

**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSÉ SIMEÓN CAÑAS**

**UNIVERSIDAD DON BOSCO**



**“PROPUESTA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTOS MAYORES EN EL ÁREA DE  
INSTRUMENTACIÓN PARA CENTRALES GEOTÉRMICAS”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREPARADO PARA LA FACULTAD DE  
POSTGRADOS UCA Y FACULTAD DE INGENIERÍA UDB**

**PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO  
EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**POR**

**CLAUDIO RAFAEL ARMIJO MARTINEZ**

**GERARDO RAFAEL VEGA OSORIO**

**AGOSTO 2019**

**ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, C.A.**

**RECTORES**

**ANDREU OLIVA DE LA ESPERANZA, S.J.**

**MARIO RAFAEL OLMOS ARGUETA, SDB.**

**SECRETARIAS GENERALES**

**SILVIA ELINOR AZUCENA DE FERNÁNDEZ**

**YESENIA XIOMARA MARTÍNEZ OVIEDO**

**DECANA DE POSTGRADOS UCA**

**NELLY ARELY CHÉVEZ REYNOSA**

**DECANA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CLAUDIA LUCÍA DE GUADALUPE CHACÓN PINEDA**

**DIRECTORES DE LA MAESTRÍA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
INDUSTRIAL**

**LAURA BEATRIZ ORELLANA UCA**

**JOSÉ LUIS MARTINEZ UDB**

**DIRECTOR DE TESIS**

**PEDRO ROQUE IZQUIERDO**

## CONTENIDO

Glosario	7
I. Introducción	9
II Objetivos	10
2.1 Objetivo General	10
2.2 Objetivos Específicos	10
III. Alcances	11
IV. Resultados esperados	11
V. Descripción de la institución	12
5.1 Antecedentes generales de la empresa.	12
5.1.1 Centrales Geotérmicas.	12
5.2 Visión, Misión Y Valores Empresariales	13
5.2.1 Visión	13
5.2.2 Misión	14
5.2.3 Valores	14
5.3 Mercado Eléctrico Nacional.	15
5.4 Antecedentes de Mantenimientos.	16
VI. Marco de Referencia.	17
6.1 Calibración.	17
6.1.1 Importancia de la calibración para equipos de medición	17
6.2 Auditorias	18
6.2.1 Importancia de auditorías internas	19
6.3 Metodología de la Investigación	21
6.2.1 FASE 1: Identificación de procesos optimizables	21
6.2.2 FASE 2: Recopilación de información y documentación parar realizar los procesos	23
6.2.2 FASE 3: Presentación de procesos optimizados para su implementación y creación de puntos a tratar.	23
6.3 Cuadro General De Debilidades Encontradas	24
VII. Desarrollo y Resultados.	26
7.1 Creación del Perfil de Personal Eventual para el Área de Instrumentación.	26
7.2 Propuesta de capacitaciones a personal eventual en el área de Instrumentación.	30
7.3 Propuesta de prueba académica	32

7.4 Propuesta para realización de examen _____	34
7.5 Propuesta Método de Calibración. _____	36
7.5.1 Calibración de 5 puntos _____	36
7.6 Propuesta de Formato de Calibración _____	36
7.7 Creación de Procedimientos. _____	42
7.7.1 Procedimiento para desmontaje instrumentos. _____	42
7.7.2 Procedimiento para montaje de instrumentos. _____	44
7.7.3 Procedimiento para calibrar transmisores de presión manométrica. _____	47
7.7.4 Procedimiento para calibrar transmisores de temperatura. _____	49
7.8 Implementación plan de propuesta _____	52
7.9 Propuesta de auditorías internas _____	54
7.10 Propuesta de turnos rotativos _____	56
7.11 Propuesta para la utilización de un software para registro de calibraciones _____	56
7.11.1 Características Fluke calibration _____	57
VIII. Conclusiones _____	64
IX. Bibliografía _____	65

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Equipo utilizado para la calibración de instrumentos</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2. Diagrama de auditora</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3. Diagrama de proceso de la metodología de la investigación</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4. Diagrama Circuito cerrado “desarrollo de examen”</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5. Formato de hoja de calibración</i>	<i>37</i>
<i>Figura 6. Gráfica de error encontrado</i>	<i>39</i>
<i>Figura 7. Formato de prueba final o valor dejado</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8. Gráfico de error de valor dejado, condiciones ambientales y equipos patrones</i>	<i>41</i>
<i>Figura 9. Herramientas y EPP utilizados en este procedimiento.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 10. Procedimientos para desmontaje de instrumentos</i>	<i>44</i>
<i>Figura 11. Tipos de anclaje de instrumentos</i>	<i>46</i>
<i>Figura 12. Medición de voltaje</i>	<i>46</i>
<i>Figura 13. Calibración de instrumento</i>	<i>49</i>
<i>Figura 14. Conexión para RTD o TC</i>	<i>52</i>
<i>Figura 15. Imágenes de software Fluke</i>	<i>63</i>

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Debilidades y posibles soluciones</i>	25
<i>Tabla 2. Agenda capacitación día 1</i>	31
<i>Tabla 3. Agenda capacitación 2</i>	32
<i>Tabla 4. Agenda capacitación día 3</i>	32
<i>Tabla 5. Diagrama Gantt implementación plan de propuesta</i>	53
<i>Tabla 6. Cuadro de propuesta de turnos</i>	56

## Glosario

**Ajuste:** es aquella acción que permite mejorar las condiciones de un instrumento de medición

**Equipo patrón:** Material o sustancia en la cual uno o más valores de sus propiedades son suficientemente homogéneos y están bien definidos para permitir utilizarlos para la calibración de un instrumento, la evaluación de un método de medición, o la asignación de valores a los materiales.

**Exactitud:** Es la capacidad de un equipo de medida de dar indicaciones que se aproximen al verdadero valor de la magnitud medida. Para expresar esto, se indica el intervalo dentro del cual puede recaer el valor real del mensurando. Se debe evitar traducirlo como “precisión”, ya que el término precisión en inglés denota otro significado, como se verá a continuación. La exactitud es un parámetro determinante para la elección de un equipo u otro.

**Linealidad:** Generalmente se desea que la lectura de los equipos de medida sea linealmente proporcional a la cantidad medida. Esto significa que debe ser posible trazar una línea recta que haga corresponder cada valor de la cantidad medida con la lectura de salida. La no linealidad del equipo queda definida como la máxima desviación (o residuo) de las lecturas respecto a dicha recta.

**Protocolo HART:** es un protocolo abierto de uso común en los sistemas de control, que se emplea para la configuración remota y supervisión de datos con instrumentos de campo.

**Rango:** El rango define los valores mínimos o límite inferior (lower range limit) y máximo o límite superior (upper range limit) de lectura para los cuales el equipo ha sido diseñado.

**Span (Alcance):** es la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de la variable de entrada del instrumento de medida. Hay que destacar que muchos equipos presentan un

alcance que puede ser ajustado según los requisitos de la señal (calibrated span). En este caso el alcance puede no coincidir con los valores que definen su rango.

**Tolerancia:** La tolerancia es un término íntimamente relacionado con la exactitud y define el máximo error esperado en cierto valor. Estrictamente hablando, no es una característica estática del instrumento de medida. La tolerancia, cuando se emplea de forma apropiada, hace en realidad referencia a la desviación de un producto fabricado respecto a un valor especificado.

**Overhaul:** palabra en idioma inglés que se refiere a un periodo largo de mantenimiento con cambios importantes durante su ejecución.

## I. Introducción

Para las pequeñas, medianas y grandes empresas, en cualquier parte del mundo y en cualquier área de desempeño, el uso e incorporación de mejoras en sus organizaciones trae beneficios para su competitividad en el mercado, derivados entre otros, de la obtención de mejoras significativas, mejora en el control de la producción, en la calidad del producto, en la reducción de costos de manufactura y en la disminución de tiempos de fabricación.

Las empresas que buscan ser más competitivas son aquellas que sobresalen en la innovación, en las mejoras de su producción y también en realizar un mantenimiento óptimo y apropiado a su rama.

Por esto existe el área de mantenimiento, que es la encargada de brindar un servicio especializado a las áreas que lo necesitan dentro de la empresa, realizando mantenimientos correctivos, programados, predictivos, preventivos y mantenimiento mayor o también llamado overhaul. Es muy importante la realización de planes de actividades y contar con el grupo de personas adecuadas para su realización.

En este documento se presentan puntos para la mejora de mantenimientos mayores en el área de instrumentación.

## II Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Dentro del proceso de mantenimiento anual u Overhaul y como parte de las actividades de mantenimiento preventivo, la calibración de los equipos es una parte importante que debe generar un ahorro y confiabilidad. El objetivo de este proyecto es mejorar la gestión interna del mantenimiento dentro del departamento de instrumentación para impactar positivamente en los tiempos de mantenimientos de la Central Geotérmica de Berlín.

### 2.2 Objetivos Específicos

Conocer y aprender a ejecutar los diferentes procesos de actividades a realizar dentro de un mantenimiento mayor en el área de instrumentación así mismo reducir el tiempo de entrega de dicho mantenimiento mayor.

Para ellos se especifican los siguientes objetivos

Objetivo	justificación	KPI
<b>Mejorar el procedimiento de contratación de empleados para instrumentación.</b>	El recurso humano y su especialización impacta positivamente en el desempeño del trabajo	Evaluación del personal temporal para el área de instrumentación.
<b>Reducir el tiempo de calibración para transmisores con protocolo HART y salida análoga de 4 mA a 20 mA.</b>	La reducción del tiempo en la realización del proceso ahorrar tiempo en la parada total de los equipos.	Tiempo de calibración
<b>Implementación de procedimientos estandarizados y aprobados por la gerencia para el montaje, desmontaje, calibración, conexión y desconexión eléctrica de equipos de medición.</b>	Tener procedimientos estandarizados escritos y al alcance de todo el personal facilita obtener mejores resultados en actividades operativas en este caso relacionadas con la calibración.	Auditorias de implementación de los procedimientos.

### III. Alcances

El alcance de este proyecto está relacionado con las actividades que se realizan en el laboratorio de instrumentación en la Central Geotérmica de Berlín de LaGeo, relacionadas con los equipos transmisores de presión y temperatura que son usados para monitoreo, control y supervisión del proceso de generación de energía eléctrica. El proyecto está enfocado a las actividades de mantenimiento anual u Overhaul.

Este proyecto es una propuesta de mejora para la gestión y organización de esta área y para reducir notablemente los tiempos de calibración así mismo las actividades relacionadas al mantenimiento.

En esta tesis no se pueden dar resultados fehacientes de la implementación del proyecto puesto que no ha sido llevado a cabo, sin embargo, en las conclusiones se detallan cuáles son las mejoras que se pretenden conseguir y cuáles son las recomendaciones para llevarlo a cabo con éxito.

Quedará fuera de este proyecto el estudio económico, puesto que por parte de la empresa no se cuenta con la información financiera de los costos de producción que se pueden asociar a las pérdidas por paradas. También es pertinente observar que el proyecto está enfocado a una mejora de gestión que, aunque si tendrá un costo en el tiempo invertido para el personal no incluye la contratación de más personal.

### IV. Resultados esperados

1. Mejorar en el tiempo de entrega del plan de mantenimiento mayor, es decir, disminuir el tiempo de ejecución.
2. Mejorar el desempeño del recurso humano en el área de instrumentación tanto para el eventual como para el permanente.
3. Asegurar que la medición del transmisor bajo operación que sea confiable y consecuente se entrega hoja de calibración.

Los resultados anteriores podrán ser medidos con la implementación de indicadores de desempeño también conocidos como KPI (Key Performance Indicator).

Los KPI's a utilizar para medir el desempeño luego de la implementación de las propuestas son los siguientes:

1. Tiempo de entrega de los equipos durante el Overhaul
2. Medir el nivel académico por medio de la prueba a realizar, una nota de 7.0 como aprobado.
3. Medir las evaluaciones de las auditorias propuestas con un grado de aceptable o no aceptable.

## V. Descripción de la institución

### 5.1 Antecedentes generales de la empresa.

LaGeo Sociedad Anónima de Capital Variable (S.A de C.V) es una empresa de Grupo CEL, dedicada a la producción de energía eléctrica utilizando los recursos geotérmicos del país. Actualmente cuenta con dos campos geotérmicos en explotación ubicados al occidente del país en el departamento de Ahuachapán, y al oriente en el departamento de Usulután. Además existen dos campos geotérmicos en exploración y en vistas a ser explotados a mediano plazo en San Vicente y San Miguel.

Hoy en día se cuenta con una capacidad instalada total de 204MW y una producción neta equivalente al 23% de la energía eléctrica que se produce en El Salvador.

#### 5.1.1 Centrales Geotérmicas.

##### 5.1.1.1 Central Geotérmica Ahuachapán.

Se encuentra ubicada a 103 km al occidente de la ciudad capital, en el sector norte de la cordillera de Apaneca conocido como Cantón Santa Rosa Acacalco, municipio y departamento de Ahuachapán. Inició su construcción en 1972 y su operación en Septiembre de 1975 con una unidad de 30 MW que opera con una presión de vapor de 5.6 BAR. En 1976 entró en operación la unidad 2 con idénticas características y en 1980 se

adiciona la tercera unidad de 35 MW que se diferencia de las dos primeras porque además de utilizar vapor de media presión a 5.6 BAR, utiliza vapor de baja presión a 1.6 BAR producido en los flashers (vaporizadores) con agua separada de los pozos productores. El área del campo de explotación geotérmico en la que se encuentran los pozos productores es de aproximadamente 2.5 km<sup>2</sup>, la profundidad de los pozos varía entre 600 m a 2750 m y en la actualidad cuenta con alrededor de 56 perforados entre productores, reinyectores, de monitoreo y exploratorios.

#### *5.1.1.2 Central Geotérmica Berlín.*

Se encuentra ubicada a 106 km al oriente de la ciudad capital, en el sector norte del complejo volcánico de Tecapa, en Cantón El Zapotillo del municipio de Alegría en el departamento de Usulután. Inició su operación comercial en 1992 con dos unidades a contrapresión (bocapozo) de 5 MW cada una. En 1999 entraron en operación dos unidades a condensación de 28 MW cada una; Fue hasta Febrero de 2007 que fueron adicionados 40 MW con la tercera unidad a condensación y en Diciembre del mismo año se adicionaron 9.2 MW con la unidad de Ciclo Binario, que utiliza el agua de reinyección para evaporar Isopentano, el cual funciona como fluido de trabajo. El área del campo geotérmico es de una extensión de aproximadamente 8 km<sup>2</sup>, la profundidad de los pozos varía entre 500 m y 3450 m. En la actualidad cuenta con 37 pozos perforados entre productores, reinyectores y de monitoreo.

## 5.2 Visión, Misión Y Valores Empresariales

### 5.2.1 Visión

Ser una empresa próspera de aprovechamiento de recursos energéticos, donde impere el trato justo y equitativo entre los integrantes; donde los trabajadores conozcan y aprecien las ciencias y las artes, y dominen la tecnología; donde las instalaciones, el agua y el aire se mantengan limpios, donde se refleje la integridad y el esfuerzo por servir a los demás.

## 5.2.2 Misión

Promover el desarrollo sostenible a través del aprovechamiento y comercialización de recursos energéticos con investigación y aplicación de tecnologías adecuadas a nuestro entorno y en armonía con el medio ambiente.

Mejorar de forma integral la calidad de vida de nuestros accionistas, clientes, trabajadores y comunidades vecinas.

## 5.2.3 Valores

### 5.2.3.1 Prosperidad

Para poder repartir bienestar, tenemos que prosperar como empresa. No se puede dar lo que no se tiene. Entendemos que prosperidad significa solidez económica y crecimiento empresarial e individual, a lo que se llega con esfuerzo honesto e inteligencia.

### 5.2.3.2 Cultura

Nuestra labor involucra intensivamente la ciencia y la tecnología, las que debemos aprender y atesorar. Hacer posible el funcionamiento de nuestra empresa. El arte también debe conocerse y apreciarse para fomentar la creatividad y tener un desarrollo integral como individuos.

### 5.2.3.3 Respeto al medio ambiente

El cuidado y la preservación de la naturaleza, la limpieza de nuestras instalaciones, del aire y del agua, deben ser prioritarios para la sostenibilidad de nuestra empresa. Cada trabajador y proveedor debe tener conciencia de lo que es cuidar el medio ambiente.

### 5.2.3.4 Pasión

Las verdaderas contribuciones a la humanidad son hechas por gente que se entrega apasionadamente a una labor. Las personas que trabajan solamente para devengar un sueldo no pasan de la mediocridad. La empresa debe interactuar con trabajadores y proveedores cuyos objetivos estén en sintonía con los propios, para que su pasión posibilite la consecución de grandes metas.

#### *5.2.3.5 Servicio*

Una vida que no se dedica al servicio, es una vida desperdiciada. Una empresa que no se dedica al servicio eventualmente fracasa. Nuestra vida, como la de nuestra empresa, debe enfocarse a dar algo de valor al prójimo, más allá de sus expectativas. No queremos clientes satisfechos. Queremos clientes encantados.

#### *5.2.3.6 Integridad*

Si la honestidad es decir la verdad, la integridad es hablar honestamente y hacer que las acciones sean consecuentes con las palabras. Que nuestra palabra verdaderamente valga oro.

#### *5.2.3.7 Justicia*

La justicia es un bien escaso en nuestro medio. Debemos buscar un trato justo y equitativo en las relaciones entre personas y empresa. Las soluciones a los conflictos se buscarán de forma serena y a profundidad, para asegurar armonía entre las partes.

### 5.3 Mercado Eléctrico Nacional.

El sector de generación energética en El Salvador está compuesto por 15 empresas capaces de inyectar su energía directamente a la red de transmisión nacional, según datos de la Unidad de Transacciones (UT). La UT es el ente que regula el mercado energético, asegura la calidad del suministro y administra el mercado mayorista, el cual está compuesto por el mercado de contratos y el mercado regulador del sistema (MRS). Según estadísticas que comparte mensualmente, la geotermia es el segundo recurso con el cual se genera energía eléctrica solo detrás del recurso hidráulico y con la ventaja que su generación se puede considerar constante a lo largo del año.

#### 5.4 Antecedentes de Mantenimientos.

En cuanto a mantenimiento se refiere, debido a que las plantas geotérmicas de nuestro país son de un único dueño, no existe ningún tipo de competencia lo cual obliga a la empresa, en este caso a LaGeo, a especializar a su mano de obra técnica e ingeniería, en mantenimiento de los sistemas que componen una central geotérmica. Más importante para esta investigación es conocer que técnica de mantenimiento se está implementando o en qué punto se encuentra la implementación de un sistema óptimo de gestión del mantenimiento.

El mantenimiento industrial en nuestro país se encuentra siempre bajo observación por parte de los departamentos de finanzas, accionistas, directores o dueños, ya que al gerente de mantenimiento se encuentra en la obligación de demostrar que el mantenimiento no es un gasto sino más bien, una forma de generar ingresos, evitando que existan paros de producción o mantenimientos correctivos altamente costosos.

La implementación de sistemas de gestión de mantenimiento en nuestro país es un tema que está emergiendo y la industria geotérmica parece ser un buen territorio donde puede implementarse adecuadamente un sistema integral de gestión de mantenimiento, debido a que cuenta con los recursos técnicos y económicos necesarios.

## VI. Marco de Referencia.

### 6.1 Calibración.

La calibración es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar). Según la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, la calibración es "una operación que, bajo condiciones específicas, establece en una primera etapa una relación entre los valores y las incertidumbres de medida provistas por estándares e indicaciones correspondientes con las incertidumbres de medida asociadas y, en un segundo paso, usa esta información para establecer una relación para obtener un resultado de la medida a partir de una indicación".



Figura 1. Equipo utilizado para la calibración de instrumentos

#### 6.1.1 Importancia de la calibración para equipos de medición

La medición de variables en un proceso industrial es importante debido a que permite tener monitoreo y control adecuado de los diferentes sistemas. El proceso de calibración de un instrumento brinda confiabilidad en la medición, es decir, que el valor medido sea el valor real del mensurando.

A continuación se presentan algunos aspectos que vuelven de mucha importancia al proceso de calibración:

- Permite mantener un registro que muestre las desviaciones en las medidas de un instrumento desde una línea base en su primera calibración, hasta el estado actual del mismo, asegurando que las lecturas se mantengan dentro de un rango de tolerancia aceptable que brinde confiabilidad en la medición del instrumento.
- Permite utilizar controladores que mantendrán las variables obtenidas por un instrumento de medición dentro de los límites requeridos por un sistema.

## 6.2 Auditorías

Es un término que puede hacer referencia a tres cosas diferentes pero conectadas entre sí: puede referirse al trabajo que realiza un auditor, a la tarea de estudiar la economía de una empresa, o a la oficina donde se realizan estas tareas (donde trabaja el auditor). La actividad de auditar consiste en realizar un examen de los procesos y de la actividad económica de una organización para confirmar si se ajustan a lo fijado por las leyes o los buenos criterios.

Puede decirse que la auditoría es un tipo de examen o evaluación que se lleva a cabo siguiendo una cierta metodología. Lo habitual es que el auditor no pertenezca a la entidad auditada.

La persona encargada de realizar dicha evaluación recibe el nombre de auditor. Su trabajo implica analizar detenidamente las acciones de la empresa y los documentos donde las mismas han sido registradas y determinar si las medidas que se han tomado en los diferentes casos son adecuadas y han beneficiado a la compañía

Una auditoría es una de las formas en las que se pueden aplicar los principios científicos de la contabilidad, donde la verificación de los bienes patrimoniales y la labor y beneficios alcanzados por la empresa son primordiales, pero no son lo único importante. La auditoría intenta también brindar pautas que ayuden a los miembros de una empresa a desarrollar

adecuadamente sus actividades, evaluándolos, recomendándoles determinadas cosas y revisando detenidamente la labor que cada uno cumple dentro de la organización.

En una empresa, la evaluación en lo que respecta al desempeño organizacional de toda la entidad es fundamental para poder discernir si se han alcanzado los objetivos que se deseaban. Dicha labor es la correspondiente a las auditorías.

Una auditoría externa consiste en un examen detallado sobre el sistema informativo de una entidad. Es realizado por una persona que no se encuentre vinculado con la compañía. Su objetivo primordial es averiguar la integridad y autenticidad de las acciones y expedientes que se encuentran dentro del sistema de información de la organización.

Una auditoría interna, por su parte, se trata de un análisis detallado del sistema de información de la empresa, para el mismo se utilizan una serie de técnicas y métodos específicos. Los informes los realiza un profesional que tiene vínculos laborales con la compañía y los mismos circulan de forma interna sin tener validez legal fuera de la compañía.

#### 6.2.1 Importancia de auditorías internas

La calidad es una ventaja competitiva para aquellas empresas que se han identificado con ella y en donde la gerencia se encuentra plenamente identificada con su alcance, repercusiones, con todo lo que ello puede generar.

Una vez que se ha inculcado, obliga a la gerencia estar atenta sobre su comportamiento, cuidando, la forma como se está manteniendo, su alcance, logros, así como sus debilidades.

Por tanto, la Auditoría interna es una importante actividad que permite a las organizaciones mejorar sus funciones en forma continua.

Para la propuesta en este documento el crear auditorías internas da las pautas de tener una vista panorámica de las metas que se quieren lograr en el área de instrumentación.

Puntos importantes de una auditoria:

- Determinar si las actividades y los resultados satisfacen las disposiciones establecidas.
- Comparar que esas disposiciones se lleven a cabo y son adecuadas para alcanzar los objetivos previstos.
- Proporcionar a los directores la información que, al ser independiente, esta libre
- Determinar la eficacia del sistema y hacer posibles las mejoras.
- La auditoría ayuda a verificar y evaluar las actividades relacionadas con la calidad en el seno de una organización, así como para la identificación y mejora de las áreas no conformes con el modelo exigido.
- La empresa auditada mantiene al día sus actividades (procesos, producción, sistema etc...)

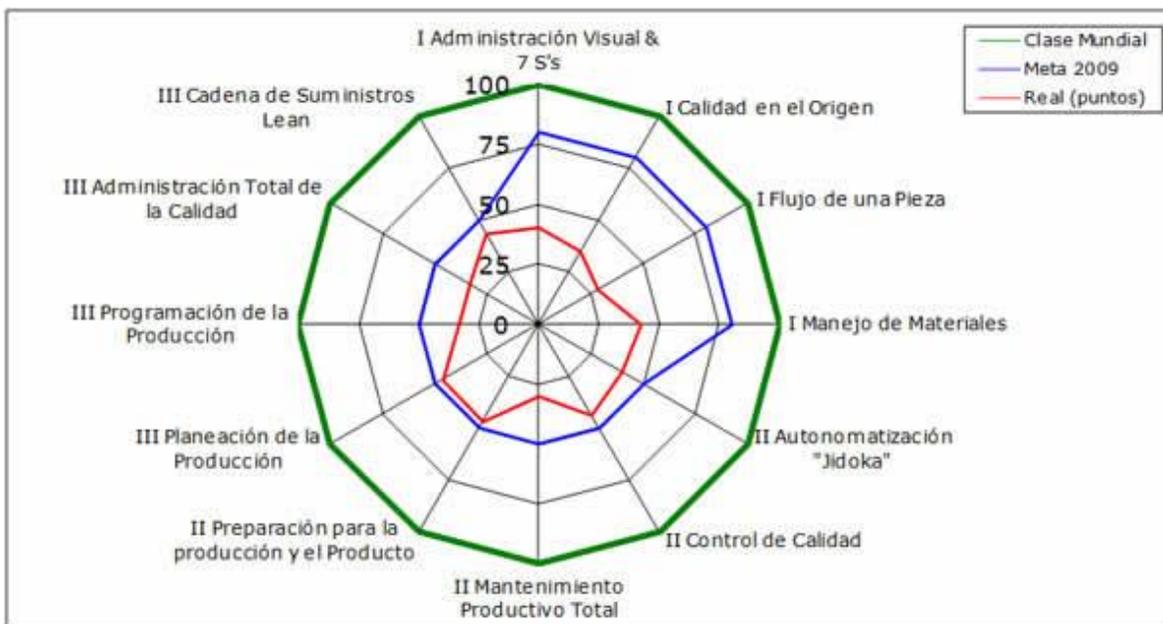


Figura 2. Diagrama de auditoria

Validando lo mencionado anteriormente se presenta un ejemplo, en el "Figura 15" se muestra el resultado de una auditoria, donde la línea verde es "clase mundial" presenta lo ideal, la línea azul es "metas 2009" representa las metas propuestas y la línea roja es "real" muestra la situación actual de la empresa.

### 6.3 Metodología de la Investigación

La implementación de una metodología que permita optimizar el tiempo de ejecución de un mantenimiento mayor y los recursos utilizados en el mismo se vuelve una tarea que no es simple, debido a que la planta geotérmica tomada como base para este estudio, la Central Geotérmica de Berlín, al igual que LaGeo S.A de C.V no cuenta con normas o estándares de certificación en sus procesos ni en sus actividades habituales de mantenimiento.

La implementación de la metodología de la investigación se realiza en cuatro fases que se muestran a continuación:

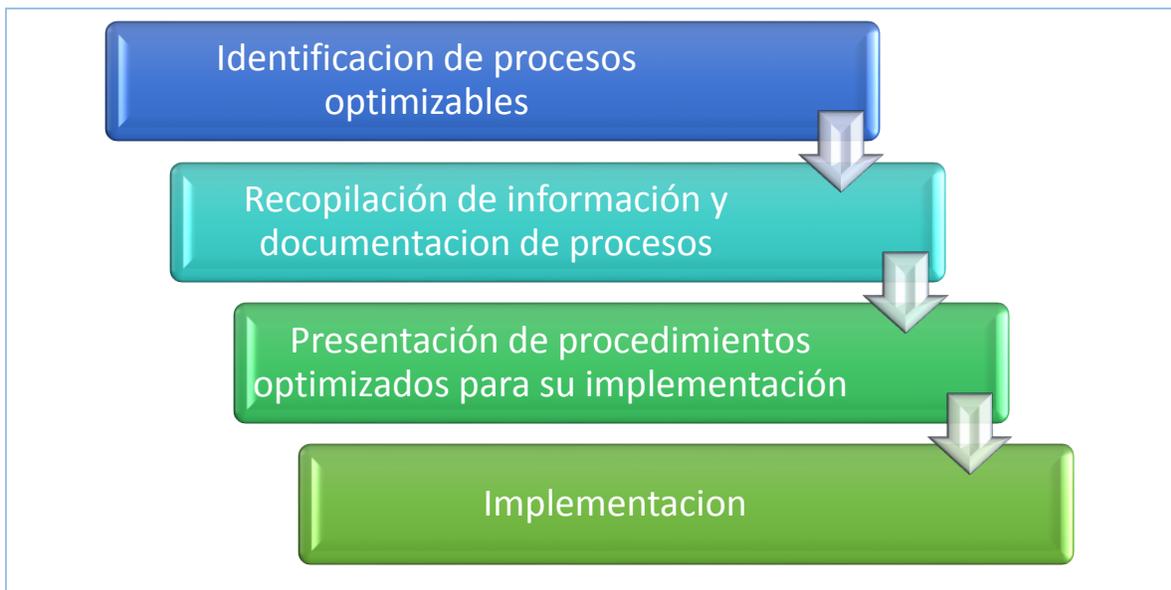


Figura 3. Diagrama de proceso de la metodología de la investigación

#### 6.2.1 FASE 1: Identificación de procesos optimizables

Durante esta fase se identificaron problemas que repercuten en la calidad y tiempo de ejecución de un mantenimiento mayor. Con la experiencia de trabajo en mantenimientos mayores realizados en los últimos 5 años en la central geotérmica de Berlín, se han logrado identificar diferentes procesos a los cuales posteriormente se pretende dar recomendaciones que permitirán fortalecer y optimizar dichos procesos dentro de la central. Estos procesos son los siguientes:

#### *6.2.1.1 Contratación de Personal Eventual.*

No existe un procedimiento normado para la contratación de personal eventual que garantice que las personas contratadas tienen el nivel mínimo de destrezas, habilidades y conocimientos técnicos para realizar las tareas habituales en el departamento de instrumentación.

#### *6.2.1.2 Procedimientos para Mantenimiento de los Instrumentos.*

No existe un procedimiento estandarizado para realizar un mantenimiento preventivo completo a instrumentos. El procedimiento debe describir cómo realizar las actividades que conlleva la calibración de un instrumento desde su desmontaje, limpieza, su misma calibración, montaje y puesta en servicio del mismo.

#### *6.2.1.3 Tiempo de Calibración.*

El procedimiento que regularmente se usa para calibrar un instrumento contiene muchas acciones que dependen de la habilidad de la persona que se encuentre calibrando para poder obtener el menor error posible en un tiempo óptimo.

#### *6.2.1.4 Jornadas de Trabajo.*

Se ha acostumbrado que la jornada de trabajo en el departamento de instrumentación durante los periodos de mantenimiento mayor se prolongue. Diariamente se labora al menos 4 horas extra en promedio, lo que repercute en el cansancio del personal, en la calidad del trabajo, aumento de probabilidades de accidentes de menor y mayor importancia así como en los costos del mantenimiento y la disponibilidad de la unidad en mantenimiento.

#### *6.2.1.5 Tiempo para Registros de Calibración.*

Existen formatos de hojas de calibración no estandarizados que durante el transcurso del overhaul son llenados manualmente en papel y posteriormente la información es introducida al formato electrónico, este proceso conlleva un tiempo considerable debido al gran número de hojas de calibración que se introducen manualmente a la computadora.

## 6.2.2 FASE 2: Recopilación de información y documentación para realizar los procesos

### 6.2.2.1 Recopilación de la información:

En esta fase se recopilará toda información vinculada con los puntos tratados en la fase 1 estos puede ser: documentos propios de la empresa ya sea información del área de instrumentación, documentos proporcionados por recursos humanos o áreas similares a esta, también recopilación de información usando herramientas como el internet, libros, revista, normas etc., para completar la investigación.

Dentro de la recopilación se tomará en cuenta la información verbal de los coordinadores del área de instrumentación y del personal involucrado en el área con el fin de contar con abundante fuentes de información.

### 6.2.2.2 Selección de la información encontrada:

En este apartado se describe lo siguiente: de toda la información recolectada se selecciona el material apropiado para la investigación que ayude a enriquecer y a dar forma al documento, descartando las fuentes que no brinden mayor información y puedan contribuir a generar malas conclusiones para desarrollar el documento.

## 6.2.2 FASE 3: Presentación de procesos optimizados para su implementación y creación de puntos a tratar.

Una vez seleccionado la información se prosigue a elaborar los diferentes procesos y a desarrollo los puntos siguientes:

1. Creación de perfil del eventual
2. Creación del documento para el proceso para calibración de transmisores
3. Creación del documento para el proceso de montaje y desmontaje de equipos
4. Creaciones de filtros académicos
5. Creaciones de auditorias

Los documentos creados donde se describe el desarrollo de procesos tendrá el visto bueno de la parte de la gerencia.

### 6.2.3 FASE 4: Implementación plan de mejoras

En la fase final con la ayuda de las áreas interesadas y con la fase 3 aprobada por parte de la gerencia se implementarán el plan de mejoras al área de instrumentación haciendo el uso de un diagrama de Gantt como herramienta donde especifica las acciones y todo el calendario a seguir.

## 6.3 Cuadro General De Debilidades Encontradas

En el siguiente cuadro se describe las debilidades encontradas y las consecuencias que ocurre a lo largo de realizar un mantenimiento mayor o tipo overhaul para el área de instrumentación. El mayor problema es la pérdida de tiempo y se refleja al final en entregar el plan de mantenimiento tardado o desplazado de su calendario establecido.

DEBILIDADES ENCONTRADAS		POSIBLES SOLUCIONES	
	DESCRIPCIÓN	CONSECUENCIA	
1.	Contratación de Personal Eventual no calificado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se utiliza tiempo considerable en explicar procedimientos. Tiempo utilizado es de 20 a 30 minutos.</li> <li>- El equipo utilizado en el laboratorio de instrumentación podría resultar dañado al ser manipulado por personal no calificado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crear un perfil de acuerdo a las actividades que realizará el personal eventual.</li> <li>- Realizar capacitaciones para los empleados eventuales.</li> </ul>
2.	No existe procedimiento estandarizado para la calibración de instrumentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El tiempo no es empleado eficazmente porque no se encuentran descritas las actividades que el personal eventual realizará diariamente. Se considera una pérdida de tiempo de 30 a 40 minutos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dentro de las capacitaciones se dará a conocer el procedimiento estandarizado que el personal eventual debe tener y de esta forma asegurar que se comprendan las actividades que se realizarán.</li> </ul>
3.	El tiempo de calibración puede volverse muy largo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Al no existir un procedimiento estandarizado de calibración, el tiempo y calidad de la calibración depende mucho de las habilidades del personal que se encuentra realizando la calibración.</li> <li>- El tiempo actual de calibración también depende del formato actual de calibración de 6 puntos arriba y 6 puntos abajo por lo cual su tiempo por instrumento promedio es de 80 minutos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crear procedimientos para estandarizar actividades</li> <li>- Realizar un procedimiento de calibración más corto pero que cumpla con los requerimientos del área de mantenimiento y operación.</li> </ul>
4.	Largas jornadas de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El desempeño del personal se ve afectado luego de realizar seguidas jornadas extendidas de trabajo, creando un ambiente de tensión entre las personas y propiciando acciones inseguras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Organizar grupos de trabajo con jornadas rotativas que permitan reducir las horas extras de trabajo.</li> </ul>
5.	El tiempo para registro de las actividades de calibración es muy largo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se utiliza mucho tiempo en introducir manualmente los datos a la computadora.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Utilizar software que permita digitalizar las hojas de calibración.</li> </ul>

Tabla 1. Debilidades y posibles soluciones

## VII. Desarrollo y Resultados.

### 7.1 Creación del Perfil de Personal Eventual para el Área de Instrumentación.

Para cada área laboral existen diferentes perfiles que desempeñan actividades de acuerdo a su puesto de trabajo, por ello se ha creado un perfil basados en las necesidades del mantenimiento mayor para el área de instrumentación que ayuden a desarrollar las actividades establecidas con mayor frecuencia.

MANUAL DE FUNCIONES DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN	NÚMERO	MAFM-1
	EDICIÓN	1
	REVISIÓN	1
	SEDE	CGB
	FECHA	01/02/2019

#### • PERFIL PROFESIONAL DEL TÉCNICO INSTRUMENTISTA

<b>TÍTULO DEL PUESTO:</b> TÉCNICO INSTRUMENTISTA (EVENTUAL)
<b>GERENCIA:</b> PRODUCCIÓN
<b>DEPARTAMENTO:</b> MANTENIMIENTO
<b>ÁREA:</b> INSTRUMENTACIÓN
<b>JEFE INMEDIATO:</b> INGENIERO INSTRUMENTISTA
<b>PUESTOS QUE SUPERVISA DIRECTAMENTE:</b> AYUDANTE DE INSTRUMENTISTA
<b>SUSTITUTO DEL PUESTO:</b> N/A

#### • REQUISITOS PARA EL PUESTO

##### ○ Nivel de estudio requerido:

Técnico en ingeniería eléctrica, preferiblemente con estudios en progreso en ingeniería eléctrica.

##### ○ Conocimientos particularmente importantes:

Idioma inglés básico.

Manejo de Microsoft Office.

Principios generales de instrumentación industrial.

Manejo de equipos de medición y prueba.

Comprender, interpretar y realizar diagramas eléctricos.

Conocimientos generales de procesos de calibración de instrumentos y elementos finales de control.

Cumplimiento de metas y objetivos.

Estar capacitado en el manejo del equipo de medición y calibración existente en el laboratorio de instrumentación.

○ **Experiencia:**

3 años en el área eléctrica o área de instrumentación

○ **Cualidades:**

Excelentes relaciones interpersonales.

Con iniciativa, liderazgo y proactivo (a).

Alto sentido de responsabilidad y compromiso.

Dedicación.

Deseos de superación (técnica y personal).

● **FUNCIONES DEL TÉCNICO INSTRUMENTISTA (EVENTUAL)**

- ✓ Cumplir con las disposiciones relacionadas a las actividades de gestión y operación del laboratorio de instrumentación.
- ✓ Realizar modificaciones técnicas que sean necesarias en las instalaciones de campo para garantizar la operación óptima de los instrumentos.
- ✓ Tratar el equipo, herramienta y materiales de forma segura y adecuada.
- ✓ Velar por el buen uso de los recursos asignados para la ejecución de los procedimientos utilizados en el departamento de instrumentación.
- ✓ Velar por el correcto cumplimiento de los trabajos programados en el tiempo justo para la ejecución de los mismos.

- ✓ Tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar cualquier accidente durante la ejecución de su trabajo dentro de las instalaciones de la central geotérmica.
- ✓ Calibrar instrumentos de medición propiedad de LaGeo de acuerdo a procedimientos regularmente utilizados, según la naturaleza del equipo.
- ✓ Comunicar opiniones e interpretaciones sobre modificaciones y desarrollo de actividades de mantenimiento al ingeniero instrumentista a cargo.

Área: Instrumentación	MANUAL DE FUNCIONES DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN	Página 2 de 2
--------------------------	---	---------------

MANUAL DE FUNCIONES DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN	NÚMERO	MAFM
	EDICIÓN	1
	REVISIÓN	1
	SEDE	CGB
	FECHA	01/02/2019

- **PERFIL PROFESIONAL DEL AYUDANTE DE INSTRUMENTISTA**

<b>TÍTULO DEL PUESTO:</b> AYUDANTE DE INSTRUMENTISTA (EVENTUAL)
<b>GERENCIA:</b> PRODUCCIÓN
<b>DEPARTAMENTO:</b> MANTENIMIENTO
<b>ÁREA:</b> INSTRUMENTACIÓN
<b>JEFE INMEDIATO:</b> TÉCNICO INSTRUMENTISTA
<b>PUESTOS QUE SUPERVISA DIRECTAMENTE:</b> N/A
<b>SUSTITUTO DEL PUESTO:</b> N/A

- **REQUISITOS PARA EL PUESTO**

- **Nivel de estudio requerido:**

Preferiblemente con estudios en progreso o finalizados en técnico en ingeniería eléctrica.

- **Conocimientos particularmente importantes:**
  - Idioma inglés básico.
  - Manejo de Microsoft Office.
  - Principios generales de instrumentación industrial.
  - Manejo de equipos de medición.
  - Conocimientos generales de procesos de calibración de instrumentos y elementos finales de control.
  - Cumplimiento de metas y objetivos.
  
- **Experiencia:**
  - 1 año en el área eléctrica o área de instrumentación
  
- **Cualidades:**
  - Excelentes relaciones interpersonales.
  - Con iniciativa, liderazgo y proactivo (a).
  - Alto sentido de responsabilidad y compromiso.
  - Dedicación.
  - Deseos de superación (técnica y personal).
  
- **FUNCIONES DEL AYUDANTE DE INSTRUMENTISTA (EVENTUAL)**
  - ✓ Cumplir con las disposiciones relacionadas a las actividades de gestión y operación del laboratorio de instrumentación.
  - ✓ Colaborar en la elaboración de documentos relacionados con registro de actividades de calibración.
  - ✓ Asistir al técnico instrumentista en actividades de campo así como administrativas.
  - ✓ Mantener actualizada la información técnica de apoyo para la elaboración de los registros de calibración.
  - ✓ Mantener actualizados los registros de calibración de instrumentos.
  - ✓ Verificar que los registros sean almacenados de manera adecuada.

- ✓ Verificar que las viñetas de calibración sean adheridas a los instrumentos y que contengan la información necesaria para su respectiva identificación en campo.
- ✓ Tratar el equipo, herramienta y materiales de forma segura y adecuada.
- ✓ Velar por el buen uso de los recursos asignados para la ejecución de los procedimientos utilizados en el departamento de instrumentación.
- ✓ Tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar cualquier accidente durante la ejecución de su trabajo dentro de las instalaciones de la central geotérmica.
- ✓ Trabajar en equipo.
- ✓ Procurar y fomentar un adecuado ambiente laboral.
- ✓ Mantener el orden y limpieza de su área de trabajo

Área: Instrumentación	MANUAL DE FUNCIONES DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN	Página 2 de 2
--------------------------	---	---------------

## 7.2 Propuesta de capacitaciones a personal eventual en el área de Instrumentación.

En esta etapa se considera muy importante dar 3 capacitaciones de 8 horas cada una, 3 días en total, las cuales se realizarían previo al mantenimiento mayor ya que actualmente no sé cuenta. Estas capacitaciones estarán enfocadas a que el personal eventual contratado para el mantenimiento tenga un mayor conocimiento de las actividades a realizar y, además, establecer claramente el objetivo de cada una de ellas. Como propuesta de las capacitaciones, los tiempos indicados en el plan puede variar, así como los temas tratados, dependiendo del desarrollo y los resultados.

## Capacitación 1

<b>Hora</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>
7:00 am a 9:00 am	Recorrido por las áreas donde se realizarán las actividades del mantenimiento mayor, para que el personal eventual reconozca sus áreas y ubicación de equipos a desmontar, así como el laboratorio y los equipos a utilizar durante el mantenimiento mayor.	Área de Instrumentación
9:00 am a 9:15 am	Refrigerio	
9:15 am a 10:00 am	Charla de sobre uso de equipos de protección personal (EPP) y dar a conocer los planes de seguridad industrial e higiene ocupacional implementados en la central.	Área de Instrumentación
10:00 am a 12:00 md	Capacitación sobre “ley de ohm” explicando de manera sencilla los conceptos básicos de la misma. Se realizarán ejercicios de nivel básico.	Área de instrumentación
12:00 md a 1:00 pm	Almuerzo	
1:00 pm a 3:00 pm	Continuación capacitación “ley de ohm”	Área de instrumentación
3:15 pm a 4:00 pm	45 minutos para que el personal eventual aclare dudas u opine sobre la capacitación y los puntos tratados en el día	

Tabla 2. Agenda capacitación día 1

## Capacitación 2

<b>Hora</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>
7:00 am a 9:00 am	Capacitación “uso de multímetro” medición de tensión eléctrica, corriente y resistencia	Ingenieros Instrumentistas
9:00 am a 9:15 am	Refrigerio	
9:15 am a 12:00 md	Continuación de capacitación “uso de multímetro”	Ingenieros Instrumentistas
12:00 md a 1:00 pm	Almuerzo	
1:00 pm a 3:00 pm	Introducción a la calibración, conocer los equipos patrones procedimientos establecidos	Ingenieros Instrumentistas

	para calibración del área de instrumentación	
<b>3:15 pm a 4:00 pm</b>	45 minutos para que el personal eventual aclare dudas u opine sobre la capacitación y los puntos tratados en ese día	Todos

Tabla 3. Agenda capacitación 2

### **Capacitación 3 final**

<b>Hora</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>
<b>7:00 am a 9:00 am</b>	Recordatorio de los temas tratados en las 2 capacitaciones pasadas	Ingenieros Instrumentistas
<b>9:00 am a 9:15 am</b>	Refrigerio	
<b>9:15 am a 12:00 md</b>	Recordatorio de los temas tratados en las 2 capacitaciones pasadas	Ingenieros Instrumentistas
<b>12:00 md a 1:00 pm</b>	Almuerzo	
<b>1:00 pm a 3:00 pm</b>	Capacitación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• métodos para aflojar y apretar pernos</li> <li>• utilización de herramientas</li> <li>• demostración de procedimientos de montaje y desmontaje de instrumentos de medición.</li> </ul>	Ingenieros Instrumentistas
<b>3:15 pm a 4:00 pm</b>	45 minutos para que el eventual aclara dudas u opine sobre la capacitación y los puntos tratados en ese día	Todos

Tabla 4. Agenda capacitación día 3

### 7.3 Propuesta de prueba académica

Se elaborará un examen sencillo con un máximo de 10 preguntas, cada pregunta tiene el valor de un punto y se basa en los temas tratados en las capacitaciones para que el eventual aparte de tener un ingreso académico que realizando las capacitaciones

anteriores tendrá la obligación de realizar un examen, tendrá un aproximados de 2 horas para realizar dicha prueba.

La propuesta para realizar un examen en el área de instrumentación nos da las pautas siguientes:

- Medir el entendimiento del eventual contratado
- Autoevaluar las capacitaciones realizadas
- Para evaluar la forma de enseñanza de las personas designadas para realizar las capacitaciones
- Tener un indicador KPi como resultado de la enseñanza
- Para que el eventual adquiriera un compromiso de auto mejora

Dando los puntos anteriores se ha creado un circuito cerrado el cual nos permite observar la ventaja de realizar una prueba académica o examen en el área de instrumentación:

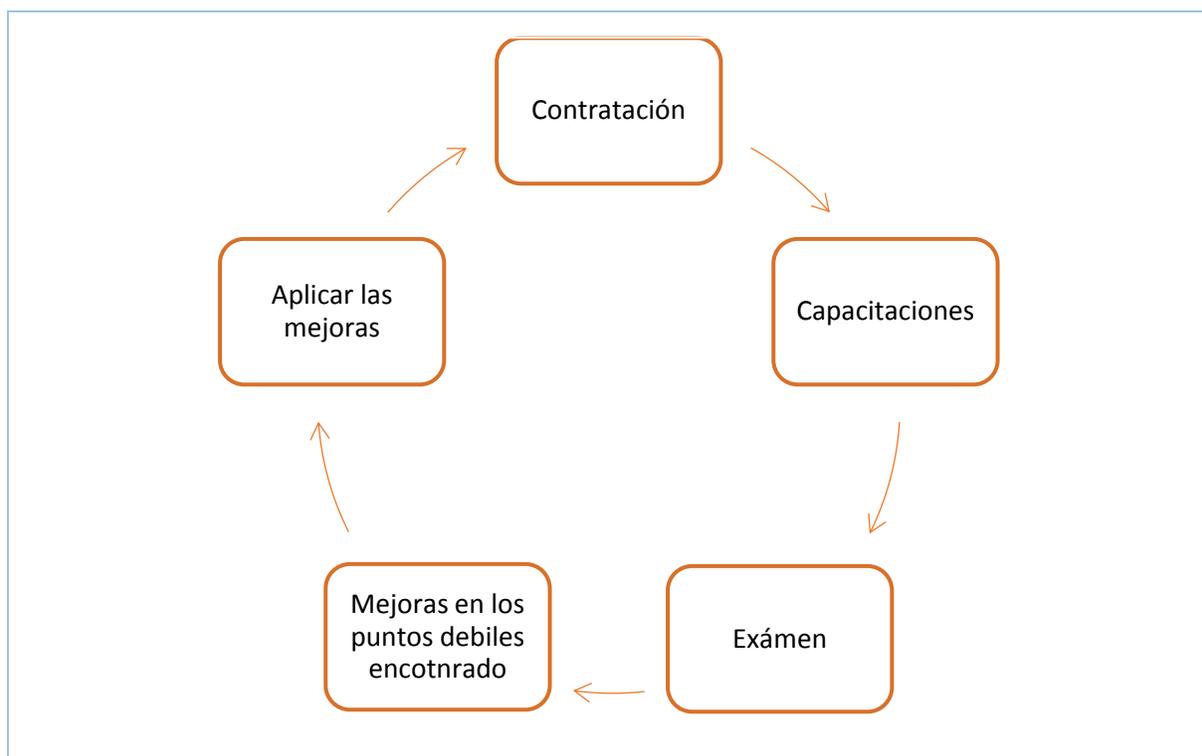


Figura 4. Diagrama Circuito cerrado “desarrollo de examen”

En el circuito cerrado anterior la propuesta de realizar un examen es importante ya que se puede realizar una reflexión y crear mejoras continuas ya sea en la contratación del eventual mejorando en el perfil que sea más apropiado al área o realizar unas capacitaciones más eficiente tanto el que las realiza así como el que imparte las capacitaciones.

#### 7.4 Propuesta para realización de examen

FORMACIÓN ACADÉMICA ÁREA DE INSTRUMENTACIÓN	NOTA	
EXAMEN PARA EVENTUALES CONTRATADOS		
	SEDE	CGB
	FECHA	
NOMBRE:		

1.-Con sus palabras defina los siguientes conceptos:

- a) Span
- b) Rango
- c) Corriente
- d) Tensión eléctrica

2.- Explique con sus palabras ¿Qué son los equipos patrones?

3.- Obtenga los porcentajes de los siguientes números:

- a. 25% de 80
- b. 75% de 120
- c. 100% de 100
- d. 50% de 500

4.- Escriba la fórmula del error porcentual mencionada en la capacitación

5.- Obtenga el rango total de las siguientes mediciones:

- a. nivel inferior: (-15 psi) / nivel superior: 25 psi
- b. nivel inferior: 20 °C / nivel superior: 200 °C

6.- Se encuentra un transmisor de presión manométrica midiendo vapor se pide obtener la corriente en el momento cuando su display marca 40 psi.

Datos:

- Lazo de corriente de 4 mA a 20 mA,
- Rango del transmisor LRV: 0 psi, HRV:100

7.- Se encuentra un transmisor de vacío en la línea de vapor de sello en turbina, obtenga la medición en unidades de ingeniería cuando el medidor indica 12 mA.

Datos:

- Lazo de corriente de 4 mA a 20 mA.
- Rango del transmisor LRV: (-15 psi), HRV: 15 psi

8.- Escriba la fórmula de la ley de Ohm

9.- En un circuito eléctrico la alimentación es de 24 Vdc, una carga en serie tiene una resistencia de 220ohmios ¿Cuánta corriente consume la carga en ese momento?

10. Grafique el resultado en plano x,y el ejercicio 6

## 7.5 Propuesta Método de Calibración.

### 7.5.1 Calibración de 5 puntos

Este método consiste en dividir el rango de operación en 0%, 25%, 50%, 75% y 100% los cuales serán los 5 puntos para realizar la calibración. Se empieza desde 0% incrementando la magnitud física a calibrar con un equipo que tenga su certificado de calibración vigente en forma ascendente hasta llegar al 100%. Es muy importante hacer la calibración con equipos patrones certificados, tener todos los equipos y accesorios adecuados para realizar la calibración.

Este método está dirigido a transmisores de medición con protocolo de comunicación HART y con salida análoga de 4 mA a 20 mA. El método podría ser utilizado en otros instrumentos de medición salvo que el departamento de operación o el fabricante digan lo contrario.

Ver el apartado “7.7.3 y 7.7.4” donde se describe el proceso de calibración para los instrumentos utilizados de medición. Con este método se pretende reducir el tiempo para realizar la calibración en un aproximado de 30 a 40 minutos por instrumento calibrado, por lo tanto se optimiza el tiempo de manera considerable al utilizar este método de calibración.

## 7.6 Propuesta de Formato de Calibración

El formato de calibración u hoja de registro es una hoja donde se detallan características y el ensayo realizado al instrumento bajo prueba, sirviendo como guía para la elaboración de los mismos las recomendaciones encontradas en la norma ISO/IEC 17025:2005 *“Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”* que contiene todos los requisitos que tienen que cumplir los laboratorios de ensayo y de calibración si desean demostrar que poseen un sistema de gestión, son técnicamente competentes y son capaces de generar resultados técnicamente válidos.

El creciente uso de los sistemas de gestión ha producido un aumento de la necesidad de asegurar que los laboratorios que forman parte de organizaciones mayores o que ofrecen otros servicios, puedan funcionar de acuerdo con un sistema de gestión de la calidad que

se considera que cumple con la Norma ISO 9001 así como la Norma Internacional ISO/IEC 17025. Por ello, en la realización de la norma ISO/IEC 17025 se tuvo el cuidado de incorporar todos aquellos requisitos de la Norma ISO 9001 que son pertinentes al alcance de los servicios de ensayo y de calibración cubiertos por el sistema de gestión del laboratorio.

Los laboratorios de ensayo y calibración que cumplen con la Norma Internacional ISO/IEC 17025 funcionan, por lo tanto, también de acuerdo con la Norma ISO 9001, es por esta razón que en el presente documento se ha utilizado esta norma como base para las recomendaciones a presentar.

<b>REGISTRO PRUEBA TRANSMISOR DE PRESION</b>	<b>CENTRAL GEOTERMICA DE BERLIN AREA DE INSTRUMENTACIÓN</b>	
--	---	---

DATOS DE EQUIPO

Etiqueta PIT-1045

Descripción Presión de aire comprimido unidad 1

Numero de serie 1798244

Modelo 3051

Marca Rosemount

Rango calibración 0-10 bares

Salida Análoga 4mA-20mA

Fecha 4 de octubre 2018

Prueba Realizada por Ing. Claudio Rafael Armijo

Aprobado Ramón Ramírez

*PRUEBA INICIAL:*

	UNIDADES					
Puntos de prueba	%	0	25	50	75	100
Presión referencia	bar	0.000	2.500	5.000	7.500	10.000
Presión aplicada Ascenso	bar	0.000	2.500	5.000	7.500	10.000
Presión leída transmisor Ascenso	bar	0.500	3.000	5.600	7.600	10.500
Valor referencia salida análoga	mA	4.000	8.000	12.000	16.000	20.000
Valor medido salida análoga en Ascenso	mA	4.300	8.300	12.368	16.355	20.200
Error	%	1.875	1.875	2.288	2.219	1.250

Figura 5. Formato de hoja de calibración

En la imagen anterior se muestra un ejemplo del formato de calibración. Se pueden apreciar los datos generales del instrumento bajo prueba, luego se realiza la prueba de 5 puntos ascendente donde se obtiene el resultado del “**valor encontrado**” con su respectivo error, el error aceptable para efectos prácticos del laboratorio es de 0.15%, mayor a éste se considera “no conforme” y se procede a realizar un ajuste al transmisor.

Actualmente el cálculo del error en la medición se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{valor medido} - \text{valor real}|}{\text{rango de medición}}$$

Ecuación 1. Cálculo de error en medición

El criterio utilizado para definir si el error que presenta el instrumento bajo prueba no se encuentra normado, por lo que la desviación de los valores obtenidos durante la calibración puede ser aceptada regularmente con un porcentaje de error que dependerá de la resolución máxima del instrumento bajo prueba, en muchas ocasiones es del 0.025% de error.

Se recomienda con base a la norma ISO/IEC 17025, numeral 5.4.6 “Estimación de la incertidumbre de la medición”, tener y aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de la medición para todas las calibraciones y todos los tipos de calibraciones.

Se debe recordar que el grado de rigor requerido en una estimación de la incertidumbre de la medición depende de factores tales como:

- los requisitos del método de ensayo;
- la existencia de límites estrechos en los que se basan las decisiones sobre la conformidad con una especificación.

En la estimación de la incertidumbre de la medición se debe tener en cuenta todos los componentes de la incertidumbre que sean de importancia en una situación dada, utilizando métodos apropiados de análisis. Las fuentes que contribuyen a la incertidumbre incluyen, pero no se limitan necesariamente, a los patrones de referencia y materiales de

referencia utilizados, los métodos y equipos utilizados, las condiciones ambientales, las propiedades y la condición del instrumento sometido al ensayo o calibración, y el operador que realiza el procedimiento.

Por tanto, para la estimación de incertidumbre en el laboratorio de instrumentación de la Central Geotérmica de Berlín se recomienda consultar la Norma ISO 5725 “Exactitud (veracidad y precisión) de los resultados y métodos de medición” que en sus primeras seis partes describe como realizar un método de medición normalizado que garantice la precisión y exactitud del método de calibración utilizado.

Para expresar los resultados de la calibración es necesario incorporar el criterio de incertidumbre utilizado en la realización de la misma, para este propósito se recomienda consultar la “Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición” (GUM) publicada por BIPM, IEC, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP y OIML.

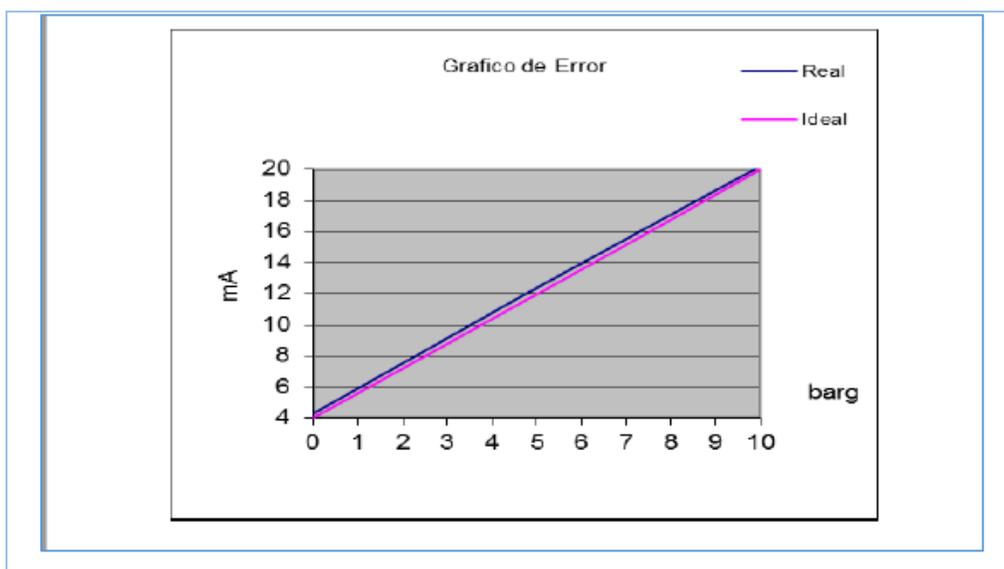


Figura 6. Gráfica de error encontrado

Gráfica del error del **valor encontrado** , donde muestra las desviaciones que tiene con respecto a los puntos deseado es decir una comparación de lo ideal con lo real, luego procedemos con el **valor dejado** donde se realiza el ajuste y se sigue con la calibración de 5 punto nuevamente.

PRUEBA FINAL:

	UNIDADES					
Puntos de prueba	%	0	25	50	75	100
Presión referencia	bar	0.000	2.500	5.000	7.500	10.000
Presión aplicada Ascenso	bar	0.000	2.500	5.000	7.500	10.000
Presión leída transmisor Ascenso	bar	0.500	2.500	5.000	7.500	10.000
Valor referencia salida análoga	mA	4.000	8.000	12.000	16.000	20.000
Valor medido salida análoga en Ascenso	mA	4.001	8.001	12.001	16.001	20.001
Error	%	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006

Figura 7. Formato de prueba final o valor dejado

En la prueba final o **valor dejado**, es donde ya se realizó el ajuste y se hizo la calibración de 5 puntos. Se puede notar en el ejemplo de la imagen anterior que el error es aceptable haciendo que el instrumento bajo prueba este condición para operar.

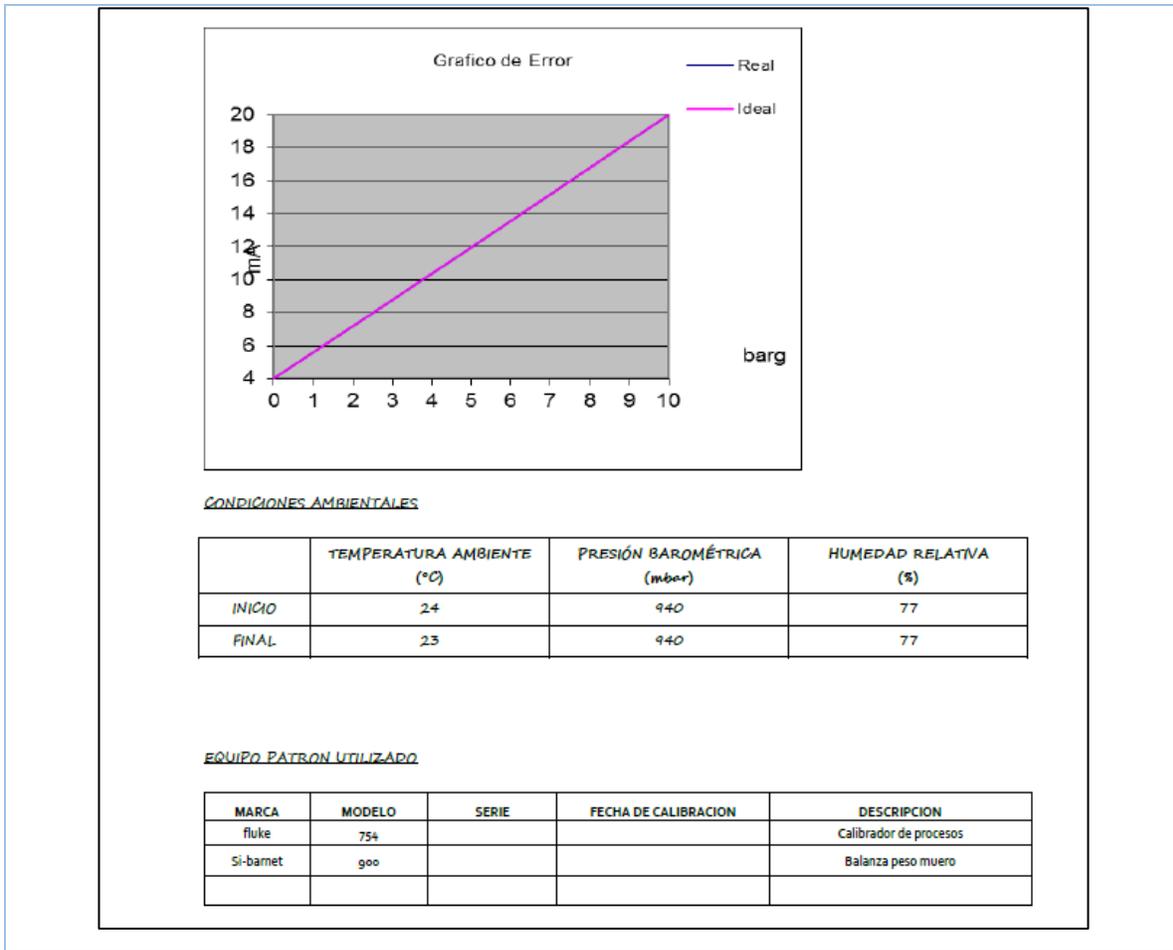


Figura 8. Gráfico de error de valor dejado, condiciones ambientales y equipos patrones

Por último la gráfica del error del **valor dejado** con las tablas de datos ambientales y los equipos patrones utilizados bajo esa prueba. En el ejemplo que se muestras estas casillas están vacías pero es obligatorio llenar estos campos. “Ver Apartado 7.5.1”

## 7.7 Creación de Procedimientos.

### 7.7.1 Procedimiento para desmontaje instrumentos.

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN	NÚMERO	MAPMI
PROCEDIMIENTO PARA DESMONTAJE DE INSTRUMENTOS	EDICIÓN	1
	REVISIÓN	1
	SEDE	CGB
	FECHA	01/02/2019

#### 1. Objetivo:

Estandarizar el proceso de desmontaje de los instrumentos de medición.

#### 2. Alcance:

Garantizar el cuidado de los equipos de medición al realizar el desmontaje.

#### 3. Responsable:

Personal de instrumentación

#### 4. Frecuencia:

Periodo de mantenimiento o cuando área de operación lo solicite

#### 5. Referencia:

No aplica

#### 6. Desarrollo del procedimiento

Pasos	Descripción de la actividad	Responsable	Figura ilustrativa
6.1	Tener las herramientas adecuadas para realizar el trabajo	Supervisor de instrumentación	Fig. 9
6.2	Utilizar el equipo de seguridad industrial (EPP) adecuado para el trabajo.	Supervisor de instrumentación	Fig. 9
6.3	Ubicar el equipo luego abrir la tapadera para poder desconectar la alimentación del equipo, retirar los cable + y – con un desarmador plano o cruz dependiendo del tornillo que lo sujeta.	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.4	Aislar los cables con cinta aisladora que alimenta al equipo y retirarla el cable del equipo.	Supervisor de instrumentación	Fig. 10
6.5	Identificar el giro u orientación de	Supervisor de	Fig. 10

	desapriete utilizando la ley de la mano derecha.	instrumentación	
6.6	Una vez teniendo el giro correcto procedamos al desapriete ocupando métodos como: palanca, golpe de impacto o lubricar el perno para luego aplicar la fuerza.	Supervisor de instrumentación	Fig. 10
6.7	Una vez desapretando los pernos de sujeción del equipo retirar el mecanismo del lugar y transportarlo de forma segura hacia el laboratorio de calibración	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.8	Guardar las piezas de sujeción en un lugar seguro y visible para su montaje cuando se necesite	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.9	Mantener el orden y aseo	Supervisor de instrumentación	No aplica

### 7. Correcciones:

En caso de encontrar deterioro del mecanismo de sujeción reemplazar por uno nuevo

### 8. Anexo:

Figuras ilustrativas del proceso desmontaje de equipos de medición



Figura 9. Herramientas y EPP utilizados en este procedimiento.



Figura 10. Procedimientos para desmontaje de instrumentos

Área: Instrumentación	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN	Página 2 de 2
--------------------------	---	---------------

### 7.7.2 Procedimiento para montaje de instrumentos.

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN	NÚMERO	MAPMI
PROCEDIMIENTO PARA MONTAJE DE INSTRUMENTOS	EDICIÓN	1
	REVISIÓN	1
	SEDE	CGB
	FECHA	01/02/2019

#### 1. Objetivo:

Estandarizar el proceso de montaje de los instrumentos de medición

#### 2. Alcance:

Garantizar el cuidado y operación correcta de los equipos de medición.

#### 3. Responsable:

Personal de instrumentación

#### 4. Frecuencia:

Periodo de manteniendo o cuando área de operación lo solicite

#### 5. Referencia:

No aplica

## 6. Desarrollo del procedimiento

Pasos	Descripción de la actividad	Responsable	Figura ilustrativa
6.1	Tener las herramientas adecuadas para realizar el trabajo	Supervisor de instrumentación	Fig. 9
6.2	Utilizar el equipo de seguridad industrial adecuado para el trabajo.	Supervisor de instrumentación	Fig. 9
6.3	Ubicar los elementos de sujeción correspondiente al equipo, identificar el método de sujeción	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.4	De acuerdo al tipo de sujeción como dice el paso anterior procedamos al apreté de los pernos.	Supervisor de instrumentación	Fig. 11
6.5	Una vez que se hayan apretado los perno y el equipo y quede firme procedemos a la conexión, ubicamos el cable de alimentación del equipo abrimos la tapadera e introducimos el cable, retirar la cinta aislante de los conectores y conectamos los cable + y – al equipo segundo la marca.	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.6	Si no está identificado la polaridad del cable podemos utilizar un medidor de Voltaje y poder ver la polaridad correcta así procedemos a conectar	Supervisor de instrumentación	Fig. 12
6.7	Una vez conectado y el equipo este correctamente montado nos aseguramos que tenga lectura de medición	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.8	Mantener orden y aseo.	Supervisor de instrumentación	No aplica

## 7. Correcciones:

No aplica

## 8. Anexo:

Figuras ilustrativas del proceso montaje de los equipos de medición.

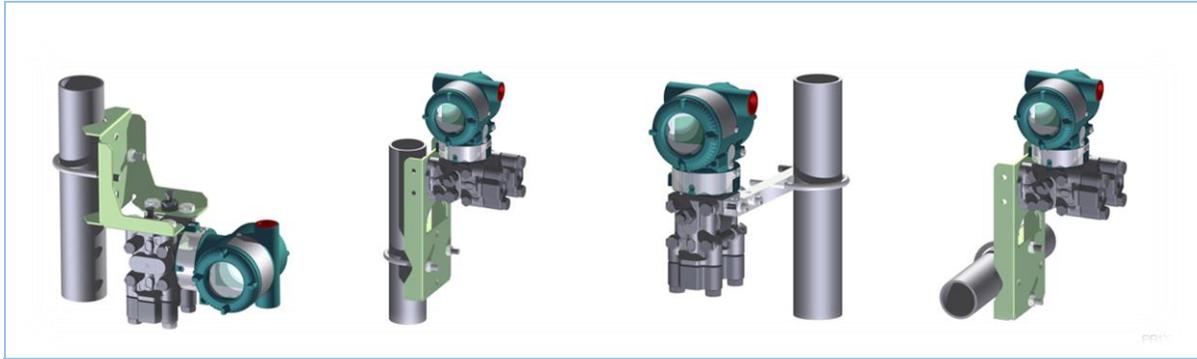
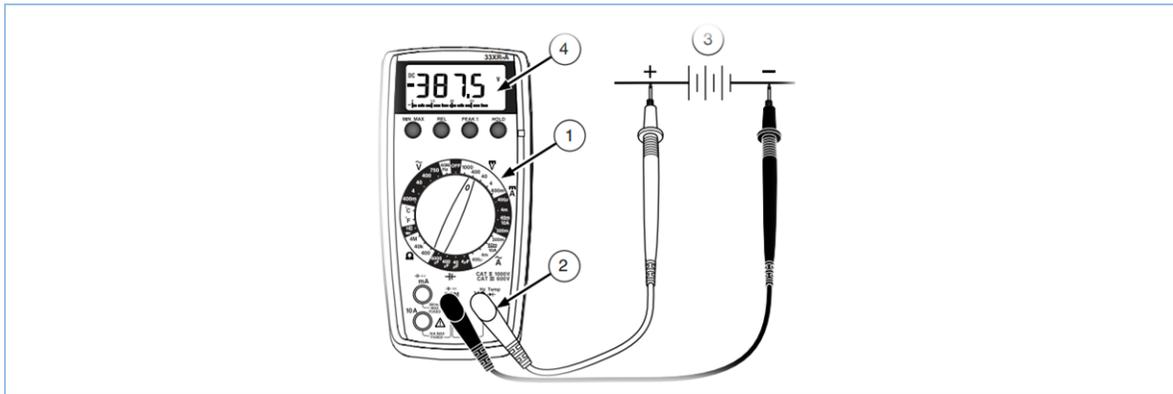


Figura 11. Tipos de anclaje de instrumentos



<p>Área: Instrumentación</p>	<p>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN</p>	<p>Página 2 de 2</p>
----------------------------------	---	----------------------

Figura 12. Medición de voltaje

### 7.7.3 Procedimiento para calibrar transmisores de presión manométrica.

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN	NÚMERO	MAPMI
PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACION DE TRANSMISORES DE PRESIÓN	EDICIÓN	1
	REVISIÓN	1
	SEDE	CGB
	FECHA	01/02/2019

#### 1. Objetivo:

Describir e implementar un proceso ordenado para la revisión, ajuste y calibración de los transmisores de presión instalados en la Central Geotérmica de Berlín

#### 2. Alcance:

Garantizar el buen funcionamiento de medición del instrumento

#### 3. Responsable:

Personal de instrumentación

#### 4. Frecuencia:

Periodo de mantenimiento cuando área de operación lo solicite

#### 5. Referencia:

No aplica

#### 6. Desarrollo del procedimiento

Pasos	Descripción de la actividad	Responsable	Figura ilustrativa
6.1	Preparar los instrumentos patrones para la calibración: Calibrador de procesos certificado, con funciones de fuente de alimentación de 24 Vdc para el transmisor bajo prueba, con medición de corriente mA dc, puerto para medición de presión y comunicación HART, Módulo de presiones certificado, con el rango adecuado para realizar la prueba y Bomba neumática manual	Supervisor de instrumentación	Fig. 1
6.2	Tener el equipo de seguridad industrial adecuado	Supervisor de instrumentación	Fig.9
6.3	Conectar el transmisor a la fuente	Supervisor de	No aplica

	de 24 Vdc, respetando las polaridades positivas y negativas, esperar un aproximado de 15 segundos.	instrumentación	
6.4	Dividir el rango de trabajo del transmisor en valores 0%,25%,50%,75% y 100% aplicar de forma ascendente con la ayuda de la bomba neumática manual.	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.5	Aplicar presión a los puertos necesarios del transmisor y el módulo patrón con la ayuda de la bomba neumática para realizar la prueba.	Supervisor de instrumentación	Fig. 13
6.6	Con los pasos obtenidos del punto anterior, se elabora una tabla de valores denominada <b>valor encontrado</b> .	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.7	Si necesita ajuste el transmisor en prueba se realiza el ajuste de ZERO y SPAN de caso contrario pasar al paso 7, ajuste de zero y span, es decir en el valor que le asignamos 0% aplicar ZERO y el valor 100% aplicar el SPAN.	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.8	Luego de realizar el ajuste repetir el paso "6.4 y 6.5" al terminar la prueba guardar los valores obtenidos y crear una tabla de valores denominada <b>valor dejado</b> .	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.9	Elaborar la ficha de identificación del transmisor con las tablas echas de valor encontrado y valor dejado Según " <b>Registro Prueba trasmisor de presión</b> "	Supervisor de instrumentación	No aplica
7.0	Guardar la ficha para un registro y conducta de operación del transmisor bajo prueba	Supervisor de instrumentación	No aplica

## 7. Correcciones:

En caso de hacer el ajuste y el error persiste arriba del 0.15% remplazar el transmisor por uno nuevo.

## 8. Anexo:

Figuras ilustrativas del proceso desmontaje de equipos de medición.

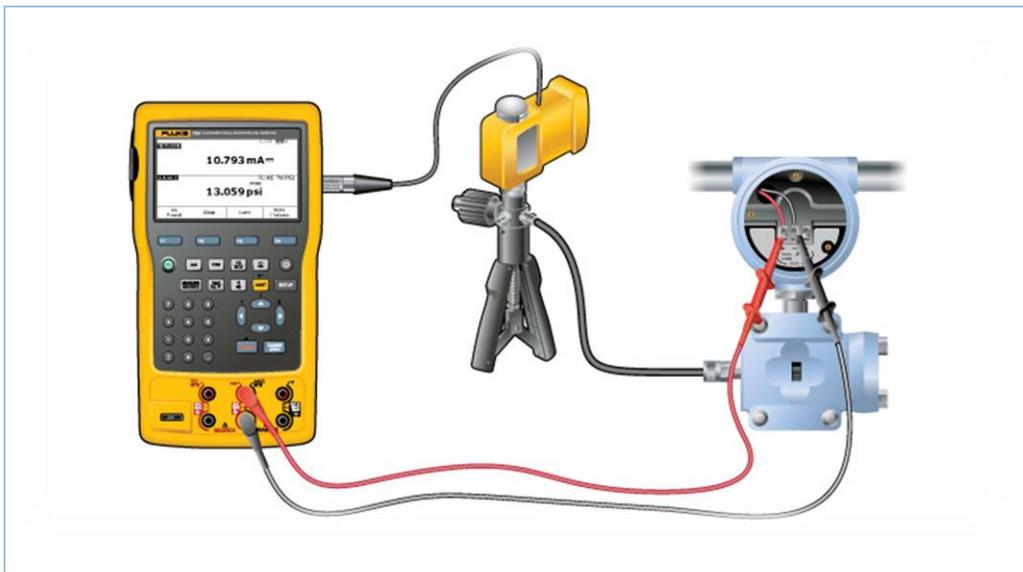


Figura 13. Calibración de instrumento

Área: Instrumentación	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN	Página 2 de 2
--------------------------	---	---------------

7.7.4 Procedimiento para calibrar transmisores de temperatura.

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN	NÚMERO	MAPMI
PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACION DE TRANSMISORES DE TEMPERATURA	EDICIÓN	1
	REVISIÓN	1
	SEDE	CGB
	FECHA	01/02/2019

**1. Objetivo:**

Describir e implementar un proceso ordenado para la revisión, ajuste y calibración de los transmisores de temperatura instalados en la Central Geotérmica de Berlín.

**2. Alcance:**

Garantizar el buen funcionamiento de medición del instrumento

**3. Responsable:**

Personal de instrumentación

**4. Frecuencia:**

Periodo de manteniendo o cuando área de operación lo solicite

**5. Referencia:**

No aplica

**6. Desarrollo del procedimiento**

Pasos	Descripción de la actividad	Responsable	Figura ilustrativa
6.1	Preparar las herramientas necesarias para la calibración.	Supervisor de instrumentación	Fig.9
6.2	Tener el equipo de seguridad industrial adecuado.	Supervisor de instrumentación	Fig. 9
6.3	Preparar los instrumentos patrones para la calibración: Calibrador de procesos certificado, con funciones de fuente de alimentación de 24 Vdc para el transmisor bajo prueba, con medición de corriente mA dc, con modalidad para realizar pruebas RTD o TC y comunicación HART.	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.4	Calibrador de procesos debe de estar en la función de prueba de RTD y TC con su respectivo conexión eléctrica para la prueba, ejemplo de conexión	Supervisor de instrumentación	No aplica

	ver la figura a continuación.		
6.5	Conectar el transmisor a la fuente de 24 Vdc, respetando las polaridades positivas y negativas, esperar un aproximado de 15 segundos.	Supervisor de instrumentación	Fig. 14
6.6	Dividir el rango de trabajo del transmisor en valores 0%,25%,50%,75% y 100% aplicar de forma ascendente	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.7	Con los pasos obtenidos del punto anterior, se elabora una tabla de valores denominada <b>valor encontrado</b> .	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.8	Si necesita ajuste el transmisor en prueba se realizara el ajuste de ZERO y SPAN de caso contrario pasar al paso 6.9, ajuste de zero y span, es decir en el valor que le asignamos 0% aplicar ZERO y el valor 100% aplicar el SPAN	Supervisor de instrumentación	No aplica
6.9	Luego de realizar el ajuste repetir el paso "6.6" al terminar la prueba guardar los valores obtenidos y crear una tabla de valores denominada <b>valor dejado</b>	Supervisor de instrumentación	No aplica
7.0	Elaborar la ficha de identificación del transmisor con las tablas echas de valor encontrado y valor dejado, según " <b>Registro prueba de transmisor de temperatura</b> "	Supervisor de instrumentación	No aplica
7.1	Guardar la ficha para un registro y conducta de operación del transmisor bajo prueba	Supervisor de instrumentación	No aplica

## 7. Correcciones:

En caso de hacer el ajuste y el error persiste arriba del 0.15% reemplazar el transmisor por uno nuevo.

## 8. Anexo:

Figuras ilustrativas del proceso desmontaje de equipos de medición.

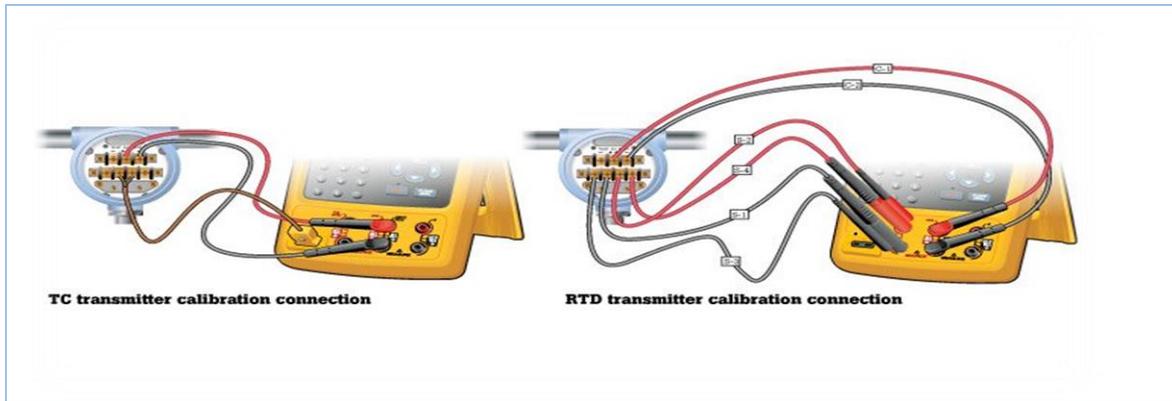


Figura 14. Conexión para RTD o TC

Área: Instrumentación	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN	Página 2 de 2
--------------------------	---	---------------

## 7.8 Implementación plan de propuesta

Con la ayuda del gráfico de Gantt se realiza un cuadro de actividades suponiendo periodos de tiempo para su ejecución, implementado todas las mejoras en los puntos débiles señalados anterior mente.

En la gráfica siguiente tenemos las actividades:

- Periodo de contratación para el eventual.
- Selección del grupo de trabajo.
- Recopilación de documentos de los trabajadores seleccionados con ayuda de recursos humanos.
- Las capacitaciones en base a las necesidades del área de instrumentación
- La implementación y ejecución de los procesos propuestos
- Realización de un examen para medir el grado académico de los eventuales
- Auditorías internas tanto para permanentes como eventuales.

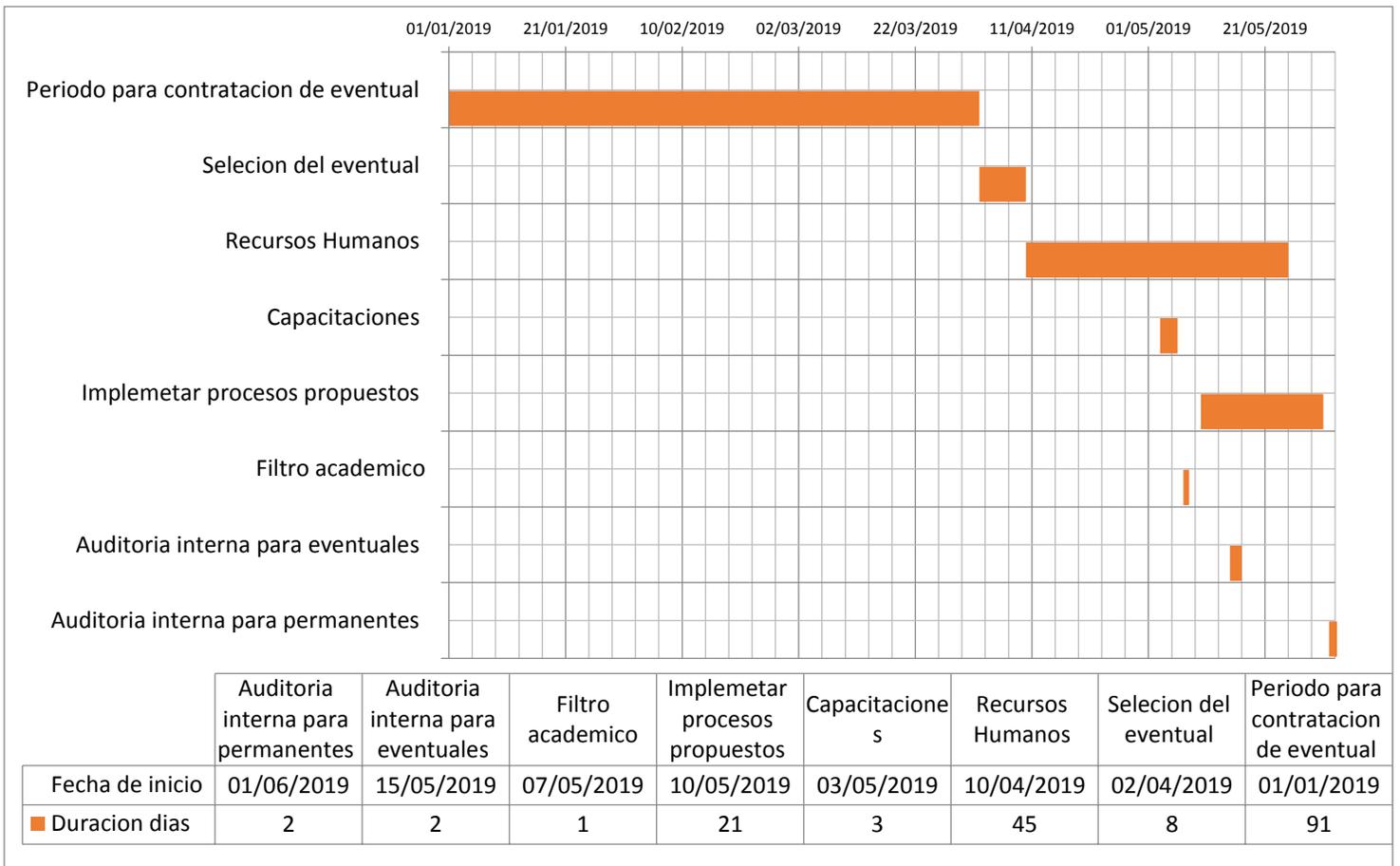


Tabla 5. Diagrama Gantt implementación plan de propuesta

### 7.9 Propuesta de auditorías internas

Con el propósito de cumplir con el objetivo principal de reducir el tiempo del mantenimiento del área de instrumentación, se propone realizar auditorías internas que permite dar un escenario de cómo se están realizando el plan de implementación de propuestas. La metodología es simple y se hará de la siguiente manera:

Un coordinador de áreas diferentes será el auditor para realizar dicha evaluación, utilizando el formato propuesto a continuación:

AREA DE INSTRUMENTACIÓN	VERSIÓN 1.0	FIRMA DEL COORDINADOR
AUDITORIA INTERNA		
	SEDE	CGB
	FECHA	
NOMBRE DEL AUDITOR:		

#### PARTE I: ÁREA DE TRABAJO

PREGUNTAS	SI	NO
1. ¿ESTA LIMPIA EL ÁREA DE TRABAJO?		
2. ¿LOS EQUIPOS DE TRABAJO SE ENCUENTRAN EN LUGAR ACCESIBLE?		
3. ¿SE ENCUENTRA EN UN ESTADO ACEPTABLE LOS EQUIPO DE TRABAJO?		
4. ¿HAY UN CLIMA APROPIADO PARA TRABAJAR?		
5. ¿CUENTA CON ILUMANACIÓN ADECUADA PARA TRABAJAR?		
6. ¿CUENTA CON LA ULTIMA CERTIFICACIÓN DE CALIBRADOS LOS EQUIPOS?		
7. ¿ESTÁN A LA VISTA LOS PARAMETROS DE METROLOGÍA EN EL ABORATORIO?		

OBSERVACIONES:

#### PARTE II: AUDITAR AL PERSONAL PERMANENTE

NOMBRE DE LA PERSONA AUDITAD: \_\_\_\_\_

DOCUMENTOS	REFERENCIA

PREGUNTAS	SI	NO
1. ¿CONOCE EL FUNCIONAMIENTO DELOS EQUIPOS QUE SE ENCUENTRAN EN EL LABORATORIO?		
2. ¿CONOCE EL PROCESO DE MONTAJE?		

3. ¿OCUPA LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDUSTRIAL MIENTRAS LABORA?		
4. ¿CONOCE DONDE SE ENCUENTRAS LOS DOCUMENTOS QUE DETALLA LOS PROCESOS ACTUALES DEL ÁREA DE INSTRUMENTACIÓN?		
5. ¿OCUPA EL FORMATO DE CALIBRACIÓN DE 5 PUNTOS?		
6. ¿MANTIENE EL LUGAR DE TRABAJO ORDENADO Y LIMPIO?		

OBSERVACIONES:

PARTE III: AUDITAR AL PERSONAL EVENTUAL

NOMBRE DE LA PERSONA AUDITADA: \_\_\_\_\_

DOCUMENTOS	REFERENCIA

PREGUNTAS	SI	NO
1. ¿CONOCE EL FUNCIONAMIENTO DE UN VOLTÍMETRO Y AMPERÍMETRO?		
2. ¿CONOCE EL PROCESO DE CALIBRACIÓN?		
3. ¿OCUPA LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDUSTRIAL MIENTRAS LABORA?		
4. ¿CONOCE DONDE SE ENCUENTRAS LOS DOCUMENTOS QUE DETALLA LOS PROCESOS ACTUALES DEL ÁREA DE INSTRUMENTACIÓN?		
5. ¿CONOCE EL PROCESO DE MONTAJE?		
6. ¿MANTIENE EL LUGAR DE TRABAJO ORDENADO Y LIMPIO?		

OBSERVACIONES:

Área: Instrumentación	AUDITORIA INTERNA	FIRMA
--------------------------	-------------------	-------

## 7.10 Propuesta de turnos rotativos

Lo que se plantea es rotar los grupos de trabajo durante la semana hasta terminar el mantenimiento mayor y la logística es la siguiente:

1. Crear grupos de trabajo formando parejas o tríos
2. Asignar un número que represente al grupo en su totalidad
3. Con el numero asignado seguirán el siguiente calendario

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Descanso
Equipo 1	hora de salida 10 pm	hora de salida 5 pm	hora de salida 5 pm	hora de salida 5 pm	primer domingo
Equipo 2	hora de salida 5 pm	hora de salida 10 pm	hora de salida 5 pm	hora de salida 5 pm	segundo domingo
Equipo 3	hora de salida 5 pm	hora de salida 5 pm	hora de salida 10 pm	hora de salida 5 pm	tercer domingo
Equipo 4	hora de salida 5 pm	hora de salida 5 pm	hora de salida 5 pm	hora de salida 10 pm	cuarto domingo

Tabla 6. Cuadro de propuesta de turnos

## 7.11 Propuesta para la utilización de un software para registro de calibraciones

Los laboratorios de calibración tienen una serie de retos: una mayor y más compleja carga de trabajo, menos técnicos y una lista creciente de normas de calidad. Y, sobre todo, la presión constante de reducir costos.

LaGeo no cuenta con un software para el manejo administrativo de las calibraciones donde permita tener una base de datos de todos los instrumentos que actualmente posee la planta geotérmica. Y por este lado es muy desventajoso ya que hay una redundancia en ingresar en la información de los instrumentos calibrados, perdiendo tiempo en realizar esta actividad.

Por eso El software de Fluke Calibration ayuda a superar todos esos desafíos mediante la calibración y administración de su carga de trabajo de manera más eficiente y uniforme, es decir tener una base de datos con fechas e información descriptiva de los instrumentos calibrados de toda la planta.

#### 7.11.1 Características Fluke calibration

##### **Calibración automática que respalda la forma en que su laboratorio opera**

El software MET/CAL está estructurado en función del flujo de instrumentos a través del proceso de calibración y aborda una amplia variedad de necesidades de calibración de instrumentos de pruebas y mediciones. Su estructura se basa en el modelo de calibración tradicional: comparación de un instrumento con un estándar de incertidumbre conocida.

El software MET/CAL es una solución reconocida para automatizar la calibración eléctrica. Sin embargo, MET/CAL también es la solución ideal para algunas calibraciones de RF, incluida la calibración del analizador de espectro. MET/CAL puede utilizarse como eje fundamental para la calibración de RF junto con la fuente de referencia 96270A, que es ideal para la calibración de analizadores de espectro. El software MET/CAL y la 96270A permiten a los profesionales de la calibración de RF aumentar sustancialmente la productividad.

Con el software MET/CAL y la 96270A, la calibración del analizador de espectro puede tomar menos de 20 minutos, lo cual incluye el análisis de las incertidumbres de medición y los resultados de la información. La automatización con MET/CAL ofrece mucho tiempo "en ausencia", es decir, permite que los operarios presten atención a otras tareas al mismo tiempo, lo cual permite un uso más eficiente por parte del personal altamente calificado.

Utilizar el software MET/CAL para automatizar las calibraciones de RF y eléctricas permite reducir el costo de la inversión inicial en software, así como el costo de propiedad, como la capacitación y el mantenimiento. Los laboratorios que realizan distintos tipos de calibraciones con otras aplicaciones que no sean el software Fluke Calibration pueden

obtener ventajas en su eficiencia mediante el uso de una base de datos compartida de MET/TEAM para el informe de datos de calibración y la administración de recursos.

### **El módulo Runtime rediseñado muestra el proceso de calibración paso a paso**

El módulo MET/CAL Runtime (en tiempo de ejecución) fue rediseñado y ahora cuenta con un diseño moderno e intuitivo. La selección de la lista UUT es idéntica a la lista en MET/TEAM, lo que facilita notablemente la selección de recursos que desea calibrar. Puede buscar un número de modelo y varios parámetros más para conocer lo último en flexibilidad.

Los procedimientos se encuentran disponibles en un menú desplegable que puede asegurarse para que solo los usuarios autorizados puedan seleccionar un procedimiento. Puede seleccionar un procedimiento de MET/TEAM, un archivo de procedimiento ejecutable (PXE) o hacer una selección desde el directorio de MET/CAL proc.dir. MET/CAL recuerda qué procedimientos ha realizado en una sesión de modo que, si desea repetir una prueba, no necesita realizar la búsqueda nuevamente.

Es fácil ver cada paso de una calibración a medida que progresa y también es fácil ver el estado de aprobado/desaprobado en cada prueba y más información útil como el número de versión y la fecha. Una rueda de progreso muestra el porcentaje de completación de cada procedimiento a medida que avanza.

### **La seguridad basada en grupos de usuarios le permite controlar el acceso a MET/CAL y MET/TEAM**

Los controles de seguridad basados en grupos de usuarios ahora están disponibles tanto con MET/CAL como con MET/TEAM. Un administrador puede controlar quién configura la plataforma de trabajo, quién puede configurar una calibración y quién puede realizar una calibración; todo organizado por roles de usuarios. El administrador también puede hacer que ciertas selecciones sean visibles o invisibles en la interfaz, según la configuración de

seguridad de un usuario. Esto simplifica las elecciones de algunos usuarios dado que no podrán visualizar elementos del menú a los que no tengan acceso. Las opciones de configuración de seguridad proporcionan control completo sobre la visualización y elementos del menú que sean visibles y utilizables.

### **Formato de configuración simplificado**

En versiones previas del software MET/CAL, modificar un archivo metcal.ini o buscar el parámetro correcto para hacer una modificación podía ser intimidante; además, se requería reiniciar y volver a ejecutar el procedimiento. Con el nuevo formato de configuración, todas las categorías seleccionables son visibles y fácilmente accesibles. Los casilleros y las barras de desplazamiento simplifican las configuraciones de hardware complejas, de modo que no necesita preocuparse por las posibilidades: todo está frente a sus ojos. La interfaz de configuración simplificada hace más fácil que nunca personalizar el software MET/CAL para satisfacer las necesidades de su equipo.

### **Exporte los resultados de las pruebas para análisis adicionales**

MET/CAL v9 le permite exportar los resultados de las pruebas a un archivo .csv. Esta característica es útil si desea utilizar un programa de hoja de cálculo como Microsoft Excel para analizar datos.

### **Inicio integrado**

¿Quién necesita recordar otra contraseña? La autenticación de Windows permite usar un inicio de Windows con MET/TEAM y MET/CAL en lugar de requerir credenciales para ingresar por separado. Ahora, su departamento de TI es el responsable del mantenimiento de la estructura de seguridad de inicio, no del laboratorio de calibración.

### **Integración continua de MET/CAL y MET/TEAM**

Seleccione un procedimiento de calibración definido por MET/TEAM asociado a un recurso que desee calibrar. Este procedimiento optimizado reduce los pasos de inicio en Runtime y Editor, y agiliza el acceso al programa.

### **Elija entre miles de procedimientos garantizados**

El software MET/CAL incluye procedimientos de muestra que pueden utilizarse tal cual o modificarse para que se adapten a sus necesidades. O utilícelos como ejemplos para crear los propios.

Al suscribirse al programa de asistencia del software MET/SUPPORT Gold, tendrá acceso a una amplia variedad de procedimientos con garantía. Acceda a la lista actual de procedimientos disponibles en [www.flukecal.com/procedures](http://www.flukecal.com/procedures).

### **Utilice el Procedure Editor para escribir y editar sus propios procedimientos**

La interfaz de usuarios intuitiva y flexible de MET/CAL Editor desarrollada con herramientas de Microsoft Visual Studio es una poderosa herramienta de desarrollo. Características tales como opciones de configuración y datos de resultados de pruebas se vinculan con el módulo Runtime para permitir operaciones continuas. Un sistema de ayuda en línea vinculado le muestra ejemplos que pueden ser de ayuda. Edite varios procedimientos al mismo tiempo para aumentar su productividad gracias al mejorado diseño de ventanas. También la búsqueda de errores es ahora más sencilla. Las funciones incluidas en el editor incluyen deshacer, rehacer, ayuda de herramientas, intellisense y sintaxis destacada.

### **Organice los archivos de procedimiento de manera lógica**

El Procedure Editor también incluye más flexibilidad a la hora de organizar los archivos de procedimiento. Puede organizar los procedimientos de manera lógica mediante la estructura de proyecto/solución que mejor se adapte a las actividades y reglas de funcionamiento de su laboratorio.

## **División del procedimiento**

La división del procedimiento le permite llevar a cabo un paquete de procedimiento ejecutable (PXE) en secciones separadas para realizar una única calibración. Puede completar una única calibración en varios lugares físicos y/o en diferentes momentos, simplificando la resolución de problemas mediante el uso de varias secciones discretas de un procedimiento a realizar por separado. Su productividad aumenta porque puede completar cada sección del procedimiento a medida que cuente con el software necesario (no se requieren estándares configurados para secciones no seleccionadas).

## **Cree nuevos procedimientos de manera eficiente**

El potente lenguaje de procedimientos del software MET/CAL utiliza un enfoque de bloques de construcción orientado a la calibración. Los códigos de selección de funciones (FSC, por su sigla en inglés) representan varios patrones y funciones empleados durante una prueba. Los FSC del lenguaje de procedimientos del software MET/CAL son compatibles con una amplia variedad de patrones y calibradores.

Un FSC puede permitir que se defina todo un punto de prueba en una sola línea de código. El FSC configura el patrón y el UUT, proporciona instrucciones de conexión, activa la medición, captura la lectura, asigna y combina las incertidumbres pertinentes, y reinicia los instrumentos a un estado seguro, todo esto simplemente desde una línea de código.

Los FSC ofrecen un mayor número de instrumentos compatibles para aumentar la productividad

El FSC de biblioteca permite que un procedimiento acceda a cualquier objeto DLL o COM, lo cual permite que los escritores de procedimientos automaticen la calibración con un amplio número de patrones, incluidos los instrumentos PXI de National Instruments. El PCS de biblioteca también permite que un procedimiento acceda a Microsoft Excel, lo cual permite cálculos personalizados, así como una mejor comunicación con las aplicaciones externas actuales.

El FSC O\_CAL respalda la mayoría de los calibradores de osciloscopio de Fluke Calibration, en 16 combinaciones diferentes, ofreciendo hasta un 90 % de ahorro en el tiempo de desarrollo de un procedimiento.

### **Evalúe la incertidumbre de la medición**

El software MET/CAL permite establecer márgenes de incertidumbre mínimas (TUR, por su sigla en inglés) en las pruebas para asegurar que las pruebas que realiza el calibrador sean lo suficientemente precisas para el instrumento que se está calibrando.

El software MET/CAL ofrece compatibilidad con las bandas de guarda, lo cual ofrece a los metrologistas la posibilidad de adaptar un algoritmo para que reduzca el límite de tolerancia asociado a las especificaciones de calibración de la UUT.

### **Ejecución de la prueba**

Ejecute procedimientos desde Procedure Editor en el modo Debug (depurar) para aligerar la búsqueda de errores. El software MET/CAL lleva cuenta incluso de márgenes de incertidumbre, especificaciones y capacidades de los instrumentos e información de trazabilidad para asegurarse de que los procedimientos cumplan con sus estándares de calidad en cuanto a adecuación y validez.

### **Envíe el procedimiento**

Una vez que esté satisfecho con el procedimiento, envíelo a producción donde los técnicos podrán utilizar todas las pruebas de manera coherente en la carga de trabajo.

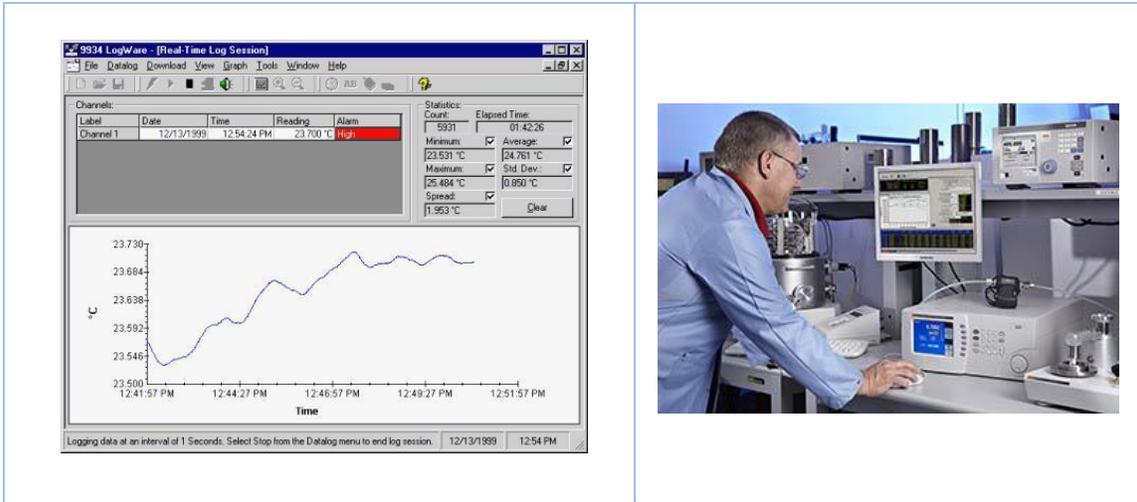


Figura 15. Imágenes de software Fluke

## VIII. Conclusiones

1. Los procesos ayudan al personal eventual a entender y familiarizarse con las labores del área de instrumentación y esto mejorar la eficiencia y eficacia de los trabajos.
2. Las Auditorias reflejaran la situación actual y la creación de mejoras continuas.
3. La Capacitación al personal eventual ayuda a su entendimiento de las necesidades de la empresa y da una mayor formación técnica a la gente contratada con lo que se tendrá un mayor compromiso por parte de los eventuales y mejorar su desempeño.
4. La creación de procedimientos y tener como documentos puede ayudar en futuro para la certificación de ISO y así establecer de una manera documentada los procedimientos para estandarizar el trabajo del personal.
5. Implementar un software de calibración por su administración ayuda a la gestión de mantenimiento.
6. Reducir el costo de mano de obra lo que implicará un ahorro para la empresa.
7. La creación de este proyecto en conjunto puede ayudar a otras áreas que se desempeñan de la planta Geotérmica de Berlín a buscar el mejor desempeño de sus trabajadores.

## IX. Bibliografía

Auditorías, disponible: <https://definicion.de/auditoria/>

Calibración, disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Calibraci%C3%B3n>

Manual de software Fluke, disponible: <https://us.flukecal.com/products/calibration-software/met-cal%C2%AE-software>

LaGeo, 2014, Manual de mantenimiento unidad 1, Central Geotérmica Berlín, El Salvador

LaGeo, 2015, Manual de mantenimiento unidad 2, Central Geotérmica Berlín, El Salvador

LaGeo, 2016, Manual de mantenimiento unidad 3, Central Geotérmica Berlín, El salvador

LaGeo, 2017, Manual de mantenimiento unidad ciclo binario, Central Geotérmica Berlín, El salvador