



**Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“REPARACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE GENERACIÓN EN LA  
PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA CALERA DEL CANTÓN MEJÍA”**

Autor:

Orbea Angueta Edison Marcelo

Tutor:

Ing. Espinel Cepeda Carlos Alfredo

Latacunga - Ecuador

2017

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: Edison Marcelo Orbea Angueta con el título de Proyecto de Investigación: “REPARACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE GENERACIÓN EN LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA CALERA DEL CANTÓN MEJÍA” ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero de 2017

Para constancia firman:

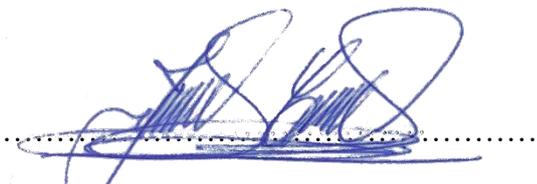


Dr. Ph.D. Enrique Torres Tamayo  
Pasaporte N°: I731909  
LECTOR 1 (Presidente)

Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ing. Mgs. Luigi Orlando Freire Martínez.  
CC: 050252958-9  
LECTOR 2



Ing. Mgs. Segundo Ángel Cevallos Betún.  
CC: 050178243-7  
LECTOR 3

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo Edison Marcelo Orbea Angueta declaro ser autor del presente proyecto de investigación: REPARACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE GENERACIÓN EN LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA CALERA DEL CANTÓN MEJÍA, siendo el Ing. Carlos Alfredo Espinel Cepeda tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



Edison Marcelo Orbea Angueta

C.I. 050379403-4

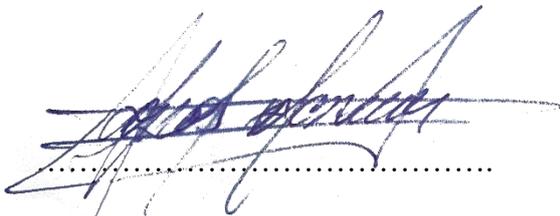
## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“REPARACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE GENERACIÓN EN LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA CALERA DEL CANTÓN MEJÍA”, de Orbea Angueta Edison Marcelo, de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, enero, 2017

El Tutor



Firma

Ing. Espinel Cepeda Carlos Alfredo.



**GOBIERNO A. D. MUNICIPAL DEL CANTÓN MEJÍA**  
**CENTRAL HIDROELÉCTRICA**  
**“LA CALERA”**  
**Administración 2014 - 2019**



**AVAL DE IMPLEMENTACIÓN**

En calidad de jefe de la “Central Hidroeléctrica La Calera” certifico que los trabajos de reparación de los sistemas eléctricos de generación dentro de la Central, fueron realizados por el grupo de mantenimiento de centrales de la Empresa Eléctrica Quito y el postulante de la Universidad Técnica de Cotopaxi Edison Marcelo Orbea Angueta, de la carrera de Ingeniería Electromecánica como parte de su proyecto de titulación, quienes han desarrollado el diseño, adaptación y conexión de los sistemas, tomando en consideración los requerimientos técnicos de las unidades de generación y de los propietarios de las instalaciones.

Doy fe del presente para su correspondiente estudio y calificación

Machachi, 21 de enero de 2017

Ing. Franklin Cisneros

Jefe de Central Hidroeléctrica.

Edison Orbea

Postulante.

## **AGRADECIMIENTO**

La universidad me dio la bienvenida al mundo de la ciencia como tal, las oportunidades que me ha brindado son incomparables, gracias por brindarme la oportunidad de estudiar mi carrera, también a los docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo.

Mi agradecimiento también va dirigido a todos los profesionales que conforman el departamento de mantenimiento de centrales de la Empresa Eléctrica Quito S.A. quienes han sabido guiarme y ofrecer su ayuda durante el transcurso del desarrollo del presente proyecto de investigación.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes, entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mis amigos y familiares que siempre me apoyaron incondicionalmente para poder llegar a ser un profesional de la patria.

*Edison Marcelo Orbea Angueta.*

## ÍNDICE

1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO .....	3
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	4
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	5
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	5
6. OBJETIVOS .....	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	7
Metodología de mantenimiento .....	7
Niveles de tensión.....	8
Central hidroeléctrica .....	9
Generador síncrono.....	10
Pruebas eléctricas de bobinados. ....	10
Sistema de excitación .....	14
Conexión en paralelo de generadores .....	16
Disyuntor .....	17
Fase de diagnóstico.....	18
Pruebas eléctricas de disyuntores. ....	18
Protecciones eléctricas.....	22
Instrumentos de medición.....	24
Barra colectora.....	26
Patio de transformadores de elevación .....	27
Sistema de servicios generales de estación.....	27
9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS .....	27
10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....	27
Fase de diseño.....	27

Datos Técnicos Central Hidroeléctrica La Calera .....	27
Trabajos realizados en las instalaciones de la Empresa Eléctrica Quito .....	29
Trabajos realizados en la central “La Calera” .....	34
Fase de implementación .....	36
Configuración de relés de protección. ....	45
Protección de sobrecorriente .....	46
Ajustes de las protecciones de tensión .....	49
Prueba de inyección de corriente y voltaje .....	53
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	57
Fase de medición .....	57
Resultados de pruebas eléctricas a elementos principales. ....	58
Fase de mejoramiento .....	68
Inspección termográfica del cojinete posterior Unidad 1 .....	68
12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS) .....	69
13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO .....	70
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	72
15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
16. ANEXOS .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de decisión sobre el tipo de mantenimiento a aplicar .....	8
Figura 2. Metodología 5QS para el diseño e implementación de planes de mantenimiento .....	8
Figura 3. Panel de control principal DELTA-2000 .....	10
Figura 4. Relación entre factor de potencia y factor de disipación .....	11
Figura 5. Megger S1-1054/2 .....	13
Figura 6. Excitatriz Unidad 2 .....	14
Figura 7. Regulador Automático de Voltaje (AVR) .....	15
Figura 8. Conexión típica del sistema de excitación .....	16
Figura 9. a) Sincronoscopio sincronizado, b) Ondas superpuestas en fase .....	17
Figura 10. Disyuntor en pequeño volumen de aceite MITSUBISHI 10-LDN-25 .....	18
Figura 11. Conexión para prueba de aislamiento de disyuntores .....	19
Figura 12. Megger DLRO 10 HD .....	20
Figura 13. Conexión para prueba de resistencia de contactos de disyuntores .....	21
Figura 14. Conexión para prueba de tiempo de apertura, cierre y simultaneidad de contactos de disyuntor .....	22
Figura 15. Vista frontal relé de sobre corriente MCGG 82 .....	23
Figura 16. Vista frontal relé de tensión MiCOM P921 .....	23
Figura 17. Transformadores de corriente toroidales .....	24
Figura 18. Banco de transformadores de potencial monofásicos .....	25
Figura 19. Medidor multimedida Itron Sentinel .....	26
Figura 20. Medidor multitarifa Elster .....	26
Figura 21. Diagrama unifilar Central La Calera .....	28
Figura 22. Esquema de accionamiento y contactos interruptor Mitsubishi 10-LDN-25 .....	29
Figura 23. Curvas de resistencia de aislamiento disyuntor 52_G1 .....	30
Figura 24. Curvas de resistencia de aislamiento disyuntor 52_G2 .....	30
Figura 25. Curvas de resistencia de aislamiento disyuntor 52_G3 .....	31
Figura 26. Curvas de resistencia de aislamiento disyuntor 52_L .....	31
Figura 27. Curva de resistencia óhmica de contactos disyuntor 52_G1 .....	32
Figura 28. Curva de resistencia óhmica de contactos disyuntor 52_G2 .....	32
Figura 29. Curva de resistencia óhmica de contactos disyuntor 52_G3 .....	32

Figura 30. Diagrama unifilar de accionamiento eléctrico de un disyuntor .....	34
Figura 31. Circuito de excitación del generador .....	36
Figura 32. Transformadores de tensión y fusible de potencia (4A) .....	37
Figura 33. Disposición de bornera y elementos de control en cabinas de interruptores .....	37
Figura 34. Ubicación de cabinas nuevas dentro de la central .....	38
Figura 35. Conjunto regulador de tensión de excitación .....	39
Figura 36. Conjunto de pararrayos .....	39
Figura 37. Diagrama de flujo de la lógica de control de interruptores .....	41
Figura 38. Banco de baterías y cargador/rectificador de baterías .....	42
Figura 39. Transformador de servicios de estación (30 kV·A) .....	43
Figura 40. a) Verificación de secuencia y b) ángulo de desfase generado .....	44
Figura 41. Verificación de a) punto de sincronización y b) superposición de ondas .....	45
Figura 42. Curva tiempo-corriente .....	46
Figura 43. Características de operación relé de sobre corriente MCGG82 .....	47
Figura 44. Diagrama de relé estático modular tipo MCGG82 .....	49
Figura 45. Curvas IDMT de bajo voltaje .....	50
Figura 46. Curvas IDMT de sobre voltaje .....	51
Figura 47. Diagrama relé MiCOM P921 .....	52
Figura 48. Curvas de corriente. Generador 1 .....	59
Figura 49. Curvas de gradiente de factor de potencia TIP-UP. Generador 1 .....	59
Figura 50. Curvas de corriente. Generador 2 .....	60
Figura 51. Curvas de gradiente de factor de potencia TIP-UP. Generador 2 .....	61
Figura 52. Curva de polarización bobinado estatórico del generador 1 .....	61
Figura 53. Curva de polarización bobinado estatórico del generador 2 .....	62
Figura 54. Curva de polarización bobinado de la excitatriz 1 .....	62
Figura 55. Curva de polarización bobinado de la excitatriz 2 .....	63
Figura 56. Curvas de polarización de transformador de elevación T1 .....	67
Figura 57. Curvas de polarización de transformador de elevación T2 .....	67
Figura 58. Curvas de polarización de transformador de elevación T3 .....	68
Figura 59. Termograma realizado al cojinete posterior de la Unidad 1 .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto .....	5
Tabla 2. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados .....	7
Tabla 3. Criterio para interpretación de resultados factor de potencia en máquinas rotativas	12
Tabla 4. Criterio para interpretación de resultados de factor de potencia en transformadores	12
Tabla 5. Criterio para interpretación de resultados de factor de potencia en bushings .....	12
Tabla 6. Condiciones de aislamiento indicadas por las relaciones de absorción dieléctrica ...	14
Tabla 7. Resultados prueba de tiempos de apertura, cierre y simultaneidad de contactos .....	33
Tabla 8. Parámetros iniciales de los generadores .....	35
Tabla 9. Relación de transformadores de corriente .....	40
Tabla 10. Resultados de prueba de relación de transformación TC's .....	40
Tabla 11. Ajuste de coordinación de protecciones – Relés de fase .....	48
Tabla 12. Ajuste de coordinación de protecciones – Relés de tierra .....	48
Tabla 13. Ajustes de sobrevoltaje .....	52
Tabla 14. Resultados prueba de inyección de corriente. Cabina 52_G1 .....	53
Tabla 15. Resultados prueba de inyección de voltaje. Cabina 52_G1 .....	53
Tabla 16. Resultados prueba de inyección de corriente. Cabina 52_G2 .....	54
Tabla 17. Resultados prueba de inyección de voltaje. Cabina 52_G2 .....	54
Tabla 18. Resultados prueba de inyección de corriente. Cabina 52_G3 .....	55
Tabla 19. Resultados prueba de inyección de voltaje. Cabina 52_G3 .....	55
Tabla 20. Resultados prueba de inyección de corriente. 6.3 kV .....	56
Tabla 21. Resultados prueba de inyección de corriente S/E .....	56
Tabla 22. Operacionalización de la variable independiente .....	57
Tabla 23. Operacionalización de la variable dependiente .....	57
Tabla 24. Interpretación de resultados prueba factor de potencia. Generador 1 .....	58
Tabla 25. Interpretación de resultados prueba factor de potencia. Generador 2 .....	60
Tabla 26. Interpretación de resultados prueba factor de potencia a bobinados. Transformador T1 .....	63
Tabla 27. Interpretación de resultados prueba factor de potencia en bushings. Transformador T1 .....	64

Tabla 28. Interpretación de resultados prueba factor de potencia a bobinados. Transformador T2.....	64
Tabla 29. Interpretación de resultados prueba factor de potencia en bushings. Transformador T2 .....	65
Tabla 30. Interpretación de resultados prueba factor de potencia a bobinados. Transformador T3 .....	65
Tabla 31. Interpretación de resultados prueba factor de potencia en bushings. Transformador T3 .....	66
Tabla 32. Costo total del proyecto .....	70
Tabla 33. Tasa interna de retorno TIR .....	71

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 8.1. Ecuación de factor de disipación .....	11
Ecuación 8.2. Ecuación de factor de potencia .....	11
Ecuación 8.3. Ecuación equivalencia de capacitancia serie/paralelo .....	11
Ecuación 8.4. Ecuación de reajuste de temperatura para pruebas eléctricas .....	19
Ecuación 8.5. Resistencia de aislamiento corregida a 20 °C .....	20
Ecuación 8.6. Ecuación de relación de transformación de transformadores .....	25
Ecuación 10.1. Ecuación de cálculo de voltaje con conexión estrella .....	44
Ecuación 10.2. Relación para la protección de sobretensión (59).....	50
Ecuación 10.3. Relación para la protección de subtensión (27) .....	50
Ecuación 10.4. Tiempo de actuación del relé 27 .....	50
Ecuación 10.5. Relación para configuración de relé 27 .....	51
Ecuación 13.1. Valor actual neto VAN .....	70

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

## TITULO: “REPARACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE GENERACIÓN EN LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA CALERA DEL CANTÓN MEJÍA”

**Autor: Edison Marcelo Orbea Angueta**

### RESUMEN

La central hidroeléctrica La Calera consta de tres unidades de generación de marca Brown Boveri de eje horizontal que, por restricciones técnicas, no se encontraban operativas. Dichas restricciones de carácter eléctrico, se debieron a que las protecciones eléctricas se encontraban inoperativas y los interruptores de media tensión se encontraban deteriorados. El objetivo principal fue reemplazar los elementos de conmutación entre los generadores con la red eléctrica, además de instalar elementos de protección contra fallas de sobre corriente y protecciones contra bajo y alto voltaje, garantizando una maniobrabilidad segura en los 3 generadores eléctricos. El aporte más importante realizado es sin duda la puesta en operación de las máquinas para generar energía, incorporando dispositivos de protección eléctrica con su respectivo instructivo de operación, manuales y otros documentos importantes para el correcto funcionamiento de la central hidroeléctrica, adicionalmente los planos de conexión y cableado de cabinas de disyuntores y cabinas de excitación. Cabe destacar que se etiquetaron cada uno de los cables, elementos de control y protección según los planos realizados para poder identificar claramente cada uno de los circuitos que conecta a los componentes del sistema y así determinar de manera rápida posibles fallos. Adicionalmente se instalaron las fuentes de alimentación tanto en corriente alterna, como en corriente continua necesarias para las maniobras de conexión y desconexión de los disyuntores, como son: un banco de baterías de 125 VDC y un transformador de 30 kV·A de potencia, con una relación de transformación de 6.000/220 VAC para servicios generales de la central. Con los elementos de protección instalados y los nuevos circuitos de excitación se garantizará que la central hidroeléctrica funcione continuamente y protegida contra fallos eléctricos.

**Palabras clave:** disyuntor, protección, falla, electricidad, central hidroeléctrica.

# COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

ENGINEERING AND APPLIED SCIENCE FACULTY

**THEME: “REPARATION OF ELECTRIC GENERATION SYSTEMS AT THE SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANT LA CALERA IN THE MEJIA CANTON”**

**Author: Edison Marcelo Orbea Angueta**

## **ABSTARCT**

La Calera hydroelectric plant consists of three units for generating energy of horizontal axis Brown Boveri brand that, due to technical constraints, were not operational. These electrical restrictions were due to the fact that the electrical protections were inoperative and the voltage switches of the means were deteriorated. The main principle was to replace the switching elements between the generators with the electric red, in addition to installing the protection elements against current faults and protections against low and high voltage, guaranteeing a safe maneuverability in the 3 electric generators. The most important design in undoubtedly the commissioning of machines for the generation of energy, incorporating electrical protection devices with their respective operating instructions, manuals and other documents important for the correct operation of the hydroelectric plant, in addition the planes connection and cabling of circuit breaker booths and excitation booths. Highlight from the head that each of the wires, control elements and protection according to the drawings are labeled. In order to be able to clearly identify each of the circuits that connects the system components and thus determines possible faults in a rapid way. In addition, the DC power supply was installed as an alternating energy necessary for the switching and disconnecting maneuvers of circuit breakers, such as: a battery bank of 125 VDC and a transformer of 30 kV·A of energy with transformer link of 6.000/220 VAC for general services of the plant. The installed protection elements and the new excitation circuits ensure that the hydroelectric power station operates continuously and is protected against electrical failure.

**Keywords:** circuit breaker, protection, fault, electricity, hydroelectric power station.



## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **ORBEA ANGUETA EDISON MARCELO**, cuyo título versa “**REPARACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE GENERACIÓN EN LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA CALERA DEL CANTÓN MEJÍA**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, enero del 2017

Atentamente,

Lic. Nelson W. Guagchinga Ch.  
**DOCENTE CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS**  
C.C. 050324641-5

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### **Título del proyecto**

“Reparación de los sistemas eléctricos de generación en la pequeña central hidroeléctrica La Calera del cantón Mejía”

### **Fecha de inicio**

07 de junio de 2016

### **Fecha de finalización**

30 de septiembre de 2016

### **Lugar de ejecución**

Sector La Calera, Parroquia Aloag, Cantón Mejía.

### **Facultad que auspicia**

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

### **Carrera que auspicia**

Ingeniería Electromecánica

### **Proyecto de investigación vinculado**

Ingeniería, industria y construcción.

### **Equipo de trabajo**

### **Coordinador del proyecto**

#### **Tutor de titulación**

Nombres y Apellidos: Carlos Alfredo Espinel Cepeda.

Fecha de Nacimiento: 16 de Abril de 1983.

Lugar de Nacimiento: Cotopaxi – Latacunga – La Matriz.

Nacionalidad: Ecuatoriana.

Ciudad de Domicilio: Latacunga – La Matriz.

Numero Celular: 0984744165

E-mail: carlos.espinel@utc.edu.ec

Cédula de Identidad: 0502685183  
Licencia de Conducir: Tipo B.  
Estado Civil: Casado.  
Número de Hijos: Uno.  
Tipo Sanguíneo: O+  
Educación Primaria: Escuela Simón Bolívar.  
Educación Secundaria: ITSI “Ramón Barba Naranjo”  
Educación Superior: Universidad Técnica de Cotopaxi.  
Profesión: Ingeniero Electromecánico.

**Postulante**

Nombres y Apellidos: Edison Marcelo Orbea Angueta.  
Fecha de Nacimiento: 16 de Diciembre de 1992.  
Lugar de Nacimiento: Cotopaxi – Latacunga – 11 de Noviembre.  
Nacionalidad: Ecuatoriana.  
Ciudad de Domicilio: Latacunga – 11 de Noviembre.  
Numero Celular: 0984425381  
E-mail: edison.orbea4@utc.edu.ec  
Cédula de Identidad: 0503794034  
Licencia de Conducir: Tipo B.  
Estado Civil: Soltero.  
Número de Hijos: Ninguno.  
Tipo Sanguíneo: A+  
Educación Primaria: Escuela Antonio Aristarco Jácome.  
Educación Secundaria: ITSI “Ramón Barba Naranjo”

**Área de conocimiento**

El proyecto pertenece al Área Científico – Técnica

**Línea de investigación**

El proyecto realizado está sujeto según los lineamientos de investigación de la Universidad al punto de “Procesos Industriales” de acuerdo a las características técnicas y científicas

**Sub líneas de investigación de la carrera**

Equipamiento tecnológico y mantenimiento electromecánico.

**2. RESUMEN DEL PROYECTO**

La Central Hidroeléctrica “La Calera”, de propiedad del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía, está localizada en la cabecera cantonal de Machachi, perteneciente al Cantón Mejía, a 15 km al sur oeste de Quito, el ingreso a la casa de máquinas se lo realiza desde la población del Obelisco de la parroquia de Aloag pasando por el camino que va en dirección de la hacienda La Calera y la sub-estación Machachi N° 34 de la EEQ. Está operando desde noviembre de 1936, tiene una potencia nominal de 2 MW, pero desde inicios del 2016 debido a varios problemas ha detenido su funcionamiento. Es por ello que el propietario ha contactado a la EEQ para que se realice una inspección para determinar las fallas y realizar las reparaciones respectivas.

Debido a que los principales inconvenientes detectados fueron las protecciones eléctricas y los interruptores de media tensión, encontrados en mal estado ocasionado por maniobras incorrectas, además de la dificultad de encontrar repuestos para su mantenimiento, el objetivo fue reemplazar los elementos de conmutación entre los generadores con la red eléctrica, además de instalar elementos de protección contra fallas de sobre corriente y protecciones contra bajo y alto voltaje.

Estos cambios implicaron el diseño de nuevos circuitos de conexión del sistema de excitación de los generadores para lograr la puesta en operación de las máquinas generadoras de energía proporcionando adicionalmente los planos de conexión y cableado de cabinas de disyuntores y cabinas de excitación; con cada uno de los cables, elementos de control y protección etiquetados según los planos realizados para poder identificar claramente cada uno de los circuitos que conecta a los componentes del sistema y así determinar de manera rápida posibles fallos.

Adicionalmente se instalaron las fuentes de alimentación tanto en corriente alterna como en corriente continua, necesarias para las maniobras de conexión y desconexión de los disyuntores,

un banco de baterías de 125 VDC y un transformador de potencia aparente igual a 30 kV·A con una relación de transformación de 6.000/220 VAC para servicios generales de la central.

Con todos los cambios realizados el sistema eléctrico de excitación y conexión en paralelo actualmente funcionan de una manera más sencilla y sobre todo segura tanto para las máquinas como para el personal que opera las mismas.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El presente proyecto se lo realizó debido a la necesidad de poner en funcionamiento la central hidroeléctrica incorporando métodos de maniobras técnicamente diseñados para la conexión en paralelo de los generadores de la central, más confiables, seguros y fáciles de operar, la parte fundamental en la investigación fue el diseño de los nuevos circuitos de control de excitación de los generadores, además de estudiar a fondo los elementos existentes para determinar su funcionamiento y conexiones necesarias, esto por su antigüedad ya que no existen manuales ni diagramas de ningún tipo disponibles en la central.

Los aportes principales fueron la instalación de dispositivos de protección eléctrica a los generadores, además, dotar de planos actualizados de todas las conexiones de los generadores; tanto en el control de apertura y cierre de disyuntores, como los circuitos de excitación de las máquinas, además de un manual de operación, logrando con esto extender la vida útil de las instalaciones y precautelar la integridad de los operadores.

El beneficiario directo fue el municipio del Cantón Mejía, el cual recibe la paga por la energía aportada a la red de la Empresa Eléctrica Quito, indirectamente a los pobladores del cantón Mejía al beneficiarse de dicho ingreso económico para futuras obras en su favor.

El impacto social es enorme debido a que los ingresos económicos alcanzan valores de casi medio millón de dólares al año, los cuales ingresan a las arcas del municipio del Cantón Mejía para beneficio de sus habitantes. También el impacto tecnológico es amplio al implementarse elementos cuya finalidad es prolongar la vida útil de las instalaciones de la central hidroeléctrica, generando rentabilidad económica en ella. Promueve además un impacto ambiental positivo al promover el uso de energía renovable.

Los operadores de la central, encargados de realizar las maniobras a las máquinas son los beneficiados con la utilidad práctica del presente proyecto, facilitando sus labores al tener un sistema más fácil de maniobrar, además de dotarles de información técnica necesaria para

garantizar el funcionamiento seguro y adecuado de las máquinas, evitando esfuerzos innecesarios de los equipos electromecánicos por maniobras incorrectas.

Este proyecto está acorde al objetivo 11 del Plan Nacional del Buen Vivir, en el que se debe asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica.

Además de tener concordancia con la matriz productiva ecuatoriana, que está enfocada a minimizar el uso de combustibles fósiles y promover el uso de energías alternativas limpias, en este caso la energía hidroeléctrica.

El proyecto se realizó con el apoyo técnico del grupo de Mantenimiento Eléctrico de Centrales de la Empresa Eléctrica Quito S.A. y financiado en su totalidad por el Municipio de Mejía.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Debido a que el proyecto se enfoca a restaurar las actividades de comercialización de energía eléctrica generada en la central La Calera y venderla a la Empresa Eléctrica Quito en su totalidad, los ingresos económicos los administra la municipalidad de Mejía, siendo beneficiarios indirectos todos los habitantes del cantón.

**Tabla 1.** Beneficiarios del proyecto.

DIRECTOS	INDIRECTOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Municipio de Mejía Propietario de la instalación.</li> <li>- Postulante: Edison Orbea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 81 335 habitantes del cantón Mejía.</li> <li>- Empresa Eléctrica Quito S.A. Comprador de la energía generada.</li> </ul>

Elaborado por: El postulante.

#### 5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

##### Situación Problemática

La central hidroeléctrica La Calera hasta la fecha ha funcionado sin ningún tipo de registro de arranque y parada de las unidades de generación, aún menos de fallas, debido a la falta de conocimientos eléctricos por parte de los operadores, esto hace que los únicos datos de funcionamiento que se tiene sean las versiones y anécdotas del personal encargado de la central.

Luego de suspenderse las actividades de generación de la Central Hidroeléctrica y tras firmar un convenio institucional la EEQ designa al grupo de Mantenimiento de Centrales para realizar la inspección técnica de los equipos instalados con lo que se determinan las fallas, pero

adicionalmente se realiza una entrevista a los responsables de la operación de las máquinas para identificar y solucionar acciones incorrectas por su parte.

Mencionando algunas de sus discursos se puede decir que:

Los operadores debían estar atentos para desconectar manualmente las unidades cuando existía posibilidad de descargas atmosféricas y así evitar daños en las mismas.

Cada máquina tenía un procedimiento diferente de sincronización y conexión en paralelo, teniendo que maniobrar los reóstatos de campo y ajuste indistintamente en cada caso, además, el interruptor de campo siempre se mantenía conectado, lo cual es incorrecto.

El disyuntor de la Unidad 1 estaba en mal estado y fue reemplazado hace algún tiempo, las protecciones existentes se encuentran inoperativas por obsolescencia, deterioro y falta de repuestos para reparaciones.

### **Problema**

Debido a lo anterior expuesto se define el problema como:

La central hidroeléctrica La Calera no se encuentra en condiciones de generar electricidad al tener los interruptores y protecciones eléctricas en mal estado.

## **6. OBJETIVOS**

### **General**

Reparar los sistemas eléctricos de control de los generadores de la central hidroeléctrica La Calera reemplazando componentes obsoletos e incorporando protecciones eléctricas para evitar accidentes a los operadores y prolongar la vida útil de los generadores eléctricos.

### **Específicos**

Realizar los planos de fuerza y control tanto de disyuntores como del sistema de excitación de los generadores.

Parametrizar los valores de medición y protección de los relés de sobre corriente y sobre voltaje instalados para su correcta operación.

Realizar pruebas finales de funcionamiento en todos los elementos instalados para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de generación.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 2.** Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

<b>Objetivo</b>	<b>Actividades</b>	<b>Resultado</b>	<b>Medio de verificación</b>
Realizar planos de fuerza, control y conexiones tanto de disyuntores como del sistema de excitación de generadores.	Identificar circuitos en las cabinas de control. Identificar componentes y su estado. Realizar planos de conexiones.	Referencia del estado de elementos existentes.	Planos de conexiones eléctricas.
Parametrizar los valores de medición y protección de los relés de sobre corriente y sobre voltaje instalados.	Verificación de relación de transformación de instrumentos de medición. Configuración de parámetros de accionamiento de relés.	Relés programados y listos para funcionar.	Protocolo de pruebas de inyección de corriente y tensión. Equipos SMRT36, DENSOKKI, CPC100.
Realizar pruebas finales de funcionamiento en todos los elementos instalados, para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de generación.	Pruebas de coincidencia de fases. Pruebas de accionamiento eléctrico de disyuntores. Prueba de sincronización de unidades.	Sistemas listos para maniobrase.	Protocolo de pruebas de sincronización. Analizador de energía AEMC 3945

**Elaborado por:** El postulante.

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

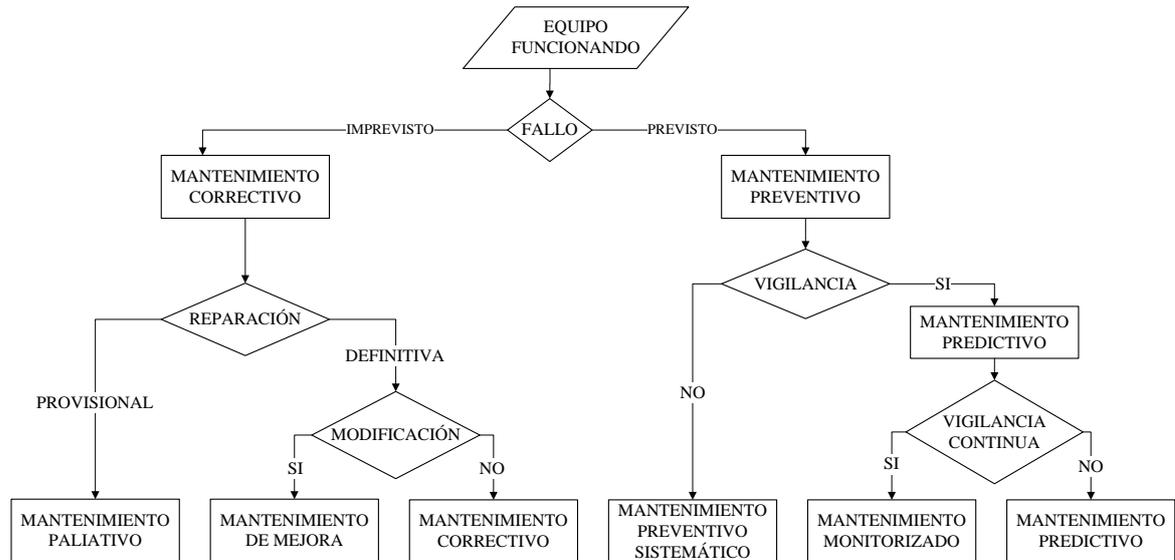
### Metodología de mantenimiento

El mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento. Díaz. (2010).

De acuerdo a la figura 1 se decide el tipo de mantenimiento a realizarse, debido a que las maquinas estuvieron en funcionamiento y se produjo un fallo imprevisto, es un mantenimiento correctivo debido a que se lo ha efectuado luego de que ha ocurrido la falla con la finalidad de reparar averías.

Este mantenimiento conlleva reparaciones definitivas en los sistemas de generación con modificación de las actuales conexiones y equipos. Específicamente se procedió a realizar un mantenimiento de mejora.

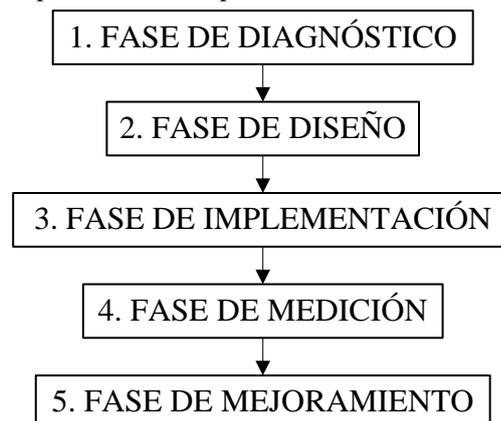
**Figura 1.** Diagrama de decision sobre el tipo de mantenimiento a aplicar.



**Fuente:** Díaz. (2010).

Una vez definido el tipo de mantenimiento es preciso seguir una metodología que facilite el cumplimiento de las actividades propuestas. La figura 2 muestra la metodología “5QS” para el diseño e implementación de planes de mantenimiento correctivo, esta metodología es la aplicada por el personal de mantenimiento de centrales de la EEQ y la que se ha seguido para el desarrollo del presente proyecto.

**Figura 2.** Metodología 5QS para el diseño e implementación de planes de mantenimiento.



**Fuente:** García, Gonzales & Cortés (2009).

### Niveles de tensión

Se denomina Baja tensión cuando el voltaje de suministro en el punto de entrega es inferior a 600 V.

Voltajes de suministro entre 600 V y 40 kV se encuentran en el Grupo Nivel Media Tensión.

Alta Tensión para suministro en el punto de entrega superiores a 40 kV y asociados con la Subtransmisión. ARCONEL. (2016).

### **Central hidroeléctrica**

“Una central hidroeléctrica se define como una instalación hidroenergética en la cual tiene lugar la transformación de la energía mecánica del líquido en eléctrica.” (De Juana et al., 2009, p. 274).

Según la Organización Latinoamericana de Energía OLADE, se clasifica según su potencia instalada: microcentrales, con menos de 100 kW; minicentrales, entre 100 y 1.000 kW; y pequeñas centrales de 1.000 a 10.000 kW.

La central Hidroeléctrica La Calera es una central de mediana presión, posee un salto de agua de 60 metros, clasificada como una central por derivación de aguas, y según la clasificación de la OLADE por su potencia instalada de 2,0 MW se la denomina como pequeña central.

### **Esquema de una central hidroeléctrica**

Para el trabajo de una central hidroeléctrica es necesario crear un salto concentrado de los niveles de agua, así como garantizar el suministro y la descarga de agua de la turbina. En general, en la composición de una central se incluye:

- La obra (o conjunto de obras) de captación.
- El sistema de disposición de suministro y descarga del agua de la turbina.
- El edificio de máquinas dotado de turbinas, generadores y equipo auxiliar. (De Juana et al., 2009, pp 275-276).

La Central La Calera capta el agua del río San Pedro a 2820 msnm y se lo restituye al mismo río a 2740 msnm, la bocatoma es de tipo convencional con un caudal de diseño de 4,55 m<sup>3</sup>/s.

Consta de dos tuberías de presión de superficie blindada de un metro de diámetro con una longitud de 150 m.

### **Turbina**

Según lo descrito por De Juana et al, 2009. Se llama turbina hidráulica a una máquina destinada a transformar la energía potencial del líquido en energía mecánica del rodete y del eje.

En la pequeña central hidroeléctrica La Calera se encuentran instaladas 3 turbinas de tipo radio-axial (Francis) de eje horizontal con una caída de diseño de 60 m y velocidad de rotación igual a 720 rev/min.

## Cojinetes

Como lo explica Coyne. 1970 en su libro. “En los alternadores de tipo horizontal, el eje descansa sobre cojinetes sencillos de manguito, los cuales soportan el peso del inductor rotativo en cada extremo del eje.”

El propósito del cojinete en una turbina de eje horizontal es soportar una carga puramente radial y al mismo tiempo permitir el movimiento relativo entre dos elementos de una máquina.

## Generador síncrono

“Los generadores síncronos o alternadores son máquinas sincrónicas utilizadas para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica AC.” Chapman. (1987). p. 272

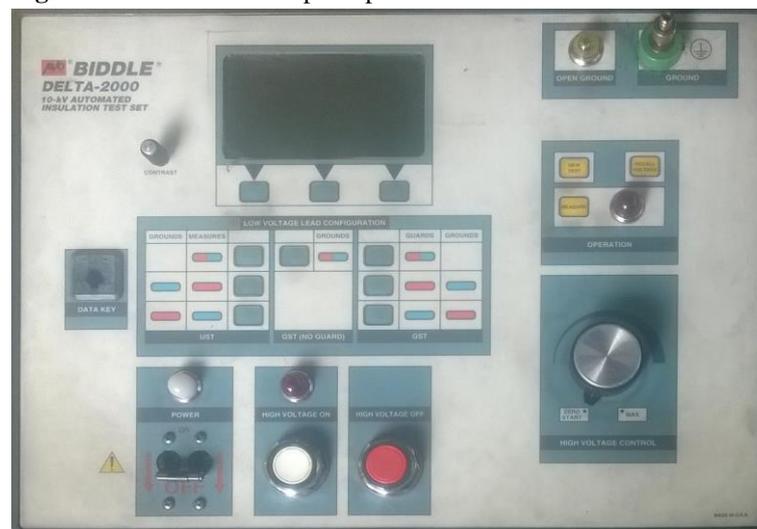
Los 3 generadores instalados tienen un voltaje de generación de 6,3 kV a 60 Hz y un coeficiente de generación de 80%, las dos primeras unidades tienen una capacidad de 0,5 MW y la tercera unidad de 1,00 MW

## Pruebas eléctricas de bobinados.

### DELTA-2000. Equipo automatizado de prueba de aislamiento de 10 kV.

El DELTA-2000 se usa para pruebas de campo de sistemas de aislamiento eléctrico de alto voltaje con tensiones de prueba de hasta 12 kV.

**Figura 3.** Panel de control principal DELTA-2000



Elaborado por: El postulante.

Realiza medidas del conjunto de pruebas de la capacidad y la pérdida dieléctrica debido a las variaciones del nivel de voltaje y las condiciones ambientales, por ejemplo, cambios en temperatura, humedad, presión, choque mecánico, vibración y tensión. El conjunto de pruebas

hace todas las pruebas UST y GST estándar en aparatos de alto voltaje; siete conmutadores de modo de prueba se establecen en el panel frontal del equipo (AVO INTERNATIONAL, 2001).

### Prueba de factor de potencia del aislamiento de bobinados

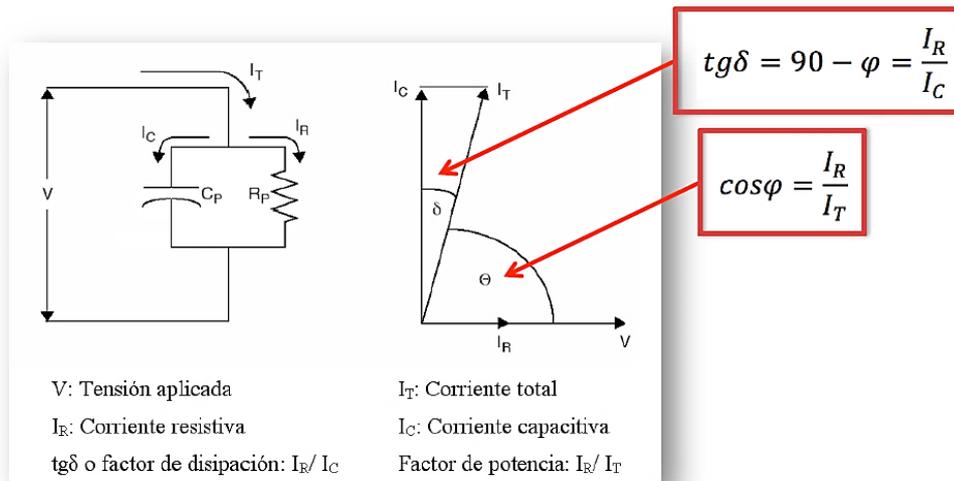
Es una técnica de prueba eléctrica que aplica una tensión alterna para medir la corriente de fuga/pérdida en el aislamiento eléctrico.

El objeto de este ensayo es el de medir los valores de capacitancia y de  $tg \delta$  (factor de disipación) o  $\cos \varphi$  (factor de potencia) de las diferentes combinaciones del sistema de aislamiento (por ejemplo, transformadores, bushings, generadores, motores, etc.)

La relación entre la componente resistiva y la componente capacitiva es la denominada  $tg \delta$  o factor de disipación.

La relación entre la corriente resistiva y la corriente total que circula por el dieléctrico se denomina factor de potencia.

**Figura 4.** Relación entre factor de potencia y factor de disipación.



Fuente: Megger. (2013)

$$tg\delta = 90 - \varphi = \frac{I_R}{I_C} \quad (\text{Ecuación 8.1})$$

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I_T} \quad (\text{Ecuación 8.2})$$

La capacitancia  $C_p$  determina el nivel de pérdidas de tensión en el aislamiento de un bobinado, se la puede calcular aplicando la formula

$$C_p = \frac{C_s}{1 + tg^2 \delta_s} = \frac{C_s}{1 + (R_s \omega C_s)^2} \quad (\text{Ecuación 8.3})$$

Donde:

$C_p$  = Capacitancia paralelo (pF).

$C_s$  = Capacitancia serie (pF).

$R_s$  = Resistencia serie ( $\Omega$ ).

La metodología de ensayo consiste en aplicar típicamente 10 kV AC, sin exceder el valor de la tensión nominal del espécimen bajo prueba. El equipo medirá:

- Corriente de pérdida (mA)
- Pérdidas de potencia (W)
- Capacitancia (pF)

Los datos obtenidos de la medición deben ser sometidos a verificación mediante la siguiente tabla para interpretar los resultados.

**Tabla 3.** Criterio para interpretación de resultados de factor de potencia en máquinas rotativas.

<b>AVO INTERNATIONAL</b> Bobinados de máquina rotativa 2,3 Kv a 13,8 Kv 2,0 > % FP <8,0	<b>JAPAN IERE COUNCIL</b> FP < 2% Bueno FP $\geq$ 2% De cuidado FP $\geq$ 6,5% Crítico	<b>IEEE.STD 286-2000</b> TIP-UP <2 Bueno TIP-UP >2<6,5 Observación TIP-UP >6,5 Alto riesgo de ruptura
--	---	--

Fuente: AVO INTERNATIONAL. (2001).

**Tabla 4.** Criterio para interpretación de resultados de factor de potencia en transformadores.

<b>DOBLE</b> FP $\leq$ 0,5% Transformadores Nuevos FP $\leq$ 2,0% Transformadores en Operación	<b>IEEE / STD C57.12.90</b> FP $\leq$ 0,5% Bueno FP $\geq$ 0,5% - $\leq$ 0,7% Deterioro Normal Fp $\geq$ 0,7% - $\leq$ 1,0% Requiere Investigación FP $\geq$ 1% Deterioro Excesivo	<b>AVO INTERNACIONAL</b> FP $\geq$ 0,25 - $\leq$ 1,0 Transformadores Nuevos FP $\geq$ 0,75 - $\leq$ 1,5 Transformadores en Operación
--	--	--

Fuente: AVO INTERNATIONAL. (2001).

**Tabla 5.** Criterio para interpretación de resultados de factor de potencia en bushings.

<b>AVO INTERNATIONAL</b> FP $\leq$ 4% Bushings en aceite FP $\leq$ 2% Bushings Secos	<b>IEEE C57.19.01:2000</b> Bushings Secos Capacitancia < 100 pF
--	---

Fuente: AVO INTERNATIONAL. (2001).

Los resultados obtenidos mediante el equipo de pruebas se deben someter al criterio de la persona responsable de ejecutar las pruebas, las tablas 3, 4 y 5 muestran criterios según diferentes normas internacionales para realizar una comparación y dar un resultado más preciso del estado de los bobinados.

De acuerdo a la norma IEEE Std. C57.19.01; no hay límite de factor de potencia para bushings sólidos, ya que el efecto de la capacitancia parásita y/o pérdidas dieléctricas en la superficie de especímenes de baja capacitancia ( $<100\text{pF}$ ), pueden causar variaciones significativas en el factor de potencia medido.

### **Megger S1-1054/2**

El S1-1054/2 es un comprobador de aislamiento de 10 kV controlado por un microprocesador con una capacidad de medición de hasta  $15\text{ T}\Omega$ . El dispositivo realiza pruebas automáticas y cuenta con funciones de almacenamiento y recuperación de datos. Las pruebas de índice de polarización y descarga dieléctrica se realizan de modo automático. La duración y el voltaje de las pruebas pueden ajustarse de acuerdo con las preferencias del usuario.

**Figura 5.** Megger S1-1054/2



**Elaborado por:** El postulante.

### **Prueba de índice de polarización (IP)**

La relación de dos lecturas tiempo – resistencia: con una lectura de 10 minutos dividida entre una lectura de un minuto, (índice de polarización) y una lectura de 60 segundos dividida entre una lectura de 30 segundos (relación de absorción dieléctrica). Es útil en el registro de información sobre aislamiento.

Los voltajes de prueba comúnmente utilizados dependen de la capacidad del espécimen; si tiene una capacidad en CA hasta 100V, el voltaje de prueba DC será de 100 a 250 V y de 1.000 a 5.000 VDC o mayor, si la capacidad del espécimen es mayor a 4.160 VAC.

**Tabla 6.** Condiciones de aislamiento indicadas por las relaciones de absorción dieléctrica.

<b>Condiciones del aislamiento</b>	<b>Relación 60/30 segundos</b>	<b>Relación 10/1 minutos (índice de polarización)</b>
<b>Peligroso</b>	-	Menos de 1
<b>Dudoso</b>	1,0 a 1,25	1,0 a 2
<b>Bueno</b>	1,4 a 1,6	2 a 4
<b>Excelente</b>	Arriba de 1,6	Arriba de 4

Fuente: AVO INTERNATIONAL. (2001).

La tabla 6 proporciona los valores de las relaciones de tiempos de pruebas (relación de absorción dieléctrica e índice de polarización) y las condiciones relativas correspondientes del aislamiento que ellas indican.

### **Sistema de excitación**

Este sistema se entiende como la fuente de corriente de campo para la excitación principal de la máquina incluyendo sus elementos de control, el inductor de un alternador se excita siempre con corriente continua y de esta manera se mantiene en cada polo una polaridad constante.

### **Excitatriz**

La corriente continua para la excitación de los inductores del alternador se produce en un generador distinto de DC, al que se le da el nombre de excitatriz. Suelen ser de voltaje de funcionamiento bajo.

**Figura 6.** Excitatriz Unidad 2.



Elaborado por: El postulante.

La corriente continua procedente de la excitatriz se conduce a los polos inductores y rotativos del alternador por intermedio de escobillas y de anillos deslizantes (Coyne. 1970. p. 114)

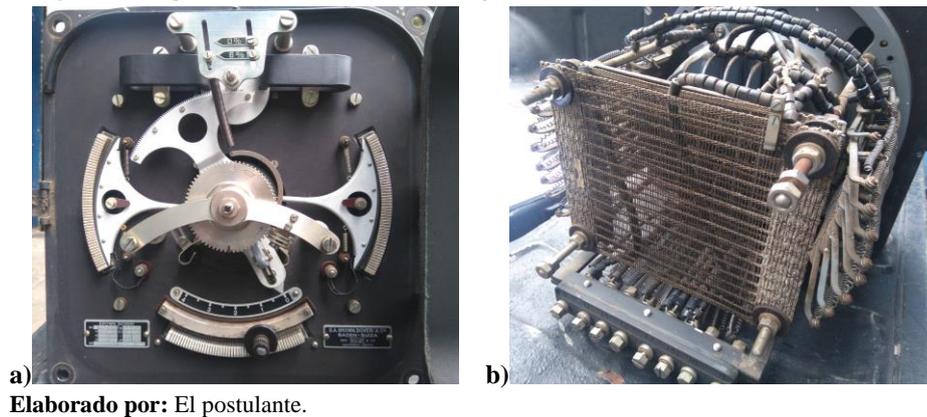
Las excitatrices existentes instaladas en la central La Calera son generadores de corriente continua suizos S.A. BROWN, BOVERI & CIA de 8,5 kW con una tensión de 50 V y 170 A que giran a velocidad nominal de 720 rev/min.

### Regulador automático de voltaje

A los generadores de las centrales eléctricas se les exige que mantengan la tensión sensiblemente constante.” (Ramírez. 1984. p. 547)

Al producirse una variación de carga en el sistema, esta se refleja como una variación de tensión en el generador, al AVR detecta esta variación para hacer girar un motor de inducción y con ello dos sectores rodantes de aluminio (figura 7a) que conmutan porciones del grupo de resistencias (figura 7b).

**Figura 7.** Regulador Automático de Voltaje (AVR).



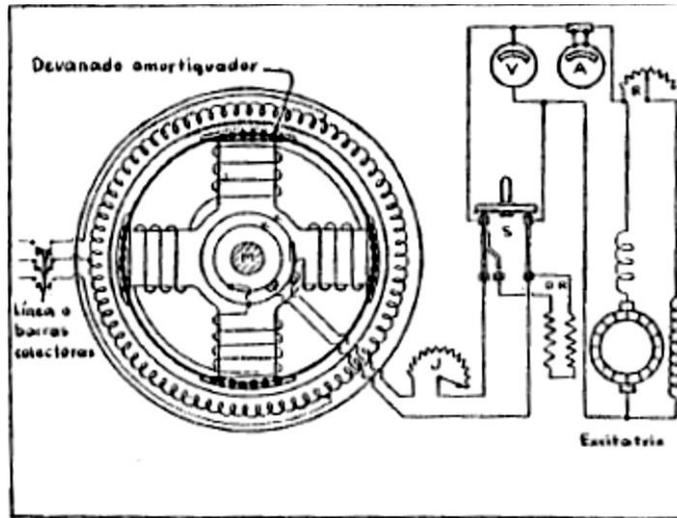
Elaborado por: El postulante.

Este AVR marca BROWN BOVERI requiere una tensión de 9,3 V a 60 Hz para funcionar y su conjunto de resistencias es de 6,41  $\Omega$ .

### Interruptor de campo

El interruptor de campo S generalmente es el encargado de conectar la tensión generada en la excitatriz con el bobinado inductor del rotor como se observa en la figura 8, pero en el caso específico de la Central Hidroeléctrica La Calera, éste conecta el inductor del estator de la excitatriz con el reóstato de campo para poder regular la excitación del generador principal.

**Figura 8.** Conexión típica del sistema de excitación.



Fuente: Coyne. 1970.

### **Reóstato de campo**

Según la definición de la Real Academia Española (RAE, 2014) un reóstato es un “instrumento para variar la resistencia de un circuito eléctrico”, es de construcción robusta ya que se usa con corriente alterna AC, consiste en grupos de resistencias que pueden interconectarse a voluntad girando una perilla.

### **Reóstato de ajuste**

El reóstato de ajuste de la excitatriz R, tiene características similares y nos ofrece una función similar al reóstato de campo, pero con un ajuste más grueso o de mayor amplitud.

Estos reóstatos e interruptor de campo se pueden apreciar en la Figura 35.

### **Conexión en paralelo de generadores**

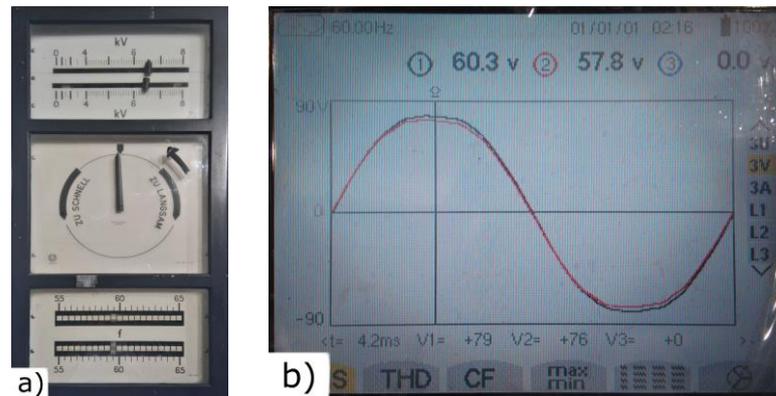
Como lo menciona Kosow. 1993 “El principio fundamental que gobierna el funcionamiento en paralelo es el viejo proverbio de «no poner todos los huevos en la misma canasta».” (p. 201).

Un sistema de energía eléctrica consiste en general de varias estaciones de generación trabajando todas en paralelo, pero conectadas a una misma red para suministrar la energía necesaria para cubrir las demandas energéticas de los usuarios.

### **Sincronoscopio**

“Tiene una aguja giratoria para indicar si la máquina que entra gira más lenta o rápidamente, y un índice fijo para indicar el instante preciso de sincronización en que se debe cerrar el interruptor de conexión en paralelo.” (Kosow. 1993. p. 230)

**Figura 9.** a) Sincronoscopio sincronizado; b) Ondas superpuestas en fase



Elaborado por: El postulante.

El sincronoscopio existente en La Calera es de tipo aspa polarizada como se muestra en la Figura 9a, en donde el aspa o puntero esta polarizada a la frecuencia de la máquina que esté trabajando. Cuando las frecuencias están exactamente en sincronismo (Figura 9b), el indicador se alineará en posición vertical fija.

### Parámetros de sincronización

Para que los alternadores puedan funcionar en paralelo, sus voltajes tienen que ser iguales y además las máquinas deben ser debidamente sincronizadas y puestas en fase, esto es que la frecuencia sea la misma (60 Hz en Ecuador) y que el ángulo de desfase entre fases de línea con las de generador sean cero como muestra la figura 9b. Esas tres condiciones son las principales que han de observarse al acoplar o conectar cualquier alternador en paralelo con otro.

### Disyuntor

Es el elemento encargado de interrumpir o restablecer la conducción de corriente en un circuito eléctrico. La operación de este elemento se lo realiza con carga, es por ello que cuentan con una cámara especial en la que se aísla el arco eléctrico característico de una maniobra de conexión o desconexión eléctrica. Pueden ser del tipo neumáticos, en aceite, en vacío o en hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

### Disyuntor en pequeño volumen de aceite

Este es un disyuntor que cuenta con una cámara de extinción de arco la cual se encuentra llena con aceite dieléctrico.

Saavedra & Gutiérrez. (2007). Menciona en su tesis que en el interior de la cámara de extinción de arco se disponen los contactos; uno fijo y uno móvil por fase. El contacto móvil se desplaza

hacia arriba para lograr la unión entre los dos contactos y con ello la conexión eléctrica de los elementos.

**Figura 10.** Disyuntor en pequeño volumen de aceite MITSUBISHI 10-LDN-25



**Elaborado por:** El postulante.

Los parámetros de operación nominales de este disyuntor son 6,3 kV y 200 A. La tensión de control de cierre del disyuntor necesaria es de 90 a 130 VDC.

### **Fase de diagnóstico**

Iniciando con una inspección visual de los equipos existentes, se encuentran varios defectos, entre ellos el pésimo estado de los disyuntores de generadores, esto debido a esfuerzos eléctricos que han provocado que los bushings cerámicos se rompan.

Se procede a revisar los relés de protección encontrándose que 3 de ellos no están funcionando, y los repuestos son muy difíciles de conseguir al ser ya demasiado antiguos.

Se ha llegado a la conclusión de cambiar los disyuntores defectuosos junto con todo el sistema de protecciones incorporando equipos más actuales. Tras decidirlo se procede a realizar pruebas del estado de funcionamiento de los equipos a instalarse.

### **Pruebas eléctricas de disyuntores.**

#### **Prueba de resistencia de aislamiento**

El equipo de prueba utilizado aplica tensión DC y mide resistencias de alto valor, en el orden de  $M\Omega$  ( $10^6\Omega$ ),  $G\Omega$  ( $10^9\Omega$ ) o  $T\Omega$  ( $10^{12}\Omega$ ).

La prueba consiste en:

- Abrir el disyuntor
- La temperatura a ser considerada para propósitos de reajuste será la del aceite o interna del equipo.
- Tomar la lectura a 1 minuto en la máxima escala de medición.

Con la Ecuación 8.4 se calcula la temperatura interna del equipo en relación a la temperatura ambiente y la temperatura superficial del equipo.

$$T_{eq} = T_p + \frac{2}{3}(T_p - T_a) \quad (\text{Ecuación 8.4})$$

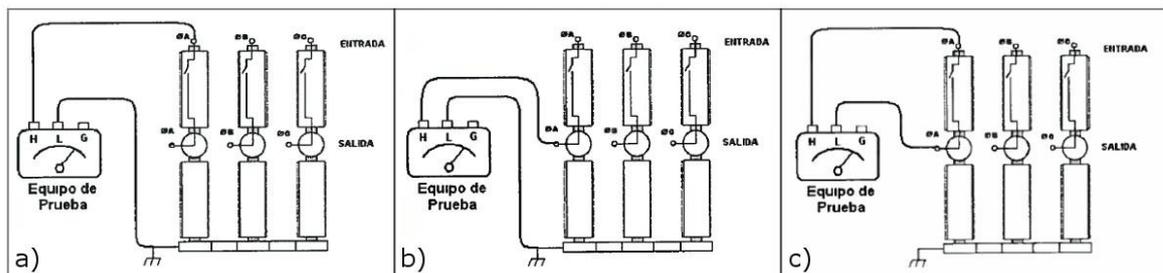
Donde:

- $T_{eq}$  = Temperatura interna del equipo (°C)
- $T_p$  = Temperatura del tanque principal (°C)
- $T_a$  = Temperatura ambiente (°C)

El procedimiento para ejecutar la prueba consiste en conectar los equipos para los siguientes tipos de prueba en cada fase.

- Prueba entrada-tierra (Figura 11a)
- Prueba salida-tierra (Figura 11b)
- Prueba entrada-salida (Figura 11c)

**Figura 11.** Conexión para prueba de aislamiento de disyuntores.



Fuente: Empresa Eléctrica Quito S.A. (2013).

Para los voltajes de la EEQ, es decir 138 kV, 46 kV, 23 kV, 13,2 kV y 6,3 kV, se aplicará 5000 VDC para las pruebas entrada-tierra, salida-tierra y entrada- salida.

Para disyuntores en aceite dado que la resistencia de aislamiento es inversamente proporcional a la temperatura, como parte del historial de comportamiento la lectura debe ser corregida a 20

°C de referencia. Para convertir la medición a una misma base de temperatura, se utiliza la siguiente ecuación.

$$R_c = K_t \times R_t \quad (\text{Ecuación 8.5})$$

Donde:

- $R_c$  = Resistencia de aislamiento corregida a la temperatura base de 20 °C (M $\Omega$ ).
- $R_t$  = Resistencia de aislamiento a la temperatura que se efectuó la prueba (M $\Omega$ ).
- $K_t$  = Coeficiente de corrección de temperatura.

### Megger DLRO-10-HD

Este instrumento es capaz de suministrar 10 A mientras mide hasta 250 m $\Omega$ ; y 1 A mientras mide hasta 2,5  $\Omega$ .

Se pasa corriente a través de la unidad bajo prueba en ambas direcciones y se promedia la resistencia resultante.

**Figura 12.** Megger DLRO-10-HD



**Elaborado por:** El postulante.

### Pruebas de resistencia de contactos

La medición de la resistencia óhmica de los contactos, da una indicación del estado de los contactos debido al uso normal.

El propósito de la prueba es detectar puntos con alta resistencia en partes de conducción, que pueden ser fuente de caídas de voltaje, fuentes de calor, entre otras.

El equipo de medición utilizado aplica corriente DC, mide voltaje DC y mide bajos valores de resistencia en el rango de  $\mu\Omega$  ( $10^{-6}\Omega$ ).

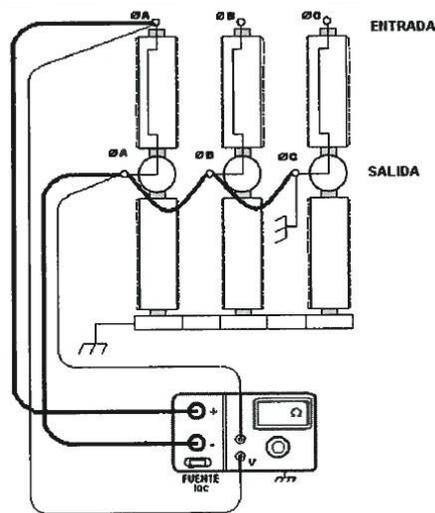
La prueba consiste en:

El disyuntor debe estar cerrado.

Conectar los 4 terminales del equipo de prueba a los correspondientes puntos de cada fase, según la figura 13.

La corriente aplicada será entre 50 A y la corriente nominal del disyuntor. Según norma IEC EN 60694 1997-11.

**Figura 13.** Conexión para prueba de resistencia de contactos de disyuntores.



Fuente: Empresa Eléctrica Quito S.A. (2013).

### **Pruebas de tiempos de apertura, cierre y simultaneidad de contactos**

En los disyuntores, el tiempo de apertura y cierre es crítico ya que el mismo está ligado a la cantidad de energía que puede manejar.

Los propósitos de la prueba son:

Medir el retardo de tiempo de los contactos principales con respecto a los comandos de las bobinas de cierre y apertura.

Determinar los tiempos de operación en sus diferentes formas de maniobra (apertura, cierre, disparo libre, recierre).

Verificar la simultaneidad o sincronismo de tiempo de los contactos entre fases o polos.

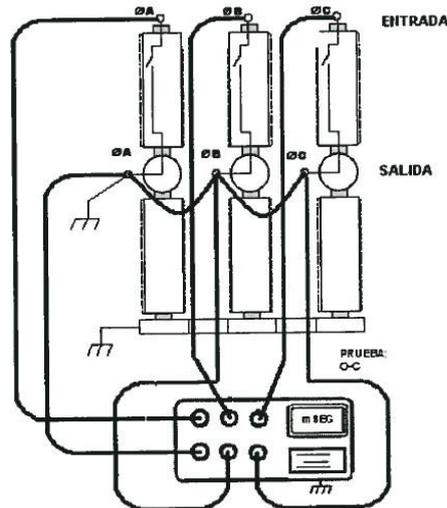
La prueba consiste en:

El disyuntor debe estar cerrado.

Conectar los 6 terminales del equipo de prueba a los correspondientes polos de cada fase, según la figura 14.

Ejecutar según la opción de prueba para O y C, donde, O = open o abrir, C = close o cerrar.

**Figura 14.** Conexión para prueba de tiempos de apertura, cierre y simultaneidad de contactos de disyuntores.



Fuente: Empresa Eléctrica Quito S.A. (2013).

### Protecciones eléctricas

Los sistemas de protección se utilizan para evitar la destrucción de equipos o instalaciones por causa de falla eléctrica. Los sistemas de protección deben aislar los elementos donde se ha producido la falla, buscando perturbar lo menos posible la red, limitar el daño al equipo donde se ha producido la falla, minimizar las posibilidades de incendio y minimizar el peligro para las personas.

Para este fin se emplean relés, que son dispositivos electromagnéticos que emplean una señal de corriente auxiliar débil, para abrir o cerrar un circuito diferente en el que normalmente circula una corriente mayor.

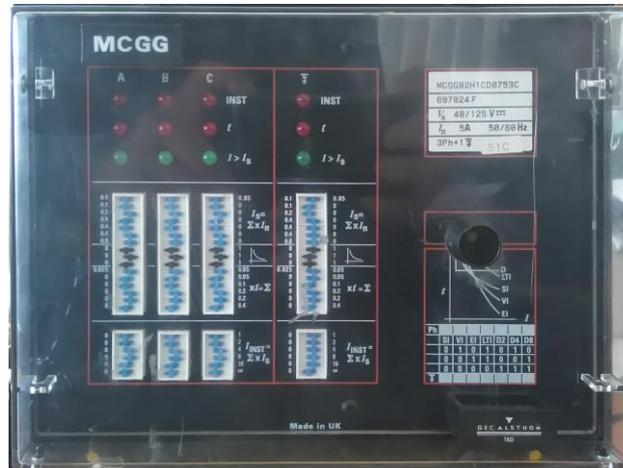
### Relé de sobre corriente (función 50 – 51)

Este relé se usa donde se requiere limitar a valores preestablecidos la circulación de corriente eléctrica de acuerdo a un tiempo, falla de tierra o protección de resistencia de puesta a tierra.

Tienen la función de medir permanentemente la intensidad de corriente de un circuito y compararlos con los valores de ajuste, además de establecer si existe una condición de elevados niveles de corriente producto de alguna sobre carga o corto circuito, en cuyo caso envía una señal eléctrica que se la puede usar para dar señales o acciones de parada de la máquina.

Según el Standard IEEE C37.2, (2008) se denomina «Relé instantáneo de sobre intensidad» con el número 50, y «Relé de sobre intensidad temporizado» con el número 51.

**Figura 15.** Vista frontal relé de sobre corriente MCGG 82



Elaborado por: El postulante.

### Relé de bajo y sobre voltaje (función 27 – 59)

Estos relés ofrecen protección contra bajas tensiones y altas tensiones, realiza lecturas permanentes de voltaje y las compara con un valor de ajuste programado previamente y en caso de que la relación sea diferente envía una señal eléctrica para poder realizar las maniobras correspondientes.

Según el Standard IEEE C37.2, (2008) se denomina «Relé de mínima tensión» con el número 27, y «Relé de sobretensión» con el número 59.

**Figura 16.** Vista frontal relé de tensión MiCOM P921



Elaborado por: El postulante.

### **Relé de bloqueo (función 86)**

Es un relé accionado eléctricamente con reposición manual o eléctrica, que funciona para parar y mantener un equipo fuera de servicio cuando recurren condiciones anormales.

Según el Standard IEEE C37.2, (2008) se denomina «Relé de enclavamiento o relé de bloqueo» con el número 86.

### **Pararrayos**

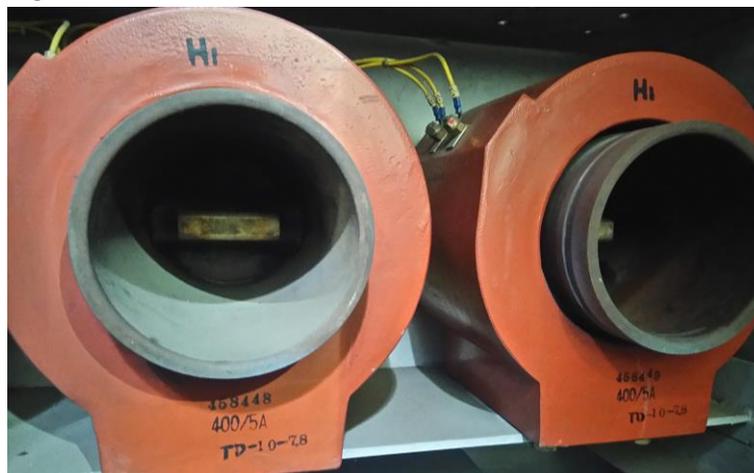
Es un dispositivo que sirve para protegernos de sobre voltajes que pueden presentarse en la red, descargándolos a tierra. Actúa cuando se eleva el nivel de voltaje en la red por encima de un 25% o más obligando a actuar las protecciones del sistema (Abril. 2014).

### **Instrumentos de medición**

#### **Transformadores de corriente (TC)**

Los transformadores de corriente de tipo toroidal son los que actualmente se encuentran instalados en las cabinas de disyuntores, este equipo consta de un arrollamiento cilíndrico por el que se atraviesa el cable que se desea medir su corriente. La inducción electromagnética hace que se genere una corriente establecida por la relación de transformación del TC.

**Figura 17.** Transformadores de corriente toroidales.



Elaborado por: El postulante.

#### **Transformadores de potencial (TP)**

Siguen el principio básico de un transformador, es decir la línea a medirse se conecta al extremo del bobinado de alta tensión del transformador y por el principio de inducción electromagnética se induce una tensión en el bobinado secundario que es proporcional al número de vueltas y a una relación de transformación establecida. Esta relación se determina mediante la ecuación siguiente:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = m \quad (\text{Ecuación 8.6})$$

Donde:

- N<sub>p</sub> Numero de espiras del devanado primario.
- N<sub>s</sub> Numero de espiras del devanado secundario.
- V<sub>p</sub> Tensión del devanado primario o de entrada (V).
- V<sub>s</sub> Tensión del devanado secundario o de salida (V).
- I<sub>p</sub> Corriente en el devanado primario (A).
- I<sub>s</sub> Corriente en el devanado secundario (A).
- m Relación de transformación.

**Figura 18.** Banco de transformadores de potencial monofásicos.



Elaborado por: El postulante.

El banco de transformadores monofásicos existentes en la central es de 0,085 kV·A de potencia y tienen una relación de transformación en vacío de 6.300/100 V.

### **Medidor de energía**

De la amplia gama de medidores de la marca ITRON se ha instalado el modelo SENTINEL del tipo SS4A2L que es un medidor electrónico multifunción trifásico de 4 W, 3 elementos, con base y perfil de carga.

En el cual se pueden observar parámetros como: fecha, hora, potencia activa (W), potencia reactiva (V·AR), potencia aparente (V·A), factor de potencia, tensión y corriente de las 3 fases.

**Figura 19.** Medidor multimedida Itrón Sentinel.



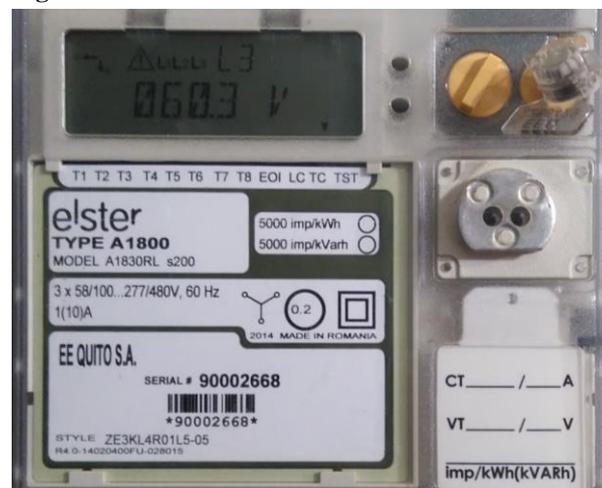
Elaborado por: El postulante.

### Contador de energía de medición indirecta

Este es un medidor electrónico trifásico multitarifa usado como contador de energía para la facturación de la energía entregada a la red.

Consta de una pantalla LCD en la que se puede apreciar: fecha, hora, potencia activa (Wh), potencia reactiva (V·ARh), potencia aparente (V·Ah), factor de potencia, tensión y corriente de las 3 fases.

**Figura 20.** Medidor multitarifa Elster.



Elaborado por: El postulante.

### Barra colectora

Las barras son aquellos conductores formados por perfiles rectangulares de cobre a las que se conectan los distintos generadores (Juan & Perez. 2010).

Es el punto común al que se conecta la salida de cada uno de los generadores a través de los disyuntores para enviar la energía generada hacia el patio de elevación de la central y posteriormente a los centros de carga o distribución.

### **Patio de transformadores de elevación**

Es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica en este caso la energía generada en la central hidroeléctrica.

Consta de un grupo de tres transformadores monofásicos encargados de elevar la tensión generada en la central desde 6.300 V hasta los 23.000 V.

### **Sistema de servicios generales de estación**

#### **Banco de baterías**

Para el correcto funcionamiento de los equipos instalados se requiere una fuente adicional de respaldo de energía en corriente continua de 125 VDC, cumple la función de almacenar energía en caso de corte de suministro de la red, dicho sistema está en condiciones para suministrar energía por un lapso de 5 horas continuas.

#### **Transformador reductor 6.300 / 110 V**

Este elemento permite reducir la tensión de 6.300 V de la red a 110 V para el uso doméstico dentro de la central; como electrodomésticos, máquinas herramientas, iluminación y alimentación del puente grúa.

## **9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS**

De acuerdo a la naturaleza práctica del proyecto se ha planteado la siguiente hipótesis.

Con la reparación de los sistemas eléctricos de generación de la central hidroeléctrica La Calera se garantiza el aporte de 2 MW de energía generada a la red de la EEQ.

## **10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

### **Fase de diseño**

Luego de determinar que todos los elementos necesarios se encuentran en buen estado se procede a diseñar los circuitos de control y fuerza para la conexión y desconexión eléctrica de disyuntores.

Es preciso también rediseñar el circuito y cableado del sistema de excitación de los generadores incorporando los nuevos equipos.

### **Datos Técnicos Central Hidroeléctrica La Calera**

La información que se muestran a continuación son datos de placas de los transformadores monofásicos WESTINGHOUSE del patio de elevación de la central.

Banco de transformadores = 3,99 MV·A

Voltaje = 6,3 / 23 kV

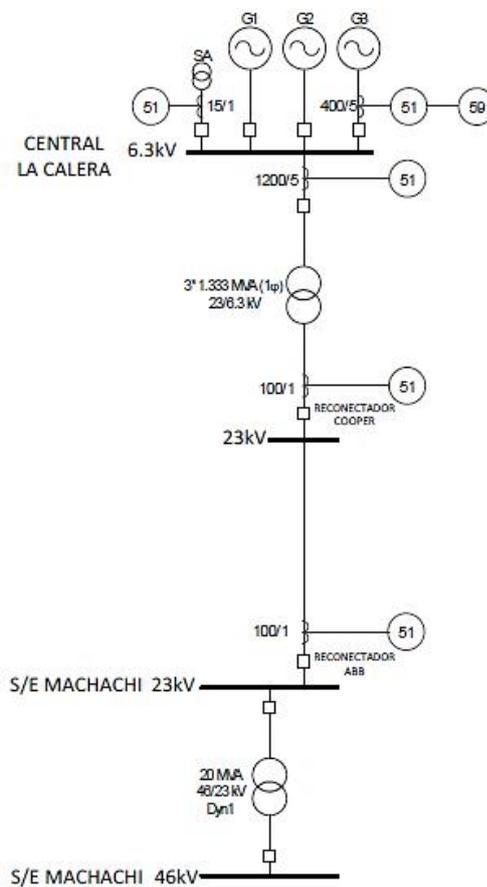
Grupo de conexión = Dyn1

Corriente a 6,3 kV = 365,7 A

Corriente a 23 kV = 100,2 A

El diagrama unifilar que se presenta en la figura 21 es el existente actualmente, ya incluye el rediseño en el cual se presenta la ubicación y datos básicos de transformadores de medida y protecciones instaladas.

**Figura 21.** Diagrama unifilar Central La Calera



**Fuente:** Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

Los siguientes son datos de placas de los generadores de corriente alterna trifásicos marca Brown, Boveri de eje horizontal fabricados en el año 1957, la ubicación de cada generador en la casa de máquinas se muestra en la Figura 34.

Generador 1

Potencia: 625 kV·A; Corriente a 6,3 kV = 57,3 A; rev/min: 720.

Generador 2

Potencia: 625 kV·A; Corriente a 6,3 kV = 57,3 A; rev/min: 720.

Generador 3

Potencia: 1.250 kV·A; Corriente a 6,3 kV = 114,6 A; rev/min: 720.

### Trabajos realizados en las instalaciones de la Empresa Eléctrica Quito

#### Desmontaje y traslado de cabinas de media tensión e interruptores de potencia marca Mitsubishi desde la S/E Sur hacia C.H. Guangopolo.

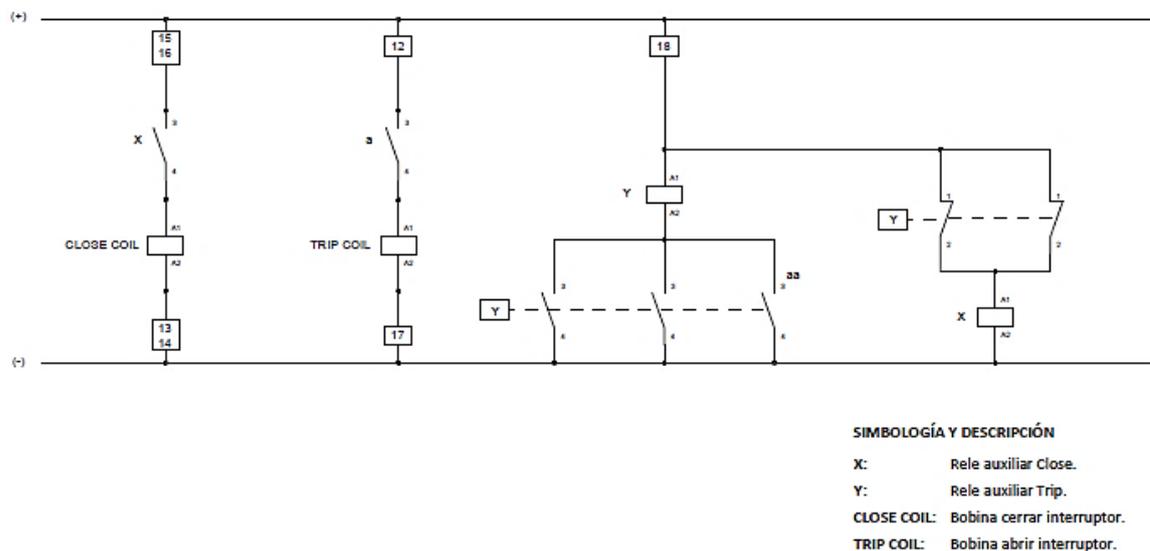
Tras realizar una inspección y ver la factibilidad de adecuar las cabinas existentes y que están en desuso en la subestación sur en el sector de Luluncoto, se procede a realizar las gestiones necesarias para usar dichas cabinas en la Central “La Calera” y trasladarlas a casa de máquinas de C.H. Guangopolo para realizar un mantenimiento previo al traslado a “La Calera”.

Los interruptores son del tipo MITSUBISHI 10-LDN-25 en pequeño volumen de aceite con tensión nominal de operación de 6.300 voltios, siendo este valor igual al generado por cada unidad de generación.

#### Revisión de planos e identificación de circuitos de interruptores de potencia de cabinas Mitsubishi.

El área de mantenimiento de subestaciones facilita los planos de las cabinas de media tensión con lo cual se procede a realizar los primeros esquemas para el control de las unidades de generación de la Central “La Calera”, obteniéndose el siguiente diagrama.

**Figura 22.** Esquema de accionamiento y contactos disyuntor Mitsubishi 10-LDN-25



Elaborado por: El postulante.

### Mantenimiento de partes mecánicas de interruptores de potencia.

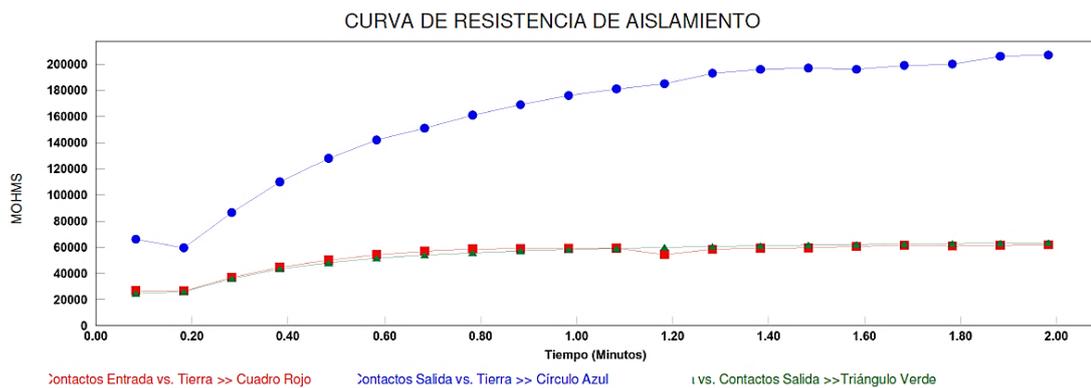
Dado que las cabinas e interruptores han estado algún tiempo sin operar se procede a realizar un mantenimiento para comprobar que los componentes internos, mecanismos de conexión y desconexión se encuentran en condiciones para ponerlos en operación.

Se encuentra que el aceite en los interruptores contiene gran cantidad de partículas de carbón por lo cual se procede a realizar la limpieza interna y reemplazar dicho aceite por uno nuevo de origen semisintético inhibido (tipo 2) de base nafténica marca VENOCO para garantizar las propiedades aislantes que se requiere para la operación.

### Pruebas de resistencia de aislamiento de disyuntores.

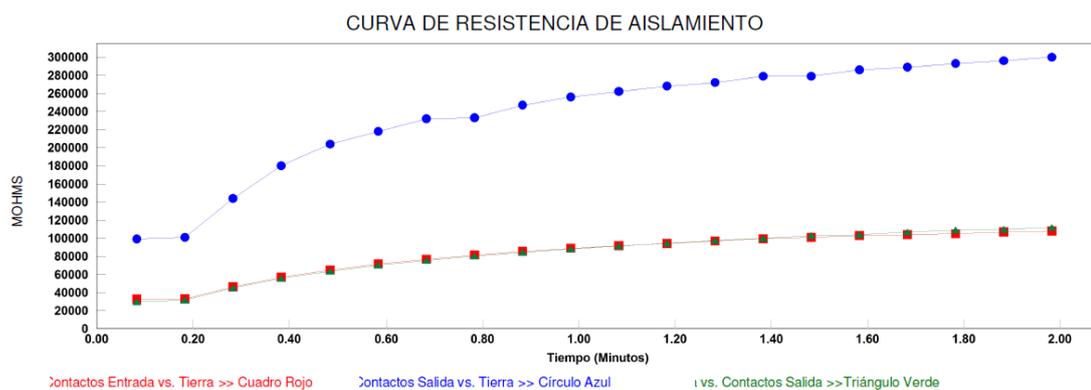
Las pruebas de evaluación de resistencia de aislamiento se las realizó con el equipo verificador de aislamiento MEGGER S1-1054/2.

**Figura 23.** Curva de resistencia de aislamiento disyuntor 52\_G1.



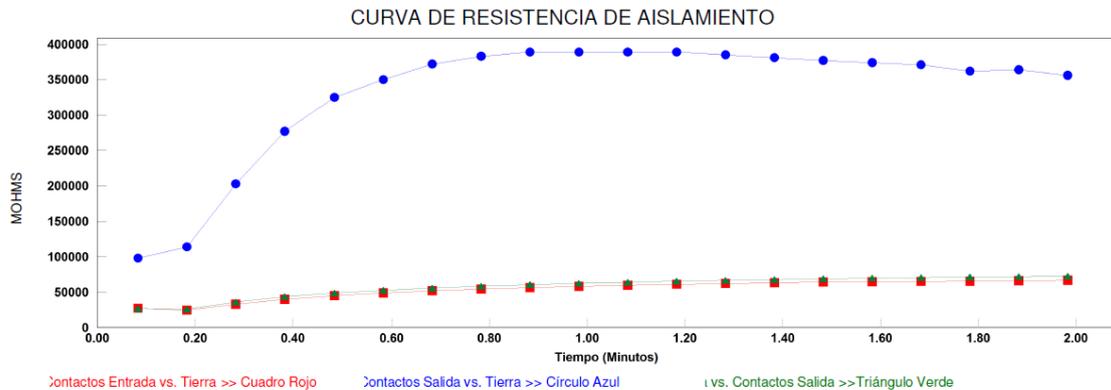
Luego de realizar las pruebas y aplicar los factores de corrección por temperatura con las ecuaciones 8.4 y 8.5 se han obtenido resultados de resistencia en el rango de  $100 \text{ G}\Omega$ , que según AVO INTERNATIONAL. (1992). indican un buen estado de aislamiento de los disyuntores.

**Figura 24.** Curva de resistencia de aislamiento disyuntor 52\_G2.



La figura 24 muestra que los valores de resistencia de aislamiento se consideran aceptables, la deformidad de la curva se puede atribuir a las condiciones ambientales de la zona.

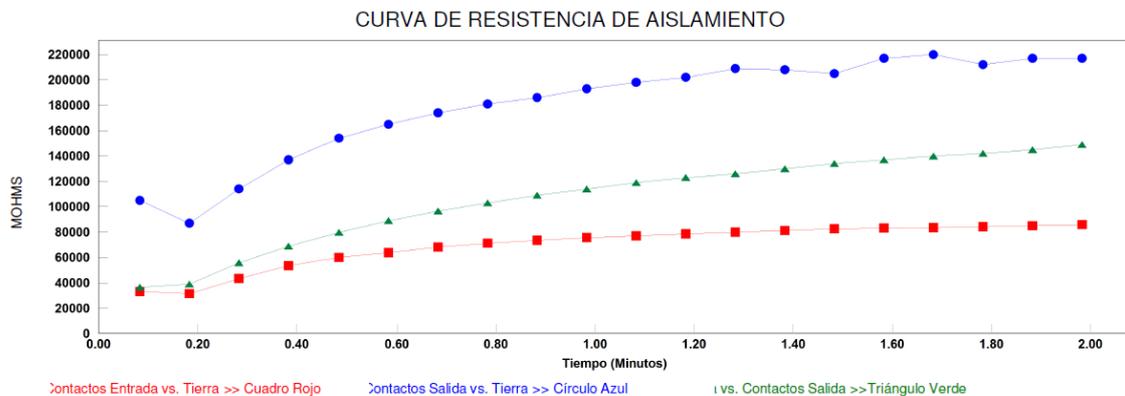
**Figura 25.** Curva de resistencia de aislamiento disyuntor 52\_G3.



**Fuente:** Mantenimiento de Centrales EEQ.

Los valores de resistencia de aislamiento se consideran aceptables y aptos para su uso dentro de las instalaciones de la central. La deformidad de la curva se atribuye a las condiciones de alta humedad al momento de realizar la prueba.

**Figura 26.** Curva de resistencia de aislamiento disyuntor 52\_L.



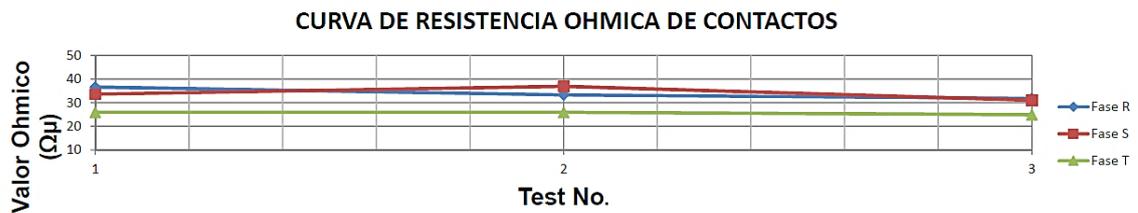
**Fuente:** Mantenimiento de Centrales EEQ.

La curva de resistencia de aislamiento se encuentra dentro de los rangos considerados como aceptables, según el manual del equipo.

### Pruebas de resistencia de contactos de disyuntores.

Las pruebas de resistencia de contactos se realizaron con el equipo MEGGER DLRO10HD que es un óhmetro digital de resistencias bajas. Según el instructivo para pruebas de disyuntores de la Empresa Eléctrica Quito S.A. (2013). Para disyuntores en bajo volumen de aceite dicho valor no deberá exceder de  $150 \mu\Omega$  considerando siempre las características particulares de cada equipo.

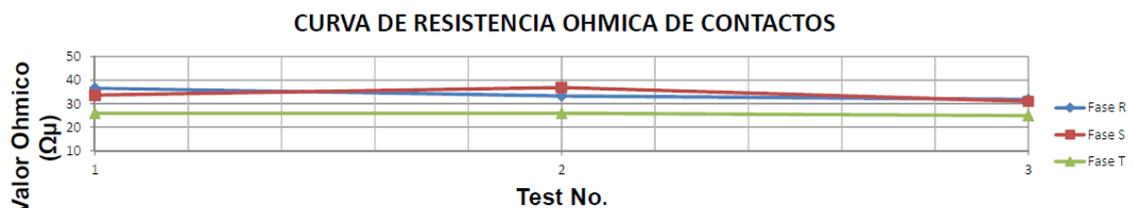
**Figura 27.** Curva de resistencia de óhmica de contactos disyuntor 52\_G1.



Fuente: Mantenimiento de Centrales EEQ.

Se observa un desequilibrio resistivo mayor del 5% entre los polos del interruptor, siendo el contacto del polo de la fase R y S el que tendría más desgaste con respecto al contacto T. Sin embargo, se consideran en buen estado.

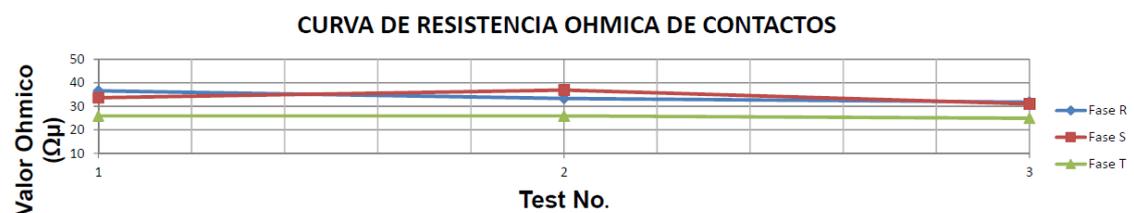
**Figura 28.** Curva de resistencia de óhmica de contactos disyuntor 52\_G2.



Fuente: Mantenimiento de Centrales EEQ.

En la figura 28 de manera similar al resultado anterior, se observa un desequilibrio resistivo mayor del 5% entre los polos del interruptor, siendo el contacto del polo de la fase R y S el que tendría más desgaste con respecto al contacto T.

**Figura 29.** Curva de resistencia de óhmica de contactos disyuntor 52\_G3.



Fuente: Mantenimiento de Centrales EEQ.

El resultado de la prueba de resistencia de contactos del disyuntor 3 muestra características similares a los obtenidos en los otros disyuntor exponiendo un desequilibrio mayor al 5% entre los polos de las fases R y S con respecto a la fase T.

### Prueba de tiempos de apertura, cierre y simultaneidad

La siguiente tabla muestra los resultados de la prueba de tiempos de apertura, cierre y simultaneidad de contactos.

**Tabla 7.** Resultados prueba de tiempos apertura, cierre y simultaneidad de contactos.

Estado	Fase	Tiempo Disyuntor 52_G1 (s)	Tiempo Disyuntor 52_G2 (s)	Tiempo Disyuntor 52_G3 (s)
Abierto	A	0,0560	0,0570	0,0530
	B	0,0575	0,0570	0,0545
	C	0,0560	0,0560	0,0540
Cerrado	A	0,2155	0,2120	0,2150
	B	0,2145	0,2125	0,2135
	C	0,2135	0,2115	0,2145

**Fuente:** Grupo de Sistemas y Potencia E.E.Q.

Según la sección de interpretación de resultados de pruebas de tiempo del Instructivo para pruebas de disyuntores de la Empresa Eléctrica Quito S.A. (2013). El tiempo de apertura no debe exceder de 50 ms ( $s^{-3}$ ). Como muestran los resultados de la tabla 7, los tiempos de apertura son aceptables debido a que los disyuntores no son nuevos y el sistema de accionamiento eléctrico ha sido modificado.

El tiempo de cierre, es decir el tiempo que tarda el interruptor en cerrar, desde que recibe la señal de cierre estando el interruptor abierto hasta que cierra, midiendo este en cada una de las fases, no debe exceder de 80 ms ( $s^{-3}$ ). Claramente los valores obtenidos son muy altos en comparación con los recomendados en el instructivo, pero por disposición del personal de Sistemas y Potencia de la E.E.Q., se toma la decisión de dar por aceptables en esta única ocasión debido a las modificaciones en el circuito de control.

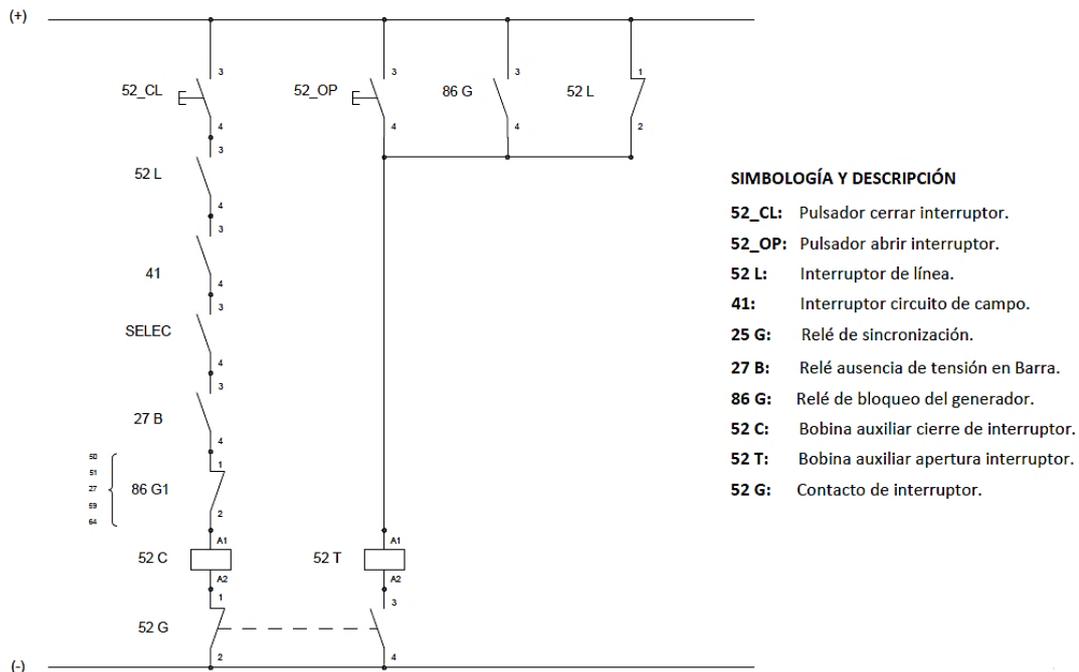
#### **Diseño de circuitos de control y elaboración de planos para cableado.**

Ya que el uso que se les daba a las cabinas estaba encaminado a una subestación, se ve pertinente el retiro del cableado original y realizar uno nuevo de acuerdo a las necesidades de una cabina destinada a la generación de energía.

Se realiza una lista de las protecciones, equipos de medición y dispositivos adicionales que se requieren para el funcionamiento y control de una central hidroeléctrica y se procede a hacer el diseño de los circuitos de control, mostrados en la figura 30.

Tras realizar el mantenimiento inicial de cabinas e interruptores se procede a transportarlos tomando los debidos cuidados desde casa de máquinas de C.H. Guangopolo hacia C.H. “La Calera”, los trabajos de lijado y pintura son realizados por el personal operativo de la central.

**Figura 30.** Diagrama unifilar de accionamiento eléctrico de un disyuntor.



Elaborado por: El postulante.

## Trabajos realizados en la central “La Calera”

### Pruebas de funcionamiento de unidades de generación y equipos asociados de la C.H. La Calera.

Para tener una idea clara del proceso seguido por los operadores de la central para poner en funcionamiento las unidades de generación, y así acoplarlos a los nuevos cubículos, se realizan pruebas de giro y entrada en paralelo antes de iniciar los trabajos por parte del personal de mantenimiento eléctrico de centrales de la EEQ.

Las maniobras fueron realizadas por el personal operativo de turno de la central, las dos primeras unidades de generación arrancaron normalmente según los procesos rutinarios del personal.

Se debe mencionar que el generador de la unidad 3 no se encuentra en las instalaciones de la central por encontrarse en el mantenimiento de sus bobinados y que hasta el momento de terminar los trabajos el generador no ha sido entregado, pero se deja el compromiso de realizar las conexiones respectivas de las cabinas de disyuntor y excitación a esa máquina cuando les sea entregado.

Durante la prueba de funcionamiento se encontraron las siguientes novedades en las unidades de generación.

**Tabla 8.** Parámetros iniciales de los generadores.

<b>Unidad 1</b>	
No tiene bypass	
Previo al arranque de la máquina el interruptor de campo debe estar cerrado.	
Restricción de potencia: 300 kW.	
Control de carga en función de temperatura de cojinete. T máx.: 60 °C	
Sistema de excitación no funciona en automático.	
Datos iniciales	Tensión de alimentación al rotor del generador: 22 V.
	Corriente de excitación: 27 A.
	Potencia generada: 100 kW.
	Factor de potencia: 0,8 ind.
	Tensión en barra: 6,4 kV.
	Corriente de barra: 8 A.
<b>Unidad 2</b>	
Restricción de potencia: 500 kW.	
No funciona el control de velocidad desde el tablero de control.	
Datos iniciales	Tensión de alimentación al rotor del generador: 18,4 V.
	Corriente de excitación: 90 A.
	Potencia generada: 110 kW.
	Factor de potencia: 0,8 ind.
	Tensión en barra: 6,2 kV.
	Corriente de barra: 16 A.
<b>Unidad 3</b>	
No es posible realizar pruebas, el generador de la unidad debido a que se encuentra en reparación.	
Restricción de potencia: 900 kW.	

**Elaborado por:** El postulante.

### **Desmontaje de equipos, barraje y cableado de cabinas existentes.**

Siguiendo el protocolo de seguridad de la Empresa Eléctrica Quito, se realiza la apertura de los cortes visibles ubicados en el patio de elevación de la central y posteriormente la colocación de cortocircuito entre fases y conexión a tierra, con lo cual es seguro para el personal ingresar a las cabinas existentes e iniciar el proceso de desmontaje de los equipos.

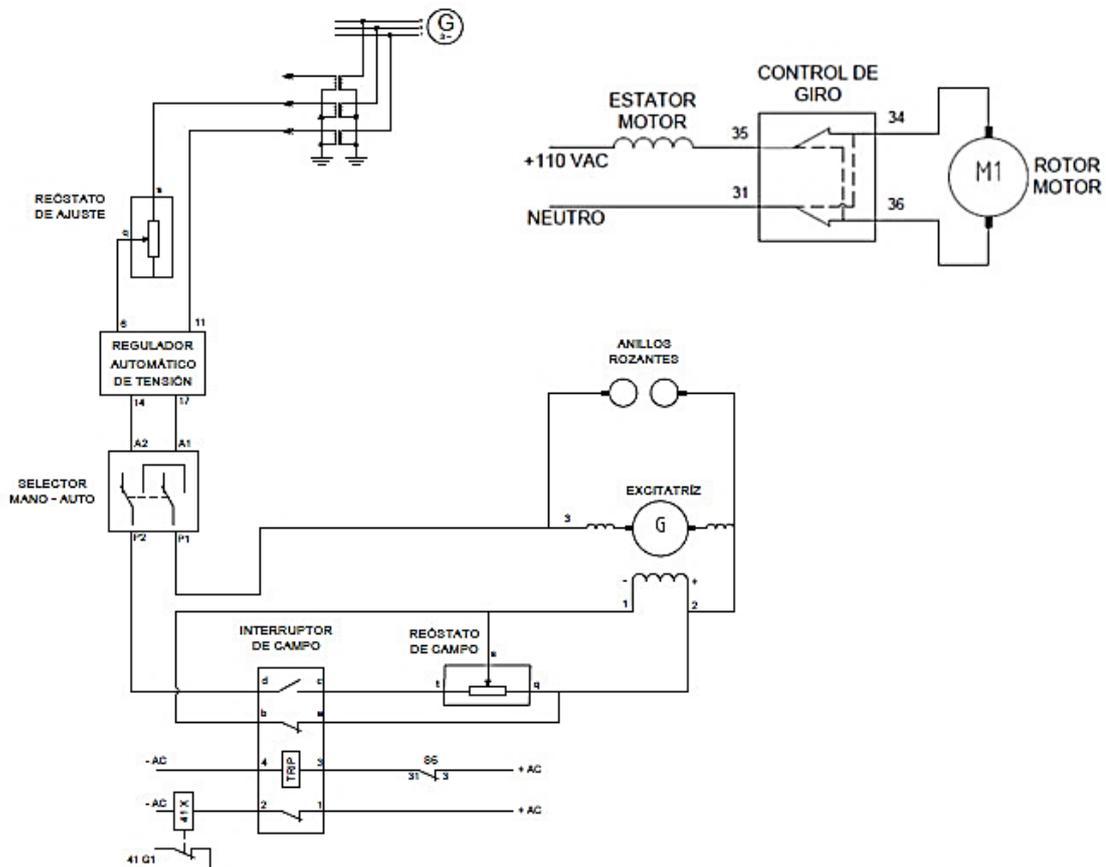
En la propuesta de rehabilitación de la central “La Calera” se hace constar que los cubículos de excitación de las máquinas y la regulación de voltaje serán los mismos existentes, por tal motivo es necesario levantar información de las conexiones para poder acoplarlas a los cubículos proporcionados por la EEQ.

### **Diagramación y esquematización de circuitos de excitación y regulación de velocidad.**

El personal de mantenimiento eléctrico de centrales grafica y realiza los diagramas que serán tomados como base para el trabajo a realizarse, pese a ello se ve la necesidad de realizar varios

cambios en conexiones de equipos de medición ya que las protecciones proporcionadas por la EEQ requieren una configuración diferente a la encontrada hasta ese momento en la Central.

**Figura 31.** Circuito de excitación del generador.



**Elaborado por:** El postulante.

### Fase de implementación

En la fase de implementación se realiza la reposición de los componentes que han fallado porque han agotado su vida útil, esto consiste en instalar los equipos necesarios en el espacio físico designado en el diseño, y realizar el cableado de dichos equipos según los planos de conexiones realizados en la fase de diseño.

Se procede a documentar toda la información técnica disponible para realizar las instalaciones de los equipos y así garantizar su buen funcionamiento.

### Instalación de transformadores de tensión (TP's) en cabinas Mitsubishi.

Tomando en cuenta la parte constructiva de las cabinas a ser instaladas se procede a montar los juegos de TP's de cada cabina en la parte posterior y por sobre las barras de salidas de los interruptores tomado en cuenta distancias de seguridad para realizar las conexiones necesarias.

El juego de transformadores de tensión se compone de tres transformadores monofásicos de 6.300/100 voltios.

Para garantizar la integridad de los TP's frente a una falla se requiere instalar adicionalmente un juego de fusibles en el lado de alta y junto a la puerta para los casos en los que se requiera dar mantenimiento y sea necesario aislar las conexiones de las salidas del generador y las entradas de los TP's. Estos fusibles son del tipo BROWN BOVERI GB6 de 4 amperios, existentes y reutilizados de las instalaciones anteriores.

**Figura 32.** Transformadores de tensión y fusible de potencia (4A).

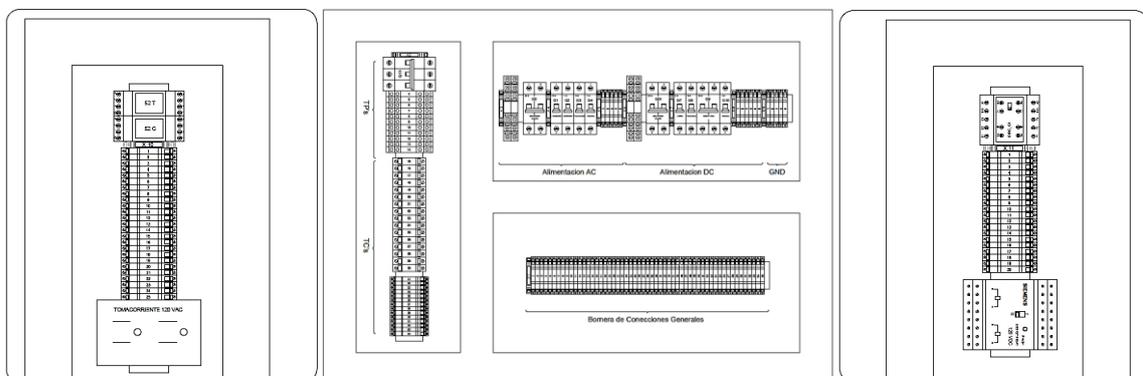


Elaborado por: El postulante.

### Construcción e instalación de tableros para cableado de control de cabinas Mitsubishi

Siguiendo los esquemas realizados en el diseño de cableado de control de los cubículos Mitsubishi se procede a la construcción, disposición de canaletas y rieles para la sujeción de borneras y dispositivos necesarios.

**Figura 33.** Disposición de borneras y elementos de control en cabinas de interruptores.

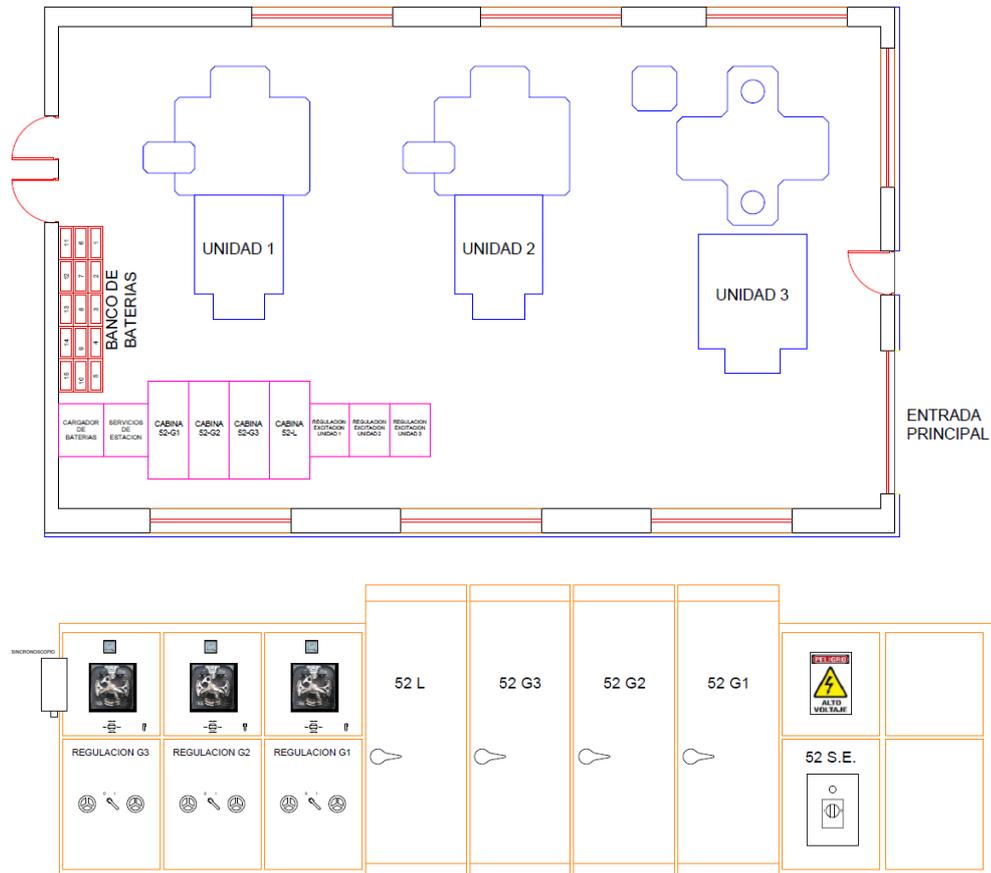


Elaborado por: El postulante.

### Ubicación de cabinas Mitsubishi en espacios designados dentro de la central.

Se ubican las cabinas de interruptor y las cabinas de excitación en los espacios planificados, tras la ubicación se procede al anclaje y soldadura para evitar desplazamientos.

**Figura 34.** Ubicación de cabinas nuevas dentro de la central.



Elaborado por: El postulante.

### Mantenimiento de reguladores automáticos de voltaje propios de la central, reóstatos de campo y reóstatos de ajuste.

Se procede a dar un mantenimiento general de los equipos mencionados como son; limpieza de contactos de conexión y comprobación de valores de resistencia de los sectores.

El conjunto del regulador automático de voltaje, reóstatos e interruptores de campo no se han cambiado, debido a que están dimensionados para la aplicación en esa central por los fabricantes, tras verificar que se encuentran en buen estado únicamente se hace un mantenimiento para asegurar su correcto funcionamiento.

**Figura 35.** Conjunto regulador de tensión de excitación. Reóstato de campo, Interruptor de campo, Reóstato de ajuste



Elaborado por: El postulante.

### **Instalación de cables de media tensión para salidas de generadores y salida a patio de elevación.**

Por motivo de la nueva ubicación de las cabinas, los cables de salidas de los generadores y salida hacia el patio de elevación quedan demasiado cortos, es necesario por lo tanto la instalación de nuevos conductores para lo cual se solicita la ayuda del grupo de mantenimiento de redes subterráneas para realizar el tendido de cables, conexión a barras de interruptores, salidas de generadores y aislamiento final.

### **Instalación de pararrayos en cabina 52-L.**

Para la protección del personal de operación de la central y de los equipos instalados se colocan en la cabina del interruptor 52-L un juego de pararrayos a tensión de servicio de 6,3 kV, con la finalidad de despejar fallas provocadas por descargas atmosféricas que pudiesen colarse hacia casa de máquinas.

**Figura 36.** Conjunto de pararrayos



Elaborado por: El postulante.

### Pruebas de relación de transformación de transformadores de corriente TC's

El tipo de conexiones realizadas tanto en los transformadores de potencial como los de corriente es la denominada configuración en estrella o “Y” y las relaciones de transformación son las siguientes, de acuerdo a los datos de placa de cada uno.

**Tabla 9.** Relación de transformadores de corriente.

		ALTA	BAJA	RELACIÓN
TC	Alim. A.T.	600	5	120
	Alim. B.T.	600	5	120
	Rec. ABB	100	1	100
	Rec. Cooper	100	1	100
	Alim. 6,3 kV	1200	5	240
	Protec. G1	400	5	80
	Protec. G2	400	5	80
	Protec. G3	400	5	80

**Fuente:** Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

Para la interpretación del resultado de esta prueba se debe verificar que los valores medidos no varíen más del 0,05% respecto al valor teórico.

La tabla 10 muestra que las relaciones de transformación medidas en los transformadores de corriente coinciden con las especificadas en sus datos de placa y se puede proceder a realizar los cálculos correspondientes para medición y protección.

**Tabla 10.** Resultados de prueba de relación de transformación TC's.

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (400/5)			
FASES	CORRIENTE [A]	VALOR MEDIDO [A]	VALOR TEÓRICO [A]
A	100	1,17	1,25
	200	2,37	2,50
	400	4,80	5
B	100	1,17	1,25
	200	2,38	2,50
	400	4,72	5
C	100	1,16	1,25
	200	2,38	2,50
	400	4,83	5

**Fuente:** Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

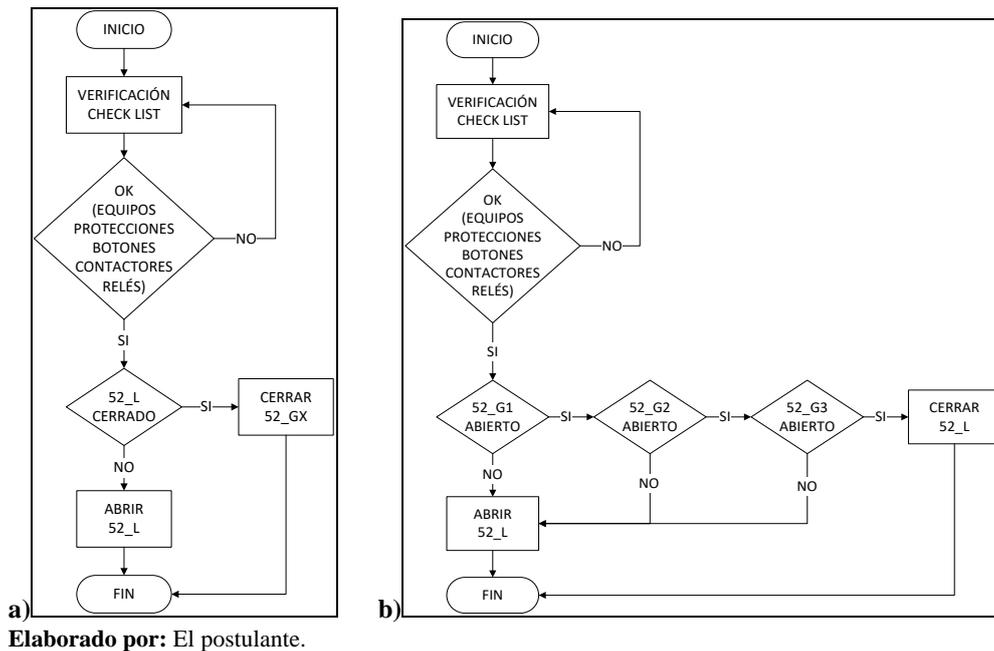
Equipo de pruebas: OMICRON CPC100

### Instalación de equipos y cableado de control en cabinas Mitsubishi.

Siguiendo los planos diseñados por el personal de mantenimiento eléctrico de centrales se realizan los trabajos de cableado del sistema de control de las cabinas e interruptores poniendo el debido cuidado al momento de realizar las conexiones.

La lógica de control de las cabinas de interruptores de generadores sigue el diagrama de flujo de la figura 37a, y el control de la cabina del interruptor de línea el diagrama de la figura 37b.

**Figura 37.** Diagrama de flujo de la lógica de control de interruptores de: a) generadores, b) línea.



Tras concluir los trabajos de cableado es necesario verificar que no existen fallas, por tal motivo se procede a verificar las conexiones punto a punto, según el diseño en planos.

### Instalación de banco de baterías, rectificador – cargador de baterías y tablero de distribución DC.

Para el correcto funcionamiento de los equipos instalados se requiere una fuente adicional en corriente continua, por tal razón se dispone también del sistema original de rectificación, carga y baterías de las cabinas de disyuntores. Dicho sistema está en condiciones para suministrar de energía un tiempo estimado de 5 horas.

El banco consta de 15 baterías del tipo níquel-hierro (NiFe) de 8,5 V cada una conectadas en serie, el rectificador/cargador es de marca SBS Storage Battery Systems Inc. Con alimentación de entrada de 230 VAC; 49,2 A y salida de 120 VDC; 50 A.

**Figura 38.** Banco de baterías y Cargador/Rectificador de baterías.



Elaborado por: El postulante.

### **Instalación de contadores de medición indirecta en cabinas Mitsubishi.**

Se encuentran en cada una de las cabinas para las unidades de generación, la principal función que cumplen es la de mostrar al personal parámetros generados como: voltaje, corriente, potencia y factor de potencia con la finalidad de que realicen las maniobras pertinentes para estar dentro de los rangos que se requieran.

En la cabina 52-L está dispuesto un contador cuya función es registrar la energía con la que está aportando la central hacia la red y de esa forma realizar el respectivo cobro de valores por venta de energía.

El medidor de energía eléctrica que se encuentra instalado a nombre de La Calera, cuyas características se detallan a continuación, fue verificado en el Laboratorio de Medidores de la Empresa Eléctrica Quito, el 19 de septiembre de 2016.

- Número: 90002699
- Forma: 9A
- Marca: ELSTER
- Modelo: 9AE20
- Voltaje: 58 – 480 V
- Corriente: 1 (10) A
- Tipo: AT
- Clase: 0.2

Las pruebas de verificación referentes al cumplimiento de la curva de operación fueron realizadas utilizando el equipo de verificación y contrastación de medidores de energía marca ZERA cuyo medidor patrón tiene las siguientes características:

- Tipo: COM3003
- No de serie: 050026449
- Clase: 0.01
- Fecha ultima de verificación y calibración: 2014-07-22

El medidor patrón (COM3003), fue verificado en Alemania, en el laboratorio de Metrología DKD. El certificado se detalla en el Anexo 11.

### **Transporte e instalación de transformador de servicio de estación de 30 kV·A.**

El transformador de servicio de estación existente en la central presenta fugas de aceite y debido a que no se tiene conocimiento si contiene elementos peligrosos como PCB's o el estado de la parte activa, el grupo de mantenimiento de centrales de la EEQ decide realizar el cambio del mismo por un transformador nuevo de características similares que se encontraba en la bodega Epiclachima.

**Figura 39.** Transformador de servicios de estación (30 kV·A).



**Elaborado por:** El postulante.

Este transformador trifásico de 30 kV·A es de marca ECUATRAN de tipo ONAN (Oil Natural Air Natural) de refrigeración natural y sumergido en aceite mineral dieléctrico.

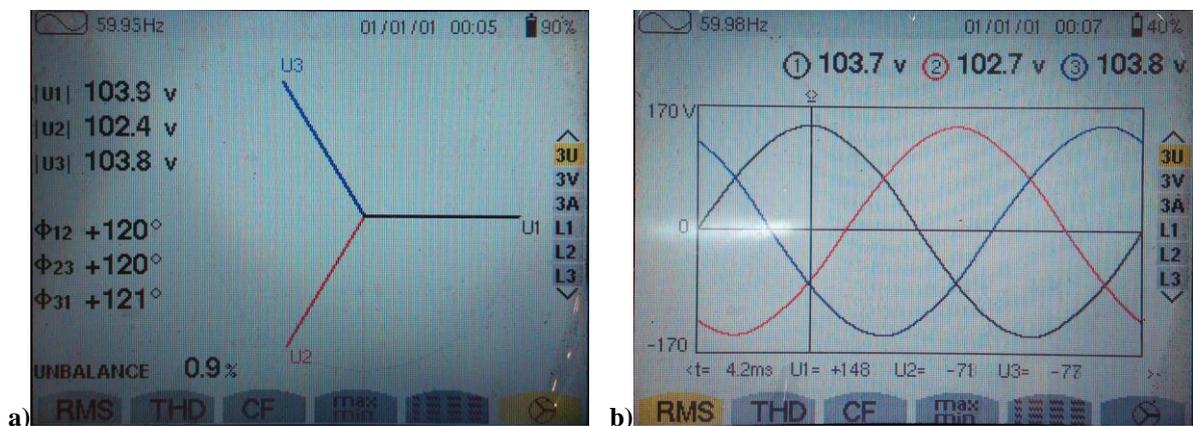
Asociados al transformador de servicio de estación y el interruptor quedan instalados un juego de TC's en el lado de alta con relación de transformación 15/1 A, que darán las señales necesarias para que actúe el interruptor en caso de presentarse una sobre corriente que pudiese poner en riesgo la integridad de las personas y la disponibilidad del transformador. Por otra parte, en el lado de baja del transformador se instalan un juego de fusibles tipo NH de 80 A.

### Pruebas de giro y en vacío de los generadores.

En las pruebas de giro en vacío de las unidades se verifica que no exista inconvenientes en la parte mecánica ni eléctrica de la máquina, en este punto es necesario llegar hasta excitación para verificar y comparar las secuencias de fases, ángulos de desfase y magnitudes generadas con las mismas señales de la red de tal forma que se cumplan las condiciones para la conexión en paralelo.

La comprobación se realiza con el equipo Analizador de Energía Trifásico powerpad AEMC 3945.

**Figura 40.** a) Verificación de secuencia y b) ángulo de desfase generado.



Elaborado por: El postulante.

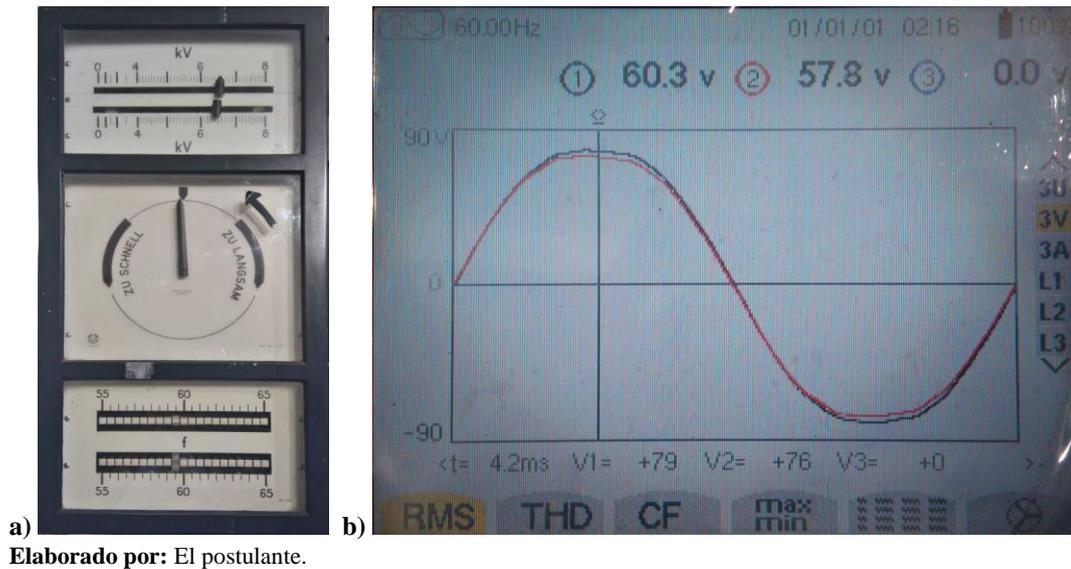
El desfase de casi 120° y que el sistema se encuentre balanceado se consigue gracias al tipo de conexión en estrella, y a que el punto neutro se encuentra sólidamente conectado a tierra.

Las ventajas de la conexión en estrella con respecto a la conexión delta, según (Mujal. 2004) son: circulación de corriente menor, conductores de menor diámetro, menor peso y menores pérdidas por efecto Joule. Para una tensión dada  $V_L$ , la tensión en bornes de una fase del generador conectado en estrella con respecto al neutro será:

$$V_{fase} = \frac{V_{Linea}}{\sqrt{3}} \quad (\text{Ecuación 10.1})$$

Para efectos de comprobación de funcionamiento del sincronoscopio, se contrasta el punto de conexión (Figura 41a), con la superposición de ondas mostradas en equipo analizador de energía (Figura 41b), al verificar la correspondencia de las dos señales de conexión se procede a entrar al paralelo sin ningún inconveniente.

**Figura 41.** Verificación de: a) punto de sincronización y b) superposición de ondas.



### Configuración de relés de protección.

Este trabajo es realizado por personal del área de sistemas de potencia y se encarga de configurar y verificar que las protecciones instaladas interrumpan el funcionamiento únicamente a los equipos que presenten fallas. Las configuraciones se las realiza tomando en cuenta los parámetros de TC's, TP's y datos de placa de las unidades de generación.

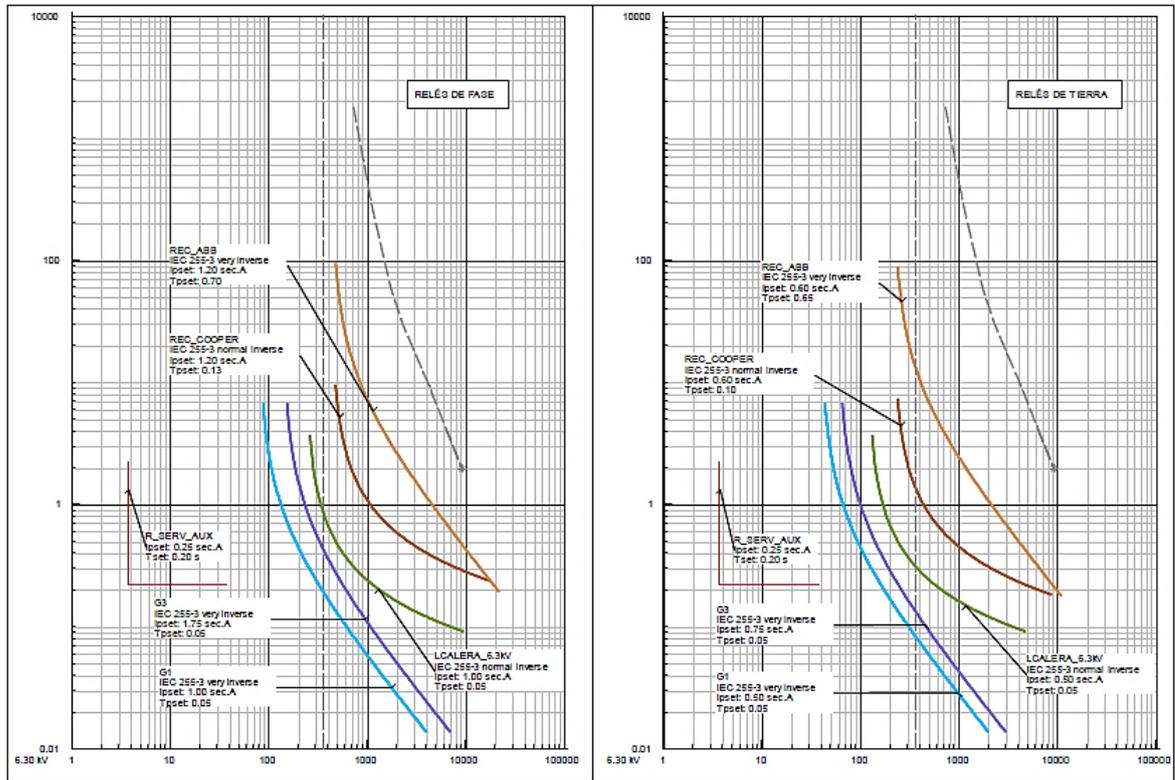
**Alimentación en Alta Tensión al Banco de Transformadores:** La protección de fase se determina en función del cálculo de la corriente nominal del banco de transformadores vista desde el lado de alto voltaje y multiplicada por un factor de carga de 1,2 y en la protección de tierra se considera un desbalance del 30 al 50%, respecto al tap de fase.

**Alimentación Baja Tensión al Banco de Transformadores:** La protección de fase se determina en función del aporte de la corriente nominal de los tres generadores conectados a la barra de 6,3kV, multiplicada por un factor de carga de 1,3 y en la protección de tierra se considera un desbalance del 30 al 50%, respecto al tap de fase.

**Generadores:** En la protección de fase se toma como referencia el valor de corriente nominal para cada tipo de generador. Adicionalmente se considera un porcentaje por oscilaciones de quinto armónico y en la protección de tierra se considera un desbalance del 30 al 50%, respecto al tap de fase.

## Protección de sobrecorriente

Figura 42. Curva tiempo-corriente.



Fuente: Grupo de Estudios Eléctricos EEQ.

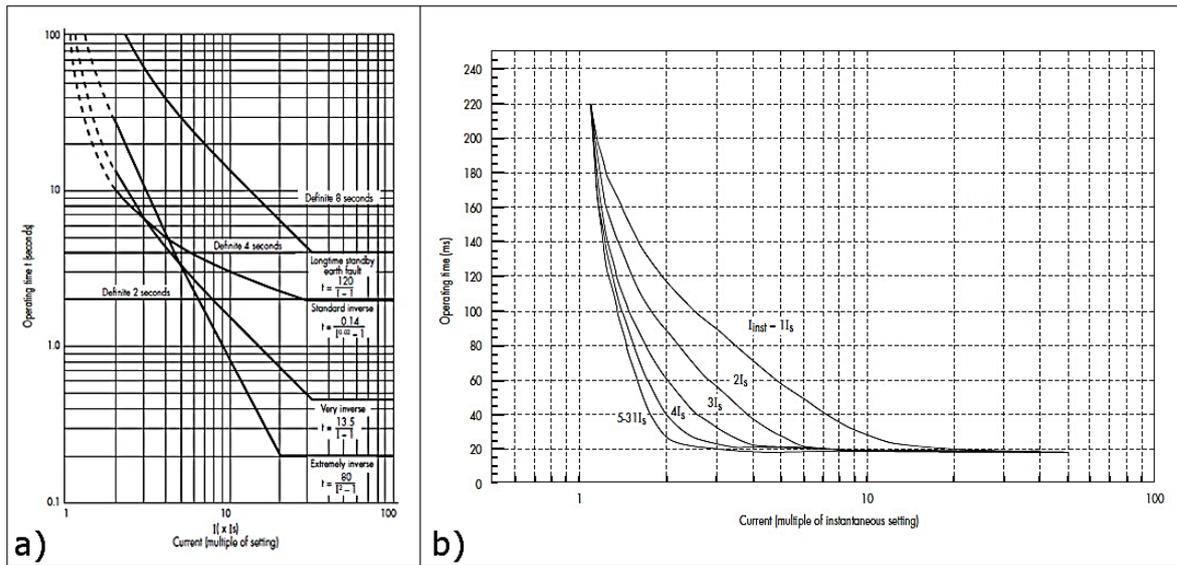
El área de Estudios Eléctricos de la EEQ realizó el levantamiento de información para realizar los estudios de protecciones con ayuda del Software DigSILENT PowerFactory, obteniéndose la Figura 42, gráfica de curvas tiempo corriente de las protecciones a instalarse en la central La Calera, datos necesarios para la configuración de los relés de protección de sobre corriente.

### Ajuste de sobre corriente

Los relés instalados son del tipo MCGG 82 del fabricante ALSTOM, sus principales características: opera con 1A o 5A de corriente alterna a 50 o 60 Hz, y alimentación DC de 24/54 V, 48/125 V o 110/250 V.

Mediante las curvas de la figura 43, obtenidas del manual de configuración de relés de protección ALSTOM. (1999). Se obtienen los datos de lever mostrados en la tabla 11 y 12, en donde VI proviene de la curva muy inversa (Very Inverse), NI de la curva estándar inversa (Normal Inverse) y TD de la curva temporizada (Time Delayed).

**Figura 43.** Características de operación relé de sobre corriente MCGG 82 a) temporizado, b) instantáneo.



Fuente: ALSTOM. (1999).

El ajuste lever se lo configura físicamente en el relé mediante los interruptores deslizantes de su parte central.

El ajuste temporizado está marcado como  $I_s = \sum x I_n$ , donde  $I_s$  es la configuración de corriente en A (amperios),  $\sum$  es la suma de todas las posiciones de los interruptores deslizantes y  $I_n$  es la corriente nominal del relé en amperios.

Cada tabla de medición proporciona un rango de configuración de  $0,05 \times I_n$  a  $2,4 \times I_n$  en pasos de  $0,05 \times I_n$ .

El ajuste instantáneo está marcado como  $I_{inst} = \sum x I_s$ , donde  $\sum$  es la suma de las posiciones de los interruptores deslizantes y  $I_s$  es la configuración del elemento temporizado.

La Figura 15 representa la vista frontal del relé MCGG 82 con sus pines de configuración: fases a la izquierda y tierra a la derecha. Los LED's rojos de la parte superior son los indicadores visuales de falla.

Las configuraciones del relé se lo realizan mediante interruptores deslizantes separados para cada tablero de medición mostrados en la placa frontal del relé. Estos se utilizan para seleccionar las características de tiempo/corriente y las configuraciones de las características de corriente y tiempo.

**Tabla 11.** Ajustes de coordinación de protecciones – Relés de fase

POSICIÓN	TC		TAP	CORRIENTE [A]	LEVER	TIPO CURVA
Rec. ABB	-	-	-	120	0,7	VI-IEC
Rec. COOPER	-	-	-	120	0,13	NI-IEC
Alimentación 6,3 kV	1200	5	1,00	240	0,05	NI-IEC
Generador 1	400	5	1,00	80	0,05	VI-IEC
Generador 2	400	5	1,00	80	0,05	VI-IEC
Generador 3	400	5	1,75	140	0,05	VI-IEC
S.A.	15	1	0,25	3,75	0,05	TD

Fuente: Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

**Tabla 12.** Ajustes de coordinación de protecciones – Relés de tierra

POSICIÓN	TC		TAP	CORRIENTE [A]	LEVER	TIPO CURVA
Rec. ABB	-	-	-	60	0,65	VI-IEC
Rec. COOPER	-	-	-	60	0,10	NI-IEC
Alimentación 6,3 kV	1200	5	0,50	120	0,05	NI-IEC
Generador 1	400	5	0,50	40	0,05	VI-IEC
Generador 2	400	5	0,50	40	0,05	VI-IEC
Generador 3	400	5	0,75	60	0,05	VI-IEC
S.A.	15	1	0,25	3,75	0,05	TD

Fuente: Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

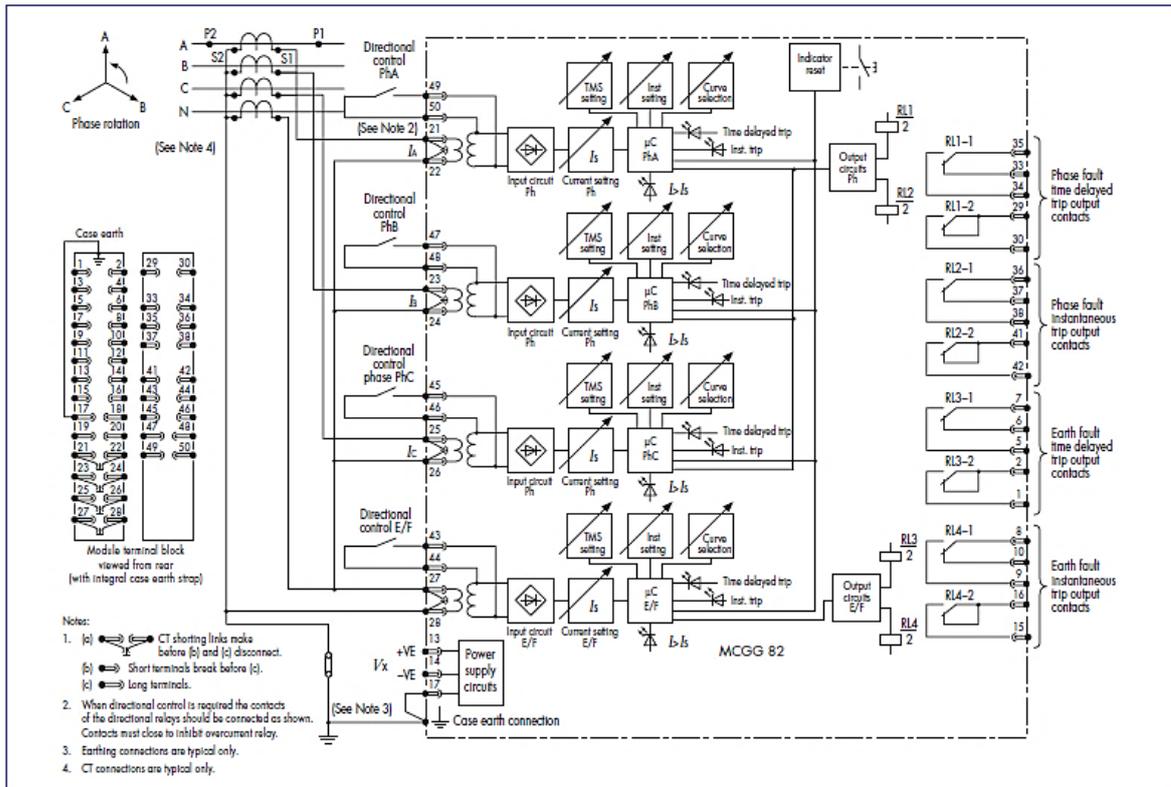
La tabla 11 muestra los valores de LEVER a configurarse en cada uno de los relés de protección de sobrecorriente de fase y la tabla 12 los valores para los relés de protección de tierra.

### Esquema de conexión relé Alstom MCGG 82

La figura 44 es un esquema de conexión del relé de protección contra sobre corriente instantáneo y temporizado MCGG 82. En ésta se destaca en la parte superior izquierda que la configuración necesaria de los transformadores de corriente TC's es en estrella, y en la parte derecha los pines de salida de los contactos auxiliares.

Entre sus principales características de operación están las siguientes: corriente nominal 1A o 5A de corriente alterna para uso en lugares donde la temperatura se encuentre en el rango desde -25 °C hasta +55 °C. la vida útil de este tipo de relé se mide en operaciones de sus contactos, contactos energizados mínimo 10.000 operaciones y el aislamiento entre la carcasa y los terminales es de 2 kV por 1 minuto.

**Figura 44.** Diagrama de relé estático modular tipo MCGG 82



Fuente: ALSTOM. (1999).

### Ajustes de las protecciones de tensión

La protección de tensión mide principalmente la corriente de cada fase con la finalidad de detectar las tensiones que son mayores o menores que las del rango normal de operación. Si las tensiones son menores que las del rango establecido se tiene una protección de subtensión o mínima tensión, en el caso de tensiones mayores se tiene la protección de sobretensión.

Los relés de protección de voltaje instalados son del tipo MiCOM P921 de ALSTOM, según los TP's instalados, en el lado secundario existe una tensión de 100 V, por lo cual se toma de la guía técnica AREVA. (2004). Todas las especificaciones correspondientes al voltaje nominal desde 57 V hasta 130 V.

### Ajuste de bajo voltaje (función 27)

El tiempo de actuación de esta protección es una función del valor de la tensión y puede ser:

- Tiempo Definido: cuando se supera un umbral previamente definido. En este caso su operación puede ser instantánea o temporizada.

Para la protección de sobretensión (59)

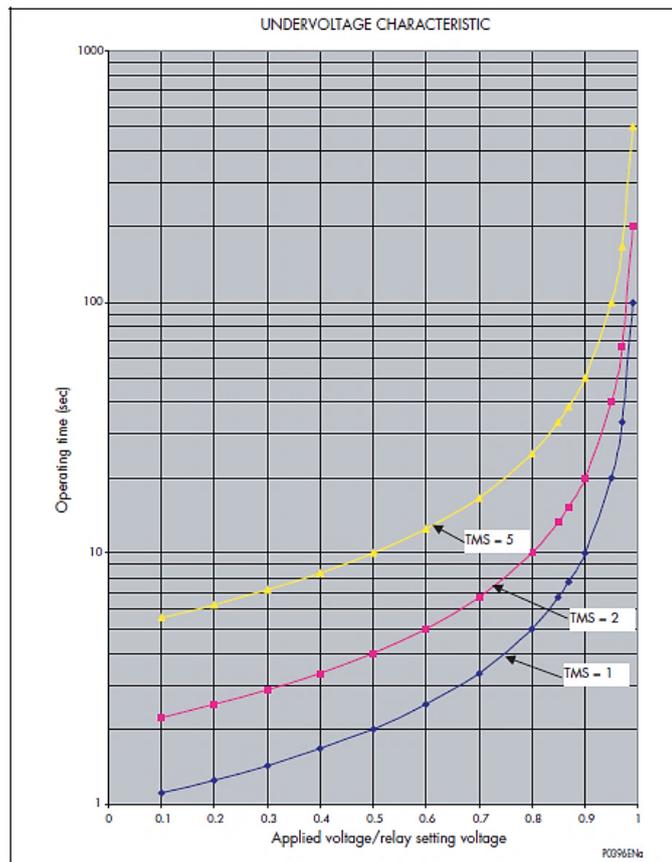
$$V > V_{\text{máximo}} \quad t = T_{\text{máximo}} \quad (\text{Ecuación 10.2})$$

Para la protección de subtensión (27)

$$V < V_{\text{mínimo}} \quad t = T_{\text{mínimo}} \quad (\text{Ecuación 10.3})$$

La configuración límite para el nivel de voltaje usado, tiene un tamaño de paso igual a 0,1 V para la configuración de temporización, cada uno de los valores se deben ingresar manualmente tanto para el primer y segundo paso. La figura 45 representa las características del elemento de bajo voltaje y las curvas para hallar el mínimo tiempo inverso definido IDMT.

**Figura 45.** Curvas IDMT de bajo voltaje



Fuente: AREVA. (2004).

- Tiempo Inverso: cuya operación depende del tiempo según una función exponencial establecida por las normas de acuerdo a la siguiente expresión.

$$t = TMS \cdot \left( \frac{1}{\left[ \frac{V}{V_s} - 1 \right]} \right) \quad (\text{Ecuación 10.4})$$

Donde

- t = Tiempo de actuación del relé [variable dependiente] (s).  
 V = Tensión que mide el relé [variable independiente] (s).  
 $V_s$  = Tensión de arranque del relé (V).  
 TMS = Constante de ajuste del relé.

Teniendo en cuenta que esta ecuación únicamente es válida cuando:

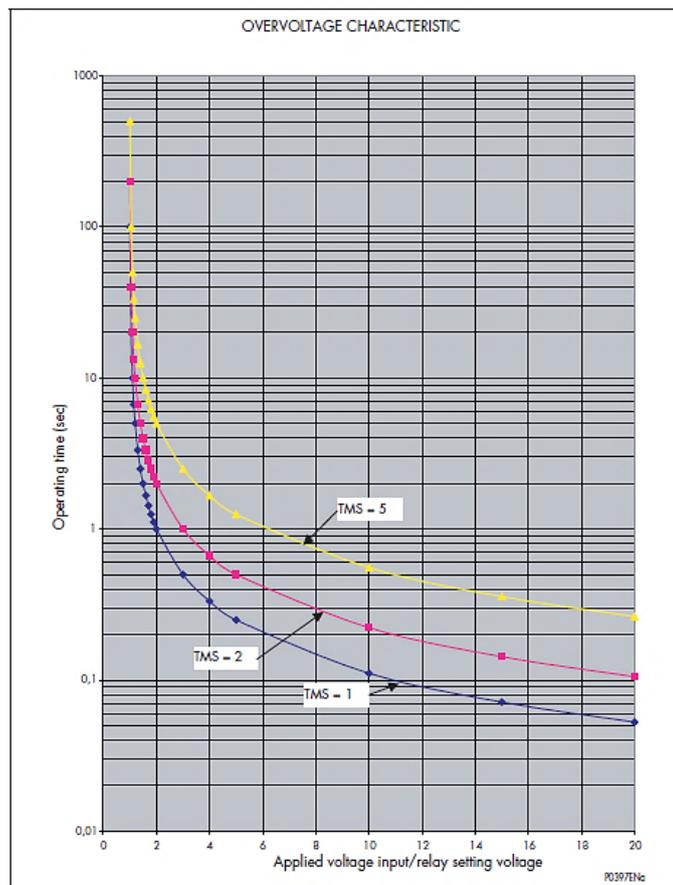
$$\frac{V}{V_s} < 0,95. \quad (\text{Ecuación 10.5})$$

La configuración TMS (constante de ajuste del relé) tiene un rango de 0,5 a 100, con un tamaño de paso de 0,5.

La configuración de TRESET (Tiempo de reset. Solo para tiempo definido) tiene un rango de 0 hasta 100 s, con un tamaño de paso de 0,01 s.

### Ajuste de sobre voltaje (función 59)

**Figura 46.** Curvas IDMT de sobre voltaje



**Fuente:** AREVA. (2004).

El ajuste limite tiene un rango de 0,5 hasta 200 V y un tamaño de paso de 0,1 V.

El tiempo inverso de temporización se calcula de la misma forma que en el caso de bajo voltaje aplicando la Ecuación 10.4, la configuración de TMS y TRESET aplicables son las mismas que se explicaron en el caso de bajo voltaje.

**Tabla 13.** Ajustes de sobre voltaje

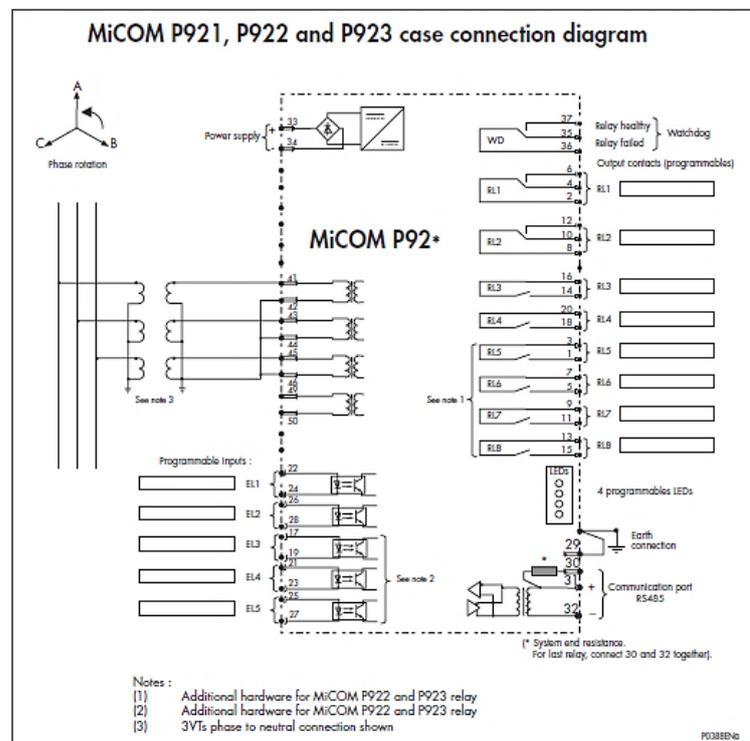
	$V_{nom}$ (V)	Relación TP		TAP	Voltaje (V)	Tiempo (s)
<b>PRIMER PASO</b>	6.300	$6.300 / \sqrt{3}$	$100 / \sqrt{3}$	$1,10 \cdot V_n$	64	2
<b>SEGUNDO PASO</b>	6.300	$6.300 / \sqrt{3}$	$100 / \sqrt{3}$	$1,30 \cdot V_n$	75	0,5

Fuente: Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

Al emplear las curvas IDMT de la Figura 46 para hallar los resultados de ajuste se obtienen los datos presentados en la tabla 13.

A continuación, se muestra el esquema de conexión del relé y el tipo de conexión necesaria en los transformadores de tensión TP's, que también es en estrella.

**Figura 47.** Diagrama relé MiCOM P921



Fuente: AREVA. (2004).

### Prueba de inyección de corriente y voltaje

Con este equipo se comprueba el correcto funcionamiento de los dispositivos de protección individualmente, aplicándoles corrientes y voltajes de prueba según los parámetros de calibración de los mismos. Equipo de pruebas: Keihin DENSOKKI TPR-22CV-87

#### Generador 1 (625 kV·A)

**Tabla 14.** Resultados prueba de inyección de corriente. Cabina 52\_G1.

RELÉ DE SOBRECORRIENTE (GEC ALSTOM – 697824F)							
Función	Tap	Corriente (A)	Tiempo Operación (s)	Tiempo mínimo (s)	Tiempo teórico (s)	Tiempo máximo (s)	Pasa/Falla
51	2	160	0,669	0,641	0,675	0,709	PASA
	3	240	0,340	0,321	0,338	0,354	PASA
	4	320	0,226	0,214	0,225	0,236	PASA
	5	400	0,171	0,160	0,169	0,177	PASA
	6	480	0,134	0,128	0,135	0,142	PASA
	8	640	0,098	0,092	0,096	0,101	PASA
	10	800	0,074	0,071	0,075	0,079	PASA
51N	2	80	0,669	0,641	0,675	0,709	PASA
	3	120	0,340	0,321	0,338	0,354	PASA
	4	160	0,231	0,214	0,225	0,236	PASA
	5	200	0,175	0,160	0,169	0,177	PASA
	6	240	0,136	0,128	0,135	0,142	PASA
51N	8	320	0,101	0,092	0,096	0,101	PASA
	10	400	0,076	0,071	0,075	0,079	PASA

Fuente: Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

El relé pasa la prueba realizada debido a que los valores se encuentran dentro del rango establecido en los manuales del equipo de acuerdo a normas de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

**Tabla 15.** Resultados prueba de inyección de voltaje. Cabina 52\_G1.

RELÉ DE VOLTAJE (MiCOM AREVA – 0307772)				
FASE	Prefalla		Falla	
	(V)	(°)	(V)	(°)
A	58,00	0,00°	68,00	0,00°
B	58,00	120,00°	68,00	120,00°
C	58,00	240,00°	68,00	240,00°
TIEMPO ACTUACIÓN PRIMER PASO (s)			2,023	
A	58,00	0,00°	76,00	0,00°
B	58,00	120,00°	76,00	120,00°
C	58,00	240,00°	76,00	240,00°
TIEMPO ACTUACIÓN SEGUNDO PASO (s)			0.532	

Fuente: Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

El resultado de tiempo de actuación de primer paso se refiere en este caso a la protección temporizada y la de segundo paso a una actuación instantánea del relé de protección.

### Generador 2 (625 kV·A)

**Tabla 16.** Resultados prueba de inyección de corriente. Cabina 52\_G2.

RELÉ DE SOBRECORRIENTE (GEC ALSTOM – 697819F)							
Función	Tap	Corriente (A)	Tiempo Operación (s)	Tiempo mínimo (s)	Tiempo teórico (s)	Tiempo máximo (s)	Pasa/Falla
51	2	160	0,670	0,641	0,675	0,709	PASA
	3	240	0,343	0,321	0,338	0,354	PASA
	4	320	0,231	0,214	0,225	0,236	PASA
	5	400	0,173	0,160	0,169	0,177	PASA
	6	480	0,137	0,128	0,135	0,142	PASA
	8	640	0,099	0,092	0,096	0,101	PASA
	10	800	0,077	0,071	0,075	0,079	PASA
51N	2	80	0,667	0,641	0,675	0,709	PASA
	3	120	0,344	0,321	0,338	0,354	PASA
	4	160	0,231	0,214	0,225	0,236	PASA
	5	200	0,176	0,160	0,169	0,177	PASA
	6	240	0,137	0,128	0,135	0,142	PASA
	8	320	0,098	0,092	0,096	0,101	PASA
	10	400	0,073	0,071	0,075	0,079	PASA

**Fuente:** Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

De acuerdo a los resultados, se observa que el relé pasa la prueba realizada debido a que los valores se encuentran dentro del rango establecido en los manuales del equipo de acuerdo a normas de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

**Tabla 17.** Resultados prueba de inyección de voltaje. Cabina 52\_G2.

RELÉ DE VOLTAJE (MiCOM AREVA – 04503347)				
FASE	Prefalla		Falla	
	(V)	(°)	(V)	(°)
A	58,00	0,00°	68,00	0,00°
B	58,00	120,00°	68,00	120,00°
C	58,00	240,00°	68,00	240,00°
TIEMPO ACTUACIÓN PRIMER PASO (s)			2,023	
A	58,00	0,00°	76,00	0,00°
B	58,00	120,00°	76,00	120,00°
C	58,00	240,00°	76,00	240,00°
TIEMPO ACTUACIÓN SEGUNDO PASO (s)			0.532	

**Fuente:** Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

El valor de tiempo de actuación de primer paso se refiere a la protección temporizada y la de segundo paso a una actuación instantánea del relé de protección.

### Generador 3 (1.250 kV·A)

**Tabla 18.** Resultados prueba de inyección de corriente. Cabina 52\_G3.

RELÉ DE SOBRECORRIENTE (GEC ALSTOM – 697828F)					
Función	Fase	Tap	Corriente de operación (A)	Tiempo de operación (s)	Tiempo teórico (s)
51	A	2	280	0,640	0,675
	B			0,642	
	C			0,640	
	A	3	420	0,339	0,338
	B			0,337	
	C			0,345	
51N	N	2	120	0,618	0,675
		3	180	0,344	0,338

Fuente: Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

Los valores medidos de tiempo de operación, según la Tabla 18 son menores que los tiempos teóricos, indicador que el relé se encuentra en buen estado.

**Tabla 19.** Resultados prueba de inyección de voltaje. Cabina 52\_G3.

RELÉ DE VOLTAJE (MiCOM ALSTOM – 0203452)			
PASO	FASE	FALLA	TIEMPO ACTUACIÓN (s)
		(V)	
PRIMERO	A	68	2,00
	B	68	
	C	68	
SEGUNDO	A	76	0,50
	B	76	
	C	76	

Fuente: Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

De igual manera, el tiempo de actuación de primer paso está programado en 2 segundos, mientras que el accionamiento instantáneo del segundo paso tiene un desfase programado de 0,5 segundos.

### Alimentación 6,3 kV

**Tabla 20.** Resultados prueba de inyección de corriente. 6.3 Kv.

RELÉ DE SOBRECORRIENTE (GEC ALSTOM – 719369F)					
Función	Fase	Tap	Corriente de operación (A)	Tiempo de operación (s)	Tiempo teórico (s)
51	A	2	480	0,493	0,501
	B			0,484	
	C			0,494	
	A	3	720	0,330	0,315
	B			0,331	
	C			0,329	
51N	N	2	240	0,500	0,501
		3	360	0,305	0,315

Fuente: Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

La tabla 20 muestra que el valor de tiempo de operación está por debajo del tiempo teórico de accionamiento del relé, lo que indica que se encuentra dentro de los parámetros de funcionamiento.

### Servicios Auxiliares (30kV)

**Tabla 21.** Resultados prueba de inyección de corriente. S/E.

RELÉ DE SOBRECORRIENTE (GEC ALSTOM – 697828F)					
Función	Fase	Tap	Corriente de operación (A)	Tiempo de operación (s)	Tiempo teórico (s)
51	A	2	7,5	0,205	0,220
	B			0,203	
	C			0,208	
51N	N	2	7,5	0,207	0,220

Fuente: Grupo de Sistemas y Potencia EEQ.

Se observa que el tiempo de operación está por debajo del tiempo teórico de accionamiento del relé, lo que indica el buen estado del equipo de protección.

Los resultados de las pruebas de inyección de voltaje y corriente de las Tablas 14 a la 21, muestra que los relés a ser instalados se encuentran en condiciones óptimas de funcionamiento y listos para su instalación de acuerdo a los valores insertados en su programación.

## 11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### Hipótesis

Con la repotenciación de la central hidroeléctrica La Calera se logrará poner en funcionamiento las unidades de generación de forma segura para poder entregar la energía generada a la red de la E.E.Q. y recibir una remuneración económica para beneficio del Cantón Mejía.

### Operacionalización de variables

#### Variable independiente:

Reparación de los sistemas eléctricos de generación.

**Tabla 22.** Operacionalización de variable independiente.

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	ITEM	INSTRUMENTO
Reparación de los sistemas eléctricos de generación.	Instalación de equipos eléctricos.	Relés de protección eléctrica. Interruptores de media tensión.	Verificar valores programados de set point.	Keihin DENSOKKI OMICRON CPC100

**Elaborado por:** El postulante.

#### Variable dependiente:

Generación de energía eléctrica.

**Tabla 23.** Operacionalización de variable dependiente.

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	ITEM	INSTRUMENTO
Generación de energía eléctrica	Programación de relés y medidores.	Generadores en operación. Energía eléctrica generada.	Registrar la cantidad de energía entregada a la red de la EEQ.	Contador de energía Elster.

**Elaborado por:** El postulante.

### Fase de medición

Se comprueba que los equipos instalados funcionen correctamente y garanticen su funcionamiento continuo de acuerdo a los parámetros requeridos por las maquinas generadoras y a los parámetros establecidos en su programación.

### Resultados de pruebas eléctricas a elementos principales.

La etapa de pruebas está destinada para saber el estado actual de generadores, interruptores y banco de transformadores elevadores, que permitan dejar a los equipos en condiciones óptimas previas a la energización y puesta en marcha de la central.

Las pruebas que se realizan son:

- Pruebas de factor de potencia y resistencia de aislamiento de las unidades de generación
- Pruebas de resistencia de aislamiento y resistencia de contactos en disyuntores.
- Pruebas de factor de potencia y resistencia de aislamiento en banco de transformadores de patio de elevación.

### Prueba de factor de potencia de las unidades de generación

Las pruebas se realizaron con el equipo AVO DELTA 2000. La norma IEEE Std 286-1975, señala que se deben tomar valores de factor de potencia con voltajes comprendidos entre el 25% y el 100% del voltaje nominal, en pasos de voltaje de 25%.

Aplicando los criterios de la tabla 3, Criterios para interpretación de resultados, se obtienen los siguientes resultados.

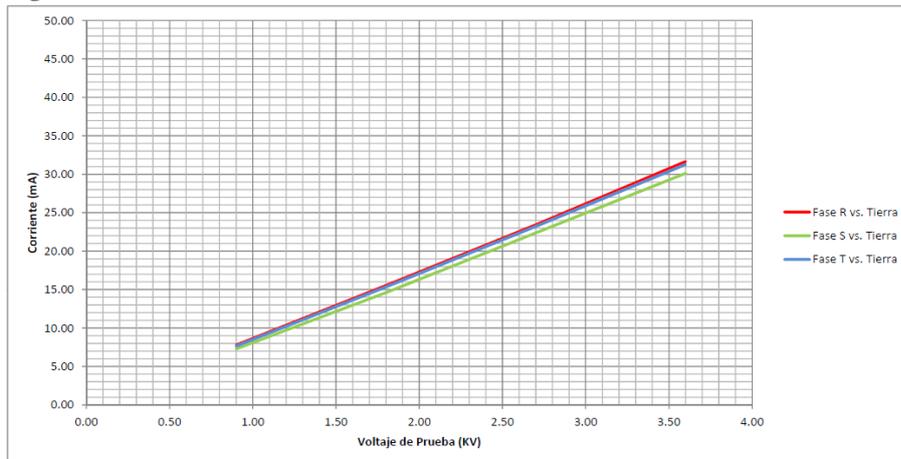
### Generador 1

**Tabla 24.** Interpretación de resultados prueba factor de potencia. Generador 1.

PARÁMETROS	% FP	AVO INTERNATIONAL Bobinados máquina rotativa 2,3 Kv a 13,8 Kv 2,0 > % FP <8,0	JAPAN IERE COUNCIL FP < 2% Bueno FP ≥ 2% De cuidado FP ≥ 6,5% Crítico	TIP-UP	IEEE.STD 286-2000 TIP-UP <2 Bueno TIP-UP >2<6,5 Observación TIP-UP >6,5 Alto riesgo de ruptura
R vs S	2,06	BUENO	DE CUIDADO	0,08	BUENO
S vs T	1,64	EXCELENTE	BUENO	0,06	BUENO
T vs R	2,65	BUENO	DE CUIDADO	0,08	BUENO
R vs Tierra	4,70	BUENO	DE CUIDADO	0,46	BUENO
S vs Tierra	4,10	BUENO	DE CUIDADO	0,30	BUENO
T vs Tierra	4,68	BUENO	DE CUIDADO	0,30	BUENO
R – S – T vs Tierra	4,38	BUENO	DE CUIDADO	0,18	BUENO

Fuente: AVO INTERNATIONAL. (2001).

Los valores de factor de potencia indican que, hasta el momento de ejecución de la prueba, la unidad de generación puede continuar en funcionamiento, sin embargo, se recomienda realizar pruebas de factor de potencia en 12 meses con la finalidad de establecer una tendencia.

**Figura 48.** Curvas de corriente. Generador 1

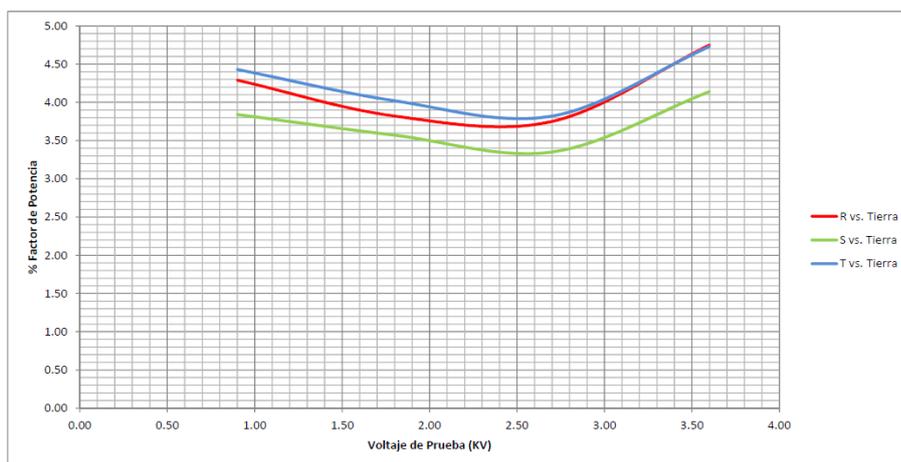
**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

En la figura 48 se muestra la curva de corriente generada como función del incremento de voltajes de prueba.

El buen aislamiento sólido puede resistir incrementos en voltaje, pero si el material aislante está en mal estado, a cada incremento de voltaje, la corriente fugara por grietas y arborescencia causada por contaminantes conductores, de manera que a medida que el voltaje aumenta, la corriente aumenta y la resistencia baja.

**Figura 49.** Curvas de gradiente de factor de potencia TIP-UP. Generador 1

Modo GST



**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

Los valores de corriente mostrados en las curvas describen comportamiento lineal ascendente uniforme (calidad presente en los aislamientos sólidos); mientras que las curvas de TIP-UP permiten determinar zonas de ionización como resultado de la exposición del aislamiento a condiciones de alta humedad presentes en el ambiente de las instalaciones de la central.

## Generador 2

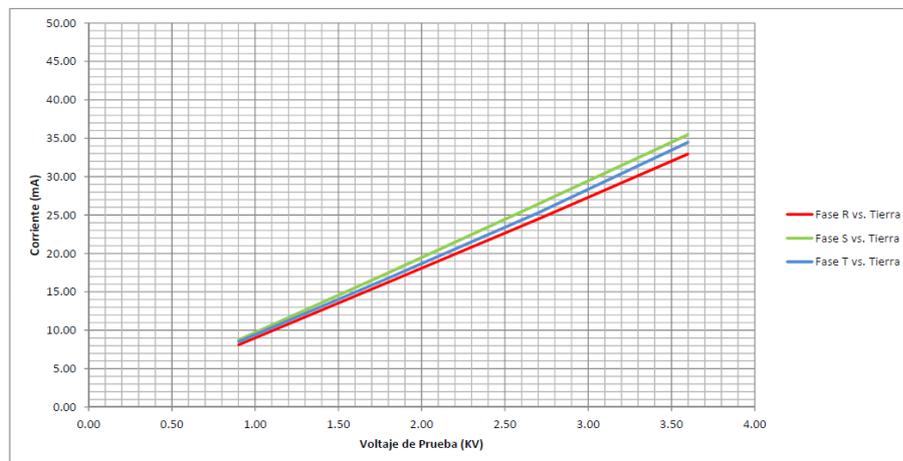
**Tabla 25.** Interpretación de resultados prueba factor de potencia. Generador 2.

PARÁMETROS	% FP	AVO INTERNATIONAL Bobinados máquina rotativa 2,3 Kv a 13,8 Kv 2,0 > % FP <8,0	JAPAN IERE COUNCIL FP < 2% Bueno FP ≥ 2% De cuidado FP ≥ 6,5% Crítico	TIP-UP	IEEE.STD 286-2000 TIP-UP <2 Bueno TIP-UP >2<6,5 Observación TIP-UP >6,5 Alto riesgo de ruptura
R vs S	4,92	BUENO	DE CUIDADO	0,05	BUENO
S vs T	4,56	BUENO	DE CUIDADO	0,03	BUENO
T vs R	3,87	BUENO	DE CUIDADO	0,11	BUENO
R vs Tierra	5,12	BUENO	DE CUIDADO	1,13	BUENO
S vs Tierra	5,28	BUENO	DE CUIDADO	0,68	BUENO
T vs Tierra	5,62	BUENO	DE CUIDADO	1,49	BUENO
R – S – T vs Tierra	5,01	BUENO	DE CUIDADO	0,85	BUENO

Fuente: AVO INTERNATIONAL. (2001).

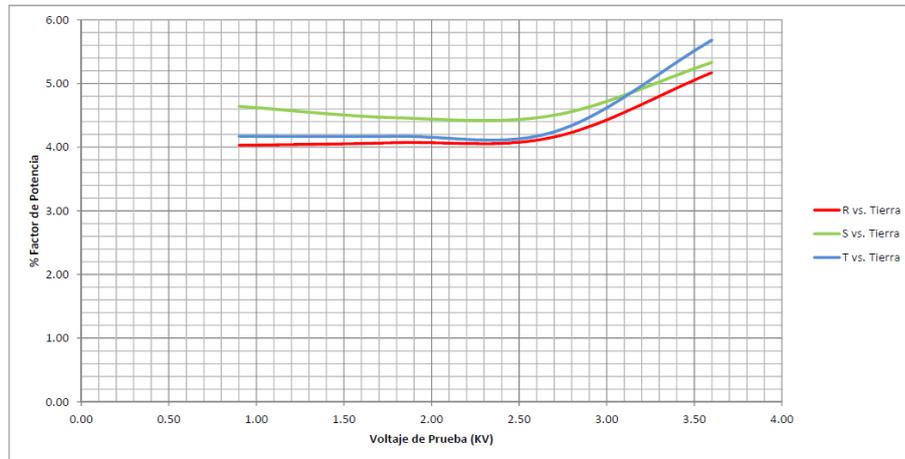
De los datos obtenidos se concluye que existe delaminación del aislamiento que compromete a los bobinados de las fases R, S y T vs Tierra y del aislamiento de la fase T vs R. los valores de factor de potencia indican que, la unidad de generación puede continuar en funcionamiento.

**Figura 50.** Curvas de corriente. Generador 2.  
Modo GST



Fuente: Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

**Figura 51.** Curvas de gradiente de factor de potencia TIP-UP. Generador 2.  
Modo GST



**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

En la Figura 50 se encuentran la curva de corriente y en la Figura 51 la curva de gradiente de factor de potencia (TIP-UP) generadas como función de los incrementos de voltaje de prueba. De las curvas se concluye que existen zonas de ionización como resultado de la exposición del aislamiento a condiciones de alta humedad presentes en el ambiente de la central.

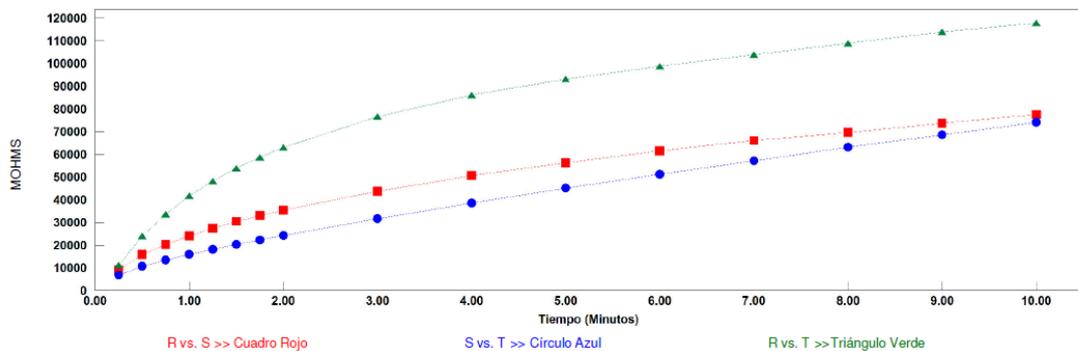
**Prueba de Índice de Polarización (IP) de las unidades de generación**

Las pruebas se realizaron con el equipo Megger S1-1054/2 obteniendo las siguientes curvas de polarización del bobinado estático de los generadores.

**Generador 1**

Prueba realizada con temperatura de bobinados de 16 °C y humedad relativa aproximada de 74 %, con voltaje de prueba de 5.000 VDC.

**Figura 52.** Curvas de polarización bobinado estático del generador 1.  
CURVA DE POLARIZACION



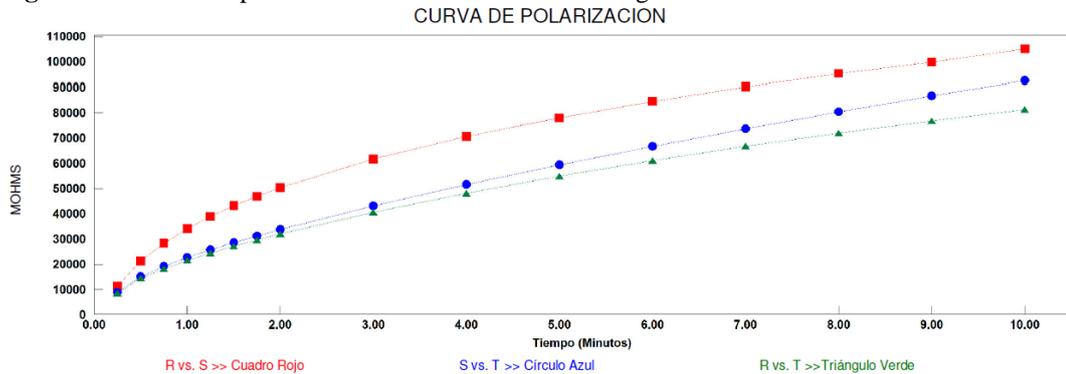
**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

De acuerdo a la IEEE Std. 43-2000:2006; AVO INTERNATIONAL, “La guía completa para pruebas”, se concluye que los valores de las relaciones de absorción dieléctrica (D.A.R.) e índice de polaridad (I.P.) se encuentran dentro del rango de valores considerados aceptables; indicativo que los aislamientos del generador están en condiciones para continuar su operación.

## Generador 2

Prueba realizada con temperatura de bobinados de 25 °C y humedad relativa de 39 %, con voltaje de prueba de 5.000 VDC.

**Figura 53.** Curvas de polarización bobinado estático del generador 2.



**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

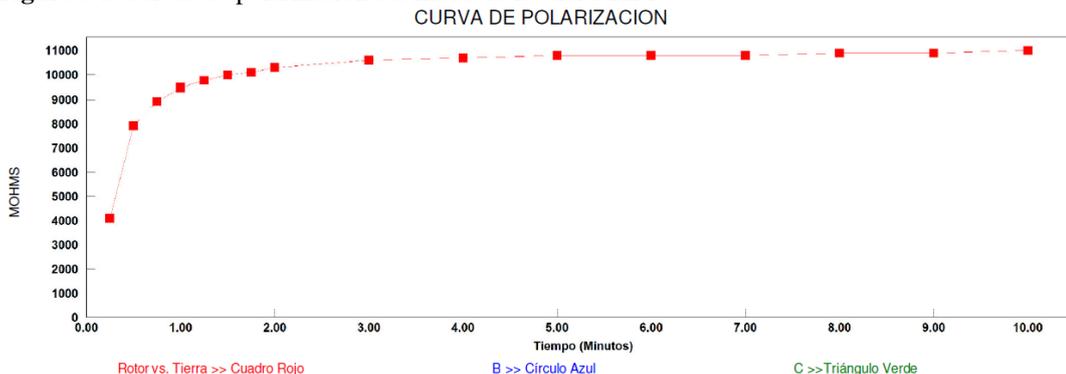
Las curvas muestran que hasta el momento de ejecución de la prueba los valores de las relaciones de absorción dieléctrica e índice de polaridad se encuentran dentro del rango de valores considerados aceptables.

## Mantenimiento de la excitatriz

Se realizaron pruebas de índice de polarización al bobinado de las excitatrices obteniéndose la siguiente curva de polarización con una tensión de prueba de 100 VDC.

### Excitatriz Unidad 1

**Figura 54.** Curvas de polarización bobinado de la excitatriz 1.



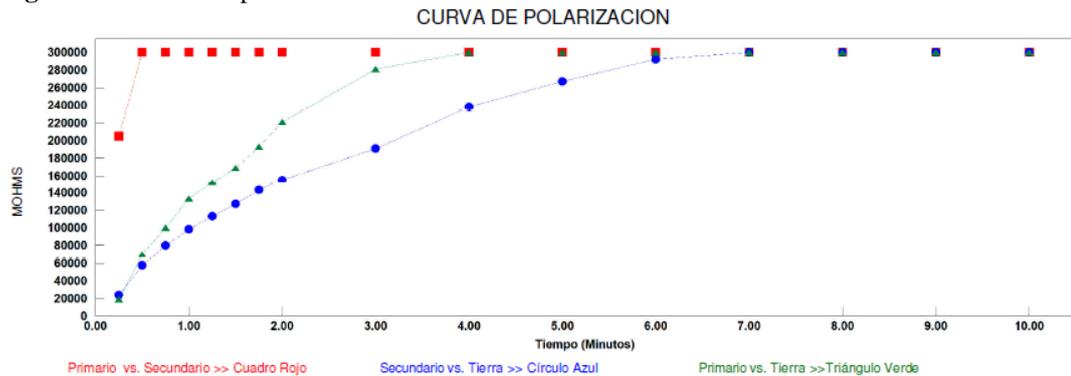
**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

Los criterios de evaluación de los resultados están referidos al manual del equipo de pruebas AVO INTERNATIONAL, “La guía completa para pruebas de aislamiento eléctrico”; y de acuerdo a las normas IEEE Std. 60085:1998 Std. 43-2000:2006.

Los valores de resistencia de aislamiento mínimo considerado para maquinas rotativas de construcción anterior a 1970 están en el rango considerado como aceptable.

## Excitatriz Unidad 2

**Figura 55.** Curvas de polarización bobinado de la excitatriz 2.



**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

Si bien los valores de resistencia de aislamiento se encuentran dentro del rango considerado como aceptables, las curvas nos indican que existe humedad y/o suciedad en el bobinado.

## Pruebas de factor de potencia del aislamiento de bobinados de transformadores patio de elevación de tensión

Prueba realizada al banco de transformadores monofásicos con el equipo AVO DELTA-2000.

### Transformador fase R (T1)

**Tabla 26.** Interpretación de resultados prueba factor de potencia a bobinados. Transformador T1.

PARÁMETROS	% FP	DOBLE	IEEE / STD C57.12.90	AVO INTERNACIONAL
		FP ≤ 0,5% Transformadores Nuevos FP ≤ 2,0% Transformadores en Operación	FP ≤ 0,5% Bueno FP ≥ 0,5% - ≤ 0,7% Deterioro Normal FP ≥ 0,7% - ≤ 1,0% Requiere Investigación FP ≥ 1% Deterioro Excesivo	FP ≥ 0,25 - ≤ 1,0 Transformadores Nuevos FP ≥ 0,75 - ≤ 1,5 Transformadores en Operación
Alta vs Baja	0,33	DETERIORO EXCESIVO	BUENO	DETERIORO EXCESIVO
Alta vs Tierra	0,35	ACEPTABLE	BUENO	DETERIORO EXCESIVO
Baja vs Tierra	0,46	DETERIORO EXCESIVO	BUENO	DETERIORO EXCESIVO

**Fuente:** AVO INTERNATIONAL. (2001).

Los resultados de las pruebas de factor de potencia, pérdidas dieléctricas y capacitancia indican que los mismos se encuentran dentro del rango de valores aceptables según la norma IEEE Std 57.12.90, pero cuestionables de acuerdo al manual AVO INTERNATIONAL (2001).

**Tabla 27.** Interpretación de resultados prueba factor de potencia en bushings. Transformador T1.

PARÁMETROS	% FP	AVO INTERNATIONAL FP≤4% Bushings en aceite FP≤2% Bushings Secos	CAPACITANCIA (pF)	IEEE C57.19.01:2000 Bushings Secos Capacitancia < 100 pF
H1	2,42	ACEPTABLE	5,79	ACEPTABLE
H2	2,19	ACEPTABLE	5,49	ACEPTABLE
H3	-	-	-	-
X1	3,35	FUERA DE RANGO	12,30	ACEPTABLE
X2	4,41	FUERA DE RANGO	13,38	ACEPTABLE
X3	-	-	-	-
H0	-	-	-	-

Fuente: AVO INTERNATIONAL. (2001).

Los valores de factor de potencia X1 y X2 se consideran fuera del rango de valores considerados como aceptables, este efecto es un indicativo de pérdidas dieléctricas y debilitamiento del material aislante.

### Transformador fase S (T2)

**Tabla 28.** Interpretación de resultados prueba factor de potencia a bobinados. Transformador T2.

PARÁMETROS	% FP	DOBLE FP≤0,5% Transformadores Nuevos FP≤2,0% Transformadores en Operación	IEEE / STD C57.12.90 FP≤0,5% Bueno FP≥0,5% - ≤0,7% Deterioro Normal Fp≥0,7% - ≤1,0% Requiere Investigación FP≥1% Deterioro Excesivo	AVO INTERNATIONAL FP≥0,25 - ≤1,0 Transformadores Nuevos FP≥0,75 - ≤1,5 Transformadores en Operación
Alta vs Baja	2,67	DETERIORO EXCESIVO	DETERIORO EXCESIVO	DETERIORO EXCESIVO
Alta vs Tierra	0,96	ACEPTABLE	REQUIERE INFORMACIÓN	DETERIORO EXCESIVO
Baja vs Tierra	7,40	DETERIORO EXCESIVO	DETERIORO EXCESIVO	DETERIORO EXCESIVO

Fuente: AVO INTERNATIONAL. (2001).

De los datos obtenidos de factor de potencia, pérdidas dieléctricas y capacitancia se concluye que los mismos se encuentran fuera del rango de valores aceptables y se encuentra en el rango considerados como PELIGROSO, se recomienda realizar pruebas de análisis físico – químico

de aceite con la finalidad de obtener datos adicionales que permitan dar un diagnóstico más adecuado. Adicionalmente se recomienda volver a realizar esta prueba en un plazo de 3 meses.

**Tabla 29.** Interpretación de resultados prueba factor de potencia en bushings. Transformador T2.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>% FP</b>	<b>AVO INTERNATIONAL</b> FP≤4% Bushings en aceite FP≤2% Bushings Secos	<b>CAPACITANCIA</b> (pF)	<b>IEEE C57.19.01:2000</b> Bushings Secos Capacitancia < 100 pF
H1	2,44	ACEPTABLE	5,97	ACEPTABLE
H2	1,86	ACEPTABLE	6,24	ACEPTABLE
H3	-	-	-	-
X1	2,78	FUERA DE RANGO	12,04	ACEPTABLE
X2	5,20	FUERA DE RANGO	13,49	ACEPTABLE
X3	-	-	-	-
H0	-	-	-	-

Fuente: AVO INTERNATIONAL. (2001).

Según el criterio del manual AVO INTERNATIONAL, los valores de factor de potencia X1 y X2 se consideran fuera del rango de valores considerados como aceptables, indicativo de pérdidas dieléctricas y debilitamiento del material aislante.

### Transformador fase T (T3)

**Tabla 30.** Interpretación de resultados prueba factor de potencia a bobinados. Transformador T3.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>% FP</b>	<b>DOBLE</b> FP≤0,5% Transformadores Nuevos FP≤2,0% Transformadores en Operación	<b>IEEE / STD C57.12.90</b> FP≤0,5% Bueno FP≥0,5% - ≤0,7% Deterioro Normal Fp≥0,7% - ≤1,0% Requiere Investigación FP≥1% Deterioro Excesivo	<b>AVO INTERNACIONAL</b> FP≥0,25 - ≤1,0 Transformadores Nuevos FP≥0,75 - ≤1,5 Transformadores en Operación
Alta vs Baja	8,31	DETERIORO EXCESIVO	DETERIORO EXCESIVO	DETERIORO EXCESIVO
Alta vs Tierra	2,86	ACEPTABLE	DETERIORO EXCESIVO	DETERIORO EXCESIVO
Baja vs Tierra	5,90	DETERIORO EXCESIVO	DETERIORO EXCESIVO	DETERIORO EXCESIVO

Fuente: AVO INTERNATIONAL. (2001).

La interpretación de resultados obtenidos de factor de potencia, pérdidas dieléctricas y capacitancia concluye que los mismos se encuentran fuera del rango de valores aceptables y se encuentra en el rango considerados como PELIGROSO, se recomienda realizar pruebas de análisis físico – químico de aceite con la finalidad de obtener datos adicionales que permitan

dar un diagnóstico más adecuado. Adicionalmente se recomienda volver a realizar esta prueba en un plazo de 3 meses.

**Tabla 31.** Interpretación de resultados prueba factor de potencia en bushings. Transformador T3.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>% FP</b>	<b>AVO INTERNATIONAL</b> FP≤4% Bushings en aceite FP≤2% Bushings Secos	<b>CAPACITANCIA</b> (pF)	<b>IEEE C57.19.01:2000</b> Bushings Secos Capacitancia < 100 pF
H1	2,15	ACEPTABLE	5,99	ACEPTABLE
H2	2,50	ACEPTABLE	5,79	ACEPTABLE
H3	-	-	-	-
X1	2,97	FUERA DE RANGO	12,21	ACEPTABLE
X2	3,67	FUERA DE RANGO	13,49	ACEPTABLE
X3	-	-	-	-
H0	-	-	-	-

Fuente: AVO INTERNATIONAL. (2001).

Los valores de factor de potencia X1 y X2 se consideran fuera del rango de valores considerados como aceptables, este efecto es un indicativo de pérdidas dieléctricas y debilitamiento del material aislante.

De los resultados obtenidos a través de los equipos de prueba se puede observar que los transformadores T2 y T3 de la Central Hidroeléctrica La Calera presentan valores de factor de potencia considerados como PELIGROSO. Los factores de potencia considerados como peligroso son un indicativo de deterioro del aislamiento tanto sólido como líquido de los especímenes Alta-Tierra, Baja-Tierra y Alta-Baja.

Este efecto también es evidenciado en valores altos de pérdidas dieléctricas para los especímenes antes mencionados, así como en valores considerados CUESTIONABLES para las mediciones de resistencia de aislamiento, índice de polarización (I.P.) y absorción dieléctrica (D.A.R.).

### **Prueba de índice de polarización a transformadores del patio de elevación**

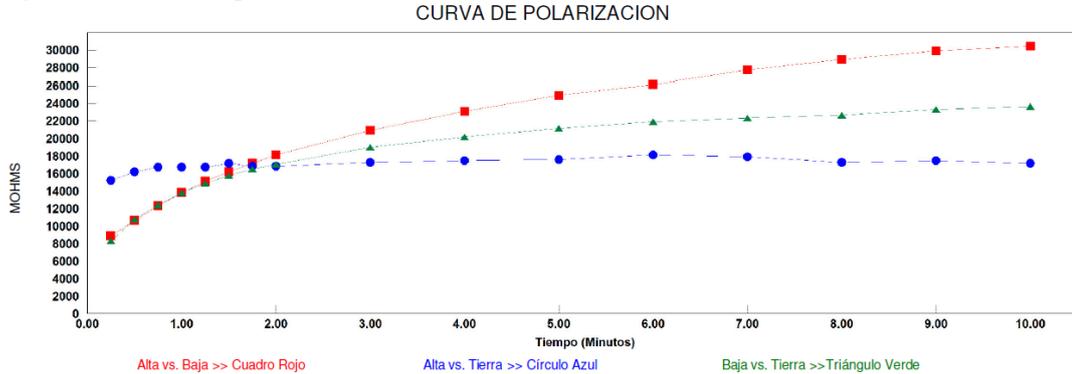
Voltaje de prueba en Alta: 10.000 VDC

Voltaje de prueba en Baja: 6.300 VDC

Prueba realizada con 21°C en aceite y 65% de humedad relativa.

## Transformador fase R (T1)

**Figura 56.** Curvas de polarización bobinado de transformador de elevación T1.



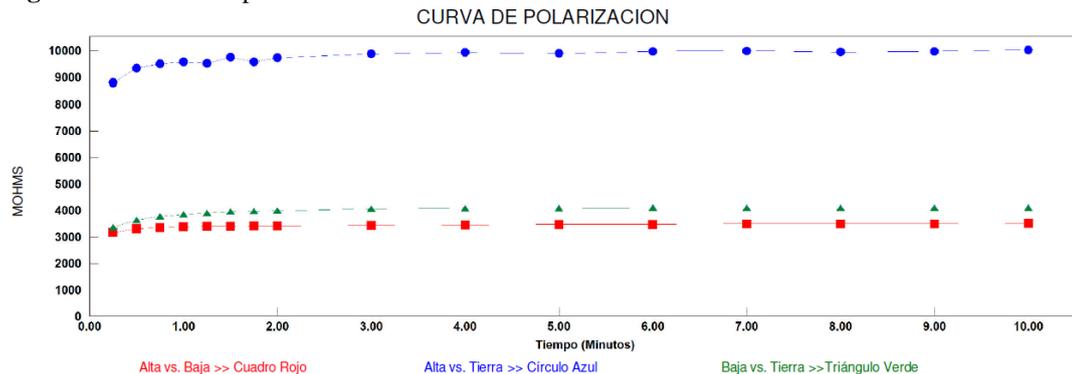
**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

Los valores de las relaciones de índice de absorción e índice de polarización se consideran como pobre para la prueba Alta vs Tierra, esta condición es un indicativo de posible presencia de humedad, avanzada degradación del aceite que está comprometiendo a todo el aislamiento y fallas en el aislamiento sólido (papel aislante).

Los valores de resistencia de aislamiento son superiores a los valores de resistencia de aislamiento mínimo sugeridos ( $R_{min} = CE / (kV \cdot A)^{1/2}$ ; sin embargo, se recomienda realizar un estudio de Análisis Fisco – Químico y Cromatografía de Gases disueltos en el aceite del transformador con la finalidad de emitir un diagnóstico más concreto del estado del aislamiento.

## Transformador fase S (T2)

**Figura 57.** Curvas de polarización bobinado de transformador de elevación T2.

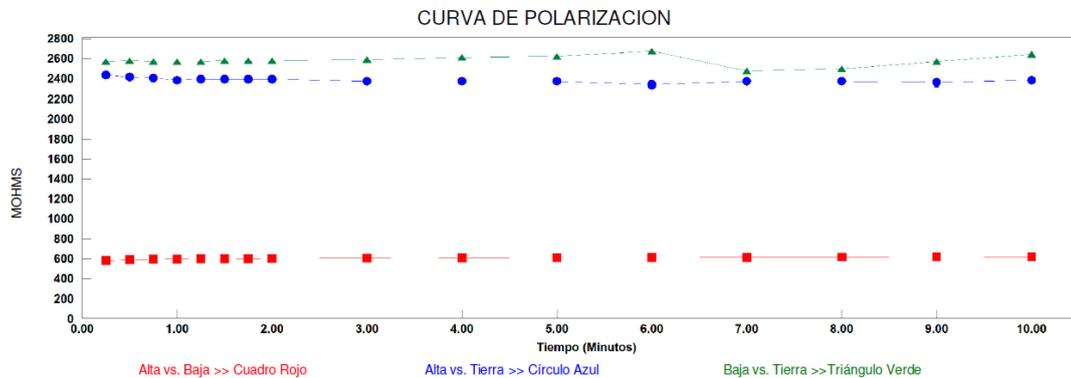


**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

La prueba de resistencia de aislamiento arroja valores superiores a los valores de resistencia de aislamiento mínimo sugeridos, se recomienda realizar un estudio de Análisis Fisco – Químico y Cromatografía de Gases disueltos en el aceite del transformador con la finalidad de emitir un diagnóstico más concreto del estado del aislamiento.

## Transformador fase T (T3)

**Figura 58.** Curvas de polarización bobinado de transformador de elevación T3.



**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

De manera similar que los otros transformadores, se recomienda realizar un estudio de Análisis Fisco – Químico y Cromatografía de Gases disueltos en el aceite del transformador ya que los valores de resistencia de aislamiento son superiores a los valores de resistencia de aislamiento mínimo sugeridos.

Los valores de las relaciones de índice de absorción (60/30 segundos) e índice de polaridad (10/1 minutos), se consideran como pobre para la prueba Alta vs Tierra; esta condición es un indicativo de posible presencia de humedad, avanzada degradación del aceite que está comprometiendo a todo el aislamiento y fallas en el aislamiento sólido (papel aislante).

### Fase de mejoramiento

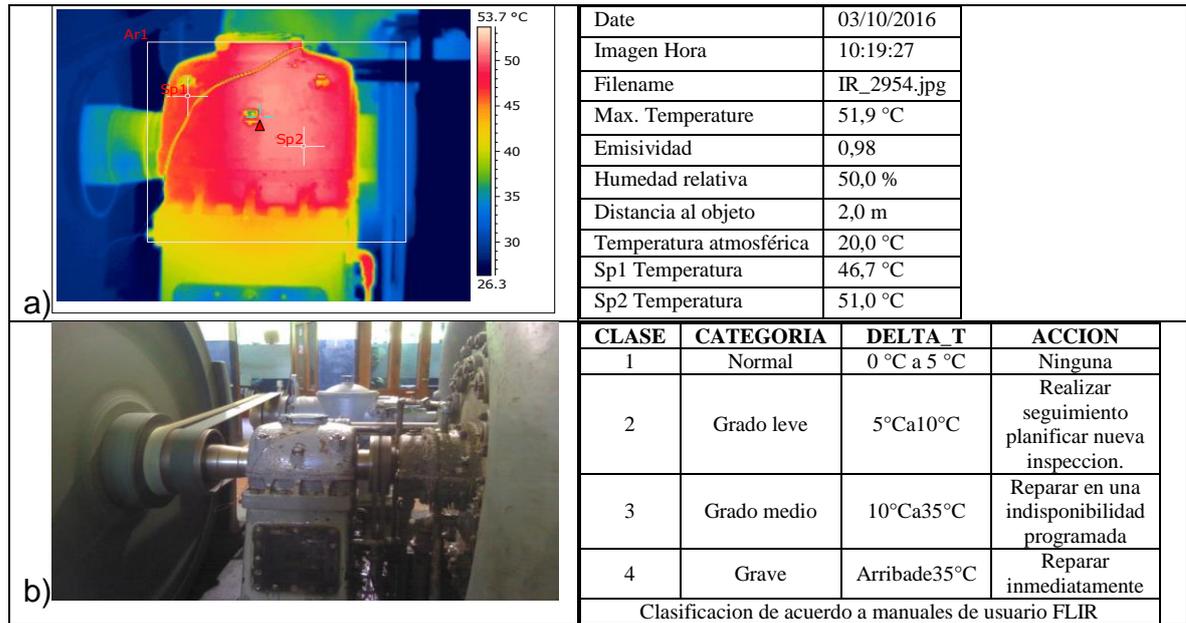
En esta fase se establece un proceso de evaluación periódica a la metodología 5QS, es decir consiste en seguir las recomendaciones para realizar un mantenimiento preventivo sistemático que se refiere a hacer pruebas de rutina para establecer tendencias del estado de funcionamiento de todos los equipos instalados y con ello evitar futuras fallas imprevistas que acarreen pérdidas económicas por la paralización no programada de las máquinas.

### Inspección termográfica del cojinete posterior Unidad 1

Según la inspección termográfica en la central hidroeléctrica La Calera, se encuentra que el cojinete de turbina de la unidad 1, muestra anomalía térmica de consideración cuestionable, en comparación con el cojinete de turbina de la unidad de generación 2.

Esta anomalía se presenta al mostrar una variación de temperatura entre 10°C y 35°C del punto que presenta falla con respecto a un punto de referencia, en este caso la referencia es otro equipo trabajando en similares características.

**Figura 59.** Termograma realizado al cojinete posterior de la Unidad 1 a) Imagen térmica, b) Equipo.



**Fuente:** Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

De acuerdo a los resultados obtenidos del barrido termográfico adjunto en el Anexo 12, se determina que las unidades en mención pueden continuar en funcionamiento considerando los resultados mencionados, pero se recomienda prever la inspección y reparación del cojinete de turbina de la unidad de generación 1.

## 12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

Con la ejecución del presente proyecto se evidencia un amplio impacto de carácter económico, al reanudar con las actividades de generación y comercialización de electricidad, lo que genera anualmente una cantidad económica de alrededor de medio millón de dólares que ingresan a las arcas del municipio de Mejía. Teniendo en cuenta que según un convenio firmado en 2012 con la Empresa Eléctrica Quito se establece el precio por kWh generado en 5,3 centavos de dólar.

Por consiguiente, también existe un impacto social alto debido a que ese dinero puede ser utilizado para futuras obras en beneficio de los 81.335 habitantes del cantón Mejía.

Se evidencian además impactos tecnológicos en cuanto a la aplicación de conocimientos técnicos para incorporar y adaptar nuevas tecnologías en instalaciones antiguas con el objetivo de prolongar la vida útil de las mismas, garantizando la seguridad para los operadores al momento de realizar las maniobras de conexión en paralelo de los generadores.

Al ser una instalación de generación hidroeléctrica también aporta con un impacto ambiental, por el hecho de fomentar el uso de energías alternativas no contaminantes y el aprovechamiento

de recursos renovables, en este caso el recurso hídrico de la zona. Esto, según el protocolo de Kioto vigente hasta 2020 para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 5%, además del acuerdo de París firmado en 2016.

### 13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

A continuación, se detalla el desglose de los costos por personal, transporte y materiales que se requirieron para la ejecución del proyecto. Cabe recalcar que todos los gastos detallados han sido cancelados por parte del municipio del Cantón Mejía.

#### Costo global Repotenciación Central Hidroeléctrica “La Calera”

Tabla 32. Costo total del proyecto

Área-Colaboracion	Transporte	Mano de Obra	Insumos/Equipos	Costo
Mantenimiento Eléctrico de Centrales	\$10.620,96	\$13.586,00	\$30.451,60	\$54.658,56
Mantenimiento Redes Subterráneas	\$948,78	\$2.387,28	\$3.978,62	\$7.314,68
Sistemas y Potencia	\$300,00	\$1.189,00	\$1.689,00	\$3.178,00
Laboratorio de Medidores	\$43,84	\$166,96	\$1.941,81	\$2.152,61
Protecciones Eléctricas	\$300,00	\$7.400,00	\$2.878,00	\$10.578,00
Materiales Consumibles	-	-	\$4.744,17	\$4.744,17
			<b>TOTAL:</b>	<b>\$82.626,02</b>

Fuente: Mantenimiento Eléctrico-Electrónico de Centrales EEQ.

La tabla 32 muestra el desglose del costo facturado por cada departamento que intervino en los trabajos de remodelación de los sistemas eléctrico de la central, y también el costo total de los materiales empleados.

El detalle de cada departamento de encuentra especificado en los Anexos 13 al 16.

#### VAN y TIR

Teniendo en cuenta que la inversión total es de \$82.626,02 y asumiendo un periodo de recuperación de 5 años y un flujo de efectivo de \$50.000 al año, se calcula el valor actual neto.

$$VAN = -I + \sum \frac{FNE}{(1+i)^n} \quad (\text{Ecuación 13.1})$$

Donde

VAN= Valor actual neto

FNE= Flujo neto de efectivo

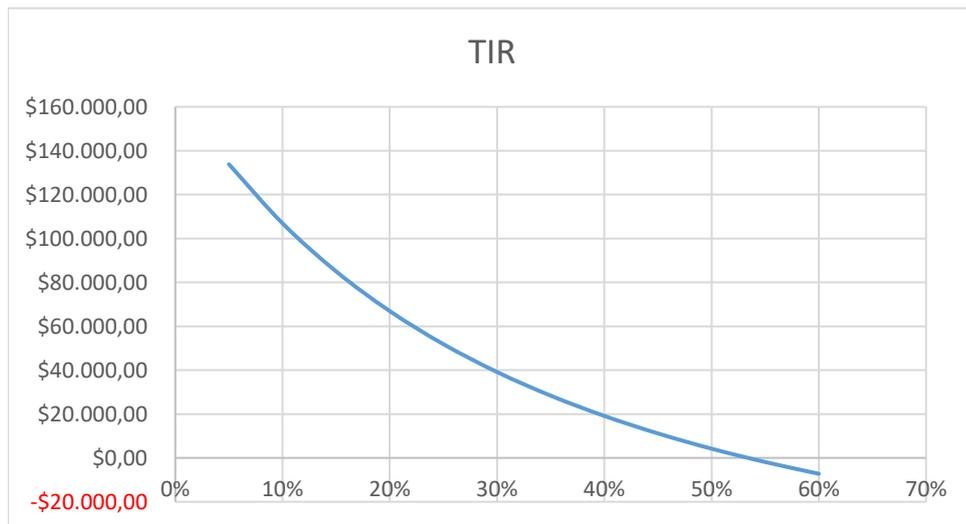
$i$ = Tasa de descuento

$n$ = Periodos de recuperación

Aplicando la Ecuación 13.1 se obtiene \$ 106.913,32 como valor actual neto (VAN), observando que dicha cifra es positiva, por lo que se considera el proyecto como aceptable.

La rentabilidad de la inversión se la mide y compara mediante la tasa interna de retorno en la siguiente tabla. Considerando una tasa de descuento del 10% con un periodo de 5 años.

**Tabla 33.** Tasa interna de retorno TIR.



**TIR** **53%**

**Elaborado por:** El postulante.

Se observa que el TIR es mayor a la tasa de descuento, por lo que se considera al proyecto como viable.

## 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Con la implementación de los equipos de protección eléctrica e interruptores de media tensión en los generadores se ha conseguido que la central hidroeléctrica tras un periodo de inoperatividad generando 0 MW, reanude sus actividades de generación y comercialización de energía eléctrica actualmente con 1 MW de energía usando las dos primeras unidades.
- De acuerdo a los resultados de las pruebas de factor de potencia entre fases de generadores de 2,65 % FP y línea con tierra de 4,68 % FP con índice de polarización de 3,21 se determina que las unidades 1 y 2 pueden continuar en funcionamiento considerando los resultados mencionados en los Anexos 1 al 4.
- Los resultados de la inspección termográfica del cojinete de turbina de la unidad 1 (Anexo 12), presenta Delta T superior a 10%, una anomalía térmica clase 3 de consideración cuestionable, lo que ocasiona un tiempo de operación menor de la unidad en mención con respecto a la unidad 2.
- Los parámetros iniciales de operación de los generadores (Tabla 8) tanto los 18,4 V de voltaje como 90 A de corriente de excitación no se han alterado con el cambio y adaptación de los equipos, además siguen teniendo las mismas restricciones de potencia debido a su naturaleza mecánica.

## RECOMENDACIONES

- Volver a realizar pruebas de factor de potencia y resistencia de aislamiento de los bobinados de generadores con una frecuencia de 6 meses con el fin de establecer una tendencia respecto a los valores obtenidos.
- Realizar un estudio de la calidad de aceite, así como de la producción de gases internos de los transformadores monofásicos del patio de elevación, a través de la contratación del servicio de Análisis Físico – Químico y Cromatografía de gases disueltos en el aceite aislante una vez por año.
- De acuerdo a los resultados de la inspección termográfica del cojinete de la unidad 1 se recomienda la inspección mensual y reparación del mismo, en caso de ser necesario.
- Seguir todos los pasos especificados en el instructivo de operación de la Central Hidroeléctrica La Calera para las actividades de verificación de condiciones previas, arranque de unidades de generación, puesta en paralelo, conexión, desconexión de disyuntores e identificación de fallas para garantizar el funcionamiento normal de los equipos instalados.

## 15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, E. (Mayo, 2014). *Elementos de protección eléctrica*. Trabajo presentado en clase de Instalaciones eléctricas. Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador.
- ALSTOM. (1999). *Type MCGG 22, 42, 52, 53, 62, 63 & 82 Overcurrent Relay for Phase and Earth Faults*. ALSTOM T&D Protection & Control Ltd.
- ARCONEL. (2016). *Pliego tarifario para las Empresas Eléctricas. Periodo Enero-Diciembre 2016*. Agencia de regulación y Control de Electricidad. Obtenido de: <http://www.regulacionelectricita.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Pliego-y-Cargos-Tarifarios-2016-01-02-2016.pdf>. Fecha de recuperacion: 08/12/2016.
- AREVA. (2004). *MiCOM P921/P922/P923 Voltage and frequency relays. Technical guide*. AREVA T&D's
- AVO INTERNATIONAL. (1992). *La guía completa para pruebas de aislamiento*. 3ª ed. Dallas. AVO INTERNATIONAL.
- AVO INTERNTIONAL. (2001). *DELTA-2000 10-kV Automated Insulation Test Set. Instruction Manual*. Obtenido de: [http://www.biddlemegger.com/biddle-ug/DELTA-2000\\_UG.pdf](http://www.biddlemegger.com/biddle-ug/DELTA-2000_UG.pdf). Fecha de recuperacion: 15/11/2016.
- Chapman, S. (1987). *Máquinas Eléctricas*. 3a ed. [Traducido al español de Electric Machinery] Colombia: Editorial Mc. Graw Hill. p.272.
- Comision Electrotécnica Internacional (IEC. 2016). *Common Specifications for High-Voltage Switchgear and Controlgear Standards. IEC EN 60694 1997-11* Obtenido de: <https://webstore.iec.ch/publication/17249#additionalinfo>. Fecha de recuperacion: 13/12/2016.
- Coyne. (1970). *Electricidad práctica aplicada*. México: Union tipografica Editorial Hispano America. pp. 114, 513.
- De Juana, J. Santos, F. Crespo, A. Herrero, M. De Francisco, A. & Fernandez, J. (2009). *Energías renovables para el desarrollo*. España: Editorial Paraninfo S.A. pp. 267, 274-276, 285, 292.
- Diaz, J. (2010). *Técnicas de Mantenimiento Industrial*. 2a ed. España: Calpe Institute of Technology. pp. 1, 8.

- Empresa Eléctrica Quito S.A. (2012). *Reglamento interno de seguridad y salud en el trabajo de la Empresa Electrica Quito S.A. 2012-2014*.
- Empresa Eléctrica Quito S.A. (2013). *Instructivo para prueba de disyuntores*. Departamento de Sistemas y Potencia. pp. 5-10, 14.
- Enrique, C. & Alzugaray, G. (2013). *Modelo de enseñanza-aprendizaje para el estudio de la cinemática de un volante de inercia usando tecnologías de la informacion y la comunicación en un laboratorio de fisica*. Obtenido de: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50062013000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50062013000100002&script=sci_arttext). Fecha de recuperacion: 28/11/2016.
- Garcia, M. G. Gonzales, S. H. & Cortés, M. E. (2009). *Metodología de mantenimiento con posible aplicación en el sector agroindustrial*. Medellin. Universidad CES. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321428102014>. Fecha de recuperación: 11/02/2017.
- Instituto de Ingenieros Electricos y Electronicos (IEEE. 2016). *Recommended Practice for Testing Insulation and Resistance of Rotating Machinery. IEEE Std. 43 2000-2006*. Obtenido de: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/43-2000.html>. Fecha de recuperacion: 15/11/2016.
- Instituto de Ingenieros Electricos y Electronicos (IEEE. 2016). *Standard electrical power systems Device function number Acronyms and contact designations IEEE Std C37.2*. Obtenido de: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4639522/?reload=true&tp=&number=4639522&queryText=IEEE%20Std%20C37.2%E2%84%A2-2008>. Fecha de recuperacion: 15/11/2016.
- Juan, J. M. & Perez, F. M. (2010). *Apuntes de electricidad aplicada a los buques*. España: Editorial Club Universitario.
- Kosow, I. (1993). *Máquinas eléctricas y transformadores*. 2a ed. [Traducido al español de Electric Machinery and Transformers]. Mexico: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A. pp. 170-175, 201-231, 538.
- Megger. (2013). *Pruebas de Factor de Potencia/Disipación*. Trabajo presentado en la conferencia: Nuevas tecnologías de evaluación de la condición de transformadores de potencia. Quito, Ecuador.

- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUFI, 2013). *Energía minihidráulica Aplicación a su desarrollo en Latinoamérica y Caribe*. España: Editorial Observatorio de energía renovable para Latinoamérica y Caribe.
- Ramírez, J. (1984). *Máquinas motrices Generadores de energía eléctrica*. 5a ed. España: Ediciones CEAC S.A. pp. 547-548, 554, 558.
- Real Academia Española (RAE, 2014). *Diccionario de la Lengua Española*. Obtenido de: <http://dle.rae.es/?id=VznwvG>. Fecha de recuperación: 05/12/2016.
- Rosas, R. M. (2004). *Electrotecnia*. España: Editorial: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Saavedra, A. & Gutiérrez, M. (2007). *Manual de mantenimiento y pruebas a interruptores de 115 kV, con aislamiento en SF6 y aceite dieléctrico*. (Trabajo de grado. Universidad La Salle). Obtenido de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16882/42022003.pdf?sequence=2>. Fecha de recuperación: 15/11/2016.
- Toledo, E. G. & Avila, L. M. (2014). *Propuesta de un algoritmo de control de velocidad para una turbina hidráulica tipo Francis usando lógica difusa*. Obtenido de: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12559/PROPUESTALGORITMO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Fecha de recuperación: 12/11/2016.

## **16. ANEXOS**

Los anexos en su formato extenso se pueden encontrar ingresando al siguiente link:

<https://goo.gl/LkmNUZ>

# ANEXOS



EMPRESA  
ELÉCTRICA  
QUITO S.A.

**MANTENIMIENTO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO DE CENTRALES  
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO DE MOTORES Y GENERADORES**

Fecha Impresión: 27/09/2016  
Responsable: Galo Acosta  
Hoja 1 de 8

DATOS DEL GENERADOR / MOTOR			
CENTRAL: MUNICIPIO DE MEJIA - CENTRAL HIDROELECTRICA LA CALERA			
UNIDAD: 1	POTENCIA: 625 KVA	Tem. Ambiente: 18 °C	
MARCA: BROWN BOVERI	VOLTAJE: 6 300 V	Hum. Relativa: 67 %	
SERIE: 58012	CORRIENTE: 57 A	Equipo: AVO DELTA 2000	
TIPO: WA 410 f	FRECUENCIA: 60 HZ		
TIPO DE AISLAMIENTO: B			
ENFRIAMIENTO: AIRE FORZADO			
VELOCIDAD: 720 R.P.M.			

N° PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	CAPACITANCIA			FACTOR DE POTENCIA			PERDIDAS			CORRIENTE		
	FASE ENER.	FASE UST	FASE TIERRA		FASE FASE	FASE FASE	FASE GUARD	pF	LECT.	MULT.	% F.P.	LECT.	MULT.	WATTS	LECT.	MULT.

LECTURAS CORREGIDAS A 10 KV																
TEMP. BOBINAS: 16.1 °C																
1	R	S	T	-	0.90	237.94	2.00	0.99	1.98	0.0014	128.21	0.180	0.080	11.13	0.890	
2					1.80	237.89	2.03	0.99	2.01	0.0058	31.40	0.182	0.160	5.59	0.894	
3					2.70	237.82	2.11	0.99	2.09	0.0139	13.63	0.190	0.243	3.69	0.896	
4					3.60	237.59	2.08	0.99	2.06	0.0240	7.75	0.186	0.321	2.78	0.893	
<b>ΔC= 0.15%</b>																
<b>TIP-UP 0.08</b>																

TEMP. BOBINAS: 16.1 °C																
5	S	T	R	-	0.90	215.39	1.72	0.99	1.70	0.0011	127.00	0.140	0.072	11.13	0.801	
6					1.80	215.34	1.72	0.99	1.70	0.0045	31.09	0.140	0.145	5.59	0.810	
7					2.70	215.28	1.72	0.99	1.70	0.0101	13.84	0.140	0.218	3.72	0.811	
8					3.60	215.08	1.66	0.99	1.64	0.0176	7.63	0.134	0.293	2.76	0.809	
<b>ΔC= 0.14%</b>																
<b>TIP-UP 0.06</b>																

TEMP. BOBINAS: 16.1 °C																
9	T	R	S	-	0.90	206.80	2.60	0.99	2.57	0.0016	126.69	0.203	0.069	11.13	0.768	
10					1.80	206.86	2.61	0.99	2.58	0.0066	30.80	0.203	0.140	5.54	0.775	
11					2.70	208.21	2.73	0.99	2.70	0.0157	13.64	0.214	0.212	3.68	0.781	
12					3.60	208.00	2.68	0.99	2.65	0.0270	7.79	0.210	0.281	2.79	0.783	
<b>ΔC= 0.58%</b>																
<b>TIP-UP 0.08</b>																

**PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION (IP)**



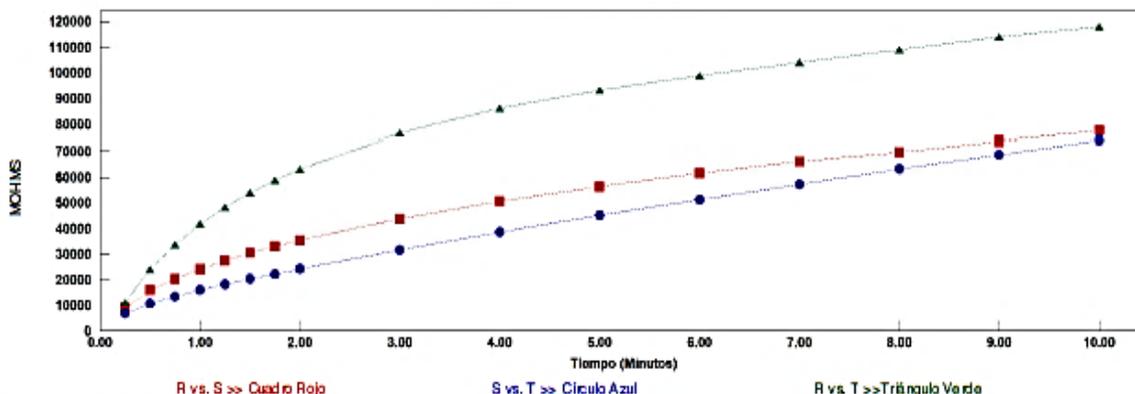
CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA CALERA EQUIPO Bobinado Estático Unidad 1 PAGINA Pruebas Finales  
 UBICACION DEL EQUIPO CASA DE MAQUINAS FECHA 01/09/2016  
 ACTIVO ID \_\_\_\_\_ TEMPERATURA AMBIENTE 16 °C HUMEDAD 74 % TRABAJO# \_\_\_\_\_  
 TEST EQUIPMENT USED Megger S1-1054/2 PROBADO POR: Segundo Pilicita O.

**DATOS DE PLACA**

FABRICANTE Brown Boveri SERIE NO. 930231 TIPO GF 134  
 OTRA INFORMACION Pruebas Finales (Bobinado de estator)  
 EQUIPO CONECTADO Bobina de Estático CLIMA Nublado VOLTAJE PLACA 6.300v  
 VOLTAJE DE PRUEBA 5.113 Kvdc TEMPERATURA 16 °C FACTOR DE CORRECCION DE TEMPERATURA A 20°C, TCF 1.00

MINUTOS	MOTOR / GENERADOR					
	R vs. S		S vs. T		R vs. T	
	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)
0.25	9,020.00	9,020.00	6,840.00	6,840.00	11,200.00	11,200.00
0.50	15,900.00	15,900.00	10,800.00	10,800.00	24,100.00	24,100.00
0.75	20,400.00	20,400.00	13,500.00	13,500.00	33,700.00	33,700.00
1.00	24,200.00	24,200.00	16,000.00	16,000.00	41,800.00	41,800.00
1.25	27,400.00	27,400.00	18,200.00	18,200.00	49,300.00	49,300.00
1.50	30,500.00	30,500.00	20,400.00	20,400.00	54,000.00	54,000.00
1.75	33,100.00	33,100.00	22,300.00	22,300.00	58,800.00	58,800.00
2.00	35,500.00	35,500.00	24,300.00	24,300.00	63,100.00	63,100.00
3.00	43,800.00	43,800.00	31,700.00	31,700.00	76,700.00	76,700.00
4.00	50,700.00	50,700.00	38,600.00	38,600.00	86,200.00	86,200.00
5.00	56,400.00	56,400.00	45,200.00	45,200.00	93,200.00	93,200.00
6.00	61,600.00	61,600.00	51,300.00	51,300.00	98,900.00	98,900.00
7.00	66,100.00	66,100.00	57,200.00	57,200.00	103,999.9	103,999.9
8.00	69,700.00	69,700.00	63,200.00	63,200.00	109,000.0	109,000.0
9.00	73,800.00	73,800.00	68,700.00	68,700.00	114,000.0	114,000.0
10.00	77,600.00	77,600.00	74,200.00	74,200.00	118,000.0	118,000.0
INDICE POLARIZACION	3.21		4.64		2.82	
ABSORCION DIELECTRICA	1.52		1.48		1.73	

**CURVA DE POLARIZACION**



COMENTARIOS: Voltaje de prueba: 5000 VDC.  
 Prueba realizada con temperatura de bobinados de 16°C y humedad relativa aprox. 74%.  
 Los criterios de evaluación de los resultados están referidos al manual de pruebas; AVO INTERNACIONAL, "La guía completa para pruebas de aislamiento eléctrico"; y de acuerdo a las normas IEEE Std. 60085:1998 e IEEE Std. 43-2000 2006.

EMPRESA  
ELECTRICA  
QUITO S.A.

MANTENIMIENTO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO DE CENTRALES  
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO DE MOTORES Y GENERADORES



Fecha Impresión: 27/09/2016  
Responsable: Galo Acosta  
Hoja 1 de 8

**DATOS DEL GENERADOR / MOTOR**

CENTRAL:		MUNICIPIO DE MEJIA - CENTRAL HIDROELECTRICA LA CALERA			
UNIDAD:	2	AÑO:	625 KVA	Tem. Ambiente:	18 °C
MARCA:	BROWN BOVERI	TIPO DE AISLAMIENTO:	B	VOLTAJE:	6 300 V
SERIE:	433989	ENFRIAMIENTO:	AIRE FORZADO	CORRIENTE:	57 A
TIPO:	WA 410 f	VELOCIDAD:	720 R.P.M.	FRECUENCIA:	60 HZ
				Hum. Relativa:	69 %
				Equipo:	AVO DELTA 2000

N° PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	CAPACITANCIA		FACTOR DE POTENCIA		PERDIDAS		CORRIENTE		
	FASE ENER.	FASE UST	FASE TIERRA		FASE	GUARD	LECT.	MULT.	% F.P.	LECT.	MULT.	WATTS	LECT.

LECTURAS CORREGIDAS A 10 KV

TEMP. BOBINAS: 16.3 °C																																					
1	2	3	4	ΔC=	0.39%	5.02	5.18	5.15	4.97	0.99	0.99	0.99	0.99	TIP-UP	0.05	0.0025	0.0103	0.0232	0.0396	7.70	0.310	0.319	0.317	0.305	0.221	0.055	0.110	0.166	0.221	1.1.13	822.00	545.12	414.03	0.612	90.420	90.490	91.500

TEMP. BOBINAS: 16.4 °C																																				
5	6	7	8	ΔC=	0.13%	4.64	4.66	4.67	4.61	0.99	0.99	0.99	0.99	TIP-UP	0.03	0.0027	0.0107	0.0242	0.0422	7.74	0.329	0.330	0.331	0.327	0.063	0.127	0.191	0.254	1.1.13	766.30	510.21	387.68	0.701	97.320	97.450	98.470

TEMP. BOBINAS: 16.4 °C																																				
9	10	11	12	ΔC=	0.06%	4.02	3.99	3.87	3.91	0.99	0.99	0.99	0.99	TIP-UP	0.11	0.0024	0.0096	0.0210	0.0377	7.71	0.299	0.297	0.287	0.291	0.066	0.133	0.200	0.268	1.1.12	702.48	467.60	356.16	0.734	93.430	93.520	95.450

**PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION (IP)**



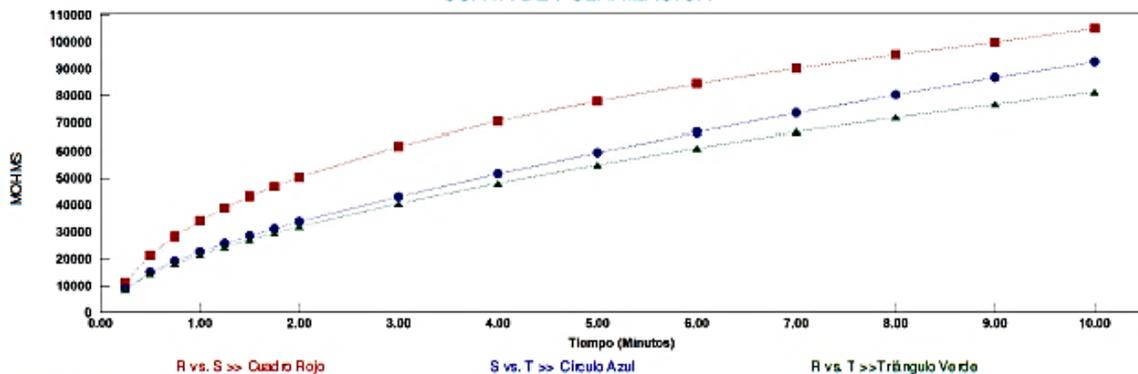
CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA CALERA EQUIPO Bobinado Estático Unidad 2 PAGINA Pruebas Finales  
 UBICACION DEL EQUIPO CASA DE MAQUINAS FECHA 31/08/2016  
 ACTIVO ID \_\_\_\_\_ TEMPERATURA AMBIENTE 25 °C HUMEDAD 39 % TRABAJO# \_\_\_\_\_  
 TEST EQUIPMENT USED Megger S1-1054/2 PROBADO POR: Gal Acosta, Daniel Salguero

**DATOS DE PLACA**

FABRICANTE Brown Boveri SERIE NO. 433999 TIPO WA410f  
 OTRA INFORMACION Pruebas Finales (Bobinado de estator)  
 EQUIPO CONECTADO Bobinado Estático CLIMA Señado VOLTAJE PLACA 6.300v  
 VOLTAJE DE PRUEBA 5.117 Kvdc TEMPERATURA 25 °C FACTOR DE CORRECCION DE TEMPERATURA A 20°C, TCF 1.00

MINUTOS	MOTOR / GENERADOR					
	R vs. S		S vs. T		R vs. T	
	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)
0.25	11,300.00	11,300.00	8,910.00	8,910.00	8,590.00	8,590.00
0.50	21,300.00	21,300.00	15,100.00	15,100.00	14,400.00	14,400.00
0.75	28,300.00	28,300.00	19,200.00	19,200.00	18,200.00	18,200.00
1.00	34,100.00	34,100.00	22,700.00	22,700.00	21,500.00	21,500.00
1.25	38,900.00	38,900.00	25,700.00	25,700.00	24,400.00	24,400.00
1.50	43,200.00	43,200.00	28,600.00	28,600.00	27,100.00	27,100.00
1.75	46,900.00	46,900.00	31,200.00	31,200.00	29,600.00	29,600.00
2.00	50,400.00	50,400.00	33,800.00	33,800.00	32,000.00	32,000.00
3.00	61,700.00	61,700.00	43,100.00	43,100.00	40,600.00	40,600.00
4.00	70,700.00	70,700.00	51,600.00	51,600.00	48,100.00	48,100.00
5.00	78,000.00	78,000.00	59,400.00	59,400.00	54,900.00	54,900.00
6.00	84,500.00	84,500.00	66,700.00	66,700.00	61,100.00	61,100.00
7.00	90,200.00	90,200.00	73,700.00	73,700.00	66,800.00	66,800.00
8.00	95,300.00	95,300.00	80,400.00	80,400.00	71,999.99	71,999.99
9.00	99,800.00	99,800.00	86,700.00	86,700.00	76,800.00	76,800.00
10.00	105,000.0	105,000.0	92,600.00	92,600.00	81,300.00	81,300.00
INDICE DE POLARIZACION	3.08		4.08		3.78	
ABSORCION DIELECTRICA	1.60		1.50		1.49	

**CURVA DE POLARIZACION**



COMENTARIOS: Voltaje de prueba: 5000 VDC.  
 Prueba realizada con temperatura de bobinados de 25°C y humedad relativa aprox. 39%.  
 Los criterios de evaluación de los resultados están referidos al manual del equipo de pruebas; AVO INTERNACIONAL, "La guía completa para pruebas de aislamiento eléctrico"; y de acuerdo a las normas IEEE Std. 60085:1998 e IEEE Std. 43-2000:2006.

EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.  
**MANTENIMIENTO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO DE CENTRALES**  
**PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO DE TRANSFORMADORES Y BUSHINGS**  
 Fecha Impresión: 28/09/2016  
 Responsable: Segundo Pilicita  
 Hoja 1 de 4

**DATOS DEL TRANSFORMADOR**

<b>CENTRAL/SUBESTACION:</b> Municipio de Mejía - Central Hidroeléctrica La Calera	
<b>EQUIPO:</b> Transformador Elevador 1	<b>AÑO:</b> N/D
<b>MARCA:</b> WESTHOUSE	<b>VOLUMEN ACEITE:</b> 495 GI
<b>SERIE:</b> 5063696	<b>REFRIGERACIÓN:</b> OA
<b>TIPO:</b> SL	<b>GRUPO DE CONEXIÓN:</b> N/A
<b>POTENCIA:</b> 1 333 KVA	<b>Tem. Ambiente:</b> 23 °C
<b>VOLTAJE:</b> 6.3 / 22.8 KV	<b>Hum. Relativa:</b> 59 %
<b>CORRIENTE:</b> 212 / 58.6 A	<b>Equipo:</b> AVO DELTA 2000
<b>FRECUENCIA:</b> 60 Hz	

**PRUEBA DE TRANSFORMADOR**

N° PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	LECTURAS CORREGIDAS A 10 KV									
	Aislamiento Bajo Prueba	TEST MODE		ENERG.	UST	CAPACITANCIA pF	FACTOR DE POTENCIA	PERDIDAS	CORRIENTE				
				LECT.	MULT.	% F.P.	LECT.	MULT.	WATTS	LECT.	MULT.	mA	
<b>TEMP. ACEITE: 20 °C</b>													
1	CHG + CHL	GST GND	H L	10.00	0.34	1.00	0.34	0.313	1.00	0.313	9.13	1.00	9.13
2	CHG	GST	H L	10.00	0.35	1.00	0.35	0.119	1.00	0.119	3.38	1.00	3.38
3	CHL	UST	H L	10.00	0.33	1.00	0.33	0.192	1.00	0.192	5.75	1.00	5.75
	ΔCHL		Prueba 1 - Prueba 2					<b>1526.06</b>					

<b>TEMP. ACEITE: 20 °C</b>													
4	CLG + CHL	GST GND	L H	3.60	0.39	1.00	0.39	0.0613	1.00	0.473	4.427	1.00	12.290
5	CLG	GST	L H	3.60	0.46	1.00	0.46	0.0395	7.68	0.3034	2.361	2.77	6.538
6	CHL	UST	L H	3.60	0.32	1.00	0.32	0.0237	7.73	0.1833	2.070	2.78	5.746
	ΔCHL		Prueba 4 - Prueba 5					<b>1525.50</b>					

**PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION (IP)**



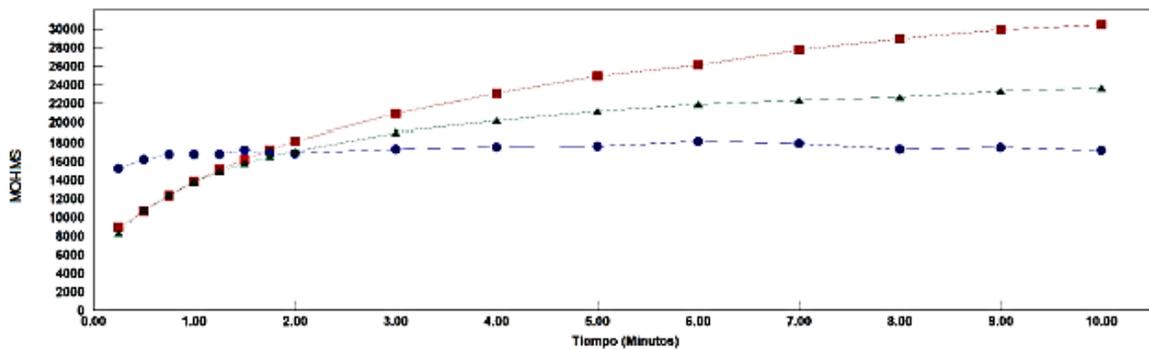
CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA CALERA EQUIPO Transformador Elevador 1 PAGINA Pruebas Finales  
 UBICACION DEL EQUIPO PATIO DE ELEVACIÓN FECHA 01/09/2016  
 ACTIVO ID \_\_\_\_\_ TEMPERATURA AMBIENTE 24 °C HUMEDAD 65 % TRABAJO# \_\_\_\_\_  
 TEST EQUIPMENT USED MEGGER-S1-1054/2 PROBADO POR: Segundo Pilicita

**DATOS DE PLACA**

FABRICANTE WESTINGHOUSE SERIE NO. 5063696 TIPO \_\_\_\_\_  
 OTRA INFORMACION TRANSFORMADOR ELEVADOR T1  
 EQUIPO CONECTADO Bobinado del Transformador CLIMA SECO VOLTAJE PLACA 22.800  
 VOLTAJE DE PRUEBA 6.448 Kvdc TEMPERATURA 24 °C FACTOR DE CORRECCION DE TEMPERATURA A 20°C, TCF 1.09

MINUTOS	TRANSFORMADOR					
	Alta vs. Baja		Alta vs. Tierra		Baja vs. Tierra	
	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)
0.25	8,250.00	8,910.00	14,100.00	15,228.00	7,700.00	8,316.00
0.50	9,850.00	10,638.00	15,000.00	16,200.00	9,970.00	10,767.60
0.75	11,400.00	12,312.00	15,500.00	16,740.00	11,500.00	12,420.00
1.00	12,800.00	13,824.00	15,500.00	16,740.00	12,800.00	13,824.00
1.25	14,000.00	15,120.00	15,500.00	16,740.00	13,800.00	14,904.00
1.50	15,000.00	16,200.00	15,900.00	17,172.00	14,600.00	15,768.00
1.75	15,900.00	17,172.00	15,900.00	16,848.00	15,300.00	16,524.00
2.00	16,800.00	18,144.00	15,900.00	16,848.00	15,900.00	17,064.00
3.00	19,400.00	20,952.00	16,000.00	17,280.00	17,600.00	19,008.00
4.00	21,400.00	23,112.00	16,200.00	17,496.00	18,700.00	20,196.00
5.00	23,100.00	24,948.00	16,300.00	17,604.00	19,600.00	21,168.00
6.00	24,200.00	26,136.00	16,800.00	18,144.00	20,300.00	21,924.00
7.00	25,700.00	27,756.00	16,600.00	17,928.00	20,700.00	22,356.00
8.00	26,800.00	28,944.00	16,000.00	17,280.00	21,000.00	22,680.00
9.00	27,700.00	29,916.00	16,200.00	17,496.00	21,600.00	23,328.00
10.00	28,200.00	30,456.00	15,900.00	17,172.00	21,900.00	23,652.00
INDICE DE POLARIZACION	2.20		1.03		1.71	
ABSORCION DIELECTRICA	1.30		1.03		1.28	

**CURVA DE POLARIZACION**



**COMENTARIOS:** Voltaje de Prueba en Alta: 10000V DC.  
 Voltaje de Prueba en Baja: 6300V DC.  
 Prueba realizada con 21°C en Aceite y 65% de humedad relativa ambiental.

**DEFICIENCIAS:** Los valores de las relaciones de índice de absorción (60/ 30 seg) e índice de polarización (10/ 1 min), se consideran como pobre para la prueba Alta vs. Tierra; esta condición es un indicativo de posible presencia de humedad, avanzada degradación del aceite que está comprometiendo a todo el aislamiento y falta en el aislamiento sólido (papel aislante).



**PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION (IP)**



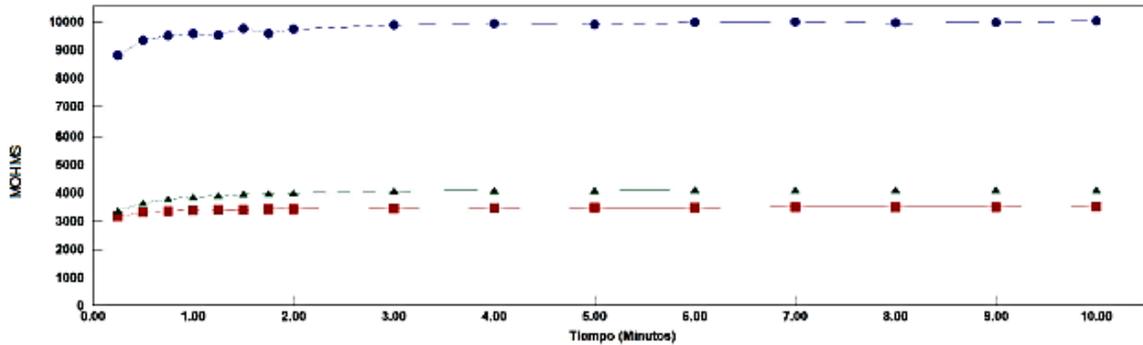
CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA CALERA EQUIPO Transformador Elevador 2 PAGINA Pruebas Finales  
 UBICACION DEL EQUIPO PATIO DE ELEVACIÓN FECHA 01/09/2016  
 ACTIVO ID \_\_\_\_\_ TEMPERATURA AMBIENTE 24 °C HUMEDAD 68 % TRABAJO# \_\_\_\_\_  
 TEST EQUIPMENT USED MEGGER-S1-1054/2 PROBADO POR: Segundo Pilicita

**DATOS DE PLACA**

FABRICANTE Wesling use SERIE NO. 5063700 TIPO Mono fasico  
 OTRA INFORMACION TRANSFORMADOR ELEVADOR T2  
 EQUIPO CONECTADO Bobinados del Transformador CLIMA SECO VOLTAJE PLACA 22800  
 VOLTAJE DE PRUEBA 6.444 Kvdc TEMPERATURA 24 °C FACTOR DE CORRECCION DE TEMPERATURA A 20°C, TCF 1.80

MINUTOS	TRANSFORMADOR					
	Alta vs. Baja		Alta vs. Tierra		Baja vs. Tierra	
	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)
0.25	1,760.00	3,168.00	4,890.00	8,802.00	1,870.00	3,366.00
0.50	1,840.00	3,312.00	5,190.00	9,342.00	2,020.00	3,636.00
0.75	1,860.00	3,348.00	5,290.00	9,504.00	2,100.00	3,790.00
1.00	1,880.00	3,384.00	5,320.00	9,576.00	2,140.00	3,852.00
1.25	1,890.00	3,402.00	5,290.00	9,522.00	2,170.00	3,906.00
1.50	1,890.00	3,402.00	5,420.00	9,756.00	2,200.00	3,960.00
1.75	1,900.00	3,420.00	5,320.00	9,576.00	2,210.00	3,978.00
2.00	1,900.00	3,420.00	5,410.00	9,738.00	2,220.00	3,996.00
3.00	1,910.00	3,438.00	5,490.00	9,882.00	2,260.00	4,068.00
4.00	1,920.00	3,456.00	5,520.00	9,936.00	2,270.00	4,066.00
5.00	1,930.00	3,474.00	5,500.00	9,900.00	2,270.00	4,066.00
6.00	1,930.00	3,474.00	5,540.00	9,972.00	2,280.00	4,104.00
7.00	1,940.00	3,492.00	5,550.00	9,990.00	2,280.00	4,104.00
8.00	1,940.00	3,492.00	5,530.00	9,954.00	2,280.00	4,104.00
9.00	1,940.00	3,492.00	5,540.00	9,972.00	2,280.00	4,104.00
10.00	1,950.00	3,510.00	5,570.00	10,026.00	2,280.00	4,104.00
INDICE POLARIZACION	1.04		1.05		1.07	
ABSORCION DIELECTRICA	1.02		1.03		1.06	

CURVA DE POLARIZACION



Alta vs. Baja >> Cuadro Rojo      Alta vs. Tierra >> Circulo Azul      Baja vs. Tierra >> Triángulo Verde

COMENTARIOS: Voltaje de Prueba en Alta: 10000V DC.  
 Voltaje de Prueba en Baja: 6300V DC.  
 Prueba realizada con 21°C en Aceite y 65% de humedad relativa ambiental.  
 DEFICIENCIAS: Los valores de las relaciones de Índice de absorción (60/30) e Índice de polarización (10/1 min), se consideran como pobre para las pruebas Alta vs. Baja y Baja vs. Tierra; y como cuestionable para la prueba Alta vs. Tierra; esta condición es un indicativo de posible presencia de humedad, avanzada degradación del aceite que está comprometiendo a todo el aislamiento y fallos por pins en el aislamiento sólido (papelaislante).



**PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION (IP)**



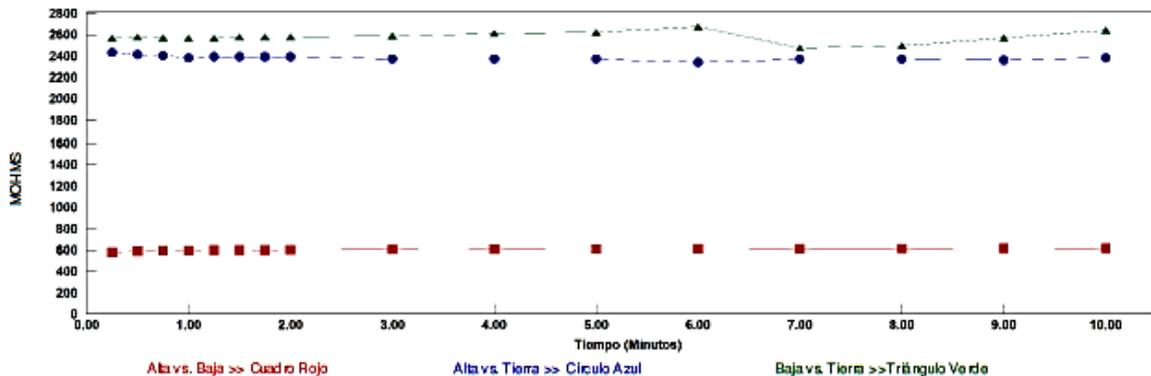
CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA CALERA EQUIPO Transformador Elevador 3 PAGINA Pruebas Finales  
 UBICACION DEL EQUIPO PATIO DE ELEVACIÓN FECHA 01/09/2016  
 ACTIVO ID \_\_\_\_\_ TEMPERATURA AMBIENTE 24 °C HUMEDAD 67 % TRABAJO # \_\_\_\_\_  
 TEST EQUIPMENT USED MEGGER-S1-1054/2 PROBADO POR: Segundo Pilicita

**DATOS DE PLACA**

FABRICANTE We stinhu suo SERIE NO. 5063 698 TIPO Mono fasico  
 OTRA INFORMACION TRANSFORMADOR ELEVADOR T3  
 EQUIPO CONECTADO Bobinado del Transformador CLIMA SECO VOLTAJE PLACA 22800  
 VOLTAJE DE PRUEBA 0.511 Kvdc TEMPERATURA 22 °C FACTOR DE CORRECCION DE TEMPERATURA A 20°C, TCF 1.04

MINUTOS	TRANSFORMADOR					
	Alta vs. Baja		Alta vs. Tierra		Baja vs. Tierra	
	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)	Lectura (Mohms)	Lectura Corregida (Mohms)
0.25	567.00	579.28	2,340.00	2,433.60	2,470.00	2,568.80
0.50	566.00	588.64	2,320.00	2,412.80	2,480.00	2,579.20
0.75	570.00	592.80	2,310.00	2,402.40	2,470.00	2,568.80
1.00	572.00	594.88	2,290.00	2,381.60	2,470.00	2,568.80
1.25	574.00	596.96	2,300.00	2,392.00	2,470.00	2,568.80
1.50	575.00	598.00	2,300.00	2,392.00	2,480.00	2,579.20
1.75	577.00	600.08	2,300.00	2,392.00	2,480.00	2,579.20
2.00	578.00	601.12	2,300.00	2,392.00	2,480.00	2,579.20
3.00	582.00	605.28	2,280.00	2,371.20	2,490.00	2,589.60
4.00	585.00	608.40	2,280.00	2,371.20	2,510.00	2,610.40
5.00	587.00	610.48	2,280.00	2,371.20	2,520.00	2,620.80
6.00	589.00	612.56	2,250.00	2,340.00	2,570.00	2,672.80
7.00	590.00	613.60	2,280.00	2,371.20	2,380.00	2,475.20
8.00	591.00	614.64	2,280.00	2,371.20	2,400.00	2,496.00
9.00	593.00	616.72	2,270.00	2,360.80	2,470.00	2,568.80
10.00	594.00	617.76	2,290.00	2,381.60	2,540.00	2,641.60
INDICE DE POLARIZACION	1.04		1.00		1.03	
ABSORCION DIELECTRICA	1.01		0.99		1.00	

**CURVA DE POLARIZACION**



**COMENTARIOS:** Voltaje de Prueba en Alta: 1000VDC.  
 Voltaje de Prueba en Baja: 6300V DC.  
 Prueba realizada con 21°C en Aceite y 65% de humedad relativa ambiental.

**DEFICIENCIAS:** Los valores de las relaciones de Índice de absorción (60/ 30 seg) e Índice de polarización (10/ 1 min), se consideran como pobre para las pruebas Alta vs. Baja y Baja vs. Tierra; y como cuestionable para la prueba Alta vs. Tierra; esta condición es un indicativo de posible presencia de humedad, avanzada degradación del aceite que está comprometiendo a todo el aislamiento y fallas por ruidos en el aislamiento sólido (pape aislamiento).

Quito, 27 de septiembre de 2016

### CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN

El medidor de energía eléctrica, que se encuentra instalado actualmente a nombre de **LA CALERA**, cuyas características se detallan a continuación, fue verificado en el Laboratorio de Medidores de la Empresa Eléctrica Quito, el 19 de septiembre de 2016:

Número	Forma	Marca	Modelo	Voltaje	Corriente	Tipo	Clase
90002699	9A	ELSTER	9AE20	58-480V	1(10)A	AT	0.2

Las pruebas de verificación referentes al cumplimiento de la curva de operación, fueron realizadas utilizando el equipo de verificación y contrastación de medidores de energía, marca ZERA cuyo medidor patrón tiene las siguientes características:

Tipo: COM3003  
 No. De serie: 050026449  
 Clase: 0.01  
 Fecha última de verificación y calibración: 2014-07-22

El medidor patrón (COM3003), fue verificado en Alemania, en el Laboratorio de Metrología DKD.

En el anexo 1, se adjunta copia del certificado de calibración del medidor patrón, tipo COM3003, con el que se realizaron las pruebas.

Los resultados de la verificación realizada al medidor N° 90002699, se encuentran en el anexo 2 (PROTOCOLO DE MEDIDA).

De acuerdo a la verificación realizada cuyos resultados se indican en el anexo 2, se concluye que el medidor se encuentra dentro de la curva de operación establecida para esta clase de equipos, e indicado por las normas IEC 62052-11 y 62053-21.

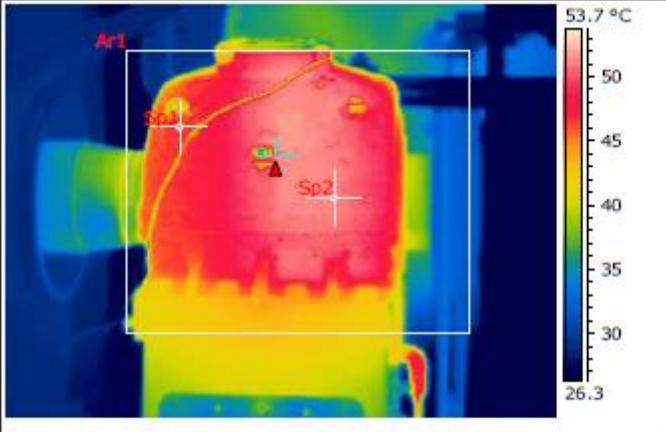
Atentamente.

Ing. Byron Soria S.  
 JEFE SECCIÓN LAB. MEDIDORES (E)  
 EMPRESA ELÉCTRICA QUITO



 <b>EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.</b>	DIRECCIÓN DE GENERACION <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">OT-</span>
	MANTENIMIENTO ELÉCTRICO - ELECTRONICO DE CENTRALES
	INFORME DE INSPECCIÓN TERMGRÁFICA

Dirección:	Central Hidráulica La Calera
Referencia:	Operador en turno
Ubicación/localización:	Casa de maquinas
Termógrafo(s):	Galo Acosta <span style="float: right;">Informe realizado por: Galo Acosta</span>

<p><b>IMAGEN TERMICA</b></p> 	<p><b>DATOS</b></p> <table border="1"> <tr><td>Date</td><td>03/10/2016</td></tr> <tr><td>Imagen Hora</td><td>10:19:27</td></tr> <tr><td>Filename</td><td>IR_2954.jpg</td></tr> <tr><td>Max Temperature</td><td>51.9 °C</td></tr> <tr><td>Emisividad</td><td>0.98</td></tr> <tr><td>Humedad relativa</td><td>50.0 %</td></tr> <tr><td>Distancia al objeto</td><td>2.0 m</td></tr> <tr><td>Temperatura atmosférica</td><td>20.0 °C</td></tr> <tr><td>Sp1 Temperatura</td><td>46.7 °C</td></tr> <tr><td>Sp2 Temperatura</td><td>51.0 °C</td></tr> </table> <p><b>Descripción:</b> Termograma realizado al cojinete posterior de la unidad G1.</p>	Date	03/10/2016	Imagen Hora	10:19:27	Filename	IR_2954.jpg	Max Temperature	51.9 °C	Emisividad	0.98	Humedad relativa	50.0 %	Distancia al objeto	2.0 m	Temperatura atmosférica	20.0 °C	Sp1 Temperatura	46.7 °C	Sp2 Temperatura	51.0 °C
Date	03/10/2016																				
Imagen Hora	10:19:27																				
Filename	IR_2954.jpg																				
Max Temperature	51.9 °C																				
Emisividad	0.98																				
Humedad relativa	50.0 %																				
Distancia al objeto	2.0 m																				
Temperatura atmosférica	20.0 °C																				
Sp1 Temperatura	46.7 °C																				
Sp2 Temperatura	51.0 °C																				

<p><b>EQUIPO</b></p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CLASE *</th> <th>CATEGORIA</th> <th>DELTA T</th> <th>ACCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Normal</td> <td>0 °C a 5 °C</td> <td>Ninguna</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Grado Leve</td> <td>5 °C a 10 °C</td> <td>Realizar seguimiento planificar nueva inspección</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Grado Medio</td> <td>10 °C a 35 °C</td> <td>Reparar en una indisponibilidad programada</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Grave</td> <td>Arriba de 35 °C</td> <td>Reparar inmediatamente</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">*Clasificación de acuerdo a manuales de usuario de la compañía FLIR</td> </tr> </tbody> </table>	CLASE *	CATEGORIA	DELTA T	ACCION	1	Normal	0 °C a 5 °C	Ninguna	2	Grado Leve	5 °C a 10 °C	Realizar seguimiento planificar nueva inspección	3	Grado Medio	10 °C a 35 °C	Reparar en una indisponibilidad programada	4	Grave	Arriba de 35 °C	Reparar inmediatamente	*Clasificación de acuerdo a manuales de usuario de la compañía FLIR			
CLASE *	CATEGORIA	DELTA T	ACCION																						
1	Normal	0 °C a 5 °C	Ninguna																						
2	Grado Leve	5 °C a 10 °C	Realizar seguimiento planificar nueva inspección																						
3	Grado Medio	10 °C a 35 °C	Reparar en una indisponibilidad programada																						
4	Grave	Arriba de 35 °C	Reparar inmediatamente																						
*Clasificación de acuerdo a manuales de usuario de la compañía FLIR																									

ITEM	REFERENCIA	CATEGORIA
1	Ar1	Grado Medio

**Observaciones:** en el cojinete de turbina se encuentra una anomalía térmica clase 3. Esta condición es considerada cuestionable.

Elaborado por: Tlgo. Galo Acosta

Revisado por: Ing. Luis De La Cruz

<b>DETALLE COSTO DE EQUIPOS</b>		
<b>EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTO</b>
Celda Unidad #1	Incluye interruptor, transformadores para instrumentos, equipo de proteccion y medicion.	\$5.500,00
Celda Unidad #2	Incluye interruptor, transformadores para instrumentos, equipo de proteccion y medicion.	\$5.500,00
Celda Unidad #3	Incluye interruptor, transformadores para instrumentos, equipo de proteccion y medicion.	\$5.500,00
Celda salida de barra	Incluye interruptor, transformadores para instrumentos, equipo de proteccion y medicion.	\$5.500,00
Cargador - Rectificador	Incluye rectificador, cargador de voltaje constante 120 VAC - 125 VDC	\$500,00
Banco de baterías	Incluye 15 baterías	\$200,00
Transformador	Transformador trifasico de 30 KVA, 440 - 220 / 127 V, DYN5, +/- 2 x 2,5%	\$3.304,00
Pararrayos	Incluye tres pararrayos clase distribucion tipo polimerico de oxido de Zn, 6 kV	\$111,66
Aceite dieléctrico	Aceite dielectrico inhibido para transformadores	\$286,50
Fusibles NH	Incluye tres cartucho fusible para bajo voltaje tipo NH, 80 A	\$7,44
Marquillas	Incluye 1500 marquillas para etiquetado de cables	\$2.250,00
Relé 86	Incluye cuatro relés de disparo y bloqueo tipo 86, 125 VDC, 8 A, Contactos 4NA, 4NC, con reseteo automatico	\$1.792,00
<b>COSTO TOTAL EQUIPOS</b>		<b>\$30.451,60</b>

<b>DETALLE COSTOS DE MOVILIZACION</b>									
	Vehiculos	Costo-Hora	Costo-Día	Mantenimiento		Desmontaje y Remontaje		Pruebas en vacío y con carga	
				No. Días	Total	No. Días	Total	No. Días	Total
Mtto. Eléctrico	3-474	\$10,96	\$87,68	5	\$438,40	35	\$3.068,80	10	\$876,80
	3-480	\$10,96	\$87,68	5	\$438,40	35	\$3.068,80	0	\$0,00
	3-018	\$10,34	\$82,72	5	\$413,60	25	\$2.068,00	0	\$0,00
	3-036	\$10,34	\$82,72	0	\$0,00	3	\$248,16	0	\$0,00
					\$1.290,40		\$8.453,76		\$876,80
<b>COSTO TOTAL MOVILIZACION:</b>									<b>\$10.620,96</b>

<b>DETALLES DE COSTO RECURSO HUMANO</b>											
<b>PERSONAL</b>	<b>COSTO PERSONAL</b>			<b>DIAS NORMALES</b>		<b>DIAS CON 3 HORAS AL</b>		<b>DIAS 8 HORAS 100%</b>			
	Hora-Hombre	Recargo 50%	Costo-Día	No. Días	Total	No. Días	Total	No. Días	Total		
Mtto. Electrico	Supervisor	\$9,00	\$4,50	\$72,00	33	\$2.376,00	12	\$486,00	2	\$288,00	
	Electromecánico	\$4,00	\$2,00	\$32,00	38	\$1.216,00	0	\$0,00	0	\$0,00	
	Electromecánico	\$4,00	\$2,00	\$32,00	53	\$1.696,00	10	\$180,00	1	\$64,00	
	Electromecánico	\$4,00	\$2,00	\$32,00	53	\$1.696,00	10	\$180,00	1	\$64,00	
	Electromecánico	\$4,00	\$2,00	\$32,00	48	\$1.536,00	10	\$180,00	2	\$128,00	
	Electromecánico	\$4,00	\$2,00	\$32,00	48	\$1.536,00	10	\$180,00	2	\$128,00	
Mtto. Electronico	Electromecánico de apoyo	\$4,00	\$2,00	\$32,00	33	\$1.056,00	10	\$180,00	2	\$128,00	
	Electromecánico de apoyo	\$4,00	-	\$32,00	3	\$96,00	-	-	-	-	
	Electromecánico de apoyo	\$4,00	-	\$32,00	3	\$96,00	-	-	-	-	
	Electromecánico de apoyo	\$4,00	-	\$32,00	3	\$96,00	-	-	-	-	
				<b>COSTO:</b>		<b>\$11.400,00</b>		<b>\$1.386,00</b>		<b>\$800,00</b>	
				<b>COSTO TOTAL DE PERSONAL:</b>							<b>\$13.586,00</b>

<b>DETALLE COSTO DE TRABAJO REALIZADO</b>			
<b>No</b>	<b>Item</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
1	Levantamiento de información	2	\$100,00
2	Modelación del sistema en Power Factory Dig SILENT	2	\$389,00
3	Cálculos de flujo de potencia		
4	Cálculos de corto circuitos		
5	Pruebas relés de Sobrecorriente	5	\$1.200,00
6	Pruebas relés de Sobrevoltaje	3	
7	Pruebas de relación de TC	1	
8	Pruebas tiempos de apertura y cierre disyuntores	3	
9	Relés de Sobrecorriente (Equipos) MCGG 82	5	\$5.000,00
10	Relés de Sobrevoltaje (Equipos) MiCOM P921	3	\$2.400,00
11	Tlgo. Homero Paucar	6	\$575,00
12	Ing. Alejandro Rómulo	2	\$90,00
13	Ing. Rafael Rodriguez	6	\$242,00
14	Ing. Claudia Aillón	7	\$282,00
15	Transporte	6	\$300,00
<b>COSTO TOTAL DEPARTAMENTO DE PROTECCIONES</b>			<b>\$10.578,00</b>

<b>DETALLE COSTOS DE MATERIALES</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Concepto</b>	<b>Costo</b>
8	Cinta eléctrica semiconductiva de media tension, 19 mm ancho, 4,6 m de longitud Ref No. 13 de 3M.	-
3	Cinta para puesta a tierra de 13 mm de ancho y 4,6 m de longitud. Ref No. 25 de 3M.	-
15	Cinta eléctrica , type de vinilo PVC 19 mm de ancho, 18 m de longitud.	-
50	Conductor desnudo cableado cobre suave No. 1/0 AWG, 7 hilos.	-
4	Cable unipolar cobre aislado de polietileno reticulado 25 kV, 500 MCM, 37 Hilos, 100% NA.	-
62	Cable unipolar cobre aislado de polietileno reticulado 25 kV, 2/0 AWG, 19 Hilos, 100% NA.	-
6	Terminal compresible recto de Cu-Sn barril largo 2 perforado No. 500 MCM.	-
3	Cinta eléctrica de malla de cobre estañado para blindaje, 25 mm de ancho y 4,6 m de longitud Ref. No. 24 de 3M.	-
25	Cable unipolar cobre aislado de polietileno reticulado 8 kV, 250 MCM, 37 Hilos, 133% NA.	-
72	Cable unipolar cobre aislado de polietileno reticulado 25 kV, 2 AWG, 7 Hilos, 100% NA.	-
10	Cinta eléctrica, type de vinilo PVC, 19 mm de ancho, 18 m de longitud	-
40	Cinta eléctrica autofundente de 19 mm x 9 m, No. 23 de 3M.	-
<b>COSTO TOTAL MATERIALES</b>		<b>\$3.978,62</b>

<b>Cantidad</b>	<b>Concepto</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Total</b>
1	Camioneta doble cabina	42	<b>\$948,78</b>
5	Grupo Mantenimiento redes subterráneas	42	<b>\$2.387,28</b>
<b>COSTO TOTAL MTTO. REDES SUBTERRANEAS</b>		<b>\$7.314,68</b>	

