

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



"DISEÑO DE LA SUBESTACION MONTALVO  
138/10 KV PARA GARANTIZAR EL SUMINISTRO  
DE ENERGIA ELECTRICA A LA CIUDAD DE  
MOQUEGUA"

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

HONORATO MANRIQUE MANRIQUE

PROMOCION : 1982-2

LIMA - PERU

1,991

## TABLA DE CONTENIDO

Prologo	1	
CAPITULO 1		
INTRODUCCION		
1.1	Objetivo del Proyecto.	3
1.2	Alcances del Proyecto.	3
1.3	Ubicación.	4
1.4	Geografía.	5
1.5	Características Climáticas.	5
1.6	Vías de Comunicación.	6
1.7	Principales Actividades Económicas.	6
1.8	Sistemas Eléctricos Existentes.	8
1.8.1	Sistema Interconectado Electro Sur S.A - Southern Perú Cooper Corporation - Electro Sur Oeste S.A.	8
1.8.2	Línea de Subtransmisión Subestación Botiflaca-Subestación Alto Zapata.	13
1.8.3	Subestación Alto Zapata.	14
1.8.4	Sistema de Distribución.	15
1.9	Mercado Eléctrico y Proyección de la Máxima Demanda.	16
1.9.1	Introducción.	16
1.9.2	Estudio Demográfico.	17
1.9.3	Proyección de la Máxima Demanda de Potencia y Energía.	23

## CAPITULO 2

### JUSTIFICACION DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA PARA LA ALIMENTACION ELECTRICA DEL AREA DEL PROYECTO

2.1	Generalidades.	27
2.2	Criterios para la Formulaci3n de Alternativas.	27
2.3	Formulaci3n de Alternativas.	28
2.3.1	Alternativa 1.	28
2.3.2	Alternativa 2.	28
2.4	Evaluaci3n de Alternativa.	29
2.4.1	Aspectos T3cnicos.	29
2.4.2	Conclusiones.	31
2.5	Premisas de C3lculo.	31
2.5.1	Recopilaci3n de Informaci3n.	32
2.5.2	Nivel de Aislamiento.	34
2.5.3	Elaboraci3n del Esquema Unifilar.	34
2.5.4	Disposici3n de Equipos.	34
2.5.5	C3lculos Electromec3nicos.	35
2.6	Descripci3n de la Alternativa Seleccionada.	35
2.7	Selecci3n de la Ubicaci3n de la Subestaci3n.	35
2.8	An3lisis y Evaluaci3n de Niveles de Tensi3n.	36
2.8.1	L3nea de Transmisi3n Socabaya-Toquepala.	36
2.8.2	Nivel de Tensi3n del Secundario del Transformador.	38
2.9	Niveles de Aislamiento.	40
2.9.1	Generalidades.	40
2.9.2	Condiciones Geogr3ficas y Clim3ticas de la Zona.	41

## CAPITULO 3

### ESTUDIO DE FALLAS Y COORDINACION DE LA PROTECCION

3.1	Estudio de fallas.	46
3.1.1	Generalidades.	46
3.1.2	Perturbación en Subestaciones y Redes Eléctricas.	47
3.1.3	Hipótesis de Cálculo.	50
3.1.4	Metodología empleada.	51
3.2	Sistema de Protección.	61
3.2.1	Subestación Montalvo.	62
3.2.2	Patio de Llaves Toquepala.	63
3.2.3	Subestación Socabaya.	63

## CAPITULO 4

### DISEÑO ELECTROMECHANICO DE LA SUBESTACION

4.1	Generalidades.	67
4.2	Cálculo de la Potencia del Transformador.	68
4.2.1	Diagrama de Carga de la Ciudad de Moquegua.	69
4.2.2	Servicios Auxiliares.	69
4.2.3	Máxima Demanda de Potencia a Satisfacer.	69
4.2.4	Selección del tipo del Transformador.	70
4.3	Etapas de Equipamiento.	74
4.3.1	Alternativa 1.	74
4.3.2	Alternativa 2.	75
4.3.3	Comparación de Alternativas.	76
4.3.4	Conclusiones.	76
4.4	Selección del Tipo de Subestación.	77

4.4.1	Criterios para Selección del Tipo de Subestación.	77
4.4.2	Esquema de Conexión de laSubestación.	83

## CAPITULO 5

### ESQUEMA UNIFILAR Y DISPOSICION DE EQUIPOS

5.1	Generalidades.	95
5.2	Esquema Unifilar.	96
5.3	Disposición de Equipos.	98
5.3.1	Distancias Mínimas de Seguridad.	99
5.3.2	Selección de Equipo	99
5.3.3	Equipo de Medida.	106
5.3.4	Servicios Auxiliares.	106
5.3.5	Protección.	108
5.3.6	Iluminación.	109
5.3.7	Telecomunicaciones.	110

## CAPITULO 6

### DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA

6.1	Introducción.	113
6.2	Objetivos de la Puesta a Tierra.	115
6.3	Requisitos de la Puesta a tierra.	116
6.4	Diferencias de Potencial Tolerables.	118
6.4.1	Corriente Tolerable.	118
6.4.2	Tensión de Paso.	118
6.4.3	Tensión de Toque.	120
6.5	Resistividad del Terreno.	120

6.5.1	Medición de la Resistividad del Terreno.	121
6.6	Fórmulas Empleadas para el Diseño de la Red de tierra.	123
6.7	Cálculo de la Red de Tierra Profunda.	126
6.7.1	Valores para el Cálculo de Tierra Profunda.	126
6.7.2	Diseño de la Malla de Tierra.	127
6.7.3	Conclusiones.	131

## CAPITULO 7

### METRADO Y PRESUPUESTO

7.1 Presupuesto Obras Electromecánicas

7.2 Presupuesto Obras Civiles

### CONCLUSIONES

### BIBLIOGRAFIA

#### ANEXO I :

METODOLOGIA UTILIZADA EN LA PROYECCION DE LA DEMANDA

#### ANEXO II :

ESPECIFICACIONES TECNICAS

## PROLOGO

El área de influencia del proyecto "Subestación Eléctrica de Montalvo" está en la ciudad de Moquegua. Actualmente la demanda eléctrica está alimentada por una línea de transmisión de 2 x 3 x 85 mm<sup>2</sup> Aa, 13,8/10 kV desde la S.E., de Botiflaca de propiedad de la Southern Perú Copper Corporation hasta la S.E., de Alto Zapata; sin embargo dicha subestación no llega a satisfacer la demanda eléctrica.

Las alternativas propuestas para dar una solución integral al área del proyecto son; la primera, ampliación de la S.E. Alto Zapata, a fin de poder satisfacer la demanda eléctrica de Moquegua; La segunda, es la construcción de la Subestación Eléctrica de Montalvo de las siguientes características 7/8,5 MVA, 138/10 kV, proveniente de la S.E. Socabaya.

Siendo ésta última la alternativa que mejor ventajas presenta.

Para los niveles de aislamiento se han considerado condiciones geográficas y climáticas, efecto de la contaminación, efecto de descarga atmosféricas, efectos de

temperatura.

Para el caso de fallas en el sistema eléctrico, se han considerado, fallas en el lado de alta tensión 138 kV como en el lado de baja tensión 10 kV, del transformador, a fin de determinar las condiciones más severas, cuando ocurra un cortocircuito.

Para la selección del transformador de potencia, se han considerado el diagrama de carga promedio, la proyección de la demanda eléctrica hasta el año 2010 grupo de conexión, regulación de la tensión y tipo de enfriamiento, etc.

Para el diseño de la puesta a tierra, se consideran la tensión de toque y tensión de paso, resistividad del terreno, esto nos permitirá una protección adecuada de las personas y equipos eléctricos.

El metrado y presupuesto de las obras electromecánicas tiene por objeto valorar el costo de construcción de la Subestación Eléctrica de Montalvo.

Así mismo, quiero agradecer muy sinceramente al ingeniero Carlos Huayasco, asesor, por sus valiosas recomendaciones para el desarrollo de la presente tesis.



## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

#### 1.1 Objetivo del Proyecto

El objetivo principal de este proyecto es garantizar y mejorar el suministro de energía eléctrica a los distritos de Moquegua, Torata y Samegua mediante la construcción de la subestación "Montalvo" de mayor capacidad a la subestación existente que alimenta actualmente de energía eléctrica al área del proyecto.

De concretarse este proyecto , permitirá brindar un suministro garantizado de energía eléctrica, mejorando en lugares donde existe este tipo de servicio y ampliándose el suministro eléctrico a lugares donde no gozan, en la actualidad, de este importante servicio.

De ejecutarse este proyecto se beneficiarán 142218 habitantes agrupados en los tres distritos mencionados anteriormente.

#### 1.2 Alcances del Proyecto

El objeto del presente estudio es la construcción de

la subestación "Montalvo" , para satisfacer las necesidades de servicio eléctrico de los pobladores de la ciudad de Moquegua.

Los estudios de ingeniería que se han considerado y que contempla el proyecto es el diseño electromecánico de la subestación, optimisandolo con la selección adecuada de los equipos de transformación, equipos de operación y control, equipos de protección y servicios auxiliares y equipos de medición.

### 1.3 Ubicación

El área de influencia del proyecto tiene una extensión geográfica aproximada de 600 km<sup>2</sup> y está situada en la Provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua; y comprende los distritos de Moquegua, Samegua y Torata. Limita por el Norte con la parte alta de la Provincia Sanchez Cerro, por el Sur con la Provincia de Ilo, por el Este con el departamento de Tacna y por el Oeste con el departamento de Arequipa.

El distrito de Moquegua es capital de departamento y capital de la provincia Mariscal Nieto. Estos tres distritos se encuentran entre los paralelos 17° y 17°15' de latitud sur y los meridianos 70°40' y 71° de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, la altitud sobre el nivel del mar varía entre los 1300 y 2000 m.s.n.m. La lámina

1.1 muestra la ubicación correspondiente.

#### 1.4 Geografía

La geografía del área del proyecto es predominantemente accidentado, de escasa vegetación, con poca extensión de terrenos de cultivo por falta de agua ó por no reunir las condiciones necesarias para ser cultivadas, dentro de la zona del proyecto se encuentran los Ríos Tumilaca, Torata y Otorá ó Huaracané, que confluyen en el sitio denominado " El Trapiche " para formar el río Moquegua que discurre hasta la provincia de Ilo en tiempo de lluvia, pues el resto del año permanece seco.

#### 1.5 Características Climáticas

Las condiciones climáticas en la zona del proyecto son las siguientes:

-Temperatura máxima	.....	30 °C
-Temperatura mínima	.....	0 °C
-Temperatura promedio anual	.....	18 °C
-Velocidad máxima del viento	....	90 km/h
-Condiciones de hielo	.....	ninguna
-Humedad relativa promedio	.....	entre 45% y 50%
-Precipitación pluvial	.....	20-40 mm <sup>2</sup> (enero-marzo)
-Altitud	.....	1300 m.s.n.m.
-Nivel isoceraúnico	.....	no se tiene registros.

## 1.6 Vías de Comunicación

La más importante vía de comunicación terrestre con que cuenta Moquegua es la carretera Panamericana Sur, llegando a comunicar mediante ella con la provincia de Ilo, los departamentos de Arequipa y Tacna. Aparte de esta principal vía, Moquegua cuenta con los siguientes medios de comunicación:

a) Carretera afirmada.

i) Moquegua-Samegua-Torata-Omate-Puquina-Arequipa

ii) Moquegua-Samegua-Cuajone-Toquepala

iii) Moquegua-Puno

iv) Moquegua-Samegua-Torata-Carumar-Cuchumbaya-Calococa

b) Caminos de herradura.

c) Correos y telégrafos.

## 1.7 Principales Actividades Económicas

Las actividades productivas que caracteriza a Moquegua son las siguientes:

a) Agricultura, es una de las más importantes actividades llegando a cultivar cereales tales como: maíz, cebada y trigo; árboles frutales como son: mangos, duraznos, paltas

y viñeros, el principal tubérculo que se cultiva es la papa.

La agricultura en esta zona se ve un poco disminuída debido a la falta de agua, donde desde los primeros tiempos ha sido el problema capital del campo y de la ciudad. En la época de estiaje el río Moquegua permanece seco, utilizandose en esta época para el riego agua subterránea mediante bombeo. Para solucionar este problema se está trabajando en el proyecto especial "Pasto Grande", cuyo objetivo es derivar, agua, desde la parte alta del departamento de Moquegua; de esta manera se satisficaría la demanda actual de agua y se incrementaría considerablemente las áreas de cultivo.

b) Ganadería, la explotación de esta actividad es un poco empírica, predominando el ganado criollo, siendo muy pocos los ganaderos que disponen de animales selectos en la producción de leche y carne, se ha observado que con el apoyo técnico y económico del Ministerio de Agricultura y Banco Agrario, se incrementaría la producción de carne y leche. Las principales especies que existen son el ovino y vacuno.

c) Minería, la actividad minera influye notablemente los ingresos económicos del poblador moqueguano, ya que en el distrito de Torata se encuentra ubicado uno de los más importantes asientos mineros cupríferos del Perú, llamado

"Cuajone", que da ocupación a cerca de dos mil habitantes.

Por otro lado muchos trabajadores moqueguanos laboran en las minas de cobre de Toquepala en el departamento de Tacna ya que existe acceso directo desde Moquegua a Toquepala mediante carretera afirmada.

d) Industria, la ciudad de Moquegua siendo capital del departamento del mismo nombre, se encuentra postergada, son muy escasas las fábricas o industrias, siendo las más importantes industrias que existen las de vinos, piscos y quesos.

#### 1.8 Sistemas Eléctricos Existentes

En la actualidad la zona del proyecto cuenta con suministros de energía eléctrica, por lo tanto cuenta con líneas de subtransmisión, subestación de transformación, redes primarias y redes secundarias, que son alimentadas mediante el sistema eléctrico interconectado que existe y que a continuación se describe.

##### 1.8.1 Sistema Interconectado Electro Sur S.A. - Southern Perú Copper Corporation - Electro Sur Oeste S.A.

El sistema interconectado entre las empresas Electro Sur S.A. - S.P.C.C. - Electro Sur Oeste permite la alimentación eléctrica a los departamentos de Tacna, Moquegua y

Arequipa. Además permite el intercambio de energía eléctrica entre la empresa Regional Electro Sur S.A. y la empresa privada, S.P.C.C.(Southern Perú Copper Corporation)

En el plano SM - 01 se muestra el diagrama eléctrico del sistema interconectado existente.

a) Sistemas principales de generación, los principales sistemas de generación existentes y que forman parte del sistema interconectado son: Central Hidroeléctrica Aricota I, Central Hidroeléctrica Aricota II, Central Hidroeléctrica Charcani V y Central Térmica de Ilo, de las cuales será posible alimentar a la zona del proyecto, las características técnicas principales son las siguientes:

i) Central Hidroeléctrica Aricota I.

Ubicación	: Tacna.
Unidades	: 2
Potencia	: 14 MVA.
Fases	: Trifásico
Frecuencia	: 60 Hz
Voltaje	: 11 000 Volts.
Factor de potencia:	0.85
Velocidad	: 720 RPM.

**Turbina: Características**

Unidades : 2  
Turbina : Pelton de eje horizontal  
Potencia : 12,2 MW  
Altura neta : 617,1 m. (nominal)  
Caudal : 2,3 m<sup>3</sup>/seg  
Velocidad : 720 RPM

**ii) Central Hidroeléctrica Aricota II.****Generador: Características**

Ubicación : Tacna.  
Unidad : 1  
Potencia : 14 MVA.  
Frecuencia : 60 Hz.  
Voltaje : 11 000 Volts.  
Factor de potencia : 0,85  
Velocidad : 514 RPM.

**Turbina: Características**

Unidad : 1  
Turbina Pelton : Eje vertical, 4 inyectores  
Potencia : 12,2 MW.  
Altura neta : 311,8 m. (nominal)  
Caudal : 4,62 m<sup>3</sup>/s.



Velocidad : 514 RPM.

iii) Central Hidroeléctrica Charcani V.

Características:

Ubicación : Arequipa.

Potencia : 3x45 MVA

Tensión : 10,5 kV

Factor de potencia: 0,85.

Frecuencia : 60 Hz.

iv) Central Térmica de Ilo.

Características:

Ubicación : Provincia de Ilo (Moquegua).

Potencia : 178 MW

Tensión : 13,8 kV

Factor de potencia: 0,85

Frecuencia : 60 Hz

b) Líneas de Transmisión, las dos principales líneas de transmisión que pasan por la zona del proyecto y que contribuyen al suministro eléctrico de la ciudad de Moquegua son: líneas de transmisión "Subestación Socabaya - patio de llaves Toquepala" y C.T de Ilo - S.E Botiflaca.

Las características técnicas se dan a continuación:

i) Línea de transmisión C.T Ilo - S.E Botiflaca, la energía generada de la central térmica de Ilo de propiedad de la compañía Southern Perú Copper Corporation es distribuída a través de tres sistemas de transmisión, el primero alimenta a la refinería de cobre en Ilo, el segundo está interconectado a la subestación de Ilo y al patio de llaves de Toquepala, ambos de propiedad de Electro Sur S.A., finalmente el tercero está interconectado a la subestación Botiflaca de propiedad de S.P.C.C., mediante una línea en 138 kV. De la subestación Botiflaca se alimenta actualmente a la ciudad de Moquegua, mediante una línea en 13,8 kV.

Las características técnicas de esta Línea son las siguientes :

Longitud ..... : 85 km.  
Tensión ..... : 138 kV.  
Potencia ..... : 80 MVA.  
Número de terna ... : 1  
Estructuras ..... : Postes de madera tratada.  
Conductor ..... : 470 y 250 mm<sup>2</sup> ASCR - Cu.  
Aisladores ..... : Porcelana tipo cadena.  
Estado actual ..... : Bueno.

ii) Línea de transmisión subestación Socabaya - Patio de

llaves Toquepala, es una línea en 138 kV, sale de la subestación Socabaya de propiedad de la empresa regional Electro Sur Oeste en el departamento de Arequipa y llega al patio de llaves Toquepala de propiedad de Electro Sur S.A en el departamento de Tacna. Esta línea pasa por el departamento de Moquegua a 4 km., de la ciudad de Moquegua aproximadamente. La energía transportada procede de la Central Hidroeléctrica Charcani V. Las características técnicas son las siguientes:

	Moquegua	Toquepala
Longitud .....	169 km.	39 km.
Tensión .....	138 kV.	138 kV.
Potencia .....	130 MW.	50 MW.
Número de ternas .:	01	01
Estructuras .....	Estructura metálica	
Conductor Aa... ..:	520 mm <sup>2</sup>	240 mm <sup>2</sup>
Aisladores .....	Tipo estándar de vidrio.	
Estado actual .....	Bueno	

#### 1.8.2 Línea de Subtransmisión Subestación Botiflaca - Subestación Alto Zapata

Es una línea en 13,8 kV que sale de la subestación Botiflaca, de propiedad de la empresa S.P.C.C., y llega a

la subestación Alto Zapata en la ciudad de Moquegua, mediante esta línea se da suministro de energía eléctrica a los distritos de Moquegua, Samegua y Torata. Tiene las siguientes características :

Longitud .....: 29 km.  
Tensión .....: 13,8 kV.  
Potencia .....: 7 MVA.  
Conductor.....: 2 x 3 x 85 mm<sup>2</sup> - Aldrey.  
Estructuras .....: Torres Metálicas.  
Aisladores .....: De porcelana tipo suspensión  
Estado actual .....: Bueno

### 1.8.3 Subestación Alto Zapata

Esta subestación está ubicada en la ciudad de Moquegua y es el punto de llegada de la línea de subtransmisión que viene desde la subestación Botiflaca. Desde esta subestación, mediante redes primarias en 10 kV se alimenta a la ciudad de Moquegua. Características principales:

Ubicación .....: Moquegua.  
Altitud .....: 1 400 m.s.n.m.  
Potencia .....: 2x2 MVA.  
Autotransformador : 2 unidades.  
Tensión nominal ..: 13,8/10 kV.  
Instalación .....: Exterior.  
Estado actual .....: Bueno.

#### 1.8.4 Sistema de Distribución

Moquegua, Samegua y Torata en la actualidad cuenta con servicio eléctrico, que son distribuidos mediante redes, primarias y secundarias; todas las redes son aéreas.

a) Sistema de distribución primaria y subestaciones de distribución.

Tensión nominal.....: 10 kV y 13,8 kV.

Frecuencia nominal.: 60 Hz.

Soportes .....: Concreto, fierro tubular, mad.tratada

Conductor .....: Cu, 6, 4 AWG, 16, 25, 35 mm<sup>2</sup>

Aisladores .....: Porcelana tipo pin 55-5 y suspensión  
52-3.

Cantidad de S.E. ...: 85

Tipo .....: Aéreo

Estado actual .....: Regular

b) Sistema de distribución secundaria.

Tensión nominal .....: 220, 380/220 Volts.

Frecuencia nominal ...: 60 Hz.

Soportes .....: Concreto, fierro tubular

Conductor .....: Cu forrado, 8, 6 AWG, 6, 10, 16 mm<sup>2</sup>

Aisladores .....: Porcelana tipo carrete 53-1

Estado actual .....: Regular

## 1.9 Mercado Eléctrico y Proyección de la Máxima Demanda

### 1.9.1 Introducción

A continuación se presenta el estudio de mercado eléctrico de los distritos de Moquegua, Samegua y Torata, comprendido dentro del área de influencia del presente proyecto.

#### 1.9.1.1 Objetivo del Estudio

El objetivo fundamental es contar con un estudio actualizado del mercado eléctrico de los tres distritos a fin de determinar la capacidad que debe tener la subestación Montalvo y de esta manera, llevar adelante los planes de electrificación que Electrosur S.A., posee, con valores de demanda que contemplan el desarrollo futuro de estas ciudades.

#### 1.9.1.2 Delimitación de la Zona del Estudio

El estudio comprende el casco urbano y zonas rurales adyacentes de los distritos de Moquegua, Samegua y Torata.

#### 1.9.1.3 Período del Estudio

El período de estudio será de veinte (20) años. Para el inicio se tomará como año cero 1990 y todos los valores

se calculan para fin de año, vale decir el treinta y uno de diciembre de cada año en consecuencia el estudio se efectuará de 1991 a 2010.

### 1.9.2 Estudio Demográfico

El estudio demográfico para la zona del proyecto se realiza a base de la información oficial de los censos efectuados en 1961, 1972 y 1981 así como de las apreciaciones recogidas en los tres distritos. Debemos destacar que estas ciudades están sometidas en un fenómeno de migración que tiene dos facetas :

La primera corresponde a la emigración hacia la costa, principalmente a los departamentos de Tacna, Arequipa y Lima, a donde concurren las personas por mejores posibilidades de trabajo (minas Toquepala, comercio, etc) ó para realizar estudios superiores (universidades de Tacna, Arequipa, Lima). Gran parte de las personas que abandonan la ciudad de Moquegua lo hacen en forma permanente, existiendo un porcentaje (variable según las épocas) que retornan.

La segunda faceta es la migración interna en el departamento, generalmente de campesinos que buscan en la ciudad mejores perspectivas, parte de la migración hacia la ciudad de Moquegua es temporal y corresponde a los

campesinos que buscan complementar sus ingresos en los meses en que no están dedicados a la agricultura.

#### 1.9.2.1 Datos Censales

Los censos efectuados en los años de 1961, 1972 y 1981 nos dan los siguientes valores para la población de los tres distritos.

Cuadro 1.1

Distrito	Población (habitantes)			
	1940	1961	1972	1981
Moquegua	5 568	10 215	18 621	24 005
Samegua	*	*	*	3 926
Torata	3 097	3 342	3 580	8 750

Dato obtenido de la biblioteca de la O.R.E. - Moquegua.

\* La población de Samegua está incluido en el distrito de Moquegua ya que todavía no tenía la categoría de distrito.



Para los fines que persigue la elaboración del presente proyecto, agruparemos a los tres distritos en uno solo y lo llamaremos ciudad de Moquegua, según el cuadro 1.2

Cuadro 1.2

Ciudad	Población (habitantes)			
	1940	1961	1972	1981
Moquegua	8 665	13 557	22 201	36 681

La tasa media para los períodos intercensales, referidos a 1981 es la siguiente, de acuerdo al cuadro 1.3

Cuadro 1.3

Ciudad	Tasa intersensal ‰		
	40-81	61-81	72-81
Moquegua	3,6	5,1	5,7

### 1.9.2.2 Proyección de la Población

Para el propósito del estudio, es necesario contar con la población para el año cero y subsiguiente del estudio.

En el cuadro 1.3, vemos que tenemos tres alternativas para escoger la tasa de crecimiento poblacional, sin embargo, creemos que por las características propias de la zona, lo cambiante de la economía local y nacional, no sería correcto inclinarse por una de ellas, es por eso, que se ha tomado cuatro hipótesis:

a) Con la tasa intercensal 1940 - 1981.

b) Con la tasa intercensal 1961 - 1981.

c) Con la tasa intercensal 1972 - 1981; y

d) Datos suministrados por la Oficina Regional de Estadística hasta el año 1990 y completado hasta el año 2010, adicionalmente podemos encontrar el promedio aritmético de las cuatro hipótesis.

El cuadro 1.4 muestra los valores que se obtiene para la ciudad de Moquegua.

Los datos suministrados por la Oficina Regional de

Estadística Moquegua (O.R.E. - M) fueron complementados mediante el procedimiento de los incrementos finitos que ésta utiliza y se basa en el siguiente método :

$$P(x) = P(o) + Ax + x(x - a)A^2$$

Donde :

$$A = \frac{Pa - Po}{a}$$

$$A^2 = \frac{Po}{ab} + \frac{Pa}{(-a)(b-a)} + \frac{Pb}{(-b)(a-b)}$$

Donde :

Px= población en el año x

Po= población en el año base (1 961)

Pa= población del tercer censo (1 972)

Pb= población del cuarto censo (1 981)

a = 1972-1961= 11

b = 1981-1961= 20

### 1.9.2.3 Valores Estimados de Población

Como expresáramos en acápite anteriores, el crecimiento

poblacional está sujeto a muchas variables económicas y de desarrollo, hasta ahora se puede decir que existe períodos de incremento poblacional acentuado y períodos de estancamiento, sin embargo, como se aprecia el incremento de la tasa de crecimiento es significativo en los tres períodos intercensales, se estima que esta tasa no crecerá mayormente en el futuro por las siguientes razones principales :

a) El Ministerio de Vivienda no tiene proyectos de construcción de nuevas viviendas.

b) La ciudad de Moquegua presenta serios problemas de abastecimiento de agua y evacuación de desagües, por lo que este hecho también limitaría su crecimiento.

c) El tipo de comercio que se puede desarrollar en Moquegua es muy limitado y está muy influenciada por las ciudades de la costa donde la industria y el comercio están desarrollados.

d) El casco urbano de la ciudad de Moquegua también tiene limitaciones físicas para su expansión, por encontrarse ubicada entre terrenos eriazos accidentados (cerros).

e) El valle de Moquegua tiene pocas extensiones de terreno cultivable debido a la falta de agua, dependiendo, la mayor parte de su agricultura de los departamentos de

Tacna y Arequipa.

También se estima que para el período de estudio las tasas no decrecerán mucho.

Esto conlleva a adoptar para el período del estudio, una población que sea el promedio de las cuatro hipótesis desarrolladas anteriormente, vale decir una tasa media intertemporal de 4,80 %, aún cuando no es estricto hablar de tasa cuando se toma promedio de valores, pues pueden no representar una curva de la forma,  $y = a (1 + i)^x$ .

### 1.9.3 Proyección de la Máxima Demanda de Potencia y Energía

La proyección de la demanda de potencia y energía para la ciudad de Moquegua, se muestra en el cuadro 1.5 , esta información se ha obtenido de la Oficina de Estudio de Mercado de Electro Perú S.A., dicha oficina se encarga de actualizar el mercado eléctrico a nivel nacional, basándose en la metodología que se explica en el anexo I.

## C U A D R O 1.4

## PROYECCION DE LA POBLACION PARA LA CIUDAD DE MOQUEGUA

Ano	Tasa 3%	Tasa 5,1%	Tasa 5,7%	Tasa de la OREM	Población 4,8%
1988	46972	51945	54056	52491	51366
1989	48663	54594	57138	55081	53869
1990	50415	57378	60395	57753	56485
1991	52230	60305	63837	60507	59220
1992	54110	63380	67476	63343	62077
1993	56058	66612	71322	66281	65068
1994	58076	70010	75387	69261	68184
1995	60167	73580	79684	72343	71444
1996	62333	77333	84226	75507	74850
1997	64577	81277	89027	78753	78409
1998	66902	85422	94102	82081	82127
1999	69310	89778	99466	85491	86011
2000	71805	94357	105135	88983	90070
2001	74390	99169	111128	92557	94311
2002	77068	104227	117462	96213	98743
2003	79843	109542	124157	99951	103373
2004	82717	115129	131234	103771	108213
2005	85695	121001	138715	107673	113271
2006	88780	127172	146621	111657	118558
2007	91976	133658	154979	115723	124084
2008	95287	140474	163813	119871	129861
2009	98717	147638	173150	124101	135902
2010	102271	155168	183020	128413	142218

CUADRO 1.5  
PROYECCION DE POTENCIA Y ENERGIA PARA LA CIUDAD DE MOQUEGUA

Ano	Poblac. hab	Abonado Domest. hab	Consumo Unit kw.h/abon	Domest. GWh	Comerc. GWh	Indust. GWh	Alumb. GWh	Ventas GWh	Energia Perdidas GWh	Energia Distrib. GWh	Energia Maxima Demanda MW
1980	35572	3806	964.26	3.67	1.16	0.07	0.53	5.43	1.16	6.59	1.90
1981	36995	4004	869.13	3.48	1.13	0.09	0.56	5.26	0.84	6.10	1.90
1982	38771	4188	912.12	3.82	1.32	0.10	0.65	5.89	1.09	6.94	2.00
1983	40632	4152	866.31	3.68	1.45	0.09	0.64	5.86	1.43	7.29	2.20
1984	42582	4043	1058.61	4.28	1.56	0.09	0.54	6.47	1.53	8.00	2.40
1985	44626	4217	1036.28	4.37	1.53	0.26	0.59	6.75	1.35	8.10	2.40
1986	46768	4849	975.45	4.73	1.58	0.39	0.68	7.38	1.84	9.22	2.30
1987	49013	5050	1201.98	6.07	1.95	0.42	0.69	9.13	2.28	11.41	2.90
1988	51366	5397	1043.17	5.63	2.02	0.48	0.75	8.88	4.24	13.12	3.00
1989	53869	5546	1076.45	5.97	1.96	0.45	0.69	9.07	3.88	12.95	3.30
1990	56485	5695	1113.25	6.34	2.09	0.48	0.73	9.64	3.70	13.34	3.50
1991	59220	5844	1153.31	6.74	2.24	0.52	0.77	10.27	3.49	13.76	4.00
1992	62077	5994	1196.19	7.17	2.39	0.56	0.81	10.93	3.30	14.23	4.20
1993	65068	6143	1242.06	7.63	2.56	0.60	0.85	11.64	3.09	14.73	4.40
1994	68184	6292	1292.11	8.13	2.75	0.65	0.90	12.43	2.84	15.27	4.70
1995	71444	6464	1322.71	8.55	2.91	0.69	0.94	13.09	2.93	16.02	5.00
1996	74850	6636	1353.22	8.98	3.07	0.74	0.98	13.77	3.02	16.79	5.10
1997	78409	6809	1381.99	9.41	3.24	0.78	1.02	14.45	3.12	17.57	5.20
1998	82127	6982	1412.20	9.86	3.42	0.83	1.06	15.17	3.20	18.37	5.30
1999	86011	7155	1442.34	10.32	3.60	0.88	1.09	15.89	3.30	19.19	5.40
2000	90070	7328	1472.43	10.79	3.78	0.93	1.13	16.63	3.34	19.97	5.60
2001	94311	7050	1502.46	11.27	3.97	0.98	1.17	17.39	3.47	20.86	5.70
2002	98743	7675	1530.94	11.75	4.17	1.03	1.25	18.20	3.56	21.76	5.80
2003	103373	7848	1560.90	12.25	4.37	1.09	1.25	18.96	3.64	22.60	5.90
2004	108213	8022	1590.62	12.76	4.58	1.15	1.29	19.78	3.71	23.49	6.00
2005	113271	8206	1619.54	13.29	4.80	1.21	1.33	20.63	3.79	24.42	6.10
2006	118558	8391	1649.38	13.84	5.03	1.27	1.37	21.51	3.87	25.38	6.30
2007	124084	8576	1679.10	14.40	5.26	1.34	1.41	22.41	3.94	26.35	6.50
2008	129861	8762	1707.37	14.96	5.50	1.41	1.45	23.32	4.01	27.33	6.70
2009	135902	8948	1736.70	15.54	5.74	1.48	1.49	24.25	4.08	28.33	6.90
2010	142218	9135	1765.73	16.13	5.99	1.55	1.53	25.20	4.15	29.35	7.10

## CAPITULO 2

### JUSTIFICACION DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA PARA LA ALIMENTACION ELECTRICA AL AREA DE PROYECTO

#### 2.1 Generalidades

En el presente capítulo se efectúa el análisis técnico comparativo de las alternativas para garantizar el suministro eléctrico a la ciudad de Moquegua. Las alternativas que se detallan mas adelante han sido definidas para satisfacer la demanda eléctrica hasta el año 2010. Para la selección de la alternativa se considera el Plan Maestro de Electricidad.

#### 2.2 Criterios para la Formulación de Alternativas

Se tendrá en cuenta los siguientes criterios :

a) La alternativa, seleccionada deberá ser una solución integral, que contemple las proyecciones futuras de potencia y energía de la ciudad de Moquegua.

b) La alternativa propuesta, considerará los niveles de tensión y demás características del sistema; con la finalidad de aprovechar al máximo la infraestructura del



sistema eléctrico existente en la ciudad de Moquegua.

c) La alternativa propuesta, considerará, los lineamientos del Plan Maestro de Electricidad.

### 2.3 Formulación de Alternativas

Se considerará dos alternativas :

#### 2.3.1 Alternativa 1

Como primera alternativa se considera la ampliación de la S.E Alto Zapata a 7 MVA ya que actualmente tiene una capacidad de 4 MVA y que alimenta a la ciudad de Moquegua, siempre considerando el suministro de energía desde la Subestación Botiflaca de propiedad de S.P.C.C, la ampliación de la S.E Alto Zapata implica también cambiar el nivel de tensión de la línea Botiflaca - Moquegua de 13,8 kV a 69 kV . Con la instalación de un transformador en la S.E Alto Zapata 69/10 kV, 7 MVA.

Se utilizará la misma línea existente Botiflaca Moquegua.

#### 2.3.2 Alternativa 2

Consiste en construir una subestación eléctrico de 138/10 kV, aprovechando la línea de transmisión Socabaya -

Toquepala existente y que pasa cerca a la ciudad de Moquegua. La alimentación sería desde la Subestación Socabaya

La primera alternativa parte del supuesto que la empresa S.P.C.C entregará más energía eléctrica a la ciudad de Moquegua, de la que está entregando actualmente a Electro Sur S.A.

La segunda alternativa está considerado dentro del Plan Maestro de Electricidad aprovechando la generación de la central hidráulica Charcani V.

## 2.4 Evaluación de Alternativas

### 2.4.1 Aspectos Técnicos

#### 2.4.1.1 Alternativa 1

Actualmente, en la línea 13,8 kV , existe muchas pérdidas de energía y lo más crítico es que la caída de tensión, llega, en horas de punta hasta el 11% , razón por la cual es necesario cambiar el nivel de tensión al ampliarse la capacidad de la S.E Alto Zapata. Por otro lado cuando existe una falla en el sistema de S.P.P.C. lo primero que sale de servicio es la ciudad de Moquegua, sufriendo continuos apagones; Hay que tener en cuenta que la generación de S.P.P.C. es térmica, a base de turbina de

gas, y cuando hacen mantenimiento ó se malogra alguno de ellas lo primero que hacen es cortar el suministro eléctrico a Moquegua.

Si bien es cierto que esta alternativa es la más inmediata y técnicamente factible; sin embargo, existe el problema que mayor peso sobre cualquier otro criterio y es que S.P.P.C. manifiesta no tener capacidad para incrementar el suministro de energía eléctrica a Moquegua. Por otro lado la empresa Electro Sur S.A. le debe mucha energía eléctrica, ya que también suministra a Ilo y Tacna; por el problema hídrico de la laguna de Aricota; cuya generación eléctrica no abastece a la ciudad de Tacna.

Se considera los elementos más representativos de esta alternativa.

01 transformador de potencia 69/10 kV, 7 MVA

02 seccionador de potencia trifásico, 69 kV

02 interruptor de potencia trifásico, 69 kV

Equipos de medición.

Equipos de protección.

- Otros

#### 2.4.1.2 Alternativa 2

Con la construcción de la Subestación de Montalvo, se

independizará el suministro eléctrico a la ciudad de Moquegua, por otro lado el suministro eléctrico estaría garantizada por la generación de la Central Hidroeléctrica Charcani V y también por la línea de transmisión Tintaya-Socabaya, próximo a construirse.

Por otro lado, la construcción de la Subestación Montalvo está dentro del planeamiento de Electro Perú S.A. Por ser un solución duradera e integral de acuerdo a los intereses de la región y de acuerdo a los lineamientos del Plan Maestro de Electricidad.

Esta alternativa 2, contempla la construcción de una subestación 138/10 kV , 7/8,5 MVA.

#### 2.4.2 Conclusiones

De acuerdo a lo mencionado, anteriormente, se concluye que la alternativa 2, es la más recomendable, más que todo por razones técnicas

#### 2.5 Premisas de Cálculo

Para el diseño definitivo, se considerará las siguientes premisas

## 2.5.1 Recopilación de Información

### 2.5.1.1 Flujo de Potencia

En este estudio se indican los valores de potencia activa y reactiva que van a fluir hacia y desde la SS.EE., en este estudio se podrá observar las variaciones de carga; lo cual nos permitirá definir la capacidad de los circuitos y las potencias del transformador.

### 2.5.1.2 Niveles de Cortocircuito

Con el objeto de poder definir el poder de ruptura de los equipos de maniobra, las solicitaciones dinámicas tanto de los arrollamientos de los transformadores como de las barras y para efectuar el cálculo del sistema de tierra profunda; es necesario conocer los niveles de cortocircuito que presentarán a largo del plazo tomando al sistema en máxima generación.

### 2.5.1.3 Regulación de Tensión

De un análisis de carga durante el tiempo y considerando el estudio de flujo de potencia, se evaluará las variaciones de tensión que ocurrirá en los distintos niveles de tensión que conforman la SS.EE. Normalmente este estudio de regulación de la tensión es necesario para definir la relación de transformación de los

transformadores de potencia  $\delta$  para definir la necesidad de utilizar unidades de compensación de potencia reactiva.

#### 2.5.1.4 Sobretensiones de Maniobra

El estudio de sobretensiones de maniobra, normalmente, se utiliza para instalaciones de extra - alta tensión, en este caso es una información útil para definir las características de los pararrayos.

#### 2.5.1.5 Nivel Isoceraunico

Esta información permitirá decidir el sistema de protección contra sobretensiones atmosféricas; es decir, las características de los pararrayos, así como la necesidad de utilizar cable de guarda o puntos de Franklin que protegen a las instalaciones contra una descarga directa.

#### 2.5.1.6 Características Sísmicas de la Zona

Con el objeto de determinar los esfuerzos en estructuras y equipos ante la eventualidad de un movimiento sísmico, es necesario conocer los antecedentes de la zona, en lo que se refiere a éste tipo de fenómeno.

#### 2.5.1.7 Contaminación Ambiental

En los aspectos de mantenimiento y la determinación de los materiales que se utilizan, es necesario conocer si en el ambiente existe contaminación por efectos de la cercanía al mar, si la contaminación se debe a gases expulsados por industrias.

#### 2.5.2 Nivel de Aislamiento

Con las informaciones de ubicación y condiciones climatológicas se efectuará un estudio de coordinación de aislamiento que permitirá definir el nivel básico de aislamiento (Bil) de los equipos.

#### 2.5.3 Elaboración del Esquema Unifilar

En el esquema unifilar se indicarán exactamente todas las características eléctricas que definan a los equipos y la forma como se agrupan.

#### 2.5.4 Disposición del Equipo

La disposición del equipo es el arte que permite poner en juego la creatividad del diseñador.

- a) Distancias eléctricas
- b) Zonas de mantenimiento

### 2.5.5 Cálculos Electromecánicos

Comprende los siguientes puntos:

- a) Cálculo de la red de tierra profunda.
- b) Cálculo de barras colectoras.
- c) Cálculo de iluminación.
- d) Cálculo de los servicios auxiliares.

### 2.6 Descripción de la Alternativa Seleccionada

La alternativa seleccionada, es aquella que asegura el suministro de energía hasta el año 2010 y comprende la construcción de la Subestación Montalvo, que tomará energía de la línea de transmisión existente Socabaya-Toquepala en 138 kV . En el diseño se está considerando dos seccionadores de línea, los cuales permitirá un suministro normal desde Socabaya, en caso de que el patio de llaves de Toquepala sufra fallas ó por mantenimiento salga de servicio, de igual manera, de emergencia; es decir, si Socabaya no da energía, se alimenta desde Toquepala.

### 2.7 Selección de la Ubicación de la Subestación

La ubicación de la Subestación Montalvo ha sido realizada en el estudio definitivo de la línea Socabaya-Toquepala en



138 kV . La subestación está ubicada a 4 km de la ciudad de Moquegua, al sur, a 200 m de la carretera Panamericana Sur, en el lugar denominado Montalvo.

Desde el punto de vista del sistema interconectado, el lugar es apropiado, ya que está ubicado en la misma trayectoria de la línea de transmisión Socabaya-Toquepala en 138 kV .

Las condiciones geológicas del terreno, también son apropiadas ya que la topografía es uniforme. Es el lugar más cercano de la línea a la ciudad de Moquegua.

## 2.8 Análisis y Evaluación de Niveles de Tensión

### 2.8.1 Línea de Transmisión Socabaya - Toquepala

La línea de transmisión Socabaya - Toquepala, es una línea existente, cuyo diseño tiene las siguientes características:

Datos generales.

Longitud .....	107 km.
Dirección .....	Sur - Este
Cota Socabaya .....	2 430 m.s.n.m.
Cota Moquegua .....	1 300 m.s.n.m.

Datos eléctricos.

Número de circuitos .....	2 (1 instalado)
Tensión nominal .....	220 kV.
Tensión máxima .....	242 kV.
Aislamiento al impulso .....	1 050 kV.
Caída máxima de tensión (admisible) de aleación de aluminio (Aa) .....	15 %
Conductor .....	520 mm <sup>2</sup>
Resistencia eléctrica (20 C) .....	0,063 Ohm/km.
Reactancia .....	0,48 Ohm/km.
Frecuencia .....	60 Hz.
Potencia característica .....	130 MW.
Potencia máxima transmisible .....	200 MW.
Capacidad máxima (90 C) .....	1 050 A.

Actualmente la línea transmite a un nivel de 138 kV.

a) Nivel de tensión 220 kV, la línea de transmisión Socabaya - Toquepala, está diseñada para transmitir a un nivel de tensión de 220 kV.

b) Nivel de tensión 138 kV, actualmente la línea de transmisión Socabaya - Toquepala, está siendo alimentada en 138 kV.

## 2.8.2 Nivel de Tensión del Secundario del transformador de Potencia

La selección del nivel de tensión de la línea, que alimentará a la ciudad de Moquegua, desde la Subestación Montalvo ; considera condiciones de carga, distancias, normas y finalmente la infraestructura eléctrica en la zona del proyecto.

### 2.8.2.1 Alternativa 1, Nivel de Tensión 10 kV

Se plantea 4 salidas en 10 kV de la S.E Montalvo y que alimentarían directamente a las redes primarias existentes, también en 10 kV .

### 2.8.2.2 Alternativa 2, Nivel de Tensión 13,8 kV

Se analiza, una salida en 13,8 kV, de la S.E Montalvo, red primaria de 4 km en 13,8 kV hasta la S.E Alto Zapata existente y red primaria a la ciudad utilizando los circuitos en 10 kV que actualmente alimentan a la ciudad de Moquegua.

### 2.8.2.3 Alternativa 3, Nivel de Tensión de 20 kV

Se analiza, salida en 20 kV de S.E Montalvo, red primaria de 4 km hasta la S.E Alto Zapata en 20 kV y redes primarias a la ciudad en 10 kV.

#### 2.8.2.4 Evaluación Técnica de las Alternativas

La alimentación en 10 kV, permitirá alimentar directamente a la ciudad sin tener que utilizar elementos adicionales de transformación, ó realizar cambios (transformadores, aisladores, etc) en la redes primarias que actualmente existen en la ciudad de Moquegua debido a la corta distancia desde la S.E. Montalvo; no hay problemas con el calibre del conductor, ni con la caída de tensión. Por lo tanto, la tensión de 10 kV es la mas recomendable técnicamente.

Las tensiones de 13,8 y 20 kV técnicamente y económicamente no so recomendables, ya que en ambos casos se tendría que utilizar una subestación de transformación para obtener las tensiones de 10 kV y poder alimentar a la ciudad de Moquegua. Sin embargo, cabe mencionar que el nivel de tensión de 20 kV es un valor normalizado en un sistema eléctrico de distribución, recomendado por el Código Nacional de Electricidad.

Por otro lado, no se puede alimentar directamente en 13,8 kV ó 20 kV a la ciudad de Moquegua, ya que significaría cambiar todo los transformadores de distribución y también los aisladores de las redes primarias, lo cual es demasiado es oneroso.

Finalmente, el Código Nacional de Electricidad, normaliza

las siguientes tensiones nominales y tensiones máximas de los equipos de distribución.

Tensión Nominal	Tensión Máxima
kV	kV
10	12
13,2	15
20	24

En caso de existir tensiones diferentes a las normalizadas éstas deberán sustituirse progresivamente.

#### 2.8.2.5 Conclusiones

Del análisis del nivel de tensión, resulta técnica y económicamente conveniente la alternativa 1, que ofrece la ventaja de alimentar directamente S.E. Montalvo a la ciudad de Moquegua ya que la distancia es corta.

Las otras dos alternativas se descartan por ser onerosas y también con desventajas técnicas ya que se complicaría la operación y mantenimiento del sistema.

### 2.9 Niveles de Aislamiento

#### 2.9.1 Generalidades

Se entiende por aislamiento, en el sentido de las normas (VDE 0111, publicación IEC 71), la suma de las medidas para separar galvánicamente partes eléctricamente conductoras que, en su servicio, presenten tensión entre sí ó contra tierra.

La capacidad de aislamiento de una instalación ó de un equipo eléctrico es la aptitud para resistir tensiones de una forma dada hasta la correspondiente tensión permisible.

En este acápite se determinarán los niveles adecuados de aislamiento y protección de los equipos de la subestación contra las sobretensiones que puedan presentarse en el sistema y que puedan dañar a éstos. Además se seleccionará los aisladores adecuados para los niveles e 138 kV y 10 kV.

#### 2.9.2 Condiciones Geográficas y Climáticas de la Zona

La subestación Montalvo va a ser construída a una altitud de 1 300 m.s.n.m. en una zona donde no hay contaminación ambiental, el clima es cálido - seco durante todo el año con muy pocas lluvias en época de invierno y las descargas atmosféricas son nulas.

### 2.9.2.1 Efecto de la Altitud

La resistencia eléctrica de la envoltura exterior de los equipos, depende de las características del aire libre que rodea a esta envoltura (densidad del aire, humedad y otros). A mayor altura sobre el nivel del mar disminuye la densidad de aire y con ello su resistencia eléctrica; por lo que para alturas superiores de 1000 m.s.n.m. hay un factor de corrección de incremento de la tensión de diseño en 1,25% por cada 100 m de exeso sobre los 1000 m.s.n.m.

$$\frac{(1300 - 1000) \times 1,25}{100} = 3,75 \%$$

Por lo tanto el factor de corrección por altitud será 1,0375; este factor se aplicará al aislamiento externo del equipo ya que se encuentra en contacto con el medio ambiente, y no a las partes internas tales como los devanados de los transformadores de potencia sumergidos en aceite.

### 2.9.2.2 Efecto de la Contaminación

En la zona del proyecto no existe, prácticamente contaminación ambiental por encontrarse cerca a terrenos

de cultivo donde el aire es bastante limpio por lo tanto no se tomará ningún factor de corrección por este concepto.

#### 2.9.2.3 Efecto de las Descargas Atmosféricas

Como se mencionó en el acápite 2.9.2 del presente capítulo en la zona del proyecto no existen descargas atmosféricas, sin embargo la línea en 138 kV desde la S.E. Socabaya hasta el patio de llaves en Toquepala lleva un cable de guarda y por razones de seguridad en el diseño de la Subestación Montalvo se está considerando la instalación de pararrayos en el lado de 138 kV, si se considera necesario en el lado de 10 kV, éstos se instalarán en el primer pórtico de cada uno de los circuitos que alimentarán a la ciudad de Moquegua.

#### 2.9.2.4 Efectos de la Temperatura

Según el C.N.E. para el diseño de aislamiento deberá tomarse en cuenta la temperatura ambiente a través de un factor cuya expresión es la siguiente :

$$K = \frac{273 + t}{273}$$



Donde :

t: es temperatura máxima de la zona en C, se estima que la temperatura no sobrepasara los 40 C ; por lo que  $K=1$  .

### 2.9.3 Selección de los Niveles de Aislamiento

El aislamiento interno de los equipos eléctricos, está definido por las normas C.E.I. de acuerdo a los siguientes valores.

a) Lado 138 kV.

Tensión máxima de servicio .....145 kV ef.  
 Tensión de prueba a 60 Hz, 1 min.....230 kV ef.  
 Tensión de prueba, onda de impulso 1,2/50 us...550 kV pico

b) Lado 10 kV.

Tensión máxima de servicio ..... 12 kV ef.  
 Tensión de prueba a 60 Hz, 1 min..... 28 kV ef.  
 Tensión de prueba, onda de impulso 1,2/50 us... 75 kV pico

Tomando en consideración los valores normalizados y realizando la corrección por incremento de altura (1,0375) se selecciona los siguientes valores para el aislamiento externo de todo los equipos.

Equipo eléctrico de 138 kV .

Tensión máxima corregida por altura .....150,44 kV ef.

Tensión máxima de servicio normalizada ....170 kV ef.

Tensión de prueba con onda de 60 Hz .....275 kV ef.

Tensión de prueba con onda de 1,2/50 us ...650 kV pico

Equipo eléctrico de 10 kV

Tensión máxima corregida por altura .....12,45 kV ef.

Tensión máxima de servicio normalizada ....17,5 kV ef.

Tensión de prueba con onda de 60 Hz .....38 kV ef.

Tensión de prueba con onda de 1,2/50 us ...95 kV pico

## CAPITULO 3

### ESTUDIO DE FALLAS Y COORDINACION DE LA PROTECCION

#### 3.1 Estudio de Fallas

##### 3.1.1 Generalidades

Existe basicamente tres aspectos relacionados con la operación de los sistemas eléctricos :

a) La operación normal del sistema, la que implica que no hay interrupciones de servicio y no existen cortocircuitos ó circuitos abiertos en el sistema.

b) La prevención de fallas, en los diseños se debe encontrar una solución óptima entre la confiabilidad y la economía en los criterios usados para la prevención de fallas, ya que teóricamente es posible diseñar sistemas libres de fallas, pero su costo puede ser mucho mayor que aquel que pueda ser económicamente realizable, esto no significa que el diseño más económico resulte el mejor, ya que la confiabilidad del suministro a las cargas se debe lograr con la mejor técnica posible y el menor costo.

c) Reducción de los efectos de fallas, es decir que una

vez que se parte del hecho de la ocurrencia de fallas en el sistema, se debe buscar la forma de que sus efectos se minimizen y que su efecto se transmita a la menor cantidad posible de partes ó elementos del sistema.

El riesgo de la ocurrencia de una falla está asociada con el número de equipos empleados y con la incidencia que relaciona la falla de unos con otros. Cuando el sistema es grande, la probabilidad de la ocurrencia de una falla y la perturbación involucrada en la normal operación de la misma son grandes y sin los convenientes equipos de protección para despejar las fallas convertirán al sistema en inoperante.

Las consideraciones para el diseño es la minimización de los daños por fallas, ya que un sistema de potencia que prácticamente se autodestruye o que sufre interrupciones frecuentes y prolongados por ocurrencia de un cortocircuito, es un sistema débil que prestará un servicio deficiente.

### 3.1.2 Perturbaciones en Subestaciones y Redes Eléctricas

Existen muchas causas que pueden perturbar el servicio normal de los transformadores, barras y redes eléctricas, enunciaremos algunas de ellas:

a) Perforaciones en los aislantes de máquinas y cables,

producidas por envejecimiento, por corrosión por calentamiento.

b) Descargas atmosféricas y sobretensiones interiores.

c) Influencia de animales, por ejemplo, roedores que corroen cables, gatos que producen cortocircuito entre barras, etc.

d) Factores humanos, como apertura de un seccionador bajo carga, falsas maniobras, etc.

e) Exceso de carga conectada a la línea, por lo que los transformadores han de trabajar en condiciones muy desfavorables.

f) Puestas a tierra intempestivas, producidas por la humedad del terreno.

Todas las perturbaciones que se han enumerado y otras más que no se ha citado, pueden reducirse a cinco grupos principales, que son:

1. Cortocircuito
2. Sobrecarga
3. Retorno de corriente
4. Subtensión
5. Sobretensión

Se produce cortocircuito cuando hay conexión directa entre dos o más conductores de distinta fase, en una conexión eléctrica. Las corrientes de cortocircuito producen un brusco aumento de temperatura en los devanados de los transformadores y equipos, y en los conductores. Como la cubierta aislante de los conductores impide, durante la corta duración del calentamiento, la transmisión del calor al ambiente que lo rodea, se concentra en éste, y puede alcanzar una temperatura inadmisibles. El calentamiento causa, una disminución del nivel dieléctrico de la materia aislante, de manera tal que aún produciéndose pequeñas sobretensiones, es posible que se originen averías después de varios cortocircuitos repetidos. A esta sollicitación hay que agregar otra sollicitación mecánica de gran amplitud producida por la corriente de cortocircuito inicial.

Se dice que un circuito está sobrecargado cuando el circuito trabaja con mayor intensidad de corriente que aquella para la que está diseñada. La sobrecarga está caracterizada por un aumento de corriente de cierta duración y algo mayor de dicha intensidad de corriente. Por lo tanto las protecciones para los cortocircuitos y sobrecargas tienen diferentes características. Aunque no tan espectaculares como en el caso de los cortocircuitos los efectos de las sobrecargas pueden resultar también nocivos para máquinas y conductores pues provocan, sobre todo, calentamientos indeseables que, a la larga pueden

producir perforaciones en los aislantes y cortocircuitos.

El retorno de corriente, se produce sobre todo en los circuitos de corriente continua.

La subtensión aparece cuando, por una u otra causa, la tensión en la central es inferior a la nominal, la subtensión puede ser perjudicial por que la carga conectada a la red no puede disminuir su potencia y al ser la tensión menor de la prevista, compensa este efecto con una mayor intensidad absorbida, es decir, con una sobreintensidad.

La sobretensión es lo contrario de la subtensión, es decir, una tensión mayor que la nominal, con el consiguiente riesgo de perforación de los aislantes, peligro para el personal, etc., las causas de las sobretensiones son muy variadas.

### 3.1.3 Hipótesis de Cálculo

Al realizar un proyecto y en la explotación de un sistema electro-energético es de máxima importancia conocer los valores de cortocircuito. Los cálculos referentes a la selección y verificación del equipamiento de interruptores, el dimensionamiento del conductor y la puesta a tierra, la coordinación de relés, la determinación de la influencia de las líneas eléctricas de

potencia sobre las líneas de telecomunicación, etc., están basados en el cálculo previo de la corriente de cortocircuito. Los problemas a resolver son:

- Falla trifásico
- Falla monofásico
- Falla bifásico a tierra

Para realizar los cálculos se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones :

a) Los elementos de la red son simétricas y se representan por sus reactancias como valor total de la impedancia, ya que para tensiones superiores a 600 V., puede despreciarse la resistencia por ser muy pequeño comparado con la reactancia (el error que se comete al despreciar las resistencias no es mayor del 5%).

b) Las cargas se desprecian.

c) La red inversa (secuencia negativa) se considera igual a la red directa (secuencia positiva).

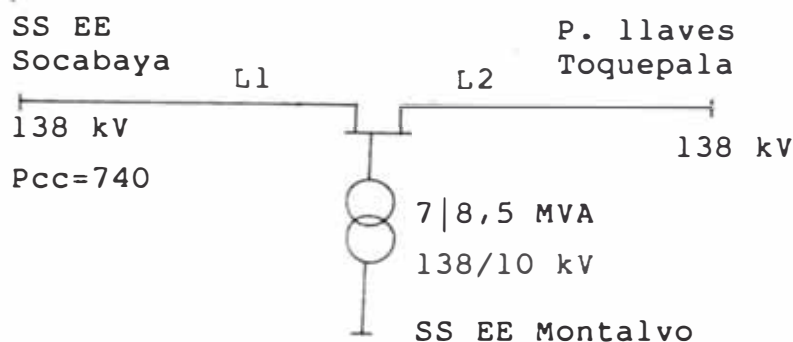
#### 3.1.4 Metodología Empleada

Los cálculos se realizarán tomando como base la potencia de cortocircuito en las barras de 138 kV del patio de llaves de Toquepala (Tacna) 920 MVA y patio de llaves S.E.



Socabaya (Arequipa) 740 MVA (datos proporcionados por Electro Perú S.A.), y el diagrama de impedancias, en la cuál como se dijo en el acápite anterior se considerará los valores de las reactancias como valor total de la impedancia.

Se analizarán fallas trifásicas y fallas monofásicas en cada barra de la subestación.



### 3.1.4.1 Desarrollo de los Cálculos

a) Valores base.

Potencia base (Nb) .....	:	7 MVA.	
Tensiones de base (Vb) .....	:	138 kV.	10 kV.
Impedancias base (Zb) .....	:	2720 Ohm	14,3 Ohm.
Corriente base (Ib) .....	:	29,3 A	404 A .

Cálculo de los valores por unidad para los tres secuencias.

$X(1)$  = Secuencia positiva

$X(2)$  = Secuencia negativa

$X(0)$  = Secuencia cero.

$P_{cc}$  = Potencia de cortocircuito

$I_{cc}$  = Corriente de cortocircuito

i) G1 Barra infinita (S.E. Socabaya)

$P_{cc} = 740$  MVA (dato de Electroperú)

$$x_1 = \frac{7}{P_{cc}} = \frac{7}{740} = 0,009 \text{ pu}$$

$$x(2) = x(0) = x(1)$$

ii) G2 Barra infinita (Patio de LLaves Toquepala)

$P_{cc} = 920$  MVA (dato de Electroperú)

$$x_1 = \frac{7}{P_{cc}} = \frac{7}{920} = 0,007 \text{ pu}$$

$$x(2) = x(1) = x(0) = 0,07 \text{ pu}$$

iii) Línea Socabaya-Moquegua, L1, Potencia máxima transmisible 40 MW .

Características.

Longitud 107 km (aleación de aluminio)

Sección 520 mm<sup>2</sup>

Resistencia por longitud 0,48 Ohm/km .

$$X = 0,48 \text{ Ohm/km} = 51,36 \text{ Ohm}$$

$$X(1) = 51,36/2720 = 0,019 \text{ pu}$$

$$X(2) = X(1) = 0,019 \text{ pu}$$

Se puede asumir que  $X(0) = 3X(1)$   $X(0) = 0,057 \text{ pu}$

iv) Línea Moquegua-Toquepala, L2, Potencia máxima transmisible 40 MW .

Características

Longitud 39 km (aleación de aluminio)

Sección 240 mm<sup>2</sup>

Resistencia por longitud 0,485 Ohm/km.

$$X = 0,485 \text{ Ohm/km} = 18,92 \text{ Ohm}$$

$$X(1) = 18,92/2720 = 0,007 \text{ pu}$$

$$X(2) = X(1) = 0,007 \text{ pu}$$

$$X(0) = 3X(1) = 0,021 \text{ pu}$$

v) Transformador, tensión de cortocircuito,  $V_{cc} = 8\%$   
 $7/8,5 \text{ MVA} \quad 138/10 \text{ kV} .$

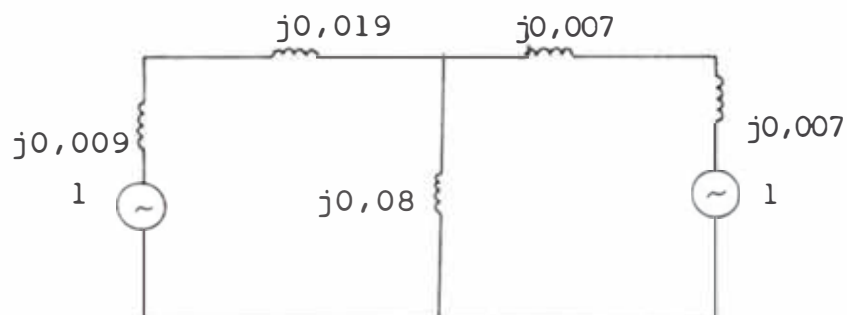
$$X(1) = 0,08 \text{ pu}$$

$$X(2) = 0,08 \text{ pu}$$

$$X(0) = 0,8X(1) , \text{ aproximadamente.}$$

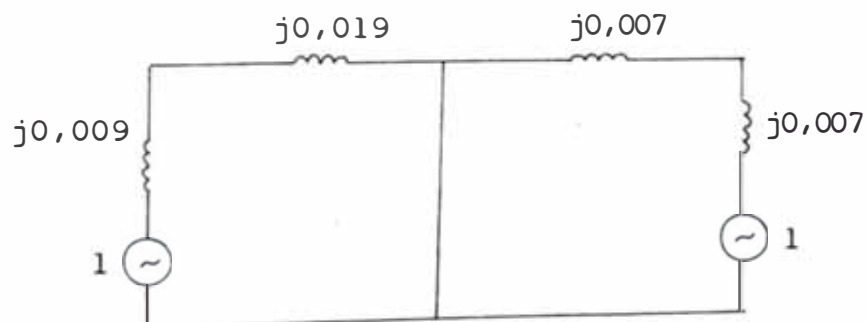
$$X(0) = 0,8 X(1) = 0,064 \text{ pu}$$

vi) Sistema eléctrico equivalente expresado en pu.



b) Cortocircuito trifásico.

i) Falla en barra de 138 kV, falla trifásico.



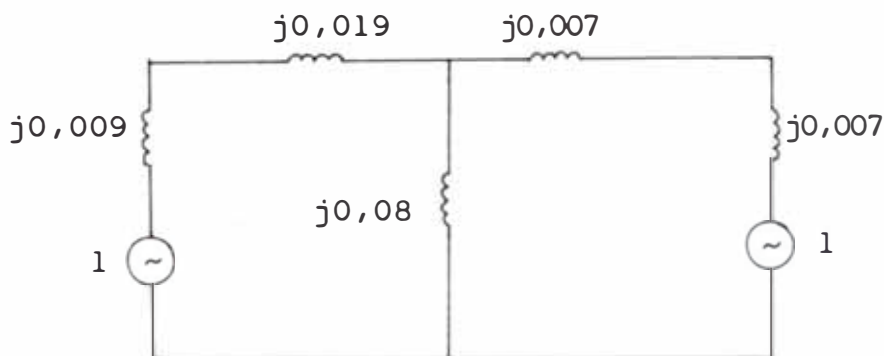
Luego:

$$I_{cc} = \frac{7}{(0,009 + 0,019)} + \frac{7}{(0,007 + 0,007)} = 107,1$$

$$I_{cc} = 107,1 \times 29,3 = 3,26 \text{ kA}$$

$$P_{cc} = 3 \times 138 \times 3,2 = 765 \text{ MVA .}$$

ii) Falla en barra de 10 kV, falla trifásica.



$$I_{cc} = 13.3 \times 404 = 5,4 \text{ kA}$$

$$P_{cc} = 94 \text{ MVA}$$

Luego la corriente de cortocircuito en la barra de 10 kV es 5,4 kA.

c) Falla monofásica a tierra.

i) Cortocircuito en barra de 138 kV.

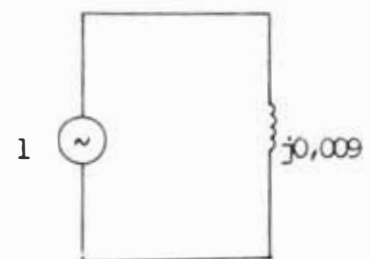
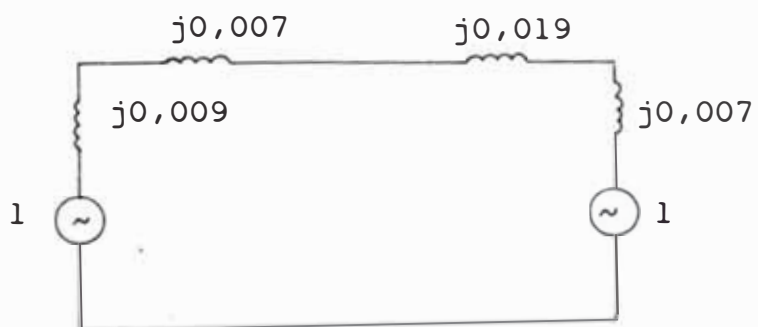
Donde:

$$x(1) = 0,009$$

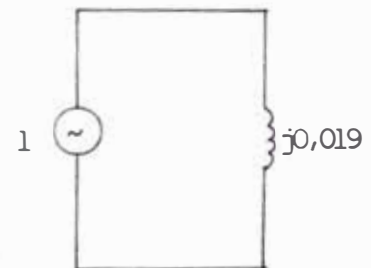
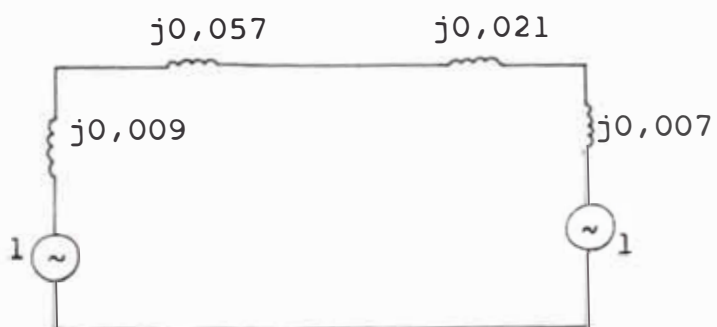
$$x(2) = 0,009$$

$$x(0) = 0,019$$

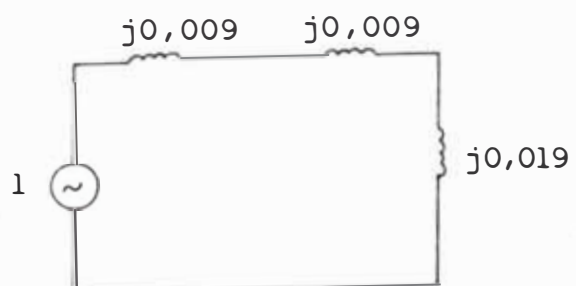
Secuencia positiva y negativa



Secuencia cero.



Resultando.



Luego:

$$I_{cc} = \frac{3}{0,019+0,009+0,009} \times 29,3 = 2,4 \text{ kA.}$$

Luego, la corriente monofásica a tierra es 2,4 kA en 138 kV.

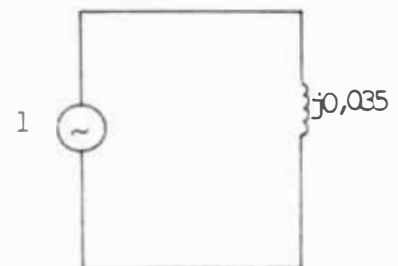
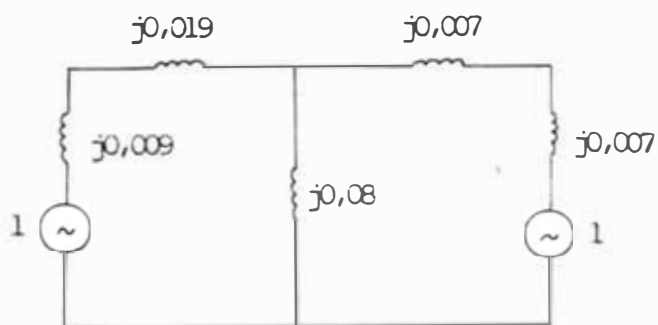
ii) Cortocircuito monofásico en barra de 10 kV.

$$X(1) = 0,075$$

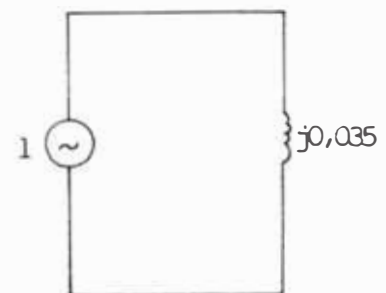
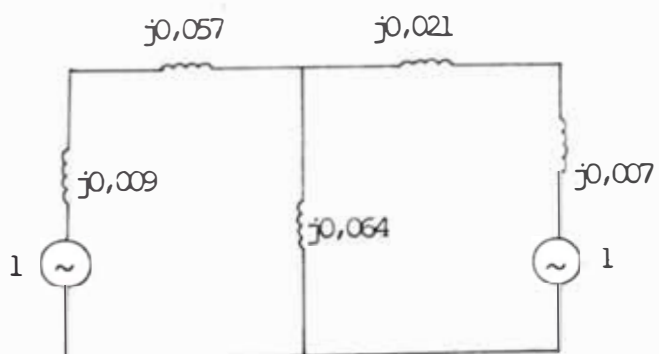
$$X(2) = 0,075$$

$$X(0) = 0,035$$

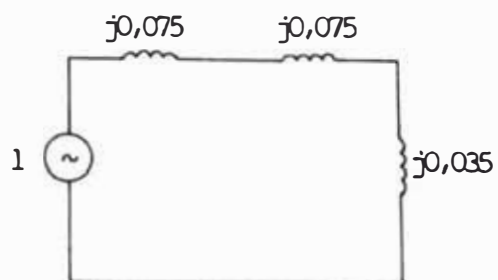
Secuencia positiva y negativa.



Secuencia cero



Resultando.



Luego:

$$I_{cc} = \frac{3}{0,075+0,075+0,035} \times 404 \text{ kA} = 6,5 \text{ kA}$$

La corriente monofásica a tierra es 6,5 kA.

d) Falla bifásica a tierra.

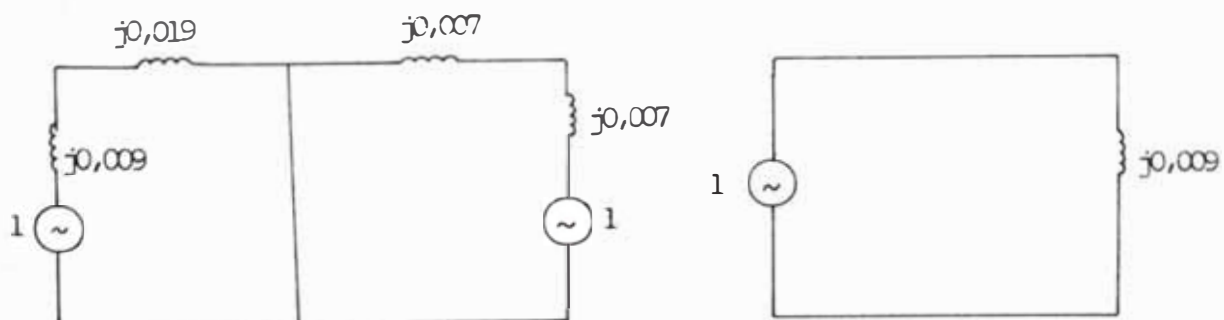
i) Cortocircuito en barra de 138 kV.

Donde:

$$X(1) = 0,009$$

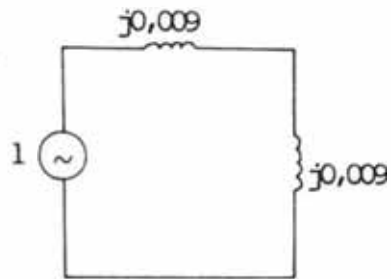
$$X(2) = 0,009$$

Secuencia positiva y negativa.





Resultando.



Luego:

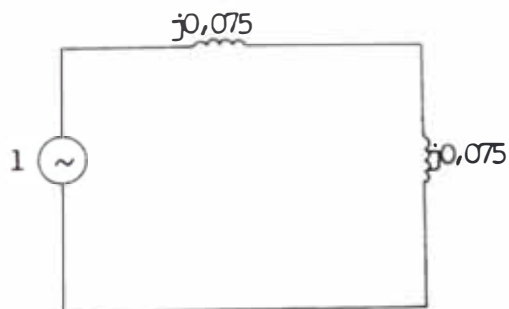
$$I_{cc} = \frac{2}{0,009+0,009} \times 29,3 \text{ kA} = 3,3 \text{ kA.}$$

La corriente de cortocircuito bifásica a tierra es 3,3 kA

ii) Cortocircuito en barra de 10 kv.

$$x(1) = 0,075$$

$$x(2) = 0,075$$



Luego:

$$I_{cc} = \frac{2}{0,075+0,075} \times 404 \text{ kA} = 5,4 \text{ kA} .$$

La corriente de cortocircuito bifásico a tierra es 5,4 kA

### 3.1.5 Valores Obtenidos

Barra	Corriente falla trifásica kA	Corriente falla monofásica kA	Corriente falla bifásica kA
138 kV	3,20	2,40	3,30
10 kV	5,40	6,50	5,40

### 3.2 Sistema de Protección

A continuación, se define el sistema de protección a utilizar en la Subestación Montalvo, tanto en 138 kV , como, en 10 kV. Asimismo, se menciona el tipo de protección que cuenta la Subestación Socabaya y el patio de llaves en Toquepala para la protección de la línea de transmisión Socabaya - Toquepala.

### 3.2.1 Subestación Montalvo

#### 3.2.1.1 Nivel de 10 kV

a) Para cada una de las salidas de 10 kV se ha previsto el empleo de relés de sobrecorriente a tiempo inverso. Dos relés para la protección contra fallas bifásicas y trifásicas; más un relé para la protección contra fallas a tierra. Este sistema conforma la protección principal de cada una de las salidas.

b) Como protección de respaldo se ha previsto un relé de sobrecarga y tres relés de sobrecorriente, alimentados por transformadores de corriente instalados en la salida de 10 kV del transformador de potencia.

#### 3.2.1.2 Nivel 138 kV

a) La protección principal del transformador antes mencionado y del cable alimentador está conformado por relés diferenciales, alimentados por transformadores de corriente instalados en 138 kV y 10 kV. La protección de respaldo está constituido por relés de sobrecorriente y sobrecorriente a tierra, alimentados por transformadores de corriente en 138 kV. Además el transformador principal cuenta con relés de gas (Bucholzt) e indicador temperatura de los bobinados y aceite.

b) El disparo de los relés de protección involucrados en los puntos (b y c) envían orden de disparo al interruptor principal en 138 kV de la S.E Montalvo. Los relés de protección de las salidas en 10 kV (párrafo a) disparan el interruptor respectivo.

### 3.2.2 Patio de Llaves Toquepala

La línea en 138 kV en el patio de llaves Toquepala, está protegida por un relé de distancia contra fallas pre-fase y fase tierra del tipo direccional como protección de respaldo cuenta con relés de sobrecorriente, adicionalmente cuenta con relés de mínima tensión; relé de máxima corriente homopolar, etc.

El disparo de los relés actúa sobre el interruptor de la línea existente en Toquepala.

### 3.2.3 Subestación Socabaya

Al igual que en el patio de llaves de Toquepala, la Subestación Socabaya cuenta con los mismos elementos de protección teniendo adicionalmente protección diferencial para el transformador en la mencionada subestación.

En los gráficos 3.1 y 3.2 se muestra el esquema y la coordinación de protección respectiva.

El esquema de la Subestación Montalvo 138 /10 kV se muestra en el plano SM - 03.

## CAPITULO 4

### DISEÑO ELECTROMECHANICO DE LA SUBESTACION

#### 4.1 Generalidades

La subestación tiene la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica (tensión y Corriente) y de proveer un medio de interconexión entre las líneas de un sistema eléctrico.

Las características de una instalación deben cumplir con las exigencias fundamentales:

a) Eficiencia en el funcionamiento; los requisitos de una instalación con relación al servicio a prestar son:

Garantizar una suficiente continuidad en el suministro de la energía.

Mantener dentro de los límites tolerables parámetros característicos de la instalación (regulación de tensión adecuada y frecuencia dentro del límite).

Estar en grado de proporcionar una protección selectiva en caso de falla, de manera que sólo quede fuera de

servicio la parte en falla.

Garantizar una protección contra los peligros de contactos accidentales de las personas con partes normalmente con tensión ó con partes aisladas, pero que pueden quedar con tensión por fallas en el aislamiento ó por otras causas.

b) Duración de la vida; es el tiempo por el cual esta en condiciones de ofrecer la eficiencia funcional, de manera que accione correctamente desde el punto de vista técnico, que el número de fallas que se presente sea el menor posible que las reparaciones no resulten costosas comparativamente con el costo del equipo o de la instalación.

#### 4.2 Cálculo de la Potencia del Transformador

En el cálculo de la potencia del transformador, se debe conocer la relación existente entre la potencia nominal del transformador y el valor de las diferentes cargas que se producen en el ciclo de trabajo de las 24 horas.

Un transformador, puede trabajar con fuertes porcentajes de sobrecarga mantenidos durante varias horas. Esto debido a la naturaleza, generalmente, variable de la carga eléctrica, a los valores variables de la temperatura ambiente, y a la naturaleza del deterioro del aislamiento por efecto térmico.

#### 4.2.1 Diagrama de Carga de la Ciudad de Moquegua

El diagrama de carga promedio anual se ha elaborado en base a los datos obtenidos en la Oficina de Estadística de la Empresa Electro Sur S.A. El mencionado diagrama incluye el consumo doméstico, comercial, alumbrado público, cargas especiales e industriales.

En el diagrama de carga se puede apreciar que la duración de la punta de la carga es una hora ( entre las 19 y 20 horas) ver gráfico 4.1

#### 4.2.2. Servicios Auxiliares

En la subestación Montalvo se define la alimentación de los servicios auxiliares desde la barra de 10 kV, mediante un transformador de relación 10/0.38-0.22 kV y con una potencia de 75 kVA . Ver cuadro 4.2.2

Considerando que en una subestación el factor de simultaneidad es muy alto ( casi 1 ), que el factor de potencia es 0,8 y , considerando futuras cargas e imprevistos, seleccionamos un transformador de fabricación normalizada de 75 KVA.

#### 4.2.3 Máxima Demanda de Potencia a Satisfacer

En el cuadro 4.1 se muestra el resumen de la proyección de



la demanda de potencia para la subestación, como se observa en dicho cuadro para el año final de estudio (2010) se tiene la máxima demanda de potencia, 8875 kVA.

#### 4.2.4 Selección del Tipo de Transformador

##### 4.2.4.1 Potencia Nominal del Transformador de Potencia

Considerando la máxima demanda a satisfacer para la ciudad de Moquegua y la potencia de servicios auxiliares; se recomienda un transformador de 7/8,5 MVA.

El transformador de potencia deberá estar previsto de un número de ventiladores necesarios, afin de que se pueda elevar la potencia a 8,5 MVA, bajo condiciones nominales de operación y sobrecarga en condiciones de emergencia, para el año 2010.

Por lo tanto, se selecciona un transformador trifásico de 7 MVA de potencia nominal, relación de transformación 138/10 kV , 60 Hz ; refrigeración con ventilación forzada para 8,5 MVA

##### 4.2.4.2 Sobrecarga del Transformador de Potencia

El procedimiento de cálculo simplificado, se basa en el uso de tablas , para determinar la capacidad de sobrecarga del transformador

Para el cálculo ,se considera el diagrama de carga del sistema ( gráfico 4.1 ), la temperatura ambiente máxima de 30 °C ;y el uso de "Loading Guide for Oil-Immersed Transformer" I.E.C. Pub.354 (1972) del diagrama de carga, el período de punta es el comprendido entre las 19 y 20 horas, el valor de la carga en este período es igual a 7,136 KW  $P(\text{punta}) = P(\text{D.C}) + P(\text{S.A})$  ).

Siguiendo con el cálculo, la carga continua equivalente en el período que precede a la punta, debe tener en cuenta las cargas de las 12 horas previas al período de punta. El valor de esta carga equivalente será:

$$P(\text{pp}) = \sqrt{\frac{1}{(19-12)} \times (7136/100)^2 \times (45,2^2 + 50,9^2 + 46,9^2 + 48,6^2 + 58,3^2 + 65,1^2 + 52,3^2 + 48^2 + 45,4^2 + 42^2 + 50,3^2 + 70,6^2)}$$

$$P(\text{pp}) = 3754 \text{ kW}$$

$P(\text{pp}) =$  Potencia previa a la punta.

Potencia del transformador,  $P(\text{nom}) = 5600 \text{ KW}$

- Punta de carga :  $\frac{P(\text{punta})}{P(\text{nom})} = \frac{7136}{5600} = 1,27 \text{ pu} = 127\%$

$$P(\text{nom}) = 5600$$

- Carga equivalente a la punta :

$$\frac{P(pp)}{P(nom)} = \frac{3754}{5600} = 0,67 \text{ pu} = 67\%$$

$$P(nom) = 5600$$

- Duración de la punta de carga : 1 hora .

Verificaremos si el transformador puede soportar la sobrecarga de punta, sin sacrificio de su vida útil.

De tablas obtenemos:

- Valor unitario de carga admisible durante 1 hora, para 10 % de carga previa, y 30 °C de temperatura ambiente-----= 1,38

-IDEM para 50% de carga previa y 30 °C de temperatura ambiente -----= 1,46

efectuando una interpolación entre los valores dados, obtenemos la carga de punta admisible en nuestro caso, correspondiente a 67 % de carga previa y a 30 °C. El resultado es :

Carga de punta admisible durante 1 hora = 1,392 = 1,39 pu  
= 139 %

Como la punta de carga del diagrama del sistema es de 127 %, se concluye que el transformador puede soportar la punta de carga sin sacrificio de su vida útil.

#### 4.2.4.3 Grupo de Conexión y Puesta a Tierra del Neutro

El grupo de conexión se elige considerando una adecuada protección contra fallas fase a tierra y que debido a instalaciones similares por esta zona cuentan con transformadores del grupo a designar.

El grupo de conexión en el lado de alta tensión será en conexión estrella con neutro a tierra y el lado de baja tensión será en conexión delta.

#### 4.2.4.4 Regulación Bajo Carga

Para un normal funcionamiento eléctrico en la ciudad de Moquegua es necesario garantizar que la tensión suministrada a los usuarios tenga pequeñas variaciones con relación a su valor nominal.

Debido a la caída de tensión a lo largo de la línea de transmisión y un transformador son función de la carga, es necesario adoptar, en el tiempo, la tensión aplicada a las líneas que salen de la subestación. Para lograr este objetivo, se recomienda que el transformador esté dotado de un cambiador de derivaciones bajo carga .

El regulador bajo carga debe estar en el lado de Alta Tensión, ya que maneja corrientes pequeñas, esto implica una regulación fina y el uso de espiras delgadas. Además no se requiere de una bobina adicional para la regulación. El regulador en el lado A.T. resulta más económico en un 8% del regulador bajo carga en el lado de baja tensión

#### 4.2.4.5 Tipo de Enfriamiento

Para la Subestación Montalvo se recomienda un transformador de potencia de dos devanados, sumergidos en aceite, prevista para circulación forzada de aire, de una potencia nominal de 7/8,5 MVA; ONAN/ONAF, de relación 138/10 kV, grupo de conexión Ynd5 y regulación bajo carga en el lado de alta tensión.

### 4.3 Etapas de Equipamiento

En el presente acápite analizaremos la posibilidad de equipamiento de la subestación Montalvo en uno ó dos etapas. En tal sentido tenemos las siguientes alternativas:

#### 4.3.1 Alternativa 1

Equipamiento de la subestación en una sola etapa, con un transformador de 7/8,5 MVA.

- Ventajas :

a) Simplicidad en la protección.

b) La flexibilidad de operación del equipamiento, conforme aumenta la carga, se basa no en el número de unidades de transformación, sino en la ejecución oportuna de los ventiladores, la cual disminuye los costos de equipamiento.

- Desventajas :

a) Si se produce una falla en el transformador, no se podrá suministrar energía al sistema.

b) Las pérdidas de potencia del transformador son altas y fijas desde el inicio de la operación.

#### 4.3.2 Alternativa 2

Equipamiento de la subestación en dos etapas, con dos transformadores de 4 MVA c/u.

- Ventajas :

a) Flexibilidad de operación .

b) Permite un equipamiento por etapas.

c) Selectividad en la protección.

d) Permite racionalizar la carga.

- Desventajas :

a) Instalación de un sistema de barras en alta tensión en la subestación.

b) Las ventajas que se obtendría, teniendo en cuenta el tipo de carga a alimentar, no compensan la instalación de los transformadores por etapas.

El transformador de 4 MVA, considerando la sobrecarga del transformador, se tendría que instalar en el año 1992 ya que actualmente la carga de Moquegua es de 3,5 MW.

La posibilidad de equipamiento, por etapas, sería utilizando transformadores de 2x4 MVA , pero para tensiones elevadas y pequeñas potencias resulta antieconómico la construcción del transformador.

#### 4.3.3 Comparación de las Alternativas

Para la para la comparación se considera las variantes principales de las celdas de llegada y de transformación. En la comparación técnica no se consideran los equipos comunes en ambas alternativas

Los resultados de la comparación técnica se muestra se en el el cuadro 4.3.1.

#### 4.3.4 Conclusiones

La alternativa 1, seleccionada, resulta económica y técnicamente factible. Para la selección de esta alternativa se tiene en cuenta que el segundo transformador se pondría casi de inmediato en paralelo.

Teniendo en cuenta que la subestación Alto Zapata de 4 MVA existente, queda como emergencia ante cualquier falla de la S.E. Montalvo, se superarían las desventajas de la alternativa 1.

#### 4.4 Selección del Tipo de Subestación

##### 4.4.1 Criterios para Selección del Tipo de Subestación

No es posible fijar normas definidas para la determinación del número de juego de barras y de la aparamenta de la instalación por cuanto cada caso requiere un estudio para preveer una flexibilidad y continuidad razonable en la explotación con un costo mínimo, de acuerdo a la potencia que debe suministrarse.

La selección de una subestación queda determinada por todos ó algunos de los siguientes factores:



- Importancia de la instalación ( tensión y potencia de suministro ).
- Características y ubicación del terreno.
- Importancia y continuidad del servicio.
- Facilidad de mantenimiento de los aparatos.
- Grado de seguridad para el personal.
- Posibilidades de ampliación de las instalaciones.
- Tipo de operación.
- Costos de inversión.

La subestación Montalvo, queda determinada por los siguientes factores:

a) Importancia de la instalación: la subestación Montalvo es importante, debido que alimentará de energía eléctrica integramente a los distritos de Moquegua, Samegua y Torata el primero capital de la provincia Mariscal Nieto.

Los niveles de tensión de la subestación son 138 kV en el lado de transmisión y 10 kV en el lado de baja tensión y potencia de suministro de 9,0 MVA para el último ano de estudio.

b) Características y ubicación del terreno: se encuentra ubicada a 1,300 m.s.n.m aproximadamente a 4 km de la ciudad de Moquegua que es un lugar de fácil acceso, mediante la carretera Panamericana Sur, el emplazamiento físico es estable, en terrenos eriazos.

Se ha seleccionado este lugar por estar en la trayectoria de la línea Socabaya- Toquepala, en 138 kV y es el lugar más cercano a la ciudad de Moquegua.

Se considera una subestación tipo intemperie, porque el terreno es barato y el área disponible para la construcción de la subestación es la adecuada.

El equipamiento en 138 kV estará ubicado al exterior y los equipos en 10 kV, control; comunicaciones y baterías en un edificio de control.

De acuerdo a esta forma de disposición; la llegada a 138 kV será del tipo aéreo y las salidas en 10 kV subterráneo la decisión de efectuar la disposición de la zona de 10 kV subterráneo, se tomó consideraciones, que el nivel de aislamiento para la altura en que se encuentra la localidad de Moquegua representa un nivel de 12 kV, la cual implica que este tipo de instalación al interior sea en un edificio con dimensiones pequeñas.

c) Importancia y continuidad de servicio: la importancia de servicio está dado en relación a la prevención de fallas, debido a que se trata de encontrar una solución óptima entre la confiabilidad y la economía.

Para la subestación Montalvo se ha previsto la alimentación tanto de la S.E. Socabaya, como de Toquepala

en caso de emergencia en tal sentido si por motivos de operación ó mantenimiento la S.E. Socabaya no suministra energía, se abre los seccionadores de línea en la S.E. Montalvo de tal manera que se pueda alimentar directamente de Toquepala igual se procedería si hubiese fallas en la S.E. Toquepala de esta manera se garantiza la continuidad del servicio para la ciudad de Moquegua.

d) Facilidad de mantenimiento de los aparatos: un sistema eléctrico requiere de un normal mantenimiento, con períodos de tiempo previamente establecidos, los relés deben ser probados, los interruptores verificados en su funcionamiento, los contactos de los interruptores y cuchillas limpias, los conductores y aisladores inspeccionados de posibles fallas estructurales y/o daños por calentamiento ó contaminación.

e) Grado de seguridad para el personal: bajo condiciones de falla, la circulación de corriente por tierra origina un gradiente de potencial dentro y alrededor de una subestación, que en situaciones adversas puede peligrar la vida de la persona.

Un buen diseño de una red de puesta a tierra limita al máximo la diferencia de potencial entre los puntos accesibles separados por la distancia de un paso (tensión de paso) y entre el punto de tierra y cualquier otro punto que pudiera ser tocado (tensión de toque).

f) Posibilidades de ampliación de las instalaciones, en el suministro de la energía eléctrica, otro aspecto importante es proveer espacio suficiente para ampliaciones adicionales en la subestación, capacidad de reserva en los transformadores y espacio necesario para circuitos de control adicional.

En la Subestación Montalvo se debe tener en consideración para una posible ampliación de las instalaciones lo siguiente:

i) La línea de transmisión Socabaya- Toquepala está diseñado para doble terna en 138 kV.

El problema principal es que la Central Charcani V no puede generar el 100 % de su potencia por falta de agua.

ii) La instalación de otro transformador en paralelo si se instala un banco de condensadores en el lado de 10 kV se conseguiría una mayor utilización de la línea en 138 kV.

Dado que no se requiere de espacio para ampliación, se recomienda tener un espacio disponible para la maestranza y depósito de la zona.

g) Tipo de operación, será permanentemente atendido por un personal capacitado, para casos de reposición de

servicio y mantenimiento.

La operación de la protección en caso de falla es automática e instantánea.

h) Costo de inversión, deben ser lo mínimo posible, donde se consideran costos directos e indirectos que deben efectuarse hasta que la subestación se liquide como obra.

Para la subestación Montalvo se tiene en cuenta:

La economía en el equipo, el número de componentes básicos, tales como interruptores, transformadores de medida, aisladores, etc, son fijos para el arreglo seleccionado. El costo relativo del equipo principal y de las obras civiles crecen casi linealmente con la tensión de servicio.

La mayoría de componentes están montados sobre bases ó estructuras metálicas. El costo de estructuras de soporte, pórtico, etc, aumenta en función cuadrática de la tensión.

i) Conclusiones, de acuerdo al análisis de los criterios para la selección del tipo de subestación se concluye:

Para la tensión (138 y 10 kV) y potencia (7/8,5 MVA) , se recomienda una instalación simple y económica.

De acuerdo a la zona de ubicación y al área disponible la subestación será del tipo intemperie, donde la llegada en 138 kV y la salida en 10 kV, serán aéreo y subterráneo respectivamente.

Disponibilidad de espacio para maestranza y depósito.

#### 4.4.2 Esquema de Conexión de la Subestación

Las configuraciones típicas de barras varían dependiendo de los tipos y voltajes de la subestación.

Para la selección del esquema de conexión de la subestación se ha considerado un juego de barras y de barras principal y transferencia.

##### 4.4.2.1 Esquema de un Juego de Barras

Consiste en una barra principal, que se encuentra energizada en todo momento y todos los circuitos son conectados a la barra.

Esta disposición es la más simple.

- Ventajas:

- a) Instalación simple y de fácil operación.
- b) Complicación mínima en las conexiones en los equipos y

del esquema de protección.

- c) Se requiere de un área pequeña.
- d) Costo reducido.

- Desventajas:

- a) Mínima seguridad.
- b) Una falla en el interruptor ó en la barra interrumpe totalmente el suministro de energía.
- c) El mantenimiento del interruptor elimina del servicio la salida asociada.
- d) Es imposible ampliar la subestación sin ponerlo, fuera de servicio.

#### 4.4.2.2 Esquema de Barras principal y transferencia

Consiste en dos (2) barras independientes, la barra principal que normalmente está energizada y la barra de transferencia que sirve para efectuar la división del servicio sin tener que interrumpirlo. El enlace de barras se realiza por medio de interruptores de acoplamiento.

Bajo condiciones normales de operación, todos los circuitos de entrada y salida son alimentados de la barra principal.

- Ventajas :

- a) Permite el mantenimiento de cualquier interruptor mientras se mantiene el servicio.
- b) La revisión de las barras ó de los seccionadores de barras pueden efectuarse sin retirar el servicio, transfiriendo las líneas de una barra a la otra.
- c) Mayor flexibilidad del servicio.

- Desventajas:

- a) Si se produce una falla en el interruptor ó una falla en barras el sistema sale del servicio.
- b) Requiere de un interruptor adicional para la barra de transferencia.
- c) La operación con la barra de transferencia es a su vez peligrosa por quedar la salida sin interruptores.
- d) La inspección ó trabajo en los seccionadores obliga a dejar fuera de servicio la barra correspondiente.

#### 4.4.2.3 Conclusiones

La ventaja técnica que se obtendría con el esquema de



barras principal y transferencia son mínimas respecto al tipo de carga que se alimentará (mayormente uso doméstico) requiere de un área adicional para la instalación de la barra de transferencia y los seccionadores e interruptores de acoplamiento.

Si se produce una falla en la barra principal, queda completamente interrumpido el suministro de energía en todo el sistema eléctrico.

Las fallas en la barra se eliminan con barras seccionadas, que dejan fuera de servicio únicamente la salida de la sección averiada; la desventaja, no puede transferir una salida de una sección a la otra. No se ha considerado como alternativa de comparación debido a la no elasticidad de servicio y a la inversión adicional que se tendría que hacer.

#### Costo Relativo del Esquema de Comparación

Esquema de conexión	Costo comparación
- Barra simple .....	100 %
- Barra seccionada .....	122 %
- Barra principal y transferencia .....	143 %

Se concluye que resulta técnicamente aceptable y económicamente factible, el tipo de subestación con un juego de barra simples tanto en la llegada de 138 kV como las salidas en 10 kV.

SOBRECARGA DE TRANSFORMADORES

sin exceder la temperatura nominal de los bobinados  
Carga previa al pico

Tiempo de en horas	50%					70%					90%							
	Temperatura ambiente máxima					Temperatura ambiente máxima					Temperatura ambiente máxima							
	0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50
1/2	2.00	1.99	1.83	1.64	1.46	1.25	2.00	1.88	1.71	1.52	1.32	1.10	1.92	1.75	1.56	1.34	1.12	*
1	1.89	1.75	1.61	1.46	1.30	1.12	1.82	1.68	1.54	1.38	1.20	1.02	1.74	1.58	1.43	1.26	1.08	*
2	1.64	1.52	1.41	1.28	1.15	1.00	1.60	1.49	1.37	1.24	1.10	0.95	1.56	1.44	1.31	1.18	1.04	*
4	1.46	1.37	1.27	1.16	1.04	0.90	1.45	1.36	1.25	1.14	1.02	0.88	1.44	1.34	1.25	1.12	1.01	*
8	1.40	1.30	1.21	1.11	1.01	0.86	1.40	1.30	1.21	1.11	1.01	0.86	1.40	1.30	1.21	1.11	1.01	*
24	1.38	1.28	1.20	1.10	1.00	0.84	1.38	1.28	1.20	1.10	1.00	0.84	1.38	1.28	1.20	1.10	1.00	*

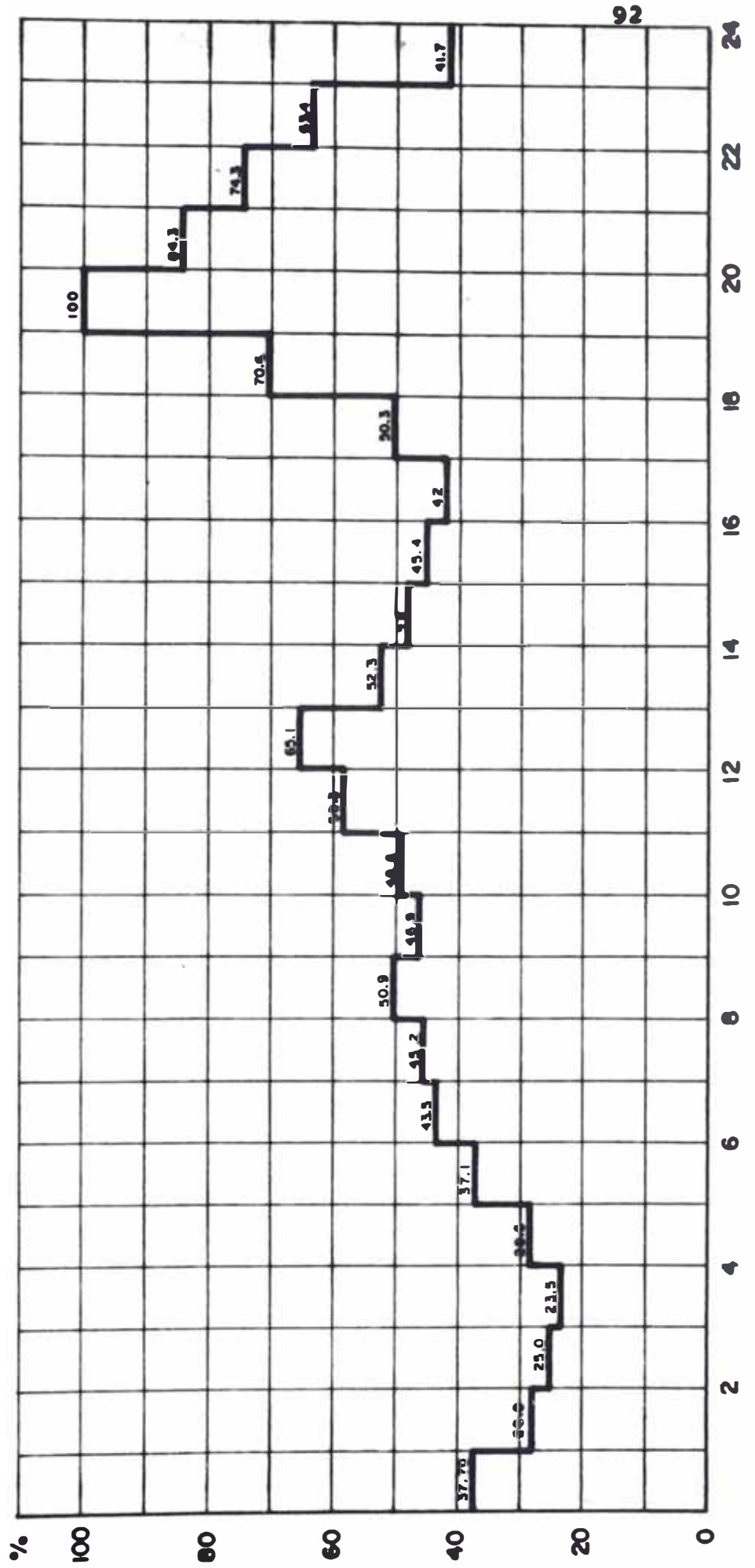
Sobrecarga

Tiempo de Sobrecarga en horas	50%					70%					90%							
	Temperatura ambiente máxima					Temperatura ambiente máxima					Temperatura ambiente máxima							
	0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50
1/2	2.00	2.00	1.96	1.79	1.62	1.43	2.00	2.00	1.85	1.68	1.49	1.29	2.00	1.88	1.71	1.52	1.32	1.09
1	1.98	1.86	1.72	1.58	1.44	1.28	1.92	1.79	1.65	1.50	1.35	1.18	1.84	1.70	1.56	1.40	1.23	1.05
2	1.72	1.61	1.50	1.38	1.26	1.13	1.69	1.58	1.46	1.34	1.22	1.08	1.65	1.53	1.41	1.28	1.16	1.02
4	1.52	1.44	1.34	1.24	1.14	1.03	1.52	1.41	1.33	1.22	1.12	1.01	1.50	1.42	1.32	1.22	1.11	1.00
8	1.46	1.38	1.29	1.19	1.09	0.99	1.46	1.37	1.29	1.19	1.09	0.99	1.46	1.37	1.29	1.19	1.09	0.99
24	1.44	1.36	1.26	1.18	1.08	0.98	1.44	1.36	1.26	1.18	1.08	0.98	1.44	1.36	1.26	1.18	1.08	0.98

# DIAGRAMA DE CARGA PROMEDIO ANUAL DE LA CIUDAD DE MOQUEGUA

M.D. 100 % < > 7100 Kw. Año 2,010

f.c. anual = 0.50



## CAPITULO 5

### ESQUEMA UNIFILAR Y DISPOSICION DE EQUIPOS

#### 5.1 Generalidades

En este capítulo se tratará todo lo relativo a la elección de los elementos que integran la Subestación Montalvo, de la forma de efectuar entre ellos las diversas conexiones y de los disposiciones convenientes para su instalación a la intemperie. Comprende los siguientes aspectos principales:

- Establecimiento del esquema de conexiones, con la selección previa de los aparatos constituyentes de la instalación.
  
- Disposición de los aparatos en los edificios construídos a tal objeto (instalaciones interiores).
  
- Disposición de los equipos de alta tensión a la intemperie (patio de llaves).

El objetivo básico en el estudio de la disposición de los elementos componentes de la subestación a la intemperie consiste en obtener un arreglo que satisfaga las siguientes condiciones elementales :

- a) Que la instalación presente una disposición, la más clara y despejada posible afín de visualizar rápidamente los circuitos que están bajo tensión.
- b) Que la solución adoptada ocupe un área reducida de terreno y que permita su fácil ampliación con la mínima interrupción del servicio.
- c) Que todos los aparatos estén bien dispuestos de manera que permitan un fácil acceso para su revisión y mantenimiento.
- d) Que el costo de inversión sea el mínimo dentro de las posibilidades que ofrezca el esquema de principio adoptado asegurando a su vez continuidad del servicio.

## 5.2 Esquema Unifilar

Con la información preliminar como son : etapas de equipamiento, operación de la subestación, reconocimiento de la zona, levantamientos topográficos y otros que sean necesarios, y con un adecuado conocimiento de las ventajas del equipo a emplear. Se ha confeccionado el esquema unifilar de la Subestación Montalvo, siendo uno de los planos fundamentales tanto para la preparación del proyecto como para el conocimiento básico de la instalación por parte del personal de operación.

De acuerdo al tipo de subestación definida en el capítulo anterior, se ha elaborado el diagrama unifilar de la subestación Montalvo 138/10 kV, según se muestra en el plano SM 03 y que comprende los siguientes componentes :

- a) Equipo de maniobra, compuesto principalmente por los interruptores de potencia y seccionadores.
- b) Transformadores de potencia.
- c) Transformadores de medida, compuestos por los transformadores de corriente y transformadores de tensión.
- d) Aparatos de protección.
- e) Aparatos de medición.
- f) Servicios auxiliares.
- g) Sistema de barras.

No habiendo normas definidas para la determinación del número y disposición de las conexiones de las subestaciones al sistema eléctrico del cuál forman parte, ya que cada caso requiere un estudio adecuado para proveer las barras, equipos, etc., de tal forma que se obtenga la flexibilidad en el funcionamiento y la continuidad en el servicio, con gastos mínimos de instalación y de

mantenimiento.

Sin embargo, se puede dividir los circuitos de la subestación Montalvo en dos grandes grupos :

- Circuitos principales
- Circuitos auxiliares

Los circuitos principales son los que se disponen para la distribución y transformación de la corriente eléctrica que debe suministrarse a los consumidores de la ciudad de Moquegua, es decir estos circuitos están en dependencia inmediata con la producción de la corriente en la Central Hidráulica Charcani V.

Los circuitos auxiliares se emplean para la vigilancia y control de la instalación, es decir para los dispositivos de mando, maniobra, medición y aviso que se precisan en la subestación para un correcto funcionamiento de ésta.

### 5.3 Disposición de Equipos

La subestación Montalvo tiene 67 metros de largo por 50 metros de ancho con un área total de 3350 m<sup>2</sup>, en dicha área se ha distribuido los diferentes componentes de la subestación, de acuerdo a su función, respetando reglas definidas de separación espacial y conectados eléctricamente de acuerdo a lo indicado en el esquema



unifilar, que constituye el plano base de la subestación.

El equipamiento en 138 kV está ubicado al exterior y los equipos de control, comunicación y baterías y equipos en 10 kV en un pequeño edificio. La disposición de la subestación Montalvo tipo aérea, implica la construcción de dos pórticos auxiliares entre las torres 129 y 130 de la línea de transmisión Socabaya - Toquepala en 138 kV existente, según se muestra en el plano SM-04 "Dispositivos de equipos - planta y cortes". Los pórticos auxiliares son de 13 m. de alto y 12 m. de ancho y sirve para convertir horizontal la disposición de la línea en 138 kV ya que la línea existente tiene disposición vertical.

En el edificio de control se ha proyectado ambientes para la sala de control, sala de baterías, oficina, servicios auxiliares y sala de celdas en 10 kV. Las dimensiones se muestran en el plano SM-05.

La alimentación a la ciudad de Moquegua se hará en 10 kV mediante cuatro circuitos principales, quedando como reserva tres celdas para futuras ampliaciones.

### 5.3.1 Distancias Mínimas de Seguridad

En el diseño de las instalaciones de la subestación Montalvo se han tomado en consideración criterios de

protección y seguridad, tanto para las personas como para los equipos.

Las distancias y alturas mínimas de partes activas entre sí y contra partes puestas a tierra, según normas DIN 557101 / VDE 0101 son las siguientes :

Tensión nominal	Tensión Máx. del Equipo	Distancia Mín. fase - fase fase - tierra	Altura Mín.
VN kV	VM kV	mm.	mm.
10	12	150	4 900
110	123	1 100	5 700
150	170	1 550	7 050

Estas dimensiones son válidas para una altura de 1 000 m.s.n.m., como la tensión de 138 kV no está normalizada por las normas DIN - VDE y haciendo una corrección por altura para 1300 m.s.n.m., tomaremos como referencia los valores correspondientes a la tensión nominal de 150 kV.

El borde superior de un zócalo puesto a tierra de un aislador debe situarse a una altura mínima de 2300 mm., sobre áreas accesibles, caso de que no hubiera

dispositivo de protección . En caso que se ponga dispositivos de protección (rejillas) la altura mínima debe ser de 1 800 mm., y la distancia de la rejilla al equipo debe ser de 1750 mm.

El ancho mínimo de vías dentro de las instalaciones exteriores es de 1000 mm.

Para la subestación Montalvo se ha considerado una distancia fase - fase y fase - tierra de 3000 mm., por razones de seguridad y facilidad de maniobra y mantenimiento de los equipos en 138 kV.

### 5.3.2 Selección de Equipo

Para la selección de equipos tanto en la zona de 138 kV, 10 kV y servicios auxiliares, se ha tenido en cuenta diferentes aspectos técnicos, así como valores nominales de los equipos como son :

- Las tensiones nominales de sus circuitos principales y eventualmente de sus circuitos auxiliares.
  
- Los servicios nominales de corriente y las corrientes nominales correspondientes de sus circuitos principales.

### 5.3.2.1 Equipo en la Zona de 138 kV

Para la zona en 138 kV se ha seleccionado el siguiente equipo :

- 02 Seccionadores de línea 145 kV, 1250 A
- 01 Seccionador de línea con cuchilla de puesta a tierra  
145 kV, 800 A
- 07 Transformadores de tensión capacitivo.  
 $138/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}$  kV
- 03 Pararrayos 120 kV.
- 04 Bobinas de bloqueo 0.2 mH de la trampa de onda.
- 01 Interruptor de potencia automática 145 kV , 1250 A.
- Gb Material de conexionado (conectores, terminales,  
aisladores, etc.).

### 5.3.2.2 Equipo en la Zona del Transformador 138/10 kV

Primera etapa, 01 transformador de potencia trifásico de dos devanados, sumergidos en aceite, relación de transformación 138/10 kV, 7/8,5 MVA - ONAN/ONAF, grupo de grupo de conexión Ynd5 con 2 transformadores de corriente incorporado en los pasatapas.

### 5.3.2.3 Equipo en la Zona de 10 kV

En la zona de 10 kV se tiene las siguientes celdas con sus respectivos equipos :

a) 1 celda de llegada del transformador de potencia de 7/8,5 MVA con los siguientes equipos :

- 01 Interruptor extraíble de 12 kV, 2 500 A
- 03 Transformadores de corriente 145 kV, 300-600-1200/5/5A
- 03 Barras con aisladores portabarras para 12 kV.
- 01 Soporte(tres) y caja terminal tripolar, 12 kV, para cable seo de 300 mm<sup>2</sup>.

Además se instalarán los siguientes aparatos :

Medidores de energía activa y reactiva, vatímetro, cosfímetro, varímetro y un amperímetro, con conmutadores y señalización .

b) 4 celdas de salida para alimentar a la ciudad de Moquegua.

- 01 Interruptor extraíble de 12 kV, 630 A.
- 03 Transformadores de corriente 100/200/5/5A .
- 01 Transformador de corriente tipo toroidal 100/5 A .
- Barras y aisladores portabarras de 12 kV.
- 02 relé de sobrecorriente 50/51
- 01 relé direccional de puesta a tierra.
- Medidor de energía activa, vatímetro, amperímetro voltímetro con conmutadores y señalización.

c) 1 celda de protección para el transformador de

servicios auxiliares y transformador de tensión.

01 Seccionador fusible de potencia, tripolar, 12 kV

03 Transformadores de tensión fase-tierra, tipo inductivo  
 $10/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}$  kV

Barras de cobre y aisladores, portabarras para 12 kV.

01 Voltímetro indicador con conmutador.

01 Relé contra fallas a tierra (64).

d) 3 celdas de salidas (reserva).

#### 5.3.2.4 Zona de Control y Servicios Auxiliares

Para la zona de control y servicios auxiliares se ha seleccionado las siguientes celdas con sus respectivos equipos :

1 celda de protección para el transformador de potencia.

1 celda para supervisión y mando.

1 celda de alimentación de C.A. (380 - 220 V, 60 Hz).

1 celda de distribución de C.A. (380 - 220 V, 60 Hz).

1 celda de distribución de C.C. (48 V).

1 celda de distribución de C.C. (220 V).

1 juego de baterías 48 Vcc con cargador automático.

1 juego de baterías 220 Vcc con cargador automático.

- Sistema de iluminación normal y de emergencia.

- Sistema de comunicación.

- Cables de control y mando.

- Red de tierra profunda.
- Sistema de puesta a tierra superficial.

### 5.3.3 Equipo de Medida

Para poder valorar el estado de servicio de la subestación Montalvo es necesario medir, registrar, y evaluar una serie de valores tales como : intensidades, tensiones, potencia, etc., las cuales se utilizarán para los siguientes fines :

- Control de los parámetros del sistema (A, V, W, Cos  $\phi$ ).
- Estadísticos (kWh - kVArh).
- Tarificación (kWh - kVArh, máxima demanda en kW ó kVA).

La indicación se efectuará en los respectivos tableros de distribución teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se ha seleccionado el siguiente equipo de medición para la subestación Montalvo.

En la llegada de 138 kV de la subestación, se medirá tensión, corriente, potencia activa y reactiva.

La tensión se medirá a través de los transformadores de tensión capacitiva utilizada para el sistema de comunicación. Además se utilizará el sistema de telemando para la protección y control entre la subestación de Montalvo y Socabaya.

En el lado de 10 kV, a la salida del transformador de potencia, se medirá : corriente, potencia activa, máxima demanda, energía activa y reactiva, y factor de potencia.

En las salidas en 10 kV, que alimentarán a la ciudad de Moquegua se medirá corriente, potencia activa y energía activa.

#### 5.3.4 Servicios Auxiliares

El suministro de potencia en baja tensión que permita la operación de la subestación tanto en condiciones normales como en condiciones de falla, se hará mediante las instalaciones auxiliares que a continuación se describen.

##### 5.3.4.1 Servicios Auxiliares en Corriente Alterna

La alimentación a los servicios auxiliares se han definido desde las barras en 10 kV, mediante un transformador de 75 kVA de relación de transformación 10/0,38-0,23 kV. La energía será distribuida desde un tablero de distribución entre otras a las cargas de: alumbrado interior y exterior, mando motorizado de interruptores y seccionadores en 138 kV, rectificadores, temas de fuerza, etc.

En vista de la importancia de una rápida detección y señalización de falta de tensión, se utiliza para este fin



un relé de mínima tensión.

#### 5.3.4.2 Servicios Auxiliares en Corriente Continua

En lo que respecta a los servicios auxiliares en corriente continúa, se ha definido la utilización de dos bancos de baterías de 48 V y 220 V., ambos bancos trabajando en forma paralela con su respectivo rectificador - cargador el banco de 48 volts se utilizará para señalización, teléfono, radio, onda portadora, alarmas, etc. El banco de 220 V se utilizará para eliminación de emergencia tanto interior como exterior, mando 138 kV, tomas de fuerza de emergencia interior y exterior, etc., según se muestra en el plano SM-07 "Esquema Unifilar Servicios Auxiliares".

También se considera la instalación de un relé de mínima tensión para detectar la falta de tensión y señalar esta anomalía. Igualmente se instalará un dispositivo que debe detectar la puesta a tierra de uno de los polos del sistema de corriente continúa.

El cálculo de la capacidad del banco de baterías se hace en los siguientes cuadros.

Tensión	Capacidad
Continua	
22 V	100 Ah
48 V	50 Ah

### 5.3.5 Protección

Los dispositivos de protección usados para la detección de localización y eliminación de una falla, presente en los sistemas eléctricos, constituye el más conveniente en los mencionados sistemas. En tal sentido, el esquema existente para el sistema de protección del sistema de transmisión a la S.E. Montalvo, está constituido por relés de distancia a la salida de la S.E. Socabaya y Toquepala.

Para la protección de las líneas de salidas en 10 kV de la S.E. Montalvo, se ha previsto relés de sobrecorriente y como respaldo actuarán los relés de sobrecorriente de S.E. Socabaya.

El transformador, así como los cables de 10 kV serán protegidos en su conjunto por un relé diferencial.

También, se utiliza relés de mínima tensión y otros dispositivos que en su conjunto, con una coordinación adecuada, de estos relés permitiera que estos sistemas de protección, sea rápida, selectivo y confiable, al

presentarse una falla en el sistema.

En caso de presentarse una falla transitoria en el sistema de distribución, los interruptores de las salidas en 10 kV estarán con equipo de recierre trifásico de tal que no se afecte el suministro de la energía eléctrica.

### 5.3.6 Iluminación

Dentro del diseño de la subestación Montalvo se ha considerado como un aspecto importante la iluminación, tanto en los ambientes interiores como de las zonas exteriores para un fácil reconocimiento de las instalaciones, aún en casos de falta de corriente alterna.

En tal sentido para la mencionada subestación se tiene los siguientes sistemas de iluminación :

- Iluminación normal interior y exterior.
- Iluminación de emergencia interior, exterior, interior de tableros.

Los niveles de iluminación mínimas consideradas son las siguientes :

Area	Normal	Emergencia
Sala de control	400 Lx.	100 Lx.
Sala de baterias	300 Lx.	100 Lx.
Patio de llaves	30 Lx.	20 Lx.
Interior de tableros	-	100 Lx.
Parte posterior tableros	100 Lx.	50 Lx.

En la subestación se ha previsto una iluminación exterior en base de lámparas de vapor de mercurio de 125 Watt, instalador en los postes de concreto de 7 m., a lo largo del cerco perimétrico, además reflectores con lámparas de vapor de mercurio de 250 Watt, ubicados en los pórticos para iluminación normal y reflectores con lámparas incandescentes de 100 Watt para iluminación de emergencia. Para la iluminación interior se ha seleccionado lámparas fluorecentes de vapor de mercurio de 32 y 40 Watt para iluminación normal y lámparas incandescentes de 100 watts para iluminación de emergencia.

En los planos SM-9 y SM-10 , se muestra las instalaciones eléctricas interiores y exteriores de la S.E. Montalvo.

### 5.3.7 Telecomunicaciones

#### 5.3.7.1 Antecedentes

Siendo la subestación Montalvo parte de un sistema interconectado, es necesario contar con sistemas de telecontrol y telecomunicaciones, con la finalidad de tener comunicación con la S.E. Socabaya (Arequipa) y el patio de llaves en Toquepala (Tacna), relacionados con operación y mantenimiento; así como resolver asuntos administrativos relacionados con el sistema.

En la actualidad Electro Perú S.A., viene implantando un sistema de supervisión y control, básicamente, a la función SCADA, para las instalaciones del sur-oeste, con centro de operaciones en la S.E. Socabaya. El equipo para la función SCADA, ha sido encargado a la firma CGEE-ALSTHON, de Francia, la cual viene implementando equipos del sistema EPC-6200.

#### 5.3.7.2 Equipamiento del Sistema de Telecomunicaciones

a) Equipo para la transmisión de datos, en la S.E. Montalvo, se instalará una estación remoto tipo EPC-6100, para la recopilación de datos; los mismos que serán enviados a la S.E. Socabaya, para su tratamiento y integración, de esta subestación al esquema de supervisión y control de la red eléctrica.

Los valores de las medidas, señales y alarmas, serán las mismas que se incluyan en el programa de transmisión de las otras instalaciones en donde se instalen estos equipos

para compatibilizar el principio de operación de la red eléctrica.

Se están tomando provisiones para un futuro telemando desde S.E. Socabaya.

b) Telefonía, para coordinar las operaciones se dotará a la S.E. Montalvo de un anexo telefónico, desde la Central Telefónica, CT 700, instalada en Socabaya, mediante equipos apropiados de "abonados distantes" ; el nuevo abonado, S.E. Montalvo, tendrá todos los servicios atribuidos acualquier anexo normal, conectado a la Central Telefónica. El enlace del anexo con la Central Telefónico se llevara a cabo mediante el equipo de onda portadora.

c) Enlace de onda portadora, se materializa reconectando un equipo, actualmente instalado, en la línea Socabaya-Toquepala.

## CAPITULO 6

### DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA

#### 6.1 Introducción

En subestaciones eléctricas de alta tensión la presencia de corrientes de falla de decenas de kiloampere, no son raras, por lo que el diseño del sistema de puesta a tierra de la subestación debe hacerse con máximo cuidado.

Bajo condiciones de falla, la circulación de corrientes por tierra origina un gradiente de potencial dentro y alrededor de una subestación.

Los gradientes máximos a lo largo de la superficie de tierra pueden ser grandes, que bajo condiciones adversas, pueden peligrar la vida de una persona muy cerca.

En acción a la magnitud de los gradientes locales, otros factores influyen en el problema de seguridad. Estos incluyen tales como la duración del shock, la resistencia del cuerpo humano, las condiciones físicas del individuo y la probabilidad del contacto. Todos éstos factores son difíciles de evaluar.

Para que un accidente suceda, debe haber una coincidencia de varios factores, entre los que podemos mencionar :

a) Una falla a tierra de un valor relativamente alto en relación a la red de tierra y a la resistividad de tierra.

b) La existencia de un gran gradiente de potencial a causa de la resistividad del suelo y la desfavorable distribución de corrientes de tierra, que puede ser peligrosa en uno o más puntos.

c) La presencia de un individuo, en una posición que el cuerpo toque dos (2) puntos con diferencia de potencial elevado.

d) Ausencia de suficiente resistencia de contacto.

e) Duración de la falla y del contacto humano (duración de la circulación de corriente a través del cuerpo), por un tiempo suficiente que cause daño para un valor determinado de corriente.

El tipo de accidente mencionado es menos frecuente que otros tipos de accidentes, debido a la baja probabilidad de la coincidencia de los factores desfavorables mencionados. Sin embargo, han ocurrido muchas desgracias por la presencia de gradientes peligrosas.



## 6.2 Objetivos de la Puesta a Tierra

Los objetivos principales de una puesta a tierra son las siguientes :

a) Evitar voltajes peligrosos entre estructuras, equipos, (en general elementos "expuestos") y el terreno, durante fallas o en condiciones normales de operación.

b) Proporcionar una vía de baja impedancia de falla, lo más económico posible, a un sistema para lograr la operación rápida de los elementos de protección (relés, fusibles, etc.).

c) Conducir a tierra las corrientes provenientes de descargas atmosféricas, limitando los voltajes producidos en instalaciones eléctricas (líneas de transmisión de potencia, SS.EE., etc.), y evitando la producción de efectos secundarios, tales como arcos que conduzcan a la desconexión de circuitos. En este sentido el problema de puesta a tierra es un problema de protección contra las sobretensiones.

d) Servir como conductor de retorno a ciertas instalaciones, equipos o consumos. Por ejemplo :

- Puesta a tierra del neutro en instalaciones de distribución.

- Enrollados de transformadores de potencial.
- Circuitos de telefonía por onda portadora.
- Transmisión de potencia en corriente continua.

### 6.3 Requisitos de la Puesta a Tierra

El sistema de puesta a tierra no solo debe proveer un punto para poner a tierra los diferentes sistemas asociados a la subestación, sino que debe cumplir los requerimientos adicionales que a continuación se indican :

a) La resistencia de la malla de tierra o una "tierra remota", debe ser lo suficientemente baja como para asegurar el funcionamiento satisfactorio de los relés, cuando se presenta una falla a tierra en la subestación ó a lo largo de las líneas de transmisión conectadas a ésta.

b) Los diferentes electrodos y elementos que conforman el sistema de puesta a tierra deben ser capaces de conducir las corrientes de falla sin calentamiento tal, que en zonas específicas, este hecho pudiese dar lugar a incendios, explosiones ó un excesivo secado del suelo alrededor de conductores o electrodos enterrados.

c) La gradiente de potencial dentro y cerca de la subestación deberá ser tal que ante la ocurrencia de una falla a tierra tanto la "tensión de paso" como la "tensión de toque" se limitan a valores seguros.

d) El sistema de puesta a tierra de la subestación debe ser aislado de las tuberías de agua y servicios en general, que pudieran entrar a la subestación, de tal manera que cualquier elevación de potencial de la tierra de la subestación, no sea transferida al exterior.

e) Debe ser resistente al ataque corrosivo del terreno y atmósfera.

f) El sistema de puesta a tierra debe ser diseñado de tal manera que las partes no conductoras de los equipos eléctricos (por ejemplo : armaduras y vainas de cables de baja tensión y de control), no sean sometidas a fuertes corrientes de falla.

De todo lo que antecede se desprende que el problema de poner a tierra una subestación puede dividirse en dos partes claramente definidas a saber :

- Asegurar que el sistema de puesta a tierra sea adecuado para las "tierras remotas".

- Asegurarse que una malla de puesta a tierra de características adecuadas, se instale en toda la subestación, de tal manera que las tensiones producidas en la malla de la subestación debido al flujo de la corriente de falla no produzca diferencias de potencial que violen las condiciones c) y f) indicadas anteriormente.

## 6.4 Diferencias de Potencial Tolerables

### 6.4.1 Corriente Tolerable

Todo individuo puede soportar, sin fibrilación ventricular, corrientes determinadas por la ecuación :

$$I(k) \times t = 0,0135 \dots\dots\dots (1)$$

De donde:

$$I(k) = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots (2)$$

$I(k)$  : Corriente a través del cuerpo, en Amper.

$t$  : Tiempo de duración del shock, en segundos.

0,0135 es una constante empírica, que se puede asumir, dado que la fibrilación puede ser prevenida manteniendo la watts-segundos totales de energía absorbida en el cuerpo debajo del valor mencionado (en un rango 0,03 a 3,0 s).

### 6.4.2 Tensión de Paso

Es la diferencia de potencial máxima entre dos puntos sobre el terreno separados entre sí a una distancia de un

paso, en la dirección de máxima gradiente de potencial, esta tensión de paso se refiere a un metro de longitud de paso para el hombre y 1,5 metros para los animales domésticos. La tensión de paso puede alcanzar valores peligrosos en determinadas circunstancias, sobre todo si la toma de tierra no es suficientemente profunda; el peligro es mayor para los animales domésticos por que la mayor separación entre las extremidades sirve de puente para mayores tensiones y, además por su constitución anatómica, el corazón se encuentra en la trayectoria de la corriente.

Si se quiere evitar los peligros de la tensión de paso habrá que enterrar la toma de tierra muy profundamente o recurrir a las "Tomas de Tierra de Mando", que están constituidas por bucles concéntricos, tomas de tierra en forma de estrella, tomas de tierra de la red estrellada en bucle, o tomas de tierra de red en malla.

Para cálculos que siguen, se ha estimado un valor de 1000 Ohm, para la resistencia de las manos a ambos pies y también para la resistencia de un pie hacia el otro.

Por consiguiente, la máxima tensión de paso permisible sería :

$$E(\text{paso}) = \frac{165 + \rho s}{t}$$

$\rho_s$  : resistividad superficial del terreno

t : tiempo de apertura de los relés

#### 6.4.3 Tensión de Toque

Es la diferencia de potencial máxima entre una estructura u objeto metálico puesto a tierra y un punto sobre la superficie del terreno a una distancia horizontal de un metro. La máxima tensión de toque permisible será:

$$E(\text{toque}) = \rho_t \sqrt{0,027/t}$$

$$\rho_t = \rho_h + 1,5\rho_s$$

Donde :

$\rho_h$  : resistividad promedio del hombre entre ambos pies

$\rho_s$  : resistividad superficial del terreno

#### 6.5 Resistividad del Terreno

El conocimiento, lo más exacto, de las características eléctricas de un terreno es de importancia fundamental para un proyecto exitoso de una puesta a tierra.

No se pueden dar valores generales a cerca de la resistividad del terreno, por que éste varía grandemente de lugar en lugar. Lo más recomendable es efectuar mediciones directamente en el lugar donde será construída la subestación y hallar un valor ponderado de la resistividad.

Un proyecto realizado con valores errados de resistividad puede resultar subdimensionado y, por lo tanto, deficiente desde el punto de vista de la seguridad y el servicio, o sobredimensionado, lo que significa gastos innecesarios. En vista de lo anterior se juzga necesario abordar el problema de medición de resistividad de suelos con cierta profundidad; de manera que el proyectista de instalaciones a tierra obtenga de sus mediciones en terreno conclusiones válidas dentro de un límite aceptable de aproximación.

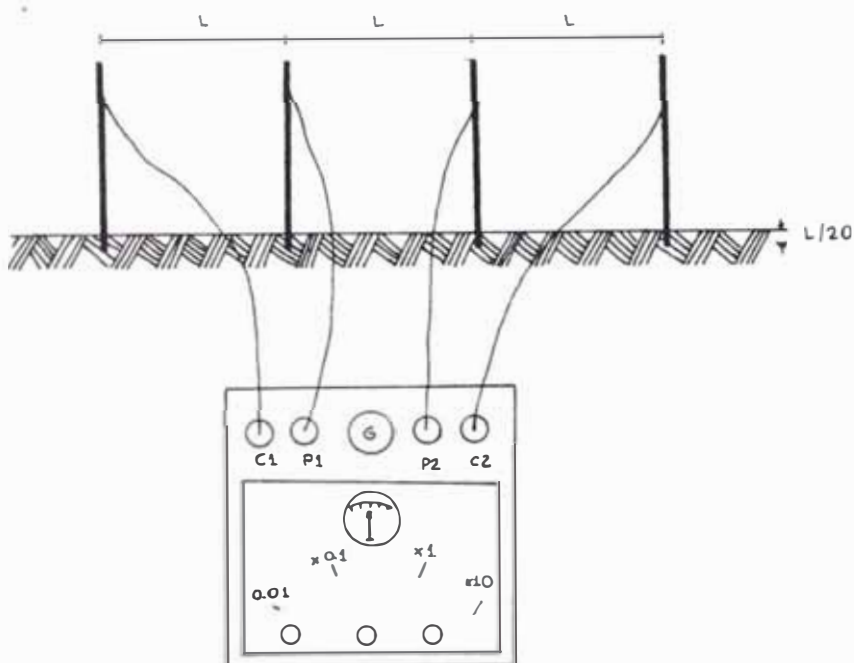
#### 6.5.1 Medición de la Resistividad del Terreno

Con la finalidad de diseñar la red de tierra profunda para la subestación Montalvo, se ha realizado mediciones de la resistividad del terreno, empleandose el método de Wenner que utiliza 4 electrodos y consiste en inyectar al terreno una corriente mediante un par de ellos y medir la diferencia de potencial entre los otros dos.

La corriente inyectada puede ser corriente continua ó corriente alterna de baja frecuencia por razones de

acoplamiento entre conductores.

Para efectuar la medición se varia la distancia entre electrodos para 3, 6 y 10 m., y en otras mediciones 6 y 10 m., siempre teniendo en cuenta que la profundidad de inserción de las varillas sea  $3/20$ ,  $6/20$ ,  $10/20$  m., respectivamente, tal como se puede apreciar en el croquis siguiente :



El equipo empleado para la medición de la resistividad del terreno fue el siguiente :

- Equipo probador de tierra, modelo ET-3, con generador de corriente alterna incorporado.



- Dos juegos de electrodos consistente en varillas de hierro forjado de 1,50 m., de longitud por 1/2" de diámetro (4) y de 0,8 m., por 1/2" de diámetro (4)
- Cables de conexión de cobre forrado 2 AWG.

#### 6.5.1.1 Resultados Obtenidos

Como resultado de las medidas efectuadas se obtuvo 200 ohm-m para el diseño de la puesta a tierra de la subestación Montalvo.

Para la resistividad superficial  $s$ , se tiene en cuenta, la alta resistividad de la superficie inmediatamente debajo de los pies, considerandose como material el ripio o piedra chancada en la superficie.

#### 6.6 Fórmulas para el Diseño de la Red de Tierra

Se está considerando una red de tierra rectangular con  $n$  conductores enterrados a lo largo y  $m$  a lo ancho.

a) La resistencia de la malla de tierra viene dado por:

$$R = \frac{\rho}{4 r(eq)} + \frac{\rho}{L}$$

Donde :

- ρ : Resistividad promedio de la tierra, en ohm-m.
- L : Longitud total de conductor enterrado, en m.
- r(eq) : Radio equivalente del área de la malla de tierra, en m.

b) La tensión de toque viene dada por :

$$E(\text{toque}) = E(\text{malla})$$

$$E(\text{malla}) = k_m \times k_i \times P \times \frac{I_k}{L}$$

E(malla) : viene a ser la diferencia de potencial, de un conductor de la red de tierra al centro de la superficie del mallado de tierra. Esta tensión debe ser por lo menos igual a la tensión de toque definida en 6.4.3, ya que un objeto, conectado a la red de tierra puede ser tocado en esas condiciones desfavorables.

c)  $k_m$ , factor que tiene en cuenta la geometría de la red, es decir, el efecto del número  $n$ , el espaciamiento  $D$  entre conductores paralelos, el diámetro del conductor  $d$  y la profundidad  $h$  a la que se encuentra enterrado el conductor.

$$k_m = \frac{1}{2^n} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{(3)(5)(7)\dots(2n-3)}{4 \cdot 6 \cdot 8 \dots 2n-2}$$

d)  $k_i$ , es un factor que toma en cuenta la irregularidad de la distribución de los flujos de corriente en las diferentes partes de la red de tierra. Viene dado por la ecuación empírica :

$$k_i = 0,65 + 0,172 n$$

$I_k$  : máxima corriente de falla a tierra, en amper.

e) La tensión de paso viene dado :

$$E(\text{paso}) = k_s \times k_i \times \frac{I_k}{L}$$

f)  $k_s$ , es un factor que toma en cuenta la geometría de la red de tierra, en función de  $n$ , espaciamento  $D$ , y profundidad de enterramiento  $h$ .

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

g) La sección mínima del conductor de tierra viene dado por:

$$s = I_k / 1973 \sqrt{\log(T_m - T_a / 234 + t_a + 1) / 33t}$$

s : sección del conductor en mm<sup>2</sup>

T<sub>m</sub> : máxima temperatura permisible en °C

T<sub>a</sub> : temperatura ambiente en °C

t : tiempo de apertura de los relés

## 6.7 Cálculo de la Red de Tierra Profunda

En el presente acápite se realizan los cálculos justificativos del diseño de la malla de tierra de la subestación Montalvo, empleando las fórmulas recomendadas en el "Guide for Safety in Substation Grounding", IEEE std. 80 - 1976.

### 6.7.1 Valores para el Cálculo de la Red de Tierra Profunda

- Resistividad del terreno (medida).... = 200 ohm-m.
- Corriente de cortocircuito ..... I<sub>k</sub>= 6,5 kA.
- Area de la malla (66 x 48) ..... = 3168 mm<sup>2</sup>
- Radio equivalente(malla de tierra).r(eq)= 31,76
- Resistividad superficial del ripio  
   o piedra chancada ..... P<sub>s</sub>= 3000 ohm-m.
- Longitud del conductor enterrado  
   (9 x 66 + 11 x 48) ..... L= 1170 m.

- Profundidad de enterramiento .....  $h = 0,8 \text{ m.}$
- Separación entre conductores de  
la malla .....  $D = 6 \text{ m.}$
- Tiempo máximo de la eliminación  
de la falla .....  $t = 0,5 \text{ s.}$
- Conductor de la malla de cobre  
desnudo  $70 \text{ mm}^2$  .....  $d = 10,7 \text{ mm.}$

### 6.7.2 Diseño de la Malla de Tierra

a) Resistencia de la malla de tierra.

$$R = \frac{\rho}{4 r(\text{eq})}$$

$$= \frac{200}{4 \times 31,76} = 1,57 \text{ ohm.}$$

b) Tensión de paso permisible.

$$E(\text{paso}) = \frac{165 + \rho s}{\sqrt{t}} = \frac{165 + 3000}{\sqrt{0,5}} = 4 476 \text{ V}$$

c) Tensión de toque permisible.

$$E(\text{toque}) = (\rho h + 1,5 \rho s) \sqrt{0,027/t}$$

$$E(\text{toque}) = 1278 \text{ V}$$

d) Cálculo de la sección del conductor.

$$S = I_{cc} / \sqrt{1973 \log(T_m - T_a / 234 + T_a + 1) / 33t}$$

La temperatura de fundición del cobre es de 1083 °C, pero según las normas VDE indican que el valor máximo de temperatura permisible es de 200 °C por lo tanto tenemos :

$$T_m = 200 \text{ °C}$$

$$T_a = 30 \text{ °C}$$

$$t = 0,5 \text{ seg.}$$

$$s = 28,80 \text{ mm}^2$$

Por razones mecánicas y de seguridad asumimos conductor de 70 mm<sup>2</sup> (2/0 AWG) para la red de tierra profunda y 50 mm<sup>2</sup> (1/0 AWG) para la red de tierra superficial.

e) Valores de  $k_i$ ,  $k_m$  y  $k_s$ .

i) Cálculo de  $k_i$  :

$$k_i = 0,65 + 0,172 n$$

$$\text{con : } n = 11 \quad k_i = 2,542$$

Como  $k_i > 2$ , tomamos  $k_i = 2,0$

ii) Cálculo de  $k_m$  :

$$k_m = 1/2 \ln(D^2/16hd) + 1/\pi \ln[(3/4) (5/6) (7/8) (9/10) \\ (11/12) (13/14) (15/16) (17/18) (19/20) (21/22)]$$

$$k_m = 0,5399$$

iii) Cálculo de  $k_s$  :

$$k_s = 1/\pi [1/2h + 1/D+h + 1/2D + 1/3D + \dots + 1/11D]$$

$$k_s = 0,352$$

f) Tensión de paso resultante (en la malla)

$$E(\text{paso}) = k_s \times k_i \times \rho \times \frac{I_k}{L}$$

$$= 0,352 \times 2,0 \times 200 \times \frac{6500}{1170} = 783 \text{ V}$$

$$= 783 \text{ V (resultante)} < 4\,476 \text{ V (permisible)}$$

g) Tensión de toque resultante.

$$E(\text{toque}) = k_m \times k_i \times \rho \times \frac{I_k}{L}$$

$$= 0,5399 \times 2,0 \times 200 \times \frac{6500}{1170} = 1200 \text{ V}$$

$$= 1200 \text{ V (resultante)} < 1\,278 \text{ V (permisible)}$$

h) Resistencia de puesta a tierra real.

$$R = \frac{\rho}{4r(\text{eq})} + \frac{\rho}{L}$$

Reemplazando valores, se tiene  $R=1,75 \text{ Ohm}$ .

Por lo tanto la configuración de la malla de tierra para



la subestación Montalvo. Ver lámina 6.7.2 .

### 6.7.3 Conclusiones

El diseño de la malla de tierra cumple con los requerimientos de los valores máximos permisibles. Para la disposición de la malla de tierra ver plano SM-11

## CAPITULO 7

M E T R A D O Y P R E S U P U E S T O S E M O N T A L V O

=====

Rubro	D E S C R I P C I O N	Unid	Cant	P. U US\$	P.Total US\$
-------	-----------------------	------	------	--------------	-----------------

=====

OBRAS ELECTROMECHANICAS

- 1.0 Transformador de potencia trifasico, 138± 1x10 %  
10 kV, 7/8,5 MVA ONAN/ONAF, con regulacion de  
tension bajo carga, manual, con T.C incorporados  
en los bushing. U 1 300000 300000
- 2.0 Interruptor de potencia, tripolar, 145 kV, 1250 A,  
20 kA, 550 kV-BIL, incluye estructura de soporte. U 1 310000 310000
- 3.0 Seccionador tripolar, motorizado, con cuchilla de  
puesta a tierra, J145 kV, 800 A, 550 kV-BIL. U 1 53000 53000
- 4.0 Seccionador de linea, tripolar, motorizado, 145 kV  
1250 A, 550 kV -BIL. U 2 48000 96000

5.0 Transformador de tension, tipo capacitivo, nominal 138 kV, maxima 145 kV, relacion $138/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}$ 0,1/ $\sqrt{3}$ kV, 60 Hz, monofasico.	U	7	28000	196000
6.0 Pararrayos unipolares, 120 kV, para conexion fase a tierra, corriente nominal de descarga 10 kA.	U	3	5000	15000
7.0 Trampa de onda, 0,2 mH, aluminio, con sintonizador	U	4	80000	320000
8.0 Barras flexibles, cadena de aisladores y conectores para alta tension.				
8.1 Cable de aleacion de aluminio trenzado de 240 mm <sup>2</sup>	m	200	30	6000
8.2 Cadena de aisladores de suspension, 138 kV, tipo ball and socket.	U	3	1000	3000
8.3 Cadena de aisladores, tipo anclaje, 138 kV.	U	22	1000	22000
8.4 Conectores varios, para cable trenzado de aleacion de aluminio de 240 mm <sup>2</sup> .	Gbl	1	4000	4000

9.0 Red de puesta a tierra.

9.1 Red de tierra profunda, compuesta por cables de cobre desnudo de 70 mm<sup>2</sup> y cables de conexión a la red de tierra superficial.

m 1170 25 29250

9.2 Red de tierra superficial, para estructuras y equipos, compuesto por platinas de cobre de 50 mm<sup>2</sup> o 1/0 AWG.

m 400 18 7200

10.0 Celda de 10 kV, del tipo autosportada y fabricadas a base de perfiles de acero no menores de 1 1/2" x 1 1/4", con espesor no menor de 2mm

10.1 Celda de llegada del transformador equipado con:

- a) Interruptor extraíble, 10 kV, 2500 A, 500 MVA.
- b) Un juego de transformadores de corriente 300-600-1200/5/5A.
- c) barras con aisladores portabarras de 12 kV.
- d) soporte (tres) y caja terminal tripolar. 12 kV, para cable seco de 300 mm<sup>2</sup>
- e) medidores de energía eléctrica, varímetro, amperímetros con conmutadores.

U 1 75000 75000

### 10.2 Celda de salida equipada con:

- a) un interruptor extraíble, 12 kV, 630 A, 500 MVA
  - b) un juego de transformadores de corriente  
100-200/5/5 A.
  - c) un transformador de corriente toroidal 100/5 A
  - d) barras y aisladores portabarras de 12 kV.
  - e) Soporte para caja terminal de 12 kV tripolar  
para cable seco de 3 x 120 mm<sup>2</sup>.
  - f) dos reles de sobrecorriente (50/51).
  - g) un rele direccional de tierra (67N).
  - h) medidor de energía activa, vatímetro, amperímetro con conmutadores y señalización.
- U            4            70000            280000

### 10.3 Celda de protección para el transformador de servicios auxiliares y transformador de tensión.

- a) Un seccionador fusible de potencia tripolar de  
12 kV, 10A
- b) Tres (3) transformadores de tensión fase-tierra  
tipo inductivo  $10/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}/0,1/\sqrt{3}$  kV.
- c) Barras de cobre y aisladores portabarras.

- d) Soporte para tres cajas terminales 12 kv, unipolares, para cable seco de 25 mm2.
- e) Un (1) voltmetro indicador con conmutador.
- f) Un (1) rele contra fallas a tierra (64).

U 1 65000 65000

11.0 Cajas terminales de 10 kv.

- a) Caja terminal unipolar 12 kv, 300 mm2, interior U 3 600 1800
- b) Caja terminal tripolar 12 kv, 3 x 120 mm2, int. U 4 640 2560
- c) Caja terminal unipolar 12 kv, 25 mm2, interior U 3 188 564
- d) Caja terminal unipolar 12 kv, 300 mm2, exterior U 3 300 900
- e) Caja terminal tripolar 12 kv, 3 x 120 mm2, ext. U 4 820 3280
- f) Caja terminal unipolar 12 kv, 25 mm2, exterior U 3 298 894

12.0 Cables de potencia de energia electrica, 10 kv.

- a) Cable seco 1 x 300 mm2, Cu, 12 kv. m 150 160 24000
- b) Cable seco 3 x 120 mm2, Cu, 12 kv m 120 130 15600
- c) Cable seco 1 x 25 mm2, Cu, 12 kv m 50 90 4500

13.0	Transformador de servicios auxiliares, trifasico, 75 kVA, 10± 2 x 2,5%/0,40 - 0,23 kV, Dyno5.	U	1	7000	7000
14.0	Tableros de servicios auxiliares.				
14.1	Tablero de corriente alterna 380/220 ac del tipo autosoportado, con interruptores termomagneticos, del tipo extraible.	U	2	35000	70000
14.2	Tablero de corriente continua 220 V .	U	1	30000	30000
14.3	Tablero de corriente continua 48 V.	U	1	22000	22000
14.4	Panel rectificador 220 V.	U	1	34000	34000
14.5	Panel rectificador 48 V.	U	1	23000	23000
15.0	Equipos de corriente continua.				
15.1	Bateria de acumuladores del tipo plomo-acido, 220 V , 50 Ah, incluyendo fusibles, accesorios.	U	1	34000	34000
15.2	Bateria de acumuladores del tipo plomo-acido, 48 V, 200 Ah, incluyendo fusibles, accesorios.	U	1	17000	17000



16.0 Tableros y equipos de control, proteccion, medida y senalización.

16.1 Tablero de proteccion, transformador de potencia.

- a) Reles de minima tension instantaneo (27).
- b) Reles de sobrecorriente (51, 51N), lado 138 kV.
- c) Reles de sobrecorriente (51), lado 10 kV.
- d) Rele diferencial (87).
- e) Rele sobrecarga (49).

U 1 41000 41000

16.2 Tablero de supervision y mando, equipado con:

Voltmetro, amperimetro, wattimetro, varimetro y conmutadores.

U 1 7500 7500

17.0 Cables de baja tension

Cables para sistema 380/220 V alterna, 220 V, 48 V continua y cables auxiliares de medicion, senalización, alarma, etc.

Gbl 1 8000 8000

18.0 Instalaciones electricas y equipo contra incendio

18.1 Instalaciones electricas interiores.

Comprende todos los equipos de iluminacion y fuerza para sistema 380/220 V ca, 220 V cc y circuitos de comunicacion dentro del edificio de control y caseta de control.

Gbl 1 3000 3000

18.2 Instalaciones electricas exteriores.

Comprende todos los equipos de iluminacion y fuerza para el sistema de 380/220 ac, 220 cc en el patio de llaves de la subestacion.

Gbl 1 4500 4500

18.3 Equipo contra incendio.

Extintor portatil de 12 kg, polvo quimico A/B/C U 5 500 2500  
Extintor portatil de 12 kg, polvo quimico A/B/C U 1 1900 1900

19.0 Telecomunicaciones

Equipo de onda portadora conforme a especificaciones técnicas, con tablero en SE Montalvo y Socaba-ya y equipo asociado a la onda portadora.

U	1	20000	20000
---	---	-------	-------

20.0 Estructuras metalicas.

a) Portico, tipo celosia, 13 m de longitud con perfiles de acero.

Ton	4	4000	16000
-----	---	------	-------

b) Soportes para seccionadores.

Ton	1.5	4000	6000
-----	-----	------	------

c) Soportes para pararrayos.

Ton	1.5	4000	6000
-----	-----	------	------

OBRAS CIVILES

21.1 Camino de acceso (cuenta con camino de acceso)

	0	0	0
--	---	---	---

21.2 Movimientos de tierras, nivelacion del terreno,etc Gbl.

	1	2500	2500
--	---	------	------

21.3 Pistas.

m3	60	80	4800
----	----	----	------

21.4 Buzones.

U	3	500	1500
---	---	-----	------

21.5 Bases y fundaciones de equipos y porticos.

m3	40	120	4800
----	----	-----	------

21.6 Base del transformador.

m3	11	120	1320
----	----	-----	------

21.7 Cerco perimetrico con ladrillo.

m	235	50	11750
---	-----	----	-------

21.8 Porton.

U	1	1000	1000
---	---	------	------

21.9 Canaletas y ductos.

m	120	40	4800
---	-----	----	------

21.10 Caseta de control.	U	1	2500	2500
21.11 Edificio de control.	U	1	18000	18000
21.12 Instalacion de red de tierra profunda.	m	1170	20	23400
21.13 Enrripado y acabado (estimado).	Glb.	1	6000	6000
=====				
22.0 Repuestos (estimado)	Glb.	1	50000	50000
=====				
			TOTAL US\$	2238948
=====				

R E S U M E N

A	SUMINISTRO Y TRANSPORTE DE MATERIALES	2238948
B	OBRAS CIVILES	82370
C	IMPREVISTOS	100000
=====		
	COSTO DIRECTO (A+B+C)	2421318
	GASTOS GENERALES Y UTILIDAD (30%)	726395
=====		
	TOTAL	3147713

Fecha : Noviembre de 1990.

## CONCLUSIONES

1. El proyecto de tesis Subestación Eléctrica Montalvo está calculada para una tensión de 138/10 kV y una potencia de 7/8,5 MVA, la cual abastecerá a una demanda de 7,1 MW , con una población de 142218 para el año 2010.

El estudio, se realizó para proyecciones, de 1991 a 2010, el cual, ha considerado un horizonte de 20 años donde el año cero es 1990; el primer año y el último año son 1991 y 2010 respectivamente.

2. La Subestación Eléctrica Montalvo, es una alternativa de solución a la escasez de energía y potencia eléctrica de la ciudad de Moquegua, y que además, está enmarcada dentro del Plan Maestro de Electricidad.

3. El transformador de potencia está previsto para soportar una sobrecarga de 27% durante una hora y a 30 C de temperatura, sin que este presente daños. Para la cual cuenta con una refrigeración forzada como se especifica 7/8,5 MVA ONAN/ONAF.

4. Para la puesta a tierra, se ha considerado una corriente de cortocircuito de 6,5 KA. Se ha calculado una

superficie de malla de tierra de 3168 m<sup>2</sup>, con una separación, entre si, de conductores, de 6m; y dando una resistencia de puesta a tierra de 1,75 Ohm.

Las tensiones de toque es 1200 V y la tensión de paso de 783 V, están dentro de valores permisibles.

5. En este tipo de subestaciones el ahorro de espacio no es sustancial por cuanto hay mucho terreno libre ó en todo caso su costo de adquisición es muy bajo.

6. Es importante que las subestaciones se construyan cerca a la ciudad con la finalidad de tener un rápido acceso y una adecuada vigilancia .

7. El nivel de tensión 10 kV para la red primaria resulta técnica y económicamente ventajoso la cual permitirá alimentar directamente a la ciudad de Moquegua sin realizar ningun tipo de cambio en las instalaciones existentes.

8. El presupuesto de la obra asciende a 3147713 Dólares. Es responsabilidad de Eléctro Perú S.A. ejecutar la obra ya sea por financiamiento propio ó externos.

La Subestación Eléctrica Montalvo de 7/8,5 MVA tiene un costo por cada kilowatts instalado de 450 US\$/kW.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aguirre Rodriguez, José; Instalaciones Eléctricas II; 2da edición; 1978.
2. Centro Cultural "Santiago Antúnez de Mayolo" -UNI, curso corto "Diseño de Subestaciones" , 1985.
3. Linares Holguin, Jorge; curso corto de Subestaciones Eléctricas de Alta Tensión; Asociación Electrotécnica Peruana; 1982.
4. Ministerio de Energía y Minas; Código Nacional de Electricidad Tomo IV; 1978.
5. Ministerio de Energía y Minas; Normas de Conductores Eléctricos en Redes de Distribución Aérea, Norma DGE 019 CA-2/1983
6. Hornig-Schneider; Normas VDE 0100 de Protección Eléctrica; 2da edición; 1970.
7. Ras Oliva, Enrique; Transformadores de Potencia, de Medida, y de Protección; editorial Marcombo; 4ta edición.
8. Stevenson, William D.; Sistema Eléctricos de Potencia; editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana S.A., Colombia; 2da edición; 1979.
9. Zoppetti Júdez, Gaudencio; Estaciones Transformadoras y de Distribución; editorial Gustavo Gili S.A. España; 4ta edición.