

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN AUDITORIA
ENERGÉTICA APLICADA A CALDERAS**

PRESENTADO POR:

FIGUEROA RIVERA, KATHERINE BRISEIDA

HERNÁNDEZ SORTO, JOSSELINE SARAÍ

PERLA BENÍTEZ, ARIEL EDUARDO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2024.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAUL ALEXANDER FABIAN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR INTERINO:

Msc. E Ing. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RIOS LAZO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título:

**PROPUESTA DE PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN AUDITORIA
ENERGÉTICA APLICADA A CALDERAS**

Presentado por:

**FIGUEROA RIVERA, KATHERINE BRISEIDA
HERNÁNDEZ SORTO, JOSSELINE SARAÍ
PERLA BENÍTEZ, ARIEL EDUARDO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

MSc. E Inga. Leyla Marina Jiménez Monroy

San Salvador, febrero 2024

Trabajo de graduación aprobado por:

Docente asesor:

MSc. E Inga. Leyla Marina Jiménez Monroy

DEDICATORIA

Agradecer primeramente a Dios, quien definitivamente guía mi camino y a lo largo de mi vida me toma de su mano y me brinda su compañía, permitiéndome culminar esta etapa de mi vida.

Con mucho amor a mis padres, Bersy y Alfredo, que dedican su vida para que yo me desarrolle social, espiritual y profesionalmente, dándome su apoyo todos los días.

A mi más fiel compañero Locky, que comparte a mi lado mis noches de desvelo y que hasta el día hoy su único propósito ha sido quererme.

A mis amigos, con quienes he recorrido cada experiencia llena de bueno y malos momentos y siguen ahí.

“Pon en manos del señor todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán.”
(Proverbios 16:3)

Briseida Figueroa

DEDICATORIA

Le doy gracias principalmente a Dios por permitirme llegar hasta este momento que en muchos momentos se veía lejos, pero Él estuvo ayudándome y dándome fuerzas para seguir adelante. Porque ha sido fiel durante todos estos años y no me ha permitido desfallecer en ningún momento.

Dedico esta tesis

- A mi mami y papi, gracias por siempre apoyarme y estar en las noches de desvelo motivándome a no darme por vencida. Porque me apoyaron económica y emocionalmente durante toda mi carrera. Se los dedico principalmente a ustedes con muchísimo amor. Se merecen esto y mucho más. Gracias por su paciencia todos estos años
- A mis hermanos, Eli y Sami porque hacían de mis noches de estudios más felices. Por animarme y hacerme reír cuando yo ya no podía. Por su paciencia cuando no podía hablar con ellos por estar estudiando.
- A Javi por animarme durante la realización de esta investigación. Por brindarme un hombro donde descansar y recordarme mi meta de concluir con la investigación este año y motivarme a dar lo mejor de mí.
- A mis compañeros de tesis, por tener la motivación para concluir de la mejor manera esta tan bonita carrera. Por trabajar arduamente para la realización de esta investigación en la mayor brevedad posible aun con sus trabajos.
- A mis docentes durante la carrera, gracias por su tiempo dedicado a nuestro aprendizaje durante la carrera en especial a ingeniera Leyla Jimenez por el tiempo invertido durante esta investigación y asesorarnos en la realización de este trabajo de graduación de la mejor manera y rápida posible.

Josseline Hernández

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Graduación va dedicado primeramente a Dios y a nuestra madre la Santísima Virgen María por siempre darme fuerzas, protegerme y llenar mi vida de bendiciones y alegrías

También a mi madre Luz de María Benítez que me apoyó en todos estos años y me ayudó a ser la persona que soy hoy, a mi padre Juan Oscar Perla (Q.D.D.G) que estuvo en mis primeras etapas de vida, a mi abuela Ana Virginia Benítez (Q.D.D.G) que me apoyó bastante y que estoy seguro que donde quiera que esté, está orgullosa de mí, a mi hermana Jacqueline Perla que siempre me animaba a seguir adelante. A mi esposa Gabriela de Perla, que estuvo apoyándome y animándome a lo largo de la carrera y quien es mi fortaleza siempre.

A mi asesora de tesis que siempre nos dirigió con entusiasmo y motivación en la elaboración del trabajo de graduación; a mis compañeras de tesis por sus valiosos aportes y su compromiso en la culminación de este importante proyecto.

A mis otros compañeros que a lo largo de la carrera aportaron su granito de arena para hacer más sencillo este camino recorrido a lo largo de la carrera y a mis amistades por su apoyo incondicional y palabras de ánimos para poder superar cada obstáculo que se presentaba.

Ariel Perla

ÍNDICE

ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FORMATOS	xi
ÍNDICE DE IMÁGENES	xii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. ANTECEDENTES.....	4
1.2. NORMATIVIDAD.....	7
1.2.1. LEGISLACIÓN SOBRE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN	8
1.2.2. REQUISITOS DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PARA EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	13
1.3. CALDERAS INDUSTRIALES.....	16
1.3.1. TIPOS DE CALDERAS.....	17
1.3.2. PARTES Y FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA	19
1.4. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	21
1.4.1. METROLOGÍA EN CALDERAS INDUSTRIALES.....	32
1.4.1. SENSIBILIDAD, UMBRAL DE MOVILIDAD Y RESOLUCIÓN.	34

	viii
1.4.2. EXACTITUD Y REPETIBILIDAD.....	35
1.4.3. TRAZABILIDAD Y CALIBRACIÓN.....	36
1.4.2. CONTROL DE EQUIPOS DE MEDICIÓN Y PRUEBA.....	38
1.4.3. SISTEMA DE CONFIRMACIÓN METROLÓGICA.....	41
1.5. EFICIENCIA DE UNA CALDERA.....	42
2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	44
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	44
2.2. TIPO DE ESTUDIO	45
2.3. FORMATO DE LAS ENTREVISTAS	48
3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
3.1. DEFINICIÓN DE LAS MAGNITUDES INVOLUCRADAS	54
3.1.1. PRESIÓN.....	57
3.1.2. TEMPERATURA	58
3.1.3. FLUJO O CAUDAL	59
3.1.4. CONCENTRACIÓN DE GASES DE ESCAPE	60
3.1.5. POTENCIA.....	61
3.1.6. FLUJO MÁSIKO.....	62
3.2. DEFINICIÓN INSTRUMENTOS UTILIZADOS Y SUS RANGOS DE MEDICIÓN.....	63
3.2.1. TERMÓMETRO LASER.....	63
3.2.2. CÁMARA TERMOGRÁFICA	65
3.2.3. CAUDALÍMETRO.....	69

	ix
3.2.4. ANALIZADOR DE GASES	73
3.2.5. TERMOPAR.....	76
3.2.6. SENSORES DE CALDERAS	79
3.3. RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS	81
3.4. CONDICIÓN REQUERIDA DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	
107	
4. PROPUESTA DE PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN AUDITORÍAS	
ENERGÉTICAS APLICADO A CALDERAS.....	111
SECCIÓN 1: VOCABULARIO TÉCNICO.....	112
SECCIÓN 2: SISTEMA DE CONFIRMACIÓN METROLÓGICA.....	115
SECCIÓN 3: GENERALIDAD EN UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA	
APLICADA A CALDERAS	122
SECCIÓN 4: INDICADORES PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA	
ENERGÉTICA EN UNA CALDERA.....	129
SECCIÓN 5: VERIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS.....	132
SECCIÓN 6: DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA	
CALDERA.....	136
CONCLUSIONES.....	143
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Calores específicos de diferentes gases de escape o humos	56
Tabla 2: Rango de medición de sensores	80
Tabla 3: Valores para el factor de riesgo, fr.....	116
Tabla 4: Unidades de medición de los indicadores	129
Tabla 5: Valores admisibles de CO ₂ y CO para calderas alimentadas por gas natural	130
Tabla 6: Porcentaje de exceso de aire en combustibles según su temperatura	130
Tabla 7: Temperatura de humos y agua.....	131

ÍNDICE DE FORMATOS

Formato 1: Recolección de datos para la Evaluación de consistencia	118
Formato 2: Informe de Inspección.....	121
Formato 3: Formato de protocolo para auditoría energética.....	125
Formato 4: Checklist para la evaluación de los instrumentos utilizados en la auditoría energética.....	133
Formato 5: Magnitudes a medir en la auditoría para cálculo de eficiencia por Método Directo.....	137
Formato 6: Magnitudes a medir para cálculo de pérdidas por calor sensible en humos	140
Formato 7: Medición de porcentaje de monóxido de carbono presente en gases de escape	141

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Calderas Industriales.....	16
Imagen 2: Calderas Piro tubulares vs Calderas Acuotubulares.....	18
Imagen 3: Partes de una caldera industrial	19
Imagen 4: Analizador de gases	22
Imagen 5: Lectura de análisis de combustión	23
Imagen 6: Escala de temperatura de humo.....	26
Imagen 7: Equipo de muestreo isocinético y sus partes.....	27
Imagen 8: Balanza analítica	30
Imagen 9: Termorresistencias	31
Imagen 10: Termómetro multicanal.....	31
Imagen 11: Representación de la presión de vapor mostrando la evaporación y condensación en la superficie de líquido	57
Imagen 12: Hogar de una caldera.....	58
Imagen 13: Composición general de gases de escape	61
Imagen 14: Termómetro laser	65
Imagen 15: Comparativa de elemento con su imagen termográfica.....	68
Imagen 16: Caudalímetro para flujo de agua.....	72
Imagen 17: Analizador de gases de escape o humos	75
Imagen 18: Diferentes modelos de termopares.....	78
Imagen 19: Sensor de llama, ubicado en quemador de caldera.....	81

Imagen 20: Elementos para realizar la Evaluación de Conformidad 119

INTRODUCCIÓN

Durante siglos, las calderas se han utilizado de diversas formas, desde calentar agua hasta producir vapor. Son equipos conocidos por su eficiencia energética y producción masiva de calor que tienen la capacidad de realizar diversos procesos, pero su principal utilidad es para la generación de vapor.

Dada la importancia de estos equipos, el presente trabajo de graduación tiene como objetivo principal, realizar un protocolo que beneficie a las industrias para poder obtener un estudio confiable de la energía que les permita alcanzar una mayor eficiencia y provecho de esta fuente de calor. Al considerar las auditorías energéticas que las empresas realizan a sus equipos se encuentra la necesidad de obtener datos precisos para que los resultados sean de beneficio.

La auditoría energética es una evaluación que realizan las empresas con el objetivo de estimar el consumo energético y el gasto que esto conlleva a la empresa, por lo que requieren resultados fiables para poder tomar acción. Puesto que lo más importante de la auditoría es poder proponer medidas de ahorro y de eficiencia energética, la preparación previa a la auditoría es indispensable en el sector industrial. Todos los resultados de la auditoría en calderas se basan en la toma de datos necesarios y recopilados por el auditor energético, siendo allí donde resalta la importancia de tener una evaluación previa de igual forma en los instrumentos utilizados.

Muchas veces se cree que los instrumentos de medición muy sofisticados no pueden fallar, sin embargo, a pesar de que en la actualidad ha habido mejoras en ciertas áreas, el problema es que todos pueden hacerlo e influir en los resultados de la medición. Y estos resultados, no solo pueden ocasionar fallas y

pérdidas económicas para las empresas, sino también pueden llegar a ser fallas catastróficas.

En el presente trabajo de graduación se elaborará una propuesta de un protocolo de medición para poder identificar y prevenir fallas que si bien es cierto no necesariamente ponen en riesgo vidas, si pueden llegar a ocasionar pérdidas a una empresa cuando, de modo contrario, se tiene la intención de poder obtener ganancia por medio de una reducción del uso de energía.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta de protocolo de medición en auditorías energéticas aplicada a calderas, involucrando la magnitud, el instrumento y el método en la realización de las mediciones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el proceso que conlleva en la generación y consumo de energía en calderas, identificando las magnitudes involucradas en este tipo de máquina térmica.
- Contrastar las magnitudes identificadas en el proceso de generación y consumo de energía de una caldera, con las variables incluidas en los indicadores utilizados en la auditoría energética para esta máquina térmica.
- Identificar instrumentos, rangos, métodos y normas aplicables con el fin de elaborar el sistema de confirmación y actividades que se van a realizar.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

Si bien es cierto que, desde sus inicios, el descubrimiento de que la energía se encuentra almacenada en diversas formas en la naturaleza ha proporcionado a la humanidad a lo largo de los tiempos, “almacenes energéticos naturales” como masas de agua, direcciones de viento o bosques, que aparentemente eran de libre disposición, junto con este descubrimiento de almacenes naturales, se ha ido provocando cambio al entorno y un agotamiento de los recursos del medio ambiente.

Así, el uso de la energía ha acarreado un efecto secundario de desertización, erosión y contaminación que ha generado múltiples problemáticas al medio ambiente y que cada vez se van acrecentando con el continuo uso de las energías.

La energía ha pasado a lo largo de la historia, de ser un instrumento al servicio del ser humano para satisfacer sus necesidades básicas, a ser la gran amenaza -motor y eje de la problemática ambiental- que se cierne sobre el planeta, hipotecando la existencia de las generaciones venideras.

Debido a esto a través de los años se han ido desarrollando medios por los cuales se pueda controlar el uso de la energía por parte de las industrias. Esto con el fin no solo de beneficios medio ambientales, sino también de beneficios económicos para las industrias al poder hacer uso de la energía de forma más eficiente.

Con el concepto de calentamiento global, se tomaron decisiones a nivel mundial como el Protocolo de Kyoto, un acuerdo internacional histórico

establecido en 1997 con el fin de reducir los gases de efecto invernadero. Además, empezaron a aparecer Directivas Europeas para solucionar la problemática de las energías y por lo tanto regular los tratados anteriores. Estas directivas y organizaciones se enfocaron en crear normas globales para el uso de estas energías, dando origen a las auditorías energéticas, por la necesidad de reducir el consumo y por lo tanto la demanda energética, así como a la necesidad de disminuir la dependencia del petróleo y la liberalización del mercado energético.

La auditoría energética se puede definir como una investigación integral de todos y cada uno de los aspectos, tanto técnicos como económicos, que afectan directa o bien de forma indirecta al consumo de las distintas energías en la industria, cuyo objetivo es establecer un conjunto racional de reformas o bien mejoras dirigidas a un uso adecuado de la energía.

Por lo tanto, en octubre de 2009 se emite la primera versión de la norma UNE 216501: Requisitos de las auditorías energéticas.

Esta norma establece los requisitos que debe tener una auditoría energética para que, realizada en distintos tipos de organización, pueda ser comparable y describa los puntos clave donde se puede influir para la mejora de la eficiencia energética, la promoción del ahorro energético y evitar emisiones de gases de efecto invernadero.

Esta norma se aplica a las auditorías energéticas que se realicen en cualquier tipo de industria u organización que utilice energía en cualquiera de sus formas, independientemente de su tamaño.

En El Salvador, en 2007, la Asamblea Legislativa aprobó la creación del Consejo Nacional de Energía (CNE). Y en el 2010 se creó la Política Energética Nacional (PEN) la cual busca “promover el ahorro y uso adecuado de los recursos energéticos, incentivando el uso de tecnologías más eficientes en el sector público, comercio, industria, servicios y transporte, a través de normativas, incentivos y promoción educativa del ahorro energético, buscando disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) tomando como punto de partida, las acciones de entidades públicas que sirvan como modelo y apoyando paralelamente todos los esfuerzos de los sectores académicos y gremiales (CNE, 2012)”.

En El Salvador, el Consejo Nacional de Calidad apoya al Organismo Salvadoreño de Normalización (OSN), Organismo Salvadoreño de Acreditación (OSA), Centro de Investigación de Metrología (CIM) y Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica (OSARTEC); en aspectos legales, administrativos, financieros, relaciones públicas y comunicaciones, recursos humanos y otras funciones requeridas para el efectivo cumplimiento de sus fines.

El OSN ha desarrollado normas en cuanto al uso de la energía y la medición de conformidad dentro de la industria, pero ninguna que asegure la confiabilidad de cualquier medición tomada durante esas evaluaciones, tampoco lineamientos que obligue a los entes u organizaciones designadas para dichos estudios técnicos a tomar en cuenta la condición de los instrumentos que se están utilizando.

Hoy en día, los estudios técnicos en la industria se realizan por empresas especializadas en el tema como lo son: Fundación Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML), Universidad José Simeón Cañas (UCA),

Universidad de El Salvador (UES); y han sido implementados proyectos en empresas privadas de diversos rubros, instituciones de gobierno como el Ministerio de Salud, Ministerio de Economía, entre otros.

El CNPML ha brindado asistencia técnica a instituciones bancarias como el Banco Agrícola, Banco Azul, Banco de Fomento Agropecuario, Caja de Crédito, entre otras; para el establecimiento de líneas de crédito para proyectos de Eficiencia Energética.

Al presente, estas instituciones y organismos siguen desarrollando y mejorando leyes para la aplicación de las auditorías por lo que se conoce que existen muchas áreas de mejora para poder obtener mayor eficiencia y beneficio para la empresa y para el país mismo.

1.2. NORMATIVIDAD

El Sistema Salvadoreño para la Calidad (SSC) nació el 21 de julio de 2011, con la aprobación de su correspondiente Ley de Creación por la Asamblea Legislativa. Dicha Ley se basa en las obligaciones que la Constitución de la República atribuye al Estado, de promover los recursos necesarios e indispensables para el control permanente de la calidad de los productos químicos, farmacéuticos y veterinarios, por medio de organismos de vigilancia, así como controlar la calidad de los productos alimenticios y las condiciones ambientales que puedan afectar la salud y el bienestar (Artículo 69). El SSC es la instancia nacional encargada de desarrollar, fortalecer y facilitar la cultura de calidad, promoviendo la competitividad de los productores, importadores,

exportadores y comercializadores en general, de bienes y servicios, para generar confianza en el intercambio de los mismos.

En consecuencia, la Ley dio paso al establecimiento del Consejo Nacional de Calidad, instancia que forma parte integral del Sistema, junto a cuatro Organismos técnicos, especializados en los temas de reglamentación, acreditación normalización y metrología, entidades públicas y privadas y la Oficina Administrativa (OAC). Uno de estos Organismos Técnicos es el Centro de Investigaciones de Metrología (CIM), que es el ente encargado de regular las actividades que abarcan la metrología en el país.

1.2.1. LEGISLACIÓN SOBRE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN

Antecedentes del CIM

El 21 de Julio de 2011 se aprobó el Decreto de Ley No. 790 y publicado en el Diario Oficial Tomo No. 392 del Viernes 26 de Agosto de 2011 No. 158, donde se ordena la Infraestructura de la Calidad (IC) en El Salvador creando al Organismo Salvadoreño de Normalización (OSN), al Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica (OSARTEC), al Organismo Salvadoreño de Acreditación (OSA) y al Centro de Investigaciones de Metrología (CIM), como entes rectores de la normalización, reglamentación, acreditación y metrología, respectivamente.

Esta restructuración obedeció, principalmente, a la necesidad de que los componentes de la IC pudieran obtener el Reconocimiento Internacional, ya que en el pasado estaba dispuesta de forma tal, que la estructura organizativa a la

que pertenecían no evidenciaba la independencia técnica, administrativa y financiera requerida.

Antes de la creación de la Ley SSC, era el Laboratorio Nacional de Metrología Legal (LNML) quien fungía como Instituto Nacional de Metrología de El Salvador y es quien se transformó al Centro de Investigaciones de Metrología.

El LNML formaba parte del Departamento de Normalización, Metrología y Certificación de la Calidad (NMCC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT. El LNML nace como una iniciativa de las Organizaciones No Gubernamentales Italianas RETE y GVC (Grupo Civil de Voluntariado, por sus siglas en italiano) a través del proyecto CE-ONG/1994/139CSR “Contribución para el desarrollo de Actividades Metrológicas de Normación y Control de Calidad en Guatemala, El Salvador y Nicaragua”, con financiamiento tripartito de la Unión Europea y la Universidad de El Salvador, así se construyeron dos laboratorios de metrología para brindar servicio de calibración, medición y pruebas de equipos, uno en Nicaragua y el otro en El Salvador con magnitudes físicas como masa, temperatura y volumen.

El LNML fue creado para dar cumplimiento a lo establecido en la Ley del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en lo relativo al control metrológico, la contrastación calibración y verificación de la calidad, debiendo asimismo ejecutarse acciones orientadas a la difusión, interpretación y aplicación del Sistema Internacional de Unidades (SI) fomentando y promoviendo la enseñanza de dicho sistema en todos los niveles educativos, propiciándose con todo ello la efectiva aplicación de la Ley del CONACYT, en lo que al rubro de metrología se refiere. Según consta en el Decreto Ejecutivo N° 106 publicado en el Diario Oficial del 31 de octubre de 1996.

El LNML inició con la prestación de servicios en sus instalaciones ubicadas en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, San Salvador, lugar donde actualmente sigue operando.

En el año 2006, y siempre con iniciativa de la Unión Europea, se empieza la elaboración de un nuevo marco legal que superara las deficiencias que tenía la IC en El Salvador para que cada uno de sus componentes lograra el reconocimiento internacional de acuerdo a los lineamientos y normas que los rigen de acuerdo a su propia naturaleza. Es así, como se firmó el Convenio de Financiación suscrito por la Unión Europea y la República de El Salvador: DCI/ALA/2009/019-903 el 1 de julio de 2010, que tiene a su base un refuerzo presupuestario de 12,5 millones de euros para los beneficiarios del programa PROCALIDAD, entre ellos, los cuatro organismos de la IC.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía.

Esta reglamentación ha sido actualizada por el Reino de España mediante el Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, que modifica determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios aprobado por el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio y modificado posteriormente por el Real Decreto 238/2015, de 5 de abril. La última actualización pretende contribuir al objetivo de mejora de la eficiencia energética

del PNIEC a través de la reducción del consumo de energía primaria en un 39,5% en 2030 y de energía final en 36.809,3 toneladas equivalentes de petróleo (Ktep)

Norma ISO 14253-1: 2019

La norma ISO 14253-1:2019 trata sobre inspección mediante medición de piezas y equipo de medición que incluye las reglas de decisión para probar conformidad o no conformidad con especificaciones, se usa como referencia en las más recientes revisiones de normas nacionales e internacionales aplicada a equipo de medición mediante enunciados tales como el siguiente: “para probar la conformidad o no conformidad con especificaciones, también aplica la Norma ISO 14253-1”.

Decreto No. 87. De la República de El Salvador.

Se decreta en base a tres consideraciones:

1. Convenio Legislativo No. 155 sobre Seguridad y Salud de los Trabajadores y Medio Ambiente de Trabajo el que establece en el Art. 12 medidas a tomarse en cuenta para que los equipos a utilizar no impliquen riesgo y hagan uso correcto de ellos.
2. Ley General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo, mismo que establece en su Art. 72, que todo empleador está obligado a darle mantenimiento adecuado a los generadores de vapor existentes en el lugar de trabajo.
3. Artículo de referencia en la Ley mencionada respecto a los aspectos técnicos relativos a la seguridad en la instalación, operación, inspección y mantenimiento de estos equipos que estarán regulados.

El decreto No. 87 firmado el 27 de abril de 2012, da forma al reglamento para la verificación del funcionamiento y mantenimiento de generadores de vapor, que tiene como objetivo complementar el marco legal de la Ley General de Prevención de Riesgos en Los lugares de Trabajo, en lo que respecta al mantenimiento y reparación de los generadores de vapor, con el siguiente contenido:

Capítulo 1: aplicaciones y definiciones.

Capítulo 2: condiciones requeridas para la instalación de generadores de vapor.

Sección 1: instalaciones

Sección 2: aparatos auxiliares, accesorios y tuberías.

Capítulo 3: peritaje.

Capítulo 4: obligaciones de los empleadores.

Capítulo 5: protección al medio ambiente.

Capítulo 6: sanciones.

Capítulo 7: disposiciones transitorias y finales.

Por lo tanto, como establece su Art. 72, respaldar la confiabilidad del estado por medio de un informe pericial en un equipo de generación de vapor como lo es la caldera es de suma importancia para la seguridad del mismo usuario y esta se puede obtener mediante la veracidad de los datos que se obtienen por medio de las mediciones de los instrumentos.

1.2.2. REQUISITOS DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PARA EQUIPOS DE MEDICIÓN

Los equipos de seguimiento y medición en los sistemas ISO 9001:2015

El estándar ISO 9001:2015 contiene los requisitos que se deben cumplir en el control de los equipos utilizados para realizar mediciones o efectuar el seguimiento de variables relativas al producto o al proceso. La mención al concepto de seguimiento se debe a que hay equipos que no se utilizan para obtener una magnitud de una variable, con propósitos de medición, sino para conocer el estado de algo, con el propósito de controlar el producto o proceso. Estos otros equipos también son susceptibles a “fallar”, y su conformidad se debe evaluar aplicando técnicas de la misma índole que con los equipos de medición (técnicas metrológicas).

Cuando se utiliza seguimiento o medición para evidenciar la conformidad de los productos y servicios con los requisitos especificados, la organización debe determinar los recursos necesarios para garantizar un control válido y fiable de la medición de los resultados.

De acuerdo con el apartado 7.1.5.1. Generalidades, de la norma ISO 9001:2015.

La organización debe asegurarse de que los recursos proporcionados:

- a) Son adecuados para el tipo específico de las actividades de seguimiento y medición que se llevan a cabo.
 - b) Se mantienen para asegurar su idoneidad continua conforme a su propósito.
- La norma indica que la organización debe asegurar la validez y fiabilidad de los

resultados, por lo tanto, ¿qué actividades de control exige ISO 9001:2015 para estos equipos?

- Calibrarse o verificarse a intervalos planificados y utilizar patrones trazables internacionalmente, o bien registrar la base utilizada para la verificación o calibración.
- Ajustarse o reajustarse cuando sea necesario.
- Identificarse para hacer posible la determinación de su estado de calibración.
- Protegerse contra cualquier tipo de daño.

Conceptos metrológicos y su aplicación en el sistema de gestión de calidad.

Todas las mediciones tienen errores, no son exactas. Se puede mejorar el sistema de medición utilizando equipos sofisticados, personal altamente cualificado y trabajar en las mejores condiciones ambientales, pero, aun así, nunca se sabrá exactamente cuál es el valor real de aquello que se mide. Lo que la ciencia metrológica sí puede decir es el «nivel de error» que puede esperarse en unas condiciones determinadas.

Las organizaciones pueden verificar o calibrar por sí mismas los dispositivos de seguimiento y medición, o subcontratar el servicio a laboratorios acreditados. Si se opta por la primera solución, la propia organización debe contar con los medios humanos y de infraestructura necesarios para ejecutar los procedimientos metrológicos. Entre los elementos necesarios se encuentran los patrones, cuyo cometido es servir de base para contrastar los resultados de los dispositivos de medición. Estos patrones tampoco son perfectos, y se deben

contrastar cada cierto tiempo con otros patrones de mayor nivel metrológico. La norma requiere que dicha contrastación se efectúe con patrones trazables internacionalmente.

Si no es posible realizar la trazabilidad de los patrones utilizados con otros de mayor nivel, por ejemplo, porque se ha diseñado el propio equipo de seguimiento y medición, y no existen procedimientos ni patrones desarrollados para comprobar su estado, entonces debe crearse el propio procedimiento de verificación o calibración, así como “la base utilizada para la verificación o calibración”.

La organización debe decidir la intensidad de los controles aplicados sobre cada equipo, y puede establecer sus propios procedimientos de verificación, manteniendo el rigor técnico necesario para asegurar que los equipos son capaces de cumplir su función, porque el objetivo es la conformidad del producto, no mantener un laboratorio de última generación.

Esto último va destinado a tranquilizar y orientar a la mayoría de las empresas, cuyos productos no tienen tolerancias demasiado exigentes. Si la empresa trabaja con tolerancias pequeñas (exigentes), entonces debe considerar la opción de subcontratar el control de estos equipos a laboratorios acreditados y prestar atención a las metodologías utilizadas para efectuar las mediciones.

Cuando la conformidad de un producto se haya determinado por un margen muy estrecho cobran importancia todos los aspectos que intervienen en la realización de las mediciones, desde el equipo de medida hasta la forma de medir. El conjunto de personas, equipos y procedimientos que hacen posible garantizar la validez de los controles de medición se denominan sistema de medición.

1.3. CALDERAS INDUSTRIALES

Las calderas industriales aparecen por primera vez a finales del siglo XIX y fueron, sin duda alguna, uno de los descubrimientos más relevantes de la historia reciente. Saber cómo funcionan es muy importante ya que éstas son máquinas ampliamente utilizadas en la mayoría de los procesos industriales.

Una caldera se cita como “un recipiente, por lo general metálico, que se utiliza para el calentamiento o la evaporación de agua u otro líquido o para la cocción de algo”. Pero se conoce comúnmente el concepto básico de lo que es una caldera. Al hablar de calderas industriales se reconoce que son dispositivos o equipos fabricados con el fin de que se produzca una generación de energía térmica por medio de una transformación de la energía que esté contenida en los combustibles por medio de una combustión. Estos equipos son elementos vitales dentro de la mayoría de las industrias ya que se utiliza el calor que genera por medio de vapor y en algunos otros procesos industriales. La imagen 1, corresponde a una fotografía de calderas industriales.



Imagen 1: Calderas Industriales

1.3.1. TIPOS DE CALDERAS

A través de los años las calderas industriales se han ido haciendo más conocidas y utilizadas dentro de la industria por lo que se han ido desarrollando mecanismos diferentes en las calderas con el fin de obtener beneficios diferentes según la necesidad de la industria. La cantidad de aplicaciones que existen hoy en día hace que haya diferentes tipos de calderas existentes. A continuación, se establecen sus diferentes tipos:

- Según el eje de simetría de la caldera
 - Caldera horizontal: estas calderas se caracterizan por tener una estructura horizontal, lo que las hace ideales para instalaciones con poco espacio disponible.
 - Caldera vertical: es un tipo de caldera colocada verticalmente, en lugar de adoptar la posición horizontal más común.
- Según el paso de los tubos de la caldera
 - Caldera pirotubular: son aquellas cuyos gases proceden de la combustión del propio combustible y circulan por el interior de los tubos. El combustible se quema en la cámara de combustión, en donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación. Los gases resultantes circulan a través de los tubos que forman el haz tubular donde tiene lugar el intercambio de calor. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos se expulsan al exterior a través de la chimenea.
 - Caldera acuotubular: en este tipo de calderas es el agua el que circula por el interior de los tubos de agua formando un circuito cerrado. Y su composición consta de una cámara de

combustión, tubos de agua y el refractario, lugar donde se produce la combustión.

En la imagen 2 se hace la comparación entre una caldera pirotubular y una acuotubular.

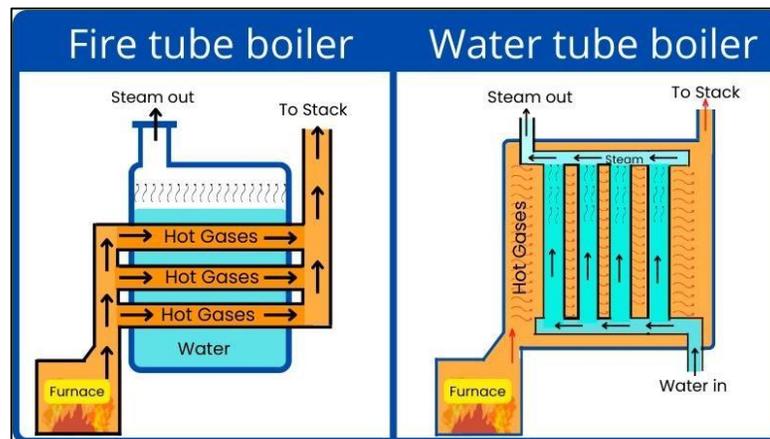


Imagen 2: Calderas Pirotubulares vs Calderas Acuotubulares

- Según el combustible que se usa
 - Gas.
 - Petróleo.
 - Combustible sólido.
- Según la presión de trabajo
 - Baja presión
Calderas que producen vapor a baja presión, hasta unos 4 o 5 kg/cm^2 (73 PSI)
 - Alta presión
Calderas que trabajan con presiones de 20 kg/cm^2 , hasta presiones cercanas a la crítica (3000 PSI)

- Según el método de circulación
 - Circulación natural: utilizan la diferencia de densidad entre el agua en la tubería descendente y la mezcla de vapor y agua en el tubo ascendente como fuerza impulsora para establecer un flujo circulante de fluido de trabajo
 - Circulación forzada: son una forma constructiva especial de las calderas de tubos de agua, en las que el sistema de presión está formado por un serpentín calentado a través del que se conduce el agua de alimentación mediante una bomba.

1.3.2. PARTES Y FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA

➤ Partes

Las calderas industriales son equipos capaces de producir calor al quemar combustible. Se trata de instrumentos térmicos que tienen como propósito convertir el agua o fluido en vapor por medio de quemar combustible. En la imagen 3 se aprecian las partes que componen una caldera.

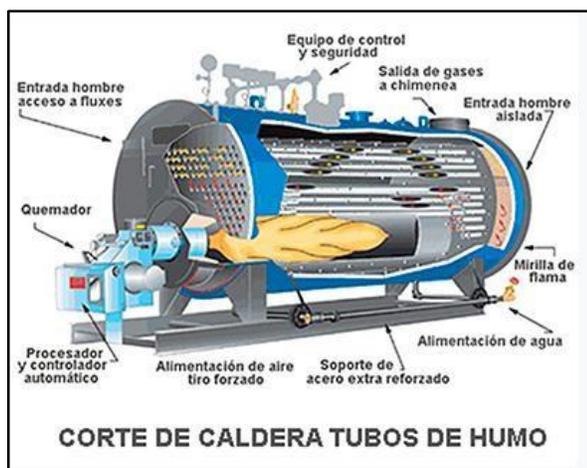


Imagen 3: Partes de una caldera industrial

Las diferentes partes que conforman una caldera industrial son:

- ✓ Quemador: es el responsable de quemar el combustible, los quemadores varían dependiendo del combustible que se utilizará en la caldera, pueden ser combustibles líquidos, de gas o sólidos.
- ✓ Cámara de combustión: es el espacio donde dicho combustible se lleva a la combustión por medio de ser quemado, en esta cámara se alcanzan las temperaturas más altas y que en ocasiones puede llegar a los 2000 °C.
- ✓ Intercambiador de calor: el intercambiador de calor es un componente que transfiere el calor producido por los quemadores al agua de la caldera.
- ✓ Circuito de humos: en este circuito se produce el intercambio de calor entre los gases y el agua. Este tiene dos funciones, la primera es conducir el humo producido en la combustión hacia la caja de humos y la segunda, se encarga de extraer la mayor cantidad posible de calor para luego cederla al agua.
- ✓ Caja de humos: es donde se unen todos los humos para ser enviados posteriormente hacia el exterior
- ✓ Controles: los controles del sistema permiten ajustar la temperatura del agua, el encendido, las mezclas de suministro de aire y combustible y la presión interna. También regulan cuándo y con qué frecuencia se enciende el quemador, la temperatura del agua, el ritmo de utilización del combustible y la calidad de la mezcla de combustible y oxígeno.
- ✓ Salida de agua: una vez el agua entra en la caldera y ha absorbido el calor es enviada de nuevo hacia la instalación por medio de esta salida.
- ✓ Circuito de agua: es donde circula el agua que se calienta al absorber el calor de las paredes que la contienen, siendo transmitido el calor, por radiación, conducción y convección.

➤ **Funcionamiento**

En cuanto a su funcionamiento, la caldera industrial es un sistema presurizado que utiliza un recipiente que contiene agua, la cual con la ayuda de una fuente de combustible generan calor latente. Luego ésta se transfiere a varias tuberías que se conectan a varios equipos industriales, con lo que se crea un sistema de calefacción.

La fuente de calor y los contenedores de agua se colocan en diferentes compartimentos. Las varillas de metal que se conectan al recipiente de agua ayudan en la producción de vapor, que se recoge en un domo para condensarlo antes de liberarlo de la caldera. Esto aumenta la presión y la energía producida ayuda a impulsar la producción.

1.4. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

A continuación, se listan algunos instrumentos que son útiles para medir las magnitudes involucradas en el cálculo de la eficiencia de una caldera.

➤ **Analizador de gases de la combustión**

En la imagen 4 se observan un analizador de gases y su interfaz de pantalla, los analizadores de gases se utilizan, principalmente, para tomar muestras de los gases que proceden de la combustión de una caldera, y que se evacuan a través de la chimenea. La medida se realiza a través de un orificio practicado en la chimenea, y que, en principio, todas las salas de calderas deben disponer de él.

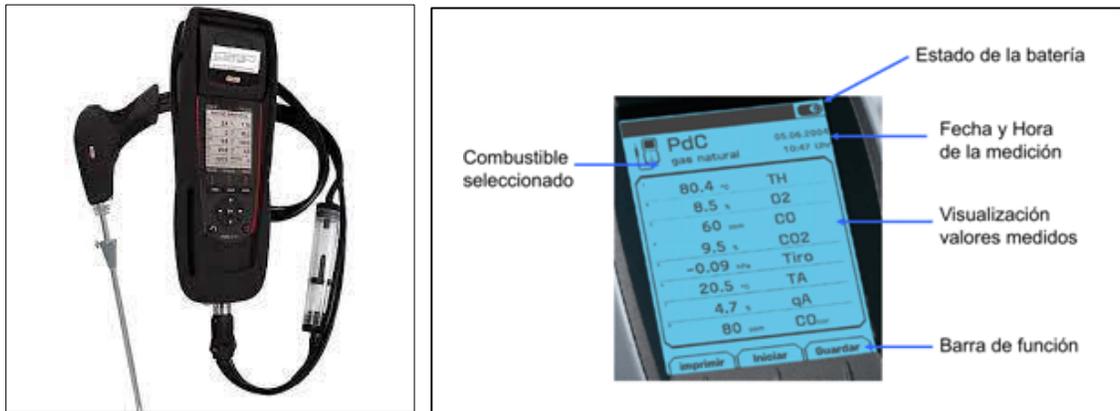


Imagen 4: Analizador de gases

La pantalla con que viene equipado el analizador de combustión presenta los resultados de medición que se obtienen

- CO₂: % en volumen
- O₂: % en volumen
- CO: partes por millón, ppm. (p.ej. 2000 ppm = 0.2%)
- Exceso de aire Rendimiento de la combustión: %
- Tiro en mbar (es la depresión que se origina en la base de la misma, como consecuencia de la diferencia de presiones creadas por los gases contenidos en ella)
- Temperatura ambiente y temperatura de humos en °C.

Son datos muy importantes a la hora de conocer cómo está funcionando la caldera y qué eficiencia tiene. Se muestra un ejemplo en la imagen 5 de una medición realizada en los gases de escape en una caldera y los diferentes valores que se obtienen:

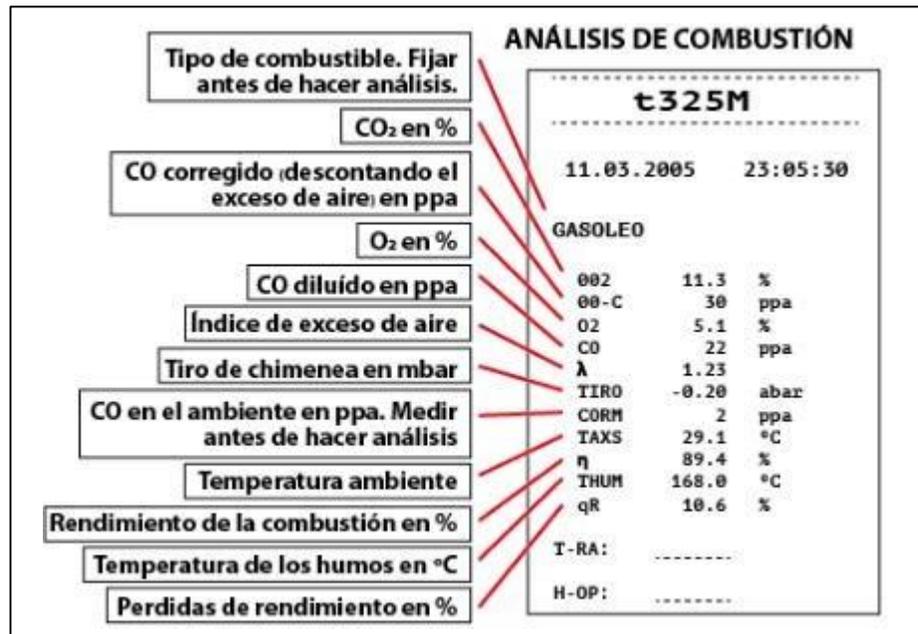


Imagen 5: Lectura de análisis de combustión

Interpretando los valores y datos recopilados:

- Tipo de Combustible: previamente a realizar la medición, se ha de fijar el tipo de combustible que utiliza la caldera.
- Dióxido de carbono (CO₂) en %
- El porcentaje de CO₂ está inversamente relacionado con la cantidad de oxígeno. La caldera necesita un porcentaje adecuado de oxígeno para realizar la combustión correctamente. Con un porcentaje de oxígeno muy alto el porcentaje de CO₂ bajaría, lo que indicaría combustión inadecuada.
- Porcentaje de dióxido de carbono (CO₂) con valores recomendados de 8 a 11% para gas natural y 11 a 14% para el gasóleo.
- En este caso, tenemos 11.3% de CO₂ para el gasóleo, con lo que el valor obtenido estaría dentro de los márgenes indicados.
- Monóxido de carbono (CO) corregido en ppm (partes por millón)

El monóxido de carbono es un gas venenoso al respirar, incoloro, inodoro y se origina de una combustión incompleta. En una concentración demasiado elevada, no permite que la sangre absorba oxígeno. Si, por ejemplo, el aire de una habitación contiene 700 ppm CO, una persona respirando durante 3 horas puede morir. El valor límite de monóxido diluido es de 500 ppm.

Valores superiores a 1000 ppm implicarían el precintado de la caldera por seguridad. Por lo tanto, es un dato muy importante relacionado con la seguridad de las personas, ya que se trata de monóxido de carbono no diluido en los productos de la combustión que en cantidades elevadas puede provocar mareos e incluso la muerte. El valor de la imagen 5 mostrado es de 30 ppm.

- Oxígeno (O₂) diluido en %

Parte del oxígeno disuelto en el aire se combina con el hidrógeno del combustible formando agua. Dependiendo de la temperatura de los gases de la combustión el agua se convierte en vapor o en condensados. El oxígeno restante, sirve para medir el rendimiento de la combustión, las pérdidas por chimenea y el contenido de dióxido de carbono (CO₂)

En las calderas de gasoil el contenido de O₂ debe estar entre el 2-5 % para una correcta combustión. En las calderas de gas el contenido de O₂ debe estar entre el 2-6% para una correcta combustión. Estos datos son promedio y se han obtenido en análisis previos. En este ejemplo de la imagen 5 se tiene un contenido de O₂ del 5.1% para gasóleo, considerándolo adecuado.

- Índice de exceso de aire (λ)

El índice de exceso de aire, es una ratio que relaciona el aire de la combustión con el teóricamente necesario. Un exceso de aire es necesario para que se produzca una correcta combustión, pero con valores elevados el rendimiento

disminuye. Para combustibles gaseosos se toan valores de referencia comprendidos entre el 1.1 y 1.15. Para combustibles líquidos, los valores de referencia para el índice de aire serán del 1.15 a 1.30. En el ejemplo de la imagen 5, el índice de exceso de aire es 1.23, adecuado para la combustión del gasóleo.

- Tiro de la chimenea en mbar

El tiro de la chimenea es el diferencial de presión originado por la diferencia de densidades entre el gas de la chimenea y el aire exterior. Debido a que la densidad de los gases residuales calientes es menor que la del aire frío externo, en la chimenea se crea un vacío parcial. Este tiro succiona el aire de la combustión y supera cualquier resistencia de la caldera o del tubo de gas. En calderas presurizadas, la ratio de presión en la chimenea puede despreciarse ya que en este caso el tiro forzado crea la presión necesaria para eliminar los gases residuales.

En calderas atmosféricas, el tiro suele estar entre -0.03 y -0.10 hPa y en calderas estancas entre 0.12 y 0.20 hPa.

En el ejemplo de la imagen 5 mostrado, se tiene un valor de -0.20 mbar (-0.20 hPa).

- CO en el ambiente

Para medir el monóxido de carbono en el ambiente, se realiza la medición con el equipo a la altura de la nariz, con la caldera a pleno rendimiento y durante un período aproximado de 5 minutos. Si se supera el valor de 50 ppm, los gases no efectúan bien su salida al exterior de la caldera, con el peligro que ello conlleva para la seguridad de las personas. En el ejemplo de la imagen 5 citado, 2 ppm es un valor adecuado no peligroso.

- Eficiencia de la combustión (η)

Es la relación entre la energía útil que suministra y la energía total absorbida. Siempre será menor que la unidad, salvo en calderas de condensación, y se expresa en tanto por ciento. Por lo tanto, el rendimiento aporta una idea de cuánto de eficiente es equipo o máquina sobre la que se está realizando la medición. En calderas muy antiguas o mal conservadas, la eficiencia será inferior al 85%. En calderas convencionales bien conservadas y mantenidas estará en torno al 90%. En calderas de baja temperatura en torno al 95%.

- Temperaturas de humos ($^{\circ}\text{C}$)

La temperatura de los humos depende de la tecnología de la caldera. En la imagen 6 se observa la escala de temperatura de humo, la caldera presenta una temperatura de humos de 167°C lo que podría indicar que es una caldera convencional atmosférica.

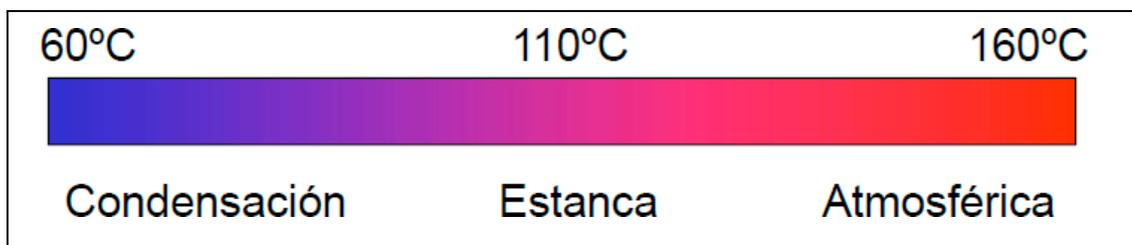


Imagen 6: Escala de temperatura de humo

- Pérdidas de los gases de combustión (q_A)

Las pérdidas en los gases de combustión son la diferencia entre el contenido calorífico de los gases de combustión y el contenido calorífico del aire de la combustión con relación al poder calorífico neto del combustible.

Por lo tanto, puede decirse que es una medida del contenido calorífico de los gases de la combustión evacuados a través de la chimenea. Cuanto mayor es este valor, más bajo es el rendimiento de la caldera

➤ Equipo de muestreo isocinético automático

En la imagen 7, se muestra un equipo de muestreo isocinético, este equipo determina con alta precisión velocidades, densidades y condiciones de un flujo contaminante, debido a que tiene integrado cuatro sensores de presión para medir diferencial de presión, estática y barométrica, así como también el flujo de masa.

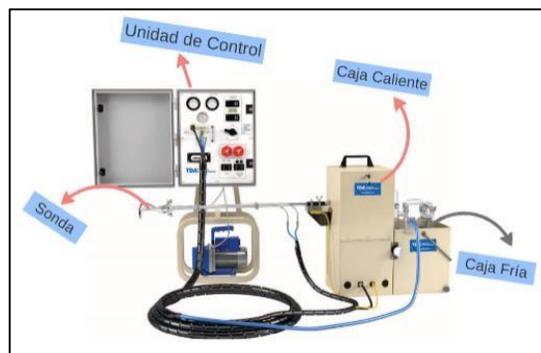


Imagen 7: Equipo de muestreo isocinético y sus partes

El instrumento está compuesto por dos unidades, una de control y otra de bombeo. El diseño permite al usuario tomar en el punto de muestreo solo la unidad de control ligera (6 kg) mientras que la más pesada (unidad de bomba) puede dejarse en el suelo.

El instrumento cuenta con una pantalla LCD a color con pantallas que informan cada uno de los datos esenciales para mantener la operación de muestreo bajo control. Es importante mencionar que las unidades de control y bombeo se conectan con un tubo de succión y un cable de alimentación.

¿Cuántos puntos de muestreo se necesita para una chimenea?

Ubicación de los puntos de muestreo. Para chimeneas con diámetros menores a 0.3 m, el sitio de muestreo se debe ubicar a ocho (8) diámetros corrientes abajo después de una perturbación y diez (10) diámetros corrientes arriba antes de la siguiente.

Aspectos claves que debe tener un equipo de muestreo isocinético para garantizar muestras de calidad

1. El equipo de muestreo isocinético debe contar con una biblioteca interna para almacenar toda la información relacionada a los tubos de pitot, el registro de alarmas, medidas de registro e informes de muestreo.
2. Confirmar con el proveedor la potencia de las bombas, su resistencia a la corrosión y su grado de trazabilidad con el fin de facilitar la operación del muestreo siguiendo los procedimientos de calidad.
3. En caso de que exista una falla de la bomba, la unidad de control debe poder funcionar con una unidad de bombeo de repuesto o con cualquier bomba capaz para suministrar el caudal necesario, permitiendo completar el trabajo sin la necesidad de enviar el instrumento a mantenimiento.
4. Un buen equipo de muestreo isocinético debe poseer una entrada adicional de termopares, termorreguladores para dispositivos calentados, presencia de agua sensor, tanque de recolección de agua y estuche de transporte la muestra automática isocinética dividida para evaluar los contaminantes en la emisión de pilas.

5. Se sugiere que la unidad de control en el equipo de muestreo isocinético automático esté separada de la bomba y que posean un sensor de agua incorporado para detectar la presencia de líquidos que pasan a través de la entrada para evitar problemas de polvo y corrosión internamente, los cuales afectan la calidad del muestreo.
6. Garantizar que la medición de la condición isocinética sea precisa y en tiempo real. Esto será posible si el equipo posee un medidor de flujo másico, el cual permite la corrección más rápida como resultado de una velocidad de flujo que ingresa a la boquilla asintótica con respecto a la velocidad del gas de la chimenea.
7. Debe ser un equipo fácil de usar y con posibilidad de integración a: ordenadores, teléfonos inteligentes y tabletas, de forma tal que se puedan descargar los datos de muestreo, calibración y trazabilidad a todos los sistemas operativos y ordenadores.

Todas estas características son aspectos claves de un equipo de muestreo isocinético automático que reducen el riesgo de comprometer la operación o perder datos, por lo que optar por esta opción dentro de su proceso industrial permite ahorrar dinero y tiempo gracias a que tiene un inicio más rápido.

➤ Las balanzas analíticas

Para la medición de material particulado, son instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático que utilizan la acción de la gravedad para determinación de la masa. Se compone de un único receptor de carga (plato) donde se deposita el objeto para medir. Una célula de carga mide la masa a partir de la fuerza (peso) ejercida por el cuerpo sobre el receptor de carga. Está provista

de una campana de medición para evitar corrientes de aire y ayude a la estabilización de la temperatura y de este modo llevar a cabo mediciones con resoluciones de hasta 1 μg . La balanza analítica suele ser un equipo de laboratorio y resultan equipos imprescindibles en operaciones químicas, analíticas y de formulación en industrias y en laboratorios de calidad. En la imagen 8 se muestra una balanza analítica.



Imagen 8: Balanza analítica

La temperatura del aire caliente a la salida del precalentador de aire se puede determinar con termorresistencias.

➤ Termorresistencias

Las termorresistencias son sensores de temperatura resistivos (en inglés se designan como RTD). En ellos se aprovecha el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones para que, ante un aumento de temperatura, haya un aumento de la resistencia eléctrica que presentan. En la imagen 9 se muestran un par de termorresistencias.



Imagen 9: Termorresistencias

➤ Termómetros Multicanal

Los termómetros multicanal como el que se muestra en la imagen 10, son instrumentos profesionales para medir temperaturas en distintos puntos simultáneamente. Para hacerlo, necesita tener conectadas al medidor tantas sondas como medidas en distintos puntos se necesiten hacer.



Imagen 10: Termómetro multicanal

Además de mostrar las lecturas de las temperaturas en la pantalla también disponen de funciones muy interesantes como la de guardar en memoria la temperatura mínima o máxima registrada o calcular automáticamente la diferencia de temperatura que hay entre las dos mediciones simultáneas.

1.4.1. METROLOGÍA EN CALDERAS INDUSTRIALES

La metrología en las calderas industriales se utiliza principalmente en la instrumentación y control para que estos equipos puedan producir el vapor o la energía necesaria y que de igual manera puedan satisfacer la demanda y a la vez, su combustión se produzca con la menor pérdida posible.

Los sistemas en los que se aplica la metrología en una caldera industrial son:

- ✓ Sistema de control y seguridad de presión y temperatura:

En la caldera es obligatorio tener los valores constantes de las magnitudes, controlar la presión máxima y es necesario tener los datos de la presión de trabajo

- Interior de la caldera, presión de seguridad (máxima).
- Interior de la caldera, presión de trabajo.
- Salida de vapor de la caldera

De igual manera dentro de este sistema la caldera cuenta con distintas zonas donde es recomendable tener control de la temperatura, como en los siguientes puntos:

- Entrada de agua al economizador.
- Salida de agua del economizador.
- Entrada de gases al economizador.
- Salida de gases del economizador.
- Interior de la caldera, temperatura del vapor.
- Salida de vapor de la caldera

✓ Sistema de control de nivel de agua.

El control de nivel de agua es obligatorio en dos niveles:

- Nivel bajo: en este nivel se permite actuar al sistema de alimentación de agua para recuperar el nivel de trabajo.
- Nivel muy bajo: este nivel del agua detiene principalmente la fuente de calor, pero de igual forma detiene la bomba si son calderas forzadas.

✓ Sistema de control de caudal.

La caldera cuenta con distintas zonas donde es recomendable tener un control del caudal como:

- Línea de alimentación de agua de la caldera.
- Salida de vapor de la caldera.

✓ Sistema de control de la calidad del agua.

La caldera debe mantener unos niveles de calidad del agua, la calidad del agua se puede medir con parámetros como:

- Conductividad: que presenta la cantidad de sólidos disueltos, concentración de minerales, que presenta el agua en la caldera.
- Muestras del agua para realizar un análisis en el laboratorio: los resultados obtenidos establecen si es necesario cambiar el tratamiento del agua previo a la entrada a la caldera y además, ayuda a configurar los periodos de apertura y entre apertura de la purga de lodos.

1.4.1. SENSIBILIDAD, UMBRAL DE MOVILIDAD Y RESOLUCIÓN.

- La sensibilidad de un instrumento de medida

Se relaciona con el valor mínimo de la cantidad de una magnitud, que es capaz de medir. Se admite generalmente que la sensibilidad, de un aparato de medida, es la división más pequeña de su escala de medida (resolución del aparato), algunas veces incluso se admite como sensibilidad la mitad de este valor. Como ejemplo, si un reloj digital marca el tiempo, en segundos, con dos cifras decimales, eso implica que su sensibilidad es 0.01 s, que es la cantidad más pequeña que puede apreciar. Un instrumento de medida es tanto más sensible cuanto más pequeña sea la cantidad que puede medir. La sensibilidad con que se fabrican los aparatos de medida depende de los fines a los que se destina. No tiene sentido fabricar una balanza que aprecie miligramos para que la use un panadero. La sensibilidad de un aparato de medida indica cuántas de las cifras de una medida son significativas.

- Umbral de movilidad

El umbral es la mínima desviación respecto del valor cero de la magnitud que se mide, que es apreciable en la respuesta del equipo. El umbral de movilidad puede depender, por ejemplo, del ruido (interno o externo) o de la fricción. Puede también depender del valor de la magnitud sujeta a medición y de la manera en la cual se aplica la variación.

- Resolución.

La resolución del instrumento de medición es la más pequeña unidad legible o límite de detección. Es una propiedad determinada por el diseño del instrumento de medición.

1.4.2. EXACTITUD Y REPETIBILIDAD.

- Exactitud.

Los instrumentos de medición son herramientas y aparatos que permiten expresar en valores numéricos alguna magnitud de la naturaleza, es decir, medir. Dichas mediciones, sin embargo, pueden contener cierto margen de error, atribuible a factores externos o contextuales: un termómetro siempre indicará la temperatura corporal, pero puede que lo haga con cierto margen de proximidad, o sea, que registre un valor cercano al real. En la medida en que dicho valor sea más parecido al real, puede decirse que es más o menos exacto, es decir, que posee mayor o menor exactitud.

Así, algunos instrumentos tienen mayores márgenes de error que otros, o sea, tienen mayor o menor exactitud. La exactitud en la medida como porcentaje de la lectura (%RD) se obtiene multiplicando ese mismo valor por el valor de la lectura que marque el instrumento ese instante.

- Repetibilidad

Es la variación causada por el dispositivo de medición; es la variación que se observa cuando el mismo operador mide la misma parte muchas veces, usando el mismo sistema de medición bajo las mismas condiciones.

Para valorar el grado de repetibilidad de una determinada medición, el investigador debe medir la misma característica, en el mismo individuo, al menos dos veces. La segunda medición, evidentemente, debe realizarse sin recordar ni comprobar cuál era el valor obtenido en la primera medición.

1.4.3. TRAZABILIDAD Y CALIBRACIÓN.

- Trazabilidad

El Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), en su 3ª edición, define el concepto de “Trazabilidad Metrológica” como:

“Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida”

Esta propiedad es uno de los pilares para que los resultados de medida sean comparables entre sí, independientemente del lugar y tiempo en que se hayan realizado, facilitando su aceptación universal y reduciendo las potenciales barreras técnicas al comercio.

Los laboratorios de calibración deben garantizar que los resultados de medida de sus servicios sean trazables metrológicamente y para ello es condición indispensable que sean técnicamente competentes. Esa trazabilidad algunas veces se ve cuestionada por los clientes o por terceras partes debido a la falta de entendimiento del concepto o a la dificultad de demostrar su competencia técnica. Este hecho suele conllevar exigencias documentales y evidencias, en ocasiones difíciles de satisfacer. Así, la dificultad para demostrar la trazabilidad de los resultados de medida puede llegar a convertirse en un obstáculo para la actividad del laboratorio de calibración.

Según la norma ISO 17025:2017, apartado 6.2.3: el laboratorio debe asegurarse que el personal tiene la competencia para realizar las actividades de

laboratorio de la cual es responsable y para evaluar la importancia de las desviaciones.

Por lo tanto, basándose en esta norma para que esa secuencia de calibraciones evidencie confianza y comparabilidad, cada una de las calibraciones debe haberse realizado:

- Por personal con la necesaria formación y cualificación técnica.
 - Según un procedimiento de calibración documentado, en donde se tomen en cuenta, entre otros, magnitudes de influencia y los condicionantes del medio donde se realiza la calibración.
 - Con instrumentos y patrones en correcto estado y vigencia de trazabilidad, calibración y mantenimiento. En general, las calibraciones de los patrones e instrumentos de medida estarán respaldadas por el propio laboratorio usuario de los instrumentos, que pueda demostrar su competencia técnica, su capacidad de medida y la trazabilidad metrológica de los resultados de medida que realizan.
 - De manera documentada, de forma que se aporte claramente toda la información necesaria para el seguimiento de la trazabilidad metrológica y la repetición de la calibración en las mismas condiciones, si fuese necesario.
- Calibración

Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento o sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada o material de referencia y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones. Significa utilizar un estándar de medición, para determinar la

relación entre el valor mostrado por el instrumento de medición y el valor verdadero. La confiabilidad de un instrumento de medición se puede garantizar al calibrarlo de acuerdo con un estándar de medición.

En múltiples ocasiones, infortunadamente las empresas no cuentan con un amplio o acertado conocimiento sobre el tema, por lo que al solicitar una calibración a un proveedor y al recibir los resultados, no se generan cambios ni mejoras en el uso de los equipos. Muchas de estas organizaciones realizan este proceso, solo por cumplir requisitos normativos ya que no interpretan correctamente el contenido del certificado de calibración para la toma de decisiones sobre los instrumentos de medición y su uso.

Consecuencias de no darle importancia a la calibración de los equipos de medición.

- Incertidumbre de buenos resultados: al no calibrar los equipos, no puede tenerse certeza de que los resultados de medición son confiables, ya que no hay validez de su estado de calibración.
- Pérdidas económicas: sin resultados confiables, no hay certeza de procedimientos adecuados lo cual puede generar costos extras debido a decisiones erróneas.

1.4.2. CONTROL DE EQUIPOS DE MEDICIÓN Y PRUEBA

El control metrológico es el conjunto de acciones administrativas y de técnicas destinadas a comprobar el funcionamiento de los equipos o sistemas de medida que puedan influir en la transparencia de los resultados, a continuación, se presentan los elementos básicos del sistema de control de dispositivos de seguimiento y medición:

➤ Inventario

Como todo elemento de infraestructura, el primer paso es inventariar; se debe hacer un listado de todos los equipos que se utilizan y una ficha (digital o impresa) para cada equipo. Asignar un código o identificación única a cada elemento, dicho código deberá estar físicamente sobre el elemento, o bien utilizar cualquier otro método que garantice su identificación fácil e inequívoca.

➤ Ficha de equipo

Describe todas las características que se consideren relevantes para cada equipo como, por ejemplo, marca, modelo, número de serie, magnitud que mide, rango de medición, etc., misma que puede estar en cualquier soporte medio, pero siempre debe estar asociada al equipo o equipos correspondientes.

➤ Controles a realizar

Determinar qué controles de verificación o calibración debe recibir cada equipo, puede incluir también esto en la ficha. Indicar qué se ha de hacer, quién lo ha de hacer (servicio externo o propio), qué procedimientos se han de utilizar para hacerlo (si el servicio es propio), y cada cuánto hay que efectuar los controles

➤ Determinar los criterios de conformidad

Ya se ha definido que no existe el equipo perfecto. En función del uso que se haga de cada equipo, se deben determinar los límites que separan un equipo conforme de otro que no lo es. El resultado de cada verificación o calibración debe ser analizado basándose en dicho criterio, se debe resolver si el equipo es apto o no para su uso previsto.

➤ Identificar y registrar el estado de los equipos

Para asegurar la conformidad del producto, hay que asegurarse de que los equipos de medición (o seguimiento) han sido declarados aptos dentro del sistema. A esto se refiere la norma ISO 9001:2015 en el apartado 7.1.5.2. Trazabilidad de las mediciones, cuando exige la identificación del estado de calibración. El método más extendido y sencillo para identificar el estado de calibración es añadir una etiqueta de conformidad o no conformidad a los equipos que han sido verificados o calibrados. En esta etiqueta se hace constar el código del dispositivo, la fecha de realización del último control, la fecha prevista para el próximo control, y la palabra APTO indicando que está en perfectas condiciones para su uso.

➤ Reacción frente a la detección de dispositivos no conformes

En este párrafo se encuentra uno de los requisitos que pasa más inadvertido, en especial para los auditores, pues raras veces suelen verificar su cumplimiento. La cuestión es la siguiente: ¿qué pasa cuando la organización detecta que un equipo no es conforme? Si el equipo no funciona bien, existe la probabilidad de que algunos productos verificados hayan sido dados por buenos cuando no lo son. La norma ISO 9001:2015 en el apartado 7.1.5. en este caso requiere que se realice una investigación, que se evalúe la validez de los resultados obtenidos con dichos equipos, que se registren los resultados de dicha evaluación, y se inicien las acciones apropiadas tanto con el equipo como con los productos que fueron verificados.

1.4.3. SISTEMA DE CONFIRMACIÓN METROLÓGICA

Un sistema de Confirmación Metrológica es el conjunto de operaciones necesarias para asegurar que el equipo de medición cumple con los requisitos para su uso previsto. Las etapas del proceso de confirmación metrológica son:

I. Calibración

La calibración es el procedimiento metrológico por medio del cual se compara un equipo de medición con un patrón de referencia determinando con suficiente exactitud el valor que posee dicho equipo. Este proceso es realizado por los laboratorios de calibración quienes entregan un certificado de calibración donde reportan los errores o correcciones y la incertidumbre de medición del equipo.

II. Verificación metrológica

La verificación metrológica es el procedimiento mediante el cual se interpretan los resultados obtenidos en el certificado de calibración para determinar si el equipo cumple o no cumple con los requisitos para los cuales la empresa lo tiene destinado.

Las actividades que se deben desarrollar para la realización de este procedimiento son:

- **Evaluación de Consistencia:** una evaluación de consistencia consta de un conjunto de actividades que permiten determinar las características metrológicas con las cuales debe cumplir un equipo de medición para que se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento.
- **Evaluación de Conformidad:** una evaluación de conformidad determina si un instrumento se encuentra conforme o no a los requisitos (requerimientos de medición) establecidos por la evaluación de

consistencia utilizando los datos (error e incertidumbre) proporcionados por el certificado de calibración.

III. Decisiones y acciones

Las decisiones y acciones son todas aquellas actividades que se deben realizar una vez se conoce el resultado de la evaluación de conformidad del equipo de medición. Cuando dicho equipo no se encuentra conforme con las especificaciones establecidas, es necesario actuar sobre sus características por medio de los procedimientos de ajuste, reparación o mantenimiento.

1.5. EFICIENCIA DE UNA CALDERA

La eficiencia de la caldera de gas natural, por ejemplo, es el resultado de la suma de las eficiencias de diferentes componentes de una caldera. Una caldera tiene muchos subsistemas cuya eficiencia afecta al rendimiento general de la caldera. Para ser una caldera eficiente existen un par de eficiencias destacadas: la combustión y la térmica, las cuales se determinan de las siguientes ecuaciones:

- 1) Eficiencia de combustión.

$$\eta_c = 100 - \frac{\textit{Pérdidas por chimenea}}{\textit{Poder Calorífico del combustible}} \times 100 \quad \textit{Ec. 1}$$

- 2) Eficiencia térmica.

Se ve influida de manera directa por el rendimiento del intercambiador de calor de la caldera que transfiere la energía térmica de la chimenea al lado del agua.

$$\eta_{Ter} = \frac{m_v(h_2 - h_1)}{m_{comb}PC} \times 100 \quad Ec. 2$$

Donde:

H_{Ter} = Eficiencia térmica (%)

m_v = Masa del vapor formado (kg)

h_2 = Entalpía específica del vapor formado (kJ/kg)

h_1 = Entalpía específica del agua de alimentación (kJ/kg)

m_{comb} = Masa de combustible (kg)

PC = Poder calorífico del combustible (kJ/kg)

Hay que tener en cuenta que la eficiencia térmica se ve gravemente afectada por la formación de hollín en los tubos de la caldera.

Otros factores

La eficiencia general de la caldera depende de muchos más parámetros, aparte de la combustión y la eficiencia térmica, tales como medición del flujo de gases secos y de la emisión de material particulado efluente por chimenea, muestreo de partículas, cantidad de material particulado, temperatura del aire caliente a la salida del precalentador de aire. Estos otros parámetros incluyen pérdidas de encendido-apagado, pérdidas de radiación, pérdidas por convección, pérdidas de soplado, etc.

2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Como objetivo principal se tiene el poder elaborar una propuesta de protocolo de medición en auditoría energética aplicada a calderas, con el fin de abordar todos los aspectos importantes en un orden que reduzca errores y facilite la comprensión de los datos que se vayan recopilando a lo largo del proceso del estudio energético. Mediante las entrevistas determinar cuáles son los pasos para considerar en un protocolo de medición.

2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Inventario y caracterización de calderas en El Salvador por el Consejo Nacional de la Energía (CNE).

Se hará la revisión de este inventario ya que proporciona un recuento de las calderas registradas en el país, describiendo los diferentes tipos de combustible, balances energéticos, entre otros datos, adicionando un formato de recolección de datos para eficiencia energética de calderas que servirá de base en el estudio a desarrollar.

- Norma ISO 50001:2018 Sistema de Gestión de la Energía e ISO 50002:2014 Auditorías Energéticas

Se toman de base para estudiar los requisitos que debe poseer un sistema de gestión energética y el proceso para llevar a cabo una auditoría energética.

- Entrevistas

Se realizarán entrevistas a técnicos, auditores y especialistas con conocimientos en el área de las calderas y auditorías energéticas, realizadas en el transcurso de la investigación, para obtener así un punto más claro de partida. De igual forma reglamentos que se utilicen para la operación de

generadores de vapor y como que normativas se requieren para llevar a cabo estas auditorías.

- **Análisis**

Se hará un análisis de las respuestas obtenidas en las entrevistas para poder determinar el conocimiento que existe sobre la importancia y utilidad de un protocolo de medición y poder identificar las áreas débiles del mismo.

2.2. TIPO DE ESTUDIO

A lo largo de la investigación, se ha podido determinar que en el país a pesar de que, si se realizan auditorías energéticas, es muy probable que ninguna de ellas esté especialmente dirigida a calderas, al igual que no se cuente con muchas investigaciones previas a dicho tema o documentación existente al respecto por lo que se pretende desarrollar un estudio exploratorio, no buscando comprobar hipótesis previas sino iniciar una hipótesis de partida.

HIPOTESIS

Para este estudio se comenzará abordando la siguiente hipótesis:

- No existe un protocolo que permita garantizar la condición de los instrumentos para obtener mediciones fiables durante el desarrollo de una auditoría energética de calderas.

MUESTRA

El estudio se desarrollará en un muestreo estimado de 10 personas, ya que para el tema de estudio es de gran importancia seleccionar personas que tengan conocimiento en cuanto al manejo y función de instrumentos de medición,

unidades de medida, equipos de calderas, etc.; al igual que conocimiento de vocabulario técnico.

HERRAMIENTA DE ESTUDIO

Se diseñarán dos tipos de entrevistas. La primera será diseñada para personal técnico/operacional de calderas. Estas personas no necesitan contar con un nivel de estudio técnico, pero sí conocer y tener experiencia, es decir que el estudio se puede basar en personal que por experiencia de trabajo conozcan del tema y uso de equipos de medición, vocabulario técnico, parámetros de operación de una caldera, usos de las calderas, etc., sin necesidad de contar con una certificación del tema ya que se conoce que acá en el país la mayor parte de los conocimientos adquiridos se hace empíricamente y no por una estudio formal.

La segunda entrevista será diseñada con preguntas dirigidas a personas que estrictamente han participado o estado presente en el desarrollo de una auditoría energética o que a tengan conocimiento sobre calderas en cuanto a la operación, mediciones e indicadores para la determinación de eficiencia.

DESARROLLO

Ya que el estudio lo permite, los canales por los cuales se llevarán a cabo las entrevistas serán virtuales, por medio de video llamadas respaldándolo con su respectiva grabación y también vía correo electrónico, en el caso de las personas que no cuentan con disponibilidad de realizar la sesión en línea.

- El desarrollo de toma de información para las sesiones de videollamadas será de la siguiente manera: se dará inicio a la sesión presentando una introducción por uno de los miembros del grupo de trabajo para dar el contexto del objetivo principal del estudio. Previo a eso, ya se habrá

escogido la encuesta a utilizar conociendo la categoría de la persona invitada.

Se procederá a dar inicio a las preguntas y escuchar las repuestas que el invitado otorgará las cuales al tener la oportunidad se tratará de profundizar.

Al haber culminado la sesión, en conjunto con el grupo de trabajo se hará una revisión de la grabación y se transcribirán de manera ordenada las respuestas al material de trabajo para posteriormente ser analizadas

- El desarrollo para la toma de información por medio de correo electrónico será de la siguiente manera: ya que la entrevista también estará dirigida a personal técnico, existe la limitante de que estos disponen de horarios rotativos lo que dificulta la coordinación de una sesión de videollamada, por lo que se optará por compartir el material en un documento editable para que sea completado en el horario que tenga disponible.

Al recibir las respuestas, se revisarán con el grupo de trabajo para poder ser analizadas en conjunto con las obtenidas en las sesiones virtuales.

El objetivo de los datos obtenidos será poder extraer la información necesaria para utilizarlas como base en el diseño del protocolo, tomando en cuenta el grado de dominio de conceptos, tipos de mediciones que se realizan, bajo qué condiciones utilizan los instrumentos de mediciones, entre otros aspectos que posteriormente serán descritos en los formatos de entrevista y en el protocolo diseñado que será presentado como parte en el capítulo 4 del presente trabajo.

2.3. FORMATO DE LAS ENTREVISTAS

a. Entrevista a Técnico de Calderas

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
N° ENTREVISTA	FECHA:
<p>Objetivo: recopilar información referente al conocimiento que un técnico de calderas tiene en cuanto al equipo que manipula y los equipos metrológicos utilizados, con el fin de abordar las deficiencias que puedan afectar una auditoría energética.</p>	

Nombre: _____

Cargo que desempeña: _____

1. ¿Qué tipo de calderas utilizan ustedes?
2. ¿Qué capacidades se manejan en las calderas que operan?
3. ¿Qué tipo de productos se fabrican en la empresa?
4. ¿Para qué procesos se utilizan estas calderas en la fabricación de los productos?
5. ¿Qué circunstancias podrían afectar el desempeño de las calderas?
6. ¿Participa usted de las auditorías energéticas?
7. ¿Cuál es su participación en estas auditorías?
8. ¿Qué datos se toman en las auditorías energéticas de una caldera?
9. ¿Qué variables son las que se controlan en cuanto a la operación de la caldera?

10. ¿Qué tipo de instrumentos utilizan para las inspecciones diarias en las calderas?
11. ¿Qué acciones se realizan a los instrumentos para asegurar confianza en los resultados obtenidos?
12. ¿Estos instrumentos se calibran frecuentemente?
13. ¿Tienen documentos o certificados de las últimas calibraciones realizadas a los instrumentos?
14. ¿Qué mantenimientos se le realizan a la caldera? ¿Con que frecuencia se realizan?

b. Entrevista para auditor

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
N° ENTREVISTA	FECHA:
<p>Objetivo: recopilar información referente al conocimiento que un auditor de eficiencia energética de calderas tiene en cuanto al mantenimiento, manipulación y almacenamiento de equipos de medición y cómo estos factores pueden afectar a la hora de los resultados, con el fin de abordar las deficiencias que puedan afectar a la auditoría.</p>	

Nombre: _____

Cargo que desempeña: _____

1. ¿Qué incluye una auditoría energética?
2. ¿Cuál es el proceso que llevan a cabo para las auditorías energéticas?
3. ¿Qué organización les respalda para las actividades de estas auditorías?
4. ¿Bajo qué normativas realizan las auditorías?
5. ¿Cómo se estructura su plan de trabajo para la auditoría?
6. ¿La calibración de los instrumentos se realiza por requerimiento de alguna normativa?
7. ¿Con qué frecuencia realizan la calibración y limpieza de los instrumentos?
8. ¿Qué tipo de instrumentos utilizan para realizar las auditorías energéticas?
9. ¿Qué factores externos podrían afectar a la medición?
10. ¿Qué cuidados se tiene hacia los instrumentos para evitar daños, para evitar lecturas erróneas y en qué estado están los instrumentos?
11. ¿Cuál es el margen de incertidumbre que toma en consideración en las mediciones?

12. ¿Cuántas mediciones se realizan para poder obtener una media de los resultados, para que sea un resultado más certero?
13. ¿Cómo identifican las mediciones a realizar en las auditorías? ¿Utilizan indicadores para este procedimiento? ¿Cuáles son los indicadores?
14. ¿Para qué magnitudes utiliza los instrumentos?
15. ¿Cuáles son los criterios para selección del instrumento de medición que utiliza en las auditorías?
16. En el caso de los instrumentos, ¿Son propios o de la organización a la que pertenece?
17. ¿Qué cuidados se provee a los instrumentos en materia de mantenimiento, verificación, calibración o ajuste?
18. ¿Hay proveedores de los servicios de mantenimiento, calibración, de los equipos e instrumentos de medición? ¿Cuáles son estas empresas encargadas?
19. En caso de calibrar, ¿Se hace en todo el rango de medición o en puntos específicos?
20. En caso de calibrar, ¿Se relaciona la información provista por el certificado de calibración en los resultados de las mediciones?

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En El Salvador, actualmente no se realizan de manera oficial auditorías energéticas o también llamados diagnósticos energéticos en calderas, es por eso que la información obtenida por medio de las entrevistas realizadas a los técnicos en calderas y al auditor de la Dirección Nacional de Energía, junto con la revisión del material bibliográfico, que para el caso es una norma española llamada Reglamento e Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), se determinan los siguientes tópicos que son base importante en la elaboración del Protocolo de Medición en Auditorías Energéticas Aplicado a calderas.

Según el Registro Nacional de Generadores de Vapor y Equipos sujetos a presión, para poder certificarse como auditor energético se necesitan los siguientes requerimientos:

- Ser mayor de edad y contar con título de ingeniero mecánico o industrial, emitido por una institución reconocida por el Ministerio de Educación de El Salvador.
- Tener al menos cinco años de experiencia en el campo de la auditoría, instalación, mantenimiento o supervisión de calderas.
- Contar con certificaciones o cursos de especialización en auditoría de calderas, emitidos por instituciones reconocidas o acreditadas.
- Estar registrado como auditor de calderas en el Registro Nacional de Calderas
- Cumplir con los requisitos establecidos en la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, que incluyen no tener antecedentes penales y ser solvente en cuanto a sus obligaciones tributarias y de seguridad social.

Para la elaboración del documento, se tomarán en cuenta los indicadores escritos en la sección 1.5 y en las respuestas de las entrevistas, utilizados para el rendimiento energético de una caldera y las magnitudes físicas que componen estos indicadores.

Hay dos métodos con el que se puede determinar la eficiencia energética en una caldera, dichos métodos se basan en estos indicadores relacionándolos mediante expresiones matemáticas, lo que resalta la importancia de las mediciones.

Los métodos son:

- a) Método Directo que utiliza indicadores que engloban magnitudes físicas involucradas con el calor aportado al agua y la relación de la cantidad de combustible utilizado con el poder calorífico del mismo.

- b) Método indirecto que se basa en establecer que aquel calor que se introduce con el combustible y no escapa con los humos por el conducto de evacuación o la chimenea, habrá sido captado por el agua.

En la práctica, el método indirecto suele ser el más utilizados ya que la toma de medida de las magnitudes involucradas se realiza de manera más sencilla y no destructiva en comparación con el Método Directo que solo se utiliza principalmente en laboratorios de acreditación.

3.1. DEFINICIÓN DE LAS MAGNITUDES INVOLUCRADAS

Como se mencionaba anteriormente, hay dos métodos para determinar la eficiencia energética en una caldera, el directo y el indirecto, se presentan a continuación las expresiones matemáticas que relacionan los indicadores utilizados.

➤ Método Directo

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{F \cdot PCI} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

η : rendimiento energético (%)

\dot{m} : caudal de agua en la caldera (kg/s)

C_p : calor específico del agua (kJ/kg °C)

ΔT : $T_s - T_e$ (°C)

T_s : temperatura del agua a la salida de la caldera (°C)

T_e : temperatura del agua a la entrada de la caldera (°C)

F : consumo de combustible (kg/h)

PCI : poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

➤ Método Indirecto

$$P_h = \frac{\dot{m} C_{pM} \Delta T}{F \cdot PCI} \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$P_h = \frac{V C_{PV} \Delta T}{F \cdot PCI} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Donde:

P_h : pérdidas en humos (%)

\dot{m} : caudal másico de los humos (kg/s)

V : volumen másico de los humos (m³/s)

C_{PM} : calor específico de los humos (kJ/kg °C)

C_{PV} : calor específico de los humos (kJ/m³ °C)

ΔT : $T_h - T_a$ (°C)

T_h : temperatura de los humos a la salida de la caldera (°C)

T_a : temperatura del aire ambiente de la sala de calderas (°C)

F : consumo de combustible (kg/h)

PCI : poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

En la tabla 1 se muestra el calor específico de los humos o gases de escape en función de la temperatura.

Tabla 1: Calores específicos de diferentes gases de escape

Calor específico de distintos gases de combustión (kJ/m ³ °C)					
Temperatura °C	O ₂	CO ₂	N ₂	H ₂ O	SO ₂
100	1,2156	1,7376	1,2742	1,5706	1,7414
200	1,2910	1,8389	1,2809	1,5811	1,7849
300	1,3408	1,9139	1,2931	1,5936	1,8276
400	1,3764	1,9741	0,8837	1,6079	1,8695
500	1,4036	2,0256	1,3115	1,6233	1,9101

- Pérdidas por inquemados

Estas pérdidas se determinan con la siguiente expresión:

$$P_i = \frac{PC_{CO}}{PCI} * CO \quad Ec. 3.4$$

Donde:

CO: es el contenido de monóxido de carbono (%)

PCco: es el poder calorífico del monóxido de carbono

PCI: poder calorífico del combustible

Estos dos últimos, deben estar en las mismas unidades.

En conclusión, el rendimiento energético de la caldera vendrá definido por la expresión:

$$\eta = 100 - (P_{RAD+CONV} + P_h + P_i) \quad Ec. 3.5$$

De esta forma, el rendimiento de combustión queda simplificado a la expresión:

$$\eta_{COMBUSTIÓN} = 100 - (P_h + P_i) \quad Ec. 3.6$$

Al conocer los indicadores que se relacionan en las expresiones matemáticas anteriores, se pueden definir las magnitudes físicas involucradas, tomando en cuenta su relación con los indicadores antes mencionados.

3.1.1. PRESIÓN

La presión indica un nivel de operatividad segura en la caldera, ya que, al tratarse de flujo de vapor de agua, puede resultar riesgoso para el operario, trabajar a niveles de presión muy elevados, también indica la funcionalidad y la eficiencia de ésta, ya que a través de dicha magnitud se puede determinar si se cumple con la demanda de vapor de agua en las líneas de producción o líneas abastecidas. Las unidades de medida más utilizadas son PSI (libras por pulgada cuadrada) y el BAR, aunque también se utiliza el kPa.

En una caldera hay diferentes parámetros que se definen por medio de esta magnitud, algunos de ellos son:

- Presión de vapor

Se define como la presión que ejerce la fase gaseosa o vapor sobre la fase líquida en un sistema cerrado a una temperatura determinada, mejor descrita en la imagen 11.

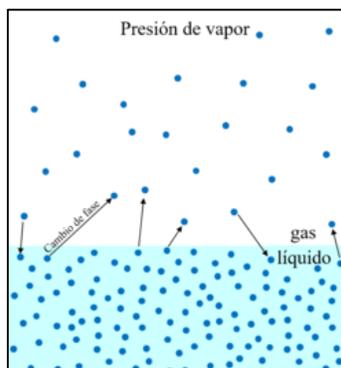


Imagen 11: Representación de la presión de vapor mostrando la evaporación y condensación en la superficie de líquido

- Presión en el hogar

Es la presión que es la generada por los gases de combustión en el hogar a una temperatura definida. La imagen 12 corresponde al típico hogar de la caldera.



Imagen 12: Hogar de una caldera

- Presión de descarga de las bombas de alimentación

Esta presión se utiliza para el monitoreo y control del agua de alimentación de un sistema de vapor o caldera.

3.1.2. TEMPERATURA

La temperatura es una magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro. Esta magnitud se involucra en los indicadores antes descritos ya sea por el Método Directo o el Método Indirecto, utilizándose en ambos casos como parámetro en la entrada y en la salida del sistema u objeto de estudio. Hay diferentes temperaturas que se monitorean en una caldera a razón de constatar la correcta operatividad del sistema:

- Temperatura de hogar.

Es la cantidad de calor que se genera en el hogar y si es idóneo para producir vapor a partir de un volumen de agua a una presión determinada.

- Temperatura de gases de combustión.

Es un parámetro muy importante, está ligado a la eficiencia energética de una caldera y la eficiencia de la combustión de ésta.

- Temperatura de vapor.

Las calderas, según su aplicación, requieren ya sea vapor saturado o sobrecalentado y por medio de esta magnitud se puede monitorear o controlar la temperatura del vapor que se está generando.

- Temperatura de agua de alimentación.

Es muy importante este parámetro, ya que el proceso de generación de vapor se agiliza según la temperatura de agua de alimentación que entra a la caldera.

3.1.3. FLUJO O CAUDAL

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Esta magnitud física se utiliza en el Método Indirecto para poder determinar la eficiencia energética de la caldera, que también se le conoce como flujo volumétrico. Los caudales más estudiados en una caldera son:

- Caudal de humos

Es el tipo de caudal que parametriza la cantidad de gases de escape por el ducto, se relaciona con los indicadores del Método Indirecto, ya que se deben determinar pérdidas de energía a través de los humos o gases de escape.

- Flujo o caudal de vapor.

El flujo de vapor es debido a la condensación del vapor, que provoca una caída de presión. Esto induce el flujo del vapor a través de las tuberías. El vapor generado en la caldera debe ser conducido a través de las tuberías hasta el punto en que se requiere esa energía calorífica.

- Flujo o caudal de aire forzado.

También llamados Tiro forzado, son ventiladores que se utilizan para presurizar el hogar de la caldera, con el fin de hacer una lograr una combustión eficiente que al final repercute en la eficiencia energética de la cadera.

- Flujo o caudal de agua de alimentación.

El agua de alimentación de la caldera se utiliza para producir vapor. La caldera recibe el agua de alimentación, que consiste en una proporción variable de agua condensada recuperada (agua de retorno) y agua fresca, la cual ha sido purificada en diversos grados.

3.1.4. CONCENTRACIÓN DE GASES DE ESCAPE

La eficiencia de combustión de una caldera es la indicación de la capacidad del quemador para quemar combustible. Los dos parámetros que determinan la eficiencia de combustión del quemador son las cantidades de combustible no quemadas en los gases de escape y los excesos de oxígeno en el escape.

A medida que aumenta la cantidad de exceso de aire, la cantidad de combustible no quemado en el escape disminuye.

También es importante analizar la concentración de dióxido de carbono en los gases de escape, entre otros gases para determinar qué tan eficiente es la

combustión y a partir de allí poder determinar la eficiencia energética del sistema. En la imagen 13 se muestra la gráfica de la composición de los gases de escape

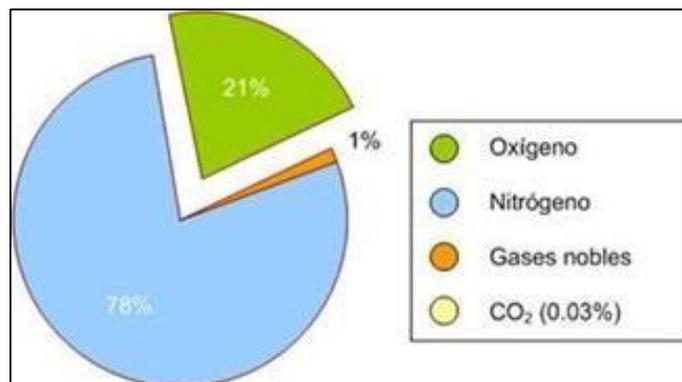


Imagen 13: Composición general de gases de escape

Cabe destacar que la concentración de gases de escape o humos, se involucran directamente con el Método Indirecto para determinar eficiencia energética de calderas, mediante los indicadores de pérdidas por humos, donde se puede apreciar la relación en la ecuación 3.2 y ecuación 3.3 de la concentración de un determinado tipo de gas de escape, por ejemplo, el dióxido de carbono. También se utilizan tablas de calores específicos de gases de escape que se han determinado experimentalmente.

3.1.5. POTENCIA

Muchas veces por costumbre se designa la potencia de una caldera en caballos de fuerza, lo cual es erróneo, pues una caldera no tiene fuerza motriz sino vapor, el que podría ser utilizado por una máquina que genere fuerza motriz. Según sea la máquina producirá mayor o menor potencia con la misma cantidad de vapor. La potencia de una caldera se puede expresar en cantidad de vapor generado en una hora. Desde luego, eso dependerá de la superficie total de calefacción. A mayor superficie de calefacción se tiene más vapor y, por lo tanto, mayor potencia. La potencia se mide normalmente en kilogramos de vapor

producido en una hora por metro cuadrado de superficie de calefacción (kVh/m²), kilocalorías por hora (kCal/h) o tonelada de vapor por hora (Ton/h) En la potencia de las calderas tiene influencia su diseño, construcción, instalación y manejo.

3.1.6. FLUJO MÁSIKO

El gasto másico, flujo másico o caudal másico es la magnitud física que expresa la variación de la masa con respecto al tiempo en un área específica. Esta magnitud se usa en ambos indicadores, Las unidades de medida en que se cuantifica el flujo másico son: kilogramos por hora (kg/h), toneladas por hora (t/h). Los flujos másicos involucrados en los indicadores son:

- Flujo másico de combustible

El consumo de una caldera industrial convencional está condicionado por el tipo de combustible que se queme (gas natural, propano, diésel, biogás), además de otros factores a tener en cuenta como son la presión y temperatura. Los combustibles más utilizados en calderas industriales son el gasoil, el gas natural, gas licuado de petróleo (GLP), el bunker, carbón mineral, biogás y biodiesel.

- Flujo másico de agua

Este tipo de flujo se relaciona directamente con los indicadores del Método Directo, ya que se evalúa el agua que pasa a través del sistema.

3.2. DEFINICIÓN DE INSTRUMENTOS UTILIZADOS Y SUS RANGOS DE MEDICIÓN

A continuación, se detallan los instrumentos mayormente utilizados para el control de la operatividad de las calderas, algunos de los aquí descritos también son utilizados durante la realización de las auditorías energéticas.

3.2.1. TERMÓMETRO LASER

La utilidad del termómetro láser en auditorías para calderas industriales reside en su capacidad para medir la temperatura de forma rápida y precisa, sin necesidad de contacto físico con la superficie. Esto es especialmente útil en auditorías de calderas industriales, donde las mediciones de temperatura son fundamentales para evaluar su eficiencia y funcionamiento.

El termómetro láser permite obtener mediciones instantáneas y no invasivas de la temperatura de diferentes partes de la caldera, como las tuberías, las válvulas y los tanques lo cual facilita la detección de posibles puntos calientes o fríos, que pueden indicar problemas de funcionamiento, como fugas de calor, falta de aislamiento o bloqueo de flujo.

Además, el uso del termómetro láser en auditorías para calderas industriales puede ayudar a identificar posibles problemas de desequilibrio en la distribución de calor, lo que permite ajustar los sistemas de calefacción y aumentar la eficiencia energética.

En resumen, el termómetro láser es una herramienta eficaz para llevar a cabo auditorías en calderas industriales, ya que proporciona mediciones rápidas y precisas de la temperatura, lo que permite detectar problemas de funcionamiento y mejorar la eficiencia energética.

Rangos de medición

De acuerdo a los modelos de termómetros utilizados en calderas industriales, cada uno presenta su rango de medición y magnitudes específicas. Algunos ejemplos de estos rangos y magnitudes son:

- Termómetro de bulbo húmedo: utilizado para medir la temperatura del aire o gases en la caldera. Su rango de medición suele ser de -10°C a 50°C y su magnitud es la temperatura expresada en grados Celsius.
- Termómetro de resistencia: utilizado para medir la temperatura de los fluidos en las tuberías de la caldera. Su rango de medición varía dependiendo del modelo, pero puede ser de -200°C a 850°C . Su magnitud es la temperatura expresada en grados Celsius.
- Termómetro de infrarrojos: utilizado para medir la temperatura de superficies o componentes de la caldera sin necesidad de contacto físico. Su rango de medición suele ser de -50°C a 500°C y su magnitud es la temperatura expresada en grados Celsius.
- Termómetro de gas: utilizado para medir la temperatura en el interior de la caldera. Su rango de medición puede ser muy amplio, desde temperaturas bajas hasta altas temperaturas superiores a los 1000°C . Su magnitud es la temperatura expresada en grados Celsius.

Cabe destacar que estos son solo algunos ejemplos y que sus rangos y magnitudes pueden variar dependiendo del modelo y tipo de caldera específico. También es importante tener en cuenta que el rango de medición exacto puede variar según diferentes factores, como la distancia desde la que se está realizando la medición, el tamaño del objeto que se está midiendo y las condiciones ambientales. La imagen 14 muestra un termómetro laser, el cual

puede ser uno de los instrumentos a utilizar y su uso debe ser de acuerdo a como lo indica el fabricante.



Imagen 14: Termómetro laser

Incertidumbre de un termómetro láser

Estudios muestran que la incertidumbre total en la calibración del sensor (a un intervalo de confianza del 95 %) se puede reducir de 0.185 °C a 0.034 °C.

3.2.2. CÁMARA TERMOGRÁFICA

Las cámaras termográficas son muy útiles en las auditorías de calderas industriales debido a las siguientes razones:

1. Identificación de puntos calientes: las cámaras termográficas pueden detectar y mostrar visualmente los puntos calientes en las calderas industriales. Esto es especialmente importante para identificar posibles problemas de sobrecalentamiento o fugas de calor en componentes clave como tuberías, intercambiadores de calor y refractarios.

2. Diagnóstico de problemas de eficiencia: las cámaras termográficas pueden ayudar a identificar áreas de pérdida de calor en las calderas industriales. Esto puede ser útil para evaluar la eficiencia energética de la caldera y diseñar estrategias para mejorar su rendimiento.
3. Inspección de seguridad: las cámaras termográficas también pueden utilizarse para detectar posibles puntos calientes causados por problemas de seguridad en las calderas industriales. Esto incluye la detección de fugas de gas o líquido inflamable, áreas de alta temperatura que puedan representar un riesgo de incendio o explosión, y fallas en los sistemas de protección contra incendios.
4. Planificación de mantenimiento: la utilización de cámaras termográficas en las auditorías de calderas industriales proporciona información valiosa para la planificación de programas de mantenimiento preventivo. La detección temprana de problemas potenciales permite tomar medidas correctivas antes de que se conviertan en fallas graves y costosas.

En resumen, las cámaras termográficas son herramientas muy útiles en las auditorías de calderas industriales, ya que permiten identificar puntos calientes, diagnosticar problemas de eficiencia, inspeccionar la seguridad y planificar el mantenimiento. Esto ayuda a mejorar el rendimiento de las calderas, reducir costos y asegurar la seguridad en el entorno industrial.

Rangos de medición

Una cámara termográfica puede variar dependiendo del modelo y la marca. Sin embargo, en general, los rangos típicos de medición de temperatura de una cámara termográfica son:

Rango de temperatura: suele ser de -20 grados Celsius (-4 grados Fahrenheit) o incluso inferior, lo que permite detectar y medir objetos con temperaturas bajas, hasta alrededor de 1200 grados Celsius (2192 grados Fahrenheit) o incluso superior. Esto permite realizar mediciones en objetos que emiten altas temperaturas, como maquinaria industrial, motores o sistemas de calefacción.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de rangos de medición y las magnitudes que pueden observarse mediante las cámaras termográficas:

- Rango de medición: -20°C a 250°C, magnitudes observadas:
 - Temperaturas de los gases de escape en la chimenea de la caldera.
 - Temperaturas de los componentes internos de la caldera, como quemadores o serpentines.
- Rango de medición: -40°C a 500°C, magnitudes observadas:
 - Temperaturas en los tubos de convección y radiación de la caldera.
 - Temperaturas en las áreas de mayor estrés térmico, como puntos de intercambio de calor o uniones soldadas.
- Rango de medición: -20°C a 1200°C, magnitudes observadas:
 - Temperaturas en la zona de combustión de la caldera.
 - Temperaturas del revestimiento refractario de la caldera.
 - Temperaturas de los gases de escape en diferentes ubicaciones de la caldera.

Es importante destacar que estos son solo ejemplos y que los rangos de medición y las magnitudes pueden variar dependiendo del modelo específico de la cámara termográfica y las necesidades particulares de la aplicación en las

calderas industriales. Además, es recomendable consultar las especificaciones técnicas y recomendaciones del fabricante de la cámara termográfica para garantizar un uso adecuado y seguro. En la imagen 15 a continuación se hace la comparativa de elementos con su imagen termográfica que muestra el rango de temperatura a la cual se encuentra operando el equipo.



Imagen 15: Comparativa de elemento con su imagen termográfica

Incertidumbre de una cámara termográfica

Bajo condiciones perfectas, las cámaras termográficas más precisas actualmente tendrán una incertidumbre de +/- 2% ó 2°C.

3.2.3. CAUDALÍMETRO

El caudalímetro es un dispositivo utilizado para medir el caudal o flujo de un fluido en una tubería. En el contexto de una auditoría para calderas industriales, puede ser útil en varias formas:

- **Medición del consumo de combustible:** el caudalímetro puede usarse para medir el caudal de combustible que se está suministrando a la caldera. Esto permite monitorear y controlar el consumo de combustible y calcular el rendimiento energético de la caldera.
- **Verificación del caudal de agua:** es importante asegurarse de que el caudal de agua que se está suministrando a la caldera sea el adecuado para una operación eficiente. El caudalímetro puede utilizarse para medir y verificar el flujo de agua y detectar posibles problemas de obstrucción o fugas en el sistema de tuberías.
- **Ajuste de la combustión:** el caudalímetro también puede utilizarse para ajustar la relación aire-combustible en la caldera. Al medir y controlar el caudal de aire y gas, se puede optimizar la combustión para reducir las emisiones contaminantes y maximizar la eficiencia del proceso.
- **Detección de pérdidas de aire y gas:** el caudalímetro es una herramienta útil para detectar posibles pérdidas de aire o gas en el sistema de combustión. Si se observa una disminución o fluctuación anormal en el caudal, puede indicar una fuga o una obstrucción en las tuberías o válvulas.

En resumen, permite medir y controlar el caudal de combustible, verificar el flujo de agua, ajustar la combustión y detectar posibles problemas en el sistema de tuberías. Esto ayuda a mejorar la eficiencia energética, reducir las emisiones contaminantes y garantizar un funcionamiento seguro de la caldera.

Rangos de medición

Generalmente estos dispositivos pueden medir caudales en el rango de 0.1 a 10 litros por minuto hasta varios miles de litros por minuto.

Algunos caudalímetros de baja gama pueden tener rangos de medición desde unos pocos mililitros por minuto hasta varios litros por minuto, mientras que los dispositivos de alta gama pueden tener rangos de medición de cientos de litros por minuto hasta miles de litros por minuto.

Algunos caudalímetros pueden tener diferentes rangos de medición basados en el tipo de fluido que se mida. Por ejemplo, un caudalímetro para agua puede tener un rango de medición diferente a un caudalímetro para gases o líquidos corrosivos.

Ejemplos:

- Caudalímetro tipo turbina: puede medir caudales desde 0.1 L/min hasta 10000 L/min. Las magnitudes medidas son el caudal volumétrico en L/min, el caudal másico en kg/min y el caudal volumétrico normalizado en Nm³/h. Es adecuado utilizarlo en la parte de salida de la caldera, después de la bomba de circulación del agua caliente. Esto permite medir de manera precisa el caudal de agua caliente que se está suministrando a la red de distribución.
- Caudalímetro electromagnético: tiene un rango de medición desde 0.1 L/min hasta 5000 L/min. Las magnitudes medidas son el caudal volumétrico en L/min y el caudal másico en kg/min.

Al igual que el caudalímetro tipo turbina, es adecuado utilizarlo en la salida de agua caliente de la caldera.

- Caudalímetro de presión diferencial: puede medir caudales desde 0.1 L/min hasta 5000 L/min. Las magnitudes medidas son el caudal volumétrico en L/min y el caudal másico en kg/min.

Se utiliza comúnmente en la parte de la caldera donde se mide el flujo de fluido. Esto puede ser en la entrada de agua de la caldera, en la salida de vapor de la caldera o en las tuberías de circulación de agua dentro de la caldera.

- Caudalímetro ultrasónico: tiene un rango de medición desde 1 L/min hasta 100000 L/min. Las magnitudes medidas son el caudal volumétrico en L/min y el caudal másico en kg/min.

El caudalímetro ultrasónico puede ser utilizado en diferentes partes de la caldera, dependiendo de la aplicación específica y los requisitos del sistema. Algunas de las ubicaciones típicas donde se puede utilizar un caudalímetro ultrasónico en una caldera incluyen:

-Medición del caudal de agua de alimentación: el caudalímetro ultrasónico puede instalarse en la tubería de entrada de agua dulce a la caldera para medir con precisión el caudal de agua que ingresa al sistema.

-Medición del caudal de combustible: en las calderas que utilizan combustibles líquidos o gaseosos, el caudalímetro ultrasónico puede instalarse en la línea de suministro de combustible para medir el caudal de combustible que se utiliza en el proceso de combustión.

-Medición del caudal de vapor: en algunas aplicaciones, el caudalímetro ultrasónico se coloca en la tubería de salida de vapor de la caldera para medir el caudal de vapor que se genera.

Es importante tener en cuenta que estos rangos y magnitudes son solo ejemplos y pueden variar según el modelo y fabricante del caudalímetro utilizado en cada caldera industrial, como el ejemplo que se muestra en la imagen 16. Además, es recomendable consultar las especificaciones técnicas del equipo para conocer el rango de medición exacto y las magnitudes disponibles.



Imagen 16: Caudalímetro para flujo de agua

Incertidumbre de un Caudalímetro

De acuerdo con el artículo publicado por “Vapor para la Industria” en diciembre 18 del 2019, se considera que:

Con un caudal indicado de 1000 kg/h, la incertidumbre del caudal real del caudalímetro está entre: $1000 - 3\% = 970$ kg/h y $1000 + 3\% = 1030$ kg/h.

Con un caudal indicado de 500 kg/h, el error sigue siendo del $\pm 3\%$, y la ‘incertidumbre’ está entre: 500 kg/h $- 3\% = 485$ kg/h y 500 kg/h $+ 3\% = 515$ kg/h.

3.2.4. ANALIZADOR DE GASES

Permite medir y analizar los gases de escape generados por la combustión en la caldera. Algunas de las utilidades más importantes son:

- Control de emisiones: con el analizador de gases se pueden medir y analizar los niveles de contaminantes presentes en los gases de escape, como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x). Esto permite verificar si la caldera cumple con las regulaciones ambientales y los límites de emisión establecidos.
- Evaluación de la eficiencia de la combustión: el analizador de gases permite conocer el porcentaje de oxígeno presente en los gases de escape. Una combustión eficiente requiere una cantidad de oxígeno adecuada, por lo que mediante este análisis se puede evaluar si la caldera está quemando el combustible de manera eficiente o si hay un exceso de oxígeno, lo que indica una ineficiencia energética.
- Diagnóstico de problemas operativos: los patrones de gases de escape anormales pueden indicar problemas en el funcionamiento de la caldera, como una combustión desequilibrada, obstrucciones en los conductos de escape, problemas de control de temperatura, entre otros. Esto permite identificar y corregir problemas operativos que pueden afectar la eficiencia y el rendimiento de la caldera.
- Optimización del rendimiento de la caldera: a través del análisis de los gases de escape, se pueden realizar ajustes en los parámetros de operación de la caldera para mejorar su rendimiento y eficiencia energética. Por ejemplo, se puede ajustar la relación aire-combustible para lograr una combustión más eficiente y reducir el consumo de combustible.

En resumen, el analizador de gases permite evaluar las emisiones, la eficiencia de la combustión y diagnosticar problemas operativos, lo que facilita la optimización del rendimiento y la reducción del impacto ambiental de dichos equipos.

Rango de medición

Se refiere a los límites dentro de los cuales puede medir con precisión los diferentes componentes gaseosos en una muestra. Los rangos de medición pueden variar según el tipo de analizador de gases y los gases específicos que se están analizando. Algunos rangos de medición comunes para diferentes gases son los siguientes:

Existen diferentes modelos de analizadores de gases utilizados en calderas industriales, y cada uno tiene un rango de medición específico para diferentes magnitudes. Algunos ejemplos son:

- Analizador de oxígeno (O_2): este analizador mide el contenido de oxígeno en los gases de combustión de la caldera. El rango de medición puede ser de 0% a 25% de oxígeno.
- Analizador de monóxido de carbono (CO): este analizador mide el contenido de CO en los gases de combustión. El rango de medición puede ser de 0 ppm a 500 ppm (partes por millón) de CO.
- Analizador de dióxido de carbono (CO_2): este analizador mide el contenido de CO_2 en los gases de combustión. El rango de medición puede ser de 0% a 25% de CO_2 .
- Analizador de óxidos de nitrógeno (NO_x): este analizador mide la concentración de óxidos de nitrógeno en los gases de combustión. El rango de medición puede ser de 0 ppm a 500 ppm de NO_x .

Es importante tener en cuenta que estos rangos son solo ejemplos y pueden variar dependiendo del modelo y fabricante del analizador de gases. Además, algunos analizadores de gases pueden tener rangos de medición mucho más amplios para ciertos gases, como, por ejemplo, en aplicaciones industriales donde se requiere una medición de concentraciones más altas. Es recomendable consultar las especificaciones del dispositivo específico para conocer los rangos de medición exactos. A continuación, la imagen 17 representa la imagen de un analizador de gases de humos.



Imagen 17: Analizador de gases de escape o Humos

Incertidumbre de un Analizador de Gases

De acuerdo con Combutec, distribuidores de los analizadores de gases marca Testo, se considera que las incertidumbres típicas de dichos instrumentos son:

- Medida de la temperatura de humos y aire
Incertidumbre: 1°C

- Medida de CO en humos
Incertidumbre: 5 ppm
- Medida de O₂ en humos
Incertidumbre: 0,2 Vol (%)
- Medida del rendimiento
Incertidumbre: 0,5%

3.2.5. TERMOPAR

El termopar es un dispositivo utilizado en auditorías de calderas industriales para medir la temperatura del sistema de combustión y ayudar a garantizar un funcionamiento eficiente y seguro. Algunas de las utilidades del termopar en este contexto incluyen:

- Monitoreo de la temperatura de combustión: el termopar se utiliza para medir la temperatura del sistema de combustión, lo que ayuda a garantizar que la temperatura se mantenga dentro de los rangos de funcionamiento seguros y óptimos. Esto es importante para maximizar la eficiencia de la caldera y evitar problemas como el sobrecalentamiento o la combustión deficiente.
- Detección de problemas de combustión: el termopar también puede ayudar a identificar problemas en el proceso de combustión, como una mezcla incorrecta de aire y combustible, una combustión incompleta o un exceso de emisiones. Al medir la temperatura de combustión, se pueden detectar irregularidades y tomar medidas correctivas para optimizar el proceso.

- Seguridad: el termopar es un componente crítico en sistemas de seguridad de calderas, ya que puede detectar situaciones como fallos de llama o apagados inesperados. Si la temperatura medida por el termopar cae por debajo de un umbral preestablecido, se puede activar un sistema de seguridad para detener la operación de la caldera y evitar posibles daños o accidentes.
- Mantenimiento preventivo: utilizar termopares en las auditorías de calderas industriales también puede ayudar en la planificación del mantenimiento preventivo. Al monitorear regularmente la temperatura de combustión, se pueden identificar tendencias o cambios anormales que pueden indicar un desgaste del equipo o la necesidad de ajustes o reparaciones.

En resumen, el termopar es una herramienta valiosa ya que proporciona una medición precisa de la temperatura de combustión y ayuda a garantizar un funcionamiento seguro, eficiente y confiable del sistema.

Rangos de medición

Algunos rangos comunes para diferentes tipos de termopares son:

- Termopar tipo K: -200 °C a +1350 °C
- Termopar tipo J: -210 °C a +760 °C
- Termopar tipo T: -200 °C a +400 °C
- Termopar tipo N: -200 °C a +1300 °C
- Termopar tipo E: -200 °C a +900 °C
- Termopar tipo R: 0 °C a +1600 °C
- Termopar tipo S: 0 °C a +1600 °C

Como se muestra en la imagen 18, un termopar puede variar en su forma física dependiendo del tipo aplicación requerida.



Imagen 18: Diferentes Modelos de Termopares

Estos rangos de medición indican las temperaturas mínimas y máximas que pueden ser medidas con precisión utilizando cada tipo de termopar. Además, es importante tener en cuenta que algunos termopares pueden ser más precisos en ciertos rangos de temperatura que en otros, por lo que es recomendable utilizar el termopar adecuado para la aplicación específica.

Incertidumbre de un termopar:

Según un estudio realizado por el National Institute of Standards and Technology (NIST) de Estados Unidos, la incertidumbre típica en la medición de temperatura con termopares puede variar entre $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ a $\pm 2,0^{\circ}\text{C}$, dependiendo del tipo de termopar y las condiciones de medición.

3.2.6. SENSORES DE CALDERAS

Los sensores en los motores de las calderas industriales tienen varias utilidades en las auditorías dirigidas a estas instalaciones. Algunas de ellas son las siguientes:

- Control de temperatura: los sensores de temperatura instalados en los motores permiten monitorizar la temperatura del equipo para asegurar que se mantenga dentro de los rangos establecidos y evitar sobrecalentamientos o fallos en el sistema de refrigeración.
- Detección de vibraciones anormales: los sensores de vibración pueden indicar si existe un desequilibrio en el motor de la caldera, lo cual puede ser un indicio de desgaste o de problemas en los rodamientos. La detección temprana de estas vibraciones anormales ayuda a prevenir posibles averías y a garantizar un funcionamiento óptimo del motor.
- Monitorización de la presión de aceite: los sensores de aceite en los motores de las calderas industriales permiten medir la presión del lubricante, lo cual es crucial para evitar daños en los componentes del motor debido a una lubricación insuficiente.
- Conteo de horas de funcionamiento: los sensores pueden registrar el tiempo de funcionamiento del motor, lo cual puede ser útil para programar tareas de mantenimiento preventivo o para evaluar el rendimiento y la eficiencia del equipo.
- Detección de fugas de combustible: los sensores de gases y de CO₂ pueden detectar la presencia de fugas de combustible en la caldera, lo cual es importante para garantizar la seguridad de la instalación y prevenir posibles incidentes.

En resumen, los sensores en los motores de las calderas industriales brindan información valiosa sobre el rendimiento, el estado y la seguridad de estos equipos, lo que permite identificar problemas potenciales, prevenir averías y mejorar la eficiencia energética. Estos datos son fundamentales durante una auditoría dirigida a calderas industriales para evaluar el cumplimiento de normativas, identificar áreas de mejora y optimizar la operación de la instalación.

Rangos de medición

A continuación, en la tabla 2, se presentan algunos ejemplos de rangos de medición de diferentes sensores utilizados en calderas industriales y sus magnitudes.

Tabla 2: Rango de medición de sensores

Tipo de Sensor	Rango de Medición	Unidad
Temperatura del agua	0-100	°C
Presión del vapor de agua	0-10	bar
Nivel de agua en la caldera	0-10	metros
Flujo de agua	0-500	Litros/min
PH del agua	0-14	pH
Oxígeno en los gases de combustión	0-25%	Concentración de oxígeno (%)
Monóxido de carbono en los gases de combustión	0-1000	Partes por millón (ppm)

La imagen 19 muestra uno de los diferentes puntos donde la caldera cuenta con sensores, en este caso en el quemador.

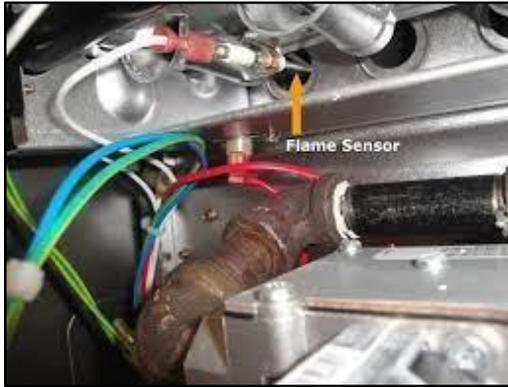


Imagen 19: Sensor de llama, ubicado en quemador de caldera

Incertidumbre de un sensor:

Incertidumbre de un sensor de presión de $\pm 1\%$ de la lectura. Sensor de humedad capacitivo de $\pm 2\%$ a $\pm 5\%$ de la lectura.

No hay una bibliografía específica o estudio en particular citado para valores de incertidumbre, ya que pueden variar dependiendo del fabricante del sensor.

3.3. RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS

De la muestra estimada de diez personas se obtuvo una colaboración de dos auditores y cuatro técnicos de lo cual la información proporcionada en las entrevistas se presenta a continuación:

➤ **Entrevista dirigida a:**

Ing. Mario Ángel Cáceres Rodas realizada el 19 de junio del 2023.

Experiencia: auditor energético.

1. ¿Qué incluye una auditoría energética?

Usualmente se le conoce como Diagnóstico Energético y suele dividirse en 3 categorías:

- I. Revisión Rápida**
- II. Mediciones de procesos, recopilación de información, toma de lecturas de procesos específicos y equipos**
- III. Jornadas de medición, entrevistas a operarios, uso de equipos especializados**

La auditoría Energética se divide en:

- a. Antecedentes: se incluye el sector a analizar, la actividad empresarial del sujeto sometido a análisis, el costo energético, etc.**
- b. Descripción de la empresa: el rubro de la empresa y la función del sistema analizar en la operatividad de la misma.**
- c. Descripción del proceso: se detalla el proceso lo mejor posible y se acota el sistema analizar (no se analizará toda la empresa, solo el**

sistema que es sujeto de análisis como calderas, sistema eléctrico, sistema de refrigeración, etc.).

- d. **Balance energético:** es la conclusión sobre el uso de la fuente de energía del sistema y la eficiencia que tiene el mismo en el consumo de la fuente o dicho de mejor manera, el gasto energético.
- e. **Medidas a ejecutar para mejorar la eficiencia energética:** estas deben ser con dimensión técnica y una valoración financiera de cuánto será la inversión para ejecutar dichas medidas y el rédito a obtener en el balance energético.

2. ¿Cuál es el proceso que llevan a cabo para las auditorías energéticas? **Se hace una etapa de planeación donde se determina el tiempo, personal y equipos requeridos en cada etapa (mencionadas en la pregunta anterior).**

3. ¿Qué organización les respalda para las actividades de estas auditorías? **Como máxima autoridad en El Salvador sobre temas de energía está la Dirección General de energía, que es quien se encarga de realizar los diagnósticos de eficiencia energética, pero no existe una organización que se encargue de supervisar una auditoría energética como tal.**

4. ¿Bajo qué normativas realizan las auditorías? **Hay normas como la ISO 50002 e ISO 50006 que en conjunto con protocolos de medición se pueden realizar las auditorías energéticas, además en El Salvador hay reglamentos que cumplir de carácter obligatorio sobre la mínima eficiencia energética o el máximo gasto energético que un equipo debe tener, caso contrario, el equipo no puede comercializarse.**

Para un equipo especializado, se puede apoyar en normas internacionales sobre la eficiencia energética del equipo.

5. ¿Cómo se estructura su plan de trabajo para la auditoría generalmente? **En la Auditoría Energética debe detallarse una etapa de planeamiento para planificación de las demás etapas, esta planificación debe contener generalmente:**

- **Tipo de información a conseguir**
- **Estimación de tiempo, equipos y personal requerido para el trabajo de campo**
- **Análisis y reporte con la información recopilada para elaborar un informe con todo lo recabado en la Auditoría Energética**

6. ¿La calibración de los instrumentos se realiza por requerimiento de alguna normativa? **Si, hay certificaciones de calibración, cada equipo tiene su protocolo, la calibración se hace únicamente por parte de laboratorios que estén certificados.**

7. ¿Con que frecuencia realizan la calibración y limpieza de los instrumentos? **Ésta está definida por el fabricante de cada instrumento.**

8. ¿Qué tipo de instrumentos utilizan para realizar mediciones en las auditorías energéticas?

- **Analizador de redes**
- **Termómetros láser**
- **Cámaras termográficas**
- **Caudalímetros**
- **Multímetros**
- **Analizador de gases**
- **Termopares**

Los equipos utilizados tienen la versatilidad de ajustarse a una unidad de medida.

9. ¿Qué factores externos podrían afectar a la medición? **Se condiciona al correcto uso o instalación, también al cuidado que se le dé durante la manipulación, aunque casi todos los equipos cuentan con certificaciones para trabajar en ambiente pesados.**

10. ¿Qué cuidados se tiene hacia los instrumentos para evitar daños, para evitar lecturas erróneas y en qué estado están los instrumentos? **Que éstos se usen en un ambiente adecuado según certificación de fabricante, por ejemplo, no se usaría un instrumento que no tenga certificación de protección contra humedad en un ambiente con humedad alta, la limpieza del equipo también influye, la correcta manipulación también, el rango de uso también está ya establecido por las certificaciones de fabricante.**

11. ¿Cuál es el margen de incertidumbre que toma en consideración en las mediciones? **No, ya que los instrumentos actualmente reúnen las condiciones necesarias para que las mediciones sean fidedignas, tomando en cuenta que sean utilizados de manera correcta.**

12. ¿Cuántas mediciones se realizan para poder obtener una media de los resultados, para que sea un resultado más certero? **Depende del sector a analizar, hay algunos que tienen mayor variación energética con respecto a otros según la hora del día o la temporada. Las mediciones se hacen cuando hay mayor demanda, no hay una regla general que determine algún criterio para que la auditoría energética sea efectiva en este aspecto.**

13. ¿Cómo identifican las mediciones a realizar en las auditorías? ¿utilizan indicadores para este procedimiento? ¿Cuáles son los indicadores? **Se utilizan indicadores de tiempo según tamaño de la empresa y tipo de auditoría energética a realizar. El indicador por excelencia es la intensidad energética: la cantidad de dinero invertido por kVA/hora para generar un bien o servicio por ejemplo o cuantos kilómetros por galón recorre un vehículo en el caso de una empresa de transporte.**

14. ¿Para qué magnitudes utiliza los instrumentos? **Generalmente potencia, presión, temperatura, caudal, voltaje, corriente.**

15. ¿Cuáles son los criterios para selección del instrumento de medición que utiliza en las auditorías? **Dependiendo del sector, no hay una regla general, se está sujeto a disponibilidad del equipo de medición (éstos deben tener certificados de calibración o que se calibren periódicamente para obtener resultados fidedignos).**

16. En el caso de los instrumentos, ¿Son propios o de la organización a la que pertenece? **Son de la institución o se alquilan según el tamaño del trabajo.**

17. ¿Qué cuidados se provee a los instrumentos en materia de mantenimiento, verificación, calibración o ajuste?

- **La instalación o uso correcto del equipo.**

- **El equipo debe tener al día sus calibraciones según fabricante.**

- **Si el equipo utiliza batería, que éstas estén cargadas y tener baterías de respaldo.**

- **Almacenamiento debe ser el adecuado.**

18. ¿Hay proveedores de los servicios de mantenimiento, calibración, de los equipos e instrumentos de medición? ¿Cuáles son estas empresas encargadas?

Si, éstos son los proveedores del equipo o instrumento de medición que también ofrecen soporte técnico; una de estas empresas es ElectroLab Medic (Distribuye la línea FLUKE).

19. En caso de calibrar, ¿Se hace en todo el rango de medición o en puntos específicos? **La calibración no la hace la institución.**

20. En caso de calibrar, ¿Se relaciona la información provista por el certificado de calibración en los resultados de las mediciones? **Como se mencionó anteriormente, cada equipo o instrumento debe llevar al día sus calibraciones según fabricante como requisito para ser utilizado.**

➤ **Entrevista dirigida a:**

Ing. Jaime Stanley Zepeda Quintanilla realizada el 1 de diciembre 2023.

Experiencia: périto de calderas.

1. ¿Qué incluye una auditoría energética? **Las auditorias consisten en buscar procesos eficientes que se mantengan respecto al tiempo o como lo que se conoce como mejora continua.**
2. ¿Cuál es el proceso que llevan a cabo para las auditorías energéticas? **Se conoce lo que la empresa requiere y ya con los conocimientos adquiridos por experiencia y manuales se saben los datos que se tomaran. Una vez se hace todo el proceso de la auditoria se presentan los datos a las empresas por medio de documentos con planos de la planta actual y con las mejoras que esta debería presentar para optimizar su rendimiento.**
3. ¿Qué organización les respalda para las actividades de estas auditorías? **Usted puede trabajar en calderas como jefe de mantenimiento que es uno de los rubros más fuertes que existen actualmente, entonces en base a la división que existe como gestores de mantenimiento se puede trabajar en calderas sin certificado, pero ya cuando se hacen especialistas, el que rige o está pendiente de que no se cometa un error grave ya que las calderas son de los equipos más peligros dentro de la industria, esto lo rige el Ministerio de Trabajo y Previsión Social de Riesgo en la sección 8 que es Seguridad Ocupacional. Ellos nos extienden la certificación que en mi caso es Inspector Autorizado en Calderas y Equipos Sujetos a Presión.**
4. ¿Bajo qué normativas realizan las auditorías? **Eso dependerá de la normativa que ocupan para operar la planta de la empresa que requiere la auditoría.**

5. ¿Cómo se estructura su plan de trabajo para la auditoría? **Consiste en el levantamiento total, planes de tuberías, detalles de subsistemas que se presentan con fotografías y una tesis al final con los resultados obtenidos en las mediciones. Se conoce como opera cada subsistema, conocer bastante la caldera, la historia, antecedentes de selección inicial, entre otras cosas.**

6. ¿La calibración de los instrumentos se realiza por requerimiento de alguna normativa? **Las calibraciones se realizan de acuerdo con la normativa que sigue el fabricante de los instrumentos. Depende de las normativas de la OSA, de la ISO en las cuales dice que la calibración de estos tipos de equipos se debe realizar a “x” frecuencia.**

7. ¿Con que frecuencia realizan la calibración y limpieza de los instrumentos? **De igual forma tanto los franceses como los alemanes siguen estas normativas. He tenido la oportunidad de trabajar con equipo alemán y siguen esta normativa ISO con calibración a un año.**

Usualmente la calibración la validan para el uso de ciertas horas al año. No es siempre debido a que el fabricante lo estipule si no que las empresas exigen la calibración de los instrumentos anualmente si no, no aceptan las mediciones.

8. ¿Qué tipo de instrumentos utilizan para realizar las auditorías energéticas?

-Analizador de Gases

- Cámaras termográficas

- Anemómetros

-Termómetros Infrarrojos

-Tester

-Termopar

-Medidores de Espesor

-Termómetros Analógicos.

9. ¿Qué factores externos podrían afectar a la medición?

-Que no esté purgado por ejemplo en el analizador de gases ya que éste genera condensado y si no se purga el equipo da malas mediciones.

-La posición que se coloca la sonda y a que distancia se coloca del diámetro la medición.

-Medio ambiente en el cual va a estar trabajando. Ya que tiene mucho que ver la eficiencia de la caldera el ambiente en el cual la caldera está trabajando.

-Con la pistola infrarroja depende del ángulo en que este posicionado y de donde se estará midiendo.

- Si se limpió donde se estará midiendo porque aún el polvo se vuelve un aislante.

-Anemómetro, como se pone la propela, si se analizó el sentido de flujo.

10. ¿Qué cuidados se tiene hacia los instrumentos para evitar daños, para evitar lecturas erróneas y en qué estado están los instrumentos?

-Por ser equipo electrónico, les quito la batería

-No golpear el equipo, todo equipo de medición que es bien preciso el golpe lo fatiga. Entre más preciso aún más se fatiga.

-Transporte apropiado.

-Caja original y protegido correctamente.

-Respetar las condiciones de trabajo por ejemplo la temperatura del ambiente en que se va a trabajar y la humedad, etc.

-Donde se monta no lo pongo en un panel de alta potencia porque el campo magnético puede dañar los microsensores.

-Quien lo ocupa tiene que conocer ese equipo y recibir una buena capacitación con el fabricante o estudiar muchísimo o estar al lado de alguien que ya sea más experimentado.

11. **¿Cuál es el margen de incertidumbre que toma en consideración en las mediciones? Es difícil determinar un margen de incertidumbre ya que cada vez que se mete el equipo se está desgastando y cada mantenimiento del equipo oscila entre \$2000 o \$3000. Entonces usar el equipo varias veces solo por tener buenas mediciones ya se piensa mejor. Al contrario, mejor esperar que el equipo se estabilice y tomas una medición para decir que se tiene una medición fidedigna y ya se compara con tu experiencia.**

12. **¿Cuántas mediciones se realizan para poder obtener una media de los resultados, para que sea un resultado más certero? Eso lo voy a hacer dependiendo de lo que quiero encontrar, por ejemplo, si se necesita comparar que presión es la mejor para trabajar y como voy a manejar la modulación de la caldera entonces se tratara la manera que la medición en todos los regímenes de fuego sea lo más apegado a la norma. Por lo que basado en eso tendríamos que hacer las mediciones punto a punto en diferentes momentos del día, en diferentes condiciones del tanque. Casi siempre se hace unas 15 mediciones para ver el comportamiento. Pero eso no se puede agarrar como un patrón porque dependerá de lo que se pide.**

13. **¿Cómo identifican las mediciones a realizar en las auditorías? ¿Utilizan indicadores para este procedimiento? ¿Cuáles son los indicadores? En primera instancia se trata de conocer manuales. Por ejemplo, en las calderas depende de las marcas por lo que uno ya las conoce y tiene las bibliotecas. Ya tiene uno datos de línea base. Por ejemplo, los rangos que podría oscilar las temperaturas y en base a eso ver la precisión con la que se está**

trabajando. Es mucho de experiencia y conocer el sistema completo y luego de irse a los libros y ver patrones de instalación. Los indicadores más importantes se podrían considerar la combustión, el oxígeno medido en la caldera que tiene que andar entre 3,5 a 5,5 si el oxígeno es muy bajo están perdiendo porque están consumiendo más combustible porque se está perdiendo el calor y desperdiciando el aire.

También se considera la presión a la que trabaja, nos vamos a ver las condiciones de vapor, vemos en curvas cuanto es la temperatura nominal del vapor y vemos en los puntos tomados para comparar como está el comportamiento.

Medir temperaturas reales del vapor en la distribución. No será igual un vapor a la salida de la caldera que 300 metros adelante, de allí se puede sacar el diferencial de temperatura para observar las pérdidas que presenta.

14. ¿Para qué magnitudes utiliza los instrumentos?

- Porcentaje de combustión
- Porcentaje de oxígeno
- Grados de temperatura

15. ¿Cuáles son los criterios para selección del instrumento de medición que utiliza en las auditorías? **Dependerá de lo que requiere la empresa y porque está haciendo la auditoria. Y es basado principalmente en la experiencia del que hace la auditoria.**

16. En el caso de los instrumentos, ¿Son propios o de la organización a la que pertenece? **Los equipos son propios de nosotros. Solo los medidores de flujo ya que cada medidor de flujo es como \$25000.**

17. ¿Qué cuidados se provee a los instrumentos en materia de mantenimiento, verificación, calibración o ajuste? **Se realiza las calibraciones anuales, si se**

necesita cambio de una pieza yo puedo proveer de la pieza o de ser necesario se envía al país fabricante para su debido mantenimiento.

18. ¿Hay proveedores de los servicios de mantenimiento, calibración, de los equipos e instrumentos de medición? ¿Cuáles son estas empresas encargadas? **En el tema de todos los equipos con los que yo trabajo, yo soy el representante de la marca Sauer mann aquí en el país. Hay otros representantes de otras marcas.**

Por lo que hay algunas cosas que las puedo solventar yo. Como por ejemplo un analizador de gases que yo vendí yo me quedo con el post-servicio. Ya de ser necesario yo lo mando para Estados Unidos o para Francia.

19. En caso de calibrar, ¿Se hace en todo el rango de medición o en puntos específicos? **La calibración la realizo yo, pero depende de la recomendación del fabricante o de ser necesario se envía a calibrar o a dar mantenimiento a otro país.**

20. En caso de calibrar, ¿Se relaciona la información provista por el certificado de calibración en los resultados de las mediciones? **La calibración la realizo yo, pero depende de la recomendación del fabricante o de ser necesario se envía a calibrar o a dar mantenimiento a otro país.**

Conclusiones de los Resultados de las Entrevistas a los Auditores

- Se hace mención de que no se cuenta con una organización oficial en el país que supervise el proceso de una auditoría energética, sin embargo, se apoyan en la Dirección General de Energía, quienes velan por la reducción de costos en la energía eléctrica del país, lo cual apoya al desarrollo de una hipótesis en cuanto a la deficiencia de verificación en el proceso de una auditoría energética.
- Las normas utilizadas para apoyo en el proceso de una auditoría energética son la ISO 50002 y 50006, las cuales se enfocan en un análisis del desempeño energético de una organización, equipo, sistema o proceso, con apoyo de otros protocolos o normas internacionales dependiendo el equipo en cuestión de análisis.
- Se observa conocimiento en el tema ya que se mencionan instrumentos y magnitudes anteriormente detalladas en el marco teórico y que se tomaran en cuenta para el protocolo del capítulo 4.
- Se hace mención que los instrumentos con los que cuentan son calibrados fuera de la institución, ya sea por el fabricante o una institución especializada en el equipo en cuestión.
- La calibración debe estar relacionada al uso que se le da al instrumento y otros factores como los cuidados por parte del personal. Usualmente la calibración la validan para el uso de ciertas horas de uso.

- Se menciona que no hay una regla general para repetir una medición, sin embargo, en general, se recomienda repetir las mediciones varias veces para obtener resultados más precisos y confiables. El número de repeticiones dependerá de factores como la variabilidad de los parámetros medidos, los recursos y tiempos disponibles, y la confianza deseada en los resultados. A menudo, se utiliza un enfoque estadístico para determinar el número óptimo de repeticiones en función de la precisión requerida.

➤ **Entrevista dirigida a:**

José Salmerón - Operador de Calderas

Experiencia: técnico en mantenimientos y operación de calderas en Industrias La Constanca.

1. ¿Qué tipo de calderas utilizan ustedes? **Ocupamos calderas pirotubulares.**
2. ¿Qué capacidades se manejan en las calderas que operan? **Son dos calderas de 300 bhp cada una.**
3. ¿Qué tipo de productos se fabrican en la empresa? **Producto alimenticio.**
4. ¿Para qué procesos se utilizan estas calderas en la fabricación de los productos? **Se ocupan para calentamiento de lavadoras, rinser, CIP (limpiezas en tuberías) y sanitización de filtros.**
5. ¿Qué circunstancias podrían afectar el desempeño de las calderas? **Falta de mantenimiento, bunker (combustible) de mala calidad, falta de alguna seguridad, mala operación de calderas pudiendo afectar partes internas y externas.**
6. ¿Participa usted de las auditorías energéticas? **Si, participamos evaluando los usos correctos de los combustibles.**
7. ¿Cuál es su participación en estas auditorías? **Verificamos que los equipos estén funcionando en óptimas condiciones ambientales y operativas.**
8. ¿Qué datos se toman en las auditorías energéticas de una caldera? **Niveles de oxígeno, eficiencia de la calderas y opacidad.**
9. ¿Qué variables son las que se controlan en cuanto a la operación de la caldera? **La mayoría de las mencionadas anteriormente, con la**

opacidad se ayuda en los mantenimientos que se le dan para que estén mejor.

10. ¿Qué tipo de instrumentos utilizan para las inspecciones diarias en las calderas? **Se verifican calentadores de bunker, que los termómetros estén en buenas condiciones, la seguridad de calderas, reguladores de entrada y salida, y también se utilizan manómetros y termómetros de estos parámetros para ver si está en buena condición la caldera de operación y además de eso cada 2 semanas se miden gases de combustión para ver si la regulación que se le ha hecho a la caldera está en buenas condiciones.**
11. ¿Qué acciones se realizan a los instrumentos para asegurar confianza en los resultados obtenidos? **Cuidados, mantenimiento, almacenamiento, etc. Tienen su plan de mantenimiento para dárselo cuando toque y también los planes de calibración de los distintos instrumentos de medición que se tiene en las calderas.**
12. ¿Estos instrumentos se calibran frecuentemente? **Sí, todos tienen un plan de calibración donde se le va dando seguimiento de acuerdo a su plan de calibración.**
13. ¿Tienen documentos o certificados de las últimas calibraciones realizadas a los instrumentos? **Si se tiene certificado de calibración de equipos y certificados ambientales que hace un proveedor externo (peritaje y emisiones).**
14. ¿Qué mantenimientos se le realizan a la caldera? ¿Con que frecuencia se realizan? **Se realiza una vez al año limpieza de tubos internos y revisión de lámparas, calibración de válvulas de seguridad, termómetros, manómetros, se da mantenimiento a sistema de**

calderas (MC Donnell), se da mantenimiento a sistema Honeywell que es el controlador de la caldera y también a las bombas de alimentación de agua y combustible.

➤ **Entrevista dirigida a:**

Jaime Rivas - técnico instrumentista

Experiencia: ajuste parámetros de calderas Unilever

1. ¿Qué tipo de calderas utilizan ustedes? **A lo largo de la experiencia en el campo se han visto más las calderas pirotubulares horizontales con circulación forzada.**
2. ¿Qué capacidades se manejan en las calderas que operan? **Calderas desde 50hp hasta 1200 hp**
3. ¿Qué tipo de productos se fabrican en la empresa? **Industria alimentaria, industria química y farmacéutica e industria metalúrgica.**
4. ¿Para qué procesos se utilizan estas calderas en la fabricación de los productos? **Producción de vapor, procesamiento de alimentos y tratamiento de agua.**
5. ¿Qué circunstancias podrían afectar el desempeño de las calderas? **Falta de mantenimiento, problemas de combustión, problemas de la calidad de agua y problemas en la combustión de gases de escape. Una de las circunstancias más comunes es el agua. Debe ser agua suave, que no contenga químicos que produzcan calcina; como también que el combustible que se esté utilizando sea el adecuado y que la caldera esté bien ajustada para que los gases de combustión sean los adecuados.**

6. ¿Participa usted de las auditorías energéticas? **Sí.**
7. ¿Cuál es su participación en estas auditorías? **Poca, participando como auditor de calderas en auditorías energéticas.**
8. ¿Qué datos se toman en las auditorías energéticas de una caldera? **Consumo de combustible, producción de vapor, temperatura del agua de alimentación, temperatura de salida de gases de combustión, eficiencia energética. Se revisa que todos los periféricos estén bien, es decir: los sistemas de presión, sistemas de temperaturas, sistemas de agua y equipos de seguridad. Que todo cumpla con los requerimientos.**
9. ¿Qué variables son las que se controlan en cuanto a la operación de la caldera? **Presión, mantenimiento, nivel de agua, temperatura de los gases de escape, temperatura del agua de alimentación. Se revisa la calidad de agua, que no contenga sólidos disueltos y que no esté muy alta la cantidad de calcio.**
10. ¿Qué tipo de instrumentos utilizan para las inspecciones diarias en las calderas? **Generalmente la caldera ya trae sus medidores, pero externamente se debe utilizar un medidor de agua para analizarla químicamente. Fuera de eso es un control de checklist para verificar que los datos estén en margen.**
11. ¿Qué acciones se realizan a los instrumentos para asegurar confianza en los resultados obtenidos? **Cuidados, mantenimiento, almacenamiento, etc. Se ha utilizado un analizador de gases, ese se manda a calibrar a cierta empresa, luego eso y de hacerle un mantenimiento se le hace un análisis, haciendo una curva de gases de combustión entre puntos mínimos y máximos permitidos. En cuanto a los cuidados**

tiene un estuche y ahí se deja, no se le hace algún otro cuidado porque el instrumento cuando ya no sirve comienza a presentar fallas.

12. ¿Estos instrumentos se calibran frecuentemente? **Depende del uso.**
13. ¿Tienen documentos o certificados de las últimas calibraciones realizadas a los instrumentos? **Para el analizador de gases que se ha utilizado, solo se tienen facturas.**
14. ¿Qué mantenimientos se le realizan a la caldera? ¿Con que frecuencia se realizan? **Depende el combustible que se esté utilizando y el uso de caldera. Una caldera que trabaja aproximadamente 24h todos los días, como mínimo se hace cada 6 meses. Si es una caldera que trabaja con gas propano puede ser cada año. También hay empresas que realizan limpieza de boquillas, filtros y otros elementos diariamente.**

➤ **Entrevista dirigida a:**

Alejandro Guevara -técnico en mantenimiento

Experiencia: mantenimiento de calderas Ingenio Chaparrastique.

1. ¿Qué tipo de calderas utilizan ustedes? **Las calderas utilizadas en el ingenio Chaparrastique son acuotubulares cuya alimentación para la combustión es mediante biomasa (Bagazo de caña de azúcar).**
2. ¿Qué capacidades se manejan en las calderas que operan? **La caldera principal tiene como valores nominales un valor de presión de 1500 psi, un flujo de vapor de 220 Ton/h y una temperatura en el hogar de 820 °C.**

3. ¿Qué tipo de productos se fabrican en la empresa? **El ingenio Chaparrastique elabora diversos tipos de azúcar: azúcar morena (crudo) y azúcar blanca, así como la melaza que es un subproducto que se comercializa para la fabricación de concentrados, por último, mediante la combustión de la fibra de caña se genera energía eléctrica esto mediante un proceso de cogeneración.**
4. ¿Para qué procesos se utilizan estas calderas en la fabricación de los productos? **Las calderas son utilizadas para suministrar flujo de vapor a una turbina acoplada a un generador que permite la generación de energía eléctrica que alimenta la actividad industrial del ingenio y la red eléctrica, a su vez, mediante una serie de extracciones en la turbina de vapor se supe el suministro de vapor necesario en la fabricación de azúcar, este vapor es empleando en los procesos de calentamiento y evaporación de la planta.**
5. ¿Qué circunstancias podrían afectar el desempeño de las calderas? **Las circunstancias que pueden afectar el desempeño de la caldera son amplias, aunque normalmente dependen de las propiedades del combustible (bagazo de caña) de manera específica su porcentaje de humedad, otras cuestiones que pueden afectar su desempeño tienen que ver con los procesos de intercambio de calor en las diferentes secciones de la caldera, como lo pueden ser los precalentadores de aire, economizador, etc, otro factor que influye es el flujo de aire que se tiene dentro del hogar y la cantidad de bagazo suministrado ya que de esto depende una buena combustión, elementos externos que pueden afectar su desempeño son las inclemencias del clima, como**

lo son las lluvias que afectan el sistema de suministro de bagazo en la caldera.

6. ¿Participa usted de las auditorías energéticas? **No.**
7. ¿Cuál es su participación en estas auditorías? **Ninguna.**
8. ¿Qué datos se toman en las auditorías energéticas de una caldera? **Lo desconozco.**
9. ¿Qué variables son las que se controlan en cuanto a la operación de la caldera? **Entre las principales variables que se controlan son la presión de vapor, la temperatura en el hogar, el flujo de vapor, el nivel del domo, la temperatura del vapor en la línea principal, el porcentaje de oxígeno, la presión en el hogar, el flujo de aire forzado, la presión de aire secundario, la presión de descarga de las bombas alimentación a la caldera, la carga de los conductores de bagazo, por mencionar las variables que pueden implicar un disparo de la caldera, aunque hay otras no mencionadas que también pueden generarlo.**
10. ¿Qué tipo de instrumentos utilizan para las inspecciones diarias en las calderas? **En el ingenio Chaparrastique se cuenta con una serie de transmisores industriales a lo largo de las diferentes secciones de la caldera lo que permite conocer el valor en tiempo real de las variables antes mencionadas desde el centro de control, de la misma forma se tienen sensores en los motores eléctricos de los periféricos de la caldera para controlar vibración y temperatura en estos.**
11. ¿Qué acciones se realizan a los instrumentos para asegurar confianza en los resultados obtenidos? **Cuidados, mantenimiento, almacenamiento, etc. Para asegurar la confianza de los transmisores anualmente se envían a Central Izalco, Grupo CASSA, que cuentan con un laboratorio de**

metrología para verificar el buen funcionamiento de estos elementos, también se cuenta con un departamento de instrumentación y control donde los técnicos instrumentistas hacen revisiones de los equipos.

12. ¿Estos instrumentos se calibran frecuentemente? **Se realiza un mantenimiento anual para la calibración de los transmisores.**
13. ¿Tienen documentos o certificados de las últimas calibraciones realizadas a los instrumentos? **Lo desconozco.**
14. ¿Qué mantenimientos se le realizan a la caldera? ¿Con que frecuencia se realizan? **Limpieza de los componentes, generalmente cada componente tiene una frecuencia de tiempo variable.**

➤ **Entrevista dirigida a:**

Yasser Chávez - Gerente

Experiencia: jefe de departamento de calderas ingenio El Ángel.

1. ¿Qué tipo de calderas utilizan ustedes? **5 calderas bagaceras, 3 son de doble domo con parrilla pin hole, 1 es monodomo con parrilla pin hole y la última monodomo con lecho fluidizado burbujeante.**
2. ¿Qué capacidades se manejan en las calderas que operan?
Caldera 1 de 350 psi y 45 ton/h de vapor.
Caldera 2 de 350 psi y 65 ton/h de vapor.
Caldera 3 de 350 psi y 70 ton/h de vapor.
Caldera 4 de 900 psi y 100 ton/h de vapor.
Caldera 5 de 1500 psi y 235 ton/h de vapor.
3. ¿Qué tipo de productos se fabrican en la empresa? **Producción de azúcar y energía eléctrica.**

4. ¿Para qué procesos se utilizan estas calderas en la fabricación de los productos? **Generación de vapor vivo para turbogeneradores que suministran vapor escape a 20 psi para energía térmica para el proceso de producción de azúcar y generación de energía eléctrica para consumo de equipos de proceso.**
5. ¿Qué circunstancias podrían afectar el desempeño de las calderas? **Condiciones del combustible (poder calorífico), instrumentación, mala alimentación de combustible, calidad de agua de alimentación.**
6. ¿Participa usted de las auditorías energéticas? **No, pero estamos interesados en participar.**
7. ¿Cuál es su participación en estas auditorías? **Nula.**
8. ¿Qué datos se toman en las auditorías energéticas de una caldera? **Ninguna.**
9. ¿Qué variables son las que se controlan en cuanto a la operación de la caldera? **Alimentación de combustible.**
Alimentación de aire, flujo, presión y temperatura.
Alimentación de agua, flujo, presión y temperatura.
Condiciones de horno, presión y temperatura.
Producción de vapor, flujo, presión y temperatura.
Domo, niveles de agua.
10. ¿Qué tipo de instrumentos utilizan para las inspecciones diarias en las calderas? **Medidores de temperatura, analizadores de vibraciones, medidores de corriente.**
11. ¿Qué acciones se realizan a los instrumentos para asegurar confianza en los resultados obtenidos? Cuidados, mantenimiento, almacenamiento, etc. **Programas de mantenimiento anuales de cada uno de los**

instrumentos, calibraciones en lugares certificados, capacitaciones de cada uno de los usuarios para garantizar su buena operación y cuidado, y lugares adecuados de almacenaje.

12. ¿Estos instrumentos se calibran frecuentemente? **No tenemos un plan frecuente de calibración.**
13. ¿Tienen documentos o certificados de las últimas calibraciones realizadas a los instrumentos? **No tenemos certificados.**
14. ¿Qué mantenimientos se le realizan a la caldera? ¿Con que frecuencia se realizan? **Mediciones de espesores en ductos y tuberías, mantenimiento a ventiladores, calibración de instrumentos de medición de calderas, mantenimiento de válvulas, mantenimiento de aislamientos, mantenimiento a motores eléctricos.**

1. Conclusiones de los Resultados de las Entrevistas a los técnicos

- Los tipos de calderas más utilizados son las pirotubulares horizontales y las acuotubulares, además de que hay diferentes unidades en como definen la potencia de dichas calderas, siendo las más comunes: ton/h y HP. Agregando que los usos principales son la producción de vapor, generación de energía eléctrica y tratamiento de agua.
- Buena parte tiene poco o nulo conocimiento o experiencia participando en auditorías energéticas, específicamente en sistemas de generación de vapor, no obstante, los entrevistados han mostrado interés en desarrollar este tipo de actividades en sus lugares de trabajo.
- Se observa que en la mayoría de los casos no cuentan con certificación de calibración, desconocen el tema o no cuentan con documentación válida que garanticen la confiabilidad de las mediciones de los instrumentos.
- Todos los entrevistados coincidieron en los mantenimientos que realizan a los instrumentos y aparatos de medición utilizados, una buena parte tienen programas de mantenimiento de los cuales en algunos casos, muchos no tienen bien definida la frecuencia de calibración, sin embargo otra parte de la muestra envían sus instrumentos a empresa encargadas de realizar los mantenimientos y calibraciones.

3.4. CONDICIÓN REQUERIDA DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

En el análisis realizado de los resultados de las entrevistas, se obtuvo información sobre la condición que deben tener los instrumentos antes de proceder a medir ya sea por monitoreo o para una auditoría energética, estas condiciones son:

A. Certificado de calibración

Es importante que las calibraciones de los instrumentos utilizados tengan su calibración según la frecuencia propuesta por el fabricante o según las horas de uso del instrumento. Necesitan tener un certificado que respalde que los datos que toma el instrumento están dentro de los parámetros establecidos, como el error y la incertidumbre, y le da la condición de confiabilidad requerida al instrumento.

B. No presentar daños

Ninguno de los instrumentos de medición se diseñó para funcionar en condiciones malas, porque por ejemplo las puntas de un calibrador pueden ocasionar accidentes, así como el deterioro del mismo provocando una lectura incorrecta. En cuanto a los medidores de flujo, son diseñados para medir fluidos sucios por lo que después de un periodo de funcionamiento las capas de adhesión se acumulan en la parte interior del sensor ocasionando un daño al instrumento y provocando fallos en su funcionamiento. Las condiciones ambientales también ocasionan daños a los instrumentos de medición como los sensores, por ejemplo, los rayos pueden inducir alto voltaje y sobre corriente en el circuito eléctrico causando daños a éstos. Por lo que una vez que cambian las

condiciones ambientales podrían aparecer interferencias haciendo que la señal fluctúe.

C. Instalación del equipo sea adecuada

Se necesita que la instalación del equipo sea la adecuada al momento de que se va a utilizar. Se debe previamente condicionar el lugar para poder proporcionar la instalación correcta.

Los aspectos a considerar en la instalación son:

- La aplicación que tendrá este instrumento
- Que variación de temperatura habrá en el lugar en el caso de una termopar
- Que el instrumento se encuentre visible
- Qué interferencias de ambiente podrían existir para evitarlas o mover de lugar el instrumento
- Existencia de polo a tierra para los caudalímetros por cualquier sobre corriente.

D. Baterías cargadas

Hay instrumentos que requieren del uso de baterías por lo que éstas deben estar cargadas y listas para su uso. De igual forma, que se realice la limpieza de la superficie de los contactos y los contactos para que las baterías cargadas puedan funcionar. La poca carga podría ocasionar una mala lectura del instrumento y un contacto sucio, un mal desempeño en las baterías.

E. Almacenamiento correcto

Al momento de almacenar, en lo posible deben encontrarse en un lugar adecuado y sin humedad. En lugares que no sean afectados por vibraciones fuertes que puedan ocasionar que los instrumentos pierdan su calibración.

Asimismo, mantener los instrumentos en su estuche y ubicación según requerimientos del fabricante. Se deben de guardar en un lugar alejado del resto de las herramientas debido a que el instrumento puede sufrir desajustes o golpes que afecten su vida útil. De igual forma esto puede ocasionar que el instrumento se magnetice provocando posibles mediciones erróneas.

F. Certificado de protección contra humedad

Los instrumentos deben contar con un certificado de protección contra humedad si se encuentra en un lugar con humedad alta proporcionada por los mismos fabricantes.

G. Limpieza

Para que en el instrumento se pueda observar una buena lectura de la medición, éste debe contar con limpieza frecuente o ya sea luego de su uso para también evitar que impurezas puedan contaminar el interior de éste.

H. Mantenimiento frecuente

Los instrumentos deben estar al día con los planes de mantenimiento realizados por técnicos de la misma empresa, fabricantes o proveedores de servicio.

I. Instrumento adecuado

Una de las condiciones a considerar antes de utilizar un instrumento es que cuente con el rango de medición requerido para la medición, el cual es proporcionado por el fabricante como parte de los datos técnicos de cada aparato.

4. PROPUESTA DE PROTOCOLO DE MEDICIÓN EN AUDITORÍAS ENERGÉTICAS APLICADO A CALDERAS

El siguiente protocolo está dirigido al personal que se involucra en tareas de medición en auditorías o diagnósticos energéticos, para determinar la eficiencia de una caldera y poder concluir si este resultado es factible o no para la organización o empresa propietaria de la máquina térmica. Como se menciona en las respuestas de las entrevistas de los auditores para las auditorías energéticas se analiza un solo sistema que conforma la empresa, por lo que en este protocolo se considerara solo como análisis las auditorías energéticas en las calderas.

Se detallan las secciones que componen el protocolo, tomando en cuenta que, al ser dedicado a procedimientos de medición, involucra en gran parte normas internacionales que rigen la metrología, así como el énfasis en la verificación, manipulación y almacenamiento de los instrumentos de medición necesarios, como la correcta recolección y clasificación de los datos obtenidos en las mediciones. También como determinar el fin común que es la eficiencia energética de la caldera mediante los indicadores que a su vez están compuestos por magnitudes físicas que se pueden parametrizar, con la finalidad de concluir y proponer medidas de mejora a la organización, según los resultados obtenidos en la auditoría energética.

SECCIÓN 1: VOCABULARIO TÉCNICO

Este vocabulario técnico contiene algunas definiciones y fue elaborado con base al Vocabulario Internacional de Metrología: Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados, 3ª edición 2012; en el cual pueden realizarse más consultas sobre otras definiciones relacionadas.

a) Relativo a magnitudes físicas y unidades de medida

- **Magnitud:** atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede ser identificado cualitativamente y determinado cuantitativamente.
- **Unidad de medida:** magnitud particular, definida y adoptada por convenio, con la cual son comparadas otras magnitudes del mismo tipo para expresar la cantidad relativa a esa magnitud.
- **Sistema de unidades de medida:** conjunto de unidades básicas y de unidades derivadas, definidas de acuerdo con reglas dadas, para un sistema de magnitudes dado.

b) Relativo a procesos de medición

- **Verificación:** conjunto de operaciones efectuadas por una entidad metrológica, legalmente autorizada, con el fin de comprobar y afirmar que un instrumento satisface enteramente las exigencias o reglamentaciones de verificación.
- **Resultado de una medición:** valor atribuido a una magnitud a medir, obtenido por una medición.

c) Relativo al concepto de Error

- **Error de medición:** resultado de una medición menos el valor verdadero de la magnitud a medir.

- **Error relativo:** error de medición dividido por el valor verdadero de la magnitud a medir.
- **Error aleatorio:** resultado de una medición menos la media que pudiera resultar de un infinito número de mediciones de la misma magnitud a medir llevadas a cabo bajo condiciones de repetibilidad. El error aleatorio es igual al error menos el error sistemático.
- **Error sistemático:** la media que puede resultar de un infinito número de mediciones de la misma magnitud a medir llevadas a cabo bajo condiciones de repetibilidad, menos el valor verdadero de dicha magnitud. El error sistemático es igual al error menos el error aleatorio.

d) Relativo a instrumento de medición

- **Instrumento de medición:** dispositivo diseñado para reproducir o suministrar, de manera permanente durante su uso, uno o más valores conocidos de una magnitud dada.
- **Índice:** parte fija o móvil de un dispositivo indicador cuya posición con referencia a las marcas de la escala es capaz de indicar el valor que se determina.
- **Escala de un instrumento de medición:** conjunto ordenado de marcas, que, asociadas a cualquier numeración, forman parte de un dispositivo indicador de un instrumento de medición.
- **Escala lineal:** escala, en la cual cada longitud de una división está relacionada al valor de división correspondiente por un coeficiente de proporcionalidad que es constante a lo largo de toda la escala.
- **Escala no lineal:** escala, en la cual cada longitud de una división está relacionada al valor de división correspondiente por un coeficiente de

proporcionalidad que no es constante a lo largo de toda la escala. Algunas escalas no lineales reciben nombres especiales tales como escala logarítmica, escala cuadrática.

- **Transductor de medida:** dispositivo que forma parte de un instrumento de medición, que hace corresponder a una magnitud de entrada una magnitud de salida, según una relación determinada.

SECCIÓN 2: SISTEMA DE CONFIRMACIÓN METROLÓGICA

Etapas del proceso de confirmación metrológica:

1. Calibración

Se debe realizar una revisión del certificado de calibración de los instrumentos de medición a utilizar en la auditoría y verificar que su calibración sea acorde a su frecuencia de uso. Es recomendable que la persona que realizará la auditoría tenga conocimiento en el uso del certificado de calibración. También el instrumento debe tener una deriva para determinar su periodo de calibración. Además, se requiere especificar los puntos de calibración necesarios al momento de llevar el instrumento a calibrar a un laboratorio y que este esté acreditado.

2. Verificación metrológica

Las actividades que se deben desarrollar para la realización de este procedimiento son:

➤ Evaluación de Consistencia:

Esta evaluación se hace calculando los siguientes parámetros:

1. Capacidad de Medición: la capacidad de medición del instrumento se calcula por medio de la ecuación (1).

$$CM = U_{Actual} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Dónde, U_{Actual} es la incertidumbre expandida dada en el certificado de calibración.

2. Requerimiento de Medición: el requerimiento de medición del instrumento está dado por la ecuación (2).

$$RM = \frac{1 + LC}{3 \cdot fr} \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde:

LC son los límites de control que generalmente están dados por los límites pasa/no pasa utilizados en el control metrológico del instrumento con respecto a las variables del proceso.

El fr es el factor de riesgo que permite ponderar el grado de atención que se debe tener en el control metrológico del instrumento con respecto a las variables del proceso. El valor del factor de riesgo se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Valores para el factor de Riesgo, fr

RIESGO	fr
Pone en peligro la vida	10
Pone en peligro la salud Viola las disposiciones legales Causa pérdidas	8
Causa pérdidas mayores Causa reclamaciones serias de clientes	6
Causa pérdidas moderadas Causa reclamaciones de clientes	4
Causa pérdidas leves	2

3. Índice de Consistencia: el índice de consistencia del instrumento se calcula utilizando la ecuación (3).

$$IC = \frac{CM}{RM} \quad (3)$$

Donde:

CM es la capacidad de medición

RM es el requerimiento de medición.

Una vez se calcula el índice de consistencia, se puede determinar el estado del instrumento aplicando los siguientes criterios:

- Si $IC < 1$, el instrumento de medición es demasiado burdo, es decir, no se encuentra diseñado para ser utilizado en medición de magnitudes que requiere la auditoría energética.
- Si $IC \approx 1$, el instrumento de medición es adecuado para el propósito de la auditoría energética.
- Si $IC > 1$, el instrumento de medición es muy fino, esto significa que su diseño es mucho mejor al requerido por la auditoría energética y por esto implica costos muy elevados para poder operarlo y mantenerlo.

El formato 1 es para la recolección de datos del instrumento de medición a analizar para la Evaluación de Consistencia en la Verificación Metrológica.

Formato 1: Recolección de datos para la Evaluación de consistencia

VERIFICACIÓN METROLÓGICA			
N° DE VERIFICACIÓN			
EMPRESA			
EVALUADOR			
FECHA			
EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA			
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN			
MARCA			
MÓDELO			
MAGNITUD FISICA O INDICADOR MEDIBLE			
UNIDADES			
RANGO DE MEDICIÓN			
N° DE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN			
FECHA DE CALIBRACIÓN			
1. CAPACIDAD DE MEDICIÓN (CM)			
INCERTIDUMBRE COMBINADA			
CM= U _{ACTUAL} (INCERTIDUMBRE EXPANDIDA)			
2. REQUERIMIENTO DE MEDICIÓN (RM)			
LÍMITE DE CONTROL SUPERIOR (LC)		LÍMITE DE CONTROL INFERIOR (LC)	
FACTOR DE RIESGO (fr)			
RM= $1/3 * \pm LC / fr$			
3. ÍNDICE DE CONSISTENCIA (IC)			
CAPACIDAD DE MEDICIÓN (CM)		REQUERIMIENTO DE MEDICIÓN (RM)	
IC= CM/RM			

➤ Evaluación de conformidad

Con los resultados obtenidos en la evaluación de consistencia y luego de verificar previamente la información procedente de los certificados de calibración del instrumento, se realiza una comparación utilizando la imagen 20 que representa el intervalo de tolerancia. Aplicando los criterios descritos a continuación, se pueden determinar si los instrumentos están aptos para utilizarse en las mediciones requeridas en la auditoría energética. Al hacer la evaluación de conformidad, se deben incluir no solo las incertidumbres del instrumento, sino que también la incertidumbre del proceso

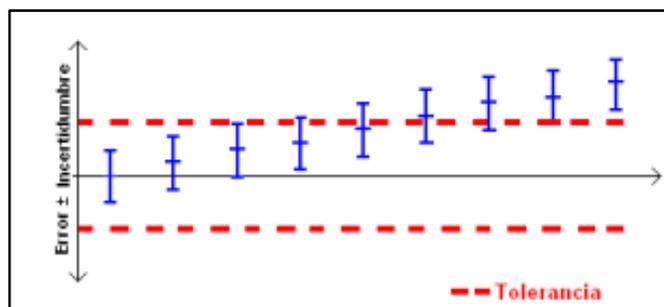


Imagen 20: Elementos para realizar la evaluación de Conformidad

La tolerancia que se muestra en la imagen 20 está dada por el requerimiento de medición calculado para la evaluación de consistencia RM. Cuando este requerimiento no se ha calculado, la tolerancia puede tomarse, aunque no es suficiente, como la especificación de exactitud del instrumento dada por el fabricante. Los criterios para determinar la conformidad de los resultados de un instrumento de medición establecidos por la norma ISO: 14253-1 (2019) son:

- Si el intervalo $E \pm U$ se encuentra dentro de los límites de la tolerancia, el resultado es CONFORME.

- Si el intervalo $E \pm U$ se encuentra fuera de los límites de la tolerancia, el resultado es NO CONFORME.
- Si el intervalo $E \pm U$ se cruza con los límites de la tolerancia, el resultado es AMBIGUO. En este caso, el usuario del instrumento debe definir las reglas para aclarar el resultado. Algunas de estas reglas pueden ser:
 - ✓ CONFORME SUJETO A VERIFICACIÓN cuando el error se encuentra dentro de los límites de la tolerancia.
 - ✓ NO CONFORME SUJETO A VERIFICACIÓN cuando el error se encuentra por fuera de los límites de la tolerancia.

3. Decisiones y acciones

Luego de verificar el estado de los instrumentos, se tienen los siguientes resultados con sus respectivas acciones:

- Conforme
 - ✓ Identificar el instrumento de manera que se determine que ha sido verificado y que se encuentra conforme; esto permitirá una identificación más rápida y segura.
 - ✓ Comunicar el resultado obtenido a las partes interesadas para demostrar la fiabilidad del instrumento de medición.
- No conforme
 - ✓ Actualizar la documentación, como certificado de calibración y planes de mantenimiento u otros documentos.
 - ✓ Identificar la causa de la no conformidad y dar seguimiento a la misma para determinar por qué el instrumento no cumple con los requisitos.

- ✓ Planificar una acción correctiva para corregir la no conformidad y prevenir que suceda nuevamente, como un ajuste del instrumento, reparación o reemplazo del mismo.

➤ Ambiguo

- ✓ Verificar los procedimientos y metodología, asegurándose de que se hayan seguido todas las directrices.
- ✓ Consultar con experto en el campo para un mejor asesoramiento sobre los resultados considerados como ambiguos.

Elaboración del Informe de Inspección

Realizar un informe final de inspección metrológica que se muestra en el formato 2

Formato 2: Informe de Inspección

Informe Final de Inspección			
Equipo		Modelo	
Evaluados		Fecha	
N° de Registro		N° de serie	
1. Inspección Inicial: describir el estado del equipo			
2. Servicios de mantenimiento: detallar los procedimientos de mantenimiento y/o reparaciones realizadas			
3. Ajuste: describir el ajuste realizado de haberse requerido			
4. Declaración de conformidad: detallar las observaciones según el formato 1			
5. Observaciones: incluir interpretaciones de la evaluación			
6. Intervalo de calibración: recomendar fecha para una próxima calibración adecuado al estudio.			

SECCIÓN 3: GENERALIDAD EN UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA APLICADA A CALDERAS

En una auditoría energética se tiene como objetivo principal analizar el consumo de energía de las calderas y proponer medidas de optimización y eficiencia que permitan reducir el consumo energético y costos asociados, en este caso los consumos asociados a la caldera en interés de análisis.

Para llevar a cabo esta auditoría, se recomienda el siguiente protocolo:

- 1. Recopilación de datos de información general:** se recomienda recopilar toda información de interés que permita conocer a la empresa, institución o industria donde está instalado el equipo en cuestión de análisis.
- 2. Inspección visual:** se realiza un recorrido para observar todas las secciones de la caldera en busca de condiciones que puedan afectar la toma de mediciones y su rendimiento.
- 3. Mediciones:** se realizan mediciones para la determinación del rendimiento y eficiencia del equipo en condiciones actuales, respecto a los parámetros de operación detallados anteriormente y comparando los resultados con los datos nominales. Es muy recomendable estandarizar las unidades de medida en la realización de cálculos, la estandarización de las unidades de medida garantiza la consistencia y la precisión en los cálculos, lo que a su vez permite comparar y evaluar de manera adecuada los resultados obtenidos.

Además, al estandarizar las unidades de medida, ayudará a una reducción en la incertidumbre de los resultados y facilita la comunicación entre los profesionales involucrados en la auditoría, ya que todos estarán utilizando la misma referencia de medidas reduciendo la posibilidad de errores y malentendidos durante el proceso de cálculo y análisis de los datos.

Como revelan los resultados de las entrevistas, no existe una cantidad definida para la cantidad de veces en las cuales se realiza una medición, sin embargo, es recomendable repetirla más de una vez tomando en consideración los factores como la variabilidad de los parámetros medidos, el valor de incertidumbre y exactitud de los instrumentos utilizados al igual que la confianza deseada en los resultados; además que con base a estudios realizados en población de mediciones por parte de organismos de metrología, se justifica que la muestra de dos mediciones es representativa.

4. Análisis de datos: conforme a los datos obtenidos de las mediciones se realizan los cálculos de eficiencia actual de la caldera en cuestión de análisis para evaluar las condiciones en que se encuentra tomando de referencia los valores nominales.

Para valores más confiables y precisos se recomienda considerar una cantidad de cifras significativas de los cálculos, no existiendo un número fijo de cifras recomendado para tomar la incertidumbre en cálculos de eficiencia en un equipo, ya que esto depende del grado de precisión requerido y de la magnitud de las cifras involucradas. Sin embargo, como regla general, se suele tomar la incertidumbre hasta una o dos cifras significativas adicionales a la medida más precisa utilizada en los cálculos.

Lo anterior significa que, si la medida más precisa utilizada en los cálculos tiene tres cifras significativas, se podría tomar la incertidumbre hasta tres o cuatro cifras significativas. De igual manera es necesario tener en cuenta y cuantificar las incertidumbres asociadas a las mediciones.

Al obtener los resultados de la sección de análisis, se puede determinar las condiciones en que se encuentra la caldera y proceder a ver los puntos de mejoras y posibles factores que puedan afectar los resultados esperados.

- 5. Propuesta de mejora:** según el análisis del punto anterior, se pueden concluir factores que puedan mejorar las condiciones de la caldera, de las cuales algunas se proponen en el diseño del protocolo mostrado en el formato 3.
- 6. Elaboración de informe:** para la elaboración del informe, se ha creado el formato. En el que se incluyen las secciones siguientes:
- Información general
 - Información técnica de calderas
 - Parámetros de operación
 - Inspección visual
 - Mediciones
 - Análisis de datos
 - Propuesta de mejoras

Formato 3: Formato de protocolo para auditoría energética

FORMATO DE PROTOCOLO PARA AUDITORÍA ENERGÉTICA		
Nombre de la empresa:		Fecha de realización:
Dirección:		
Responsable de la auditoría:		
1. Información general.		
Tipo de industria o actividad de la empresa:		
Industria química.	Industria textil.	Industria del acero.
Industria alimentaria.	Industria del plástico.	Industria del vidrio.
Industria papelera.	Industria automotriz.	Industria hospitalaria.
Otro:		
Horario de funcionamiento de las instalaciones:		
8 horas al día por 5 días.	8 horas al día por 6 días.	8 horas al día por 7 días.
24 horas al día por 5 días.	24 horas al día por 6 días.	24 horas al día por 7 días.
Otro:		
Potencia total instalada en la empresa:		
(Consultar el datos al auditado)		
Cantidad de calderas instaladas:		
1 caldera.	2 calderas.	3 calderas.
5 calderas.	6 calderas.	7 calderas.
Otra cantidad:		
Tipos de calderas instaladas:		
Caldera de gas.	Caldera de biomasa.	Caldera de petróleo.
Caldera eléctrica.	Caldera pirotubular.	Caldera acuotubular.
Otro:		
Consumo energético:		
(Consultar el dato al auditado)		
2. Información técnica de calderas.		
Número serial:	Año de fabricación:	Fecha de instalación:
Tipo de caldera:	Marca:	Modelo:
Ubicación en la empresa:		
Función en la empresa:		
Generación de vapor.	Generación de energía eléctrica	Preparación de alimentos.
Calefacción de espacios.	Proceso de esterilización.	Proceso de secado.
Otro: _____		
Breve descripción del equipo:		
Descripción sobre su diseño y uso dentro de la empresa.		
Eficiencia nominal:	Tipo de combustible utilizado:	Cantidad de combustible utilizado:
Costo del combustible:	Fuente de agua utilizada:	Potencia nominal:

2.1 Parámetros de operación.		
Tiempo de trabajo:	Tiempo de inactividad:	Tiempo de mantenimiento:
Tiempo de arranque:	Tiempo de carga máxima:	
Presión de vapor de entrada:	Presión de vapor de salida:	
Temperatura de entrada agua:	Temperatura de agua de salida:	
Temperatura de entrada de combustible:	Temperatura de salida de gases de combustión:	
Caudal de agua:	Caudal de combustible:	
3. Inspección visual		
Carcasa o revestimiento:		
Fisuras visibles.	Espesor del revestimiento deficiente.	Obstrucciones en ventilación.
Aislamiento dañado.	Falta de mantenimiento de partes.	Fugas por mal sello.
Exceso de suciedad.	Otros:	
Secciones y tuberías:		
Fisuras visibles y fugas.	Daños en físicos o corrosión.	Espesor del revestimiento deficiente.
Aislamiento dañado.	Falta de mantenimiento de partes.	Tamaño inadecuado de diseño.
Exceso de suciedad y obstrucciones .	Otros:	
Cámara de combustión:		
Acumulación de hollín.	Deterioro de revestimiento refractario.	Diseño inadecuado.
Formación de carbono sólido.	Fugas y daño en los tubos.	
Otros: _____		
Superficies de transferencia de calor:		
Incrustaciones de cal o sedimentos.	Aislamiento inadecuado o desgastado.	Fugas.
Costra de hollín.	Otros: _____	
Sistema de control:		
Calibraciones incorrectas.	Daños físicos de las conexiones.	
Aumento en los parámetros de eficiencia .	Daños físicos de los instrumentos de control.	
Reducción de parámetros de medición.		
Otros: _____		
Documentación:		
Historial de mantenimiento preventivo .	Historial de mantenimiento correctivo.	
Historial de actividades rutinarias.	Capacitaciones al personal.	
Horarios de funcionamiento.	Facturas energéticas.	
Equipos asociados a la caldera.	Certificados de calibración de instrumentos.	
Planos y diagramas.	Permisos	
Otros: _____		
4. Mediciones.		
Temperaturas:		
Primera medición		
Temperaturas de agua de alimentación: _____	Temperatura de salida de agua caliente: _____	
Temperatura de gases de escape: _____	Temperatura del aire de combustión: _____	
Segunda medición		
Temperaturas de agua de alimentación: _____	Temperatura de salida de agua caliente: _____	
Temperatura de gases de escape: _____	Temperatura del aire de combustión: _____	
<input type="checkbox"/> Aceptable	<input type="checkbox"/> No aceptable	Observaciones: _____
Presiones:		
Primera medición		
Presión de entrada de agua: _____	Presión de vapor en la caldera: _____	
Presión de vapor en punto de consumo: _____	Presión de escape de gases de combustión: _____	
Presión de purga del sistema de agua: _____		
Segunda medición		
Presión de entrada de agua: _____	Presión de vapor en la caldera: _____	
Presión de vapor en punto de consumo: _____	Presión de escape de gases de combustión: _____	
Presión de purga del sistema de agua: _____		

<input type="checkbox"/> Aceptable	<input type="checkbox"/> No aceptable	Observaciones: _____
Caudales:		
Primera medición		
Caudal de agua de alimentación: _____	Caudal	Caudal de combustible _____
Caudal de aire: _____	Caudal	Caudal de gases de escape _____
Segunda medición		
Caudal de agua de alimentación: _____	Caudal	Caudal de combustible _____
Caudal de aire: _____	Caudal	Caudal de gases de escape _____
<input type="checkbox"/> Aceptable	<input type="checkbox"/> No aceptable	Observaciones: _____
Gases de combustión:		
Primera medición		
%óxidos de nitrógeno: _____	%dióxido de carbono: _____	
%monóxido de carbono: _____	%oxígeno: _____	
Segunda medición		
%óxidos de nitrógeno: _____	%dióxido de carbono: _____	
%monóxido de carbono: _____	%oxígeno: _____	
<input type="checkbox"/> Aceptable	<input type="checkbox"/> No aceptable	Observaciones: _____
Humedad relativa:		
Primera medición		
Humedad de aire de entrada: _____	Humedad de aire en quemador: _____	
Humedad de aire en la salida de gases de combustión: _____	Humedad de aire en intercambiador de calor: _____	
Segunda medición		
<input type="checkbox"/> Aceptable	<input type="checkbox"/> No aceptable	Observaciones: _____
5. Análisis de datos.		
Calor útil: _____	Calor suministrado: _____	
Eficiencia térmica: _____	Eficiencia de combustión: _____	Eficiencia de transferencia de calor: _____
Eficiencia a carga parcial: _____	Eficiencia de inicio: _____	Eficiencia de parada: _____
Eficiencia total: _____	Rendimiento: _____	
Comentarios:		
6. Propuesta de mejoras.		
Mantenimiento.		
Mejorar el plan de mantenimiento.	Implementación de actividades periódicas.	
Ajuste de tiempo de actividades.	Implementación de planes de mantenimiento.	
Mejorar la frecuencia de las actividades.	Añadir al plan verificaciones de calibraciones.	
Implementación de sistemas de recuperación.	Limpieza adecuada.	
Añadir al plan la calibración de equipos de medición.	Capacitación del personal para uso de instrumentos.	
Otros:		
Detalle de propuesta:		
Reparaciones.		
Tuberías.	Piezas corroidas.	Empaques.
Aislamiento.	Válvulas.	Tubos de cámara.
Otros:		
Detalle de propuesta:		

Operación.	
Ajuste de parámetros de flujo.	Control de la calidad del combustible.
Capacitación adecuada del personal.	Control de calidad de agua de alimentación.
Ajuste de parámetros de temperaturas.	Ajuste de parámetros de presiones.
Otros:	
Detalle de propuesta:	
7.Elaboración de informe.	
Resumen:	Descripción de principales hallazgos y recomendaciones.
Consumo actual:	Detallar el consumo energético actual del equipo, sus componentes y sistemas auxiliares.
Propuestas de mejora:	Resumen de las propuestas de mejora del apartado 6, añadiendo una estimación de costos y sus beneficios.

SECCIÓN 4: INDICADORES PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA CALDERA

A continuación, se detallan algunos indicadores para determinar la eficiencia de la caldera, estos deben estar siempre acompañados de su unidad de medida, como se muestra en la tabla 4 se detallan algunos indicadores y estos deben estar acompañados de su unidad de medida.

Tabla 4: Unidades de medición de los indicadores

Indicador	Unidad
CO ₂	% en volumen
O ₂	% en volumen
CO	partes por millón, ppm
Exceso de Aire	% en volumen
Rendimiento de la Combustión	% en volumen
Temperaturas	°C

- CO₂

El porcentaje de CO₂ está inversamente relacionado con la cantidad de oxígeno. La caldera necesita un porcentaje adecuado de oxígeno para realizar la combustión correctamente. Con un porcentaje de oxígeno muy alto el porcentaje de CO₂ bajaría, lo que nos indicaría combustión inadecuada.

- CO

El monóxido de carbono es un gas venenoso al respirar, incoloro, inodoro y se origina de una combustión incompleta. La medición de este indicador es muy importante ya que está relacionado con la seguridad de las personas, que como se sabe, en partes elevadas puede provocar mareos e incluso la muerte.

La tabla 5 a continuación indica los valores admisibles de los niveles de emisión de CO₂ y CO

Tabla 5: Valores admisibles de CO₂ y CO para Calderas Alimentadas por Gas Natural

	Potencia Nominal Útil (kW)		
	P _u ≤ 35	35 < P _u ≤ 70	P _u > 70
Gas natural, CO ₂ %	> 4.5	> 5.5	> 8.0
Gas propano, CO ₂ %	> 6.0	> 6.5	> 9.0
CO	500	500	500

- O₂

Como se mencionó anteriormente el oxígeno y el CO₂ se relacionan inversamente, parte del oxígeno disuelto en el aire se combina con el hidrógeno del combustible formando agua. Dependiendo de la temperatura de los gases de la combustión el agua se convierte en vapor o en condensados. El oxígeno restante, sirve para medir el rendimiento de la combustión, las pérdidas por chimenea y el contenido de dióxido de carbono.

- Exceso de aire

El índice de exceso de aire es un radio que relaciona el aire de la combustión con el teóricamente necesario. En la tabla 6 se presentan los porcentajes de exceso de aire presentes según la temperatura.

Un exceso de aire es necesario para que se produzca una correcta combustión, pero con valores elevados el rendimiento disminuye.

Tabla 6: Porcentaje de Exceso de Aire en Combustibles según su Temperatura

	Exceso de aire %				
	0	25	50	75	100
Gasóleo	50°C	47°C	44°C	41°C	39°C
Gas natural	60°C	56°C	53°C	50°C	48°C

- Temperatura de humos y de agua

La temperatura de los humos depende de la tecnología de la caldera. Podemos observar en la tabla 7 los rangos de temperatura de humos y temperatura de agua aceptables según el tipo de caldera que se esté evaluando.

Tabla 7: Temperatura de Humos y Agua

Tipo de caldera	Temperatura de humos	Temperatura de Agua
Baja temperatura	90°C - 120°C	30°C - 40°C
Condensación	40°C - 60°C	30°C - 50°C

SECCIÓN 5: VERIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS

1. Verificación del estado físico del instrumento. Se debe observar que los instrumentos no cuenten con desperfectos físicos como golpes o roturas. Verificar que se pueda observar con claridad su pantalla y sea legible para cualquier técnico que lo vaya a operar para que también tome las mediciones con exactitud.
2. Los equipos destinados a la auditoría deberán disponer del certificado de calibración con trazabilidad emitido por un laboratorio certificado o acreditado. En este certificado se harán constar la fecha de emisión, las magnitudes para cuya medición ha sido calibrado el instrumento, el rango de medición, el error y la incertidumbre.
3. Se requiere verificar inicialmente que las características del instrumento a utilizar son adecuadas para el tipo de caldera que se auditará. Es decir, si los rangos que se manejan son capaces de ser leídos por el instrumento y si la incertidumbre que necesitan la proporciona el instrumento.
4. Se necesita contar con instrumentos con carga como los termómetros requeridos para medir la temperatura del humo y del ambiente y que los contactos se encuentren limpios.
5. Que los instrumentos estén instalados en una posición donde no tenga interferencias ya sea magnética o eléctrica que puedan modificar el dato de medición.
6. Almacenamiento correcto de los instrumentos. Una vez utilizados asegurar que el instrumento haya quedado almacenado en su respectivo estuche y en un lugar sin humedad para que no afecte

7. Para la revisión de la condición de los instrumentos, se deberá llenar la Checklist presentada en el formato 4. Esta se utiliza para cada instrumento que se utilice en la auditoría energética.

Formato 4: Checklist para la evaluación de los instrumentos utilizados en la auditoría energética

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PARA AUDITORÍA ENERGÉTICA DE CALDERAS				
Datos Generales				
Elaborado por:				
Fecha:				
Firma:				
N° de Checklist:				
Instrumento				
Termómetro				
Termopar				
Cámara termográfica				
Analizador de gases				
Otro				
Código del instrumento:				
INSPECCIÓN PREVIA A LA MEDICIÓN				
<i>Descripción</i>	<i>SI</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
Documentación				
Certificado de calibración				
Certificado de protección contra humedad				
Instrumento				
El instrumento cuenta con todos los accesorios necesarios				
El instrumento no presenta daños en la carcasa como golpes o rayones				

El switch de encendido/apagado está en buen estado				
El enchufe del instrumento está en buen estado				
La pantalla del instrumento es legible				
Baterías y Contactos				
Baterías se encuentran cargadas				
Baterías se encuentran correctamente instaladas				
Los cargadores se encuentran realizando un funcionamiento correcto				
El cable del cargador se encuentra en buen estado				
Los contactos de las baterías se encuentran limpios y sin óxido				
Ubicación				
Se reviso que no exista interferencia magnética				
Se tomaron las medidas de seguridad adecuadas				
INSPECCIÓN DESPUES DE LA MEDICIÓN				
Descripción	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
Instrumento				
El instrumento se desinstaló correctamente				
Se hizo la correcta limpieza del instrumento				
El instrumento se ubicó en un lugar adecuado y sin humedad				
Baterías				
Las baterías se removieron luego de utilizar el instrumento				
Se guardó correctamente el cargador del instrumento				

Se verificó que el cargador tuviera la carga para una siguiente utilización				
---	--	--	--	--

SECCIÓN 6: DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA CALDERA

Para determinar la eficiencia energética de la caldera se pueden utilizar dos métodos los cuales son cálculos sencillos y se basan en la Guía Técnica para la Inspección Periódica de Eficiencia Energética para Calderas, documento elaborado por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). En dicha guía se exponen los métodos, los cuales son:

A. Método Directo

Involucra indicadores en la entrada y en la salida del agua o vapor de agua para determinar el calor aportado relacionando la cantidad de combustible consumido con su poder calorífico.

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{F \cdot PCI} \quad Ec. 4.3$$

Donde:

η : rendimiento energético (%)

\dot{m} : flujo másico de agua en la caldera (kg/s)

C_p : calor específico del agua (kJ/kg °C)

ΔT : $T_s - T_e$ (°C)

T_s : temperatura del agua a la salida de la caldera (°C)

T_e : temperatura del agua a la entrada de la caldera (°C)

F : consumo de combustible (kg/h)

PCI: poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

Se utiliza el formato 5 con las mediciones realizadas que serán útiles para el cálculo del rendimiento.

Formato 5: Magnitudes a medir en la auditoría para cálculo de eficiencia por Método Directo

EMPRESA		
EVALUADOR		
FECHA		
N° DE AUDITORÍA		
MAGNITUD FISICA	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
FLUJO MÁSSICO DE AGUA	kg/s	
TEMPERATURA DEL AGUA A LA ENTRADA DE LA CALDERA	°C	
TEMPERATURA DEL AGUA A LA SALIDA DE LA CALDERA	°C	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	kg/h	

Con los valores obtenidos, se procede a calcular el rendimiento o eficiencia energética de la caldera que se encuentra en análisis. Con base al resultado, se puede concluir si la caldera está en óptimas condiciones de operación.

B. Método Indirecto

Mediante este método se determinan tres indicadores, se llama indirecto, ya que sus mediciones no se involucran con la operatividad del problema, es decir, se pueden realizar análisis de indicadores haciendo mediciones con instrumentos

que no sean parte de los elementos de la caldera, caso contrario como en el método directo, los tres indicadores son:

➤ Pérdidas por el cuerpo de la caldera

Las pérdidas de calor a través del cuerpo de la caldera tienen lugar siempre por conducción, convección y radiación. Las pérdidas por conducción se producen en los apoyos de la caldera. No se toman en consideración debido a su escasa entidad. En calderas estándar este valor de pérdidas por convección y radiación está entre el 1.5 y el 5%, el desplazamiento por el intervalo dado es inversamente proporcional a la potencia de la caldera, es decir, el valor de las pérdidas por convección y radiación disminuye al aumentar la potencia de la caldera.

$$P_{RAD+CONV} = 3,5\%$$

➤ Pérdidas de calor sensible en los humos

Aquí se encuentran indicadores de diferencia de temperatura de los humos o gases de escape a la salida y la del aire comburente. El cálculo de esta pérdida puede efectuarse con una de estas expresiones:

$$P_h = \frac{\dot{m} C_{PM} \Delta T}{F \cdot PCI} \quad Ec. 4.4$$

$$P_h = \frac{V C_{PV} \Delta T}{F \cdot PCI} \quad Ec. 4.5$$

Donde:

P_h : pérdidas en humos (%)

\dot{m} : flujo másico de los humos (kg/s)

V : volumen másico de los humos (m^3/s)

C_{PM} : calor específico de los humos (kJ/kg °C)

C_{PV} : calor específico de los humos (kJ/ m^3 °C)

ΔT : $T_h - T_a$ (°C)

T_h : temperatura de los humos a la salida de la caldera (°C)

T_a : temperatura del aire ambiente de la sala de calderas (°C)

F : consumo de combustible (kg/h)

PCI : poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

Se utiliza el formato 6 con las mediciones realizadas que serán útiles para el cálculo de las pérdidas de calor sensible en los humos

Formato 6: Magnitudes a medir para cálculo de pérdidas por calor sensible en humos

EVALUADOR		
FECHA		
N° DE REGISTRO		
MAGNITUD FISICA	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
FLUJO MÁSIICO DE LOS HUMOS	kg/s	
VOLUMEN MÁSIICO DE LOS HUMOS	m ³ /s	
TEMPERATURA DE LOS HUMOS A LA SALIDA DE LA CALDERA	°C	
TEMPERATURA DEL AIRE AMBIENTE DE LA SALA DE CALDERAS	°C	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	kg/h	

Los valores de calores específicos y el poder calorífico inferior del combustible, se pueden obtener a partir de tablas que se han sido elaboradas a partir de análisis de pruebas y observaciones en laboratorio.

➤ Pérdidas por inquemados

Los inquemados proceden de la combustión incompleta del combustible, son sustancias tales como carbono, monóxido de carbono e hidrocarburos. Estas pérdidas son debidas fundamentalmente a la presencia de CO en los gases y en

la práctica, si la combustión es correcta, son muy pequeñas. Su valor suele estar muy por debajo del 0,5% de la potencia útil de la caldera con combustibles gaseosos. Estas pérdidas se determinan con la siguiente expresión:

$$P_i = \frac{PC_{CO}}{PCI} * CO \quad (Ec. 3)$$

Donde:

CO: es el contenido de monóxido de carbono (%)

PCco: es el poder calorífico del monóxido de carbono

PCI: poder calorífico inferior del combustible

Estos dos últimos, deben estar en el mismo sistema de unidades.

El formato 7 es útil para notar la medición obtenida del porcentaje de monóxido de carbono en los gases de escape.

Formato 7: Medición de porcentaje de monóxido de carbono presente en gases de escape

EMPRESA		
EVALUADOR		
FECHA		
N° DE AUDITORÍA		
MAGNITUD FISICA	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
CONTENIDO DE MONÓXIDO DE CARBONO EN GASES DE ESCAPE DE LA CALDERA	% (ADIMENSIONAL)	

Los valores del poder calorífico inferior del combustible y el poder calorífico del monóxido de carbono se pueden obtener a partir de tablas que se han sido elaboradas a partir de análisis de pruebas y observaciones en laboratorio.

En conclusión, la eficiencia energética de la caldera vendrá definido por la expresión:

$$\eta = 100 - (P_{RAD+CONV} + P_h + P_i) \quad (Ec. 4)$$

Con los valores obtenidos, se procede a calcular la eficiencia energética de la caldera que se encuentra en análisis. Con base al resultado, se puede concluir si la caldera está en óptimas condiciones de operación.

CONCLUSIONES

- De las empresas consultadas, ninguna cuenta con auditorías dirigidas a calderas y la mayoría del personal técnico demuestra conocimientos generales en cuanto al uso de equipos de medición adquiridos basándose en experiencia y no como resultado de un programa de formación técnica.
- Para el desarrollo del proceso de medición durante la auditoría energética, no se cuenta con un protocolo que permita identificar y controlar la condición de los instrumentos a utilizar, sino que únicamente se cuentan con registros de su calibración sin utilizar la información contenida de manera que se pueda aplicar correcciones a valores medidos.
- Se desarrolló una propuesta de protocolo dedicado especialmente a calderas con el objetivo que servirá como guía a las partes interesadas en el tema de auditorías energéticas, para evaluar la condición de los instrumentos de medición y permita garantizar su correcto funcionamiento y precisión. En la elaboración de la propuesta, se tomó de base el análisis realizado a la información obtenida en entrevistas a personal con experiencia en el área de auditoría y operación de estos equipos.
- En la presente investigación, se identificaron los instrumentos de medición, así como sus rangos asociados a las principales magnitudes relacionadas a los indicadores utilizados para calcular la eficiencia energética de una caldera como lo son la temperatura, presión, contenido de los gases de combustión o de escape y flujo másico del agua de alimentación y combustible.
- El objetivo principal de la propuesta de protocolo es garantizar valores confiables en los valores medidos durante la realización de la auditoría energética de calderas. Para la determinación de la eficiencia energética, de las entrevistas realizadas se obtuvieron los siguientes parámetros: la

medición de temperatura, cálculo de pérdidas, así como los valores de contenido de gases de combustión.

- Las industrias que realizan auditorías energéticas dentro de sus empresas no cuentan con un protocolo previo a los instrumentos ni un cuidado especial a sus instrumentos de medición, muchos cuentan con los conocimientos, pero no tienen documentación que respalde que sus mediciones están siendo confiables.
- El control de los instrumentos que se detalla en las respuestas obtenidas en las entrevistas, es basado generalmente en la recomendación del fabricante, por lo que esta propuesta de protocolo facilita que el usuario pueda mantener un control interno tanto a la condición como a la instalación y operación de estos equipos.
- Basado en el desarrollo de la investigación se logró desarrollar un protocolo que tiene varios formatos incluidos para que sirva de guía al lector de la presente investigación, con el fin de generar al usuario un estudio de eficiencia energética dirigida especialmente a calderas, obteniendo un informe ordenado y tomando en cuenta factores como:
 1. Evaluación de los instrumentos utilizados en la auditoria
 2. Magnitudes a medir
 3. Evaluación de consistencia metrológica
 4. Información y parámetros de protocolo en auditoria a calderas que influyen en los resultados a modo de reducir errores e incertidumbres.
- Como se identificó durante la presente investigación, en el país no se realiza una auditoría energética dirigida a calderas, pero si se realizan inspectorías, centrando los esfuerzos en resolver un problema específico de acuerdo a las necesidades de la empresa, además de que las empresas solicitan el servicio

cuando el problema ya se ha presentado y afecta en gran parte los costos de las mismas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Rivas, P. (2019, 21 noviembre). *INSTRUMENTOS DE MEDIDA EN LAS AUDITORÍAS ENERGÉTICAS (2a parte)*. Instalaciones y Eficiencia Energética.com.
<https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/instrumentos-de-medida-para-auditorias-energeticas-2a-parte/>
- De Industria Turismo Y Comercio, E. M., La Diversificación Y Ahorro De La Energía, I. P., & Atecyr. (2007). *Guía técnica: procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas*.
- Arbeláez, M. B., Urueña, W. A., & Gutiérrez, L. M. O. (2008). Proceso de confirmación metrológica dentro de una organización productiva. *Scientia et technica*, 3(40), 189-193. <https://doi.org/10.22517/23447214.3109>
- Golato, M. A. (s. f.). *Metodología de cálculo de la eficiencia térmica de generadores de vapor*. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182008000200003
- Alpino Clima. (2020, 8 diciembre). *Qué es el análisis de la combustión - Calderas Elche Alicante Alpino Clima*. Aire acondicionado, calefacción y limpieza de chimeneas en Alicante. <https://alpinoclima.es/que-es-el-analisis-de-la-combustion/>
- Certification, G. (2019, 21 agosto). *Los equipos de seguimiento y medición en los sistemas ISO 9001:2015*. Global Standards. <https://www.globalstd.com/blog/los-equipos-de-seguimiento-y-medicion-en-los-sistemas-iso-9001-2015/>

- Noguera, I. B. (2021, noviembre 1). ¿Qué son las calderas industriales? Ingeniería Química Reviews. <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/11/que-son-las-calderas-industriales.html>
- Comunicación. (2020, 27 julio). *Así funcionan las calderas industriales*. Escuela de Postgrado Industrial. <https://postgradoindustrial.com/calderas-industriales/>
- Fábrica de calderas y generadores de vapor, aceite térmico, agua*. (s. f.). attsu. <https://www.attsu.com/es/calderas-industriales.html>
- N. (s. f.). Historia - Centro de Investigaciones de Metrología. Recuperado 4 de abril de 2023, de <https://www.cim.gob.sv/historia/>
- De Metrología, C. E. (1994). *Vocabulario internacional de términos básicos y generales de Metrología*.
- Guillén, I. R. (s/f). *PLAN DE AUDITORÍA ENERGÉTICA EL PROTOTIPO DE SOLAR PARA DECATHLON*. UNIVERSITAT JAUME I.
- Meylin Xiomara Carballo Torres, Mauricio Obdulio Cristales Armas, Oscar Ernesto Ramírez Meléndez. (2019). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADO EN LA NORMA ISO 50001 PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.