



**EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL
DEL SUR S.A.**

**DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN
CATAMAYO 69/13,8 KV**

MEMORIA TÉCNICA



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. ANTECEDENTES.....	6
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	6
1.3. UBICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN CATAMAYO 69/13,8 KV.....	6
1.4. OBJETIVOS.....	7
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.5. ALCANCE DEL ESTUDIO.....	8
1.6. PRODUCTOS A ENTREGAR.....	9
2. DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN EXISTENTE.....	10
2.2. EQUIPOS PRIMARIOS QUE SE INSTALARÁN EN LA SUBESTACIÓN CATAMAYO..	12
2.3. ESTADO DE LOS EQUIPOS EXISTENTES.....	13
2.4. ESTRUCTURA METÁLICA.....	13
3. ALCANCE DE LA AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN CATAMAYO.....	14
3.1. GENERALIDADES.....	14
3.2. DEFINICIÓN DEL DIAGRAMA UNIFILAR.....	14
3.3. CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO.....	14
3.4. EQUIPAMIENTO A INSTALAR PARA CADA POSICIÓN.....	15
3.5. ESQUEMA FÍSICO DE LA SUBESTACIÓN.....	15
4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS EQUIPOS A INSTALAR.....	16
4.1. SECCIONADOR TRIPOLAR PARA 69 KV SIN CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA....	16
4.2. SECCIONADOR TRIPOLAR PARA 69 KV CON CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA...	17
4.3. INTERRUPTOR TRIPOLAR TIPO TANQUE VIVO PARA 69 KV.....	17
4.4. TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA 69 KV.....	17
4.5. PARARRAYOS TIPO SUBESTACIÓN PARA 69 KV.....	17
4.6. ESTRUCTURAS METÁLICAS.....	17
4.7. AISLADORES DE PORCELANA.....	18
4.8. TABLEROS PARA LÍNEAS A 69 KV.....	18
4.9. TABLEROS PARA SERVICIOS AUXILIARES EN AC Y DC.....	18
4.10. MATERIALES Y EQUIPOS MENORES.....	19
5. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y APANTALLAMIENTO.....	19
5.1. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA.....	19
5.2. CONFORMACIÓN DE LA MALLA DE TIERRA.....	21
5.3. APANTALLAMIENTO.....	22
6. COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO.....	23
6.1. ASPECTOS GENERALES.....	23
6.1.1. Nivel de aislamiento.....	23
6.1.2. Coordinación de aislamiento.....	23
6.1.3. Tensión nominal.....	24
6.1.4. Niveles de aislamiento normalizados.....	25



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

6.2.	CÁLCULO DE LA COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO	26
6.2.1.	Determinación de la tensión más elevada para el material Um (kVef).....	26
6.2.2.	Determinación de la tensión nominal del pararrayos (Unp).	27
6.2.3.	Determinación de la máxima corriente de descarga (Id) del pararrayos.	28
6.2.4.	Determinación del margen de protección del pararrayos.	28
6.2.5.	Selección de la distancia de fuga	29
6.3.	DISTANCIAS DE SEGURIDAD	29
6.3.1.	Distancia a tierra y entre fases	29
6.3.2.	Distancias de seguridad	30
6.3.3.	Valor básico	30
6.3.4.	Zonas de seguridad	31
6.3.5.	Circulación de personal.....	31
6.3.6.	Movimiento de vehículos.....	32
6.3.7.	Trabajo sobre equipos o conductores en ausencia de maquinaria pesada	33
7.	ESPECIFICACIONES PARA MONTAJE Y PRUEBAS DE EQUIPOS.....	34
7.1.	ESPECIFICACIONES PARA MONTAJE	34
7.2.	PRUEBAS A REALIZAR	34
8.	DISEÑOS DE AUTOMATIZACIÓN DE LA SUBESTACIÓN, COMUNICACIÓN Y PROTECCIONES	35
9.	DISEÑOS DE OBRAS CIVILES	35
10.	PRESUPUESTO REFERENCIAL Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN	35
10.1.	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	35
10.2.	PRESUPUESTO REFERENCIAL	36
10.3.	CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN.....	36
11.	ANEXOS	39



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: TENSIONES NOMINALES DE ACUERDO A IEC.....	25
TABLA 2: NIVELES DE AISLAMIENTO DE ACUERDO A NORMA IEC 60071-1	25
TABLA 3: FACTORES DE CORRECCIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO	26
TABLA 4: VALORES NORMALIZADOS PARA 69 KV.....	27
TABLA 5: TENSIÓN NOMINAL CALCULADA PARA PARARRAYOS.....	27
TABLA 6: CORRIENTE DE DESCARGA DETERMINADA PARA PARARRAYOS.....	28
TABLA 7. MÁRGENES DE PROTECCIÓN DEL PARARRAYOS.....	29
TABLA 8: DISTANCIA MÍNIMAS DE ACUERDO A NORMA IEC60071-2	30
TABLA 9: VALORES DEL PRESUPUESTO REFERENCIAL.....	36



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NO. 1: UBICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN CATAMAYO.....	7
FIGURA NO. 2 DIAGRAMA UNIFILAR – SUBESTACIÓN CATAMAYO 69/13,8 KV-15 MVA	11
FIGURA 3: NIVELES DE AISLAMIENTO.....	24
FIGURA 4: VALORES R0/X1 SEGÚN NORMA IEC.....	27
FIGURA 5: VALOR BÁSICO (B) PARA DISTANCIAS DE SEGURIDAD SEGÚN NORMA IEC ...	31
FIGURA 6: DIMENSIONES MEDIAS DE UNA PERSONA EN CONDICIONES DE TRABAJO....	31
FIGURA 7: ZONA DE SEGURIDAD PARA CIRCULACIÓN DE PERSONAL	32
FIGURA 8: ZONA DE SEGURIDAD PARA CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS	33
FIGURA 9: DISTANCIA DE SEGURIDAD PARA TRABAJOS SOBRE EQUIPOS O CONDUCTORES	34



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN Y CATAMAYO 69/13,8 KV

MEMORIA TÉCNICA

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. ANTECEDENTES

La Empresa Eléctrica Regional del Sur S. A., dentro del programa de ampliación del sistema eléctrico, tiene planificado la ampliación de la subestación Catamayo con la finalidad de interconectarse con la subestación Norte en la ciudad de Loja y una nueva salida.

La Empresa Regional del Sur se encuentra planificando la expansión de su sistema de distribución y dentro de este ámbito considera la ampliación del patio de 69 kV de la Catamayo con la finalidad de atender la demanda de energía eléctrica hasta el año 2028 en el área del proyecto.

Además, este proyecto es de importancia para mejorar el nivel de confiabilidad, calidad y continuidad de servicio, con la finalidad de garantizar el suministro de energía eléctrica en forma continua, teniendo en cuenta los incrementos de la demanda que se tendrá en el sistema.

De acuerdo a las necesidades de la EERSSA, para la subestación Catamayo se realizará la ampliación de dos bahías para líneas a 69 kV, con barra principal y barra de transferencia, de configuración similar a las bahías existentes.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La infraestructura eléctrica existente en la ciudad de Catamayo proyectada para el año 2028 debe satisfacer la demanda de energía de las subestaciones Gonzanamá, Cariamanga, Macará, Velacruz, Chaguarpamba, Catacocha, Celica y Pindal, para lo cual se considera la conexión con la subestación Norte mediante una línea que se ha programado construir. Esto origina la necesidad de ampliar el patio de 69 kV para conectar la nueva línea de subtransmisión proyectada SE Norte-SE Catamayo.

1.3. UBICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN CATAMAYO 69/13,8 KV

La subestación Catamayo en el sector km 1 1/2 de la vía a la costa en el sector Trapichillo en la ciudad de Catamayo.

EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

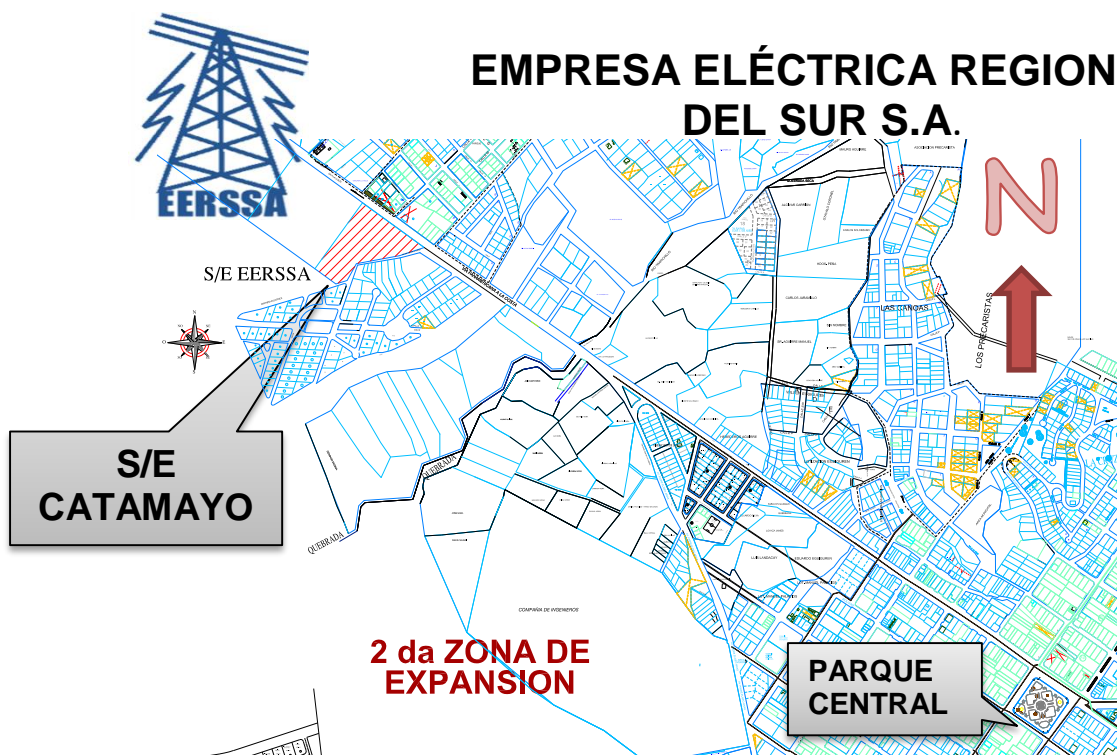


Figura No. 1: Ubicación de la subestación Catamayo
Fuente: Plano de la ciudad de Catamayo

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

De conformidad a los Términos de Referencia, el objetivo del presente trabajo de consultoría es realizar los estudios y diseños para la ampliación de la subestación Catamayo. Para el efecto, se considera ampliar dos bahías y la automatización para acoplarse a las instalaciones existentes.

Las ampliaciones de la subestación Catamayo tienen como propósito incrementar la confiabilidad, flexibilidad y continuidad del servicio, con costos de inversión óptimos que satisfagan las necesidades del sistema eléctrico de la EERSSA.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para cumplir con el objetivo general, de conformidad a los Términos de Referencia, los objetivos específicos son los que se indican a continuación.

- Obtener los estudios y diseños para la ampliación del patio de 69 kV de subestación Catamayo.
- Determinar los equipos para protecciones
- Efectuar los estudios de suelos y fundaciones de las estructuras civiles a implementar.
- Realizar el estudio electromecánico para la ampliación del patio de 69 kV.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

- Revisar la infraestructura civil y proponer las obras necesarias a considerar en el estudio (ampliación de casa comando, drenajes, trincheras, vía para circulación vehicular, etc.).
- Analizar la infraestructura eléctrica existente, sus esquemas de conexión, con el fin de determinar el equipamiento a utilizar y ampliaciones necesarias por ejecutar para una adecuada operación de subestación con sus ampliaciones.
- Revisar la malla de puesta a tierra, de ser el caso proponer modificaciones.
- Definir en coordinación con la EERSSA los equipos a proponer para el sistema SCADA.
- Obtener el Registro Ambiental.
- Solicitar se tramite la declaratoria de utilidad pública del terreno a ampliar en la subestación, de ser el caso; y,
- Elaborar las memorias técnicas y la memoria del proyecto en formato SENPLADES.

El presente estudio corresponde al diseño electromecánico, señalando que las actividades correspondientes al componente ambiental son realizadas por otro equipo de profesionales a cargo del consultor.

1.5. ALCANCE DEL ESTUDIO

De conformidad a los Términos de Referencia, el alcance del diseño electromecánico es el siguiente:

- Estudio y diseño para la ampliación del patio de 69 kV (ampliación del pórtico y barra del patio de 69 kV, equipos de protección, ampliación de malla de puesta a tierra, esquemas de conexión)
- Estudio electromecánico para la ampliación del patio de 69 kV.
- Estudio de suelos y fundaciones para estructuras civiles a implementar.
- Diseños de las obras civiles, elaboradas en base a la infraestructura civil existente.
- Diseños de las obras eléctricas, elaboradas en base a la infraestructura eléctrica existente.
- Estudio para la ampliación del sistema SCADA.
- Obtención del Registro Ambiental.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

- Memorias del proyecto y la memoria en formato SENPLADES.

1.6. PRODUCTOS A ENTREGAR

De acuerdo a los Términos de Referencia, como productos a entregar de la presente consultoría, son los que a continuación se indican.

- a. Coordination de aislamiento.
- b. Estudio geológico (mecánica de suelos requeridos para el diseño de las cimentaciones).
- c. Estudio de resistividad del terreno y diseño para la ampliación de la malla de puesta a tierra.
- d. Disposición de equips.
- e. Diseño estructural y arquitectónicos para la ampliación de la casa comando, de ser requerido.
- f. Diseños estructurales del pórtico de la ampliación del patio de 69 kV.
- g. Actualización de planos electromecánicos del patio de 69 kV de la subestación.
- h. Diagramas unifilares y trifilares de los sistemas de potencia, corriente continua y corriente alterna de la ampliación de la subestación, actualización de planos existentes.
- i. Verificar la disponibilidad de espacios en los gabinetes de las bahías de 69 kV, corriente continua y alterna, de ser el caso proponer su ampliación.
- j. Diseño en función de lo existente de trincheras para de ampliación del patio de 69 kV de la subestación, y de ser el caso recomendar su modificación de lo existente.
- k. Diseño de canales y drenajes de la ampliación del patio de 69 kV de la subestación, de ser el caso.
- l. Diseño de la ampliación de la vía de circulación para el patio de 69 kV de la subestación.
- m. Diseños de las obras civiles.
- n. Planos de detalle y constructivos de la obra civil y electromecánica.
- o. Especificaciones técnicas de todos y cada uno de los rubros que forman parte de todas las obras civiles y electromecánicas, y equipos a construir e instalar.
- p. Referente a la coordinación de protecciones, recomendar en función de lo existen el tipo de equipos a utilizar, y las protecciones requeridas para el relé seleccionado.
- q. Sistema de automatización de la subestación para su integración al sistema SCADA de la EERSSA.
- r. Listado de equipos y materiales a ser requeridos.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

- s. Deberá presentar el análisis de precios unitarios, presupuestos por rubros y global de cada subestación.
- t. Memoria técnica del diseño y planos.
- u. Memoria en formato SENPLADES.
- v. Registro Ambiental.
- w. Estudio de desagregación tecnológica.

2. DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN EXISTENTE

2.1. SUBESTACIÓN CATAMAYO

La Subestación Catamayo 69/13,8 kV es una subestación de distribución y de elevación de las Centrales térmicas Catamayo 1 y 2, de doble barra en 69kV: principal y de transferencia, con dos transformadores de 10 MVA y 5 MVA de capacidad y cuatro alimentadores primarios a 13,8 kV: El Tambo # 05-13, Malca # 05-12 y Catamayo 05-11 que salen desde las barras del patio de 13,8 kV de la subestación.

Esta subestación se alimenta de la SE Obrapía de la ciudad de Loja, con una línea de 69 kV de 16,7 km con conductor 4/0 AWG ACSR y a nivel de 13,8 kV de la Central térmica Catamayo de 2 grupos de 2,5 MW cada uno mediante dos transformadores de elevación 4,16/13,8 kV de 3,125 MVA cada uno y de la central térmica Catamayo 2 que tiene instalados 8 grupos de generación con un total de 14,41 MW instalados. Dependiendo de las condiciones del SIN, estas centrales se despachan con una potencia de 3 MW en forma eventual.

Desde la SE Catamayo a nivel de 69 kV se alimentan las SE Velacruz con una línea de 25,72 km con conductor 266,8 MCM ACSR y la SE Gonzanamá con una línea de 31,5 km 2/0 AWG ACSR.

De acuerdo con la proyección y planificación de la EERSSA, la demanda del anillo de subtransmisión a 69 kV que enlaza la subestación Catamayo para el año 2028 será de 24,5 MVA.

La ampliación de esta subestación se realizará en dos bahías de línea a 69 kV.

A continuación, se presenta la implantación general y el diagrama unifilar de la subestación Catamayo 69/13,8 kV existente.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

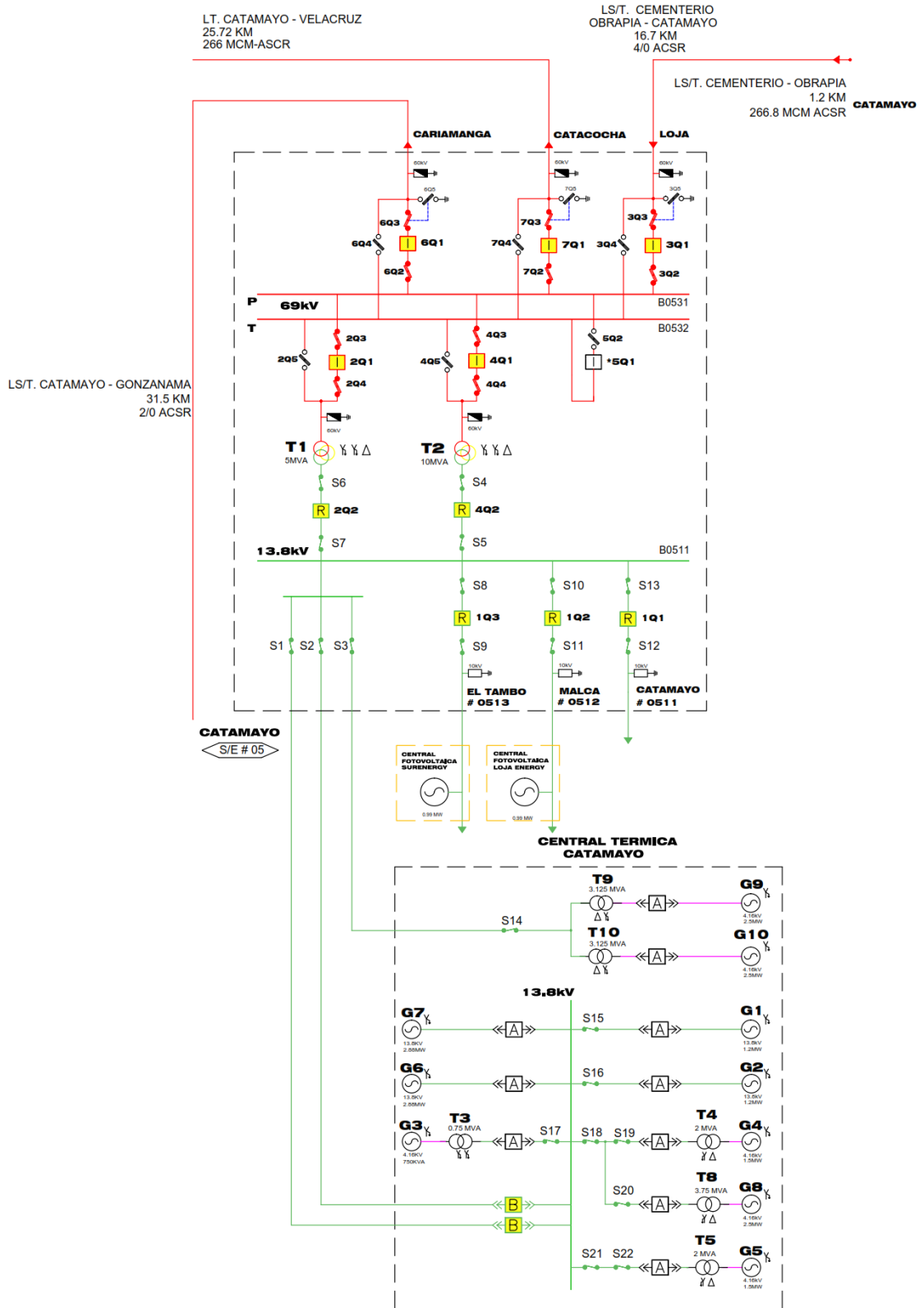


Figura No. 2 Diagrama Unifilar – Subestación Catamayo 69/13,8 kV-15 MVA
Fuente: EERSSA



Fotografía 1: Vista actual de subestación Catamayo
Fuente: Imagen tomada por el equipo técnico del consultor

2.2. EQUIPOS PRIMARIOS QUE SE INSTALARÁN EN LA SUBESTACIÓN CATAMAYO

En forma general, el diseño de la ampliación de la subestación Catamayo 69 kV se concreta en la ampliación del patio de 69 kV con dos bahías.

El cuarto de control existente se adecuará para la instalación de los tableros de control, medición y protección en alta tensión, tableros para comunicación y servicios auxiliares en AC y DC., banco de baterías, rectificador de corriente continua, etc.

Los equipos primarios en las nuevas bahías de línea de la subestación Catamayo serán los siguientes:

- Seccionadores de barra tripolar con doble apertura central.
- Interruptores tipo tanque vivo
- Transformadores de corriente para 69 KV
- Transformadores de potencial de 69 kV existentes
- Transformadores de corriente 69 kV existentes



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

- Aisladores y accesorios

2.3. ESTADO DE LOS EQUIPOS EXISTENTES

En forma general, los equipos existentes en la subestación Catamayo y su estado se indica a continuación:

Todos los seccionadores instalados en la subestación son de operación manual, montaje en piso, se encuentran en buen estado de funcionamiento y no requieren ser cambiados. En la posición de transferencia ha sido retirado un seccionador, por lo que el proyecto de ampliación considera la instalación de uno nuevo.

Para todas las bahías de 698 kV se encuentran instalados interruptores tipo tanque vivo con los respectivos transformadores de corriente, equipos que están en buen estado y que se mantendrán instalados en su misma ubicación dentro del proyecto de la ampliación proyectada.

Los transformadores de potencial, pararrayos, aisladores y accesorios se encuentran en buen estado, por lo que no requieren ser cambiados.

2.4. ESTRUCTURA METÁLICA

Las barras y equipos en el patio de 69 kV de la subestación Catamayo, se encuentran instaladas estructuras metálicas reticuladas, conformadas por columnas y vigas construidas mediante perfiles de acero galvanizado por inmersión en caliente, debidamente interconectadas mediante uniones, pernos, arandelas y piezas para fijar aisladores. Las estructuras están soportadas sobre bases de hormigón.

Durante el proceso de levantamiento de información de la infraestructura existente, se inspeccionaron en forma detallada las estructuras metálicas existentes, en donde se pudo apreciar que todas las piezas son galvanizadas por inmersión en caliente y que se mantiene en buen estado, no existen escorias ni porosidades, no se observaron puntos de oxidación, ninguna piza presenta deformaciones, la columnas están totalmente verticales, la vigas que soportan los seccionadores no presentan pandeos ni deformaciones que puedan afectar la operación de los equipos.

Todos los accesorios tales como: uniones, pernos, arandelas, mástiles, piezas para fijar aisladores, etc. Se encuentran en buen estado.

La inspección de las estructuras metálicas fue realizada por el consultor principal, conjuntamente con el personal técnico de apoyo para la ejecución del diseño.

En base a lo expuesto, no se ha previsto realizar cambios ni modificaciones a las estructuras existentes, habiendo considerado para la ampliación el diseño de estructuras metálicas similares.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

3. ALCANCE DE LA AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN CATAMAYO

3.1. GENERALIDADES

El presente trabajo de consultoría comprende la ejecución de los diseños para la ampliación de la subestación Catamayo, habiendo considerado la utilización del equipamiento existente por encontrarse en buen estado.

Para la ampliación de la subestación Catamayo, se ha diseñado de acuerdo a lo establecido en los términos de referencia y en base a las necesidades de la EERSSA en cuanto a las posiciones nuevas.

3.2. DEFINICIÓN DEL DIAGRAMA UNIFILAR

Para realizar del diseño de la subestación Catamayo, se procedió a la definición del diagrama unifilar, para lo cual tomó en cuenta la configuración existente, así como las necesidades de la EERSSA. Además, el diagrama unifilar se definió considerando el crecimiento del sistema eléctrico de la EERSSA en cuanto a las salidas de líneas de 69 kV, confiabilidad del sistema ante posibles desconexiones programadas o por fallas, teniendo como propósito la reducción de las suspensiones de servicio de energía a los usuarios.

En base a lo expuesto, se realizó el diagrama unifilar para la ampliación de la subestación, el que se indica en los planos SN-DU-01¹ y SN-DU-02 del anexo No. 11. Siendo el resumen de las posiciones las que se indican a continuación:

- Posición 2: Transformador de potencia de 10 MVA (existente)
- Posición 3: Línea a subestación Obrapía (existente)
- Posición 4: Transformador de potencia de 10 MVA (existente)
- Posición 5: Acoplamiento entre barra principal y transferencia
- Posición 6: Línea a subestación Cariamanga (existente)
- Posición 7: Línea a subestación Catacocha (existente)
- Posición 8: Línea a proyectada a subestación Norte
- Posición 9: Posición para nueva línea

3.3. CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO

Para la ampliación de la subestación se mantendrá el esquema de barra principal y barra de transferencia, debiendo indicar que el seccionador para la conexión entre el disyuntor y la barra de transferencia ha sido retirado, por lo que el diseño contempla la instalación de un nuevo seccionador motorizado, como se puede observar en los planos.

Para el cálculo de malla de puesta a tierra se tomó la máxima corriente de falla, que corresponde a 2,63 kA para falla monofásica en demanda máxima, información proporcionada por la EERSSA. En base a lo indicado, la corriente máxima de cortocircuito a considerarse para los equipos de corte y maniobra deben ser por lo menos 15 KA.

¹ Fuente de información: EERSSA y levantamiento de campo



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

Para el control, medición y protección de los nuevos equipos de patio de 69 kV, se instalarán tableros dentro de la casa de control a adecuarse. En los tableros se colocará los relés de protección (IED's), medidores multifunción y todo el equipamiento necesario para su correcto funcionamiento.

Para servicios auxiliares en corriente continua y corriente alterna se instalarán nuevos tableros y nuevo cargador de baterías, manteniendo el transformador y banco de baterías y cargador de baterías.

Dentro de las casas de control se instalarán los equipos requeridos para el sistema SCADA, comunicaciones y automatización de la subestación.

3.4. EQUIPAMIENTO A INSTALAR PARA CADA POSICIÓN

De acuerdo con el diagrama unifilar, el equipamiento que se ha proyectado instalar para la subestación Catamayo, es el que se indica a continuación. Las características, especificaciones técnicas y detalles se describirán más adelante.

Posiciones de líneas a 69 kV en subestación Catamayo

- 3 pararrayos tipo subestación de 60 kV con contador de descargas digital, montados sobre estructuras metálicas.
- 2 seccionadores tripolares de barra para montaje horizontal sobre piso, doble apertura central, motorizado, sin cuchillas de puesta a tierra, para 72,5 kV, 1200 A.
- 1 seccionador tripolar de barra para montaje horizontal sobre piso, doble apertura central, motorizado, con cuchillas de puesta a tierra, para 72,5 kV, 1200 A.
- 1 disyuntor tripolar para 69 kV (Circuit-Breaker), tipo tanque vivo, 72,5 kV, 60 Hz, 1.200 A.
- 3 transformadores de corriente con tres devanados secundarios: 2 MR 1200/5 A clase 5P20, 60 VA para protección y uno MR 1200/5 A, clase 0.2, 60 VA para medición.

Posición de acoplamiento entre barras 1 y 2 a 69 kV

- Se mantiene el equipamiento existente y se adiciona 1 seccionador tripolar de barra para montaje horizontal sobre piso, doble apertura central, motorizado, con cuchillas de puesta a tierra, para 72,5 kV, 1200 A.

3.5. ESQUEMA FÍSICO DE LA SUBESTACIÓN

En los planos adjuntos se muestra la disposición física de los equipos en el patio de 69 kV de la subestación Catamayo, ubicación de transformadores de potencia existentes y de la casas de control.

En forma general, la disposición física es la siguiente:

- 1 cuadro de estructura metálica reticulada para la barra principal y otra para la barra de transferencia; además, dos cuadros para las nuevas posiciones de líneas. Entre



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

estas estructuras se armarán los barrajes y se montarán los equipos requeridos para las dos salidas de líneas a 69 kV.

- Bases de hormigón para estructuras metálicas, interruptores, seccionadores, pararrayos y transformadores de corriente.

Casa de control

Conforme a lo indicado anteriormente, en la casa de control de cada subestación se instalarán los tableros para protección, medición y control de los equipos de los patios de 69 kV, así como los equipos para servicios auxiliares, y los equipos requeridos para comunicaciones, integración al SCADA y sistema de automatización de la subestación.

En la casa de control instalarán tableros metálicos de forma indicada en los planos, de acuerdo al siguiente detalle:

- 1 tablero para el control y protección de la línea a 69 kV hacia la S/E Norte
- 1 tablero para el control y protección de una nueva línea a 69 kV
- 1 tablero para servicios auxiliares en corriente alterna
- 1 tablero para servicios auxiliares en corriente continua

Considerando que a futuro puede ampliarse la subestación, el diseño incluye espacio en reserva para la instalación de un tablero adicional. La disposición y dimensiones son las que se indican en los planos adjuntos.

4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS EQUIPOS A INSTALAR

Las características generales de los equipos a instalar en la subestación Catamayo se describen a continuación, señalando que en el anexo No. 2 se indican con detalle las especificaciones técnicas.

4.1. SECCIONADOR TRIPOLAR PARA 69 KV SIN CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA

El seccionador será apropiado para instalación a la intemperie, de accionamiento tripolar, de tres columnas de aisladores para doble apertura central, para montaje vertical, motorizado, sin cuchillas para puesta a tierra, voltaje máximo de operación 72,5 kV, de 1200 A. Dispondrá de mecanismo motorizado para operación local y remota, con motor impulsor y elementos para mando y control a 120 Vdc.

Los seccionadores se suministrarán con los siguientes accesorios:

- Estructura metálica de soporte del seccionador, incluidos pernos de sujeción.
- Indicador de posición tipo mecánico visible desde el piso.
- Caja metálica a prueba de agua para el mecanismo eléctrico completo con grado de protección IP55.
- Dispondrá de un control y calefactor eléctrico para reducir la humedad relativa al nivel tolerado por los equipos



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

- Palanca para operación manual de emergencia.
- Seguro mecánico en la palanca de operación.
- Protección de sobrecarga del motor de operación.
- Protección contra fallas en la alimentación de voltaje al circuito de control

4.2. SECCIONADOR TRIPOLAR PARA 69 KV CON CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA

Estos seccionadores tripolares son iguales a los anteriores, pero adicionalmente tienen un juego de cuchillas para puesta a tierra. Dispondrán de un mecanismo de enclavamiento electromecánico, de forma que cuando estén conectadas las cuchillas del seccionador, resulte imposible conectar las cuchillas de puesta a tierra y viceversa, resulte imposible conectar las cuchillas del seccionador mientras estén conectadas las cuchillas de puesta a tierra, con lo que permitirá impedir cualquier falsa maniobra.

4.3. INTERRUPTOR TRIPOLAR TIPO TANQUE VIVO PARA 69 KV

El interruptor de 69 kV será trifásico, con medio de extinción en SF₆, tipo “Tanque vivo” para la subestación Catamayo, accionamiento mediante resorte cargado por motor de corriente continua; apropiado para instalación a la intemperie sobre estructura metálica auto-soportante suministrada por el fabricante

4.4. TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA 69 KV

Los transformadores de corriente serán de tres devanados secundarios, de relación múltiple 1200:5 (MR: Multi relación desde 50 amperios hasta 1200 amperios en pasos de 50 amperios), 2 secundarios para protección, clase 5P20; un devanado secundario para medición clase 0.2.

4.5. PARARRAYOS TIPO SUBESTACIÓN PARA 69 KV

Pararrayos de óxido metálico de Zn, para operación a la intemperie, construido con una envolvente de goma siliconada, constituido de resistencias de características no lineales, conectadas en serie sin explosores (gaps), para conexión entre fase y tierra, apto para protección de los equipos contra sobretensiones producidas por operaciones de maniobras y por la ocurrencia de descargas atmosféricas.

4.6. ESTRUCTURAS METÁLICAS.

El diseño de la subestación contempla estructuras metálicas para el patio de 69 kV, en los que se instalarán los seccionadores, transformadores de potencial, transformadores de corriente, pararrayos y otros equipos.

Las estructuras serán de construcción rígida, formadas por columnas y vigas debidamente interconectadas y soportadas en sus bases de hormigón de manera que no sufrirán deformaciones por aplicación de las cargas y los vientos. Deberán incluir todos los accesorios tales como: uniones, pernos, arandelas, mástiles, piezas para fijar aisladores, etc.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

4.7. AISLADORES DE PORCELANA

Aisladores de porcelana tipo suspensión

Para la sujeción de los conductores que conforman los barrajes y para las entradas de las líneas a 69 kV al pórtico de la subestación, se utilizarán cadenas de 7 aisladores de suspensión, que serán de porcelana procesada en húmedo.

Aisladores de porcelana tipo soporte

Para las conexiones entre los elementos que se deben montar en las estructuras metálicas, es necesario utilizar aisladores tipo soporte para 70 kV, que cumpla la norma IEC 273, para montaje a la intemperie.

4.8. TABLEROS PARA LÍNEAS A 69 KV

El tablero de control para las posiciones de línea a 69 kV será metálico, de dimensiones 2,10 m de alto y 0,80 m de ancho, que contendrá los siguientes elementos:

- 1 Unidad o Dispositivo Electrónico Inteligente (IED), para control, protección y monitoreo de las entradas o salidas a 69 kV.
- 1 medidor electrónico multifunción.
- Indicadores de estado y selector de apertura-cierre del interruptor de potencia.
- Selector de local y remoto para interactuar con el Sistema SCADA.
- Recibirá las señales de voltaje desde los transformadores de potencial y de los transformadores de corriente instalados en el patio de 69 kV.
- El cableado será realizado en fábrica, con fusibles de protección, relés auxiliares y luz de señalización de operación y desconexión.

4.9. TABLEROS PARA SERVICIOS AUXILIARES EN AC Y DC

Los tableros de distribución auxiliar AC y DC, se instalarán en el interior de la casa comando. Serán metálicos, auto soportados, construidos en plancha de hierro de 2 mm de espesor, mínimo, con fondo anticorrosivo y remate en esmalte secado al horno color gris.

En estos tableros se alojarán todos los elementos de distribución y protección eléctricos para dar origen a los circuitos auxiliares en corriente continua y corriente alterna. Incluyen barras de cobre, aisladores de baja tensión, barras de tierra, terminales, cables auxiliares, instrumentos y disyuntores.

Para servicios generales se instalarán los siguientes tableros:

Tablero de corriente continua, en el que alojarán los interruptores termomagnéticos de capacidades indicadas en el diagrama unifilar, un amperímetro y voltímetro digitales, de especificaciones técnicas indicadas en anexo No. 2. Este tablero será alimentado desde el banco de baterías y su correspondiente cargador.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

Tableros de corriente alterna: un tablero para servicios auxiliares, que será alimentado desde el transformador existente para servicios generales ubicado en el patio de 13.8 kV, desde el cual saldrán los circuitos hacia los equipos de patio y tableros ubicados en el interior de la casa de control.

4.10. MATERIALES Y EQUIPOS MENORES

Como complemento a los equipos, se instalarán los siguientes materiales y equipos menores:

Cables de aluminio desnudo, que serán tipo ACAR 500 MCM, a ser utilizado para las barras del patio de 69 kV y para la conexión de los equipos de potencia.

Conectores y grapas para conductores de aluminio, serán de aluminio, de calibre adecuado para conexiones de cables de aluminio tipo ACAR, calibre 500 MCM

Cables de cobre aislados para baja tensión, serán de cobre, a ser utilizados para los circuitos de servicios auxiliares y para los circuitos de protección y control.

Conductor de cobre desnudo, que se utilizará para la malla de puesta a tierra y para las conexiones a tierra de los equipos a ser instalados.

Materiales para puesta a tierra, corresponden a la suelda exotérmica, varillas coperweld, conectores y otros.

Luminarias para alumbrado interior de la casa de control, serán del tipo fluorescentes

Luminarias tipo LED para iluminación exterior

Accesorios varios.

5. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y APANTALLAMIENTO

5.1. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA

La instalación del sistema de puesta a tierra de la subestación es importante, debido a que proporciona seguridad al personal al limitar las diferencias de potencial que se puedan presentar ante la eventualidad de una falla fase a tierra, así como de proteger a los equipos y de proporcionar la referencia de potencial cero para toda la instalación.

Todas las partes metálicas de los interruptores de potencia, estructuras metálicas, transformadores de potencia, seccionadores, tableros, reconectores, transformadores de potencial, pararrayos y demás equipos, deben estar conectadas a la malla de tierra de la subestación. Debe cumplirse con la norma IEEE 80-1976, IEEE Guide for Safety in Substation Grounding.

En la actualidad existe una malla de puesta a tierra para la subestación que se encuentra en operación, construida dentro del patio actual de 69 kV y 13.8 kV, la misma que está



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

conformada mediante conductores de cobre desnudo calibre 2/0 AWG, colocados en forma paralela, sin que sea factible conocer con certeza la separación de los cables y se estima que es de 3 metros.

Durante el proceso de medición para la determinación de la resistividad del suelo, se procedió a medir la resistencia de puesta a tierra de la malla actual, habiendo obtenido el valor de 0,28 Ohmios (Ω), valor totalmente adecuado para la buena operación de los equipos instalados en la subestación.



Fotografía 2. Valor medido de resistencia de PT en SE Catamayo, 0.28 Ω

Para el incremento de las bahías a nivel de 69 kV, se hace necesario ampliar la malla de puesta a tierra, que estará conectada a la existente.

El diseño de la nueva malla de tierra de la subestación se realizó en base al plano de ubicación de los equipos y de las estructuras metálicas, para lo cual se considera el uso de cable de cobre desnudo.

El cálculo de la malla de puesta a tierra es realizado utilizando el método indicado en la norma IEEE 80-2000, considerando que el valor de la resistencia de la malla debe ser menor a 5 ohmios.

Para el cálculo de la malla de tierra, se realizaron varias mediciones de resistividad del terreno en el sitio en donde se realizarán la ampliación del patio de 69 kV, como se indica en la siguiente fotografía.



Fotografía 3: Medición de resistividad en SE Catamayo



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

En base al cálculo, se determina que la malla de puesta a tierra se debe realizar con conductor de cobre desnudo, calibre 2/0 AWG, con cables colocados en líneas paralelas a una distancia uniforme de 3 m, procurando facilitar las conexiones a tierra de todos los equipos.

El cálculo de la malla de puesta a tierra se indica en el Anexo Nro. 2 y los detalles de construcción en los planos del anexo No. 11, en donde se observa que el valor de la resistencia de puesta a tierra resulta ser de 5 Ω , pero al conectarse con la malla existente, su valor se reducirá a un valor cercano a la malla actual, es decir que será menor a 1 Ω .



Fotografía 4. Valor medido de resistencia de PT en SE Catamayo, 0.28 Ω

5.2. CONFORMACIÓN DE LA MALLA DE TIERRA

La malla de tierra será construida con electrodos o varillas cooperweld de 5/8" de diámetro y 2,40 metros de longitud. En total se utilizará 8 varillas, que deberán estar hincadas conforme se indica en los planos (ver plano SC-PT-01 del anexo 11). Estas varillas no deben ser sometidas a deformaciones en su instalación y se debe proteger su extremo para proteger de los golpes requeridos para el hincado.

El conductor a utilizar para conformar la malla será de cobre desnudo, de alta conductividad, calibre 2/0 AWG, 19 hilos, el mismo que se unirá a cada varilla de cobre, mediante soldadura exotérmica. Los moldes para soldadura exotérmica deben estar contruidos de manera precisa para la conexión que se va a realizar y para el tamaño apropiado de los conductores. Las conexiones para la construcción de la malla de tierra son: cable – cable en “cruz” (XA), cable – cable en “T” (TA) y cable – varilla cooperweld 5/8” (GT).

Los ramales chicotes que se necesiten para conectar los equipos, estructuras, etc., a la malla de tierra, serán de calibre # 2/0 AWG, debiéndose usar los terminales y conectores adecuados para cada equipo o estructura metálica, pero así mismo, se soldará cada chicote a la malla de tierra mediante soldadura exotérmica.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

Antes de realizar cualquier conexión exotérmica, las puntas, bornes o cables deberán estar limpios, secos y en condiciones apropiadas para la conexión. Toda conexión con soldadura exotérmica debe ser bien terminada; si es floja o está muy débil debe ser repetida.

Las soldaduras recomendadas serán las de marca Cadweld, Thermoweld, Rychem o similares.

La malla se deberá tender mínimo a 70 centímetros de profundidad, debiéndose hacer zanja de al menos 50 centímetros de ancho para su tendido y se rellenará las zanjas con tierra orgánica, debidamente compactada. Las varillas quedarán totalmente cubiertas por el suelo y estarán enterradas de tal forma que sobresalgan no más de 15 centímetros del nivel donde se tenderá el cable de la malla. Al término del relleno y compactación, cada cabeza de varilla quedará cubierta de por los menos 65 centímetros de tierra compactada. Para la medición del valor de la resistencia de puesta a tierra durante la etapa de operación, se consideran pozos de revisión, los que estarán ubicados como se indica en los planos.

Como se puede observar en el Anexo No. 1, el valor de la resistencia de puesta a tierra calculada es de 0,98 ohmios; sin embargo, se medirá la resistencia de la malla de tierra después de haber culminado su construcción y conectado a la malla existente con soldadura exotérmica, en caso de tener valores superiores a 5 ohmios, se deberá realizar el cambio de suelo por tierra orgánica y se colocarán productos para mejorar la resistencia de puesta a tierra tales como GEM o similares.

5.3. APANTALLAMIENTO.

Los pararrayos, normalmente, no protegen los equipos de la subestación de una descarga eléctrica directa. Por eso, es importante construir para la subestación Catamayo apantallamiento o blindaje, cuyo objetivo es proporcionar la protección adecuada a los equipos contra las descargas directas creando un nivel de potencial cero por encima de éstos.

El cable de apantallamiento estará conectado a tierra a través de los pórticos de llegada y salida de las líneas a 69 kV, formando una red que actúa como blindaje para proteger las partes vivas de la subestación de las descargas atmosféricas directas, reduciendo la probabilidad de la caída de un rayo sobre los conductores de fase. La red de cable de guarda (apantallamiento) actúa como contraparte del sistema de tierra. El apantallamiento irá colocado en la parte superior de las estructuras metálicas que conforma el cuadro del patio de 69 kV.

Las características más importantes en el desempeño del cable de apantallamiento son:

- Protege a lo largo de todo el cable,
- Tensiones mecánicas de tendido bajas que no afectan a las estructuras,
- Costo bajo,
- Aprovechan los pórticos como estructuras de soporte,
- La corriente del rayo se divide en dos direcciones con lo cual la intensidad de corriente que debe disipar cada estructura se reduce aproximadamente a la mitad,
- La impedancia característica presentada al rayo es notablemente inferior, reduciendo así la inductancia de la estructura y en consecuencia el riesgo de flameo inverso,



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

- Mejora las condiciones de la malla de tierra al disipar parte de la corriente de secuencia cero en casos de corto circuito a tierra.

Las estructuras metálicas de las líneas a 69 kV, dispondrán en su parte superior de una estructura metálica en cono, que culmina con un mástil (tubo metálico) de 1,70 m de longitud y 2 ½" de diámetro, que hace las veces de pararrayo. En la punta de la estructura se sujeta, mediante grapas de sujeción de acero, el cable de acero de 5/16" que realiza el apantallamiento integral de la subestación.

6. COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

6.1. ASPECTOS GENERALES

6.1.1. Nivel de aislamiento.

En una subestación, una vez determinada la tensión nominal de operación, se fija el nivel de aislamiento que, en forma indirecta, fija la resistencia de aislamiento que debe tener un equipo eléctrico, para soportar sobretensiones.

Las sobretensiones pueden tener procedencias diferentes:

- Externa, la debida a descargas atmosféricas (rayos); es la de mayor importancia en instalaciones eléctricas con tensiones nominales inferiores a 300 kV.
- Interna, la debida a maniobras de interruptores. Ésta es la de mayor importancia en las instalaciones eléctricas con tensiones nominales superiores a 330 kV.

El nivel de aislamiento de una subestación se fija en función de la tensión nominal de operación, de las normas correspondientes, y de los niveles de sobretensiones existentes en el sistema. Se conoce con el nombre de Nivel Básico de Impulso (NBI) y sus unidades se dan en kV.

6.1.2. Coordinación de aislamiento.

Se denomina coordinación de aislamiento de una instalación eléctrica, al ordenamiento de los niveles de aislamiento de los diferentes equipos, de tal manera que, al presentarse una onda de sobretensión, ésta se descargue a través del pararrayos, sin producir daños a los equipos adyacentes.

La coordinación de aislamiento compara las características de operación de un pararrayos, dadas por sus curvas tensión-tiempo, contra las características de respuesta del aislamiento del equipo por proteger, dadas también por sus propias curvas tensión-tiempo. Dicho de otra forma, la coordinación de aislamiento se refiere a la correlación entre los esfuerzos dieléctricos aplicados y los esfuerzos dieléctricos resistentes.

En un sistema eléctrico es muy importante coordinar los aislamientos entre todo el equipo de la instalación. Para ello se pueden considerar tres niveles de aislamiento, como se observa en la siguiente figura.

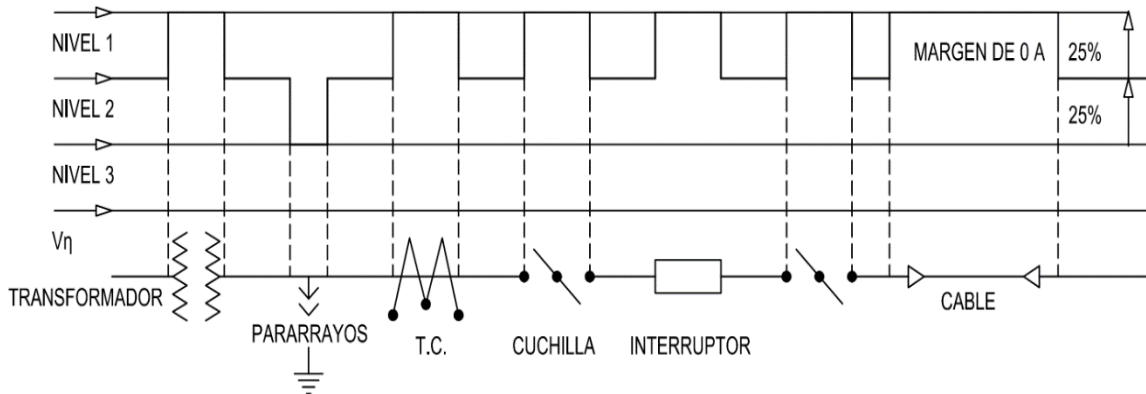


Figura 3: Niveles de aislamiento

La figura 3 muestra los tres niveles de sobretensión considerados en la coordinación de aislamiento, indicando el nivel que corresponde a cada aparato. V_n es la tensión nominal del sistema.

- Nivel 1, también llamado nivel alto. Se utiliza en los aislamientos internos, no autor recuperable (sin contacto con el aire), de aparatos como: transformadores, cables o interruptores.
- Nivel 2, también llamado nivel medio o de seguridad. Está constituido por el nivel de aislamiento auto recuperable de las partes vivas de los diferentes equipos, que están en contacto con el aire. Este nivel se adecúa de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar de la instalación y se utiliza en todos los aisladores de aparatos, barras y pasamuros de la subestación que están en contacto con el aire.
- Nivel 3, también llamado nivel bajo o de protección. Está constituido por el nivel de tensión de operación de los explosores de los pararrayos de protección.

Respecto a los intervalos entre los niveles de tensión, se considera que la diferencia entre los niveles medio y alto puede ser entre 0 y 25%. La diferencia entre los niveles medio y bajo (pararrayos) parece ser suficiente con un 15%. Sin embargo, como los pararrayos pueden estar instalados a una distancia algo mayor que la debida de los aparatos por proteger, las sobretensiones que llegan a estos aparatos pueden ser ligeramente superiores a las de operación del pararrayos. Por lo tanto, es conveniente también, fijar una diferencia de 25% entre estos dos últimos niveles.

6.1.3. Tensión nominal.

En la siguiente tabla se indican los valores normalizados de las tensiones nominales entre fases, adoptados por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

Tensiones nominales del sistema kV	Tensión máxima para el equipo kV
69	72,5
115	123
138	145
161	170
230	245
345	362
400	420
500	525
700 a 750	765

Tabla 1: Tensiones nominales de acuerdo a IEC

6.1.4. Niveles de aislamiento normalizados

De acuerdo a la norma IEC 60071-1 se tienen niveles de aislamiento normalizados fase – fase para materiales y equipos del grupo A ($3.6 \leq U_m \leq 36$ kV) y del grupo B ($52 \leq U_m \leq 245$ kV), siendo los que a continuación se indican.

Niveles de aislamiento normalizados para material del Grupo A $3.6 \leq U_m \leq 36$ kV

Tensión más elevada para el material U_m (kV ef.)	Tensión soportada nominal con impulso tipo rayo (kV cresta)	Tensión soportada nominal de corta duración de frecuencia industrial (kV f.)
3,6	40	10
7,2	60	20
12	75	28
17,5	95	38
24	125	50
36	170	70

Niveles de aislamiento normalizados para material del Grupo B: $52 \leq U_m \leq 245$ kV

Tensión más elevada para el material U_m (kV ef.)	Tensión soportada nominal con impulso tipo rayo (kV cresta)	Tensión soportada nominal de corta duración de frecuencia industrial (kV ef.)
52	250	95
72,5	325	140
123	450	185
145	550	230
170	650	275
245	750	350
	850	350
	950	395
	1050	450

Tabla 2: Niveles de aislamiento de acuerdo a norma IEC 60071-1



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

La selección de los niveles de aislamiento debe realizarse teniendo en cuenta el tipo de conexión del neutro a tierra y la existencia o no de dispositivos de protección, sus características y la distancia entre ellos y los aparatos a proteger.

El coeficiente de seguridad, que es preciso tomar entre la tensión soportada por los materiales con impulsos de tipo rayo y el nivel de protección contra sobretensiones atmosféricas de los pararrayos, debe ser mínimo de 1.2 para asegurar la correcta coordinación de aislamiento.

En base a los antes expuestos, el nivel básico de aislamiento (BIL) para sistemas de 69 kV es 350 kV cresta y para sistemas a 13.8 kV es de 95 kV cresta para aislamiento pleno. Estos niveles corresponden a los niveles normales de tensión para alturas sobre el nivel del mar iguales o menores de 1000 metros, que es la altura normalizada. Para alturas superiores se tienen factores de corrección por altitud, que se aplican a todos los aislamientos externos, es decir en contacto con el aire, de los equipos de alta tensión. El NBI de los aislamientos externos se reduce progresivamente a partir de 1000 m con factores que se indican en la siguiente tabla.

Altitud m	Factor de corrección del nivel de aislamiento
1.000	1,00
1.200	0,98
1.500	0,95
1.800	0,92
2.100	0,89
2.400	0,86
2.700	0,83
3.000	0,80
3.600	0,75
4.200	0,70
4.500	0,67

Tabla 3: Factores de corrección del nivel de aislamiento

6.2. CÁLCULO DE LA COORDINACIÓN DEL AISLAMIENTO

6.2.1. Determinación de la tensión más elevada para el material U_m (kVef).

Los valores de la tensión de impulso que produce una descarga en el aire entre electrodos dependen de las condiciones atmosféricas de presión, temperatura y humedad, las cuales varían con la altitud a la cual se encuentra instalada la subestación. Debido a que la subestación Catamayo está ubicada a más de 1000 msnm, se aplica factor de corrección por altura.

De los datos indicados en la tabla anterior, para el patio de 69 kV se selecciona el U_m , el BIL y la tensión soportada nominal a frecuencia industrial, de acuerdo a lo que se indica en la siguiente tabla.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

Barra	Nivel kV	Um normalizado kV	BIL kV cresta	Tensión f. industrial kV
69 kV	69	72.5	350	140

Tabla 4: Valores normalizados para 69 kV

6.2.2. Determinación de la tensión nominal del pararrayos (Unp).

Al seleccionar un pararrayos y al definir el nivel de aislamiento, pleno o reducido, juega un papel muy importante la efectividad de la conexión del neutro a tierra visto desde el punto en el cual se desea determinar la sobretensión, en caso de fallas a tierra.

La tensión nominal del pararrayos, considerando un factor de seguridad de 5%, viene dada por:

$$Unp = 1.05 \cdot Cpt \cdot Um / \sqrt{3}$$

Donde el valor de Cpt, se determina a partir del grafico 4 que se indica a continuación, dependiendo de los valores R0/X1 (0.3832 para 69 kV y 0 para 13.8 kV) y X0/X1 (1.7357 para 69 kV y 0.6734 para 13.8 kV).

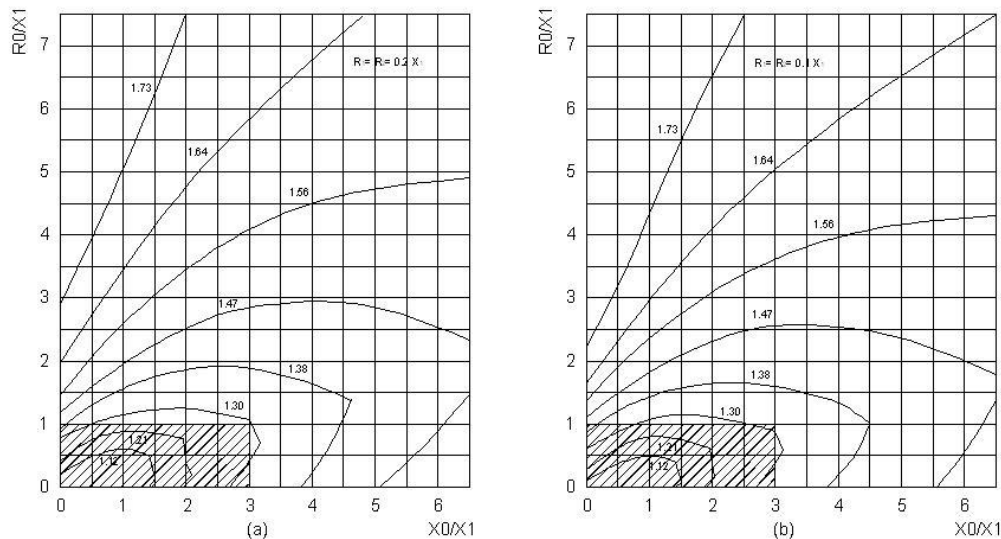


Figura 4: Valores R0/X1 según norma IEC

La tensión nominal del pararrayos se selecciona con el valor más cercano normalizado al calculado. En la tabla siguiente se presentan los resultados:

Barra	Nivel kV	Cpt	Unp calculada (kV)	Unp normalizado (kV)
69 kV	69	1.21	53.18	60

Tabla 5: Tensión nominal calculada para pararrayos



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

6.2.3. Determinación de la máxima corriente de descarga (Id) del pararrayos.

Para el caso de una subestación a la que llegan las líneas, la corriente de descarga Id viene dada por:

$$I_d = \frac{2(NBI) - V_r}{Z_o}$$

Donde:

NBI = BIL seleccionado.

V_r = Voltaje residual. El caso más desfavorable es cuando vale 0.

Z_o = Impedancia característica de las líneas 69 kV (Ohmios) = 300 x √L/C (valor generalizado aproximado de 300 Ohmios para diseños).

La corriente de descarga calculada se la normaliza y se selecciona por seguridad el valor mayor disponible en catálogos, de acuerdo a lo que se indica en la tabla 6.

Barra	Nivel kV	Nivel Normalizado kV	BIL kV cresta	Id calculado kA	Id normalizado kA
69 KV	69	60	350	2.16	40

Tabla 6: Corriente de descarga determinada para pararrayos

6.2.4. Determinación del margen de protección del pararrayos.

Según norma ANSI Std., para los pararrayos seleccionados se determinan la tensión de cebado por impulso por rayo (TC_{IR}) y la tensión de cebado por frente escarpado (TC_{FE}).

Los márgenes de protección de los pararrayos deben ser mínimo del 20%, y vienen dados por:

$$MP_{IR} = \frac{BIL - TC_{IR}}{TC_{IR}} \cdot 100 \qquad MP_{FE} = \frac{BIL - TC_{FE}}{TC_{FE}} \cdot 100$$

A continuación, se presentan los resultados:

Barra	Nivel kV	BIL kV cresta	TC _{IR} (8/20 us)* kV	TC _{FE} (1/20 us)* kV	MP _{IR} %	MP _{FE} %
69 kV	69	350	149	168	118.12	93.45



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

Tabla 7. Márgenes de protección del pararrayos. *Valores Generalizados de Catálogos de Pararrayos

Los márgenes de protección del pararrayos son superiores a 20% mínimo requerido, por lo que se tiene una adecuada coordinación del aislamiento, entre los pararrayos y todo el equipamiento de la subestación ya que el BIL está generalizado para todo el equipamiento a 69kV.

6.2.5. Selección de la distancia de fuga

Se considera para el sitio de la S/E un nivel de contaminación bajo según lo define la norma IEC 60815, en la norma IEEE Std 1313.2 establece la distancia mínima de fuga en 31 mm/kV, tomando el máximo voltaje fase-fase para el cálculo. Así se tiene que para 69 kV la distancia será 2247,5 mm (31x72,5 kV).

Por lo expuesto, para el patio de 69 kV se utilizarán cadenas conformadas por 6 aisladores clase ANSI 52-3 y para 13.8 kV 2 aisladores clase ANSI 52-3.

6.3. DISTANCIAS DE SEGURIDAD

6.3.1. Distancia a tierra y entre fases

A continuación, se indican las distancias mínimas en relación al nivel de aislamiento, de acuerdo a lo especificado en la norma IEC-60071-2 (1996) para separaciones mínimas en aire fase-tierra y fase-fase.

Tensión soportada nominal con impulsos tipo rayo fase-tierra (kV)	Distancia mínima en el aire entre fases (mm)
20	60
40	60
60	90
75	120
95	160
125	220
145	270
170	320
250	480
325	630
450	900
550	1100
650	1300
750	1500
850	1700
950	1900
1050	2100



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

Tabla 8: Distancia mínimas de acuerdo a norma IEC60071-2
*Las distancias son aplicables tanto para fase-fase y fase-tierra

Las distancias indicadas se utilizarán para el diseño de la subestación. La distancia mínima, será incrementada entre el 5% y 10%.

6.3.2. Distancias de seguridad

Corresponden a las separaciones mínimas que deben mantenerse en el aire entre partes energizadas de equipos y tierra, o en equipos sobre los cuales es necesario realizar un trabajo.

Las distancias de seguridad son el resultado de sumar los siguientes valores:

- Un valor básico relacionado con el nivel de aislamiento, el cual determina una “zona de guarda” alrededor de las partes energizadas.
- Un valor que es función de movimientos del personal de mantenimiento, así como del tipo de trabajo y la maquinaria usada. Esto determina una zona de seguridad dentro de la cual queda eliminado cualquier peligro relacionado con acercamientos eléctricos.

6.3.3. Valor básico

El valor base corresponde a la distancia mínima fase-tierra en el aire, adoptada para el diseño de la subestación de acuerdo con lo establecido en las publicaciones IEC 60071-1 [1] y IEC 60071-2 [2], para garantizar el espaciamiento adecuado que prevenga el riesgo de flameo aún bajo las condiciones más desfavorables.

El valor básico se calcula incrementando el valor de la distancia mínima fase-tierra, en un porcentaje del 5 al 10 % como factor de seguridad, conforme se indicó en el numeral 7.3.1.

$$VB = 1,05 * dmin$$

Donde:

Vb: Valor básico [mm]

dmin: Distancia mínima fase-tierra (mm)

$$Vb = 1,05 * dmin = 1,05 * 630 \text{ mm} = 662 \text{ mm}$$

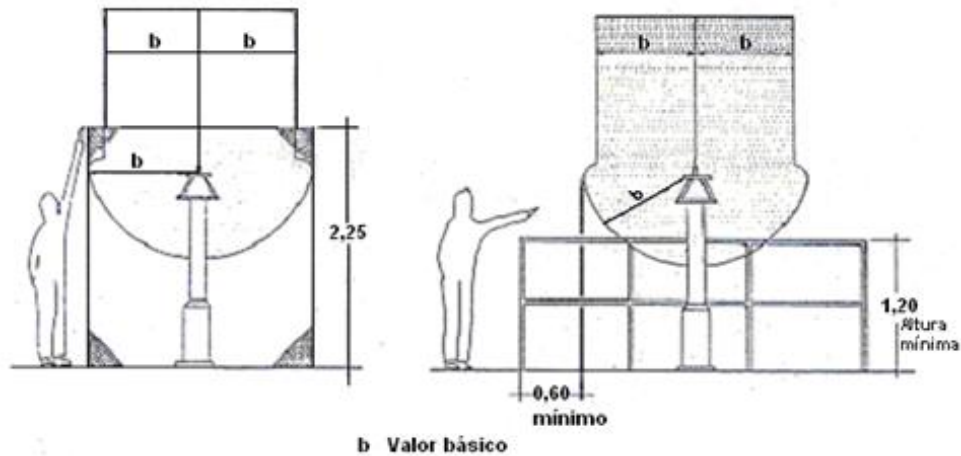


Figura 5: Valor básico (b) para distancias de seguridad según norma IEC

6.3.4. Zonas de seguridad

Las dimensiones de esta zona de seguridad se definen adicionando al valor básico, V_b , un valor promedio de la altura del personal de mantenimiento y la naturaleza del trabajo a realizar sobre los equipos, incluyendo los requerimientos de movimiento y acceso al lugar. Estas distancias están basadas en las dimensiones medias de una persona en condiciones de trabajo tal como se muestra en los siguientes gráficos.

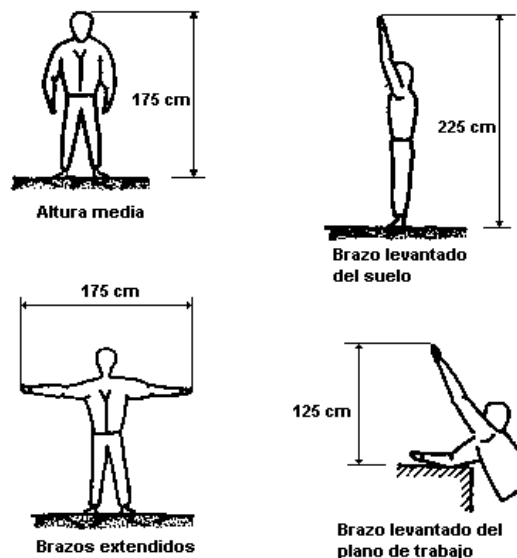


Figura 6: Dimensiones medias de una persona en condiciones de trabajo

6.3.5. Circulación de personal

Cuando no existen barreras o mallas protectoras en la subestación, es necesario definir una distancia mínima de seguridad para la circulación libre del personal. En general, la zona de circulación del personal, se determina adicionando al valor básico calculado, V_b , un valor de 2.250 mm, que es la altura promedio de un operador con los brazos estirados

verticalmente, como se muestra en el gráfico anterior. De esta manera la distancia entre la parte inferior de la porcelana del equipo y tierra no debe ser menor de 2.250 mm. El aislador o porcelana del equipo se considera como un componente energizado que va reduciendo la tensión de modo que solamente la parte inferior metálica está al mismo potencial de tierra.

La distancia para circulación de personas está dada por:

$$\text{Distancia circulación de personal} = 2.250 \text{ mm} + V_b$$

Donde:

V_b : Valor básico [mm]

$$\text{Distancia circulación de personal} = 2.250 \text{ mm} + 662 \text{ mm} = 2912 \text{ mm}$$

En la siguiente figura se muestra la composición de la distancia básica con una zona de seguridad que tiene en cuenta la libre circulación de las personas.

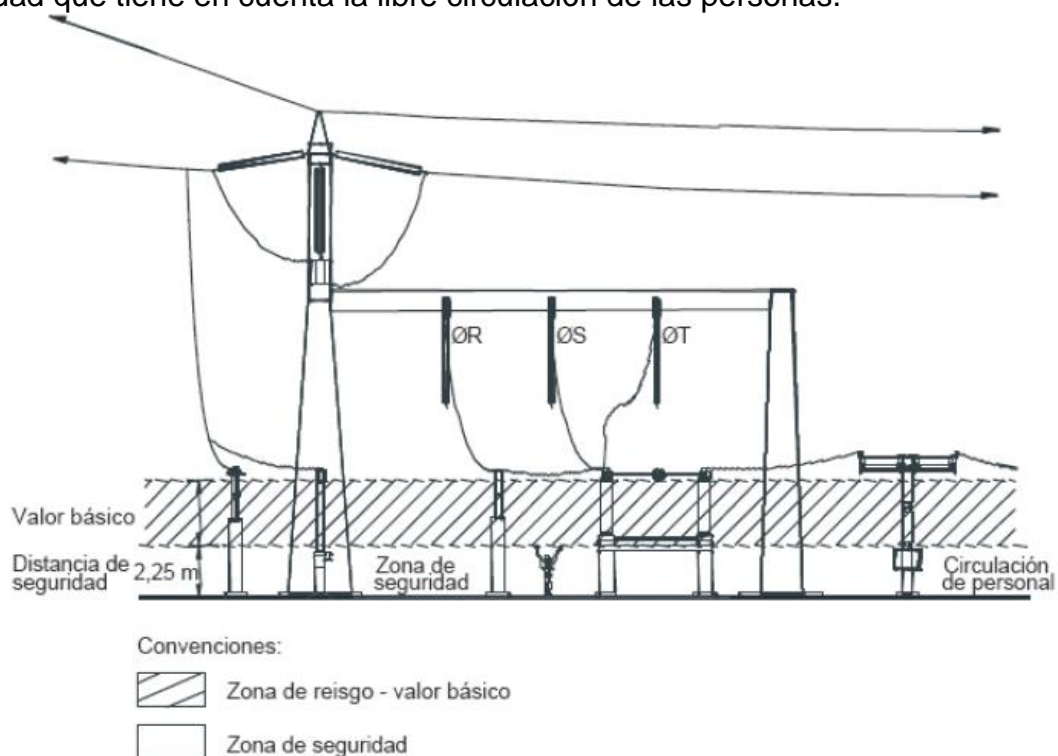


Figura 7: Zona de seguridad para circulación de personal

6.3.6. Movimiento de vehículos

Para el montaje y mantenimiento de equipos es necesario utilizar grúas o vehículos similares y por lo tanto se debe prever una zona de seguridad para estos casos. Esta zona está delimitada por el perfil del vehículo más 700 mm de manera que permita imprevisiones en la conducción, como se puede ver en la figura siguiente. De igual forma se debe prever una zona de circulación perimetral.

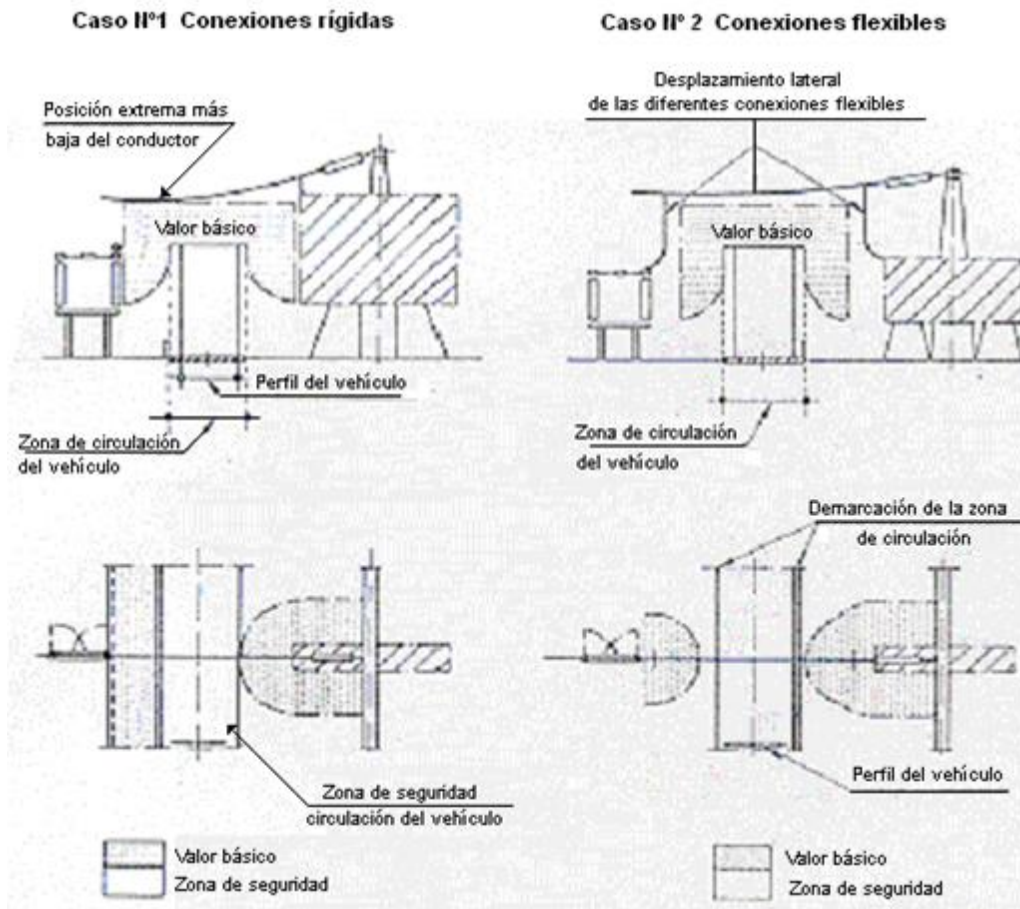


Figura 8: Zona de seguridad para circulación de vehículos

6.3.7. Trabajo sobre equipos o conductores en ausencia de maquinaria pesada

Se considera que el trabajo sobre los equipos o conductores se realiza con la subestación energizada parcial o totalmente. Para estos cálculos se tiene en cuenta los valores que se indican en la figura que se muestra a continuación. Horizontalmente se toman 1.750 mm que tiene en promedio una persona con los brazos abiertos, y verticalmente se toman 1.250 mm que tiene en promedio una persona con una mano alzada sobre el plano de trabajo. Luego estas distancias están determinadas de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Distancia horizontal} &= 1.750 \text{ mm} + V_b \\ \text{Distancia vertical} &= 1.250 \text{ mm} + V_b \end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned} V_b &: \text{Valor básico [mm]} \\ \text{Distancia horizontal} &= 1.750 \text{ mm} + 662 \text{ mm} = 2412 \text{ mm} \\ \text{Distancia Vertical} &= 1.250 \text{ mm} + 662 \text{ mm} = 1912 \text{ mm} \end{aligned}$$

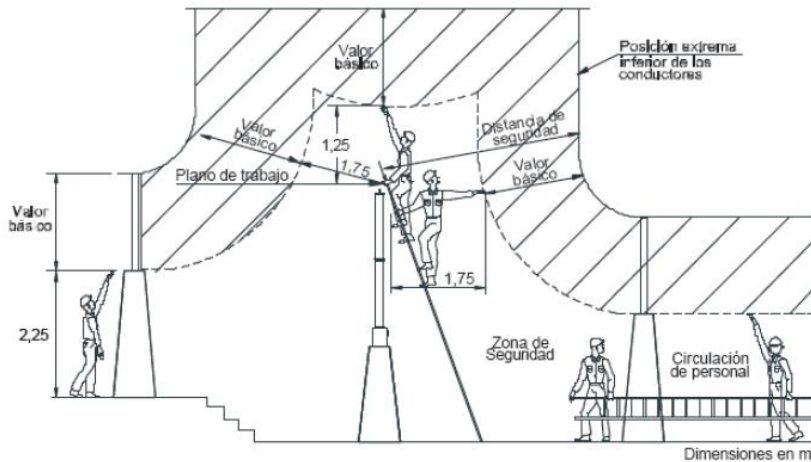


Figura 9: Distancia de seguridad para trabajos sobre equipos o conductores

7. ESPECIFICACIONES PARA MONTAJE Y PRUEBAS DE EQUIPOS

7.1. ESPECIFICACIONES PARA MONTAJE

El Contratista encargado de la construcción y montaje de los equipos de la subestación Catamayo, seguirá detenidamente las instrucciones dadas por el fabricante para ensamblar, montar y probar los equipos eléctricos, así como las especificaciones que se indican en el anexo No. 3.

Para las maniobras de carga, descarga, elevación y asentamiento de equipos deberá utilizar grúas hidráulicas y demás equipos de izaje de cargas pesadas adecuadas, así como los procedimientos de ingeniería propios para este tipo de trabajo.

Será responsabilidad del Contratista cualquier inconveniente o rotura de equipo que resulte de una mala maniobra o práctica de ingeniería en el montaje. Deberá el Contratista cubrir mediante un seguro de montaje, todos los posibles accidentes que pudieran derivarse de las maniobras de montaje. Especial énfasis se deberá tomar en el alineamiento de los equipos en sus respectivas bases y estructuras. El Contratista deberá llevar un registro fotográfico de las maniobras de montaje.

En cuanto al ensamblaje, para aquellos equipos que vengan desarmados o en partes, el Contratista deberá utilizar personal altamente calificado, equipos, herramientas e instrumentos de comprobación modernos y adecuados, y dirigir las maniobras cubriendo normas, recomendaciones del fabricante y la mejor práctica de ingeniería. El Fiscalizador observará al Contratista cualquier maniobra, prueba o evento que considere inconveniente o improcedente, debiendo el Contratista corregir y absolver dichas observaciones.

7.2. PRUEBAS A REALIZAR

Se deberán hacer las pruebas necesarias, luego de instalados los equipos, para verificar su correcto ensamblaje, alineación y demás características operativas.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

Las pruebas a realizar se indican en los anexos 2 y 3.

8. DISEÑOS DE AUTOMATIZACIÓN DE LA SUBESTACIÓN, COMUNICACIÓN Y PROTECCIONES

En cumplimiento a los Términos de Referencia, se realizó el diseño del sistema de automatización y comunicación bajo la norma IEC 61850, que se incluye en el anexo 4.

Respecto al sistema de protecciones, se ha previsto la instalación de unidades inteligentes (IED's) con las funciones de protección indicadas en los diagramas unifilares correspondiente a cada subestación y las especificaciones técnicas forman parte del anexo No. 4.

9. DISEÑOS DE OBRAS CIVILES

Como parte del proyecto, se procedió al diseño de las obras civiles para la subestación Catamayo, que se indica en el anexo No. 5, que contiene memoria técnica, cálculos, especificaciones de materiales, desagregación tecnológica, análisis de precios unitarios, presupuesto y planos.

El diseño de las cimentaciones fue realizado en base a los estudios de mecánica de suelos, mismo que se indican en el anexo No. 5.

10. PRESUPUESTO REFERENCIAL Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

10.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Para la elaboración del presupuesto se procedió a determinar los rubros necesarios para la ampliación de la subestación Catamayo, en base del cual se realizó el análisis de precios unitarios correspondiente.

En los análisis de precios unitarios se establecen los materiales requeridos para cada rubro, las herramientas, equipos, personal y los costos indirectos que considera el costo del Jefe de Proyecto y los Residentes de Obras.

En el anexo No. 6 se indica el análisis de precios unitarios para montaje electromecánico, que incluye la determinación del porcentaje de participación ecuatoriana para cada uno de los rubros. En el anexo No. 5, que correspondiente a obras civiles, se puede observar los análisis de precios unitarios.

El análisis de precios unitarios para cada uno de los rubros se incluyen los costos de los equipos, materiales, mano de obra, dirección técnica para el montaje, gastos indirectos y gastos administrativos.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

10.2. PRESUPUESTO REFERENCIAL

El presupuesto referencial para la construcción del proyecto considera los siguientes componentes:

- Equipamiento y montaje electromecánico
- Obras civiles
- Automatización, comunicación y protecciones
- Pruebas
- Plan de manejo ambiental
- Fiscalización y administración

El presupuesto por montaje electromecánico se indica en el Anexo No. 7, que incluye la subestación, reconfiguración de alimentadores, reconfiguración de líneas a 69 kV de ingreso y salida de la subestación, el retiro de equipos y líneas existentes.

El presupuesto por concepto automatización y comunicación se indica en el Anexo No. 4 y el costo por las obras civiles se puede observar en el Anexo No. 5.

El resumen del presupuesto se indica en el siguiente cuadro.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	SUMINISTRO Y MONTAJE ELECTROMECAÁNICO	\$ 542,230.55
2	AUTOMATIZACIÓN, COMUNICACIÓN Y PROTECCIONES	\$ 192,366.84
3	OBRAS CIVILES	\$ 201,518.36
4	PRUEBAS	\$ 6,500.00
	SUBTOTAL	\$ 942,615.75
	FISCALIZACIÓN	\$ 98,722.26
	SUBTOTAL	\$ 1,041,338.01
	IVA 12%	\$ 124,960.56
	COSTO TOTAL DEL PROYECTO	\$ 1,166,298.57

Tabla 9: Valores del presupuesto referencial.

10.3. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

De acuerdo al cronograma indicado en el anexo No. 8, el plazo para la construcción de la subestación Catamayo es 12 meses, que serían contados a partir de la entrega del anticipo al constructor.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

10.4. COMPROBACIÓN CAPACIDAD DE CORTO CIRCUITO EQUIPO PRIMARIO INSTALADO

SUBESTACIÓN CATAMAYO

COMPROBACIÓN CAPACIDAD DE CORTO CIRCUITO EQUIPO PRIMARIO INSTALADO

Vnom = 69 KV

Icc = 11,1 KA (Valor máximo)

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO PRIMARIO 69 KV	NUMERO	BAHÍA	MARCA/ PROCEDENCIA	DATOS DE PLACA					AÑO FABRICACIÓN	OBSERVACIÓN
					I nom	Isc KA					
INTERRUPTORES											
1	INTERRUPTOR TIPO FRENTE VIVO 69 KV	7Q1	CATACOCHA	ABB / USA	1250 A	25 KA				2008	CUMPLE
2	INTERRUPTOR TIPO FRENTE VIVO 69 KV	6Q1	CARIAMANGA	EIB /	1250 A	25 KA					CUMPLE
3	INTERRUPTOR TIPO FRENTE VIVO 69 KV	5Q1	TRANSFERENCIA	EIB /	1250 A	25 KA					
4	INTERRUPTOR TIPO FRENTE VIVO 69 KV	2Q1	T1 TRAFU UNIÓN 5 MVA	EIB /	1250 A	25 KA					
5	INTERRUPTOR TIPO FRENTE VIVO 69 KV	3Q1	LOJA 2	EIB /	1250 A	25 KA					
6	INTERRUPTOR TIPO FRENTE VIVO 69 KV	4Q1	T2 PAUWELS 10 MVA	EIB /	1250 A	25 KA					
SECCIONADORES											
1	SECCIONADORES SIN PUESTA A TIERRA	7Q2	CATACOCHA	ASEA	1200 A						
2	SECCIONADORES CON PUESTA A TIERRA	7Q3/7Q5	CATACOCHA	ASEA	1200 A						
3	SECCIONADOR SIN PUESTA A TIERRA	7Q4	CATACOCHA	ASEA	1200 A						
4	SECCIONADOR SIN PUESTA A TIERRA	6Q2	CARIAMANGA	ASEA	1200 A						
5	SECCIONADOR CON PUESTA A TIERRA	6Q3/6Q5	CARIAMANGA	ASEA	1200 A						
6	SECCIONADOR SIN PUESTA A TIERRA	6Q4	CARIAMANGA	ASEA	1200 A						CUMPLE
7	SECCIONADOR SIN PUESTA A TIERRA	5Q2	TRANSFERENCIA	ASEA	1200 A						
8	SECCIONADOR SIN PUESTA A TIERRA	2Q3	T1 TRAFU UNIÓN 5 MVA	ASEA	1200 A						
9	SECCIONADOR SIN PUESTA A TIERRA	2Q4	T1 TRAFU UNIÓN 5 MVA	ASEA	1200 A						
10	SECCIONADOR SIN PUESTA A TIERRA	2Q5	T1 TRAFU UNIÓN 5 MVA	ASEA	1200 A						
11	SECCIONADORES SIN PUESTA A TIERRA	3Q2	LOJA	ASEA	1200 A						
12	SECCIONADORES CON PUESTA A TIERRA	3Q3/3Q5	LOJA	ASEA	1200 A						

Diseño de la ampliación de la subestación Catamayo 69/13,8 kV

EERSSA: Olmedo 8-84 y Rocafuerte / Telf: 07-2571108 PBX 3700200 / eerssa@eerssa.com/ Web: www.eerssa.com



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

13	SECCIONADOR SIN PUESTA A TIERRA	3Q4	LOJA	ASEA	1200 A						CUMPLE
14	SECCIONADOR SIN PUESTA A TIERRA	2Q3	T2 PAUWELS 10 MVA	ASEA	1200 A						
15	SECCIONADOR SIN PUESTA A TIERRA	2Q4	T2 PAUWELS 10 MVA	ASEA	1200 A						
16	SECCIONADOR SIN PUESTA A TIERRA	2Q5	T2 PAUWELS 10 MVA	ASEA	1200 A						
					Inom A	Id th A		I th	I dyn		
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE											
1	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE		CATACocha	CG/INDIA	600/5 A	720		31,5 kA/1seg	81,9 kAp	2014	CUMPLE
2	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE		CARIAMANGA	EMEK/TURQUÍA	600/5 A	720		15 kA/1seg	37,5 kAp	2007	CUMPLE
3	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE		T1 TRAFo UNIÓN 5 MVA	CG/INDIA	600 /5A	720		31,5 kA/1seg	81,9 kAp	2014	CUMPLE
4	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE		LOJA	EMEK/TURQUÍA	600 /5A	720		15 kA/1seg	37,5 kAp	2007	CUMPLE
5	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE		T2 PAUWELS 10 MVA	ITEC/USA	100/5 A			7,5 kA/1seg		2008	CUMPLE
PARARRAYOS											
					I descarga nom	MCOV kV	I alivio presión	Vnom Ur			
1	PARARRAYOS		CATACocha	ASEA/	10 kA	48		60 kV			CUMPLE
2	PARARRAYOS		CARIAMANGA	EATON/USA	10 kA	48	63 kA	60 kV			CUMPLE
3	PARARRAYOS		T1 TRAFo UNIÓN 5 MVA	ASEA	10 kA	48		60 kV			CUMPLE
4	PARARRAYOS		LOJA	ASEA	10 kA	48		60 kV			CUMPLE
5	PARARRAYOS		T2 PAUWELS 10 MVA	ASEA	10 kA	48		60 kV			CUMPLE
TRANSFORMADORES DE POTENCIAL											
1	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL		TRANSFERENCIA	BALtsAU	69/V3						CUMPLE
					115/V3						



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

11. ANEXOS

Anexo Nro. 1: Cálculo de malla de puesta a tierra

Anexo Nro. 2: Especificaciones técnicas de equipos y materiales

Anexo Nro. 3: Especificaciones de construcción

Anexo Nro. 4: Diseño del sistema de automatización y comunicación, incluye análisis de precios unitarios y presupuesto

Anexo Nro. 5: Diseño de obras civiles, estructurales, zapatas y base de quipos, incluye análisis de precios unitarios y presupuesto

Anexo Nro. 6: Análisis de precios unitarios para montaje electromecánico

Anexo Nro. 7: Presupuesto para montaje electromecánico

Anexo Nro. 8: Cronograma de ejecución

Anexo Nro. 9: Resultados del estudio de mecánica de suelos

Anexo Nro. 10: Memoria en formato SENPLADES

Anexo Nro. 11: Planos

Anexo Nro. 12: Informe Medio Ambiente

Responsabilidad:

Ing. Norman Jiménez León
Consultor

Febrero 2021