



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL POR EMISIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN DE  
CALDERAS EN LOS HOSPITALES DR. JUAN JOSÉ ARÉVALO BERMEJO Y GENERAL DE  
ACCIDENTES, DEL IGSS**

**José Roberto Cordero de Vián**  
Asesorado por el Ing. Roberto Guzmán Ortiz

Guatemala, septiembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL POR EMISIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN DE  
CALDERAS EN LOS HOSPITALES DR. JUAN JOSÉ ARÉVALO BERMEJO Y GENERAL DE  
ACCIDENTES, DEL IGSS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ ROBERTO CORDERO DE VIÁN**  
ASESORADO POR EL ING. ROBERTO GUZMÁN ORTIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |   |
|------------|---|
| DECANA     | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada   |
| VOCAL I    | Ing. José Francisco Gómez Rivera        |
| VOCAL II   | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez     |
| VOCAL III  | Ing. José Milton de León Bran           |
| VOCAL IV   | Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente |
| VOCAL V    | Br. Fernando José Paz González          |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez         |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera |
| EXAMINADOR | Ing. Roberto Guzmán Ortiz          |
| EXAMINADOR | Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López  |

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL POR EMISIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN DE CALDERAS EN LOS HOSPITALES DR. JUAN JOSÉ ÁRÉVALO BERMEJO Y GENERAL DE ACCIONENTES, DEL IGSS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha junio de 2017.

**José Roberto Cordero de Vián**

Guatemala, 13 de julio del 2022

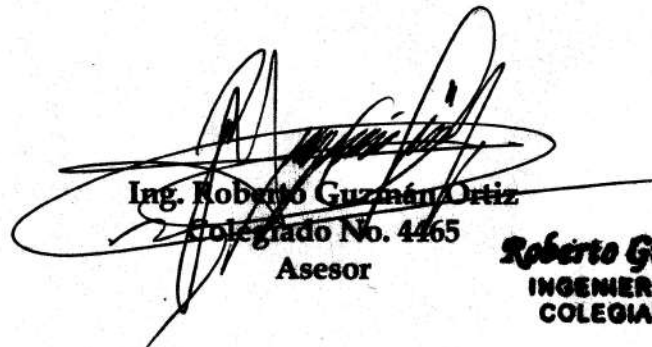
Ingeniero  
**GILBERTO ENRIQUE MORALES BAIZA**  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería, USAC

Ing. Morales:

Cordialmente me dirijo a usted con el propósito de informarle que revisé en su totalidad el trabajo de graduación **ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL POR EMISIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN DE CALDERAS EN LOS HOSPITALES Dr. JUAN JOSÉ ARÉVALO BERMEJO Y GENERAL DE ACCIDENTES, DEL IGSS**, elaborado por el estudiante universitario **JOSÉ ROBERTO CORDERO DE VIÁN** con registro académico 2009-60022 de la carrera de Ingeniería Mecánica.

Dicho trabajo ha sido desarrollado cumpliendo con los reglamentos y siguiendo las recomendaciones de la asesoría por lo que doy mi aprobación y solicito se le continúe el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted, cordialmente.



Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Colegiado No. 4465  
Asesor

**Roberto Guzmán Ortiz**  
INGENIERO MECANICO  
COLEGIADO No. 4465



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

En mi calidad de Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen favorable del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **“ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL POR EMISIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN DE CALDERAS EN LOS HOSPITALES Dr. Juan José Arévalo Bermejo y General de Accidentes, del IGSS”** desarrollado por el estudiante **José Roberto Cordero De Vian**, apruebo dicho trabajo y recomiendo se continúe el trámite correspondiente.

***ID Y ENSEÑAD A TODOS***



---

**Ing. Roberto Guzmán Ortiz**  
Coordinador Área Térmica

Guatemala, julio del 2,022

RGO/

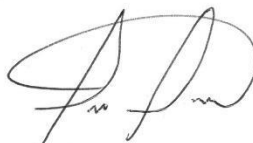
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

LNG.DIRECTOR.182.EIM.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL POR EMISIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN DE CALDERAS EN LOS HOSPITALES DR. JUAN JOSÉ ARÉVALO BERMEJO Y GENERAL DE ACCIDENTES, DEL IGSS**, presentado por: **José Roberto Cordero de Vián**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, septiembre de 2022

Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.633.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL POR EMISIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN DE CALDERAS EN LOS HOSPITALES DR. JUAN JOSÉ ARÉVALO BERMEJO Y GENERAL DE ACCIDENTES, DEL IGSS**, presentado por: **José Roberto Cordero de Vian**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
DECANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, septiembre de 2022

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por permitirme llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.
- Mi madre** María de Vián, por haberme educado y soportar mis errores. Gracias por tus consejos y el amor que siempre me has brindado.
- Mi padre** José Cordero, por el ejemplo de perseverancia que lo caracteriza y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.
- Mi hija** María Cordero, por ser la influencia más importante para poder lograr mis metas y objetivos.
- Mi hermano** Rafael Cordero, por ser un consejero, agradezco su orientación en momentos difíciles.
- Mi hermana** Luisa Cordero, por ser parte importante en mi vida apoyándome siempre.

**Mi abuela**

Anselma de Vián por siempre confiar y motivarme en todo momento de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Mi casa de estudios**

La Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

### **Facultad de Ingeniería**

Por brindarme los conocimientos importantes en el desarrollo de la carrera y marcar mi vida con una forma distinta de pensar.

### **Mis compañeros**

Que me acompañaron en el día a día y que siempre me brindaron su apoyo incondicional. Por haber depositado su confianza en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que jamás olvidaré.

### **Mi asesor**

Por ser ejemplo, guía, catedrático y amigo, siempre disponible para compartir sus conocimientos y orientarme en la vida académica.

## ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....  | V    |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....  | VII  |
| GLOSARIO .....   | IX   |
| RESUMEN.....   | XI   |
| OBJETIVOS.....   | XIII |
| INTRODUCCIÓN .....   | XV   |
| <br>   |      |
| 1. ANTECEDENTES .....  | 1    |
| 1.1. La institución.....   | 1    |
| 1.2. Antecedentes históricos.....  | 5    |
| 1.3. Misión .....  | 7    |
| 1.4. Visión.....   | 7    |
| 1.5. Políticas .....   | 8    |
| 1.6. Hospitales donde se realiza el estudio con su respectiva<br>ubicación y especialidad..... | 10   |
| 1.6.1. Hospital General de Accidentes.....   | 11   |
| 1.6.2. Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo .....  | 13   |
| <br>   |      |
| 2. CALDERAS .....  | 15   |
| 2.1. Calderas pirotubulares.....   | 17   |
| 2.2. Combustibles utilizados .....   | 22   |
| 2.3. Proceso de combustión .....   | 25   |
| 2.3.1. Combustión en calderas .....  | 27   |
| 2.3.2. Eficiencia de combustión .....  | 29   |
| 2.3.3. Eficiencia de calderas.....   | 31   |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.4.   | Generalidades de la combustión .....  | 33 |
| 2.5.   | Calderas en los hospitales .....  | 34 |
| 3.     | LEGISLACIÓN DEL MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS<br>NATURALES Y OTRAS ENTIDADES .....  | 37 |
| 3.1.   | Legislación vigente.....  | 37 |
| 3.2.   | Sanciones respecto a la ley .....   | 45 |
| 4.     | ANÁLISIS DE LA REGLAMENTACIÓN VIGENTE SOBRE LOS<br>GASES CONTAMINANTES DE CHIMENEAS DE LOS PRODUCTOS<br>DE LA COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES USADOS EN<br>CALDERAS..... | 47 |
| 4.1.   | Análisis de la reglamentación vigente .....   | 47 |
| 4.2.   | Análisis de la contaminación producida por los gases .....  | 49 |
| 4.3.   | Parámetros y sanciones vigentes .....   | 52 |
| 5.     | DIAGNÓSTICO DE LA COMBUSTIÓN EN LAS CALDERAS Y LA<br>EMISIÓN DE GASES.....  | 55 |
| 5.1.   | Mediciones .....  | 55 |
| 5.2.   | Combustión .....  | 61 |
| 5.3.   | Inventario de gases contaminantes.....  | 62 |
| 5.4.   | Impacto ambiental.....  | 64 |
| 5.4.1. | Problemas generados por los gases<br>contaminantes .....  | 65 |
| 5.4.2. | La salud de la población.....   | 66 |
| 5.4.3. | Fuentes .....   | 68 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 6.   | ANÁLISIS DE RESULTADOS .....   | 71 |
| 6.1. | Comparación de resultados con base en la legislación .....   | 74 |
| 6.2. | Conclusiones por unidad con base en la legislación .....   | 77 |
| 6.3. | Propuestas en la operación de las calderas y en el control de la emisión de los gases por las chimeneas con base en los análisis por unidad y en general ..... | 78 |
| 6.4. | Propuestas de mejoras aplicando las leyes y reglamentos vigentes .....   | 80 |
|      | CONCLUSIONES .....   | 89 |
|      | RECOMENDACIONES .....  | 91 |
|      | BIBLIOGRAFÍA .....   | 93 |
|      | APÉNDICES .....  | 97 |
|      | ANEXOS .....   | 99 |



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Logo de la institución.....                                | 6  |
| 2.  | Hospital General de Accidentes .....                       | 11 |
| 3.  | Hospital General de Accidentes .....                       | 13 |
| 4.  | Esquemas de calderas.....                                  | 17 |
| 5.  | Vista interna de caldera pirotubular.....                  | 18 |
| 6.  | Partes principales de una caldera pirotubular .....        | 19 |
| 7.  | Calderas pirotubulares .....                               | 20 |
| 8.  | Calderas Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo .....      | 35 |
| 9.  | Calderas Hospital General de Accidentes.....               | 36 |
| 10. | Efecto de la contaminación atmosférica en las plantas..... | 52 |
| 11. | Analizador de combustión Testo 320 .....                   | 56 |
| 12. | Área de Calderas .....                                     | 57 |
| 13. | Lectura presión vapor en manómetro de C1GA.....            | 60 |
| 14. | Ficha 1 de calderas .....                                  | 71 |
| 15. | Ficha 2 de calderas .....                                  | 72 |
| 16. | Ficha 3 de calderas .....                                  | 73 |
| 17. | Ficha 4 de calderas .....                                  | 74 |
| 18. | Cuadro de lecturas.....                                    | 80 |
| 19. | Modelo de afiche.....                                      | 82 |



## TABLAS

|       |   |    |
|-------|---|----|
| I.    | Áreas de Servicio, Hospital General de Accidentes.....                                  | 12 |
| II.   | Tipos de calderas.....  | 16 |
| III.  | Características de combustibles .....   | 24 |
| IV.   | Parámetros servicios subcontratados P1.....   | 54 |
| V.    | Parámetros servicios subcontratados P2.....   | 54 |
| VI.   | Lecturas realizadas en las calderas del Hospital Dr. Juan José<br>Arévalo Bermejo ..... | 58 |
| VII.  | Lecturas realizadas en las calderas del Hospital General de<br>Accidentes .....         | 59 |
| VIII. | Lecturas de presión y temperatura realizadas en las calderas .....                      | 60 |
| IX.   | Estándar de control para calderas del IGSS.....   | 75 |
| X.    | Comparación de resultados 1 .....   | 76 |
| XI.   | Comparación de resultados 2 .....   | 76 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b> | <b>Significado</b>                                  |
|----------------|---|
| °C             | Grados centígrados, medida de temperatura           |
| Kg             | Kilogramo, medida de masa                           |
| Kw             | Kilovatio, medida de potencia eléctrica             |
| MPa            | Mega pascal   |
| m              | Metro   |
| μm             | Micrómetro  |
| mm             | Milímetro   |
| Nm             | Newton metro, medida de esfuerzo de torsión         |
| %              | Porcentaje  |
| CSt            | Unidad física de viscosidad cinemática, sistema CGS |
| η              | Viscosidad absoluta                                 |



## GLOSARIO

|                    |   |
|--------------------|---|
| <b>Acuotubular</b> | Tipo de caldera en la que el agua circula por el interior de los tubos que lo conforman y los gases resultantes de la combustión por el exterior de dichos tubos, trabajando a alta presión.  |
| <b>Aislante</b>    | Material utilizado para separar un elemento de factores que puedan afectarlo, tales como calor, electricidad o ruido entre otros.   |
| <b>Bunker</b>      | Combustible residual que se obtiene de la destilación y refinación de los hidrocarburos, generalmente, por la condición de residuo, tiene un precio bajo, es por ello que se prioriza su uso en aplicaciones donde el consumo de energía es importante. |
| <b>Caldera</b>     | Máquina diseñada para generar vapor a través de transferencia de calor a presión constante. El fluido que ingresa en estado líquido a esta máquina se calienta y cambia su fase a vapor saturado.   |
| <b>Colector</b>    | Equipo utilizado para unir el vapor proveniente de diversas calderas.   |

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>Combustión</b>    | Reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable; fenómeno producto de la oxidación de un combustible.                      |
| <b>Corrosión</b>     | Proceso de deterioro de materiales metálicos mediante reacciones químicas o electroquímicas, en donde el mineral se transforma en óxido.           |
| <b>Evaporización</b> | Es un proceso de calentamiento que hace que el agua cambie de estado líquido a estado gaseoso.   |
| <b>Pirotubular</b>   | Tipo de caldera en la que los gases resultantes de la combustión circulan por el interior de los tubos que lo conforman y el agua por el exterior. |
| <b>Presión</b>       | Magnitud física que mide la fuerza por unidad de área, sirve para caracterizar la aplicación de una fuerza resultante sobre una superficie.        |
| <b>Purga</b>         | Eliminación de una parte del agua de la caldera, para reducir la concentración de sólidos o descargar sedimentos.                                  |
| <b>Quemador</b>      | Parte de la caldera en la cual se mezcla el combustible con el aire que da inicio a la combustión.   |
| <b>Válvula</b>       | Accesorio que regula el paso de un fluido por el interior de una tubería.  |

## RESUMEN

Los productos de la combustión de combustibles fósiles incluyen componentes químicos al momento de quemarse, por ejemplo, el monóxido de carbono, oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, los cuales afectan al ambiente provocando lluvia ácida, contaminación por smog, efecto invernadero otros que han deteriorado severamente el ambiente.

El crecimiento industrial producto del desarrollo del país incluye la generación de energía mediante la quema de combustibles y si esta no es controlada con exactitud, no solo provoca pérdidas económicas, sino problemas en el ambiente.

Este trabajo tiene como fin determinar la composición de los gases de combustión que expulsan las chimeneas de calderas, producto del proceso de combustión de la quema de bunker y los efectos al ambiente; considerándolo importante no solo por la consecuencia inmediata por mala combustión, sino que, por la ubicación de estas unidades médicas dentro del casco urbano.

Para la realización de este trabajo de graduación se realiza una breve reseña de la red de hospitales del I.G.S.S., enfocados principalmente, en las unidades en donde se realiza el estudio; se detallan las consecuencias que causan los gases expulsados de las chimeneas, los problemas que genera en la salud para la población, así como la determinación de las entidades públicas y privadas que trabajan en el control, supervisión y daños al ambiente.

El estudio del funcionamiento de calderas, específicamente sobre la composición de los gases de combustión y la expulsión al ambiente, permite determinar si se encuentra en cumplimiento con la normativa vigente y las sanciones correspondientes al no estar dentro de los parámetros establecidos.

El análisis de los resultados del estudio, permite tener conocimiento real del impacto negativo al ambiente y se hacen propuestas para mejoramiento de la combustión en las calderas con la finalidad de que los gases descargados al ambiente a través de las chimeneas de las calderas cumplan con los parámetros establecidos en la legislación vigente.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer y diseñar el estudio de impacto ambiental por emisión de gases de combustión de calderas en Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo y Hospital General de Accidentes IGSS.

### **Específicos**

1. Determinar la presión y temperatura del vapor producido en las calderas.
2. Establecer la temperatura del precalentamiento del combustible y de los gases de escape.
3. Realizar el análisis de los gases de combustión.
4. Conocer el impacto ambiental de los gases de chimenea.
5. Validar si existe un monitoreo de calidad del aire por parte de algún tipo de entidad pública o privada o de la misma institución.
6. Analizar los estatutos vigentes de legislación respecto a los gases que son expulsados por las chimeneas.
7. Definir los daños a la salud debido a gases producidos en la combustión de combustibles fósiles.





## INTRODUCCIÓN

Las calderas son equipos en los que se genera el vapor de agua que constituye el fluido de trabajo, fuente de energía, para los servicios de lavandería, nutrición, dietética y central de equipos, ya que sin el vapor estos se vuelven inoperantes.

Se evalúa como problema la emisión de los gases de chimeneas de caldera, el impacto que genera para el medio ambiente y la salud en la población. También se realiza el estudio respectivo sobre la legislación y reglamentación vigente emitida por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y del Ministerio de Energía y Minas referente al control sobre los parámetros permitidos en la emisión de gases productos de la combustión en calderas o según tipo de combustibles.

En el primer capítulo se presenta una reseña sobre el IGSS y específicamente de las unidades médicas en las que se realiza el estudio de impacto ambiental por emisión de gases de combustión de calderas en Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo y Hospital General de Accidentes.

La información sobre calderas piro tubulares y de la combustión de combustible bunker y diésel, se da a conocer en el capítulo dos, incluyendo lo referente a los productos considerados contaminantes, aparte de sus efectos al ambiente y sobre los seres humanos.

El tercer capítulo hace referencia de la importancia de conocer los parámetros en la legislación del ministerio de ambiente y otras entidades con relación al medio ambiente y recursos naturales.

Por último, se plantea el análisis de la reglamentación vigente sobre los gases contaminantes de chimeneas de los productos de la combustión de combustibles usados en calderas. Así mismo se presenta la forma en que se pueden realizar los diagnósticos de la combustión en las calderas y la emisión de gases.

# 1. ANTECEDENTES

A continuación, se presenta información referente al lugar donde se efectúa la investigación, dando a conocer algunos datos organizacionales de interés.

## 1.1. La institución

El Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, IGSS, es una institución gubernamental autónoma dedicada a brindar servicios de salud y seguridad social a la población que cuente con afiliación al instituto, llamado entonces asegurado o derechohabiente.

El IGSS fue creado por el Decreto No. 295 del Congreso de la República de Guatemala y firmado por el entonces Presidente de la República de Guatemala, el Doctor Juan José Arévalo, actualmente se encuentra anexado al Ministerio de Trabajo y Previsión Social, sin embargo, esto no impide su autonomía. El Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, en general brinda dos tipos de prestaciones:

- Prestaciones en servicio
  - Atención médica en las unidades asistenciales del IGSS, tanto en consulta externa como en hospitalización.
  - Asistencia en medicina general, quirúrgica y especializada.
  - Medicina que el médico tratante del IGSS indique.
  - Laboratorio clínico, diagnóstico por imágenes de rayos X.

- Electroencefalogramas y otros que contempla la institución en caso el médico tratante del IGSS lo indique.
- Resolución de problemas laborales, como reubicación o estudios socioeconómicos por medio del Departamento de Trabajo Social.
- Ambulancias, en caso de necesitar transporte para ser tratado en un Centro Asistencial del IGSS, por accidente, enfermedad o maternidad y no poder hacerlo por medios propios debido a su estado de salud, el derechohabiente puede hacer uso de las ambulancias de la institución.
- Orientación sobre enfermedades y accidentes a través de diferentes medios, en función de prevención.
- Rehabilitación, en casos en los que un derechohabiente queda limitado en movimiento o función de alguna parte del cuerpo bajo cualquier circunstancia.
- Tratamientos psicológicos y sociales.
- Prestaciones en dinero
  - Por incapacidad, 2/3 partes del salario diario por incapacidad debido a enfermedad o accidente.
  - Por incapacidad, cuando un afiliado sufre daño físico que determina incapacidad permanente total o gran invalidez.

- Por maternidad, las trabajadoras afiliadas en caso de maternidad reciben atención médica especializada y el 100 % del salario durante su descanso de 30 días antes y 54 después del parto.
- Pensión por vejez, al cumplir la edad establecida y el tiempo estipulado en el Reglamento de IVS.
- Cuota mortuoria, ayuda para gastos de entierro en casos de fallecimiento de un trabajador afiliado.
- Pensiones otorgadas a los beneficiarios por fallecimiento del asegurado y se incluye a la esposa o la mujer cuya unión de hecho con el causante haya sido legalizada de acuerdo con el Código Civil.
- A los hijos menores de 18 años, solteros y que no estén pensionados por derecho propio, hijos adoptados legalmente o mayores de edad incapacitados para el trabajo, sean solteros y no estén pensionados por derecho propio con dependencia económica del causante, en caso del padre que se encuentre totalmente incapacitado.
- En caso de desaparición física del afiliado sus beneficiarios también tendrán derecho a una pensión al cumplirse el proceso legal ante los tribunales correspondientes.
- En caso de incapacidad permanente por mutilación, daño físico irreparable o trastorno funcional definitivo debido a accidente, se otorga una prestación ulterior.

Dentro de las prestaciones en servicio, se encuentra la asistencia médica que se brindan en los programas de enfermedad, maternidad y accidentes, programas que en conjunto son conocidos como EMA.

La asistencia médica que el instituto otorga a sus afiliados, pensionados, jubilados del estado y beneficiarios con derecho, se define como: el conjunto de exámenes, investigaciones, tratamientos, prescripciones intervenciones médico quirúrgicas y otras actividades que correspondan a los programas de prestaciones del instituto, los cuales deben poner a la disposición del individuo y en consecuencia de la colectividad, los recursos de las ciencias médicas y otras ciencias a fines que sean necesarios para promover, conservar, mejorar o restaurar el estado de salud, prevenir específicamente las enfermedades, mantener y restablecer la capacidad de trabajo de la población.

Las prestaciones en servicio de los programas de enfermedad, maternidad y accidentes se proporcionan actualmente en consultorios, hospitales y otras unidades médicas propias del instituto por medio de su cuerpo médico y del respectivo personal técnico y auxiliar.

El instituto, con base a normativa vigente, ha celebrado contratos con entes externos prestadores de servicios médicos especializados, con el propósito de brindar otros servicios a sus afiliados. Por lo general, estos servicios se contratan cuando el instituto no cuenta con el equipo o la especialidad que los afiliados puedan necesitar. Dentro de ello cabe mencionar convenios con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, UNICAR y Centro Médico Militar, así también se han celebrado contratos médicos particulares para brindar servicios médicos, tanto a nivel general como especializado.

## 1.2. Antecedentes históricos

La historia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, en Guatemala, comienza como una consecuencia de la Segunda Guerra Mundial y la difusión de ideas democráticas propagadas por los países aliados, se derrocó al gobierno interino del General Ponce Vaidés quien había tomado el poder después de una dictadura de 14 años por el general Jorge Ubico, y se eligió un gobierno democrático bajo la presidencia del Dr. Juan José Arévalo Bermejo.

El gobierno de Guatemala de aquella época, gestionó la venida al país de dos técnicos en materia de seguridad social, ellos fueron el licenciado costarricense Oscar Barahona Streber y el actuario chileno Walter Dittel, quienes hicieron un estudio de las condiciones económicas, geográficas, étnicas y culturales de Guatemala; el resultado de este estudio lo publicaron en un libro titulado: Bases de la Seguridad Social en Guatemala. Al promulgarse la Constitución de la República en aquella época, en su Artículo 63 se establece el seguro social obligatorio implicando que la ley debía regular sus alcances, extensión y forma en que se pondría en vigor.

El 30 de octubre de 1946, el Congreso de la República de Guatemala, emite el Decreto No. 295, que es la Ley Orgánica del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social y en su Artículo 1, del Capítulo 1 del mismo indica que es:

una institución autónoma, de derecho público, con personería jurídica propia y plena capacidad para adquirir derechos y contraer obligaciones, cuya finalidad es la de aplicar en beneficio del pueblo de Guatemala, un régimen nacional, unitario y obligatorio de seguridad social, de conformidad con el sistema de protección mínima.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Congreso de la República de Guatemala. *Decreto No.295, Ley Orgánica del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, IGSS.* p. 4.



Se crea así un régimen nacional, unitario y obligatorio, lo cual significa que debe cubrir todo el territorio de la República, debe ser único para evitar la duplicación de esfuerzos y de cargas tributarias; los patronos y trabajadores de acuerdo con la ley, deben de estar inscritos como contribuyentes, no pueden evadir esta obligación, pues ello significaría incurrir en la falta de previsión social.

La Constitución Política de la República de Guatemala, promulgada al 31 de mayo de 1985, dice en el artículo 100: “Seguridad Social. El Estado reconoce y garantiza el derecho de la seguridad social para beneficio de los habitantes de la Nación.”<sup>2</sup>

Desde la fecha de fundación del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, en octubre de 1946, se adoptó como emblema el motivo representado por un árbol, que simboliza el Régimen de Seguridad Social, con profundas raíces, que demuestran la firmeza sobre la cual se sostiene la institución.

Figura 1. **Logo de la institución**



Fuente: Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, IGSS. *Logotipo institucional*.  
<https://www.igssgt.org>. Consulta: noviembre de 2020.

---

<sup>2</sup> Constitución Política de la República de Guatemala. *Seguridad Social, artículo 100*. p. 19.

Sus ramas ofrecen protección y abrigo a la familia guatemalteca representada por la mujer que sostiene al pequeño en brazos, simbolizando la seguridad que el IGSS brinda a sus afiliados y beneficiarios al velar por su salud, bienestar y estabilidad económica. Esto es muy significativo, ya que, en ningún momento de la vida el niño puede sentirse tan seguro de cualquier peligro, como cuando la madre lo cuida y protege con amor. Ellos están ubicados dentro de un círculo de forma unida, sólida y continua, como se encuentran protegidos por la seguridad social.

### **1.3. Misión**

La misión de la institución se centra en la protección de la salud de sus afiliados, planteándola como sigue: “Proteger a nuestra población asegurada contra la pérdida o deterioro de la salud y del sustento económico, debido a las contingencias establecidas en la ley.”<sup>3</sup>

### **1.4. Visión**

La institución se caracteriza por su permanente crecimiento y desarrollo, que busca la excelencia en la cobertura del servicio que presta, por lo que ha planteado la siguiente visión: “Ser la institución de seguro social caracterizada por cubrir a la población que por mandato legal le corresponde, así como por su solidez financiera, la excelente calidad de sus prestaciones, la eficiencia y transparencia de gestión.”<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. *Manual de organización del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social*. p. 13.

<sup>4</sup> *Ibíd.*

## **1.5. Políticas**

El 30 de octubre de 1946 el Congreso de la República de Guatemala, sanciona el Decreto 295, que es la Ley Orgánica del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, creando una institución autónoma, de derecho público, con personería jurídica propia y plena capacidad para adquirir derechos y contraer obligaciones, cuya finalidad es aplicar en beneficio del pueblo de Guatemala, un régimen nacional, unitario y obligatorio de seguridad social, de conformidad con el sistema de protección mínima. Las garantías sociales, se encuentran en el Artículo 100 de la Constitución Política de la República de Guatemala.

El programa de IVS fue creado el 30 de diciembre de 1968 mediante el acuerdo 481 de Junta Directiva y actualmente es regulado mediante el Acuerdo 1 124, el cual entra en vigencia el 12 de marzo del año 2003, junto con las modificaciones al mismo contenidas en los Acuerdos 1 169, 1 257 y 1 291.

Dentro de los mismos, se contemplan las condiciones y requisitos para poder brindar protección a los actuales afiliados inscritos al régimen de seguridad social del país, futuros pensionados del programa IVS o jubilados del Estado, que están obligados a contribuir al sostenimiento de dicho régimen en proporción a sus ingresos mensuales y quienes tienen el derecho de recibir beneficios para sí mismos y para los familiares que dependan económicamente de ellos, compensando mediante una pensión, el daño económico resultante de la cesación temporal o definitiva de la actividad laboral.

Entre los acuerdos emitidos por la Junta Directiva del instituto, que regulan la administración de las prestaciones en dinero y servicio está el Acuerdo 410, reglamento sobre protección en cuanto a enfermedad y maternidad.

Algunas disposiciones emitidas por la institución sobre los servicios médicos se tienen los siguientes:

La asistencia médica que otorga el instituto, tiene el propósito de promover, mejorar o restaurar la salud y restablecer la capacidad para el trabajo. Para alcanzar tales objetivos, el instituto provee servicios de medicina preventiva, curativa y de rehabilitación (Artículos 16-17, Acuerdo 466 de J.D.).

Los servicios de medicina preventiva en materia de riesgos ocupacionales y accidentes comunes, se orientan preferentemente hacia el desarrollo de las labores de prevención y protección contra el acaecimiento de dichos riesgos y en general, a propugnar por la implantación y mantenimiento de las mejores condiciones de higiene y seguridad dentro y fuera del trabajo (3er. Párrafo del Artículo 21, acuerdo 466 de J.D.).

En Los casos de enfermedades en general, maternidad y accidentes, tanto de afiliados y beneficiarios con derecho, el instituto, según sea el caso y unidad médica, llega a otorgar las siguientes prestaciones en servicio:

- Asistencia médica y quirúrgica general y de tipo especializada
- Asistencia odontológica
- Asistencia farmacéutica, como medicamentos, materiales y equipo
- Rehabilitación y suministro de aparatos ortopédicos y protésicos según normativa.
- Exámenes radiológicos, de laboratorio y demás exámenes complementarios que sean necesarios para el diagnóstico y el control de enfermedades como resonancias magnéticas, ultrasonidos o tomografías.
- Servicio social.
- Transporte según normativa.

Las prestaciones en servicio a los trabajadores afiliados y sus beneficiarios, en los programas de enfermedad, maternidad y accidentes, dependiendo de las circunstancias, pueden ser brindadas como una asistencia médica de consulta externa, asistencia en servicio de emergencia, asistencia médica hospitalaria, visita domiciliar y la creación del programa “médicos de cabecera” a nivel de jubilados del Estado y pensionados del instituto, así como sus beneficiarios con derecho.

La asistencia médica hospitalaria se otorga, cuando a juicio del médico tratante del instituto, sea necesaria la internación u hospitalización del paciente y que el caso no se pueda manejar ambulatoriamente.

Así también, la asistencia médica en los servicios de emergencia se otorga en casos de enfermedades y accidentes con manifestaciones alarmantes o violentas que requieran tratamiento médico quirúrgico inmediato, del mismo modo en los casos de agravamiento súbito de enfermos en tratamiento.

La asistencia odontológica comprende: exámenes de la boca y regiones anexas, extracciones, obturaciones y en casos especiales otros procedimientos odontológicos. Esta asistencia es prestada en servicios odontológicos propios del instituto o, en los que, para el efecto, se tenga contratado.

La asistencia farmacéutica es otorgada en farmacias del instituto. El *stock* médico farmacéutico también contiene productos y materiales de curación, de laboratorio y otros, todos ellos se encuentran establecidos en el listado de médico quirúrgico de medicamentos del instituto, el cual es producto de estudio, análisis, readecuación y renovación según tiempo establecido, con el propósito de actualizarlo.

Por el riesgo de maternidad, el instituto brinda a sus afiliadas o beneficiarias con derecho, los servicios de asistencia médica durante las fases prenatal, natal y postnatal. El régimen de seguridad social, dentro de sus beneficios también da protección y prestaciones en servicio o asistencia médica, a los afiliados que han calificado derechos por los casos de invalidez, vejez y sobrevivencia. La asistencia médico quirúrgica general y especializada, curativa, preventiva para niños, incluye lo siguiente:

- Atención de prematuros
- Tratamiento de anomalías y enfermedades congénitas
- Exámenes médicos de control de la salud
- Asistencia médico quirúrgica y odontológica
- Vacunación contra enfermedades transmisibles
- Asistencia médico quirúrgica para accidentes comunes
- Educación a la madre sobre dietética
- Asistencia médica en consulta externa y hospitales.<sup>5</sup>

## **1.6. Hospitales donde se realiza el estudio con su respectiva ubicación y especialidad**

El instituto cuenta con diversas unidades médicas, distribuidas, tanto a nivel metropolitano como departamental. Actualmente se cuenta con unidades integrales de adscripción, acreditación de derechos y despacho de medicamentos, así también hay consultorios, hospitales y unidades periféricas, unos de mayor o menor envergadura que otros dependiendo de la demanda y capacidad instalada de servicios.

La mayor demanda de servicios médicos está centrada en la ciudad capital de Guatemala, en particular los servicios especializados. Dentro del área metropolitana se encuentran diversos centros médicos especializados, los que sirven de referencia para otras unidades, entre estas está la Policlínica, la Unidad

---

<sup>5</sup> Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. *Servicios médicos*. p. 2-3.

de Consulta Externa de Enfermedades, Hospital General de Enfermedades, Hospital General Dr, Juan José Arévalo Bermejo, Hospital de Gineco-obstetricia Hospital General de Accidentes y Hospital de Rehabilitación.

### 1.6.1. Hospital General de Accidentes

Se encuentra ubicado en la 13 avenida de la Calzada San Juan, zona 4 de Mixco, Guatemala. Atiende de forma especializada a pacientes que ingresan por lesiones sufridas en accidentes, aunque ya al ser ingresados si lo necesitan, pueden ser tratados por médicos especializados como cardiólogos, neurólogos, nutriólogos, entre otros, porque cuenta con estos servicios aparte de lo relacionado a traumatología, ortopedia y cirugía.

Figura 2. Hospital General de Accidentes



Fuente: Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, IGSS. *Noticias*.  
<https://www.igssgt.org/noticias/2017/12/30>. Consulta: noviembre 2020.

El Hospital General de Accidentes, aparte de consulta externa, cuenta con servicio de atención de emergencias por accidentes, a donde pueden acudir todos los afiliados y beneficiarios, para que su estado emergente pueda ser atendido y de ameritar hospitalización puede ser internado, en caso contrario, se atiende la emergencia, siendo posteriormente referido a la unidad médica de adscripción para continuar el tratamiento que requiera.

Este centro es el hospital de referencia a nivel nacional por el riesgo de accidentes, aunque hay otros hospitales a nivel departamental que atienden pacientes en esa situación, al igual que a pacientes referidos de sus zonas de influencia, como el Hospital de Accidentes de Quetzaltenango, Hospital Departamental de Puerto Barrios, Hospital de Accidentes de Huehuetenango y de Coatepeque, además del Hospital de Cobán Alta Verapaz.

Los servicios que se prestan en el Hospital General de Accidentes, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla I. **Áreas de Servicio, Hospital General de Accidentes**

| <b>Especialidades</b>  | <b>Cirugía</b>   | <b>Otros</b>  |
|--|--|---|
| Traumatología<br>Ortopedia<br>Cardiología<br>Oftalmología<br>Neurología<br>Infectología<br>Odontología<br>Otorrinolaringología | Cirugía general<br>Neurocirugía<br>Cirugía plástica<br>Artroscopia | Medicina interna<br>Clínica de choque<br>Laboratorios<br>Banco de sangre<br>Rayos X y Ultrasonidos<br>Rehabilitación<br>Nutrición |

Fuente: elaboración propia.

En este hospital se realizan cirugías de mano, cadera, columna y maxilofacial entre otras, para ello se cuenta con varias salas de operaciones utilizadas en la resolución quirúrgica de emergencia o planificada; se tiene un área específica para la atención de emergencia, observación e intensivo, asimismo varias clínicas médicas atendidas por médicos especializados.

### **1.6.2. Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo**

Este hospital es comúnmente conocido como el IGSS de la zona 6, se localiza en la 19 avenida 7-14 en el Barrio de la Parroquia zona 6 de Guatemala y presta diferentes servicios a los guatemaltecos afiliados. Para la prestación de servicios cuenta con un aproximado de 256 camillas disponibles distribuidas en 8 salas para las áreas de cirugía general, ginecología, pediatría, medicina interna e intensivo.

**Figura 3. Hospital General de Accidentes**



Fuente: Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, IGSS. *Noticias*.  
<https://www.igssgt.org/noticias/2017/12/30>. Consulta: noviembre de 2020.



La alta demanda en servicios de urgencias, enfermedad común y labores de parto, hacen del IGSS de zona 6 uno de los mejores establecimientos disponibles para los pacientes que exigen atención médica de calidad. La cantidad de camillas en relación directa con los servicios básicos necesarios, hacen que sea de vital importancia que el uso de su caldera sea óptimo, que tanto sus emisiones de gases como contaminantes logren estar bajo un régimen controlado y patrones aceptables permisibles, el IGSS de zona 6 es una institución fuerte, que se mantiene en constante crecimiento institucional y en tecnología.

En el área Departamental, existen otras unidades médicas institucionales en donde también se atiende a pacientes por el riesgo de accidentes, lo que se lleva a cabo en consultorios y hospitales. En el área metropolitana, además del Hospital de Accidentes, este servicio también se presta por consulta externa en consultorios y en unidades periféricas.

## 2. CALDERAS

El término caldera se aplica a un dispositivo que sirve para generar vapor o agua sobrecalentada para diferentes usos, como procesos industriales y calefacción, entre otros.

Por razones de sencillez de comprensión a la caldera se le considera como un productor de vapor, en el que intervienen varios componentes, entre estos se encuentra el quemador, intercambiador, ventilador de tiro forzado, compuertas de aire y tubos conductores; que se integran dentro de una carcasa que puede ser de acero, acero inoxidable o hierro forjado.

Las calderas son diseñadas para transmitir el calor procedente de una fuente externa, generalmente un combustible, a un fluido contenido dentro de la misma caldera. Si este fluido no es agua ni vapor de agua o mercurio, a la unidad se le clasifica como vaporizados o como un calentador de líquidos térmicos. De cualquier carácter que sea, este líquido debe de estar dentro del equipo con las debidas medidas de seguridad.

El vapor de agua caliente, debe ser alimentado en las condiciones deseadas, es decir de acuerdo con la presión, temperatura, calidad y cantidad que se requiera.

Hay diferentes tipos de calderas, que pueden clasificarse de acuerdo a su movilidad, presión de trabajo, configuración, diseño, el tipo de combustible utilizado y generación de agua o vapor, como se muestra en la siguiente tabla.

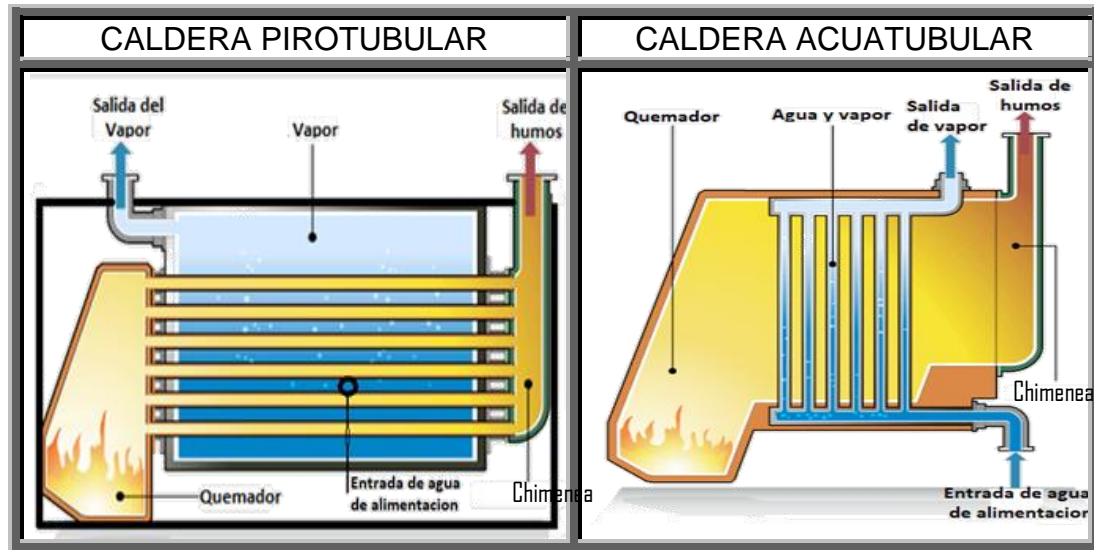
Tabla II. **Tipos de calderas**

| <b>Factor de clasificación</b>  | <b>Tipo de calderas</b>   |
|---------------------------------|---|
| Movilidad o ubicación           | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fijas</li> <li>✓ Portátiles</li> <li>✓ Locomóviles</li> </ul>  |
| Presión de trabajo              | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Baja presión</li> <li>✓ Media presión</li> <li>✓ Alta presión</li> <li>✓ Supercríticas</li> </ul>  |
| Producto que genera             | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De agua caliente</li> <li>✓ De vapor saturado</li> <li>✓ De vapor recalentado</li> </ul>   |
| Configuración                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Verticales</li> <li>✓ Horizontales</li> </ul>  |
| Diseño                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Piro tubulares</li> <li>✓ Acuotubulares</li> </ul>   |
| Tipo de combustible que utiliza | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De combustibles sólidos</li> <li>✓ De combustibles líquidos</li> <li>✓ De combustibles gaseosos</li> <li>✓ De combustibles especiales</li> <li>✓ De recuperación de calor de gases</li> <li>✓ Mixtas</li> <li>✓ Nucleares</li> </ul> |

Fuente: elaboración propia.

Algunos componentes pueden variar de acuerdo a la funcionalidad de la caldera; a continuación, se presenta el esquema de una caldera piro tubular y una acuotubular, que permite evidenciar los componentes que las diferencian, ya que, aunque ambas tienen la capacidad de producir vapor, la forma en que lo hacen es diferente y por tanto el esquema de cada una varía, como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Esquemas de calderas



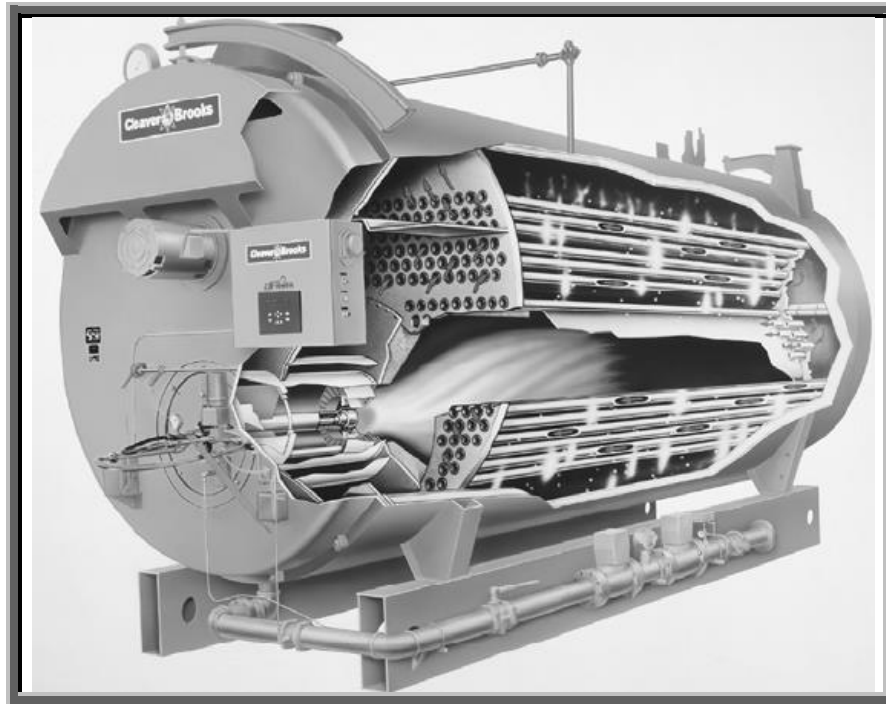
Fuente: Portalelectromecanico. *Máquinas mecánicas: tema 6 calderas*.  
<http://www.portalelectromecanico.org>. Consulta: noviembre de 2020.

La elección de una caldera para un servicio determinado depende del combustible que se disponga, tipo de servicio, capacidad de producción de vapor requerida, duración probable de la instalación o de otros factores de carácter económico y funcional.

## 2.1. Calderas pirotubulares

Este tipo de calderas por lo regular son contenedores de acero con forma cilíndrica o semicilíndrica, en variados tamaños, que en su interior almacena agua y lo atraviesan tubos por los que circulan los gases de combustión. Por problemas de resistencia de materiales, su tamaño es limitado, sus dimensiones alcanzan los 5 m de diámetro y 10 m de largo. Se construyen para flujos máximos de 20 000 kg/h de vapor y sus presiones de trabajo no superan los 1,7652 MPa.

Figura 5. Vista interna de caldera pirotubular

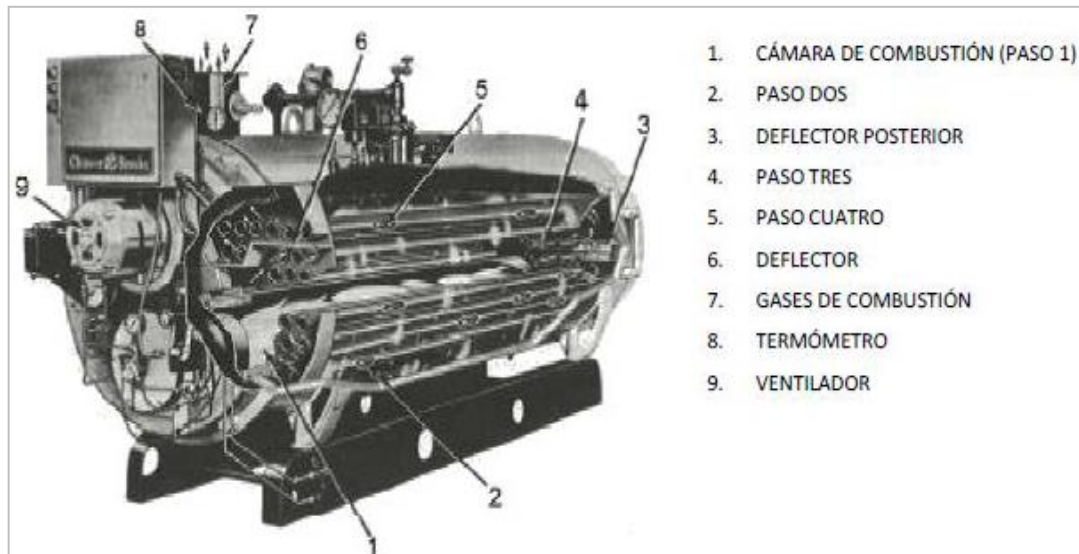


Fuente: Cleaver - Brooks. *Manual de operación, servicio y partes*. p. 1.

Las calderas pirotubulares pueden producir agua caliente o vapor saturado. En el primer caso se les instala un estanque de expansión que permite absorber las dilataciones de agua; mientras que, para el segundo caso, estas calderas poseen un nivel de agua a 10 o 20 cm, sobre los tubos superiores. Entre sus características se pueden mencionar:

- Sencillez de construcción e instalación.
- Facilidad de inspección, reparación y limpieza.
- Gran peso.
- Lenta puesta en marcha.
- Peligro en caso de explosión o ruptura debido al volumen de agua almacenada.

Figura 6. **Partes principales de una caldera pirotubular**



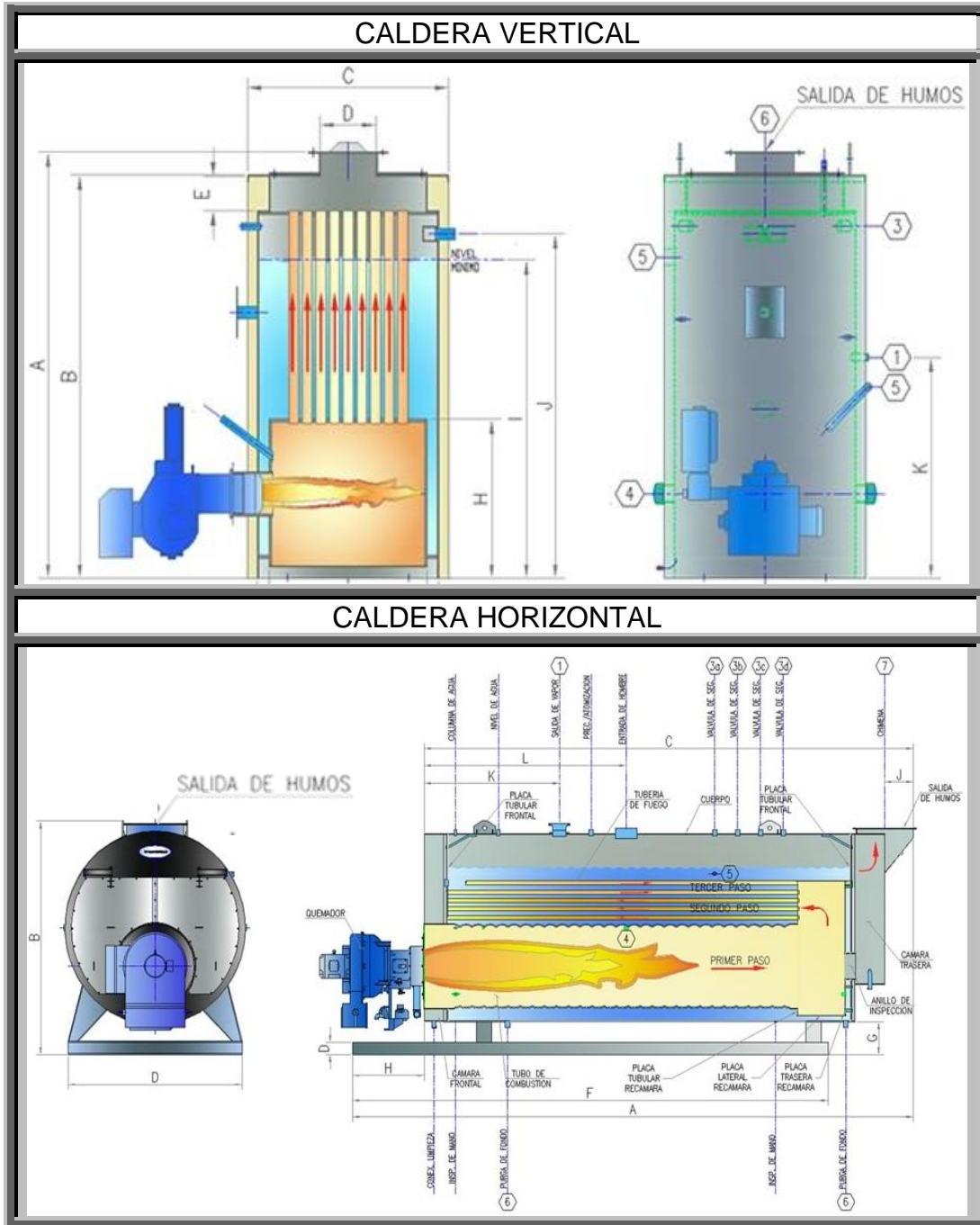
Fuente: Cleaver - Brooks. *Manual de operación y mantenimiento de calderas CB*. p.10.

En función de la disposición del haz tubular dentro de las calderas pirotubulares, este tipo de calderas se pueden clasificar en:

- Calderas horizontales: en donde el haz de tubos va de la parte delantera a la parte trasera de la caldera, requiere de un espacio amplio para su instalación, mayor capacidad y presión que las verticales.
- Calderas verticales: son las que tienen el haz tubular de la parte inferior a la parte superior de la caldera, capacidad y presión limitadas, no requiere tanto espacio para instalación como las horizontales.

La diferencia entre una caldera pirotubular horizontal y una vertical, se puede visualizar más fácilmente en la siguiente figura.

Figura 7. Calderas pirotubulares



Fuente: Colmaquinas. *Calderas pirotubulares*. <https://www.colmaquinas.com/calderas-pirotubulares>. Consulta: diciembre de 2020.

Parte de los componentes principales de una caldera pirotubular, se describen brevemente:

- Virola exterior: elemento de forma cilíndrica, cuya finalidad es contener los fluidos y evitar que estos salgan al exterior, en ella van montadas las tubuladuras de control.
- Cámara de combustión: también llamada hogar, fabricada en forma cilíndrica, en ejecución ondulada o lisa, de acuerdo al tamaño de la caldera y su presión de trabajo. En esta cámara se contiene la llama del quemador e inicia el intercambio de energía.
- Cámara de inversión de gases: componente que se construye en forma cilíndrica y horizontal, cuyo fin es reconducir los gases de combustión hacia el haz tubular, cambiándolos de dirección. Esta cámara debe estar refrigerada por agua, aunque, en calderas de bajo rendimiento, se utiliza mampostería de cemento refractario en lugar de agua para uno de los dos fondos.
- Fondos exteriores: componentes de forma circular soldados a la virola exterior, uno en la parte delantera y otro en la parte trasera de la caldera para evitar la salida de fluidos. Los tubos de humos de gases, las puertas de registro e inspección y los cajones recolectores de gases, van soldados a estas piezas.
- Fondos interiores: se utilizan únicamente en las calderas de tres pasos de gases, también son de forma circular y están soldados a la virola de la cámara de inversión en la parte delantera y trasera de la caldera, con el objetivo de contener los productos de la combustión. Los tubos de



segundo paso de gases van soldados en el fondo delantero, mientras que en el fondo trasero se tienen soldados unos tubos huecos que le dan al conjunto robustez y flexibilidad.

- Haz tubular: se le llama así al conjunto de tubos en donde circulan los gases de combustión, este componente puede ser de una o dos secciones dependiendo de la función de las calderas y se encarga de la transmisión de calor por convección.

Hay varias empresas que se dedican a la fabricación de calderas y aunque tengan la misma finalidad, cada empresa le agrega características que las diferencian.

## **2.2. Combustibles utilizados**

Cada empresa, hace las recomendaciones de combustibles que se pueden utilizar para los modelos de calderas que fabrican, tomando en cuenta la capacidad y funcionalidad de las mismas, dejando a discreción de los usuarios el tipo de combustible a utilizar.

Los combustibles son comúnmente señalados como contaminantes del medio ambiente debido a que, durante el proceso de combustión, generan emisiones de gases como el dióxido de carbono. Dichas emisiones pueden variar en función del tipo de combustible utilizado e influyen en la contaminación del aire, agua y el suelo, de forma directa o indirectamente; es por esta razón que se ha restringido el uso de algunos combustibles para calderas, complementado con algunas recomendaciones para el uso de combustibles en estos dispositivos. La misma preocupación por reducir emisiones contaminantes, da lugar a la

investigación e introducción de combustibles más amigables con el medio ambiente.

Actualmente se utilizan diferentes tipos de combustible en las calderas, entre estos están el diésel, bunker, keroseno, gas butano, gas propano y gas natural, entre otros.

- El diésel es un hidrocarburo líquido de densidad sobre  $850 \text{ kg/m}^3$ , compuesto fundamentalmente por parafinas, es utilizado como combustible en calefacción y en motores diésel. Se obtiene a través del proceso de destilación del petróleo crudo complementado con un proceso de purificación, previo a ser utilizado como combustible, para reducir las emisiones contaminantes relacionadas al azufre y otras impurezas; al diésel también se le conoce con el nombre de gasóleo.
- El bunker es un combustible líquido que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada del petróleo crudo. Es el combustible más pesado de los que se pueden destilar a presión atmosférica, está compuesto por moléculas con más de 20 átomos de carbono, su viscosidad es alta, su color es negro y es utilizado como combustible para barcos, plantas de energía eléctrica, calderas y hornos. Debido a su viscosidad, no es posible purificarlo y eliminar las sustancias nocivas, que conlleva a emisiones contaminantes durante el proceso de combustión.
- El keroseno también es producto de la destilación del petróleo crudo y aunque es incoloro se le agrega colorantes de acuerdo al uso que se le destine. En un principio se utilizaba para el alumbrado, sustituido con el tiempo por la energía eléctrica, pero actualmente se utiliza como

combustible para motores y turbinas. Contiene impurezas que pueden ser tratadas para mejorar su calidad o de acuerdo a su utilidad.

- Tanto el gas butano como el gas propano, se obtienen por medio de la destilación del petróleo, utilizados como combustibles de gran capacidad energética que suponen una combustión más limpia y se les llama también gases licuados del petróleo, GLP. Hay dos características que diferencian a estos gases y son: su composición y su resistencia a bajas temperaturas. El gas butano posee un 60 % de butano, 30 % de isobutano y 10 % de propano, pero no es resistente a bajas temperaturas; el gas propano, en cambio, cuenta con 80 % de propano y 20 % de hidrocarburos como butano e isobutano, con resistencia a bajas temperaturas.
- El gas natural está compuesto principalmente de metano, es insípido, incoloro e inodoro y actualmente es uno de los combustibles más económicos y seguros en aspectos medioambientales.

A continuación, se presentan algunas características de los combustibles más utilizados en las calderas del país.

**Tabla III. Características de combustibles**

| Combustible | Peso específico         | Densidad                     | PCI   | PCS   |
|-------------|-------------------------|------------------------------|-------|-------|
| Diésel      | 0,82 - 0,88 kg/litro    | 820-880 kg/m <sup>3</sup>    | 11,56 | 12,23 |
| Gas natural | 0,78 kg/Nm <sup>3</sup> | 0,737 kg/m <sup>3</sup>      | 13,05 | 14,43 |
| Propano     | 0,502 - 0,535 kg/litro  | 502-535 kg/m <sup>3</sup>    | 12,82 | 13,92 |
| Butano      | 0,56 kg/litro           | 560 kg/m <sup>3</sup>        | 12,96 | 13,74 |
| Bunker      | 0,92 - 1 kg/Litro       | 920 - 1000 kg/m <sup>3</sup> |       |       |

Fuente: elaboración propia.

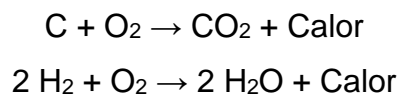
### 2.3. Proceso de combustión

Se puede describir la combustión como el conjunto de procesos fisicoquímicos en los que la combinación de un combustible con un elemento comburente, como el oxígeno, desprende luz, calor y productos químicos que resultan de la reacción conocida como oxidación; de tal forma que, como consecuencia de la reacción de combustión, se genera una masa gaseosa incandescente, denominada comúnmente llama.

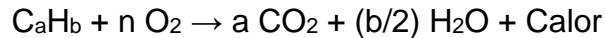
En diferentes actividades, se hace necesario el uso de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos para cubrir la demanda térmica, por medio de dispositivos en los que se realiza el proceso de combustión de forma controlada, de aquí la importancia de adquirir conocimientos sobre el proceso de combustión. Si se desea complementar la información sobre el proceso de combustión, también se pueden adquirir conocimientos sobre termodinámica química, la cinética de la llama y velocidad de las reacciones.

Es necesaria una mezcla adecuada de combustible y aire, además de una temperatura de ignición para que el proceso de combustión continúe. Por otra parte, el término inflamabilidad se utiliza para describir la capacidad de quemarse y la habilidad para convertirse en gas de forma que la combustión pueda tener lugar.

La reacción de oxidación del carbono (C), y del hidrógeno (H), mediante oxígeno, que puede aportarse de forma pura o por medio del aire, generan las siguientes reacciones básicas:



Mientras que los combustibles tienen una composición general que generan la siguiente reacción de combustión:



En sí, la combustión no produce una única reacción química, sino que a través de estudios se logran distinguir tres fases en la reacción de combustión que son: de pre reacción, que es donde se forman los radicales; de oxidación, fase donde se combinan los radicales con el oxígeno de forma exotérmica; y de terminación, que es donde se forman los compuestos estables finales.

Las reacciones químicas también deben satisfacer tres condiciones para que tenga lugar el proceso de combustión:

- Una adecuada proporción entre combustible y oxígeno con los elementos combustibles.
- Una mezcla uniforme de combustible y oxígeno presente en la zona de combustión, para que cada partícula de combustible tenga aire alrededor que ayude a la combustión.
- Una temperatura de ignición que se establece y se monitoriza de forma que el combustible continúe su ignición sin calor externo cuando la combustión arranque.

Los combustibles sólidos normalmente se convierten en gas por el calor y la presencia de aire. Los combustibles líquidos se vaporizan a gas y después arden. La atomización de los líquidos incrementa su mezcla con aire y la vaporización a gas, mientras que la pulverización del carbón tiene el mismo

efecto. Los elementos fundamentales que producen calor en los combustibles son el carbono, el hidrógeno y sus compuestos, excepto para reacciones atómicas y de electricidad.

En el caso del azufre, cuando se oxida rápidamente, también se convierte en fuente de energía térmica, y su presencia en los combustibles presenta efectos nocivos, por lo que debe extraerse para disminuir su presencia y por tanto reducir su efecto resultante del proceso de combustión.

El aire tiene un 23 % de oxígeno en peso y un 21 % en volumen, el resto del aire es en su mayor parte nitrógeno, que no toma parte real en la combustión, pero afecta al volumen de aire necesario. Los elementos que producen la reacción química calorífica, al combinarse con el oxígeno, son el carbono, el hidrógeno y el azufre, debiendo calcular la cantidad de aire requerido tomando en cuenta la proporción de oxígeno que lo compone.

Cuando se encuentra en un espacio dado, el conjunto de un elemento combustible, uno comburente y una fuente de ignición al mismo tiempo, se forma el triángulo de combustión; teniendo en cuenta que para que se inicie la combustión, es necesario que el elemento combustible se encuentre en forma gaseosa. Es por esta razón que los combustibles líquidos y sólidos, deben calentarse previamente para que desprendan vapores con el potencial de inflamarse y así se dé lugar a la combustión.

### **2.3.1. Combustión en calderas**

El quemador es el elemento que forma parte de la caldera, en donde se produce la combustión que se encarga de generar el calor adecuado para transformar el agua de su estado líquido al gaseoso. Cada caldera posee un

controlador que regula el paso del combustible necesario para mantener la presión de vapor suficiente, con la capacidad de satisfacer una demanda específica.

El agua al calentarla se levanta de la superficie, vaporizándose y es colectada en cámaras que determinan la capacidad de producción de vapor de una caldera. En la parte superior de estas cámaras, se encuentra el cabezal de vapor, que conduce el vapor por tuberías. Los gases producto de la combustión, son conducidos hacia el exterior por medio de una chimenea, que se encuentra en la parte superior de la cámara de combustión.

Para que el oxígeno pueda mezclarse bien con los gases y las partículas del combustible que se esté quemando, la acción de la llama debe producir una turbulencia, tomando en cuenta que la flexibilidad del control de llama puede verse afectada por el control de suministro de aire primario. Este aire, es el encargado de conducir el combustible en los quemadores o a través del lecho del combustible. El aire secundario, se suministra para quemar el combustible de forma que el oxígeno pueda unirse en combustión en los puntos más ventajosos.

Durante el proceso de combustión en una caldera, se pueden originar inconvenientes como la combustión incompleta, que puede ocasionar humos y un menor rendimiento de la operación. Para completar la combustión, el volumen del hogar debe ser adecuado para permitir la combustión completa de las partículas de combustible antes de que pasen a las superficies calefactoras y sean enfriadas por debajo de su temperatura de ignición.

En ocasiones, si no se suministra suficiente aire u oxígeno, la mezcla queda rica en combustible, reduciendo la llama resultante que tiende a ser larga y con humo, generando gases con combustible no quemado como partículas de

carbono o monóxido de carbono en vez de dióxido de carbono. Por tanto, la combustión debe efectuarse con exceso de aire para asegurar la quema correcta y completa del combustible, obteniendo un buen rendimiento de calor; esto también reduce la formación de humo y depósitos de hollín.

Cuando los gases de combustión salen por la chimenea como humo negro, es indicio de una insuficiencia de aire; por el contrario, demasiado aire puede producir un denso humo blanco. Si al realizar una inspección visual en la chimenea de la caldera, sale un humo transparente, ligeramente gris, es signo de una relación razonablemente buena de aire y combustible, siendo importante aclarar que para un análisis más exacto puede utilizarse un analizador de gases que determine el exceso o insuficiencia de aire para poder realizar un ajuste adecuado al dispositivo.

### **2.3.2. Eficiencia de combustión**

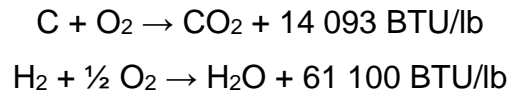
La eficiencia total de combustión se define como la eficacia de cualquier aparato de combustión para convertir la energía interna contenida en un combustible en energía calórica para ser usada en el proceso. Por tanto, eficiencia de combustión es la energía total contenida por unidad de combustible menos la energía llevada por los gases de combustión y el combustible no quemado.

Antes de realizar grandes inversiones de capital para mejorar el rendimiento de la caldera, se debe maximizar la eficiencia de la combustión, la mejor forma de lograrlo es midiendo el oxígeno y el combustible no quemado en el gas de combustión en forma continua.



La combustión estequiométrica está definida como la cantidad exacta de oxígeno y combustible para alcanzar mayor cantidad de calor. En la mayoría de los combustibles fósiles, los elementos químicos que reaccionan con el oxígeno para liberar calor son el carbono y el hidrógeno.

Las reacciones estequiométricas para carbón puro, oxígeno e hidrógeno, son las siguientes:



Para estas reacciones estequiométricas de combustión, el resultado es solamente calor y  $\text{CO}_2$  o  $\text{H}_2\text{O}$ .

Los combustibles comunes consisten en compuestos que contienen ciertas cantidades de hidrógeno y carbono. El calor liberado cuando se quema el combustible se conoce como calor de combustión.

Aunque idealmente se quiere proveer una cantidad adecuada de aire para quemar completamente todo el combustible, esto no es posible debido a fluctuaciones de operación, condiciones ambientales, inadecuadas mezclas de aire y combustible, rendimiento irregular de los quemadores o desgaste de piezas en dispositivos de combustión, por mencionar unos factores de influencia.

Para garantizar que el combustible es quemado y que muy poco o nada escapa en los gases de combustión, se provee un cierto exceso de aire, debiendo cuidar que no sea demasiado por medio de mediciones del excedente de oxígeno en el gas de combustión. Ahora para establecer que la cantidad de hidrógeno o

monóxido de carbón en el gas de combustión está minimizada, se deben medir los combustibles quemados.

En la actualidad se han desarrollado nuevas tecnologías que buscan proporcionar un aumento en la eficiencia de los procesos ya establecidos, siendo un factor importante a considerar cuando se busca optimizar la eficiencia de combustión.

Las leyes de protección al medio ambiente, la búsqueda de quipos más económicos, de operación más eficiente por parte de los usuarios y los dispositivos de control electrónicos más precisos, han derivado en un mejor diseño y operación de las cámaras de combustión de las calderas y sus quemadores, así como de otros dispositivos en los que se lleva a cabo el proceso de combustión de uso industrial, comercial y habitacional.

### **2.3.3. Eficiencia de calderas**

La eficiencia en una caldera se refiere al aprovechamiento del combustible para la generación de vapor, se define como la relación entre la cantidad de energía contenida en el vapor que se genera y la cantidad de energía que se suministra por la quema del combustible en la caldera. Se pueden utilizar dos métodos para el cálculo de la eficiencia de la caldera:

- Método directo: la eficiencia de una caldera es expresada normalmente en forma de porcentaje y se calcula dividiendo el calor que sale con el vapor producido entre el calor suministrado por el combustible utilizado, multiplicado por cien:

$$\text{Eficiencia de la caldera: } \frac{\text{Calor que sale con el vapor producido}}{\text{Calor suministrado por el combustible}} \times 100$$

- Método indirecto: llamado también método de pérdidas, se expresa en forma de porcentaje y se calcula restándole el valor de las pérdidas de calor a cien.

$$\text{Eficiencia de la caldera: } (100 - \text{pérdidas}) \%$$

Dentro de las pérdidas que se toman en cuenta para aplicar el método indirecto, se encuentran las siguientes:

- Pérdida de calor sensible en gases de combustión
- Pérdidas por combustible no quemados
- Pérdidas por radiación
- Pérdidas de calor en purgas y otros

Las pérdidas se producen debido a la temperatura y volumen de los gases que salen por la chimenea; ya que, a mayor temperatura de los gases, menor es la eficiencia de la caldera.

Existen dos razones por las cuales los gases pueden incrementar su temperatura; la primera es que el quemador esté produciendo más calor que el que se requiere para la carga específica de la caldera; la segunda es que las superficies de calefacción de la caldera no estén funcionando correctamente y que por lo tanto el calor no se está transfiriendo al agua.

En el primer caso, es necesario realizar mantenimiento al quemador y al mecanismo de la compuerta de aire, que incluya una recalibración. Mientras que, en el segundo caso, el mantenimiento se centra en las superficies de calefacción, verificando que queden limpias y libres de incrustaciones.

La corrosión también es un problema que puede afectar la eficiencia de calderas, lo que hace necesario incluir dentro de las actividades de mantenimiento, una revisión periódica de piezas en busca de indicios de corrosión; ahora en las actividades de operación, también se debe tener cuidado al reducir la temperatura de los gases de combustión, porque demasiado enfriamiento puede reducir la temperatura de los gases por abajo del punto de rocío, aumentando la posibilidad de corrosión.

La eficiencia de calderas se puede conservar, al proporcionar un mantenimiento preventivo adecuado al dispositivo, controlar que las condiciones operativas de la caldera sean las adecuadas, incluyendo la regulación de las proporciones de aire/combustible aplicadas, la calidad del agua y la calidad del combustible. En la actualidad las calderas modernas se encuentran equipadas con mejores quemadores y pueden tener las siguientes características:

- Recirculación de gases de combustión para asegurar que alcance su nivel óptimo y con la mínima cantidad de exceso de aire.
- Controles electrónicos sofisticados, con la capacidad de monitorear los componentes de los gases de combustión y realizar ajustes en los flujos de combustible y aire, para mantener las condiciones de operación dentro de los parámetros especificados.

#### **2.4. Generalidades de la combustión**

Complementariamente a la información anterior, algunas generalidades de la combustión que vale la pena mencionar son:

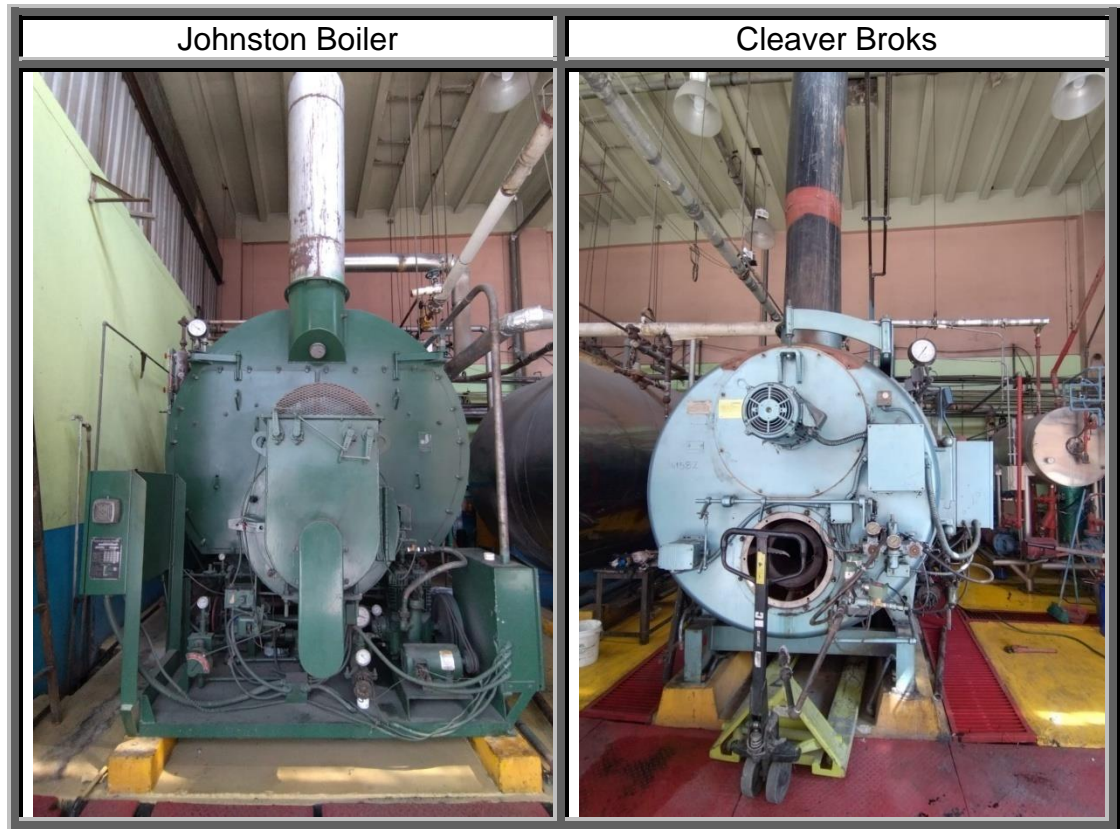
- La combustión es la conversión de energía química primaria, contenida en un combustible, en energía secundaria a través de un proceso de oxidación.
- Los procesos de combustión se realizan a temperaturas elevadas que pueden llegar a los 1 000 °C o más.
- Dependiendo del tipo de combustible que se utilice en el proceso de combustión, se puede producir cierta cantidad de residuos, encontrando algunos como la ceniza o escombros.
- La eficiencia total de combustión se define como la eficacia de cualquier aparato de combustión para convertir la energía interna contenida en un combustible, en energía calórica para ser usada en el proceso.
- Eficiencia de combustión es la energía total contenida por unidad de combustible menos la energía llevada por los gases de combustión y el combustible no quemado.

## **2.5. Calderas en los hospitales**

Tanto en el Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo como en el Hospital General de Accidentes del IGSS, cuentan con calderas que son utilizadas para proporcionar vapor en la lavandería, cocina y central de equipos.

En el Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo, se tienen dos calderas pirotubulares, la primera es una Johnston Boiler, mientras que la segunda es una Cleaver Broks, estas se muestran en la siguiente figura.

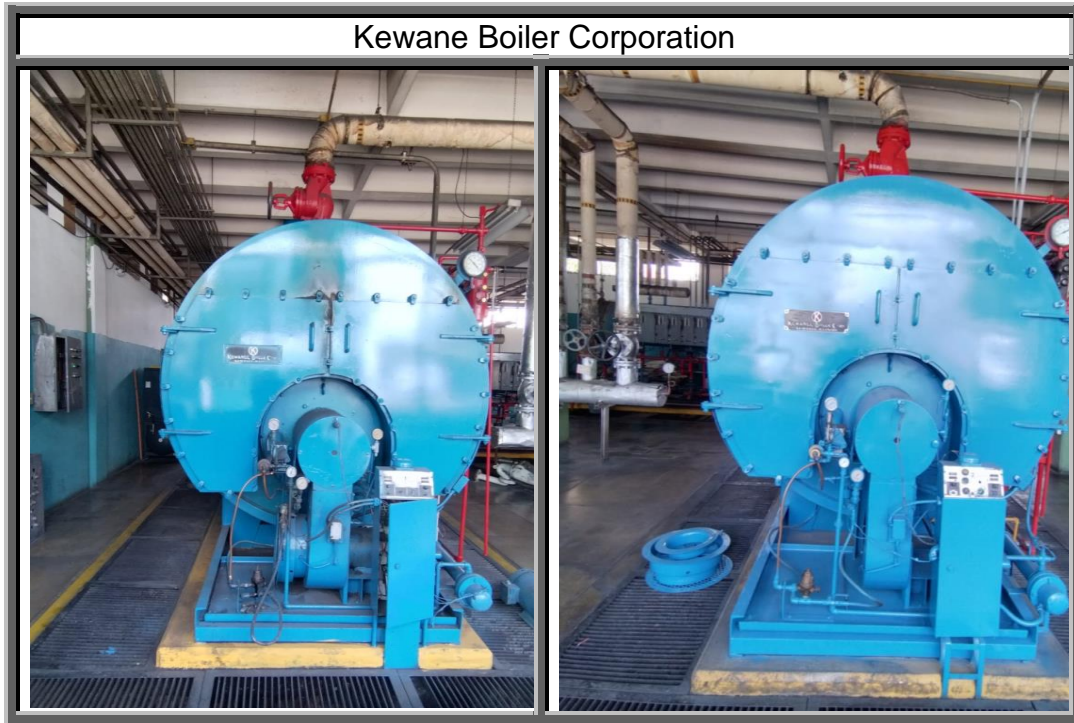
Figura 8. **Calderas Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo**



Fuente: elaboración propia.

En el Hospital General de Accidentes, se tienen dos calderas pirotubulares, ambas Kewanee Boiler Corporation, y se muestran en la siguiente figura.

Figura 9. **Calderas Hospital General de Accidentes**



Fuente: elaboración propia.

### **3. LEGISLACIÓN DEL MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES Y OTRAS ENTIDADES**

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, MARN, es una entidad pública que se especializa en materia ambiental, vela por los bienes y servicios naturales del sector público, además tiene la responsabilidad de formular y ejecutar políticas públicas a fin de fomentar el uso racional de los recursos naturales, la disminución de riesgos para el ambiente y la reducción de la vulnerabilidad ambiental en Guatemala. Es por esto que se debe analizar la legislación del MARN y verificar si hay otras entidades que puedan influir, de alguna manera, en la elaboración de un estudio de impacto ambiental por emisión de gases de combustión en calderas.

Todos los hospitales del IGSS son administrados tomando en cuenta las leyes y normas que se apliquen a sus operaciones y se considera necesario establecer la legislación vigente relacionada al tema y las sanciones respecto a la ley que corresponden.

#### **3.1. Legislación vigente**

Los aspectos generales concernientes al medio ambiente, las normas y reglas por las que se deben regir las empresas en temas relacionados al medio ambiente y los recursos naturales del país, se mencionan a continuación.

La legislación ambiental de Guatemala, parte de la normativa contenida en la Constitución Política de la República y llega hasta las disposiciones administrativas de las distintas autoridades.



La Constitución Política de la República, reconoce la importancia de los recursos naturales del país, con base en algunos de sus artículos se presentan las siguientes observaciones:

- En el Artículo 64 señala de interés nacional el mejoramiento y conservación del patrimonio natural de la nación.
- El Artículo 97 obliga, tanto al Estado como a las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, a proporcionar el equilibrio ecológico y del medio ambiente.
- El Artículo 119, inciso c), señala que son obligaciones fundamentales del Estado, adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma eficiente.

El código municipal se emite destacando la autonomía municipal como carácter técnico administrativo, cuyo objeto es el cumplimiento de los fines del municipio, su fortalecimiento económico y la descentralización administrativa. Las municipalidades deben ejercer entre sus potestades, la emisión de ordenanzas y reglamentos del municipio y hacerlos ejecutar, esto incluye las relacionadas al medio ambiente.

En seguida se presentan algunas observaciones de lo establecido en el Código Municipal:

- En el artículo 36, demanda que, en su primera sesión ordinaria, la corporación municipal organice las comisiones necesarias para el estudio y dictamen de los asuntos que conocerán durante un año, teniendo carácter obligatorio las de protección del medio ambiente.

- Entre las atribuciones del alcalde que se describen en el artículo 58, indica que debe velar por la conservación, protección y desarrollo de los recursos naturales de su circunscripción territorial.
- Entre las competencias municipales descritas en el artículo 68 se encuentra el desarrollo de viveros forestales municipales permanentes, para reforestar y proteger la vida, salud, biodiversidad, recursos naturales, fuentes de agua y luchar contra el calentamiento global. Que se complementa con la promoción y gestión ambiental de los recursos naturales del municipio que se describen en el artículo 70.
- En el artículo 136, determina que el juez de asuntos municipales debe conocer todos los asuntos en que se afecten las buenas costumbres, el ornato de las poblaciones y el medio ambiente.

Por otro lado, el Código de Salud, Decreto No.45-79 del Congreso de la República, en su capítulo IV establece varios aspectos de la salud en relación con el ambiente, tales como:

- Es necesario promover un ambiente saludable que favorezca al desarrollo pleno de los individuos en el que intervengan las municipalidades, el Ministerio de Salud, MARN y también la comunidad organizada, de acuerdo con el artículo 68.
- Los límites de exposición y de calidad ambiental permisibles a contaminantes ambientales que sean de naturaleza química, física o biológica, los establece el Ministerio de Salud en conjunto con el MARN según lo indica el artículo 68.

- Según el artículo 74, es responsabilidad del Ministerio de Salud, MARN y las municipalidades, establecer los criterios para realizar estudios de impacto ambiental, que estén orientados a determinar las medidas de prevención y de mitigación necesarias para reducir riesgos potenciales a la salud, derivados de desequilibrios en la calidad ambiental, producto de la realización de obras o procesos de desarrollo industrial, urbanístico, agrícola, pecuario, turístico, forestal y pesquero.
- También se indica la responsabilidad de las entidades públicas y privadas para el cuidado de recursos naturales como el agua y suelo, incluyendo la disposición de desechos sólidos y otros contaminantes.

La formulación de la política nacional relativa a la protección del ambiente era una función de la Comisión Nacional de Medio Ambiente CONAMA, que también se encargaba de asesorar, supervisar, recomendar y dictaminar sobre todas las acciones referentes a la aplicación de la política nacional, para la protección y mejoramiento del medio ambiente.

Muchas de las leyes actuales fueron emitidas por CONAMA y ahora MARN se encarga de hacerlas cumplir. En ciertos casos, el MARN ha propuesto algunas reformas, en su mayoría para ampliar la ley de acuerdo a las observaciones, problemas y necesidades ambientales que van surgiendo.

Las normas, procedimientos y demás disposiciones administrativas que debe cumplir el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales se establecen en el Reglamento para la Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental. Aspectos a considerar en este reglamento están:

- En el artículo 3, como parte del glosario de términos, explica que se entiende por compromisos ambientales, al conjunto de acciones y prácticas, derivadas del análisis de los instrumentos ambientales, que la DIGARN o las delegaciones departamentales del MARN determinan e imponen como condicionantes para la ejecución de los proyectos, obras, industrias o actividades.
- Existen dos grupos de instrumentos que se pueden utilizar, el primer grupo está conformado por los instrumentos de evaluación y el segundo grupo por los instrumentos de control y seguimiento ambiental.
- Entre los instrumentos de evaluación ambiental están: la evaluación ambiental estratégica, evaluación ambiental inicial y autoevaluación ambiental, estudio de evaluación de impacto ambiental, evaluación de riesgo ambiental, evaluación de impacto social, diagnóstico ambiental y evaluación de efectos acumulativos, esto de acuerdo al artículo 12.
- El instrumento que se utiliza para determinar si un proyecto, obra, industria o actividad requiere de un análisis más profundo por medio de otro instrumento de evaluación es llamado Evaluación Ambiental Inicial, de acuerdo con el artículo 15.
- Las personas individuales o jurídicas que desean ser evaluadas, deben recabar y proporcionar toda la información básica necesaria para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, por medio de la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales pueda revisar y analizar cada caso.

El Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, IGSS, gestiona sus actividades en concordancia con lo que establece la ley, por consiguiente, crea sus propios reglamentos internos, entre ellos está el Reglamento General sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo. En dicho reglamento se estipulan normas aplicables según las actividades que se realizan, los equipos y materiales que se utilizan, el personal que labora en la institución y las exigencias laborales generales. Algunas observaciones de este reglamento son:

- Lo relativo a motores, transmisiones y máquinas calderas, se encuentra en el Capítulo II del Título II del reglamento, especificando las condiciones de seguridad que se consideran necesarias para su correcta operación.
- Se estipula que hay reglamentos especiales respecto a las condiciones de seguridad que deben reunir las calderas de vapor y los recipientes destinados a contener fluidos a presión, en su artículo 27.
- En el artículo 37 define algunas normas para la inspección y mantenimiento de máquinas, enfocadas a evitar riesgos al realizar este tipo de trabajos.

También existe un Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional emitido en el 2014 que plantea medidas de seguridad para el trabajo con calderas, a continuación, se describen algunas de ellas:

- El piso alrededor de las calderas debe ser de un material incombustible y de ser necesario, no conductor de cambios térmicos.
- Es necesario dejar un espacio libre, alrededor de las calderas, con un mínimo de un metro con cincuenta centímetros.

- El piso y las paredes dentro del área donde se encuentran las calderas deben ser de un material incombustible.
- En el área donde se encuentran las calderas se tiene una exigencia visual media, por ello el nivel mínimo de iluminación está entre 150 y 200 luxes.
- Durante su funcionamiento las calderas, de encendido automático o manual, deben mantenerse bajo constante vigilancia.
- Los reguladores de tiro deben abrirse lo suficiente para producir la corriente de aire necesaria que evite el retroceso de llama.
- Si se detecta un retroceso de llama, se debe cerrar el abastecimiento de combustible y verificar la montadura de la caldera antes de reanudar la combustión.
- Es necesario probar a mano la válvula de seguridad, cuando la presión de vapor en la caldera se aproxime a la de trabajo.
- Se debe verificar el nivel de agua en el indicador, durante el funcionamiento de las calderas, purgando las columnas de agua que compruebe que todas las conexiones están libres.
- Las válvulas de desagüe de las calderas, deben abrirse completamente cada veinticuatro horas y de ser posible, en cada turno de trabajo.
- Es necesario cerrar inmediatamente la válvula y detener el fuego, en caso de ebullición violenta del agua en la caldera.

- Las calderas quedan fuera de servicio, si se da una ebullición violenta del agua, hasta que se corrijan sus condiciones de funcionamiento y se verifique el buen estado de la misma.
- Al reducir la presión de vapor, se deja enfriar la caldera durante un mínimo de ocho horas.

Como se puede observar, son varias las instituciones que se interesan por el medio ambiente, partiendo del hecho de que la misma Constitución de la República responsabiliza a todos los guatemaltecos por el cuidado de los recursos naturales nacionales. Existen otros instrumentos jurídicos de especial relevancia para el tema, entre ellos están:

- Acuerdo Gubernativo 229-2014, enfocado en regular las condiciones generales de Salud y Seguridad Ocupacional que permitan proteger la vida, salud e integridad de las personas en su trabajo.
- Acuerdo Gubernativo 26-85, Norma Coguanor, que establece los aspectos técnicos para el uso del agua potable.
- Acuerdo Gubernativo 1036-85, que establece lo concerniente a la creación del Comité Permanente de Coordinación de Agua Potable y Saneamiento, COPECAS.
- Acuerdo Gubernativo 643-88, que regula la creación del Consejo Nacional de Agua y Saneamiento, CONAGUA.
- Decreto No. 116-96, Ley de Fomento a la Difusión de la Conciencia Ambiental, que insta a las instituciones a cumplir los aspectos legales para

proteger, conservar y utilizar de manera sustentable los recursos naturales del país.

- Acuerdo Gubernativo 791-2003, que presenta la normativa sobre Política Marco de Gestión Ambiental, que se centra en la calidad ambiental y la sostenibilidad de la biodiversidad.

### **3.2. Sanciones respecto a la ley**

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, a través de la Ley Marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero, establece que las sanciones a empresas e instituciones que no cumplan con la reducción de gases efecto invernadero, pueden implicar multas económicas, suspensión temporal o hasta la cancelación de operaciones.





#### **4. ANÁLISIS DE LA REGLAMENTACIÓN VIGENTE SOBRE LOS GASES CONTAMINANTES DE CHIMENEAS DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES USADOS EN CALDERAS**

Todas las actividades humanas tienen impacto en el entorno donde se desarrollan, por esta razón, cada país establece leyes o normas que regulan dichas actividades a fin de que éstas no afecten negativa e irreversiblemente el medio ambiente.

Se considera necesario realizar un análisis de la reglamentación, sobre los gases contaminantes de chimeneas de los productos de la combustión de combustibles utilizados en calderas, vigentes en Guatemala, que deben tomarse en cuenta al momento de realizar un estudio de impacto ambiental por emisión de gases de combustión de las calderas que utilizan dos de los hospitales del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.

##### **4.1. Análisis de la reglamentación vigente**

Con base en las reformas a la Ley del Organismo Ejecutivo, Decreto número 90-2000 del Congreso de la República, se le atribuye al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales las funciones de cumplir y hacer cumplir el régimen concerniente a la conservación, protección, sostenibilidad y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales del país y el derecho humano a un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado, debiendo prevenir la contaminación del ambiente, disminuir el deterioro ambiental y la pérdida del patrimonio natural.

La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto número 68-86 del Congreso de la República, en su Artículo 2, claramente manifiesta que la aplicación de esta ley y de sus reglamentos compete al Organismo Ejecutivo, a través del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

El Organismo Ejecutivo está obligado a velar porque el desarrollo nacional sea compatible con la necesidad de proteger, conservar y mejorar el medio ambiente. Los objetivos específicos de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, en su Artículo 12, están orientados a:

- Proteger, conservar y mejorar los recursos naturales del país, a prevenir el deterioro y mal uso o destrucción de los mismos y la restauración del medio ambiente en general.
- Prevenir, regular y controlar las causas o actividades que originen deterioro del medio ambiente y contaminación de los sistemas ecológicos, incluyendo la prohibición en casos que afecten la calidad de vida y el bien común calificados así, previos dictámenes científicos emitidos por organismos competentes.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, MARN, mediante sus diferentes direcciones tales como: la Dirección General de Coordinación Nacional, DIGCN, la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales, DIGARN, y la Dirección General de Cumplimiento Legal, DGCL, tiene competencia para definir y hacer cumplir las acciones preventivas para conservar la calidad del ambiente y de los recursos naturales a nivel departamental, por medio de sedes que se encuentran ubicadas en diferentes regiones del país.

## **4.2. Análisis de la contaminación producida por los gases**

Las calderas pueden emitir gases contaminantes a través de sus chimeneas que repercuten en el ambiente de su entorno. Los efectos que se producen por la contaminación atmosférica, dependen de la concentración de los contaminantes, el tipo de contaminantes que se emiten, el tiempo en que se está expuesto a la contaminación y la sensibilidad de los receptores, entre otros.

Existe una relación entre la contaminación atmosférica, producida por partículas en suspensión y el anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ), con el padecimiento de bronquitis crónica caracterizada por la producción de flemas, la exacerbación de catarros y dificultades respiratorias, tanto en hombres como en mujeres expuestos a dicha contaminación.

También se ha descubierto que cuando las concentraciones de  $\text{SO}_2$  y de partículas en suspensión, superan los 500 microgramos por metro cúbico de aire, como promedio de veinticuatro horas, se produce un aumento de la mortalidad en la población en general, siendo los grupos más sensibles los individuos con padecimientos cardíacos o pulmonares.

La presencia en el aire de elevadas concentraciones de monóxido de carbono (CO), representa una amenaza para la salud. El CO inhalado se combina con la hemoglobina de la sangre, dando lugar a la formación de carboxihemoglobina, lo que reduce la capacidad de la sangre para el transporte de oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos.

Se ha comprobado que una saturación de carboxihemoglobina por encima del 10 % puede provocar efectos sobre la función psicomotora que se manifiesta con síntomas de cansancio, cefaleas y alteraciones de la coordinación. Por

encima del 5 % de saturación se producen cambios funcionales cardíacos y pulmonares y se aumenta el umbral visual. Hasta el momento, no se han encontrado pruebas que indiquen efectos significativos con una concentración de carboxihemoglobina inferior al 2 %.

Los óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>, son contaminantes igualmente contaminantes con cierto grado de peligrosidad para la salud. La mayor parte de los estudios relativos a los efectos de los NO<sub>x</sub> se han ocupado, sobre todo, del NO<sub>2</sub> por ser el más tóxico.

Los efectos producidos por el NO<sub>2</sub> sobre los animales y los seres humanos afectan, casi por entero, al tracto respiratorio. Se ha observado que una concentración media de 190 microgramos de NO<sub>2</sub> por metro cúbico de aire, superada el 40 % de los días, aumenta la frecuencia de infecciones de las vías respiratorias en la población expuesta.

Hay sustancias tóxicas en el aire que pueden provocar modificaciones genéticas y malformaciones en los fetos, como el Benzopireno (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>), siendo algunos de ellos cancerígenos. En el caso del pentóxido de vanadio se sabe lo siguiente:

El pentóxido de vanadio (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), irrita la piel y mucosas, con una exposición de 0,1 miligramos por metro cúbico después de ocho horas, actúa como un tóxico sanguíneo, hepático y renal. Los síntomas de intoxicación por exposición crónica son: bronquitis, neumonía, anemia, lesiones hepáticas y renales en concentraciones de 0,1 a 0,4 miligramos por metro cúbico, durante 10 años pueden generar cambios en las mucosas nasales, bronquitis crónica y decoloración de la lengua. El efecto depende del tamaño de las partículas: los aerosoles > 5 μm no pueden penetrar a los pulmones. El 40 % al 60 % son excretados por vía urinaria después de uno o tres días y el 10 % al 12 % es excretado por vía intestinal. El pentóxido de vanadio inhibe las enzimas y no permite la síntesis del ácido ascórbico y de los ácidos grasos, además de afectar el ADN.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> URIBAZO, Pedro. *Influencia de las calderas sobre el medio ambiente*. p. 4.

Otros seres vivos como las plantas, han mostrado sensibilidad a la mayor parte de los contaminantes del aire, sufriendo daños significativos al ser expuestas a concentraciones mucho más bajas que las necesarias para causar efectos que puedan perjudicar la salud humana y animal.

Se considera complicado establecer los parámetros a partir de los cuales, la contaminación atmosférica tiene un efecto negativo manifiesto en plantas; debido a que estos efectos dependen de la constitución de la planta y de la especie de que se trate. Sin embargo, los efectos producidos por la contaminación atmosférica se pueden manifestar por la alteración de diversos mecanismos vitales de las plantas. De tal forma que las funciones metabólicas y los tejidos vegetales se pueden ver afectados como consecuencia de la acción de gases como el anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), y el monóxido de carbono (CO).

En algunas plantas, los daños se pueden manifestar en forma de necrosis foliar en áreas localizadas con color marrón rojizo y blanco, de clorosis, adquiriendo el tejido una coloración verde pálida o amarilla, aunque también puede aparecer manchas necróticas puntuales. Si el contaminante es muy fuerte o en alta concentración, puede paralizar el crecimiento de las plantas expuestas.

Por lo general, los daños que el SO<sub>2</sub> produce en las plantas, corresponden a la exposición en altas concentraciones durante períodos cortos, o por la exposición prolongada a concentraciones relativamente bajas. Cuando la exposición es diaria y media de aproximadamente 130 microgramos de SO<sub>2</sub> por metro cúbico de aire en la etapa de crecimiento, puede causar daños en las coníferas más sensibles; estos daños se caracterizan por la aparición de necrosis apicales de color rojo o anaranjado.

Figura 10. **Efecto de la contaminación atmosférica en las plantas**



Fuente: FlexBooks. *Los efectos de la contaminación en el ambiente.*

<https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espanol/section/7.18/primary/lesson/los-efectos-de-la-contaminaci%C3%B3n-del-aire-en-el-ambiente/>. Consulta: diciembre de 2020.

Las exposiciones medias anuales de anhídrido sulfuroso de 50 microgramos por metro cúbico de aire pueden causar daños considerables a especies forestales sensibles. Estas pueden manifestarse cuando la hoja va adquiriendo un color amarillento de forma gradual, y se extiende desde la zona apical a la base de la misma, lo cual es causado por dificultades en el mecanismo sintetizador de la clorofila. En las plantas dañadas se encuentran grandes cantidades de sulfato en las hojas con síntomas crónicas.

### **4.3. Parámetros y sanciones vigentes**

Para el caso de las calderas, que entran en la clasificación de fuentes fijas de contaminación, en el punto 7,2 del manual de legislación ambiental de Guatemala, indica que:

La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente faculta a CONAMA para supervisar y vigilar la contaminación producida por la industria o cualquier actividad que por su naturaleza produzca efectos nocivos al ambiente. En el caso de fuentes fijas no existe un cuerpo normativo que identifique y reúna las regulaciones y parámetros respectivos.<sup>7</sup>

Lo anterior implica que, aunque hay instituciones que deben velar por la regulación de la emisión de contaminantes atmosféricos en Guatemala, como el MARN, no existe un normativo que especifique los parámetros en que deben operar las calderas instaladas para uso hospitalario, ni las de uso industrial que son más comunes. Estos normativos deben ser accesibles para quienes buscan evaluar la emisión de gases producidas por las calderas, ya sean empresas privadas que se dediquen a tal fin o instituciones públicas y privadas que requieran dicho servicio.

En países como Cuba, tienen normas de concentraciones máximas de contaminantes atmosféricos que toman en cuenta los principales contaminantes emitidos por medio de las chimeneas de una caldera, exponiéndolas de forma generalizada de acuerdo al tiempo de medición en su norma NC 93-02-202. Colombia en la resolución 909 establece las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas para actividades industriales existentes y nuevas. Las tablas de ambos normativos se incluyen en los anexos del presente documento como referencia.

En Guatemala existen empresas privadas que se encargan de realizar análisis de combustión a calderas de instituciones públicas o privadas que lo requieran, utilizando para ello parámetros internacionales, entre estos los que establece la Organización Mundial de la Salud en las Guías para la calidad del aire o la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales que ha publicado

---

<sup>7</sup> Instituto de Derecho Ambiental y Desarrollo Sustentable. *Manual de legislación ambiental de Guatemala*. p. 30.



normas como la ASTM 2156 que indica el nivel máximo de hollín permitido de acuerdo al tipo de combustible utilizado en el proceso de combustión. En cuanto a los parámetros aplicables para la evaluación de los gases contaminantes de la combustión de combustibles usados en calderas, se toman en cuenta los parámetros de una empresa privada que se encarga de realizar dicho análisis para empresas en Guatemala, como servicios subcontratados, tomando como base los diferentes tipos de combustibles que se pueden utilizar para la operación de calderas; estos se presentan en las siguientes tablas.

Tabla IV. **Parámetros servicios subcontratados P1**

| Tipo de combustible | Nivel máximo de Hollín ASTM2156 | Eficiencia de combustión | CO        |
|---------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------|
| LPG                 | 1                               | mayor 90 %               | < 50 ppm  |
| GAS NATURAL         | 1                               | mayor 90 %               | < 50 ppm  |
| DIÉSEL              | 1                               | mayor 68 %               | < 100 ppm |
| BUNKER              | 4                               | mayor 86 %               | < 100 ppm |
| CARBÓN              | 4                               | mayor 80 %               | < 100 ppm |

Fuente: Departamento de Mantenimiento, IGSS.

Tabla V. **Parámetros servicios subcontratados P2**

| Tipo de combustible | Dióxido de carbono |         | Oxígeno |        |
|---------------------|--------------------|---------|---------|--------|
|                     | Mínimo             | Máximo  | Mínimo  | Máximo |
| LPG                 | 10,50 %            | 11,50 % | 1,00 %  | 3,00 % |
| DIÉSEL O BUNKER     | 12,00 %            | 13,50 % | 3,00 %  | 5,00 % |
| CARBÓN MINERAL      | 14,00 %            | 15,50 % | 3,50 %  | 5,00 % |

Fuente: Departamento de Mantenimiento, IGSS.

En las tablas se marca con gris, los parámetros que se pueden aplicar a las calderas de ambos hospitales, debido al combustible que utilizan.

## **5. DIAGNÓSTICO DE LA COMBUSTIÓN EN LAS CALDERAS Y LA EMISIÓN DE GASES**

Al necesitar vapor de agua, el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, ha instalado calderas en sus hospitales, que les permite realizar varias actividades propias de este tipo de institución. Como resultado del proceso de combustión, las calderas suelen emitir gases que pueden ser contaminantes dependiendo el tipo de combustible que se utiliza, las condiciones de la caldera y la forma en que se opera, debiendo ser monitoreado su funcionamiento, realizar un diagnóstico de la combustión y así, establecer las medidas necesarias para minimizar las posibilidades de contaminar el medio ambiente al utilizar calderas con el fin de satisfacer la demanda de vapor en la institución.

La conceptualización de la combustión, el inventario de gases contaminantes y su impacto tanto en el medio ambiente como en la salud con base en la fuente que le da origen, se complementan con las mediciones directas realizadas por medio del equipo adecuado durante las visitas técnicas realizada a los hospitales del IGSS en cuestión.

### **5.1. Mediciones**

No es posible presentar un diagnóstico, sin la ayuda de un aparato con la capacidad de medir la composición del producto de la combustión; existen aparatos que poseen un sistema de medición continuo para gases en calderas, que puede medir hasta cinco gases de efecto invernadero, entre ellos se encuentra el CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>.

Para el diagnóstico de combustión en las calderas y la emisión de gases, es necesario realizar ciertas mediciones en cada una de ellas, por ello se utiliza un analizador de combustión Testo 320, modelo 60205766, cuyas especificaciones técnicas se presentan en los anexos. En la siguiente figura se puede apreciar el aparato utilizado para las mediciones, se presenta una imagen de internet de referencia, debido a que la fotografía real es de baja resolución.

Figura 11. **Analizador de combustión Testo 320**



Fuente: elaboración propia.

Testo 320 es un aparato que proporciona una medición por medio de una sonda de humos para muestreos de 180 mm con colector de condensados. Entre la información que proporciona está: la temperatura de los gases de combustión, la eficiencia de combustión, el porcentaje de oxígeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono que emiten, además del exceso de aire.

Es importante mencionar que previo a realizar las mediciones, se gestiona el permiso correspondiente para el ingreso al área de Calderas, que fue aprobado para las fechas solicitadas, asignando a una persona del Departamento de Mantenimiento para el acompañamiento durante las mismas.

Las primeras mediciones se realizan en el área de Calderas del Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo, que se localiza en la zona 6 de la ciudad Guatemala. Posteriormente se visita el área de Calderas del Hospital General de Accidentes ubicado en la zona 4 de Mixco; en la siguiente figura se presentan fotografías de las visitas realizadas.

Figura 12. **Área de Calderas**



Fuente: elaboración propia.

Para cada medición, es necesario tomar una muestra de los gases que pasan por la chimenea o el conducto de humos de cada caldera; ésta se obtiene por succión y a través de los sensores con que está equipado el analizador de combustión, se establece la concentración de sus componentes.

Para cada medición se espera a que el instrumento muestre valores estables en los parámetros de interés, previa introducción de datos como el tipo de combustible utilizado en la caldera. En la siguiente tabla se ordena y presenta la información obtenida a través del analizador de combustión; las fotografías de cada una de las lecturas se presentan en los apéndices del presente documento.

Tabla VI. **Lecturas realizadas en las calderas del Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo**

| Parámetros                      | Lectura C1 | Lectura C2 |
|---------------------------------|------------|------------|
| Temperatura gases de combustión | 326,5 °F   | 331,7 °F   |
| Eficiencia de combustión        | 88,3 %     | 89,4 %     |
| Dióxido de carbono              | 10,26 %    | 12,95 %    |
| Oxígeno                         | 5,2 %      | 4,7 %      |
| Exceso de Aire                  | 35,4 %     | 27,3 %     |
| Monóxido de carbono             | 0 ppm      | 0 ppm      |

Fuente: Departamento de Mantenimiento, IGSS.

En la columna uno de la tabla anterior, se enlistan los parámetros a los que corresponden las mediciones, que son: la temperatura de los gases de combustión, medida en grados Fahrenheit; la eficiencia de combustión, dióxido de carbono, oxígeno y exceso de aire, todos ellos dados en porcentajes; y por último el monóxido de carbono medido en partículas por millón. En la columna dos se ordena la información obtenida en la caldera uno marca Johnston Boiler, mientras que la columna tres corresponde a los datos obtenidos en la caldera dos, marca Cleaver Broks, del Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo.

Tabla VII. **Lecturas realizadas en las calderas del Hospital General de Accidentes**

| Parámetros                      | Lectura C1 | Lectura C2 |
|---------------------------------|------------|------------|
| Temperatura gases de combustión | 332,1 °F   | 333,2 °F   |
| Eficiencia de combustión        | 89,4 %     | 89,3 %     |
| Dióxido de carbono              | 12,79 %    | 12,63 %    |
| Oxígeno                         | 4,9 %      | 5,1 %      |
| Exceso de Aire                  | 28,9 %     | 30,4 %     |
| Monóxido de carbono             | 0 ppm      | 0 ppm      |

Fuente: Departamento de Mantenimiento, IGSS.

En la tabla anterior, la columna uno también contiene los parámetros que corresponden a las mediciones, que son: la temperatura de los gases de combustión, medida en grados Fahrenheit; la eficiencia de combustión, dióxido de carbono, oxígeno y exceso de aire, todos ellos en porcentajes; y por último el monóxido de carbono medido en partículas por millón. En la columna dos se ordena la información obtenida en la caldera uno, mientras que la columna tres corresponde a los datos obtenidos en la caldera dos, del Hospital General de Accidentes, ambas marcas Kewanee Boiler Corporation.

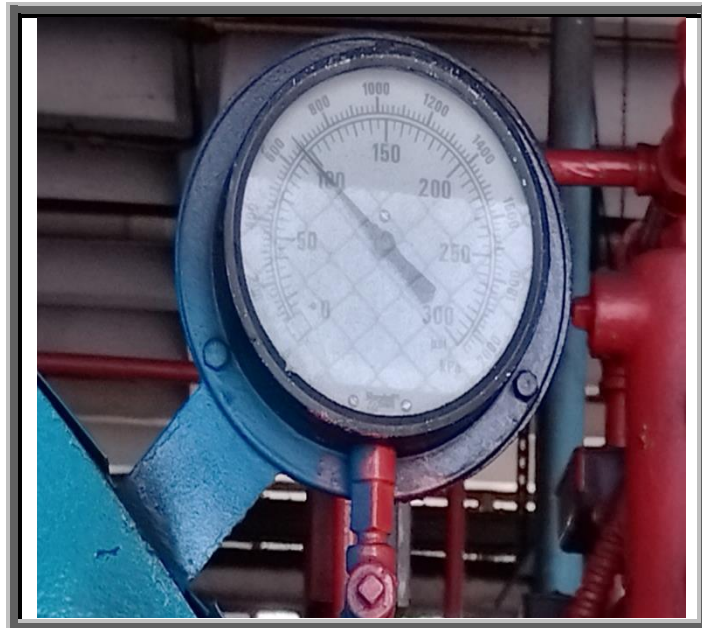
También se realizan algunas lecturas de la presión del vapor producido en las calderas de cada hospital, agregando la temperatura del precalentamiento del combustible y de los gases de escape. Como estas mediciones las realizan diariamente los técnicos de cada hospital, se presentan cinco lecturas, tres de ellas corresponden a lecturas registradas en horas previas a la visita y las otras dos, fueron tomadas y validadas durante la visita.

**Tabla VIII. Lecturas de presión y temperatura realizadas en las calderas**

| C1GA          |                         |                            | C2GA          |                         |                            |
|---------------|-------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------|----------------------------|
| Presión Vapor | Temperatura Combustible | Temperatura Gases Chimenea | Presión Vapor | Temperatura Combustible | Temperatura Gases Chimenea |
| 50 PSI        | 80 °C                   | 250 °F                     | 60 PSI        | 80 °C                   | 240°F                      |
| 100 PSI       | 90 °C                   | 340 °F                     | 100 PSI       | 95 °C                   | 330 °F                     |
| 110 PSI       | 95 °C                   | 340 °F                     | 100 PSI       | 97 °C                   | 330 °F                     |
| 100 PSI       | 95 °C                   | 332 °F                     | 105 PSI       | 90 °C                   | 333 °F                     |
| 100 PSI       | 95 °C                   | 335 °F                     | 100 PSI       | 93°C                    | 338 °F                     |
| C1Z6          |                         |                            | C2Z6          |                         |                            |
| Presión Vapor | Temperatura Combustible | Temperatura Gases Chimenea | Presión Vapor | Temperatura Combustible | Temperatura Gases Chimenea |
| 0             | 0                       | 0                          | 60 PSI        | 80 °C                   | 250 °F                     |
| 105 PSI       | 90 °C                   | 360 °F                     | 100 PSI       | 95 °C                   | 340 °F                     |
| 105 PSI       | 94 °C                   | 350 °F                     | 100 PSI       | 100 °C                  | 340 °F                     |
| 100 PSI       | 90 °C                   | 336 °F                     | 105 PSI       | 100 °C                  | 332 °F                     |
| 100 PSI       | 95 °C                   | 340°F                      | 100 PSI       | 100°C                   | 335 °F                     |

Fuente: Departamento de Mantenimiento, IGSS.

**Figura 13. Lectura presión vapor en manómetro de C1GA**



Fuente: elaboración propia, área de Calderas, Hospital General de Accidentes.

En el caso específico de la caldera uno del Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo, no se realizó la primera lectura el día de la visita, por esta razón no se encuentran datos en la primera fila, proporcionando únicamente cuatro datos y no cinco, como en los demás casos. La fotografía corresponde a una de las lecturas realizadas en el manómetro de la caldera uno del Hospital General de Accidentes. Durante la visita se pudo constatar que cuentan con una hoja donde registran presión, temperatura, purgas, datos de algunas pruebas, consumo de combustible y consumo de agua, especificando el momento en que deben realizarse las lecturas.

## **5.2. Combustión**

El análisis de los gases de combustión ofrece un medio para determinar las concentraciones de contaminantes que se emiten y permite ajustar al máximo el rendimiento de las calderas, siendo esencial el uso de un analizador de combustión para realizar un diagnóstico acertado. Al tomar una muestra de la emisión de gases en la chimenea de una caldera y analizarla a través de un aparato como Testo 320, se obtienen los siguientes datos:

- TH: es uno de los primeros datos que proporciona el analizador de combustión y se refiere a la temperatura de humos que mide en grados Fahrenheit.
- O<sub>2</sub>: es el porcentaje de oxígeno que mide el analizador de combustión en la muestra, que corresponde al oxígeno que resulta al utilizar aire en exceso, permite determinar las pérdidas por chimenea y el rendimiento de la combustión.



- CO: es el monóxido de carbono corregido en partes por millón que mide el analizador de combustión en la muestra tomada, es el resultado de una combustión incompleta; dependiendo de su concentración y tiempo de exposición, puede causar daños a la salud de las personas que lo inhalen.
- RENbr: se refiere al rendimiento de la combustión que se mide con el analizador, es la relación entre la energía útil que suministra y la energía total absorbida expresada en porcentaje. Desde la perspectiva de la eficiencia energética, este es uno de los datos más importantes que se obtiene al utilizar este tipo de aparato para el diagnóstico.
- Eaire: se refiere al índice de exceso de aire que mide el analizador de combustión en la muestra, es un ratio entre el aire de la combustión con el teóricamente necesario, tomando en cuenta que con valores elevados el rendimiento de la caldera disminuye.
- CO<sub>2</sub>: es el porcentaje de dióxido de carbono que mide el analizador de combustión en la muestra tomada, y está inversamente relacionado con el porcentaje de oxígeno presente en la combustión e indica si la combustión es adecuada o no.

### **5.3. Inventario de gases contaminantes**

Entre los contaminantes asociados con la combustión de combustibles fósiles están: óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, monóxido de carbono CO, partículas sólidas PS y compuestos orgánicos volátiles COV. En el inventario de emisiones de contaminantes criterio de Guatemala: 2009, se identifican siete contaminantes que son:

- Óxidos de nitrógeno, NOx: grupo genérico de contaminantes emitidos a la atmósfera como resultado de procesos de combustión, en este grupo se incluye el óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno. Suelen encontrarse en un estado de flujo rápido a inmediaciones de su emisión, que se registran con base en el peso molecular del NO<sub>2</sub>.
- Óxidos de azufre, SOx: grupo genérico de contaminantes que son emitidos al utilizar combustibles que contienen azufre; aunque incluye diversas especies de óxidos, el principal es el dióxido de azufre, entonces los SOx totales se registran con base en el peso molecular del SO<sub>2</sub>.
- Monóxido de carbono CO: gas incoloro e inodoro que resulta de la combustión incompleta de combustibles fósiles, tiene repercusiones en la salud de quienes sean expuestos de forma directa en diferentes grados de afectación dependiendo del tiempo de exposición.
- Partículas suspendidas PM: en este grupo se incluyen las partículas primarias que se refieren a cualquier material sólido, líquido o gaseoso emitido por una fuente directa, quedando suspendido en la atmósfera en estado sólido o líquido a temperatura y presión ambiental; también se incluyen las partículas secundarias que corresponden a los aerosoles formados a partir de materiales gaseosos como resultado de reacciones químicas atmosféricas.
- Gases orgánicos reactivos GOR: son gases fotoquímicamente reactivos compuestos de hidrocarburos que pueden contribuir a la formación de contaminación fotoquímica; también son denominados compuestos orgánicos volátiles.

- Gases orgánicos totales, GOT: son compuestos comprendidos en las emisiones de hidrocarburos, en procesos de combustión o evaporación; se incluye varios compuestos carbonáceos y otros aldehídos, pudiendo tener repercusiones en la salud dependiendo el tiempo de exposición.
- Amoníaco NH<sub>3</sub>: estas se incluyen en el inventario debido a que suele reaccionar con SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> para formar reactivos como el sulfato de amonio y el nitrato de amonio, las principales fuentes son la ganadería y la aplicación de fertilizantes.

Como se puede observar, en el inventario de contaminantes realizado en Guatemala, se incluyen los contaminantes relacionados con la combustión en calderas y se describen brevemente para tener noción de que son, cuáles son sus principales fuentes y las consecuencias de su existencia en el ambiente del país.

#### **5.4. Impacto ambiental**

El impacto ambiental se refiere a las repercusiones de la actividad humana en el ambiente, estos pueden ser negativos o positivos; ejemplo de ello es la reforestación versus la deforestación. La reforestación, que implica la siembra de árboles, tiene un impacto positivo en el ambiente, mientras que la deforestación tiene un impacto negativo en el ambiente debido a la tala de árboles.

En la industria, por lo regular, el término impacto ambiental se enfoca en los aspectos negativos que se pueden generar como resultado de sus procesos, debiendo ser analizados para establecer las medidas que permitan eliminarlos o al menos disminuirlos.

Aunque las calderas satisfacen la demanda de vapor para múltiples usos, también tienen repercusiones negativas en el ambiente debido a la emisión de gases contaminantes que resultan del proceso de combustión. Dependiendo del combustible que se utilice para su funcionamiento, así puede ser la cantidad y tipo de contaminantes que emite al ambiente a través de su chimenea.

Establecer los diferentes problemas que pueden ocasionar los gases contaminantes emitidos por las calderas, las repercusiones que estos tienen en la salud de la población y la identificación de las principales fuentes de emisión, son parte fundamental para determinar el impacto de una caldera al ser utilizada para satisfacer la demanda de vapor en el ámbito hospitalario.

#### **5.4.1. Problemas generados por los gases contaminantes**

Los gases contaminantes que se emiten a través de la chimenea de una caldera, representan un riesgo a controlar, no solo porque alteran la composición del aire en el área al que son expulsados, sino que también generan otros problemas que se explican a continuación:

- Efecto en el clima: el aumento rápido de la concentración de CO<sub>2</sub> en el ambiente, incrementa el efecto invernadero natural, elevando la temperatura media del planeta, lo cual puede desencadenar un cambio climático con consecuencias imprevisibles e irreversibles, siendo importante no alterar la concentración natural de este componente.
- Efecto en la biosfera: gases contaminantes como los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> y los de azufre SO<sub>x</sub>, al ser emitidos se disuelven en el agua de las nubes y produce ácidos corrosivos que dañan los ecosistemas cuando llueve.

- Efecto en los materiales: las partículas de humo y ciertos gases contaminantes, solos o disueltos en el agua de lluvia, pueden deteriorar materiales de infraestructura o también elementos que se encuentren a la intemperie.
- Efecto en la salud: tanto los gases contaminantes como las partículas que se generan en la emisión de las chimeneas de las calderas, en altas concentraciones y durante períodos prolongados, pueden dar origen a enfermedades principalmente del tracto respiratorio; y en ciertos casos se generan problemas cardiacos o neuronales.

Los problemas generados por los gases contaminantes, afectan a todos los seres vivos, no solo a aquellos cercanos a las fuentes de emisión. Se establecen normas internacionales que controlan o limitan el uso de ciertos combustibles, con el afán de controlar y de ser posible disminuir este tipo de problemas.

#### **5.4.2. La salud de la población**

En relación con la salud, el ozono troposférico y las partículas sólidas son los contaminantes más preocupantes porque la exposición a los mismos tiene consecuencias que van desde leves efectos en el sistema respiratorio hasta incluso la mortalidad prematura.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, aproximadamente 83 000 muertes prematuras han sido atribuibles a la contaminación del aire por uso de combustibles sólidos en el 2016; aunque indica que todas las personas pueden estar expuestas a la contaminación del aire, si han percibido mayor incidencia en ciertos grupos de acuerdo su ubicación, por ejemplo, en aquellos

que residen cerca de carreteras o recintos industriales o los que usan combustibles sólidos como fuentes de energía doméstica.

El ozono no se emite directamente, sino que se forma a partir de la reacción de los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno en presencia de la luz solar. Las partículas pueden emitirse directamente a la atmósfera, principalmente las partículas primarias o formarse en ella como partículas secundarias a partir de gases como el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y el amoníaco.

Entre las enfermedades asociadas a la emisión de gases contaminantes asociadas al uso de combustibles en calderas se encuentran: alergias, infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, derrames cerebrales, intoxicación y cáncer de pulmón.

Parte de los síntomas relacionados a la exposición de monóxido de carbono son: dolor de cabeza, mareo, debilidad, náuseas, vómitos, dolor en el pecho y confusión.

Entre los síntomas relacionados a la exposición de un NO<sub>x</sub> se encuentran: irritación en la piel, dificultad para respirar, quemaduras y enrojecimiento cutáneo.

Los trabajadores del Departamento de Mantenimiento que trabajan en el área de Calderas, indicaron que no han presentado ninguno de estos síntomas a lo largo de los años que llevan trabajando en esa institución, esto como resultado de una entrevista informal realizada durante la visita a estas áreas, el esquema de preguntas se presenta en los apéndices.

### 5.4.3. Fuentes

Aunque las emisiones de gases contaminantes son expulsadas por la chimenea de una caldera, únicamente es el medio de expulsión y punto donde se toma la muestra, pero no la fuente de emisión.

En sí, el proceso de combustión es lo que origina la emisión de gases contaminantes, que pueden variar dependiendo el tipo de combustible que se utilice y el tipo de caldera. La contaminación que se produce al utilizar un combustible como el diésel es distinta a la que se produce al utilizar gasolina o gases licuados del petróleo. Del mismo modo, una caldera de dos pasos de humos, puede emitir mayor cantidad de NOx que una de tres pasos, por ejemplo.

Aspectos a considerar, cuando se analiza la fuente que da origen a la emisión de gases contaminantes, son:

- El quemador es uno de los componentes críticos de una caldera industrial, desde el punto de vista de las emisiones de gases contaminantes, razón por la cual es importante tomar en cuenta este elemento como posible fuente de emisión de este tipo de gases.
- Combustión incompleta: este tipo de combustión libera menor energía y produce monóxido de carbono. Se quema con exceso de aire, y debe ser controlada para no afectar el rendimiento de la combustión buscando equilibrio en la mezcla combustible-aire.
- Carga volumétrica: se logra limitar la emisión de óxidos de nitrógeno al mantener controlada la carga volumétrica de la cámara del hogar de combustión que varía de acuerdo con el tipo de caldera que se utiliza.

Por tanto, se considera importante buscar una buena distribución y mezcla combustible-aire en la cámara de combustión del quemador, para una reducción efectiva de las emisiones contaminantes.






## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tomando en consideración toda la información recabada, se inicia el análisis de resultados con la identificación de las calderas analizadas, creando para ello unas fichas con sus especificaciones básicas.

Figura 14. Ficha 1 de calderas

**Especificaciones de caldera 1 / Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo**



**JOHNSTON BOILER COMPANY**

CATALOG NUMBER  
PFTA250-4H150S

UNIT NUMBER: 10078-01      DATE: 2001

**ELECTRICAL RATING**

|                      | VOLTS | PH | FREQ | AMPS | H.P. |
|----------------------|-------|----|------|------|------|
| MAIN POWER SUPPLY    | 460   | 3  | 60   | 24.8 |      |
| BLOWER MOTOR         | 460   | 3  | 60   | 11   | 7.5  |
| AIR COMP. MOTOR      | 460   | 3  | 60   | 4.8  | 3    |
| OIL PUMP MOTOR       | 460   | 3  | 60   | 1.0  | 0.5  |
| ELECT. OIL PREHEATER | 460   | 3  | 60   | 6.3  | 5kW  |
| CONTROL CIRCUIT      | 115   | 1  | 60   | 1.7  |      |

MINIMUM CIRCUIT AMPACITY 27.6 AMPS

**FIRING RATING**

TYPE OF GAS: \_\_\_\_\_

MIN. GAS FIRING RATE: \_\_\_\_\_ 000 B.T.U. @ \_\_\_\_\_ W.C.

MAX. GAS FIRING RATE: \_\_\_\_\_ 000 B.T.U. @ \_\_\_\_\_ W.C.

TYPE OF OIL: 45

MIN. OIL FIRING RATE: \_\_\_\_\_ GALLONS


MAX. OIL FIRING RATE: 65 GALLONS

| ID        | TIPO         | MARCA           | MODELO         | SERIE         |
|-----------|--------------|-----------------|----------------|---------------|
| C1-Z6     | Piro tubular | Johnston Boiler | PFTA250-4H150S | 10078-01      |
| CAPACIDAD | IGNICIÓN     | COMBUSTIBLE     | PRESIÓN MAX    | HRS OPERACIÓN |
| 150 HP    | Automática   | Bunker          | 150 PSI        | 13-14 horas   |

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Ficha 2 de calderas

**Especificaciones de caldera 2 / Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo**



**CLEAVER BROOKS®**  
*The power of commitment.™*

**ELECTRICAL REQUIREMENTS**

**MAIN POWER SUPPLY**  
 VOLTS  PH  HZ  AMP  
 MINIMUM CIRCUIT AMPACITY  AMP  
 MAX. RATING OF CIRCUIT PROTECTION  AMP  
 SHORT CIRCUIT CURRENT RATING  KA RMS SYMMETRICAL  
 VOLTS MAX.

**BLOWER MOTOR**  HP  AMP  
**AIR COMPRESSOR MOTOR**  HP  
**OIL HEATER**  KW

**CONTROL CIRCUIT**  
 120 VOLTS 1PH  HZ 7 AMP

**OIL PUMP MOTOR**  
 VOLTS  PH  HZ  AMP

**WIRING DIAGRAM**    
**ENCLOSURE TYPE**

118-3662-00 MILWAUKEE, WISCONSIN, U.S.A.


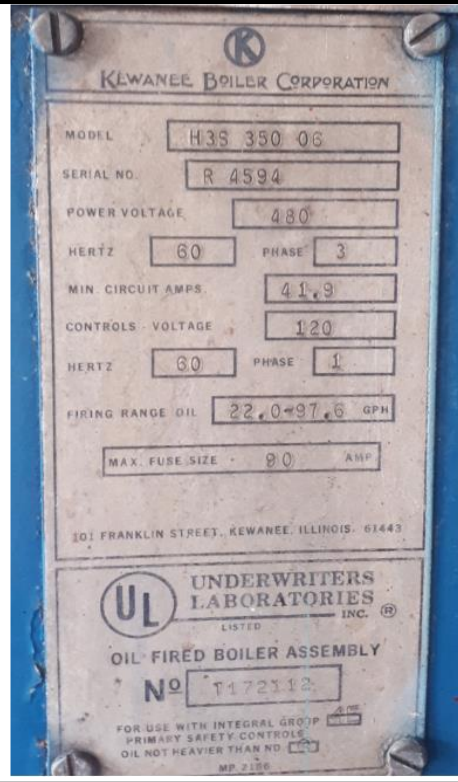
| ID        | TIPO        | MARCA         | MODELO         | SERIE         |
|-----------|-------------|---------------|----------------|---------------|
| C2-Z6     | Pirotubular | Cleaver Broks | CB-600-200-150 | OL106408      |
| CAPACIDAD | IGNICIÓN    | COMBUSTIBLE   | PRESIÓN MAX    | HRS OPERACIÓN |
| 150 HP    | Automática  | Bunker        | 150 PSI        | 13-14 horas   |

Fuente: elaboración propia.

En cada ficha se agrega el nombre del hospital al que pertenece la caldera, una foto de la caldera y una de la placa de identificación incrustada, un código de identificación ID, el tipo de caldera que es, marca, modelo, serie, capacidad, tipo de ignición y combustible que utiliza, la presión máxima a la que opera y las horas de operación diaria. Las calderas operan de forma alternada y se les realiza mantenimiento general cada 6 meses.

Figura 16. Ficha 3 de calderas

**Especificaciones de caldera 1 / Hospital General de Accidentes**

| ID               | TIPO               | MARCA                            | MODELO             | SERIE              |
|------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>C1-GA</b>     | <b>Pirotubular</b> | <b>Kewane Boiler Corporation</b> | <b>H35 350 06</b>  | <b>R 4594</b>      |
| <b>CAPACIDAD</b> | <b>IGNICIÓN</b>    | <b>COMBUSTIBLE</b>               | <b>PRESIÓN MAX</b> | <b>HRS FUNCIÓN</b> |
| <b>350 HP</b>    | <b>Automática</b>  | <b>Bunker</b>                    | <b>150 PSI</b>     | <b>12-13 horas</b> |


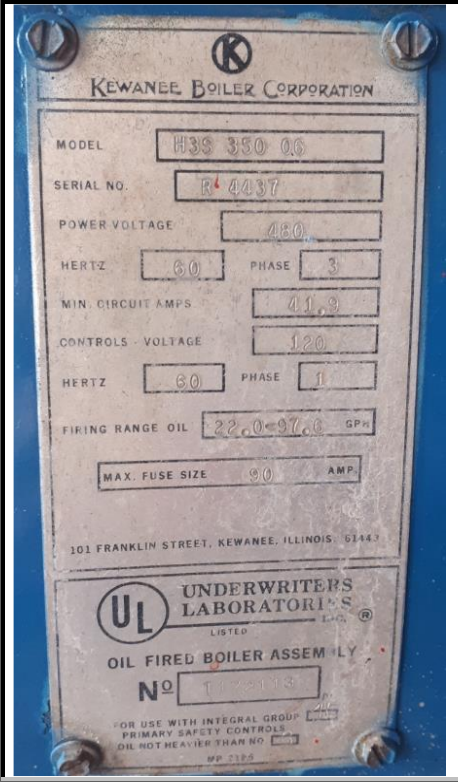
Fuente: elaboración propia.

Como dato adicional, en el Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo, cuenta con un depósito que tiene capacidad de 10 000 galones de combustible, mientras que el Hospital General de Accidentes cuenta con un depósito de combustible de menor capacidad, al ser de 7 000 galones de combustible, sin embargo, es suficiente para abastecer a las calderas que dependen de ellos.



Figura 17. Ficha 4 de calderas

**Especificaciones de caldera 2 / Hospital General de Accidentes**

| ID               | TIPO               | MARCA                            | MODELO             | SERIE              |
|------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>C2-GA</b>     | <b>Pirotubular</b> | <b>Kewane Boiler Corporation</b> | <b>H35 350 06</b>  | <b>R 4437</b>      |
| <b>CAPACIDAD</b> | <b>IGNICIÓN</b>    | <b>COMBUSTIBLE</b>               | <b>PRESIÓN MAX</b> | <b>HRS FUNCIÓN</b> |
| <b>350 HP</b>    | <b>Automática</b>  | <b>Bunker</b>                    | <b>150 PSI</b>     | <b>12-13 horas</b> |

Fuente: elaboración propia.

### 6.1. Comparación de resultados con base en la legislación

Para poder realizar la comparación de resultados obtenidos con base en la legislación, se toman en cuenta parámetros internacionales, debido a que en Guatemala no se tiene elaborado un documento para el control de emisiones de gases contaminantes específico para calderas, como en otros países.

Después de analizar la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente Decreto 68-86, el listado taxativo reformado según Acuerdo Gubernativo 264-2019, la Política Marco de la Gestión Ambiental, La Política de Conservación, Protección y Mejoramiento del Ambiente y los Recursos Naturales, el Plan Nacional de Mejoramiento Socio-Ambiental del gobierno, no se encuentran parámetros que puedan servir de base para realizar ninguna comparación. Debido a ello se analizan datos proporcionados por una empresa privada, manuales de operación de las calderas, límites admisibles de gases contaminantes de otros países como los que se presentan en los anexos, creando el siguiente estándar:

Tabla IX. **Estándar de control para calderas del IGSS**

| Parámetros                      | ECC/IGSS   |
|---------------------------------|------------|
| Temperatura gases de combustión | 320-380 °F |
| Eficiencia de combustión        | 85 - 89 %  |
| Dióxido de carbono              | 9 - 13 %   |
| Oxígeno                         | 4 - 6 %    |
| Exceso de Aire                  | 20 - 40 %  |
| Monóxido de carbono             | < 200 ppm  |

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que dichos parámetros de control, se establecen en consenso con el Departamento de Mantenimiento del IGSS y se deja constancia de ello, de forma impresa en el área de Calderas de ambos hospitales.

Las mediciones realizadas con el analizador de combustión Testo 320, son los resultados que se comparan con los parámetros establecidos y se muestran en las siguientes tablas:

Tabla X. **Comparación de resultados 1**

| Parámetros                      | Lectura C1Z6 | Lectura C2Z6 | ECC/IGSS   |
|---------------------------------|--------------|--------------|------------|
| Temperatura gases de combustión | 326,5°F      | 331,7°F      | 320-380 °F |
| Eficiencia de combustión        | 88,3 %       | 89,4 %       | 85 - 89 %  |
| Dióxido de carbono              | 10,26 %      | 12,95 %      | 9 - 13 %   |
| Oxígeno                         | 5,2 %        | 4,7 %        | 4 - 6 %    |
| Exceso de Aire                  | 35,4 %       | 27,3 %       | 20 - 40 %  |
| Monóxido de carbono             | 0 ppm        | 0 ppm        | < 200 ppm  |
| Temperatura ambiente            | 85,5 °F      | 85,5 °F      |            |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Comparación de resultados 2**

| Parámetros                      | Lectura C1GA | Lectura C2GA | ECC/ IGSS  |
|---------------------------------|--------------|--------------|------------|
| Temperatura gases de combustión | 332,1°F      | 333,2°F      | 320-380 °F |
| Eficiencia de combustión        | 89,4 %       | 89,3 %       | 85 - 89 %  |
| Dióxido de carbono              | 12,79 %      | 12,63 %      | 9 - 13 %   |
| Oxígeno                         | 4,9 %        | 5,1 %        | 4 - 6 %    |
| Exceso de Aire                  | 28,9 %       | 30,4 %       | 20 - 40 %  |
| Monóxido de carbono             | 0 ppm        | 0 ppm        | < 200 ppm  |
| Temperatura ambiente            | 78,3 °F      | 78,3 °F      |            |

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los resultados, se puede observar que, aunque si se emite dióxido de carbono, el porcentaje se encuentra dentro del rango permisible; mientras que la ausencia de monóxido de carbono en las muestras, se convierte en el factor determinante para afirmar que las calderas no están contaminando actualmente el ambiente. Cabe mencionar que las mediciones se realizaron con el respaldo del Departamento de Mantenimiento de ambos hospitales y se realiza el análisis bajo su consentimiento.

## **6.2. Conclusiones por unidad con base en la legislación**

La legislación ambiental de Guatemala establece, en distintos artículos mencionados en capítulos anteriores, que las actividades que se desarrollen en territorio nacional deben evitar ser o convertirse en fuentes de contaminación. Tomando lo anterior como base, se analiza la información recabada durante las visitas a las áreas de calderas de ambos hospitales, lo que conlleva a las siguientes conclusiones:

- Realizan mantenimiento semestral a sus calderas, pero no incluyen un control sobre las emisiones de gases contaminantes.
- No cuentan con un analizador de combustión que les permita calcular el exceso de aire que influye en la eficiencia de combustión, ni el control de gases contaminantes al ambiente.
- Las calderas operan alternadamente por un período de seis meses, dando lugar a que se les provea del mantenimiento necesario, sin afectar las actividades del hospital.
- En el área de Calderas no se cuenta con un manual, reglamento o normativo, en el que se puedan consultar parámetros de control que tienen relación al trabajo con calderas.
- No cuentan con formatos de control para la emisión de gases contaminantes, ni un registro de los mismos que les permita respaldarse en caso de una inspección.



- El personal que trabaja en el área de Calderas no presenta síntomas de afecciones a su salud debido a exposición de las emisiones de gases contaminantes a través de las chimeneas de las calderas con las que trabajan. Aunque parte de los entrevistados, afirmaron padecer de dolor de cabeza y alergias ocasionales, no lo asociaron a su entorno laboral.
- De acuerdo con las mediciones realizadas y con base en los parámetros planteados, se puede afirmar que operan dentro del rango permisible de emisiones.

### **6.3. Propuestas en la operación de las calderas y en el control de la emisión de los gases por las chimeneas con base en los análisis por unidad y en general**

Con base en las conclusiones del punto anterior, se pueden presentar las siguientes propuestas en la operación de calderas que facilitan el control de la emisión de los gases por las chimeneas:

- Solicitar un analizador de combustión para cada hospital, que le permita a los técnicos controlar la emisión de gases contaminantes. Se sugiere que la revisión de combustión se realice diario después de la primera hora de funcionamiento de cada caldera.
- Diseñar un documento en el que se puedan registrar las lecturas realizadas con el analizador de combustión para el control de emisiones de gases contaminantes, tomando en cuenta los parámetros internos establecidos.

- Si durante la revisión de combustión se presenta exceso de aire, es necesario reducir la presión de ingreso del aire primario que no solo disminuye el porcentaje de aire, sino que aumenta la eficiencia de combustión, lo cual también reduce el consumo de combustible.
- Crear una carpeta que contenga todos los documentos guía para el control del buen funcionamiento de la caldera, entre estos, el control de la emisión de gases de combustión en las chimeneas. Dicha carpeta debe estar accesible para los técnicos y se recomienda una copia en el área de Calderas.
- Incluir un cuadro de verificación en el que se agrupen los síntomas de exposición a los gases contaminantes que emite una caldera, para ver si los que trabajan en el área de Calderas, presentan algún síntoma en relación con estas emisiones. Pudiendo utilizar como guía el esquema de preguntas para la entrevista informal presentado en los apéndices.

Al proponer la adquisición de los analizadores de combustión, se tiene presente el hecho de que la solicitud no solo debe ser aprobada por el Departamento de Mantenimiento, sino que debe contar con la aprobación de la Administración del Hospital, siendo necesario tomar en cuenta que la gestión puede tomar un tiempo indefinido, siendo indispensable hacer saber la importancia de la adquisición de estos aparatos.

También se puede considerar la adquisición de un solo aparato y la capacitación de un técnico para que se encargue de realizar el análisis de combustión en ambos hospitales, en dicho caso, el análisis no se realizaría diariamente, dependiendo de la forma en que se organicen las actividades del

técnico puede realizarse el análisis cada dos días o al menos una vez a la semana.

#### 6.4. Propuestas de mejoras aplicando las leyes y reglamentos vigentes

Se propone la creación de un cuadro de lecturas, un cuadro de verificación sintomático y algunas recomendaciones para el control de gases contaminantes en chimeneas de calderas, tomando en cuenta que el objetivo es validar que el uso de calderas en los hospitales no sea una fuente de contaminación.

Propuesta uno. En la siguiente figura se muestra un modelo propuesto para el cuadro de lecturas, que permite llevar un registro de las mediciones tomadas para el control de gases contaminantes emitidas en las chimeneas de las calderas de ambos hospitales, el cual se puede trabajar de forma impresa o digital, tomando en cuenta el estándar planteado.

Figura 18. Cuadro de lecturas

| INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL |               |           |                      |    |           |        |    |
|--|---------------|-----------|----------------------|----|-----------|--------|----|
| HOSPITAL: _____                            |               |           | Fecha: _____         |    |           |        |    |
| ID CALDERA: _____                          |               |           | Técnico de análisis: |    | I         | E      |    |
| ANALIZADOR: _____                          |               |           | Nombre: _____        |    |           |        |    |
| Parámetros                                 | Estándar IGSS | Lectura 1 | Cumple               |    | Lectura 2 | Cumple |    |
|  |               |           | SI                   | NO |           | SI     | NO |
| Temperatura de gases                       | 320-380 °F    |           |                      |    |           |        |    |
| Eficiencia de combustión                   | 85 - 89 %     |           |                      |    |           |        |    |
| Dióxido de carbono                         | 9 - 13 %      |           |                      |    |           |        |    |
| Oxígeno                                    | 4 - 6 %       |           |                      |    |           |        |    |
| Exceso de Aire                             | 20 - 40 %     |           |                      |    |           |        |    |
| Monóxido de carbono                        | < 200 ppm     |           |                      |    |           |        |    |
| OBSERVACIONES:                             |               |           |                      |    |           |        |    |
|  |               |           |                      |    |           |        |    |
|  |               |           |                      |    |           |        |    |
| Supervisor: _____                          |               |           |                      |    |           |        |    |

Fuente: elaboración propia.

Este cuadro cuenta con tres secciones; la primera es una sección de información general, la segunda sección es la del control de emisión de gases y la tercera es una sección complementaria.

En la primera sección se debe agregar el nombre del hospital, el código de identificación que se le ha dado a la caldera, el tipo de analizador de combustión que se utiliza para las mediciones, la fecha en que se realiza la medición, se debe especificar si el técnico que realiza el análisis es interno o externo, incluyendo su nombre.

La segunda sección permite verificar si los datos obtenidos con el analizador de combustión se encuentran dentro del rango establecido en el estándar de control. Si se encuentra dentro del rango no hay que realizar una segunda lectura, caso contrario, si está fuera del rango es preciso analizar las posibles causas y efectuar los ajustes correspondientes, dando lugar a la necesidad de efectuar una segunda lectura y verificar si se ha logrado que los datos se encuentren dentro del rango.

La última sección permite agregar información adicional, como posibles causas de los datos obtenidos, anomalías observadas o recomendaciones para futuras lecturas, entre otros. También se tiene un espacio para agregar el nombre de la persona que supervisa las mediciones y su firma de conformidad.

Propuesta dos. El cuadro de verificación sintomático se propone de dos formas, una generalizada a través de un afiche que se puede colocar en el área de Calderas y otro individualizado a través de un chequeo rutinario de salud. Siendo la administración de cada hospital quién decide si se utiliza uno de ellos, ambos o ninguno, según su criterio. A continuación, se presenta un modelo de afiche, si se desea implementar la primera opción.

Figura 19. Modelo de afiche



Fuente: elaboración propia, empleando Publisher Office 2010.

Al utilizar la opción generalizada, es una forma práctica de exponer los síntomas, siendo de fácil acceso para el personal, visitantes o inspector; también es una forma de validar que quienes ingresan al área tienen conocimiento, tanto de los riesgos, como de las medidas de contingencia.

Al área de Calderas solo ingresa personal autorizado, debiendo tener claro que las calderas pueden emitir gases contaminantes que en determinadas concentraciones o tiempo de exposición causan daños a la salud, es por esto que deben estar atentos a los síntomas enlistados en el cuadro de verificación sintomático. Se proponen las siguientes medidas de contingencia, dirigidas a las personas que tienen personal técnico de mantenimiento a su cargo:

- Conocer la sintomatología por exposición a gases contaminantes
- Proceder de forma rápida y calmada al ser notificado de algún síntoma
- Definir el área de salud a donde se debe acudir para casos de exposición
- Alertar sobre posibilidad de exposición al referir subalternos con síntomas
- Realizar un análisis de gases de combustión al identificar síntomas
- Notificar resultados del análisis para definir las medidas correspondientes

La opción individualizada, se centra en planificar para todo el personal del Departamento de Mantenimiento un chequeo rutinario de salud, que incluya el esquema de preguntas utilizada para la entrevista informal que se presenta en los apéndices. Las medidas de contingencia, en este caso, quedan a cargo de los profesionales de salud al evaluar los síntomas y la frecuencia con que se presenten, según lo indique cada persona.

Propuesta tres. Dar a conocer a los empleados del Departamento de Mantenimiento, algunas recomendaciones de control para la emisión de gases contaminantes en las chimeneas de las calderas con las que se trabaja. Estas se pueden presentar a través de un comunicado de forma oral o impresa, a todos los involucrados.

Si se adquiere un analizador de combustión, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Capacitar al personal para la utilización de dicho aparato, de forma que al menos dos técnicos tengan conocimiento de cómo realizar las lecturas.
- Seguir las instrucciones de uso, no solo para garantizar la veracidad de los datos que se obtienen, sino para conservar el aparato en buenas condiciones por el tiempo estimado de vida.
- Realizar al menos una lectura diaria, después de la primera hora de funcionamiento de la caldera.
- Utilizar el cuadro de lecturas, para el registro de las mismas.
- Si alguno de los datos está fuera del rango establecido, realizar los ajustes correspondientes y corroborar por medio de una segunda lectura el control de los parámetros.
- Notificar al supervisor si es necesario el paro de una caldera, para coordinar la puesta en marcha de la segunda caldera y las actividades de mantenimiento correspondiente.
- Elaborar un informe de los problemas detectados en las calderas y de las acciones correctivas que se aplican, para llevar un registro de ello. Dicho registro puede ser tomado en cuenta al momento de elaborar el plan de mantenimiento.

Las fallas en la combustión normalmente se controlan regulando el ingreso del aire y combustible en el quemador, de tal forma que no se genere humo negro o gases contaminantes en la salida de gases, y estas fallas también pueden

deberse al estado de ciertos componentes de la caldera, siendo necesario revisar lo siguiente:

- Tobera: desarmar y verificar si está sucia o en mal estado. Si está sucia, se limpia el cuerpo de la tobera, el cono y el filtro con solvente y aire a presión, teniendo cuidado con el orificio de calibrado; si está en mal estado validar si tiene arreglo o necesita cambio y notificar para la gestión que corresponda.
- Fococelda: puede que tenga hollín o que esté fuera de posición, motivo por el que debe ser limpiada y ubicarla adecuadamente frente a la llama.
- Electrodo: estos pueden estar sucios u obstruidos, la acción correspondiente es limpiar y colocar a una distancia entre 4 mm a 6 mm para generar la chispa.
- Cables y terminales del transformador de ignición: validar si se encuentran en buen estado, revisar su aislamiento y ajustarlos de ser necesario.
- Filtros de combustible y agua: si están sucios es necesario limpiar con escobilla suave y drenar el agua.
- Válvulas selenoides: si estas válvulas no están accionadas, se debe revisar la bobina y el suministro eléctrico.
- Bomba de combustible: validar si está obstruida por impurezas, limpiar el filtro y regular la presión del combustible.



Algunas recomendaciones complementarias, para el control de emisión de gases contaminantes son:

- Validar que las personas encargadas de la operación y mantenimiento de las calderas estén calificadas, es decir, que cuenten con la experiencia, conocimientos y destrezas que les permitan realizar dichos procesos.
- Concientizar al personal del Departamento de Mantenimiento, respecto a la importancia del mantenimiento para el buen funcionamiento de las calderas y su impacto en el ambiente.
- Proveer de equipo, herramientas, materiales e implementos necesarios para que el personal pueda realizar el mantenimiento de las calderas.
- Validar que el mantenimiento de las calderas se realice de forma adecuada y oportunamente.
- Verificar que el procedimiento de limpieza de las calderas sean los adecuados.
- Tomar las precauciones correspondientes al trabajar con químicos y otros materiales que puedan tener repercusiones en el ambiente o en la salud de los trabajadores.
- Informar sobre cualquier anomalía que se observe en el funcionamiento de la caldera, respecto a presión o temperatura, estado de sus componentes, irregularidades en el agua o combustible, para que pueda ser monitoreado y atendido oportunamente.

Aunque las siguientes recomendaciones no son enfocadas directamente al control de emisiones de gases contaminantes, también necesitan ser atendidas.

- Las calderas deben funcionar bajo constante supervisión, validando continuamente la presión, temperatura, nivel de agua y combustible, principalmente.
- Los reguladores de tiro se deben abrir lo suficiente para producir una ligera corriente de aire que evite el retroceso de llamas.
- Si ocurre un retroceso de llama, debe de cerrarse inmediatamente el abastecimiento de combustible y ventilar completamente la montadura de la caldera antes de reanudar la combustión.
- Al dejar entrar vapor en las tuberías y en las conexiones frías, las válvulas se deben abrir lentamente, hasta que los elementos alcancen la temperatura prevista.
- Cuando la presión de vapor de la caldera se aproxime a la de trabajo, la válvula de seguridad debe ser probada a mano.
- Durante el funcionamiento de las calderas se debe verificar periódicamente el nivel de agua en el indicador, purgándose la columna de agua a fin de comprobar que las conexiones estén libres.
- En caso de ebullición violenta del agua en las calderas, la válvula se debe cerrar inmediatamente y se detendrá el fuego, quedando retirada del servicio la caldera, hasta que se corrijan y comprueben sus condiciones de funcionamiento.

- Al reducir la presión de vapor, se debe dejar enfriar la caldera durante un mínimo de ocho horas.
  
- Tratamiento de agua para calderas: el acondicionamiento del agua para uso en la generación de vapor se puede dividir en el pre/tratamiento o tratamiento externo y el tratamiento interno. El procedimiento para el control del tratamiento de agua de calderas que se propone es el siguiente:
  - Hacer un análisis del agua que tiene la caldera en función para verificar que los parámetros estén dentro de los estándares reales y verificar si existen incrustaciones en la tubería interna u otro tipo de sedimentos.
  
  - Después de los análisis realizados el encargado de suministro de químico indicará que cantidad del mismo debe hacerse por *bach* diariamente, en el caso de que la caldera en función se encuentre en sus estándares reales se debe utilizar el químico en polvo W2105 y el líquido W2902 y dos libras de soda cáustica, esta dosificación evita que la tubería interna se incruste.

## CONCLUSIONES

1. En ambos hospitales se busca mantener la presión del vapor en 100 PSI; durante las visitas se pudo constatar que las primeras lecturas suelen variar iniciando con una presión entre 50 PSI y 60 PSI en la primera hora de funcionamiento, la cual se normaliza a partir de la segunda hora y oscila entre 95 PSI y 105 PSI. Las lecturas realizadas se presentan y registran en el punto 5.1 del presente documento.
2. Tomando en cuenta los datos registrados de las cuatro calderas, se puede decir que el rango de la temperatura del combustible se mantiene entre 80 °C y 100 °C. Mientras que las temperaturas de los gases de escape se mantienen entre 320 °F y 380 °F aunque durante la primera hora de funcionamiento esta temperatura es menor y está en un rango entre 240 °F y 250 °F según se pudo observar.
3. A través de un analizador de combustión, Testo 320, se logra registrar la temperatura de los gases de combustión, la eficiencia de combustión, el porcentaje de dióxido de carbono, oxígeno y exceso de aire, incluyendo la cantidad de partículas por millón de monóxido de carbono, todos estos datos registrados en el punto 5.1 del presente documento. De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que ninguna de las cuatro calderas tiene un impacto negativo en el ambiente, debido a que las emisiones se encuentran en un rango permisible. Este rango fue establecido tomando en consideración parámetros internacionales, en consenso con el Departamento de Mantenimiento de los hospitales en cuestión.

4. De acuerdo a la investigación realizada, los gases de chimenea de una caldera si pueden tener un impacto negativo en el ambiente debido al tipo de combustible que se utiliza para su funcionamiento, los efectos que se producen varían de acuerdo a la concentración de los contaminantes que se emiten, el tiempo en que se está expuesto a la contaminación y la sensibilidad de los receptores. Las emisiones de gas se dispersan por medio del aire, contaminando no solo el aire, sino el agua y el suelo al descender por gravedad o por medio de la lluvia.
5. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales llevó a cabo un monitoreo de la calidad del aire, de abril a octubre del 2009, siendo el único registro encontrado de esa entidad. Se sabe que existe un Laboratorio del Monitoreo del Aire de la Universidad de San Carlos de Guatemala y también un Laboratorio privado Ecoquimsa quienes realizan un monitoreo independiente.
6. Los estatutos vigentes de legislación respecto a la emisión de gases contaminantes se basan al Decreto No 7-2013 del Congreso de la República de Guatemala, más que todo se enfocan en la regularización de fuentes móviles, tomando en cuenta algunos de los contaminantes asociados con la combustión de combustibles fósiles como los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, monóxido de carbono CO, partículas sólidas PS y compuestos orgánicos volátiles COV.
7. Entre los daños a la salud, debido a gases producidos en la combustión de combustibles fósiles en altas concentraciones y durante períodos prolongados, se encuentran enfermedades principalmente del tracto respiratorio; aunque también se generan problemas cardiacos o neuronales, descritos en el punto 5.4.2 de presente documento.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar el desempeño del personal que opera y da mantenimiento a las calderas, en función de las medidas preventivas y correctivas que se han aplicado durante el período de operación de cada caldera y el estado de las mismas, validando su responsabilidad y capacidad.
2. Aprovechar la tecnología y aplicaciones disponibles para registro de datos que le permita al Departamento de Mantenimiento de ambos hospitales digitalizar las lecturas de presión, temperatura, emisión de gases, entre otros. Preferiblemente que puedan ser utilizados en los celulares de los técnicos para que en cuanto se toman los datos sean cargados al sistema.
3. Solicitar, de no ser posible la adquisición de un analizador de combustión para cada hospital, que el análisis de combustión se realice por medio de servicios subcontratados o adquirir un solo aparato y capacitar a un técnico de mantenimiento que se encargue de realizar el análisis de combustión en varios de los hospitales del IGSS.
4. Impartir una charla de concientización, ya que es conveniente que las personas que trabajan directa e indirectamente con calderas tengan conocimiento sobre el impacto ambiental que estos equipos pueden generar; esto se les puede dar a conocer a través de una charla de concientización, debiendo ser gestionada por los canales adecuados en cada hospital.

5. Realizar un monitoreo de la calidad del aire, ya sea para el área de calderas o para el hospital en general; teniendo en cuenta que las calderas funcionan en establecimientos de salud, es favorable realizar dicho monitoreo, debiendo contratar para ello los servicios de laboratorios que se encargan de este tipo de análisis y cuentan con el equipo necesario.
  
6. Monitorear la actualización de leyes o normativos que se emitan en Guatemala en relación a las operaciones que se llevan a cabo dentro de los hospitales. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales es la institución encargada de regular lo concerniente a la contaminación que se puede generar como resultado de la actividad humana, por lo que el IGSS y todos sus hospitales deben estar pendientes de las leyes o normativos que entren en vigencia para evitar multas o sanciones que afecten su funcionamiento.
  
7. Programar chequeos médicos. Es común que las personas busquen asistencia médica únicamente cuando presentan algún malestar, pero al tener conocimiento de que ciertas actividades dentro de las funciones laborales pueden repercutir en la salud, es pertinente realizar chequeos médicos con regularidad. Es por ello que se pueden programar chequeos médicos por parte de la institución buscando no afectar la continuidad de labores o se puede instar al personal a que busque asistencia por su cuenta tomando en cuenta los riesgos a los que está expuesto.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo de Cooperación USAID-CCAD. *Inventario de emisiones de contaminantes criterio del aire, en la República de Guatemala*. Guatemala: CCAD, 2009. 915 p.
2. ALVARADO, Hugo. *Manual de curso de Seguridad e Higiene Industrial*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2004. 163 p.
3. CHIROY SANTOS, Julio Roberto. *Programa de mantenimiento preventivo para el cuarto de calderas del Hospital Privado de las Américas*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 185 p.
4. Cleaver - Brooks. *Manual de operación y mantenimiento de calderas*. Estados Unidos: 1989. 65 p.
5. \_\_\_\_\_. *Modelo CBL caldera empacada: manual de operación, servicio y partes*. Estados Unidos: 2003. 124 p.
6. COLMAQUINAS. *Calderas pirotubulares*. [en línea]. <<https://www.colmaquinas.com/calderas-pirotubulares>>. [Consulta: diciembre de 2020].



7. Congreso de la República de Guatemala. *Decreto Número 7-2013, Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero*. Guatemala: CRG, 2013. 18 p.
8. \_\_\_\_\_. *Decreto Número 295, Ley Orgánica del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, IGSS*. Guatemala: CRG, 1946. 44 p.
9. Constitución Política de la República de Guatemala: *Reformada por Acuerdo Legislativo No.18-93*. Guatemala. 76 p.
10. DOMÍNGUEZ CERDEIRA, José. *Guía básica de calderas industriales eficientes: capítulo 1 y 2*. Madrid: FENERCOM, s.f. 162 p.
11. FlexBooks. *Los efectos de la contaminación del aire en el ambiente*. [en línea]. <<https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espanol/section/7.18/primary/lesson/los-efectos-de-la-contaminaci%C3%B3n-del-aire-en-el-ambiente/>>. [Consulta: marzo de 2021].
12. Instituto de Derecho Ambiental y Desarrollo Sustentable. *Manual de legislación ambiental de Guatemala*. Guatemala: IDEADS, 1999. 114 p.
13. Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. *Manual de organización del Instituto Guatemalteco de Seguridad social*. Guatemala: IGSS, 2009. 92 p.

14. \_\_\_\_\_ . *Noticias*. [en línea]. <<https://www.igssgt.org>>. [Consulta: noviembre de 2020].
15. \_\_\_\_\_ . *Resumen del informe anual de labores, ejercicio 2008*. Guatemala: IGSS, 2009. 39 p.
16. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Resolución Número 909 Normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas*. Colombia: MAVDT, 2008. 36 p.
17. Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del aire*. Perú: OMS, 2004. 239 p.
18. Portalelectromecánico. *Máquinas mecánicas: tema 6 Calderas*. [en línea]. <[http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/Calderas/preguntas\\_y\\_respuestas\\_sobre\\_calderas.html](http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/Calderas/preguntas_y_respuestas_sobre_calderas.html)>. [Consulta: noviembre de 2020].
19. URIBAZO, Pedro. *Influencia de las calderas sobre el medio ambiente*. [en línea]. <<https://www.redalyc.org/pdf/1813/181322792006.pdf>>. [Consulta: septiembre de 2021].
20. Sistema de Integración Centroamericana. *Compendio de Legislación Ambiental*. Guatemala: SICA, 2011. 954 p.



## APÉNDICES

En la siguiente figura se muestran las lecturas obtenidas en las chimeneas de las calderas con el analizador de combustión multifuncional marca Testo.

### Apéndice 1. Lecturas en chimeneas con el analizador de combustión Testo 320



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Esquema de preguntas entrevista informal**

| PREGUNTAS     |   | NO | SI | FRECUENCIA |       |      |
|---------------|---|----|----|------------|-------|------|
|               |   |    |    | ALTA       | MEDIA | BAJA |
| P1.           | ¿Ha trabajado en el área de calderas?   |    |    |            |       |      |
| P.2           | En el tiempo que lleva trabajando para el IGSS, ¿ha experimentado alguno de los siguientes síntomas?  |    |    |            |       |      |
| CO            | Dolor de cabeza   |    |    |            |       |      |
|               | Mareo   |    |    |            |       |      |
|               | Debilidad   |    |    |            |       |      |
|               | Náuseas   |    |    |            |       |      |
|               | Vómitos   |    |    |            |       |      |
|               | Dolor en el pecho   |    |    |            |       |      |
|               | Confusión   |    |    |            |       |      |
| NOx           | Irritación en la piel   |    |    |            |       |      |
|               | Enrojecimiento de piel  |    |    |            |       |      |
|               | Dificultad para respirar  |    |    |            |       |      |
|               | Alergias  |    |    |            |       |      |
|               | Afecciones pulmonares   |    |    |            |       |      |
|               | Afecciones bronquiales  |    |    |            |       |      |
|               | Afecciones cardiacas  |    |    |            |       |      |
| P.3           | ¿Algunos de los síntomas anteriores se presenta durante o después de trabajar en el área de calderas? |    |    |            |       |      |
| P.4           | Puesto de trabajo:  |    |    |            |       |      |
| OBSERVACIONES |   |    |    |            |       |      |
|               |   |    |    |            |       |      |
|               |   |    |    |            |       |      |
|               |   |    |    |            |       |      |

Fuente: elaboración propia.

## ANEXOS

Tablas de parámetros establecidos en diferentes países para la emisión admisible de contaminantes del aire.

### Anexo 1. Estándares admisibles de contaminantes del aire, Colombia

| Contaminante  | Flujo del contaminante (kg/h) | Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m <sup>3</sup> ) |                                 |
|---|-------------------------------|--|---------------------------------|
|   |                               | Actividades industriales existentes                                    | Actividades industriales nuevas |
| Material Particulado (MP)   | ≤ 0,5                         | 250  | 150                             |
|   | > 0,5                         | 150  | 50                              |
| Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )  | TODOS                         | 550  | 500                             |
| Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )  | TODOS                         | 550  | 500                             |
| Compuestos de Fluor Inorgánico (HF)   | TODOS                         | 8  |                                 |
| Compuestos de Cloro Inorgánico (HCl)  | TODOS                         | 40   |                                 |
| Hidrocarburos Totales (HC <sub>T</sub> )  | TODOS                         | 50   |                                 |
| Dioxinas y Furanos  | TODOS                         | 0,5*   |                                 |
| Neblina Ácida o Trióxido de Azufre expresados como H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | TODOS                         | 150  |                                 |
| Plomo (Pb)  | TODOS                         | 1  |                                 |
| Cadmio (Cd) y sus compuestos  | TODOS                         | 1  |                                 |
| Cobre (Cu) y sus compuestos   | TODOS                         | 8  |                                 |

Las Dioxinas y Furanos se expresan en las siguientes unidades: (ng-EQT / m<sup>3</sup>), EQT: Equivalencia de Toxicidad.

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Resolución Número 909 Normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.* p. 2.

**Anexo 2. Concentraciones máximas admisibles de contaminantes atmosféricos, Cuba**

| Contaminantes         | Formula química                 | Concentraciones Máximas Admisibles (CMA)<br>miligramos / metro cúbico |  |
|-----------------------|---------------------------------|---|--|
|                       |                                 | Máx. Instantáneo<br>(en 20 minutos)                                   | Media diaria<br>(Promedio en 24 horas) |
| Benzo-a-pireno        | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> | -   | 1 x 10 <sup>-6</sup>                   |
| Dióxido de Azufre     | SO <sub>2</sub>                 | 0.50  | 0.05                                   |
| Dióxido de Nitrógeno  | NO <sub>2</sub>                 | 0.085   | 0.04                                   |
| Hollín                | C                               | 0.15  | 0.05                                   |
| Monóxido de Carbono   | CO                              | 5.00  | 3.00                                   |
| Monóxido de Nitrógeno | NO                              | 0.6   | 0.06                                   |
| Pentóxido de Vanadio  | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   | -   | 0.002                                  |

Fuente: URIBAZO, Pedro. *Influencia de las calderas sobre el medio ambiente*.  
<https://www.redalyc.org/pdf/1813/181322792006.pdf>. Consulta: septiembre de 2021.

### Anexo 3. Especificaciones técnicas del analizador de combustión Testo 320

#### Technical data

| Parameter                        | Range                      | Accuracy  | Parameter  | Range  | Accuracy  |
|----------------------------------|----------------------------|---|--|--|---|
| <b>O<sub>2</sub> measurement</b> | 0 to 21 vol.%              | ±0.2 vol.%  | <b>Excess Air</b>  | 0 - 99%  | calculated  |
| <b>CO measurement</b>            | 0 to 4000 ppm              | ±20 ppm (0 to 400 ppm)<br>±5% of rdg. (401 to 2000 ppm)<br>±10% of rdg. (2001 to 4000 ppm)  | <b>CO<sub>2</sub> calculation</b><br><small>(digital calculation from O<sub>2</sub>)</small> | 0 to CO <sub>2</sub> max   | calculated  |
| <b>Temperature</b>               | -40° to 2192 °F            | ±2 °F (32° to 212 °F)<br>±0.5% of rdg. remaining range  | <b>Ambient CO measurement (with CO probe)</b>  | 0 - 500 ppm  | ±5 ppm (0 to 100 ppm)<br>±5% of rdg. (>100 ppm)   |
| <b>Draft measurement</b>         | -4 to 16 "H <sub>2</sub> O | ±0.008 "H <sub>2</sub> O or<br>±5% of rdg. (at -0.2 to +0.2 "H <sub>2</sub> O)<br>±0.01 "H <sub>2</sub> O (at 0.2 to 1.2 "H <sub>2</sub> O)<br>±1.5% of rdg. (at 1.2 to 16 "H <sub>2</sub> O) | <b>Gas leak measurement for combustible gases (with gas leak detector probe)</b>             | 0 to 10,000 ppm<br>CH <sub>4</sub> / C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | Signal<br>Optical display (LED)   |
| <b>Pressure measurement</b>      | 0 to 120 "H <sub>2</sub> O | ±0.2 "H <sub>2</sub> O (0.0 to 20 "H <sub>2</sub> O)<br>±1% of rdg. (at 20 to 40 "H <sub>2</sub> O)<br>±1.5% of rdg. (at 40 to 120 "H <sub>2</sub> O)   | <b>Ambient CO<sub>2</sub> measurement (with ambient CO<sub>2</sub> probe)</b>                | 0 to 1 vol. %<br>0 to 10,000 ppm                                   | ±50 ppm or<br>±2% of rdg. (0 to 5000 ppm)<br>±100 ppm or<br>±3% of rdg. (5001 to 10000 ppm) |
| <b>Efficiency testing</b>        | 0 - 100%                   | calculated  |  |  |   |

**testo 320.**  
Combustion analysis in HD  
High Def & Heavy Duty

#### General technical data

|                        |   |                   |   |
|------------------------|---|-------------------|---|
| <b>Storage temp.</b>   | -4° to 122 °F   | <b>Display</b>    | Color graphic display 240 x 320 pixels                                  |
| <b>Operating temp.</b> | 23° to 113 °F   | <b>Weight</b>     | Approx. 1.3 lbs.  |
| <b>Power supply</b>    | Rechargeable battery: 3.7 V/2400 mAh<br>Power supply: 6 V/1.2 A | <b>Dimensions</b> | 9.5 x 3.3 x 2.5 in.   |
| <b>Memory</b>          | 500 readings  | <b>Warranty</b>   | Instrument/probes/gas sensors: 24 mos.<br>Rechargeable battery: 12 mos. |

Fuente: Testo Be sure. *Testo 320*. <https://www.testo.com/es-MX/testo-320/p/0632-3220>.

Consulta: septiembre de 2021.



