



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

SISTEMA DE GESTIÓN METROLÓGICA PARA LAS CENTRALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR

MAGISTER EN GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

AUTOR: SANTIAGO RAFAEL CALLE MOSCOSO

DIRECTOR: CARLOS OSWALDO TERÁN PALACIOS

CUENCA, ECUADOR 2016

DEDICATORIA

Este esfuerzo realizado durante esta etapa de mi vida lo dedico a Dios y a mi sagrada familia.

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a mi director de trabajo de grado el señor Carlos Oswaldo Terán Palacios, supervisor de Metrología en la Central Hidroeléctrica Mazar y a los señores Robert Esteban Rockwood Iglesias y Eduardo Rodrigo Sempertegui Cañizares miembros del tribunal, docentes de la Universidad del Azuay, quienes con su experiencia y conocimientos han aportado de manera significativa para el desarrollo de este proyecto.

RESUMEN

En la actualidad ninguna unidad de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador a excepción de HIDROPAUTE cuentan con un control metrológico adecuado de sus equipos de medición y prueba; de aquí la necesidad de contar con un correcto y confiable sistema de gestión metrológica de tal manera que se puedan validar los datos que actualmente se registran en el funcionamiento y pruebas de operabilidad de las unidades de generación.

El desarrollo de esta investigación está basado en el conocimiento de la información técnica de los equipos de medición y prueba, sus características de calibración y mensurando de todos los procesos de medición de las unidades de generación.

El modelo de gestión metrológica para las unidades de generación contiene las responsabilidades del recurso humano, los procedimientos de trabajo, el equipamiento necesario para brindar los servicios a las diferentes unidades de negocio de la Corporación y las normas involucradas.

PALABRAS CLAVES

Medición y prueba

Control metrológico

Calibración

Gestión metrológica

Unidades de generación

ABSTRACT

Currently, any power generation unit of the Electricity Corporation of Ecuador except for *HIDROPAUTE* has an adequate metrological control of its testing and measurement equipment; therefore, it is necessary to have a correct and reliable metrological management system so that the data currently recorded in the performance and operability testing generation units can be validated. This research is based on the knowledge of testing and measurement equipment technical information, its calibration and measuring characteristics of all measurement processes of the generating units. The metrological management model for the generation units contains the responsibilities of the staff, working procedures, equipment needed to provide services to the different business units of the Corporation, and the rules involved.


UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas


Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN Y PALABRAS CLAVES	iv
ABSTRACT Y KEYWORDS.....	v
INTRODUCCIÓN	1
Problemática	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Metas.....	2
Preguntas de investigación	2
CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivo	3
1.3 Alcance.....	3
1.4 Equipos de medición y prueba de las unidades de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador	4
1.5 Tiempo de ejecución del servicio de calibración	5
1.6 Recursos necesarios para la implementación del nuevo servicio de calibración.....	5
1.7 Planificación del control de los equipos de medición y prueba	5
1.7.1 Procesos del laboratorio de calibración corporativo	5
1.7.2 Tratamiento de no conformidades	5
1.8 Función metrológica dentro de la Corporación Eléctrica del Ecuador.....	5
CAPÍTULO 2: RESULTADOS.....	6
2.1 Levantamiento de equipos de medición y prueba de las unidades de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador	6
2.2 Ubicación del laboratorio de Metrología	10
2.3 Cálculo del número de personas para la ejecución del servicio de calibración	10
2.4 Determinación de recursos necesarios para la implementación del laboratorio de Metrología	11
2.4.1 Proyección de costos por calibraciones en la actualidad comparados con los costos por calibraciones realizadas en laboratorio corporativo.....	12
2.5 Determinación del plan de control de los equipos de medición y prueba	12
2.5.1 Mensurando	12
2.5.1.1 Magnitud de medición	12
2.5.2 Equipo de medición o prueba	12
2.5.2.1 Equipo	13
2.5.2.2 Unidad de medida	13
2.5.2.3 Error máximo permisible	13
2.5.3 Equipo patrón.....	13
2.5.4 Calibración	13
2.5.4.1 Puntos de calibración.....	13
2.5.4.2 Procedimientos de calibración	13
2.5.4.3 Registros	13
2.5.4.4 Intervalos de calibración	13
2.5.4.5 Criterio de aceptación	13
2.5.5 Mapa de procesos del laboratorio de calibración corporativo	16
2.5.5.1 Gestión estratégica	16
2.5.5.2 Planificación	17
2.5.5.3 Programación.....	17

2.5.5.4 Recepción de equipos	17
2.5.5.5 Confirmación metrológica	17
2.5.5.6 Despacho de equipos	17
2.5.5.7 Logística	17
2.5.5.8 Adquisiciones	17
2.5.5.9 Talento humano	18
2.5.6 Proceso de tratamiento de no conformidades	18
2.5.6.1 Análisis de las no conformidades	18
2.6 Función metrológica recomendada para la Corporación Eléctrica del Ecuador.....	18
2.6.1 Políticas internas y externas del laboratorio de calibración.....	19
2.6.2 Funciones principales del personal.....	20
2.6.3 Ejecución de la función metrológica	21
2.6.4 Intervalos de confirmación metrológica	22
2.6.5 Control de ajustes del equipo	22
CAPÍTULO 3: DISCUSIÓN	23
3.1 Patrones detectados en los resultados.....	23
3.2 Causas de los patrones detectados.....	23
3.3 Predicciones resultantes	23
CONCLUSIÓN	24
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS	
Tabla N° 1 Unidades de negocio	4
Tabla N° 2 Equipos de medición y prueba.....	6
Tabla N° 3 Cantidad de equipos por unidad de negocio	7
Tabla N° 4 Índice de Período de Calibración.....	8
Tabla N° 5 Período de Calibración	9
Tabla N° 6 Número de personas necesarias para trabajos de calibración	10
Tabla N° 7 Inversión Inicial del Laboratorio de Metrología	11
Tabla N° 8 Costos por calibraciones en la actualidad versus costos por calibraciones en laboratorio corporativo	12
Anexo N° 1 Levantamiento de equipos/costos de servicio de calibración externa	26
Anexo N° 2 Plan de control de los equipos de medición y prueba	27
Anexo N° 3 Costo de un proceso de calibración	28
Anexo N° 4 Informe de calibración	29
Anexo N° 5 Plano arquitectónico	30
Anexo N° 6 Plano estructural.....	31

Santiago Rafael Calle Moscoso
Trabajo de graduación
Carlos Oswaldo Terán Palacios
Enero 2016

SISTEMA DE GESTIÓN METROLÓGICA PARA LAS CENTRALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR

INTRODUCCIÓN

Los registros más antiguos observados a lo largo de la historia nos dan fe de la necesidad que tuvieron las personas de ese tiempo en medir y disponer de unidades especiales de medida para poder realizar el intercambio comercial de sus productos.

Las mediciones siempre han sido uno de los aspectos más importantes en el desarrollo de la humanidad, ya que se necesitaba realizar transacciones comerciales principalmente de productos, los cuales debían tener referencias de peso y medidas justas tanto para el que compra como para el que vende, esto hizo pensar al hombre de esa época la necesidad de contar con patrones de referencia que no perjudiquen a ninguna de las partes, ya que serían representaciones confiables de una unidad de medida (Pellecer, 2002), la cual es pilar fundamental de la Metrología o ciencia de las mediciones (VIM, 2012) la misma que juega un papel primordial en nuestra vida cotidiana.

En las épocas desde los tiempos antiguos ha ido evolucionando de la mano los avances tecnológicos hasta la actualidad, en donde existe un considerable número de industrias que se dedican a la producción de bienes y servicios para satisfacer las necesidades de los clientes que cada día son más exigentes, y esto hace que las industrias pongan mayores esfuerzos y recursos en lograr un producto final de calidad.

La calidad se ha convertido en uno de los factores imprescindibles para todo tipo de comercialización de productos, ya no basta con obtener y mantener la calidad sino que es necesario brindar confianza en los productos y servicios superando de esta manera las necesidades y expectativas del cliente, es por esto que el no tener un modelo de gestión de calidad es un limitante para ser competitivos, además la forma de demostrar un cumplimiento estandarizado es tener certificado el sistema de gestión de calidad (ISO, 9001:2008), ya que es determinante para que las empresas sean productivas y competitivas. Para conseguir la calidad mencionada las industrias deben realizar una serie de mediciones dentro de sus procesos productivos y de sus productos resultantes, por tal motivo los elementos fundamentales para obtener mediciones adecuadas son: los equipos de medición, personal competente, la metodología utilizada y el medio ambiente en donde se realizan las mediciones, cuándo se gestionan adecuadamente estos elementos se tiene un correcto control de las mediciones.

Es por tal motivo que se ha visto la necesidad de diseñar un modelo de gestión metrológica para satisfacer las necesidades de la empresas relacionadas, con las mediciones y la calidad (ISO, 9001:2008) en las unidades de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador que abarque las funciones del personal, las metodologías de trabajo, la infraestructura necesaria para brindar los servicios a las diferentes unidades de negocio de la corporación y las normativas requeridas para la competencia técnica.

Problemática.

En las centrales de generación de la Corporación Eléctrica del Ecuador, las unidades de generación tienen equipos de medición y prueba, los cuales deben tener confirmación metrológica, es decir, estar adecuadamente calibrados y controlados, garantizando que el equipo dé una medición real y confiable de acuerdo al uso previsto (ISO, 10012:2003).

Actualmente ninguna de las unidades de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador a excepción de HIDROPAUTE cuentan con un control metrológico

adecuado de sus equipos de medición y prueba, es decir, carecen de acciones administrativas y técnicas que determinan la comprobación del correcto funcionamiento de los equipos de medida, ya que cuando requieren calibrarlos tienen que hacerlo enviándolos al extranjero, esto implica costos onerosos y costos asociados a la indisponibilidad de los equipos en los diferentes lugares de trabajo, además de pérdida de tiempo considerable, adicionalmente a esto se suma la falta de control a la mayoría de los equipos de medición de planta que tampoco contarían con un adecuado control metrológico por falta de los equipos de prueba; esto es importante debido a que en centrales de este tipo se realizan muchas mediciones tanto en los procesos productivos y de mantenimiento como en la energía generada, y es necesario asegurar que los resultados de dichas mediciones sean confiables para su aplicación y la toma de decisiones.

Por lo tanto esta investigación pretende proponer el diseño de un sistema de gestión metrológica de tal manera que se puedan validar los datos que actualmente se registran en el funcionamiento y en las diferentes pruebas de operabilidad de las unidades de generación de energía eléctrica.

Objetivo general.

Diseñar un sistema de gestión metrológica para las unidades de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador.

Objetivos específicos.

Mejorar los recursos económicos y técnicos en las actividades de calibración de los equipos de medición y prueba.

Desarrollar la planificación del control metrológico de los equipos de medición y prueba.

Definir la función metrológica dentro de la Corporación Eléctrica del Ecuador.

Metas.

Desarrollar el procedimiento general de calibración de los equipos de medición y prueba.

Definir y describir los elementos del plan de control de los equipos de medición y prueba.

Describir la ubicación del laboratorio de Metrología.

Definir el proceso de gestión metrológica.

Preguntas de Investigación.

¿Se cuenta con la información de los equipos de medición y prueba de las unidades de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador?

¿Se conoce las características de la calibración, mensurando, equipo de medición y equipo patrón?

¿Se conoce el posible conflicto de intereses entre áreas involucradas y se entiende la estructura organizacional de la Corporación Eléctrica del Ecuador?

CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Antecedentes.

La unidad de negocio HIDROPAUTE cuenta con el área de Metrología, la que se encarga de la calibración, verificación y ajuste de todos los equipos y sistemas de medición tanto de las plantas de generación como de los equipos de prueba, cuyo objetivo principal es el de asegurar que las mediciones que se realicen con dichos equipos sean confiables para la toma de decisiones, además de cumplir con los requisitos normativos de ISO 9001, ISO 14001 y OSHAS 18001.

Actualmente se cuenta con dos laboratorios de Metrología uno en la central Molino y otro en la central Mazar los mismos que brindan el servicio metrológico a las dos centrales; estos laboratorios están en la capacidad de atender los requerimientos de calibración de los siguientes tipos de equipos de medición, tales como: manómetros y medidores de presión, termómetros y sensores de temperatura, medidores e indicadores de nivel y caudal, medidores de magnitudes eléctricas, medidores longitudinales.

La gestión de las calibraciones se encuentra debidamente planificada y para la ejecución de todas estas actividades se cuenta con procedimientos documentados e implementados tomando en cuenta las recomendaciones de la norma ISO 10012:2003 "Sistema de Gestión de las mediciones, Requisitos para los Procesos de medición y los equipos de medición".

El personal técnico del área está compuesto por ingenieros con varios años de experiencia y capacitación para el desarrollo idóneo de las actividades metrológicas.

1.2 Objetivo.

Conseguir el ahorro de recursos económicos por servicios de calibración de equipos de medición y prueba, así como reducir los tiempos de entrega, optimizando la disponibilidad de uso de estos equipos en las centrales de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador.

1.3 Alcance.

El alcance pretendido en este proyecto es desarrollar los lineamientos para brindar el servicio de confirmación metrológica para las centrales de generación de energía eléctrica de las diferentes Unidades de Negocio pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador; las cuales se detallan en la Tabla N°1 (CELEC.EP):

Tabla N° 1 Unidades de negocio

UNIDAD DE NEGOCIO	CENTRAL DE GENERACIÓN
ELECTROGUAYAS	Ing. Gonzalo Cevallos
	Trinitaria
	Dr. Enrique García
	Santa Elena
HIDROAGOYAN	Pucará
	Agoyan
	San Francisco
HIDRONACIÓN	Marcel Laniado
HIDROPAUTE	Molino
	Mazar
TERMOESMERALDAS	Térmica Esmeraldas I
	Térmica la Propicia
	Térmica Esmeraldas II
	Térmica Jaramijó
	Térmica Manta II
TERMOPICHINCHA	Guangopolo
	Sacha
	Isla Puna
	Quevedo
	Jivino
	Santa Rosa
TRANSELECTRIC	Subestaciones
TERMOGAS MACHALA	Termo gas Machala
ELECAUSTRO	Machángara
	Saymirin
	Saucay
	Descanso
	Ocaña

1.4 Equipos de medición y prueba de las unidades de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador.

La información del número de equipos de medición y prueba de las diferentes centrales de generación pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador que operan en la actualidad se la obtuvo mediante visitas en sitio y correos electrónicos de cada uno de los supervisores responsables de las áreas eléctricas y mecánicas realizada entre el 05 de septiembre del 2014 al 21 de julio del 2015.

Además en el Ecuador se están construyendo 8 proyectos hidroeléctricos entre estos se tiene: Coca Codo Sinclair, Sopladora, Minas – San Francisco, Delsintanisagua, Manduriacu, Mazar – Dudas, Toachi – Pilatón y Quijos (El Mercurio, 2014) en distintos sectores del país lo que representará una capacidad de generación aproximada de 2827 MW, estas centrales también contarán con equipos de medición y prueba, la cantidad de equipos de las nuevas centrales se determinó en función de su potencia de generación relacionándolas con la potencia de generación de las centrales existentes 3437 MW, haciendo una proyección de acuerdo a la capacidad de generación potencial de estas centrales en relación a las centrales actuales.

La cantidad de equipos de medición y prueba que disponen las diferentes unidades de generación requieren servicios de calibración frecuente, la determinación inicial de los periodos

de calibración se debe a criterios tales como: estabilidad, deterioro y movilidad del equipo (OIMLD10, 1998).

1.5 Tiempo de ejecución del servicio de calibración.

Servicio externo actual.- El tiempo de ejecución del servicio de calibración realizada por entidades externas varía en promedio entre un mes y tres meses desde que el equipo sale de las instalaciones de cada central hasta su retorno al lugar de trabajo.

Tiempo entre envío y recepción = 1 a 3 meses por equipo

Servicio interno futuro.- Para la cantidad de equipos proyectados y para que el tiempo de ejecución sea el óptimo, se requerirá que el servicio se realice en la ciudad de Cuenca e intervengan tres personas encargadas de realizar las actividades de calibración y análisis/reporte de datos, con esto se conseguirá que el tiempo entre envío y recepción del equipo sea de máximo una semana.

Tiempo entre envío y recepción = 1 semana por equipo

1.6 Recursos necesarios para la implementación del nuevo servicio de calibración.

Los recursos necesarios para la implementación del nuevo servicio de calibración están basados en cotizaciones de proveedores nacionales.

1.7 Planificación del control metrológico de los equipos de medición y prueba

El plan de control de equipos de medición y prueba es un documento en el cual se indica todos los parámetros necesarios para poder realizar las calibraciones de los equipos de medición y prueba de las centrales de generación de energía eléctrica de todas las unidades de negocio pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador, entre estos parámetros tenemos:

- Mensurando
- Equipo de medición /prueba
- Equipo patrón
- Calibración.

1.7.1 Procesos del laboratorio de calibración corporativo.

El Mapa de procesos del laboratorio de calibración corporativo ayuda a visualizar todos los procesos existentes para poder realizar la gestión metrológica de los todos los equipos de medición y prueba pertenecientes a las unidades de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador.

1.7.2 Tratamiento de no conformidades.

El incumplimiento al requisito de una norma da paso a la detección de no conformidades en un proceso, las cuales deben ser cerradas de acuerdo a lo que indica el proceso de tratamiento de no conformidades.

1.8 Función metrológica dentro de la Corporación Eléctrica del Ecuador

Debido a que el área de Metrología tiene intereses diferentes al del área de producción es conveniente que exista independencia entre estas áreas, como indica la norma ISO/IEC, 17025:2005 punto 4.1.4 nota 1 en donde se expresa que "Cuando un laboratorio es parte de una organización mayor, es conveniente que las disposiciones de la organización aseguren que los departamentos que tengan intereses divergentes, tales como los departamentos de producción, comercialización, o financiero, no influyan en forma adversa en el cumplimiento del laboratorio con los requisitos de esta Norma Internacional" (ISO/IEC, 17025:2005)

CAPÍTULO 2: RESULTADOS

2.1 Levantamiento de equipos de medición y prueba de las unidades de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador.

A continuación en la Tabla N°2 se presenta el levantamiento de los diferentes tipos de equipos de medición y prueba de las unidades de generación que se encuentran funcionando en la actualidad:

Tabla N° 2 Equipos de medición y prueba

Tipo de Equipos	Cantidad
Calibradores de procesos	23
Medidores de presión	102
Torquímetros	46
Medidores de longitud	116
Multímetros	33
Pinzas amperométricas	48
Termómetros infrarrojos	22
Cámaras termográficas	9
Medidores de resistencia de aislamiento	34
Micro-óhmetros	4
Hornos de calibración	15
Osciloscopios	11
Medidores de tiempo de interruptores	5
Medidores de resistencia de devanados	8
Probadores de relés	1
Anemómetros	1
Medidores de frecuencia	1
Probadores de peso muerto	1
Analizadores de vibraciones	15
Termo higrómetros	3
Sensores de temperatura	9
Total Equipos	507

A continuación en la Tabla N°3 se indica la cantidad de equipos de medición y prueba por cada unidad de negocio:

Tabla N° 3 Cantidad de equipos por unidad de negocio

Unidad de Negocio	Cantidad
ELECTROGUAYAS	72
HIDROAGOYAN	117
HIDRONACIÓN	10
HIDROPAUTE	120
TERMOESMERALDAS	55
TERMOPICHINCHA	84
TRANSELECTRIC	17
TERMOGAS MACHALA	15
ELECAUSTRO	17
TOTAL EQUIPOS	507

Como se aprecia, la cantidad de equipos que se disponen de acuerdo al levantamiento de información efectuado es de 507, esto para una capacidad de generación de 3437 MW. Con el funcionamiento de los 8 proyectos hidroeléctricos en el 2016 los cuales representarán una capacidad de generación de aproximadamente 2827 MW se tendría un incremento de 406 equipos más de medición y prueba, en total para el año 2016 se tendría 913 equipos de medición y prueba.

Los equipos de medición y prueba descritos anteriormente requieren servicios de calibración frecuente, la determinación inicial de los periodos de calibración se debe a criterios tales como: estabilidad, deterioro y movilidad del equipo (OIMLD10, 1998).

Estabilidad del equipo (E)

Equipos estables (E=1).- Equipos que presentan variaciones poco significativas con el paso del tiempo.

Equipos inestables (E=2).- Equipos que presentan variaciones significativas con el paso del tiempo.

Deterioro del equipo (D)

Determinado mediante la siguiente ecuación: $D=FU/S$, donde FU es la frecuencia de uso y S la sensibilidad del equipo.

Frecuencia de uso baja o mediciones esporádicas FU=1

Frecuencia de uso alta o mediciones recurrentes FU=2

Sensibilidad alta (S=1).- Equipos sensibles a la frecuencia de uso debido a sus características constructivas.

Sensibilidad baja (S=2).- Equipos poco sensibles a la frecuencia de uso debido a sus características constructivas.

Movilidad del equipo (M)

Fijos (M=1).- Equipos utilizados para realizar actividades de medición en un mismo lugar.

Móviles (M=2).- Equipos utilizados para realizar actividades de medición en distintos lugares.
Con los parámetros antes descritos podemos obtener el “Índice del período de calibración IPC” mediante la suma algebraica:

$$\text{IPC} = E + D + M$$

Por último realizamos la correspondencia del valor IPC calculado en la Tabla N°4:

Tabla N°4 Índice del Período de Calibración

IPC	Período de Calibración
2	36 meses
3	24 meses
4	18 meses
5	12 meses
6	06 meses

En la Tabla N°5 se observa el período de calibración de los diferentes equipos de medición y prueba de todas las unidades de generación pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador.

Tabla N° 5 Período de calibración

Equipo de medición	Estabilidad	Frecuencia de Uso	Sensibilidad	Movilidad	Índice Período de Calibración	Período de Calibración
Calibrador de Procesos	1	2	1	2	5	12 meses
Medidor de Presión	1	2	1	2	5	12 meses
Torquímetro	2	2	1	2	6	6 meses
Medidores de Longitud	1	2	1	2	5	12 meses
Multímetro	1	2	1	2	5	12 meses
Pinza Amperométrica	1	2	1	2	5	12 meses
Termómetro Infrarrojo	1	2	1	2	5	12 meses
Cámara Termográfica	1	2	1	2	5	12 meses
Medidor de Resistencia de Aislamiento	1	2	1	2	5	12 meses
Micro óhmetro	1	2	1	2	5	12 meses
Horno de Calibración	1	2	1	2	5	12 meses
Osciloscopio	1	2	1	2	5	12 meses
Medidor de Tiempos de Interruptores	1	2	1	2	5	12 meses
Medidor de Resistencia de Devanados/Contactos	1	2	1	2	5	12 meses
Probador de Relés	1	2	1	2	5	12 meses
Anemómetro	1	1	1	1	3	24 meses
Medidor de capacitancia	1	2	1	2	5	12 meses
Medidores de Frecuencia	1	2	1	2	5	12 meses
Probador de Peso Muerto	1	1	1	1	3	24 meses
Analizador de Vibraciones	1	1	1	1	3	24 meses
Termo higrómetros	1	2	1	2	5	12 meses
Sensores de Temperatura de Prueba	1	2	1	2	5	12 meses

2.2 Ubicación del laboratorio de Metrología

Se ha considerado que la ubicación idónea del laboratorio sea en la ciudad de Cuenca debido a los siguientes aspectos:

Logística:

- Dispone de un aeropuerto con itinerarios de vuelos diarios a las principales ciudades del país lo que sería beneficioso para los traslados de equipos entre el laboratorio y las diferentes unidades de generación de energía eléctrica.
- Presenta facilidad para el transporte terrestre debido a que cuenta con vías en excelente estado hacia todas las ciudades del país.
- Punto estratégico para el traslado hacia las demás unidades de generación de energía eléctrica así como a los proyectos en construcción.
- Existencia frecuente de servicios de Courier tanto públicos como privados.

Condiciones ambientales.- Otro aspecto importante a tomar en cuenta para la ubicación del laboratorio en la ciudad de Cuenca son las condiciones ambientales, temperatura promedio anual 16.5 °C y humedad relativa promedio anual del ambiente 63% valores apropiados y estables con los cuales los resultados de nuestros equipos de medición y prueba no se verían afectados, además de disminuir costo por climatización.

Ampliación del servicio.- Hay que mencionar también que si el servicio de calibración a nivel corporativo se lo realiza desde la ciudad de Cuenca sería más fácil y viable ampliar los servicios a entidades externas a CELEC como por ejemplo empresas públicas (distribución eléctrica) o empresas privadas lo que a futuro representaría un importante beneficio para la Corporación Eléctrica del Ecuador y el País.

2.3 Cálculo del número de personas para la ejecución del servicio de calibración.

A continuación se presenta en la Tabla N°6 el cálculo del número de personas necesarias para realizar los trabajos de calibración de los equipos de medición y prueba pertenecientes a las unidades de generación de energía eléctrica.

Tabla N°6 Número de personas necesarias para trabajos de calibración

Cálculos para la proyección		
Descripción	Cantidad	Unidad
Equipos calibrados por año en Hidropaute al 40% del tiempo utilizado por el personal técnico	120	equipos
Sueldo mensual de los técnicos	4,290	dólares
Costo total actual de los equipos calibrados	1,716	dólares
Costo mano de obra por equipo	14	dólares
Total de equipos a calibrar en todo el país	913	equipos
Cantidad a facturar por mes	76	equipos
Costo promedio de calibración por equipo	469	dólares
Facturación por mes	35,662	dólares
Determinación del número de personas		
Número actual de técnicos para calibraciones	2.0	personas
Capacidad anual al 100%	300	equipos
Cantidad de personas	3.043	personas
Equipos calibrados por persona cada día	1.250	equipos
Capacidad diaria de equipos a calibrar	3.804	equipos
Número de días laborables al mes	20	
Meses del año	12	
Sueldo del técnico	2145	

Costo total de calibración de equipos realizada externamente	237641
Cantidad de real de equipos	507
100% del tiempo utilizado para calibración	100
40% del tiempo utilizado para calibración	40

Costo servicio de calibración externa	
Costo de calibración externa de 507 equipos	237641
Costo de calibración externa de 913 equipos	427941

2.4 Determinación de recursos necesarios para la implementación del laboratorio de Metrología. La inversión inicial necesaria para el funcionamiento del laboratorio de Metrología es de 285650 dólares, los rubros que suman este valor se detallan a continuación en la Tabla N°7:

Tabla N°7 Inversión inicial del laboratorio de Metrología

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Costo obra civil laboratorio de Metrología	1	70000	70000
Mobiliario para laboratorio	1	1744	1744
Equipos Patrón para calibraciones			
Sensor de temperatura tipo PRT	2	5960	11920
Calibrador Multifunción	1	95050	95050
Calibrador de temperatura para infrarrojos	2	12950	25900
Calibrador tipo bloque seco	2	16500	33000
Termo higrómetro	2	6318.1	12636.2
Mesa de granito	1	5000	5000
Base para metrología dimensional	4	326.95	1307.8
Estación de trabajo	3	364	1092
Sistema de control de temperatura y humedad relativa del laboratorio	1	25000	25000
kit de herramientas	3	1000	3000
Total			285650

2.4.1 Proyección de costos por calibraciones en la actualidad comparados con los costos por calibraciones realizadas en laboratorio corporativo.

A continuación se presenta la proyección a cinco años de los costos de calibración con la no implementación de laboratorio corporativo comparado con los costos al realizar la implementación del laboratorio corporativo, detallados en la Tabla N°8:

Tabla N°8 Costos por calibraciones en la actualidad versus costos por calibraciones en laboratorio corporativo

Proyección a 5 años	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costo calibración externa (incluye costo de gestión de procesos de contratación pública)	489031	489031	489031	489031	489031
Costos calibración en laboratorio corporativo					
Honorarios técnicos	77220	84942	93436	102780	113058
Capacitación	3000	3000	3000	3000	3000
Energía eléctrica	1227	1289	1353	1422	1494
Agua	307	321	339	355	374
Teléfonos	613	645	677	711	747
Internet	921	966	1014	1066	1119
Materiales oficina	1227	1289	1353	1422	1494
Materiales varios laboratorio	2040	2448	2448	2448	2448
Movilización	2510	2762	3036	3341	3675
Sueldo secretaria	10200	11220	12342	13576	14934
Limpieza	6000	6000	6000	6000	6000
Seguro equipo edificios .005	1478	1478	1478	1478	1478
Amortización calificación ISO	8000	8000	8000	8000	8000
Depreciaciones	57130	57130	57130	57130	57130
Total gastos laboratorio corporativo	171873	181490	191606	202729	214951
Ahorro	317158	307541	297425	286302	274080
Calculo de intereses sobre el capital invertido (para comparar con el ahorro)					
Inversión	285650				
Tasa interés anual en ahorros %	6				
Rendimiento anual	17139				
Rendimiento mensual	1428				

2.5 Determinación del plan de control de los equipos de medición y prueba.

Uno de los aspectos a considerar al momento de realizar las calibraciones a los diferentes equipos de medición y prueba pertenecientes a las diferentes unidades de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador es contar con un plan de control metrológico el cual se lo describe a continuación.

2.5.1 Mensurando.- Magnitud que se desea medir (VIM, 2012)

2.5.1.1 Magnitud de medición.- En este campo se coloca el nombre específico de la magnitud sujeta a medición, tomemos como ejemplo un equipo que mide resistencia de aislamiento en el devanado de una máquina síncrona, el nombre a colocar en este campo sería "resistencia de aislamiento del devanado".

2.5.2 Equipo de medición o prueba.- Entiéndase por equipo a un dispositivo que sirve para realizar mediciones, partiendo de este concepto podemos decir que un equipo de medición es aquel que nos sirve para determinar el valor de una magnitud, la cual es sujeta a medición o al monitoreo de cierto proceso, tomemos como ejemplo un medidor de voltaje el cual nos cuantifica el valor de la magnitud voltaje, la cual se requiere medir, por otro lado los equipos de

prueba son los encargados bajo ciertos parámetros en verificar la funcionalidad o no de ciertas partes de la máquina mediante pruebas, tomemos como ejemplo un medidor de resistencia de aislamiento con el cual se realiza pruebas en los devanados eléctricos de una máquina comprobando el estado de su aislamiento (funcionalidad), para la toma de decisiones.

2.5.2.1 Equipo.- En este campo se coloca el nombre del equipo de medición o prueba sujeto a calibración, tomemos como ejemplo un equipo medidor de presión cuya función es determinar la presión manométrica en un sistema oleodinámico de un regulador de velocidad de una máquina síncrona.

2.5.2.2 Unidad de medida.- En este campo se coloca la magnitud escalar real la cual se expresa mediante nombres y símbolos asignados por convenio (VIM, 2012) , tomemos como ejemplo un equipo que mide resistencia de aislamiento en los devanados de una máquina síncrona, nuestra unidad de medida para este caso será Giga Ohmios (GΩ).

2.5.2.3 Error máximo permisible

En este campo se coloca el valor máximo de error permitido que el equipo o sistema de medición puede permitir para no alterar el resultado de la medición, por lo general este valor está definido en el catálogo de los equipos, tomemos como ejemplo un equipo que mide temperatura en la cuba de un cojinete de una máquina síncrona cuyo error máximo permitido es $\pm 2\%$ del fondo de escala según catálogo del equipo o de una norma técnica internacional.

2.5.3 Equipo patrón.- Entiéndase por equipo patrón al dispositivo de medida que posee las más altas cualidades de exactitud y precisión capaz de realizar comparaciones con otros equipos que poseen menores cualidades, tomemos como ejemplo un multímetro de alta exactitud, el cual será la referencia para la comparación.

2.5.4 Calibración.- Entiéndase por calibración a la comparación de las medidas obtenidas por un instrumento de medición con las medidas correspondientes a un equipo patrón considerando sus incertidumbres.

2.5.4.1 Puntos de calibración.- En este campo se colocan los valores en los cuales vamos a realizar las comparaciones del equipo patrón versus el equipo sujeto a calibración, los cuales están basados en el rango de trabajo del equipo de medición o prueba, tomemos como ejemplo un medidor de resistencia de aislamiento cuyos puntos de calibración son: 1 – 5 – 10 Giga Ohmios, esto quiere decir que el rango de trabajo está comprendido entre 1 y 10 Giga Ohmios, de esta forma garantizamos que los valores medidos dentro de este rango van a ser los correctos de ser el caso.

2.5.4.2 Procedimientos de calibración.- En este campo se coloca el código o nombre del procedimiento de calibración a utilizar para realizar la calibración del equipo de medición o prueba correspondiente.

2.5.4.3 Registros.- En este campo se coloca el código o nombre del formato de calibración a utilizar para realizar la calibración del equipo de medición o prueba correspondiente.

2.5.4.4 Intervalos de calibración.- En este campo se coloca el intervalo de tiempo entre calibraciones de los equipos de medición y prueba.

2.5.4.5 Criterio de aceptación.- En este campo se determina si el equipo de medición o prueba está o no apto para su uso, asegurando de esta manera la toma de decisiones correcta en los diferentes procesos de operación de las unidades de generación de energía eléctrica de la corporación. Los parámetros para el criterio de aceptación son los siguientes:

Media de la muestra.- Definida como la sumatoria de todos los valores de la muestra, dividida entre el tamaño de la muestra (Lind, 2008).

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

Dónde:

\bar{X} = Media de la muestra

X= Valores de la muestra

n= Tamaño de la muestra

Desviación estándar.- Utilizada como medida para comparar la dispersión de dos o más conjuntos de observaciones (Lind, 2008).

Desviación estándar de la población.- Resulta de la raíz cuadrada de la varianza de la población (Lind, 2008).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - u)^2}{N}}$$

Dónde:

σ = Desviación estándar de la población

X= Valor de una observación de la población

μ = Media aritmética de la población

N= Numero de observaciones de la población

Desviación estándar de la muestra.- Resulta de la raíz cuadrada de la varianza de la muestra; se la utilizada como estimador de la desviación estándar de la población (Lind, 2008).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Dónde:

S = Desviación estándar de la muestra

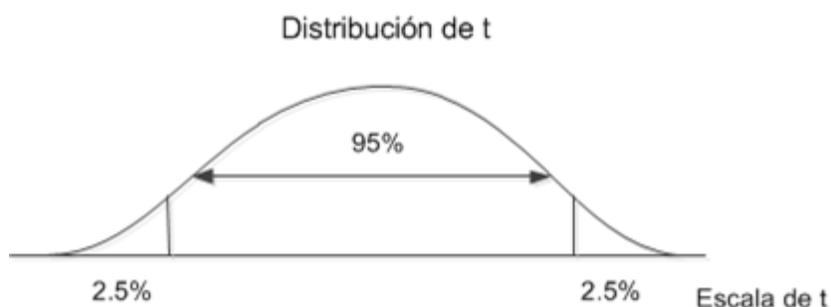
n = número de observaciones en la muestra.

X_i = Valor de cada observación de la muestra

\bar{X} = Media de la muestra

Intervalo de confianza.- Conjunto de valores del que se espera se estime el parámetro poblacional (Lind, 2008). Por lo general se define en un 95% el nivel de confianza.

Distribución t de Student.- Es una distribución continua, tiene forma de campana y es simétrica (Lind, 2008).



$$\bar{X} - t \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + t \frac{S}{\sqrt{n}}$$

límite inferior (LI)

límite superior (LS)

Dónde:

\bar{X} = Media de la muestra

t = Distribución t, valor dado por tablas de acuerdo al nivel de confianza y los grados de libertad (gl)

gl = Grados de libertad (n-1)

S = Desviación estándar de la muestra

n = Número de observaciones en la muestra

Incertidumbre de medida tipo A.- Estimada por métodos estadísticos, es decir cuándo existen varias mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones típicas (VIM, 2012).

$$U_A = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Dónde:

U_A = Incertidumbre tipo A

S = Desviación estándar de la muestra

n = número de observaciones en la muestra.

X_i = Valor de cada observación de la muestra

\bar{X} = Media de la muestra

Incertidumbre de medida tipo B.- Es la que no se obtiene a partir de observaciones repetidas o de otras fuentes tales como los certificados de calibración de los equipos patrón (VIM, 2012) .

$$U_p = \frac{\text{Incertidumbre del certificado}}{K}$$

Dónde:

U_p = Incertidumbre del patrón

K = Factor de cobertura

Incertidumbre combinada.- Sirve para asociar la incertidumbre tipo A y la tipo B, consiguiendo la acumulación de las distintas fuentes de incertidumbre.

$$U_c = \sqrt{U_A^2 + U_p^2}$$

Dónde:

U_c = Incertidumbre combinada

U_A = Incertidumbre tipo A

U_p = Incertidumbre del patrón

Incertidumbre Expandida.- Es el intervalo dentro del cual se espera que se encuentre los valores atribuidos al mensurando con una probabilidad dada y es utilizada para nuestro criterio de aceptación de los equipos de medición y prueba.

$$U = U_c * t_p(v)$$

Dónde:

U= Incertidumbre expandida

Uc= Incertidumbre combinada

tp= Límites del intervalo correspondiente al nivel de confianza p de la distribución y su valor es siempre igual o mayor que el factor K (tomado de la distribución normal), sus valores se encuentran en tablas (Lazos, 2000)

Límites de incertidumbres y rangos tolerables de las mediciones.- Para establecer los límites de las incertidumbres y posteriormente definir el criterio de aceptación, se debe tener en cuenta lo siguiente:

$$Us = \bar{x} + U$$

$$Ui = \bar{x} - U$$

Dónde:

\bar{x} = Media de la muestra

U= Incertidumbre expandida

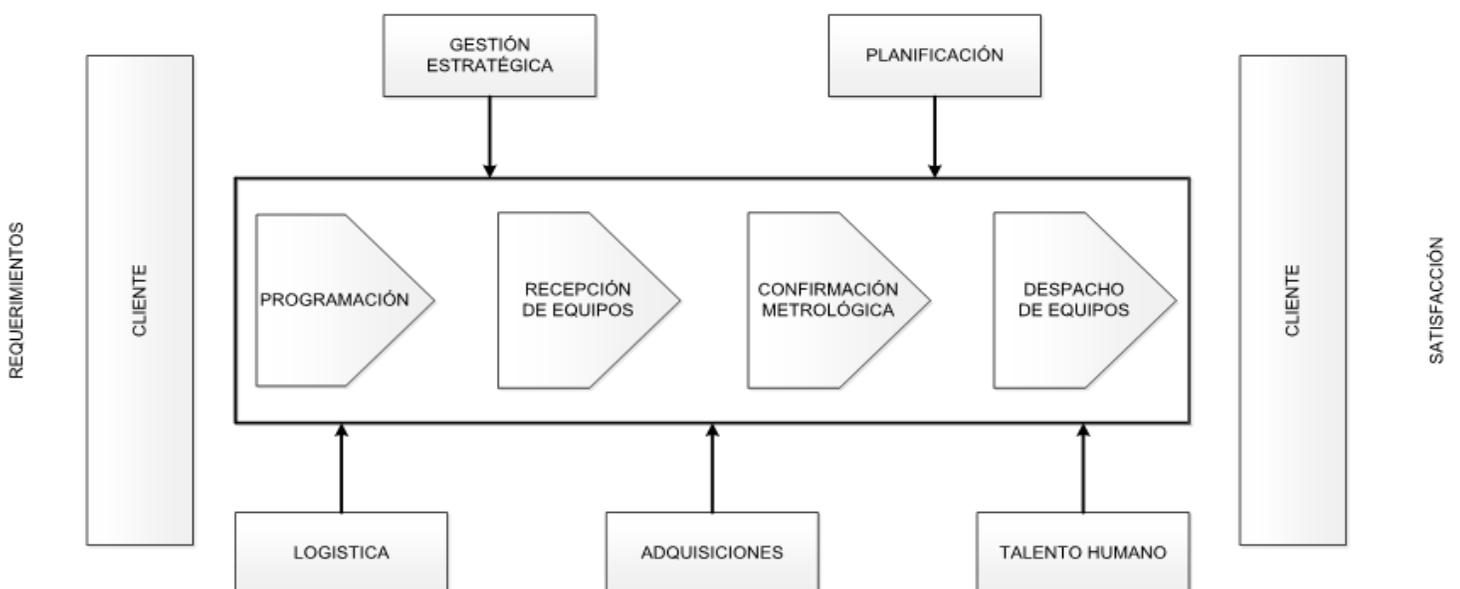
Con todos los parámetros considerados anteriormente definimos que nuestro criterio de aceptación para los equipos de medición y prueba es el siguiente:

$$Us \leq LS$$

$$Ui \geq LI$$

Esto quiere decir que después de las actividades de cada calibración si la condición actual se cumple, el equipo de medición o prueba estaría apto para su uso, dicho equipo se lo debe identificar con el estado de aprobado, caso contrario significa que el equipo no cumple las condiciones de exactitud y precisión por lo tanto debe ser ajustado (corregido los errores de ser posible), de no ser posible el equipo se lo etiqueta como rechazado y no puede ser utilizado para su uso previsto.

2.5.5 Mapa de procesos del laboratorio de calibración corporativo.



2.5.5.1 Gestión estratégica.- Este proceso se encarga de direccionar, planear, comunicar, implementar, revisar y dar seguimiento a todas las actividades necesarias para poder alcanzar los objetivos estratégicos del laboratorio de metrología.

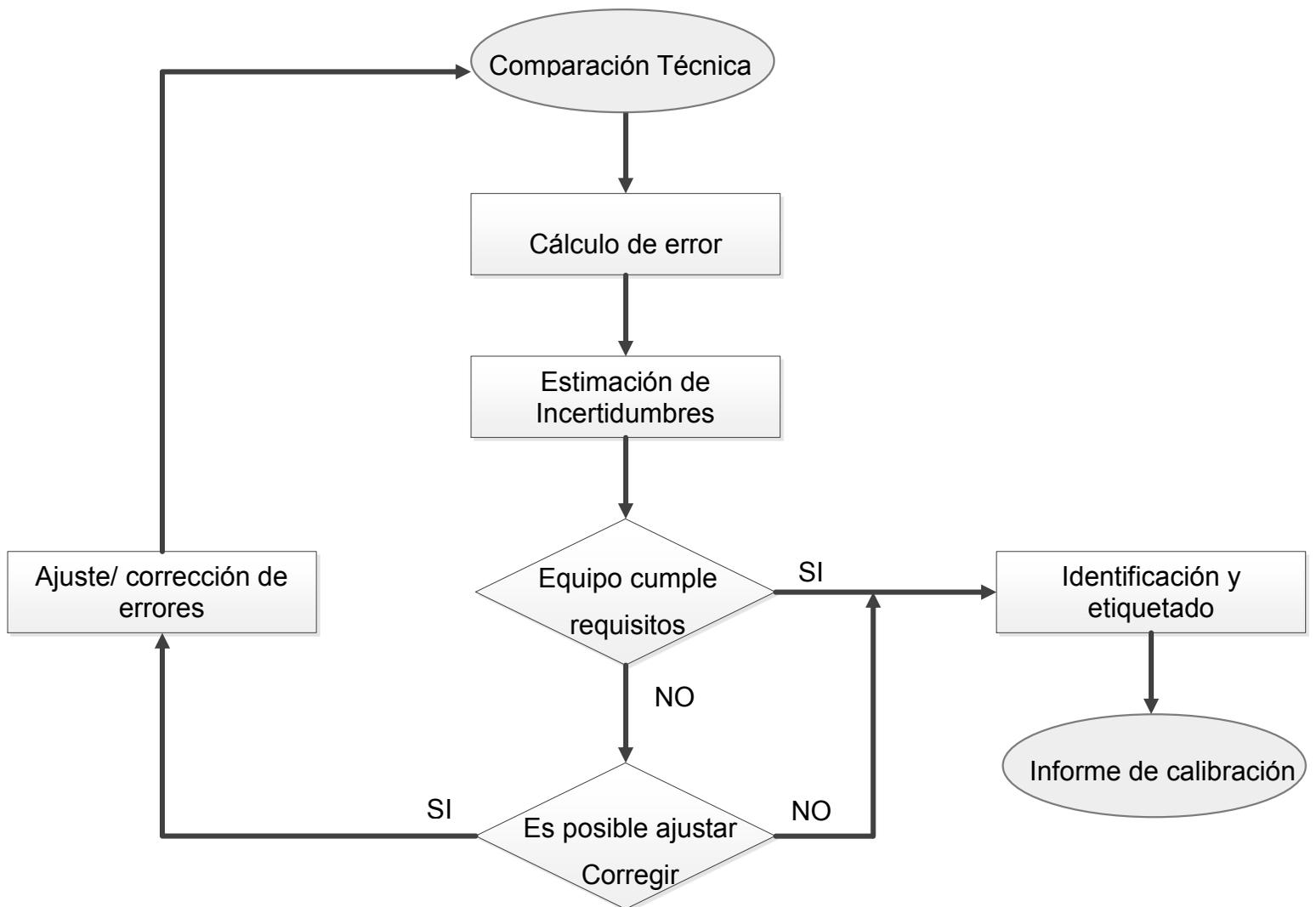
2.5.5.2 Planificación.- Este proceso se encarga de planificar las actividades, los recursos, el personal, las metodologías necesarias para el funcionamiento del laboratorio y el desarrollo del plan de control de los equipos de medición y prueba de las unidades de generación de energía eléctrica pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador.

2.5.5.3 Programación.- Este proceso se encarga de elaborar el cronograma para la ejecución de los trabajos de confirmación metrológica de los equipos de medición y prueba.

2.5.5.4 Recepción de equipos.- Este proceso se encarga de recibir y registrar el estado y las condiciones iniciales en las que los usuarios entregan los equipos para realizar su confirmación metrológica, dichos equipos son almacenados temporalmente antes de proceder a realizar su trabajo.

2.5.5.5 Confirmación metrológica.- Este proceso se describe en el siguiente diagrama de flujo:

Confirmación metrológica



2.5.5.6 Despacho de equipos.- Este proceso se encarga de preparar y enviar el equipo al usuario incluida la documentación respectiva.

2.5.5.7 Logística.- Este proceso se encarga mediante vía telefónica o por correo electrónico la recepción y el despacho de los equipos de medición y prueba que serán confirmados metrológicamente.

2.5.5.8 Adquisiciones.- Este proceso se encarga de la adquisición de bienes y servicios tales como: equipos patrón, calibración de equipos patrón, compra de materiales, dicha adquisición sigue el siguiente orden:

- Elaboración de solicitud de inicio del proceso
- Aprobación de inicio del proceso
- Elaboración de pliegos
- Autorización de inicio del proceso
- Publicación del proceso de contratación
- Etapa de preguntas y respuestas
- Recepción y apertura de ofertas
- Convalidación de errores y calificación de ofertas
- Adjudicación o declaratoria de proceso desierto
- Elaboración del contrato
- Ejecución del contrato
- Cierre del proceso

2.5.5.9 Talento humano.- Este proceso se encarga de la selección e inducción del personal, el cual se lo realiza con el siguiente orden:

- Requerimiento de personal
- Reclutamiento de candidatos
- Preselección de candidatos
- Entrevistas y evaluaciones
- Selección de la persona a contratar
- Contratación
- Inducción

También este proceso se encarga de la evaluación de competencias y capacitación del personal, el cual se lo realiza con el siguiente orden:

- Evaluación de desempeño
- Detección de necesidades de capacitación
- Elaboración, revisión y aprobación del plan de capacitación anual
- Ejecución del plan de capacitación
- Evaluación de la capacitación recibida
- Monitoreo y control del plan de capacitación

2.5.6 Proceso de tratamiento de no conformidades.

El proceso de tratamiento de cierre de no conformidades nos sirve para llevar de una manera sistemática y ordenada el cierre de las mismas, tomando acciones oportunas para que nuestro proceso no se vea afectado.

2.5.6.1 Análisis de las no conformidades.

Existen no conformidades de carácter técnico y las relacionadas al sistema de gestión del laboratorio de calibración.

Las no conformidades de carácter técnico afectan de manera directa en el resultado de las calibraciones, generalmente se dan por mala interpretación de los procedimientos de calibración, selección no adecuada de los patrones de calibración, desconocimiento del funcionamiento del equipo a calibrar, condiciones ambientales del laboratorio de calibración no adecuadas y por cualquier incumplimiento de los requisitos técnicos de la norma ISO/IEC, 17025:2005.

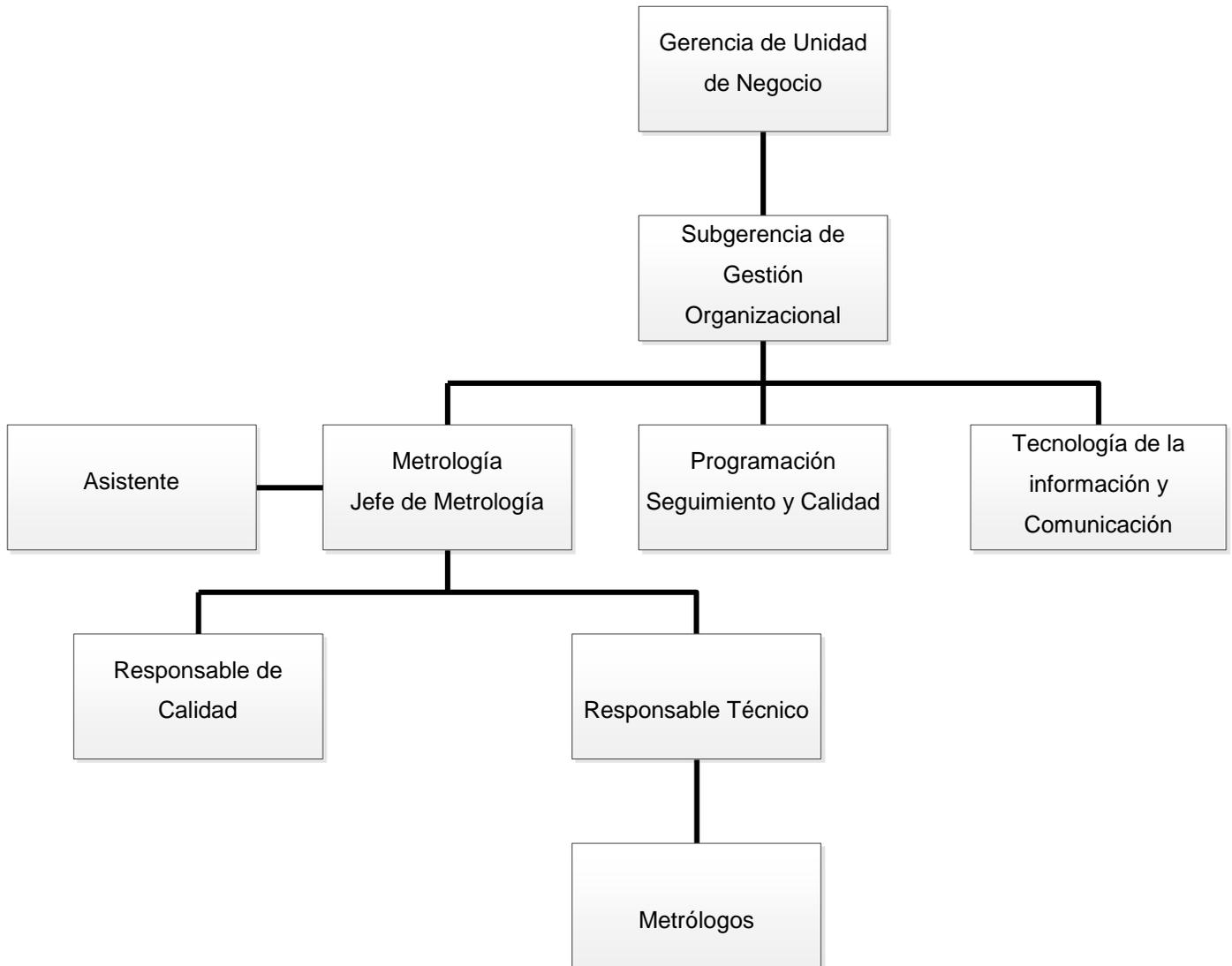
Las no conformidades relacionadas al sistema de gestión se dan por el incumplimiento de los requisitos de gestión de la norma ISO/IEC, 17025:2005.

2.6 Función metrológica recomendada para la Corporación eléctrica del Ecuador.

Para que las actividades se desarrollen de una forma coherente y coordinada el área de talento humano debe describir en forma clara y precisa las funciones y responsabilidades de todos los miembros del área de Metrología y definir un cronograma periódico de auditorías con el fin de evaluar la función metrológica. A continuación se presenta un

organigrama recomendado para una mejor gestión de la función metroológica dentro de la Corporación eléctrica del Ecuador.

Organigrama del área de Metrología



El organigrama propuesto está basado en el estado del arte de una estructura organizacional que incluya un laboratorio de Metrología interno, cuya razón de ser sea diferente al giro de negocio de la empresa, y que sea basada en la norma ISO/IEC 17025:2005 (última versión), por ello se ha tomado como referencia el artículo emitido por METAS (Centro de Metrología, Grupo de Laboratorios de Metrología y Centro de Consultoría y Gestión Metroológica de México) en el cuál recomienda la independencia entre el área de producción y el área de metrología (Metas, 2005).

2.6.1 Políticas internas y externas del laboratorio de calibración.

A continuación enumeramos las políticas tanto internas como externas que se deben cumplir dentro del laboratorio de calibración corporativo, así como a nivel de toda la Corporación Eléctrica del Ecuador para alcanzar los objetivos estratégicos y estar alineados a la misión y visión de la misma.

- Los requerimientos de calibración de los equipos de medición y prueba de todas las unidades de generación de energía eléctrica pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador, que necesiten calibración externa serán dirigidos al laboratorio de Metrología corporativo.
- El personal responsable de las diferentes áreas de las unidades de generación de energía eléctrica pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador debe

- notificar el ingreso de nuevos equipos de medición y prueba al personal del laboratorio de calibración corporativo.
- El personal responsable de las diferentes áreas de las unidades de generación de energía eléctrica pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador debe notificar al personal del laboratorio de calibración corporativo cuando un equipo de medición o prueba se encuentre fuera de uso, obsoleto o requiera confirmación metrológica adicional a la que consta en el programa de calibraciones.
- El personal del laboratorio de calibraciones corporativo debe estar presente en los procesos de calibración externa de los equipos patrón.

2.6.2 Funciones principales del personal.

La norma ISO/IEC 17025:2005 cuyos requisitos técnicos y de gestión indica que el laboratorio debe contar con personal directivo y técnico, el Responsable del área estaría destinado al cumplimiento de las actividades directivas del laboratorio, sobre él recaerá las responsabilidades operacionales y de resultados del laboratorio.

De la misma forma la norma ISO/IEC 17025:2005 indica que se debe contar con una dirección técnica que tiene las responsabilidades de las operaciones técnicas del laboratorio.

Las responsabilidades del sistema de gestión de calidad del laboratorio, así como del control de calidad de las actividades de calibración recaen sobre el responsable de calidad del laboratorio, como indica la norma ISO/IEC 17025:2005.

A continuación se detalla la estructura del área de Metrología, el perfil y las funciones de cada uno de sus integrantes:

El perfil del jefe de Metrología debe ser el siguiente:

- Ingeniero eléctrico, electrónico o industrial
- Cinco años de experiencia en cargos similares
- Conocimientos de metrología avanzada
- Conocimientos de la norma ISO/IEC 17025

Las funciones del jefe de Metrología se describen a continuación:

- Aprobación de la documentación técnica y de gestión del laboratorio
- Aprobación de los certificados de calibración
- Definición de las políticas y objetivos de calidad del laboratorio
- Coordinación y participación en revisiones por la dirección
- Gestión de los recursos del laboratorio.
- Coordinación de capacitaciones al personal del laboratorio
- Responsable de las operaciones del laboratorio
- Controla el cumplimiento de todos los requisitos de la norma ISO/IEC 17025 (técnicos y de gestión)

El perfil del asistente debe ser el siguiente:

- Bachiller en ciencias administrativas
- Dos años de experiencia en cargos similares
- Conocimientos de herramientas informáticas/utilitarias

Las funciones del asistente se describen a continuación:

- Coordinación con clientes de recepción y envíos de equipos
- Control del archivo técnico y de gestión del laboratorio
- Coordinación con el organismo acreditador
- Coordinación inter-comparaciones
- Logística de calibración de Patrones del laboratorio
- Coordinación de adquisición de insumos del laboratorio

- Actividades varias de oficina

El perfil del responsable técnico debe ser el siguiente:

- Ingeniero eléctrico, electrónico o industrial
- Cinco años de experiencia en cargos similares
- Conocimientos de metrología avanzada
- Conocimientos de los requisitos técnicos de la norma ISO/IEC 17025
- Experiencia en calibración de equipos de medición y prueba

Las funciones del responsable técnico se describen a continuación:

- Elaboración, implementación y actualización de los requisitos técnicos de la norma ISO 17025
- Elaboración, implementación y actualización de los requisitos técnicos de la norma ISO 17025
- Responsable de la validez de los resultados de calibración y registros del laboratorio
- Velar por las operaciones técnicas del laboratorio
- Coordinar y participar en los procesos de validación de los métodos de calibración
- Supervisar las actividades de calibración
- Elaborar y Revisar los métodos y procedimiento técnicos del laboratorio

El perfil del responsable de calidad debe ser el siguiente:

- Ingeniero eléctrico, electrónico o industrial
- Cinco años de experiencia en cargos similares
- Conocimientos de metrología avanzada
- Conocimientos de los requisitos de gestión de la norma ISO/IEC 17025
- Experiencia en control de calidad de las actividades de calibración

Las funciones del responsable de calidad se describen a continuación:

- Elaboración, implementación y actualización de los requisitos de gestión de la norma ISO 17025
- Mantenimiento del sistema de calidad del laboratorio
- Auditorías internas del SCG y Planes de acción
- Control de Calidad de las actividades de calibración (Inter-comparaciones)
- Aseguramiento de la calidad de los resultados de las inter-comparaciones
- Seguimiento de indicadores de calidad

El perfil del Metrólogo debe ser el siguiente:

- Ingeniero eléctrico, electrónico o industrial
- Tres años de experiencia en cargos similares
- Experiencia en cálculo de incertidumbres
- Conocimientos de estadística
- Experiencia en calibración de equipos de medición y prueba

Las funciones del Metrólogo se describen a continuación:

- Calibración y ajuste de los equipos de medición y prueba
- Cálculo de errores e incertidumbres de las calibraciones
- Registro de resultados
- Elaboración de Certificados de calibración
- Participación de la elaboración de métodos de calibración
- Participar en la validación de métodos de calibración

2.6.3 Ejecución de la confirmación metrológica.- La confirmación metrológica consiste en realizar la calibración del equipo de medición o prueba (comparación con el patrón), luego se realiza la verificación de los resultados de la calibración con las especificaciones

(incertidumbres y errores máximos permisibles), en caso de que los resultados de la calibración no sean conformes se deberá realizar el ajuste del equipo de medición o prueba de ser posible (corrección de errores), para luego proceder a la identificación del estado de la calibración (etiqueta adhesiva) y su posterior envío al cliente.

2.6.4 Intervalos de confirmación metrológica.- Los métodos utilizados para determinar o modificar los intervalos de confirmación metrológica deben estar documentados y deben revisarse cuándo se lo requiera con el fin de asegurar un correcto control de los sistemas de medición. Cuándo a un equipo de medición o prueba se lo repare, ajuste o modifique sus características de funcionamiento, se debe revisar los intervalos de confirmación metrológica.

2.6.5 Control de ajustes del equipo.- Los dispositivos de los equipos de medición y prueba que afecten su correcto funcionamiento deben sellarse para prevenir modificaciones no autorizadas, los tipos de sellos deben estar diseñados de tal manera que se detecte cuando se ha producido una alteración.

CAPÍTULO 3: DISCUSIÓN

3.1 Patrones detectados en los resultados:

- Falta de control metrológico de los equipos de medición y prueba de las centrales de generación de energía eléctrica pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador.
- Tiempos excesivos en la entrega de equipos de medición y prueba que son calibrados en laboratorios nacionales o extranjeros.
- No confiabilidad en los resultados de las calibraciones de los equipos de medición y prueba.
- Costos elevados por trabajos de calibración a los equipos de medición y prueba en laboratorios extranjeros.
- Gastos elevados en procesos de contratación de servicios de calibración de los equipos de medición y prueba.
- Incumplimiento de requisitos legales y reglamentarios.

3.2 Causas de los patrones detectados:

- Desconocimiento de los usuarios de la importancia de la calibración de los equipos de medición y prueba.
- Excesiva carga de trabajo de los laboratorios nacionales.
- Excesivos tiempos en trámites de exportación/importación temporal y desaduanización de los equipos de medición y prueba cuya calibración se la realiza en laboratorios que están fuera del país.
- Frecuente rotación del personal en laboratorios de calibración nacional.
- Excesiva carga de trabajo en laboratorios de calibración nacional.
- Aranceles, seguros y transporte cuyos valores encarecen el trabajo de calibración de los equipos de medición y prueba que son enviados a laboratorios en el extranjero.
- Excesiva demora en la ejecución del desarrollo de los procesos de contratación pública de servicios de calibración debido a la intervención de varios profesionales de diferentes áreas.
- El no cumplimiento en la mayoría de las centrales de generación de energía eléctrica de lo dispuesto en el artículo 43 de la ley del sistema ecuatoriano de calidad que dice: “Los instrumentos de medición automáticos o manuales que se empleen en los servicios de suministro de agua, gas, energía eléctrica, telefonía, transporte u otros servicios públicos, están sometidos al control metrológico del INEN u otra entidad acreditada para tal efecto” (Ley del Sistema Ecuatoriano de Calidad, 2010).

3.3 Predicciones Resultantes:

Con la creación del nuevo servicio de calibración de los equipos de medición y prueba a nivel corporativo se conseguirán los siguientes beneficios:

- Ahorro considerable de recursos económicos para la corporación.
- Ahorro de tiempo entre envío y recepción de los equipos de medición y prueba sujetos a calibración.
- Incremento de disponibilidad de los equipos de medición y prueba en las diferentes centrales de generación de energía eléctrica.
- Garantía y confiabilidad en la ejecución de los trabajos de calibración de los equipos de medición y prueba.
- Confianza de las decisiones tomadas a partir de las mediciones en los diferentes sistemas de las centrales de generación de energía eléctrica.

CONCLUSIÓN:

Con el desarrollo de este proyecto se ha podido evidenciar la importancia que tienen las mediciones en el monitoreo de los diferentes sistemas funcionales de las unidades de generación de energía eléctrica pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador, sin embargo se ha podido apreciar la falta de laboratorios de calibración en todas las unidades de negocio de la Corporación Eléctrica de Ecuador a excepción de HIDROPAUTE, por lo que se recomienda implementar laboratorios de calibración en las unidades de generación faltantes, tomando como modelo a seguir los laboratorios de las centrales hidroeléctricas Molino y Mazar pertenecientes a la Unidad de Negocio HIDROPAUTE, una vez implementados dichos laboratorios se recomienda acreditarlos bajo los lineamientos de la Norma ISO/IEC 17025:2005 para que de esta manera todas las centrales de generación de energía eléctrica pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador estén estandarizadas y manejen el mismo sistema de gestión facilitando la confirmación metrológica de los equipos de medición y prueba.

En la actualidad algunas unidades de negocio envían sus equipos de medición y prueba para ser calibrados de manera externa y otras ni siquiera los envían, lo que ocasiona un ineficiente control en las mediciones de los diferentes sistemas funcionales de las unidades de generación, podemos concluir que al contar con un Sistema de Gestión Metrológica para las centrales de generación de energía eléctrica de la Corporación Eléctrica del Ecuador esta actividad se la realizaría de manera interna obteniendo como resultado un ahorro significativo de recursos económicos a la Corporación y una disminución en los tiempos de ejecución y entrega de las actividades de calibración de los equipos de medición y prueba, mejorando la confiabilidad y disponibilidad de las unidades de generación, aumentando el nivel de confianza de las decisiones tomadas a partir de las mediciones.

Con la implementación del laboratorio corporativo de calibración de equipos de medición y prueba de las diferentes centrales de generación de energía eléctrica, se tendrá un ahorro anual promedio de 296501 dólares durante los primeros cinco años.

Con la elaboración del plan de control metrológico, se tiene los parámetros necesarios a utilizar para realizar las calibraciones de los diferentes equipos de medición y prueba.

Con la elaboración del manual de funciones, se tiene los parámetros necesarios para poder definir la función metrológica dentro de la Corporación Eléctrica de Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Ley del Sistema Ecuatoriano de Calidad. (29 de Diciembre de 2010). Ley del Sistema Ecuatoriano de Calidad. Quito, Pichincha, Ecuador.
- CELEC.EP. (s.f.). www.celec.gob.ec. Recuperado el 7 de Junio de 2015, de <https://www.celec.gob.ec>
- El Mercurio. (10 de Febrero de 2014). En 2016 operarán 8 nuevos proyectos hidroeléctricos. El
- ISO. (10012:2003). Sistema de gestión de las mediciones - Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Sistema de gestión de las mediciones - Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Suiza.
- ISO. (15 de Noviembre de 9001:2008). Sistema de Gestión de la Calidad - Requisitos. Sistema de Gestión de la Calidad - Requisitos. Guinebra, Suiza.
- ISO/IEC. (15 de Mayo de 17025:2005). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. Suiza.
- Lazos, M. (Mayo de 2000). Recuperado el 14 de Diciembre de 2015, de [depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/GUIAPARAESTIMARLAINCERTIDUMBRE\(CENAM\)_26566.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/GUIAPARAESTIMARLAINCERTIDUMBRE(CENAM)_26566.pdf)
- Lind, M (2008) Estadística aplicada a los negocios y la economía (decimotercera edición). México.
- Metas. (5 de Noviembre de 2005). La guía Metas. Recuperado el 7 de Diciembre de 2015, de www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-Metas-05-11-Estructura-Org-laboratorios-pdf
- OIMLD10. (Junio de 1998). Guía para la determinación de los intervalos de recalibración de los equipos de medición utilizados en laboratorios de ensayos. Francia.
- Pellecer, M. (2002). Metrología para no Metrólogos. Guatemala.
- VIM. (2012). Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados. España.

Anexo N°1: Levantamiento de equipos/costos de servicios de calibración

UNIDAD DE NEGOCIO		Calibrador de Procesos	Medidor de Presión	Torquímetro	Medidores de Longitud	Multímetro	Pinza Amperométrica	Termómetro Infrarrojo	Cámara Termográfica	Medidor de Resistencia de Aislamiento	Micro Ohmetro	Horno de Calibración	Osciloscopio	Medidor de Tiempos de Interruptores	Medidor de Resistencia de Devanados/Contactos	Probador de Reles	Anemómetro	Medidores de Frecuencia	Probador de Peso Muerto	Analizador de Vibraciones	Termohigrómetros	Sensores de Temperatura de Prueba
CENTRAL DE GENERACIÓN																						
ELECTROGUAYAS	Ing. Gonzalo Cevallos	3	22			2						1										
	Dr. Enrique García	4	1	9	13	4	5	3		4			1									
HIDROAGOYAN	Pucará		3	3	4					1	1	1								3		
	Agoyan	1			44	4	7	5		4	1				2					5		
	San Francisco	1	5			2	4	6	1	2			1				1			4	1	
HIDRONACIÓN	Marcel Laniado		1	1		2	1			1	1	1	1	1								
HIDROPAUTE	Molino	3	20	4	5	5	15	3	1	3		2	2	3	3					1	1	2
	Mazar	2	14	3		2	7	3	1	2	1	3	3	1						1	1	3
TERMOESMERALDAS	Térmica Esmeraldas I	2	13									3						1				
	Térmica Manta II	3	13	4	10		3					1	1									1
TERMOPICHINCHA	Guangopolo		1	2	10	2	1	1	1	2			1			1						
	Quevedo			4	1	2	1	1	1													
	Jívino		1	9	2																	
	Santa Rosa	2	1	6	20	2	2			1		3	1		1				1			
TERMOGAS MACHALA	Termogas Machala	2	7			3	2															1
TRANSELECTRIC	TRANSELECTRIC								3	10					2							2
ELECAUSTRO	Machangara			1	7	3			1	4										1		
	Totales	23	102	46	116	33	48	22	9	34	4	15	11	5	8	1	1	1	1	15	3	9
	Costo referencial calibración	19780	16320	2990	9860	5016	7296	2420	64512	7208	608	3210	3520	1060	1696	152	80	320	15030	75000	213	1350

TOTAL AHORRADO \$USD 237641

Anexo N°2: Plan de control de los equipos de medición y prueba

MENSURANDO	EQUIPO DE MEDICIÓN O PRUEBA			EQUIPO PATRÓN	CALIBRACIÓN			
Magnitud de medición	Equipo	Unidad de medida	Error máximo permisible	Nombre del patrón	Puntos de calibración	Procedimiento de calibración	Registros	Intervalo de calibración
Temperatura	Calibradores de proceso	°C	±0.5	Multicalibrador	20 - 100	MT-P01	MT-R01	Anual
Corriente		mA	± 0.01% de la lectura + % de la escala		4 - 20			
Presión	Medidores de presión	Kg/cm ²	± 0.3% de la lectura	Balanza de pesos muertos	25 - 30	MT-P02	MT-R01	Bianual
Torque	Torquímetros	Nm	± 4% de la lectura	Celda de carga/flexómetro	75 - 128	MT-P03	MT-R01	Semestral
Longitud	Medidores de longitud	mm	± 0.01	Block de caras paralelas	1 - 300	MT-P04	MT-R01	Anual
Voltaje	Multímetros	VCC	±0.03% de la lectura	Multicalibrador	1 - 125	MT-P05	MT-R01	Anual
		VAC	± 0.4% de la lectura		1 - 480			
Corriente	Pinzas amperométricas	ACC	± 2% de la lectura	Multicalibrador	1 - 900	MT-P06	MT-R01	Anual
		AAC	± 3% de la lectura		1 - 125			
Temperatura	Termómetros infrarrojos	°C	± 1	Horno de calibración	15 - 150	MT-P07	MT-R01	Anual
Temperatura	Cámaras termográficas	°C	± 2% de la lectura	Horno de calibración	15 - 1200	MT-P08	MT-R01	Anual
Resistencia de aislamiento	Medidores de resistencias de aislamiento	Gohm	± 3% de la lectura	Banco de altas resistencias	1 - 10	MT-P09	MT-R01	Anual
Bajas resistencias	Medidores de bajas resistencias	mohm	± 0.2% de la lectura	Multicalibrador	150 - 250	MT-P10	MT-R01	Anual
Temperatura	Hornos de calibración	°C	± 0.2	Multímetro de alta exactitud	15 - 150	MT-P11	MT-R01	Anual
Frecuencia	Osciloscopios	MHz	±1 % de la lectura	Multicalibrador	5 - 50	MT-P12	MT-R01	Anual
Tiempo		ms	± 0.1% de la lectura		2 - 200			
Tiempo	Medidores de tiempo de interruptores	seg	± 0.05% de la lectura	Multicalibrador Cronómetro	1 - 10	MT-P13	MT-R01	Anual
Resistencia de devanados	Medidores de resistencias de devanados	Kohm	± 0.1% de la lectura	Banco de altas resistencias	1 - 100	MT-P14	MT-R01	Anual
Corriente	Probadores de reles	A	± 1% de la lectura ± 0.02	Multicalibrador	1 - 10	MT-P15	MT-R01	Anual
Velocidad del viento	Anemómetros	m/s	± 3% de la lectura	Anemómetro patrón	0.4 - 25	MT-P16	MT-R01	Bianual
Frecuencia	Medidores de frecuencia	Hz/Mhz	± 2 ppm	Multicalibrador	1 - 10	MT-P17	MT-R01	Anual
Presión	Probadores de peso muerto	Bar	± 0.015% de la lectura	Balanza de pesos muertos patrón	1 - 600	MT-P18	MT-R01	Anual
Vibración	Analizador de vibraciones	mV/g	± 5% de la lectura	Analizador de vibraciones patrón	pico de 80g	MT-P19	MT-R01	Bianual
Temperatura	Termohigrómetros	°C	±2	Termohigrómetro patrón	18 -25	MT-P20	MT-R01	Anual
Humedad		%	± 10		30 - 80			
Temperatura	Sensores de temperatura	°C	±0.1% de la lectura	Multímetro de alta exactitud	5 - 100	MT-P21	MT-R01	Anual

Anexo N°3: Costo de un proceso de calibración

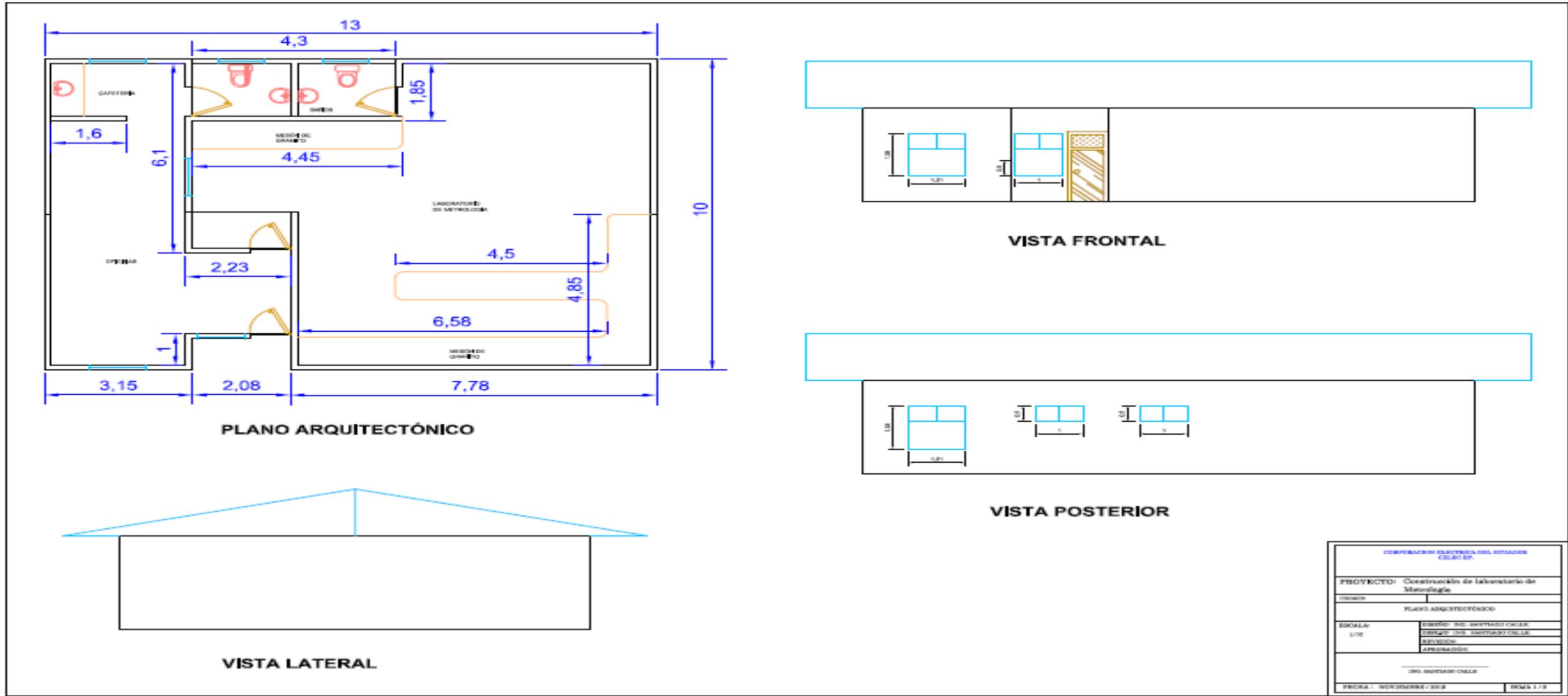
Costos de gestión de un proceso de contratación pública de servicios de calibración			
Etapa	Duración horas/hombre	Responsable	Costo
Elaboración de solicitud de inicio de proceso contratación	30	Responsable del proceso de adquisición	312.5
Emisión de certificados	2	Finanzas	20.83
Aprobación de solicitud de inicio de proceso de contratación	1	Adquisiciones	10.42
Elaboración de pliegos	8	Abogado	83.33
Autorización de inicio del proceso	1	Gerente	10.42
Publicación del procedimiento de contratación	1	Adquisiciones	10.42
Preguntas, respuestas y/o aclaraciones	4	Responsable del proceso de adquisición	41.67
Recepción y apertura de ofertas	4	Responsable del proceso de adquisición	41.67
Convalidación de errores y calificación de las ofertas	6	Responsable del proceso de adquisición	62.5
Adjudicación o declaratoria de proceso desierto	4	Gerente	41.67
Elaboración del contrato	6	Abogado	62.5
Actualización de avance en la herramienta de planificación	2	Todos	20.83
Realizar el archivo del expediente	4	Responsable del proceso de adquisición	41.67
Costo total de gestión de un proceso de contratación			760.43
Número de procesos de contratación pública de las 16 unidades de negocio que ya no se ejecutarían despues de la implementación del laboratorio de Metrología			80
Ahorro anual de gestión por la eliminación de 80 procesos de contratación para calibraciones de equipos de medición y prueba pertenecientes a las diferentes unidades de negocio de la Corporación Eléctrica del Ecuador			60834.4

Anexo N°4: Informe de calibración

METROLOGÍA												Página:											
INFORME DE CALIBRACIÓN												Código:											
Protección: Metrología												Almacenamiento: Digital				Archivo activo: 2 años				Revisión:			
																Fecha Elab:							
1. VARIABLE DEL PROCESO																							
Nombre:																							
Rango de Trabajo:				Tolerancia:				Unidad de Medida:															
2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN																							
Nombre:												Intervalo de Incertidumbre Admisible: ±											
Código:				Resolución:				Unidad de Medida:															
3. EQUIPO PATRÓN																							
Nombre:																							
Código:				Trazabilidad:				Unidad de Medida:															
4. DATOS GENERALES																							
Número de Lecturas:				Nivel de Confianza:				Factor de Cobertura:															
Temperatura:				Humedad Relativa:																			
5. DATOS DE CALIBRACIÓN																							
P1	L1	P2	L2	P3	L3	\bar{X}	Vp	U _A	e	U _p	U _c	U	LI	Ui	Us	LS							
Lectura 1 de patrón	Lectura 1 de instrumento	Lectura 2 de patrón	Lectura 2 de instrumento	Lectura 3 de patrón	Lectura 3 de instrumento	Lecturas Promedio	Patrón Promedio	Incertidumbre Tipo A	Error de medición	Incertidumbre patrón	Incertidumbre Combinada	Incertidumbre expandida	CRITERIO DE ACEPTACIÓN										
														Us ≤ LS		Ui ≥ LI							
CONDICIÓN FINAL:							INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (U):																
6. OBSERVACIONES																							
Responsable:																							
Fecha:				Válido:				Procedimiento:															

METROLOGÍA												Página:											
INFORME DE CALIBRACIÓN												Código:											
Protección: Metrología												Almacenamiento: Digital				Archivo activo: 2 años				Revisión:			
																Fecha Elab:							
GRÁFICA DE RESULTADOS OBTENIDOS																							
<p>Rojo = Patrón; Azul = Instrumento calibrado</p> <p>Punto p1 del rango de calibración Punto p2 del rango de calibración Punto p3 del rango de calibración</p>																							
<p>p1</p>					<p>p2</p>					<p>p3</p>													

Anexo N°5: Plano arquitectónico



Anexo N°6: Plano estructural

