Control

Se diseñara las cimentaciones (zapatas) considerando la capacidad admisible del suelo. De igual manera se diseñara la caseta considerando la norma de albañilería y la norma de concreto armado. Se establecerán las vigas, losas y demás elementos utilizando el diseño por resistencia utilizando los factores de carga (seguridad) y los factores de reducción por resistencia establecidos. Se aplicarán par este caso principalmente la Norma de Concreto Armado (E.060) y la Norma de albañilería (E.070).

5.16.2.5 Elementos Varios de Concreto

En el caso de las subestaciones habrán distintos elementos como: Canaletas, buzones, ductos, etc.

En estos elementos también se utilizará el diseño por resistencia con y en el caso que el diseño resulte no necesario el uso de refuerzo se colocará de todas formas una cuantía de acero de mínima.

5.16.2.6 Consideraciones del Refuerzo

El acero de refuerzo será corrugado con $f_y = 4\ 200\ \text{kg/cm}^2$. La cuantía a utilizar será la que se obtenga de los esfuerzos de flexión y tracción producto de las cargas a las que están que estará sometido la estructura. En el caso solo se requiera de acero mínimo será tomará en cuenta la Norma E.060.

En el caso de que el esquema de cimentación del poste considera pedestal, se considerará en este elemento una cuantía de 0.5% que es lo propuesto en la norma de concreto.

Asimismo se respetarán los ganchos estándar y diámetros mínimos de doblado así como el recubrimiento mínimo establecido por Norma E.060 (Capítulo 7).

VI. VARIABLES E HIPOTESIS

6.1 HIPOTESIS

6.1.1 General

1. Mediante la Ingeniería Básica y de Detalle se podrá Presentar las mejoras de Implementar un modelo de Gestión para la SET Cantera 220/60 kV.

6.1.2 Especificas

1. Mediante el modelo de gestión en la SET Cantera 220/60 kV se podrá determinar las condiciones geológico-geotécnicas del terreno dentro de la zona de interés.
2. Mediante el modelo de gestión en la SET Cantera 220/60 kV se podrá determinar la capacidad de soporte para fines de cimentación de las estructuras.
3. Mediante el modelo de gestión en la SET Cantera 220/60 kV se podrá determinar los valores de resistividad en la zona de interés.

6.2 VARIABLES

6.2.1 Variable Independiente

X: Ingeniería Básica y de Detalle

Indicadores:

- X1: Condiciones geológicas-geotécnicas
- X2: Capacidad soporte
- X3: Valor Resistividad

6.2.2 Variable Dependiente

Y: Modelo de Gestión

Indicadores:

- Y1: Modelo Gestión geológicas-geotécnicas
- Y2: Soporte de la SET
- Y3: Resistividad del suelo (Zona SET)

VII. METODOLOGIA

7.1 Relación entre las Variables

Relacionando las variables relevantes que intervienen en el presente problema objeto de estudio, que conllevaran a la explicación, demostración y probación de la formulada Hipótesis, se han identificado que las variables tienen una relación correlacional-Descriptiva.

7.2 Tipo de Investigación

a) Según Objeto de Estudio:

- ✓ **Investigación Aplicada:** Se plantea las mejoras a implementar en un modelo de gestión utilizando la Ingeniería Básica y de Detalle para la ampliación de la SET Cantera 220/60 kV.
- ✓ **Investigación de Campo:** Se realizara un levantamiento de información en las instalaciones de la SET Cantera 220/60 kV, tomándose en cuenta las condiciones geotécnicas, capacidad de soporte y valores de resistividad eléctrica del terreno donde se ubicara (ampliara) la SET Cantera.

b) Según las Variables:

- ✓ **Correlacional:** Se plantea la relación del tipo de sistema a emplear el cual deberá ser el más óptimo técnica y económicamente para la satisfacción del cliente.

7.3 Diseño de la Investigación

- ✓ En la primera etapa para dar solución al objeto de investigación, es proponer un modelo de gestión con el apoyo de un equipo de profesionales multidisciplinarios, con amplios conocimientos en Ingeniería Básica y de Detalle.
- ✓ En la segunda etapa aplicaremos el modelo de gestión en la SET Cantera 220/60 kV, para observar las mejoras que se puedan dar en los estudios geotécnicos, capacidad de soporte y valores de resistividad eléctrica del terreno.

- ✓ En la tercera etapa mostraremos las mejoras, recomendaciones y conclusiones de implementar un modelo de gestión basado en la Ingeniería Básica y Detalle, aplicado a la SET Cantera 220/60 kV.

7.4 Etapas de la Investigación

Para poder alcanzar los objetivos planteados, demostrar, probar y plantear la solución al problema presentado, es prioritario desarrollar las siguientes actividades:

- Concepción ontológica y formulación de las necesidades para implementar el modelo de gestión.
- Acopio de información científica y tecnológica referentes a la ubicación del proyecto, subestaciones y líneas de transmisión.
- Implementación del modelo de gestión con el apoyo multidisciplinario afines al objeto del problema de estudio.

7.5 Cronograma de Actividades

Nº	MES	SET 17				OCT 17				NOVI 17				DIC 17			
	SEMANA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Presentación plan de tesis	■															
2	Investigación Bibliográfica	■	■	■	■	■	■										
3	Recolección de información teórica	■	■	■	■	■	■										
4	Análisis de la Información	■	■	■	■	■	■										
5	Síntesis de información							■	■	■	■						
6	Elaboración informe final							■	■	■	■						
7	Presentación Tesis											■	■	■			
8	Sustentación tesis														■	■	■

VIII. RESULTADOS

Los Trabajos de Campo para la ampliación de la SET Cantera (excavación de calicatas con ejecución de Ensayos In Situ y Ensayos de Laboratorio), permitieron consignar las características geológicas particulares de la zona de interés y los resultados de las investigaciones geotécnicas desarrolladas, permitieron conocer las características de los materiales encontrados: propiedades físicas y mecánicas.

Las investigaciones geológico-geotécnica, que involucro trabajos de campo (identificación del tipo de material, excavación de calicata, toma de muestras de roca y ensayos de laboratorio), permitieron definir la estratigrafía y propiedades de resistencia del suelo, en el lugar donde se llevará a cabo la ampliación de la SET Cantera.

Para evaluar el sistema de puesta a tierra (SPAT), en el área en donde se ampliara la SET Cantera, se realizó mediciones de la resistividad eléctrica del terreno, los valores obtenidos en la medición se analizaron con los programas Aspix y Resist, para determinar el valor de la resistividad aparente del terreno.

IX. CONCLUSIONES

Los trabajos de campo se realizaron con el fin de determinar las condiciones geológico-geotécnicas del terreno dentro del área de la SET Cantera, para calcular la capacidad de soporte para fines de cimentación de las estructuras que soportarán a los equipos que se utilizarán en la ampliación de la subestación.

Para evaluar la configuración y tipo de sistema de puesta a tierra (SPAT) existente y proyectado en los patios de 220 kV y 60 kV de la SET Cantera, se realizó la medición de la resistividad eléctrica del terreno en el área dentro de la SET Cantera.

Con los valores de la resistividad eléctrica del terreno obtenido en la medición de campo, se analizaron los valores con los programas Aspix y Resist, para determinar el valor de la resistividad aparente del terreno.

La resistividad aparente del terreno calculada sirve como dato de entrada para el diseño de la malla a tierra de la subestación, es importante un correcto diseño ya que la malla a tierra protege a los equipos de las corrientes de falla a tierra y a las personas de las tensiones de toque y paso.

X. RECOMENDACIONES

Para determinar la capacidad de soporte para fines de cimentación de las estructuras que soportaran a los equipos que se utilizarán en la ampliación de la subestación, es necesario la ejecución de Trabajos de Campo (excavación de calicatas con ejecución de Ensayos In Situ y Ensayos de Laboratorio).

Para evaluar la configuración y tipo de sistema de puesta a tierra (SPAT) existente y proyectado en los patios de 220 kV y 60 kV de la SET Cantera. Se realiza mediciones de la resistividad eléctrica del terreno, los valores obtenidos se analizaron con los programas Aspix y Resist, para determinar el valor de la resistividad aparente del terreno. Este valor sirve para calcular la malla a tierra de la subestación.

Es importante un correcto valor de la resistividad aparente del terreno, porque sirve como dato de entrada para el diseño de la malla a tierra de la subestación, la malla a tierra protege a los equipos de las corrientes de falla a tierra y a las personas de las tensiones de toque y paso.

XI. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Agenda de Energía: un desafío país, progreso para todos. Ministerio de Energía, 2014.

Agencia Internacional de Energía, Manual de Estadísticas Energéticas. Eurostat, 2007.

Cereceda Pilar, Errázuriz, Ana María y Rivera Juan de Dios. Energía, Origo Ediciones, Santiago, 2013.

Christian Santana. Energías Renovables en Chile: El potencial eólico, solar e hidroeléctrico de Arica a Chiloé, Santiago 2014.

Corps, Clark, Pitman Ltd., Briggs et al. Fundamentals of Physical Geography, Canadá, 1993.

Min. Energía – GIZ. Proyecto Estrategia de Expansión de las Energías Renovables en los Sistemas Eléctricos Interconectados.

Errázuriz, Ana María. Manual de Geografía de Chile, Editorial Andrés Bello, Chile, 2002.

Niemeyer, Hans y Cereceda, Pilar. Hidrografía, Instituto Geográfico Militar, Santiago, 1984.

Maza, José. Astronomía Contemporánea, Ediciones B, Santiago, 2009.

Paul G. Hewitt. Física conceptual. Pearson Educación, 2002.

Strahler, Arthur. Geografía Física, Ediciones Omega, Barcelona, 1988.

Tarbutck, Edward y Lutgens, Frederick. Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física, Prentice Hall, Madrid, 1999.

León, Ricardo. Guía de desarrollo de pequeños y medianos proyectos de Energía, 2013

Mejía Villegas. Subestaciones de Alta y Extra Alta tensión, Segunda Edición, 1991.

XII. ANEXO

1. Matriz de consistencia del Proyecto de Tesis

"INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE COMO FACTOR DE GESTION EN LAS SUBESTACIONES DE TRANSMISION (SET), CASO: SET CANTERA 220/60 kV"				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>Problema General ¿Cuál es la Mejora al implementar un modelo de Gestión utilizando la Ingeniería Básica y de Detalle para la SET Cantera 220/60 kV de la provincia de CAÑETE?</p> <p>Problemas Específicos ¿Cuál es la condición geológico-geotécnicas del terreno para implementar el modelo de Gestión de la SET Cantera 220/60 kV?</p> <p>¿En qué medida la capacidad de soporte para fines de cimentación de las estructuras en la zona Influye en el modelo de Gestión de la SET Cantera 220/60 kV?</p> <p>¿En qué medida los valores de resistividad en la zona influyen en el modelo de Gestión de la SET Cantera 220/60 kV?</p>	<p>Objetivo General Presentar las mejoras de Implementar un modelo de Gestión utilizando la Ingeniería Básica y de Detalle para la SET Cantera 220/60 kV.</p> <p>Objetivos Específicos Determinar las condiciones geológico-geotécnicas del terreno dentro del área de la SET Cantera 220/60 kV.</p> <p>Determinar la capacidad de soporte para fines de cimentación de las estructuras dentro de la SET Cantera 220/60 kV.</p> <p>Determinar los valores de resistividad en la zona de la SET Cantera 220/60 kV.</p>	<p>General Mediante la Ingeniería Básica y de Detalle se podrá Presentar las mejoras de Implementar un modelo de Gestión para la SET Cantera 220/60 kV.</p> <p>Específicas Mediante el modelo de gestión en la SET Cantera 220/60 kV se podrá determinar las condiciones geológico-geotécnicas del terreno dentro de la zona de interés. Mediante el modelo de gestión en la SET Cantera 220/60 kV se podrá determinar la capacidad de soporte para fines de cimentación de las estructuras. Mediante el modelo de gestión en la SET Cantera 220/60 kV se podrá determinar los valores de resistividad en la zona de interés.</p>	<p>Variable Independiente X: Ingeniería Básica y de Detalle Indicadores: X1: Condiciones geológicas-geotécnicas X2: Capacidad soporte X3: Valor Resistividad</p> <p>Variable Dependiente Y: Modelo de Gestión Indicadores: Y1: Modelo Gestión geológicas-geotécnicas Y2: Soporte de la SET Y3: Resistividad del suelo (Zona SET)</p>	<p>Tipo de investigación Según objeto de estudio: Aplicada y de campo</p> <p>Según Variables: Correlacional</p> <p>Según análisis Cuantitativo</p> <p>Población y Muestreo Zona de ubicación de la Subestación SET Cantera 220/60 kV</p>