



**SENER**  
SECRETARÍA DE ENERGÍA

**CONUEE**  
COMISIÓN NACIONAL PARA EL  
USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

**Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía**

# **Metodología para el “Diagnóstico energético en sistemas de generación y distribución de vapor”**

**(Calderas, Aislamiento y Fugas de vapor)**

**Subdirección de Programas de Ahorro en  
el Sector Hidrocarburos**

**2021, junio**



## CONTENIDO

<b>1 OBJETIVO</b> .....	<b>6</b>
<b>2 ALCANCE</b> .....	<b>6</b>
<b>3 DIAGRAMA DE BLOQUES</b> .....	<b>6</b>
<b>4 ANTECEDENTES</b> .....	<b>8</b>
<b>5 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>6 GENERALIDADES</b> .....	<b>10</b>
<b>6.1 CALDERAS</b> .....	<b>9</b>
6.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS DE VAPOR.....	10
6.1.1.1 Caldera Piro tubular.....	10
6.1.1.2 Caldera Acuotubulares .....	10
6.1.2 VARIABLES IMPORTANTES EN LAS CALDERAS DE VAPOR .....	11
6.1.3 PARTES INTEGRANTES DE LA CALDERA.....	11
<b>6.2 AISLAMIENTO</b> .....	<b>13</b>
6.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS AISLANTES .....	13
6.2.2 PRINCIPALES MATERIALES DE AISLAMIENTO .....	14
6.2.3 MATERIALES COMPLEMENTARIOS .....	14
6.2.4 VARIABLES IMPORTANTES DEL AISLAMIENTO .....	14
<b>6.3 TRAMPAS DE VAPOR</b> .....	<b>16</b>
6.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TRAMPAS DE VAPOR .....	16
6.3.2 TIPOS DE TRAMPAS DE VAPOR.....	16
6.3.3 VARIABLES DE TRAMPAS DE VAPOR.....	16
<b>7 FORMACIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO</b> .....	<b>17</b>
<b>8 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO</b> .....	<b>18</b>
<b>8.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN CALDERAS</b> .....	<b>18</b>
8.1.1 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO EN CALDERAS (RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN).....	18
8.1.1.1 Verificar la instrumentación requerida.....	19
8.1.1.2 Obtención de información general del sistema de generación de vapor.....	19
8.1.1.3 Análisis y revisión de la información general del generador de vapor.....	19
8.1.1.4 Recopilación de información detallada de diseño y operacional del generador de vapor .....	19
8.1.1.4.1 Localización e integración de documentos de diseño .....	19
8.1.1.4.2 Levantamiento e integración de datos operacionales .....	20
8.1.1.5 Evaluación energética (lineamientos para la evaluación en campo) .....	20
8.1.1.6 Determinación de la eficiencia .....	20
8.1.1.7 Dictamen energético.....	20
8.1.1.8 Recomendaciones operacionales .....	20
8.1.2 EVALUACIÓN ENERGÉTICA (LINEAMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN IN SITU: PRUEBA DE COMPORTAMIENTO) .....	21
8.1.2.1 De acuerdo con el Código ASME .....	21
8.1.2.1.1 Preparación de la prueba .....	21
8.1.2.1.1.1 Condiciones de operación .....	22
8.1.2.1.1.2 Arranque y paro de la prueba .....	22
8.1.2.1.1.3 Duración de la prueba .....	22
8.1.2.1.1.4 Realización de curvas de comportamiento .....	22



8.1.2.1.1.5 Frecuencia y consistencia de las lecturas .....	23
8.1.2.1.1.6 Aceptación de las lecturas.....	23
8.1.2.1.1.7 Reporte de la prueba y observaciones .....	23
8.1.2.1.1.8 Instrumentos y métodos de medición.....	23
8.1.2.1.2 Toma de lecturas .....	23
8.1.2.1.2.1 Distribución de carga .....	24
8.1.2.1.2.2 Programación de acuerdo con el perfil de carga normal .....	24
8.1.2.1.2.3 Programación de acuerdo con pruebas con producción programada .....	24
8.1.2.1.2.4 Variación del régimen de combustión, independientemente de la generación de vapor .....	24
8.1.2.1.3 Levantamiento de información .....	25
8.1.2.1.3.1 Mediciones en el vapor .....	25
8.1.2.1.3.1.A Flujo de vapor.....	25
8.1.2.1.3.1.B Temperatura del vapor.....	25
8.1.2.1.3.1.C Presión del vapor.....	26
8.1.2.1.3.2 Mediciones en el agua de alimentación .....	26
8.1.2.1.3.2.A Flujo del agua de alimentación .....	26
8.1.2.1.3.2.B Temperatura de agua de alimentación.....	26
8.1.2.1.3.2.C Presión del agua de alimentación .....	26
8.1.2.1.3.3 Cantidad de purga continua.....	26
8.1.2.1.3.3.A Flujo de la purga .....	26
8.1.2.1.3.3.B Temperatura y presión de la purga .....	26
8.1.2.1.3.3.C Presión del agua de alimentación .....	26
8.1.2.1.3.4 Vapor de atomización.....	26
8.1.2.1.3.4.A Flujo .....	26
8.1.2.1.3.4.B Presión y temperatura.....	27
8.1.2.1.3.5 Combustible.....	27
8.1.2.1.3.5.A Flujo de combustible.....	27
8.1.2.1.3.5.B Temperatura del combustible.....	28
8.1.2.1.3.5.C Presión del combustible .....	28
8.1.2.1.3.6 Análisis de gases .....	28
8.1.2.1.3.6.A Composición .....	28
8.1.2.1.3.6.B Temperatura de gases .....	28
8.1.2.1.3.7 Mediciones de condiciones del medio ambiente .....	28
8.1.2.1.3.7.A Temperatura de bulbo seco .....	28
8.1.2.1.3.7.B Temperatura de bulbo húmedo .....	28
8.1.2.1.3.7.C Presión barométrica .....	29
8.1.2.1.4 Inicio de la prueba, equipo y personal requerido .....	29
8.1.2.1.5 Llenado de formatos .....	29
<b>8.1.3 DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA (DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL GENERADOR DE VAPOR) .....</b>	<b>30</b>
8.1.3.1 Método Indirecto (Método de pérdidas de energía).....	30
8.1.3.2 Método Directo (Método de entradas y salidas) .....	31
<b>8.1.4 DICTAMEN ENERGÉTICO .....</b>	<b>31</b>
<b>8.2 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL AISLAMIENTO .....</b>	<b>31</b>
<b>8.2.1 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO EN EL AISLAMIENTO (RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN) .....</b>	<b>32</b>
8.2.1.1 Verificar la instrumentación requerida .....	32
8.2.1.2 Obtención de información general del aislamiento .....	32
8.2.1.3 Análisis y revisión de la información general del aislamiento .....	32
8.2.1.4 Recopilación de información detallada de diseño y operacional del aislamiento .....	32
8.2.1.4.1 Localización e integración de documentos de diseño .....	33
8.2.1.4.2 Levantamiento e integración de datos operacionales .....	33
8.2.1.5 Evaluación energética (Lineamientos para la evaluación in situ: determinación de las pérdidas de calor a través del aislamiento) .....	33
8.2.1.6 Determinación de la pérdida de energía .....	33
8.2.1.7 Dictamen energético .....	33
8.2.1.8 Recomendaciones .....	33



<b>8.2.2 EVALUACIÓN ENERGÉTICA (LINEAMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN IN SITU: PRUEBA DE COMPORTAMIENTO)</b> .....	<b>34</b>
8.2.2.1 De acuerdo con la NOM-009-ENER-2014.....	34
8.2.2.1.1 Preparación de la prueba.....	35
8.2.2.1.2 Toma de lecturas .....	35
8.2.2.1.3 Inicio de la prueba, equipo y personal requerido .....	35
8.2.2.1.4 Llenado de formatos .....	36
<b>8.2.3 DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AISLAMIENTO (DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE ENERGÍA A TRAVÉS DEL AISLAMIENTO)</b> .....	<b>36</b>
8.2.3.1 Cálculo de la pérdida de energía .....	37
<b>8.2.4 DICTAMEN ENERGÉTICO DEL AISLAMIENTO</b> .....	<b>37</b>
<b>8.3 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE FUGAS DE VAPOR</b> .....	<b>38</b>
<b>8.3.1 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO (RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN)</b> .....	<b>38</b>
8.3.1.1 Verificar la instrumentación requerida .....	38
8.3.1.2 Obtención de información general de la fuga de vapor .....	39
8.3.1.3 Análisis y revisión de la información general de las fugas de vapor .....	39
8.3.1.4 Recopilación de información detallada de diseño y operacional en las fugas de vapor .....	39
8.3.1.4.1 Localización e integración de documentos de diseño .....	39
8.3.1.4.2 Levantamiento e integración de datos operacionales .....	39
8.3.1.5 Evaluación energética (determinación de fugas de vapor en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor).....	40
8.3.1.6 Determinación de las fugas de vapor en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor.....	40
8.3.1.7 Dictamen energético .....	40
8.3.1.8 Recomendaciones .....	40
<b>8.3.2 EVALUACIÓN ENERGÉTICA: EN FUGAS DE VAPOR DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR Y EN TRAMPAS DE VAPOR (PRUEBA DE COMPORTAMIENTO: LINEAMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN IN SITU)</b> .....	<b>40</b>
8.3.2.1 Estimación de fugas .....	41
8.3.2.2 Toma de lecturas .....	41
8.3.2.2.1 En el sistema de distribución.....	41
8.3.2.2.2 En trampas de vapor.....	41
8.3.2.3 Inicio de la prueba, equipo y personal requerido.....	42
8.3.2.4 Llenado de formatos para la estimación de la fuga de vapor en el sistema de distribución y en la trampa de vapor .....	44
<b>8.3.3 DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA (ESTIMACIÓN DE FUGAS DE VAPOR: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR Y TRAMPAS DE VAPOR)</b> .....	<b>44</b>
<b>8.3.4 DICTAMEN ENERGÉTICO</b> .....	<b>44</b>
<b>9 RECOMENDACIONES OPERACIONALES</b> .....	<b>45</b>
<b>9.1 EN CALDERAS</b> .....	<b>45</b>
<b>9.2 EN AISLAMIENTO</b> .....	<b>46</b>
<b>9.3 EN TRAMPAS DE VAPOR Y EN FUGAS DE VAPOR DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</b> .....	<b>46</b>
<b>10 EVALUACIÓN DEL AHORRO DE ENERGÍA Y BENEFICIOS ENERGÉTICOS</b> .....	<b>46</b>
<b>ANEXO I GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	<b>47</b>
<b>I.1 EN CALDERAS</b> .....	<b>47</b>
<b>I.2 EN AISLAMIENTO</b> .....	<b>48</b>
<b>I.3 EN TRAMPAS DE VAPOR</b> .....	<b>51</b>



<b>ANEXO II TÉRMINOS DE REFERENCIA .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO III INSTRUMENTACIÓN .....</b>	<b>53</b>
<b>III.1 EN CALDERAS .....</b>	<b>53</b>
<b>III.2 EN AISLAMIENTOS .....</b>	<b>53</b>
<b>III.3 EN TRAMPAS DE VAPOR .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO IV FORMATOS .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO V TABLAS Y GRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO VI MEMORIA DE CÁLCULO DE CALDERAS .....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO VII MEMORIA DE CÁLCULO DE AISLAMIENTO .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO VIII MEMORIA DE CÁLCULO DE FUGAS DE VAPOR EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y EN TRAMPAS DE VAPOR.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO IX PROGRAMAS DE EVALUACIÓN.....</b>	<b>84</b>
<b>IX.1 EN CALDERAS .....</b>	<b>84</b>
<b>IX.2 EN AISLAMIENTO.....</b>	<b>84</b>
<b>IX.3 EN FUGAS DE VAPOR.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO X BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>85</b>



## 1 OBJETIVO

Ofrecer un procedimiento de fácil aplicación para evaluar, cuantitativa y cualitativamente, el uso eficiente y la conservación de la energía en sistemas de generación y distribución de vapor.

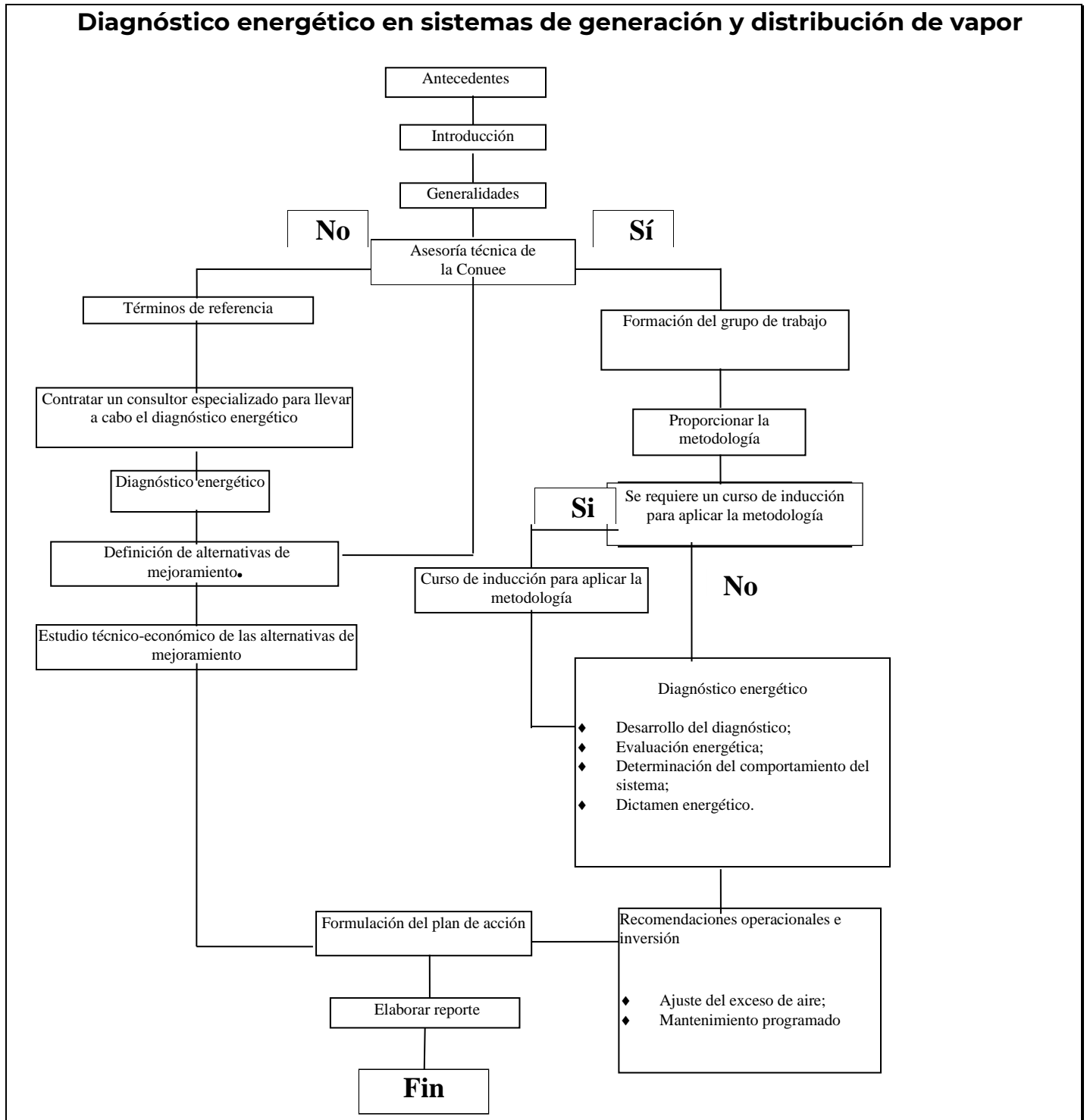
## 2 ALCANCE

- Evaluar energéticamente los equipos del sistema de generación y distribución de vapor a condiciones actuales de operación.
- Determinar la eficiencia actual de la caldera y compararla con el diseño conforme a los métodos indicados en el código ASME (*The American Society of Mechanical Engineers. Steam Generating Units. Power Test Codes 4-2013*).
- Determinar la pérdida de energía a través del aislamiento y compararla con la máxima transferencia de calor permisible, establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014, eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales.
- Estimar la pérdida de energía por fugas de vapor en líneas, accesorios y en trampas de vapor.
- Identificar los potenciales de ahorro energético y establecer las medidas que coadyuven al mejoramiento en la operación de estos equipos.
- Estimar los beneficios económicos y ambientales derivados de los ahorros energéticos

## 3 DIAGRAMA DE BLOQUES



**DIAGRAMA 1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN SISTEMAS DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR**



## 4 ANTECEDENTES

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, que fue creada a través de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 28 de noviembre del 2008, y tiene como objetivo central promover la eficiencia energética y fungir como órgano técnico en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.

Corresponde a la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía:

- Promover el uso óptimo de la energía, desde su explotación hasta su consumo, y proponer a la Secretaría (de Energía) las Metas de Eficiencia Energética y los mecanismos para su cumplimiento;
- Elaborar y proponer, a la Secretaría, la Estrategia y el PRONASE (Programa Nacional para el aprovechamiento Sustentable de la Energía);
- Formular y emitir las metodologías y procedimientos para cuantificar los energéticos por tipo y uso final, y determinar las dimensiones y el valor económico del consumo y el de la infraestructura de explotación, producción, transformación y distribución evitadas que se deriven de las acciones de aprovechamiento sustentable de la energía;
- Expedir y verificar disposiciones administrativas de carácter general en materia de Eficiencia Energética y de las actividades que incluyen el aprovechamiento sustentable de la energía, de conformidad con las disposiciones aplicables;
- Expedir las Normas Oficiales Mexicanas en materia de Eficiencia Energética;
- Proponer a las dependencias la elaboración o revisión de las Normas Oficiales Mexicanas a fin de propiciar la Eficiencia Energética;
- Implementar, administrar y asegurar la disponibilidad y actualización del Sistema;
- Implementar, actualizar y publicar en los términos que señalen el Reglamento de esta Ley, el registro de individuos, instalaciones o empresas que hayan sido certificados como energéticamente responsables bajo los mecanismos e instituciones que establece la Ley Federal sobre Metrología y Normalización;
- Promover la investigación científica y tecnológica en materia de aprovechamiento sustentable de la energía, en coordinación con el Instituto y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, en el ámbito de sus respectivas competencias;
- Brindar asesoría técnica en materia de Aprovechamiento sustentable de la energía a las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, así como a los gobiernos de los estados y municipios que lo soliciten, y celebrar convenios para tal efecto;
- Emitir opiniones vinculatorias para las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal y para estados y municipios en programas, proyectos y actividades de aprovechamiento sustentable de la energía que utilicen fondos públicos federales;
- Preparar y publicar libros, catálogos, manuales, artículos e informes técnicos sobre los trabajos que realice en las materias de su competencia;
- Participar en la difusión de la información, materia de esta Ley, entre los sectores productivos, gubernamentales y sociales;
- Ordenar visitas de verificación y requerir la presentación de información a las personas que realicen actividades relativas al aprovechamiento sustentable de energía, a fin de supervisar y vigilar, en el ámbito de su competencia, el cumplimiento de las disposiciones jurídicas aplicables;





- Imponer las sanciones, bajo el ámbito de su competencia, referidas en el Capítulo II del Título Décimo de esta Ley;
- Llevar a cabo los estudios que requiera para conocer elementos tecnológicos y prácticas que determinan patrones e intensidad de consumo de energía por uso final, tipo de usuario, actividad económica y región del país;
- Promover y concertar, con los usuarios de patrón de alto consumo de energía, la instrumentación voluntaria de sistemas de gestión energética bajo procedimientos, protocolos o normas reconocidas internacionalmente;
- Promover la creación y fortalecimiento de capacidades de las instituciones públicas y privadas de carácter local, estatal y regional para que estas apoyen programas y proyectos de eficiencia energética en los servicios municipales y pequeñas y medianas empresas;
- Ejecutar las acciones establecidas en el PRONASE;
- Proponer a la Secretaría los criterios para determinar que un usuario cuenta con un patrón de alto consumo de energía, e,
- Identificar las mejores prácticas internacionales en cuanto a programas y proyectos de eficiencia energética y promover, cuando así se considere, su implementación en el territorio nacional.

El artículo 18, fracción III de la Ley de Transición Energética menciona: "Formular y emitir las metodologías y procedimientos para cuantificar los energéticos por tipo y uso final, y determinar las dimensiones y el valor económico del consumo y el de la infraestructura de explotación, producción, transformación y distribución evitadas que se deriven de las acciones de aprovechamiento sustentable de la energía".

Bajo este contexto, la Comisión desarrolla diferentes metodologías de diagnóstico energético para los sistemas que emplean grandes cantidades de energía, tales como el que en esta ocasión presentamos y que corresponde a los:

- Sistemas de generación y distribución de vapor.

## 5 INTRODUCCIÓN

La producción de bienes y servicios dedicados al confort humano requieren de procesos industriales que utilizan sistemas y equipos que demandan continuamente grandes cantidades de energía.

Las calderas proporcionan una importante cantidad de energía requerida en los procesos industriales, mediante la transferencia de la energía del combustible, hacia el agua para pasar de su fase líquida a vapor y emplazarse como medio de calentamiento de corrientes de proceso en los intercambiadores de calor y serpentines de calentamiento.

El vapor generado en las calderas también es utilizado en las turbinas de vapor para el accionamiento de generadores eléctricos y equipo mecánico, como compresores y bombas.

Una vez que el vapor es generado en la caldera, pasa a través del sistema de distribución de vapor, el cual consta de tuberías, válvulas, aislamiento, etc., para ser finalmente usado en los equipos y procesos consumidores de energía.

El aislamiento empleado en las tuberías sirve para minimizar la pérdida de energía del vapor hacia el medio ambiente. También se utiliza para minimizar la transferencia de calor del medio ambiente hacia el fluido, en procesos que se realizan a bajas temperaturas.

Tener fugas de vapor, en las líneas de distribución y en las trampas de vapor, implica pérdidas de energía, y en el caso de mal funcionamiento de las trampas de vapor, puede repercutir afectando directamente al calentamiento de los procesos industriales.

El no hacer un uso eficiente de la energía en estos sistemas, tiene un impacto significativo en el consumo energético de las instalaciones industriales (gas natural, gas LP, combustóleo, diésel, etc.); adicionalmente, se tienen incrementos en el consumo de agua y mayor contaminación por emisiones al ambiente.



## 6 GENERALIDADES

### 6.1 CALDERAS

Un generador de vapor puede definirse como un equipo que, dentro de sus capacidades, genera y entrega vapor en la cantidad, calidad y oportunidad requeridas por el usuario final, en forma continua y en operación económica y segura.

#### 6.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS DE VAPOR

Las calderas en general se clasifican en:

- Acuotubulares
- Piro tubulares

##### 6.1.1.1 Caldera Piro tubular

En estas calderas, los gases de combustión pasan por el interior de unos tubos, que se encuentran sumergidos en la masa de agua. Todo el conjunto, agua y los tubos, se encuentra rodeado por una carcasa exterior. Los gases calientes, al circular por los tubos, transfieren parte de su energía al agua.

La presión de trabajo normalmente no excede los 20 kg/cm<sup>2</sup>, ya que a presiones más altas se requieren espesores de carcasa demasiado grandes. La producción de vapor máxima se encuentra alrededor de 25 ton/h.

Las calderas piro tubulares se clasifican en:

- a) Para combustibles líquidos:
  - Calderas de hogar integral
  - Calderas compactas con tubo hogar
- b) Para combustibles gaseosos

##### 6.1.1.2 Caldera Acuotubulares

En estas calderas los gases de combustión circulan por la parte externa de los tubos, mientras que por su interior lo hace el agua.

Estas calderas tienen una gran capacidad de producción de vapor, la cual puede variar desde una pequeña producción, en calderas compactas, hasta las grandes producciones de 1,000 ton/h y presiones hasta 150 kg/cm<sup>2</sup>, cómo es el caso de las centrales termoeléctricas.

Las calderas acuotubulares se clasifican en:

- a) Compactas
  - Hogar integral pequeño
  - Hogar integral grande
- b) No Compactas
  - Tubo recto
  - Tubo curvo
- c) Alta presión y temperatura
- d) Lecho fluidizado
  - Burbujeante
  - Circulante
  - Presurizado



## 6.1.2 VARIABLES IMPORTANTES EN LAS CALDERAS DE VAPOR

Entre las principales variables en la operación e información para evaluar la eficiencia de la caldera, están las siguientes:

- Agua de alimentación, vapor producido, vapor de atomización y purga:
  - Temperatura (°C).
  - Presión (kg/cm<sup>2</sup>).
  - Flujo (ton/h).
  
- Combustible:
  - Tipo(s).
  - Temperatura(°C).
  - Presión (kg/cm<sup>2</sup>).
  - Flujo (ton/h).
  - Densidad Relativa.
  - Poder(es) calorífico(s) superior(es) (kJ/kg).
  - Capacidad(es) calorífica(s) (kJ/kg °C).
  - Composición (% en mol y % en peso).
  
- Gases de combustión:
  - Temperatura (°C).
  - Contenido de oxígeno (% en volumen).
  - Contenido de bióxido de carbono (% en volumen).
  - Contenido de monóxido de carbono (ppm).

## 6.1.3 PARTES INTEGRANTES DE LA CALDERA

En la tabla siguiente se muestran las partes principales de una caldera.

**TABLA 1. PRINCIPALES EQUIPOS DE LA CALDERA**

• Domo o casco;	• Instrumentación;	• Precalentadores de agua (economizadores);
• Precalentadores de aire;	• Registros;	• Sobrecalentador;
• Sopladores de hollín;	• Chimenea;	• Desaerador;
• Desobrecalentador o atemperador;	• Hogar o caja de fuego;	• Mamparas;
• Quemadores;	• Refractario;	• Sistema de tiro.
• Tubería.		

En las figuras 1 a 4 se muestran imágenes de calderas.

**FIGURA 1. CALDERA 1**

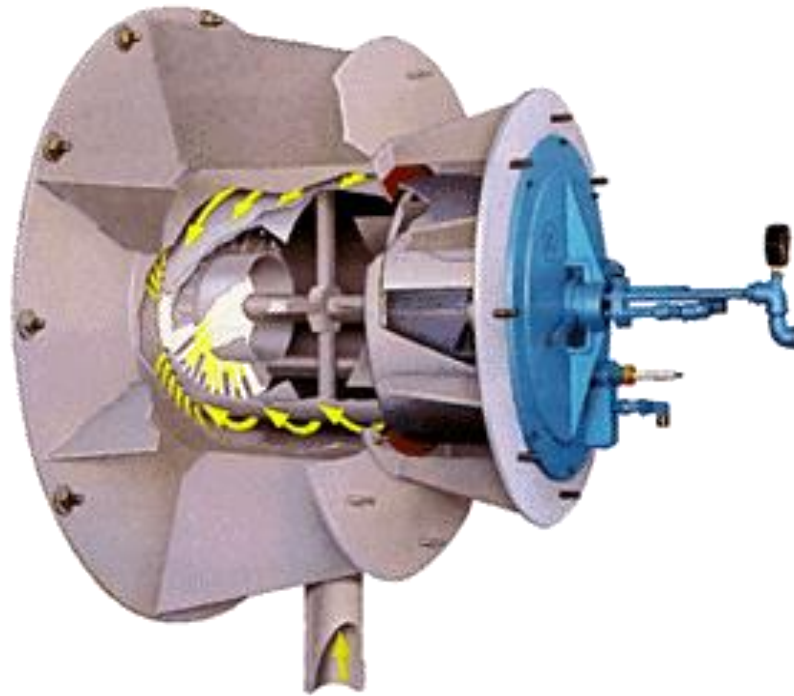


FIGURA 2. CALDERA 2



FIGURA 3. CALDERA 3



**FIGURA 4. QUEMADOR TÍPICO DE UNA CALDERA**

## 6.2 AISLAMIENTO

El aislamiento es un material que posee baja conductividad térmica y que, por lo tanto, presenta una gran resistencia a la transferencia de calor; forma parte del sistema termoaislante, que está integrado por la combinación de materiales de sujeción, barrera de vapor, materiales de acabado y recubrimiento.

### 6.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS AISLANTES

Los materiales termoaislantes se clasifican, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENERG-2014, de la siguiente manera:

- Tipos genéricos:
  - Fibras minerales;
  - Fibras celulares;
  - Fibras granulares.
  
- Formas de presentación:
  - Rígidos;
  - Flexibles;
  - Colchonetas flexibles;
  - Cementos monolíticos;
  - Espumado en sitio.
  
- Aplicación:
  - Servicios a alta temperatura (mayor a 37°C);
  - Servicios a baja temperatura (menor a 37°C).



- Uso y aplicación:
  - Control de la temperatura de proceso;
  - Conservación de energía;
  - Protección al personal;
  - Anticondensación;
  - Aislamiento innecesario.

## 6.2.2 PRINCIPALES MATERIALES DE AISLAMIENTO

- Silicato de calcio;
- Fibra de vidrio;
- Vidrio espumado;
- Lana de roca;
- Perlita expandida;
- Elastoméricos;
- Poliestireno;
- Poliuretano.

## 6.2.3 MATERIALES COMPLEMENTARIOS

- Materiales de sujeción;
- Materiales de acabado;
- Barreras de vapor;
- Otros materiales.

## 6.2.4 VARIABLES IMPORTANTES DEL AISLAMIENTO

- Temperatura del fluido de proceso ( $^{\circ}\text{C}$ );
- Espesor del aislante (mm);
- Tipo del material aislante;
- Conductividad térmica del aislante ( $\text{w/m}^{\circ}\text{K}$ );
- Tipo de recubrimiento del material aislante;
- Temperatura de superficie ( $^{\circ}\text{C}$ );
- Diámetro nominal de la tubería (mm);
- Tipo de tubería;
- Temperatura de pared ( $^{\circ}\text{C}$ );
- Temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ );
- Velocidad del viento (m/h).

En las figuras 5 a 7 se presentan los componentes principales de aislamiento.

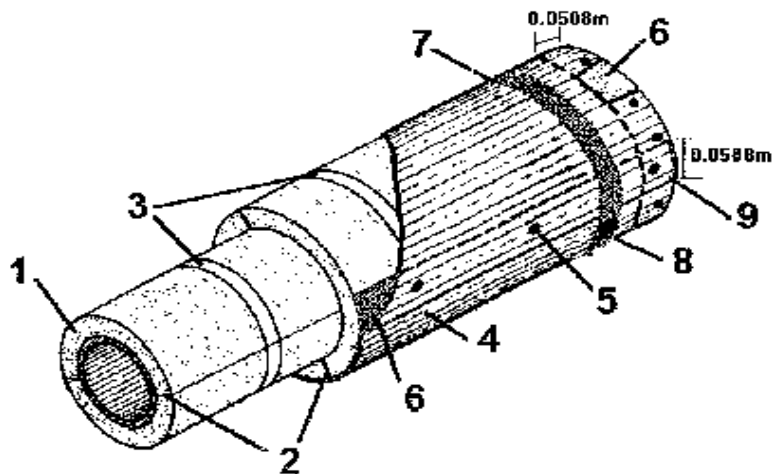
**FIGURA 5. AISLAMIENTO DE CABEZALES DE VAPOR**



FIGURA 6. AISLAMIENTO



FIGURA 7. PARTES DEL AISLAMIENTO



Lista de materiales:

1. Aislamiento preformado para tubería;
2. Juntas a tope;
3. Fleje M.S.5 o M.S.7 o alambre M.S.3 (cada 0,305 m);
4. Cubierta metálica;
5. Pijas M.A.9 (cada 0,15 m);
6. Sellador de traslapes O.M.4;
7. Fleje M.S.7 o M.A.8 (cada 0,305 m);
8. Grapa M.A.11;
9. Traslape longitudinal y transversal (0,0508 m).



## 6.3 TRAMPAS DE VAPOR

Una trampa de vapor es una válvula automática, cuya función es descargar condensado sin permitir que escape vapor vivo. La eficiencia de cualquier equipo o instalación que utilice vapor está en función directa de la capacidad de drenaje de condensado; por ello, es fundamental que la purga de condensados se realice automáticamente y con el diseño correcto. Asimismo, las trampas de vapor han de tener una buena capacidad de eliminación de aire.

Es muy importante que los sistemas de distribución sean siempre drenados de manera eficiente. Siendo las trampas de vapor el sistema para optimizar el drenaje del condensado en los sistemas de vapor, estas deben cumplir con las tres funciones básicas que se mencionan a continuación:

- Eliminación de condensado;
- Eliminación de aire y otros gases no condensables;
- Prevención de las pérdidas de vapor.

### 6.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TRAMPAS DE VAPOR

Tomando como base su principio de operación, las trampas de vapor se clasifican en tres tipos básicos, los cuales son:

- Termostática (opera por diferencia de temperatura);
- Mecánica (opera por diferencia de densidades);
- Termodinámica (opera por cambios de estado).

### 6.3.2 TIPOS DE TRAMPAS DE VAPOR

Los tipos de trampas de vapor pueden ser:

- De fuelle;
- Bimetálica;
- Flotador y termostato;
- Cubeta invertida;
- Termodinámica de presión equilibrada.

### 6.3.3 VARIABLES DE TRAMPAS DE VAPOR

Las variables para realizar el diagnóstico energético en las trampas de vapor son:

- Condiciones térmicas del vapor:
  - Temperatura (°C);
  - Presión (kg/cm<sup>2</sup>);
  - Flujo (ton/h);
  - Temperatura del condensado (ton/h).
- Parámetros de la trampa:
  - Tipo;
  - Localización;
  - Diámetro del orificio.

Los términos de las variables y componentes de los equipos del sistema de generación y distribución de vapor se describen detalladamente en el anexo I “Glosario de términos”.

En las Figuras: 8 y 9, se presentan diferentes trampas de vapor:

**FIGURA 8. DIFERENTES TRAMPAS DE VAPOR 1**





**FIGURA 9. DIFERENTES TRAMPAS DE VAPOR 2**

## 7 FORMACIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO

Dentro de una empresa, se recomienda establecer, como primera actividad, la formación de un Comité en materia de ahorro de energía, el cual establezca los programas y proyectos que representen áreas de oportunidades para el uso racional y eficiente de los energéticos.

Para el desarrollo de un estudio con la metodología de diagnóstico energético en sistemas de generación y distribución de vapor, es necesario que la empresa cuente con un Comité, encargado de llevar a cabo el estudio.

Se recomienda que el grupo de trabajo esté formado por personal técnico de las siguientes áreas:

- Proceso;
- Mantenimiento;
- Operación;
- Ingeniería;
- Seguridad.

Este grupo tendrá las siguientes funciones:

- Desarrollo de la ingeniería en campo, consistente en:
  - Recopilación de información del acervo técnico de la empresa;
  - Recopilación de información de operación;
  - Medición de variables requeridas para el diagnóstico.
- Determinación de:
  - Eficiencia actual del generador de vapor y su comparación con el diseño;
  - Determinación de la pérdida de calor a través del aislamiento;
  - Detección de fugas de vapor en líneas, accesorios y en trampas de vapor.
- Efectuar un análisis de los resultados obtenidos, así como emitir el dictamen del diagnóstico energético
- Emitir recomendaciones operacionales.
- Realizar los ajustes operacionales necesarios.



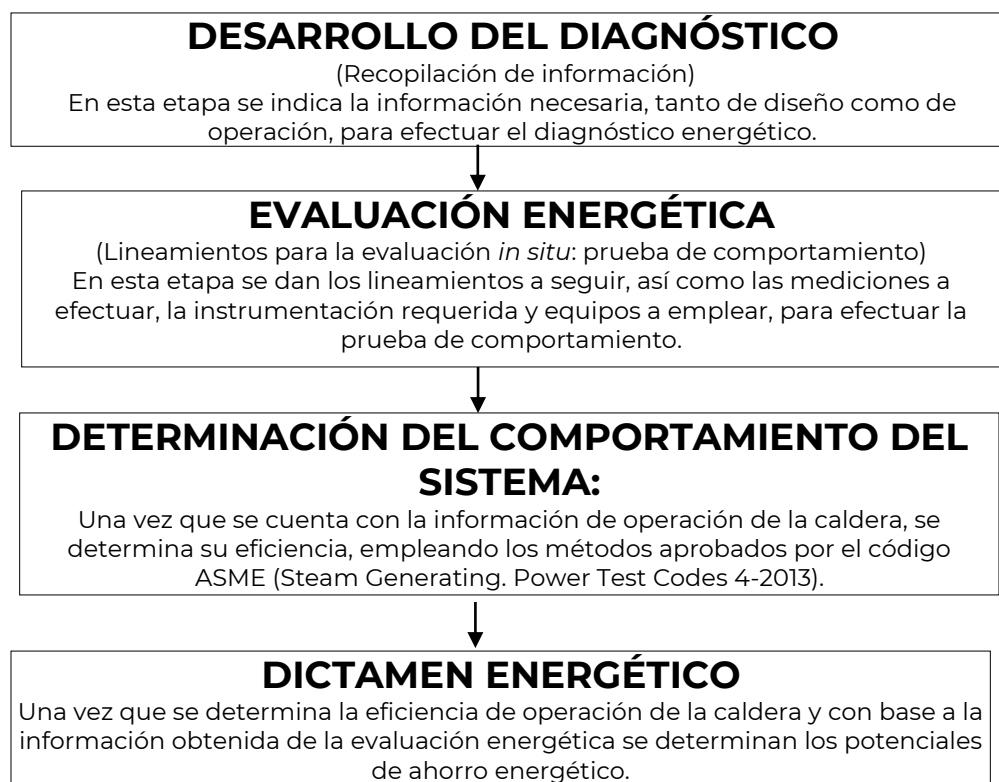
- Cuantificar los beneficios que se obtienen, derivados de las recomendaciones.
- Determinar las perspectivas futuras de operación del equipo, el cual justifique un análisis más detallado, que requiera de los servicios de un consultor especializado, tomando en cuenta los términos de referencia.
- Solicitar apoyo técnico de la Conuee, en caso de ser necesario.

## 8 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

### 8.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN CALDERAS

A continuación, se presenta un diagrama que muestra las actividades para realizar un diagnóstico energético en calderas.

**DIAGRAMA 2. ACTIVIDADES PARA REALIZAR UN DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN CALDERAS**



#### 8.1.1 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO EN CALDERAS (RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN)

Los propósitos del diagnóstico energético en generadores de vapor son:

- Evaluar las condiciones actuales de operación del sistema.
- Establecer potenciales de ahorro de energía para el generador de vapor en función de sus características de diseño.
- Recomendar modificaciones operacionales, técnicas y económicamente viables, que permitan mejorar la eficiencia en la generación de vapor.



Para alcanzar tales objetivos, se deberán desarrollar las actividades secuenciales que a continuación se describen. Es importante que la realización de cada una de estas etapas sea en forma sucesiva, es decir, no se podrá iniciar la siguiente etapa si no se ha terminado con la anterior.

### 8.1.1.1 Verificar la instrumentación requerida

Es necesario contar con la instrumentación para medir las variables necesarias del generador de vapor (caldera) para poder realizar un diagnóstico energético confiable. Las mediciones a realizar en las calderas son las siguientes:

Presión:	Mediante manómetros calibrados localizados en las tuberías del agua de alimentación y vapor generado.
Temperatura:	Es necesario contar con termómetros calibrados para medir la temperatura de agua de alimentación, vapor generado, combustibles, gases de combustión, aire ambiente y vapor de atomización.
Flujo:	Mediante un equipo de medición de flujo instalado como placa de orificio, en las corrientes de agua de alimentación, vapor generado y combustibles.
Bulbo húmedo:	Es necesario contar con un psicrómetro o termómetro para tomar la temperatura del bulbo húmedo del aire.
Composición, poder calorífico, densidad relativa y capacidad calorífica del combustible(s):	Es necesario contar con la especificación del proveedor del combustible, o mediante el análisis de estas variables, o utilizar los valores típicos mostrados en el anexo V.
Composición de los gases de combustión:	Mediante el equipo de análisis de gases de combustión, para determinar el contenido de O <sub>2</sub> (%), CO <sub>2</sub> (%) y CO (ppm).

### 8.1.1.2 Obtención de información general del sistema de generación de vapor

Mediante el empleo del formato 1, del anexo IV, será posible conocer los datos generales del sistema en consideración, que en general son los siguientes:

- Número de la caldera;
- Condiciones de operación;
- Datos de la caldera;
- Uso de vapor generado;
- Costos de agua de alimentación, retorno de condensados, vapor generado y combustibles;
- Datos en campo.

### 8.1.1.3 Análisis y revisión de la información general del generador de vapor

Como puede apreciarse, el conocimiento previo al nivel de gabinete de la información descrita en el párrafo anterior permitirá tener una visión inmediata y suficiente del sistema próximo a evaluar.

Dado que la siguiente etapa del desarrollo consiste en la recopilación de información detallada del sistema, dicha fase será mucho más redituable y efectiva por el hecho de conocer e inferir de antemano, la función y características operacionales del equipo en cuestión.

### 8.1.1.4 Recopilación de información detallada de diseño y operacional del generador de vapor

Esta actividad de campo consiste en lo siguiente:

#### 8.1.1.4.1 Localización e integración de documentos de diseño

La documentación básica y fundamental para el desarrollo del estudio y análisis energético es la siguiente:

- Hojas de datos de calderas, necesariamente tiene que ser la generada o proporcionada por el proveedor de equipo;
- Dibujo o plano del arreglo general de la caldera. También es un documento suministrado por el proveedor del equipo;



- Diagrama de tubería e instrumentación del equipo. Documento elaborado durante el desarrollo de la ingeniería;
- Diagrama de flujo del proceso, del cual la caldera es parte. También es un documento elaborado durante el desarrollo de la ingeniería de la instalación.

#### **8.1.1.4.2 Levantamiento e integración de datos operacionales**

- Requerimientos térmicos de las plantas de proceso;
- Información de bitácora operacional. Los datos relevantes a los que se refiere este punto son los siguientes:
  - Agua de alimentación, vapor producido, vapor de atomización y purga:
    - ✓ Temperatura;
    - ✓ Presión;
    - ✓ Flujo.
  - Combustible:
    - ✓ Tipo(s);
    - ✓ Temperatura;
    - ✓ Presión;
    - ✓ Flujo;
    - ✓ Densidad relativa;
    - ✓ Poder(es) calorífico(s) superior(es);
    - ✓ Capacidade(s) calorífica(s);
    - ✓ Composición(es) (% en mol y/o % en peso).
  - Gases de combustión:
    - ✓ Temperatura;
    - ✓ Contenido de oxígeno (% en volumen);
    - ✓ Contenido de bióxido de carbono (% en volumen);
    - ✓ Contenido de monóxido de carbono (ppm).

#### **8.1.1.5 Evaluación energética (lineamientos para la evaluación en campo)**

Evaluación de la eficiencia actual del generador de vapor, a las condiciones de operación, siguiendo las recomendaciones del código ASME (*The American Society of Mechanical Engineers. Steam Generating Units, Power Test Codes 4-2013*). Para ello se requiere el levantamiento de información de las variables mencionadas en el punto anterior. El procedimiento secuencial de esta etapa se describe en la sección de evaluación energética

#### **8.1.1.6 Determinación de la eficiencia**

Este punto consiste en el cálculo de la eficiencia del generador de vapor a partir de los datos obtenidos de campo.

El procedimiento secuencial de esta etapa se describe en la sección de determinación de la eficiencia actual del generador, conforme a los dos métodos reconocidos por el Código ASME, los cuales son:

- Método de pérdidas (método indirecto);
- Método de entradas y salidas (método directo).

#### **8.1.1.7 Dictamen energético**

A partir de los datos recopilados en las etapas anteriores (eficiencia de la caldera), se darán las recomendaciones y sugerencias operacionales, para eficientar energéticamente el equipo. La descripción de esta etapa se encuentra en la sección de dictamen energético.

#### **8.1.1.8 Recomendaciones operacionales**

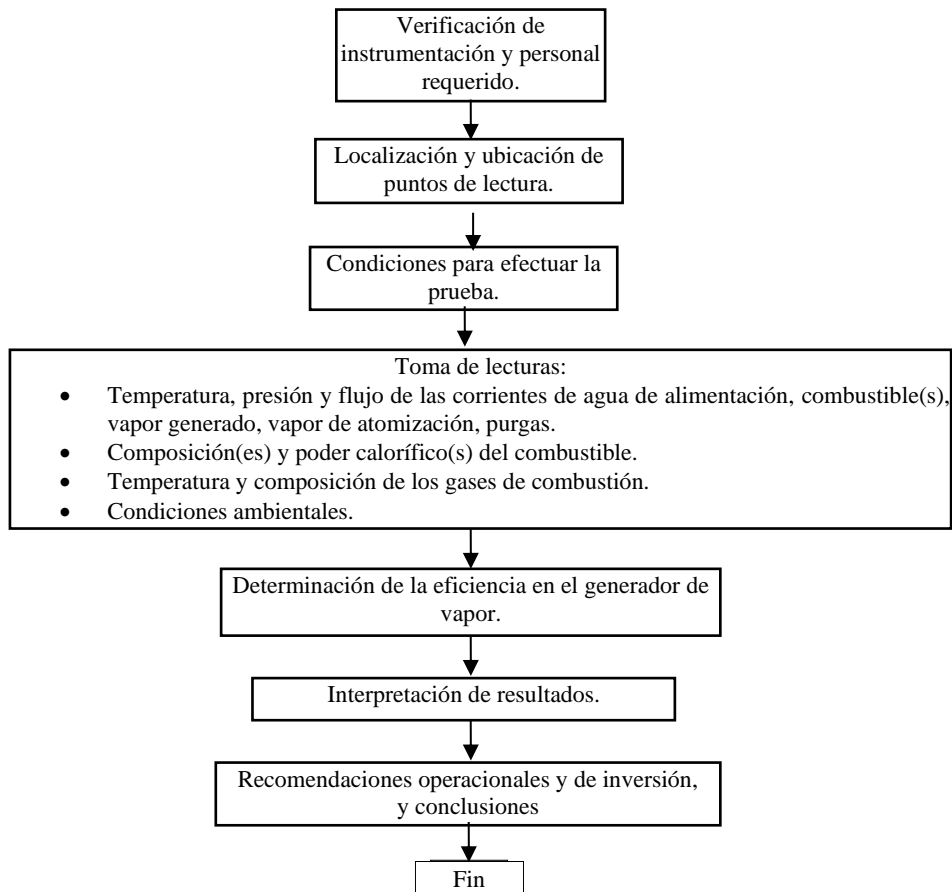
A partir del levantamiento de información y del cálculo de la eficiencia de la caldera, se darán las recomendaciones operacionales. La descripción de esta etapa se encuentra en las recomendaciones operacionales.



## 8.1.2 EVALUACIÓN ENERGÉTICA (LINEAMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN IN SITU: PRUEBA DE COMPORTAMIENTO)

A continuación, se presenta en el diagrama, la secuencia de evaluación para el generador de vapor.

**DIAGRAMA 3. SECUENCIA DE EVALUACIÓN EN CALDERAS**



### 8.1.2.1 De acuerdo con el Código ASME

Para realizar la prueba de comportamiento como lo marca el Código ASME (*The American Society of Mechanical Engineers. Steam Generating Units, Power Test Codes 4-2013*), a continuación, se presenta la descripción y procedimiento para efectuar la prueba de comportamiento en un generador de vapor.

#### 8.1.2.1.1 Preparación de la prueba

Las condiciones del equipo para efectuar la prueba deberán de seguir las siguientes recomendaciones, previamente y durante el desarrollo de la misma, como se explica:

- Todas las superficies de transferencia internas y externas deberán estar limpias (mediante operaciones normales de limpieza), antes de empezar la prueba. Durante la prueba, solo se permitirá realizar limpieza para mantener estas en condición normal.
- La prueba de comportamiento deberá de empezar tan pronto esté la caldera en condiciones estables.
- Se recomienda realizar una prueba preliminar con el propósito de revisar la operación de todos los instrumentos, dar entrenamiento al personal, realizar ajustes menores, así como establecer las condiciones apropiadas de combustión.



- Asimismo, se recomienda realizar, al menos, dos corridas, aproximándose a la carga de prueba. Si los resultados obtenidos difieren, se requerirá de una tercera corrida. La eficiencia de la caldera será el promedio de las dos corridas para las cuales tengan menor desviación en su eficiencia.
- Se procederá a realizar el levantamiento de información después de que la caldera haya alcanzado la estabilidad.
- La caldera será revisada completamente para detectar cualquier tipo de fugas. También, se deberán de revisar las fugas internas del aire y ser corregidas.
- Antes de realizar la prueba, se determinará si la cantidad de combustible empleado es el que se tiene la intención de usar.
- En el levantamiento de información se harán notar claramente las condiciones del equipo, limpieza de las superficies de intercambio, características del combustible y carga de la caldera.

#### **8.1.2.1.1.1 Condiciones de operación**

Las limitaciones para la realización de la prueba y que serán obligatorias para dar validez a la misma, son las siguientes:

#### **8.1.2.1.1.2 Arranque y paro de la prueba**

- Las condiciones de prueba deberán, como sea posible, ser las mismas al principio y al final de la prueba, como son las condiciones de combustión, flujo de combustible, flujo de agua de alimentación, nivel de agua en el tambor, exceso de aire, las diferentes temperaturas y presiones del sistema, así como otras condiciones que pudieran afectar el resultado de la prueba.
- En algunos casos será necesario detener la prueba antes de finalizarla, debido a la variación de las lecturas de las variables de operación.
- Para lograr las condiciones deseadas de operación cuando se quema combustible sólido, es esencial que la mayor limpieza y condiciones del lecho de combustible sean cumplidas.
- La cantidad de combustible sólido empleado deberá de mantenerse constante al principio y al final de la prueba. La trampa de ceniza deberá ser vaciada justo después de iniciar y finalizar la prueba.
- En caso de que la prueba sea para determinar la máxima condición a la cual la caldera puede ser operada, la prueba empezará tan pronto la máxima condición sea lograda.

#### **8.1.2.1.1.3 Duración de la prueba**

- Se recomienda que la duración de la prueba para combustibles líquidos y gaseosos sea de una hora.
- Cuando se utilice combustible sólido, como carbón pulverizado o triturado, de preferencia debe ser durante más de cuatro horas.

#### **8.1.2.1.1.4 Realización de curvas de comportamiento**

- Es deseable, pero no mandatorio, que se varíe la carga de la caldera, al menos, para cuatro diferentes cargas, para elaborar la curva de comportamiento de la caldera. Tales curvas mostrarán los datos de prueba, muy útiles para apreciar el comportamiento de la caldera, ya que rara vez la carga que se desea obtener en la caldera para efectuar la prueba es exacta.



#### **8.1.2.1.5 Frecuencia y consistencia de las lecturas**

- La frecuencia de tomas de lecturas deberá ser de intervalos de 15 minutos. Sin embargo, si se presentan fluctuaciones, las lecturas serán tomadas con la frecuencia necesaria para determinar el promedio.
- Cuando la cantidad de combustible o agua de alimentación es recopilada por los instrumentos que están instalados en planta, estas lecturas habrán de realizarse cada hora.
- Si la cantidad de combustible sólido tiene que ser pesada, la frecuencia con la que se pesa es usualmente determinada por la precisión de los instrumentos empleados, pero los intervalos deberán ser tales que el total pueda ser obtenido para cada hora de prueba.
- Cuando se empleen medidores de flujo o manómetros, empleando tubos Venturi, tubo Pitot o placa de orificio para obtener las mediciones, las lecturas de flujo serán registradas en intervalos de cinco minutos.

#### **8.1.2.1.6 Aceptación de las lecturas**

- El levantamiento de información no será aceptado si se tienen inconsistencias en los resultados obtenidos durante la prueba. Cuando la prueba de la caldera no cumpla con los puntos antes mencionados, será repetida para lograr el objetivo de la prueba.

#### **8.1.2.1.7 Reporte de la prueba y observaciones**

- Todas las observaciones, lecturas y mediciones serán registradas para cumplir con el objetivo de la prueba.

#### **8.1.2.1.8 Instrumentos y métodos de medición**

- Los instrumentos necesarios y procedimientos para realizar las mediciones estarán de acuerdo con el Código ASME (*Power Test Codes Supplements on Instruments and Apparatus*) y otras publicaciones involucradas en la prueba de las calderas de vapor.
- En el anexo III se proporciona una relación de los equipos de medición empleados en el diagnóstico energético.

#### **8.1.2.1.2 Toma de lecturas**

La duración de la prueba, una vez localizados los puntos de lectura y hecha la revisión y verificación de las condiciones en el generador, se tomará con una frecuencia de lecturas con intervalos regulares de quince minutos, de tal manera que se presente mínima variación; y tras ser registradas en el formato núm. 1 del anexo IV, para ubicar los puntos de lectura, se pueden observar los esquemas números 1 y 2 de esta sección.

Se sugiere que previamente a la prueba, se mantenga la carga del generador de vapor durante un lapso de una hora, para que los parámetros de presión, temperatura y flujo se estabilicen. A partir de los 30 minutos, se tomarán lecturas para verificar la estabilidad y, en caso de que esta se haya logrado, se procederá a iniciar la prueba.

Antes de realizar las pruebas y las mediciones correspondientes, es conveniente hacer una inspección completa al sistema para comprobar la operación de todos los instrumentos, incluyendo los equipos portátiles. El equipo de trabajo dará indicaciones al personal que participará en las mediciones y en la prueba, con el propósito de que todos los datos necesarios para el cálculo sean obtenidos.

Es recomendable que para caracterizar la caldera se realicen, de ser posible, pruebas a diferentes cargas: al 50% (carga baja), 75% (carga media) y al 100% (carga máxima de trabajo), de acuerdo con el proceso productivo. Cada prueba se realizará durante una hora y se tomarán mediciones cada 15 minutos, que se registrarán en el formato 1 del anexo IV.

Los valores medidos no deben tener discrepancias mayores del 5% entre sí en cada prueba; de lo contrario, esta tendrá que repetirse. Para los cálculos, se tomará el valor promedio de los valores obtenidos.



La medición plantea un problema diferente para cada planta de acuerdo con el servicio, las necesidades y la calidad requerida del vapor por los equipos; sin embargo, hay una serie de opciones o artificios que pueden ser empleados por el consultor o quien realiza las pruebas y de los cuales, sin que esto sea limitativo, se exponen a continuación.

#### **8.1.2.1.2.1 Distribución de carga**

Las plantas que cuentan con más de una caldera a disponibilidad, ya sea que se encuentren en servicio todas o con unidades en reserva, tendrán siempre posibilidades de operar con otras unidades para lograr el nivel deseado en cada carga o régimen seleccionado para efectuar la medición.

Lo anterior, sin embargo, presenta varias condicionantes, entre otras: que las calderas alimenten al mismo sistema, que operen a la misma presión de trabajo o que no sean de capacidades muy distintas.

#### **8.1.2.1.2.2 Programación de acuerdo con el perfil de carga normal**

Esta opción normalmente requiere de un tiempo más amplio en la ejecución de las mediciones, ya que para tener representados diferentes niveles de carga debe ajustarse al perfil de un período típico de operación, que incluya los valores mínimo y máximo de carga en la planta. El período puede ser diario, semanal o mensual.

#### **8.1.2.1.2.3 Programación de acuerdo con pruebas con producción programada**

Si el perfil y procesos normales de producción no permiten representar los niveles de carga en toda la gama deseada, existe la posibilidad de convenir temporalmente y por mínimo tiempo posible, algunas operaciones del proceso, ya sea para desplazar una operación respecto de otra o para hacerlas coincidir.

Lo anterior puede convenirse en fechas, horas y duración, con los responsables a cargo de producción y de áreas específicas de proceso, y permitirá realizar las pruebas en menor tiempo que en la opción anterior.

#### **8.1.2.1.2.4 Variación del régimen de combustión, independientemente de la generación de vapor**

En muchos casos podrá realizarse la variación temporal del régimen de combustión de una caldera y realizar mediciones de combustión a diferentes regímenes entre el mínimo y el máximo, independientemente de la generación de vapor instantánea. Lo anterior es posible de acuerdo con los siguientes razonamientos:

La gran mayoría de las calderas industriales en México, medianas y pequeñas, con capacidades de generación nominales de 500 CC y menores, está equipada con sistemas de control de combustión tipo posicionador - paralelo y control de dos posiciones y un elemento para el sistema de agua de alimentación (o de nivel).

El control de agua de alimentación, por otro lado, opera en forma independiente y únicamente obedece a señales de arranque y paro de la bomba de alimentación, a través de señales de un interruptor en el casco (envolvente - coraza - cuerpo) o domo de la caldera según el tipo.

En el caso de control de combustión, lo anterior significa que, para cada valor de presión dentro de la banda de desviaciones permisibles del control de presión de vapor, corresponde una posición angular del eje maestro, y para cada ángulo de la manivela de este hay una posición fija del mecanismo de leva/seguidor o manivela en la válvula de control, según el tipo de combustible correspondiente, con una posición fija de las compuertas de registros y de regulación de aire.

Un buen número de calderas tiene controles de agua de alimentación de dos posiciones (dentro-fuera), cuyas características e influencia en el control de combustión pueden aprovecharse adecuadamente para estas maniobras.

Esta configuración permite el operar, por períodos cortos, el control de combustión a diferente régimen de fuego, independientemente que se tenga alta o baja evaporación en la caldera.

Las calderas pueden operarse manualmente y conseguir una situación favorable de combinación presión de vapor-nivel de agua adecuado para la operación, por corto tiempo, a un régimen de combustión distinto al de la generación instantánea.





Además, en calderas medianas y pequeñas, la estabilidad en las condiciones de combustión y análisis de gases puede lograrse en pocos minutos, así como la temperatura se estabiliza con un factor de corrección que no influye en la veracidad de los resultados.

Si se analizan los conceptos anteriores, se entenderá que es relativamente fácil operar manualmente, ya sea con desconexión de mecanismos maestros o sin necesidad de estos y lograr prácticamente cualquier nivel de régimen de combustión dentro de las capacidades del sistema, para obtener una información completa de las unidades y lograr un diagnóstico adecuado.

Lo anterior se consigue variando manualmente el nivel o régimen de combustión desde el tablero de control, cuando se tiene control manual remoto, o bien desconectando el varillaje del servomotor de control de presión, que permita operar manualmente el eje maestro al ángulo o posición que requiere el régimen de combustión deseado.

Esta condición permite obtener mediciones confiables de combustión y análisis de gases para cualquier condición de generación de vapor y con bajo margen de error en la temperatura de gases. Lo anterior es más cierto en las calderas de tubos de humo, las que, por otra parte, permiten también un margen en tiempo de estas condiciones de “carga ficticia”, dada la mayor relación de almacenamiento de agua a producción de vapor con respecto a las calderas de tubos de agua.

En los casos de calderas con sistemas de control más elaborado, como el posicionador en serie, también se aplicará lo anterior y cuando las calderas estén equipadas con control modulante de agua de alimentación, estas operaciones también pueden realizarse con mayor precisión y seguridad.

### **8.1.2.1.3 Levantamiento de información**

Los principios básicos que la medición emplea son sencillos y sólidos. Su conocimiento es fundamental para interpretar con buen criterio los resultados que se obtengan y el levantamiento de información en las plantas puede requerir algunos días de esfuerzo.

La instrumentación y los equipos de medición portátiles empleados para la evaluación de la caldera se mencionan en el anexo III Instrumentación.

Una vez instalado todo el equipo, para realizar la prueba de comportamiento se deben de hacer las lecturas previas para que su variación no sufra grandes desviaciones.

#### **8.1.2.1.3.1 Mediciones en el vapor**

##### **8.1.2.1.3.1.A Flujo de vapor**

Su medición se realiza por medio de medidores de flujo (de toberas, orificio) instalados en la tubería de salida del generador de vapor o en el ramal de la red de distribución en los puntos o secciones convenientes.

##### *Métodos alternativos:*

- Para el caso específico de producción de vapor de un generador, se medirá la variación de nivel en el tanque de agua de alimentación, manteniendo cerradas la purga continua y de superficie del generador de vapor durante la medición. En el caso de tanques cilíndricos con eje horizontal, se utilizará la tabla del anexo V para la obtención del volumen (%) en función de la altura del nivel del líquido en %.
- Conociendo el flujo de agua de alimentación, hay que restar la purga en la caldera.

##### **8.1.2.1.3.1.B Temperatura del vapor**

Por medio del termómetro ya instalado en la tubería de salida del generador de vapor. En caso de tener medición de temperatura en los tableros de control o en gráficos, podrán tomarse dichos valores.

##### *Método alternativo:*

- Si se trata de vapor saturado, que es el más común, con la medición de la presión y el uso de tablas de vapor podemos obtener el valor de este parámetro.



- Si se trata de vapor sobrecalentado y no existen termómetros en el generador de vapor o cuarto de control, una alternativa empírica es medir la temperatura en la superficie de la tubería, en un punto conveniente que esté desnudo y limpio, y sumar 15 °C.

#### **8.1.2.1.3.1.C Presión del vapor**

Por medio de un manómetro ya instalado en la tubería de salida del generador de vapor.

##### *Método alternativo:*

- Si se trata de vapor saturado y se conoce su temperatura, se puede determinar mediante tablas de vapor.
- Conociendo la presión del agua de alimentación y restándole la caída de presión en la caldera especificada en el diseño.

#### **8.1.2.1.3.2 Mediciones en el agua de alimentación**

##### **8.1.2.1.3.2.A Flujo del agua de alimentación**

Por medio de medidores ya instalados: pueden ser toberas, orificios o medidores de flujo de desplazamiento positivo.

##### *Método alternativo:*

- En algunos casos, el flujo se puede estimar si se conoce la potencia demandada real, el modelo y el diámetro del impulsor de la bomba del agua de alimentación al generador de vapor; el flujo se determina de acuerdo con la presión de descarga promedio de la bomba y utilizando las curvas proporcionadas por el fabricante de la misma.

##### **8.1.2.1.3.2.B Temperatura de agua de alimentación**

Por medio del termómetro ya instalado.

##### *Método alternativo:*

Medir la temperatura con sonda de inmersión en el tanque de agua de alimentación.

##### **8.1.2.1.3.2.C Presión del agua de alimentación**

Por medio de un manómetro ya instalado.

#### **8.1.2.1.3.3 Cantidad de purga continua**

##### **8.1.2.1.3.3.A Flujo de la purga**

Se obtiene por la diferencia entre el flujo de vapor y flujo de agua de alimentación (es adecuado si no hay fugas de agua en los tubos del generador de vapor). Como esta medición es indirecta, depende de la exactitud y confiabilidad de las mediciones realizadas.

##### **8.1.2.1.3.3.B Temperatura y presión de la purga**

Se obtiene mediante el equilibrio termodinámico del agua y vapor.

#### **8.1.2.1.3.4 Vapor de atomización**

##### **8.1.2.1.3.4.A Flujo**

Se debe de estimar la cantidad empleada de vapor para atomizar el vapor.



#### 8.1.2.1.3.4.B Presión y temperatura

Se obtiene de igual manera que el vapor principal.

#### 8.1.2.1.3.5 Combustible

Utilizar de preferencia la información del combustible del proveedor, o realizar un análisis de laboratorio de una muestra de combustible, o en caso diferente a los anteriores procedimientos, se pueden utilizar las tablas del anexo V para obtener los datos del análisis y poder calorífico del combustible.

##### 8.1.2.1.3.5.A Flujo de combustible

###### Gaseoso:

Por medio de medidor de flujo de placa de orificio, generalmente se instala en la caseta de medición y es proporcionado por el vendedor de combustible. El medidor es compensado por temperatura, presión y densidad.

###### Líquido:

Por medio de medidor de flujo, generalmente de desplazamiento positivo o de área variable, compensado por temperatura o por diferencias de nivel.

###### Sólidos:

Mediante el pesaje del combustible.

###### Otros combustibles:

Usar el método de medición utilizado por la empresa diagnosticada.

###### *Método Alternativo:*

En el caso de que se cuente con un cabezal para el suministro de combustible a varios generadores de vapor, la determinación del gasto por generador de vapor se realizará de la siguiente forma:

Se podrá cuantificar proporcionalmente a la carga de cada uno de los generadores de vapor, esto es, se asignará un porcentaje de consumo de combustible a cada generador de vapor en función de su carga y potencia, mediante el siguiente procedimiento:

- Se calcula una capacidad  $C_i$  para cada generador de vapor, mediante la siguiente ecuación:
  - $C_i = (\text{Capacidad del generador de vapor} \times \text{porcentaje de carga}) / 100$
  - Donde:  
 $i = \text{No. de generador de vapor.}$
- Se obtiene una capacidad total del sistema de generación de vapor:
  - $C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$
- Se determina el factor para cada generador de vapor:
  - $F_i = C_i / C_t$
  - Donde:  
 $i = \text{Número de generador de vapor y,}$
  - $$\sum_{i=1}^n F_i = 1$$
- Se obtiene el consumo de combustible para cada generador de vapor y para el sistema de generación de vapor, mediante las siguientes ecuaciones:
  - $W_i = W_c \times F_i$
  - Donde:  
 $i = \text{Número de generador de vapor}$   
 $W_c = \text{Consumo de combustible medido de entrada al sistema de generación de vapor}$



$F_i$  = Factor para el generador  $i$

- Además, la suma de todos los consumos calculados para los generadores de vapor debe ser igual al consumo de combustible medido.

$$\sum_{i=1}^n W_i = W_c$$

En el caso de que la operación lo permita, se aislará cada uno de los generadores de vapor de manera que el combustible suministrado al cabezal sea el combustible consumido por el generador de vapor.

#### **8.1.2.1.3.5.B Temperatura del combustible**

Por medio de termómetro ya instalado.

*Método alternativo:*

- Para los casos de combustibles gaseosos y sólidos, la temperatura del combustible es comúnmente la temperatura ambiente. Para el caso de combustibles líquidos, es común precalentarlo, por lo que se deberá reportar a esta temperatura.

#### **8.1.2.1.3.5.C Presión del combustible**

Por medio de un manómetro ya instalado.

#### **8.1.2.1.3.6 Análisis de gases**

##### **8.1.2.1.3.6.A Composición**

Por medio del analizador de gases de combustión Orsat o analizador electrónico de gases de combustión. Se deberán tomar muestras a diferentes penetraciones del ducto de escape de gases.

En caso de que no existan los puertos para realizar las mediciones correctamente, no sirven los que se encuentran para las mediciones de la Semarnat, porque se encuentran alejados de la fuente; se puede hacer un orificio de toma de muestras en el ducto de descarga de gases, cuidando que este no se localice en puntos donde exista infiltración de aire o cambio de dirección del flujo de gases. Se recomienda realizar este orificio a la salida del generador de vapor.

##### **8.1.2.1.3.6.B Temperatura de gases**

Por medio de un termómetro o termopar en el mismo orificio donde se tomó la muestra de gases. Es recomendable que también se realice la medición a diferentes penetraciones del ducto, con el objeto de obtener la temperatura promedio de los gases. En el caso de utilizar un analizador de gases electrónico, este ya incluye la sonda de temperatura junto con la de gases.

##### **8.1.2.1.3.7 Mediciones de condiciones del medio ambiente**

Se tomarán en el cuarto de máquinas, junto al generador de vapor.

###### **8.1.2.1.3.7.A Temperatura de bulbo seco**

Corresponde a la temperatura normal del ambiente y es medida por un termómetro de bulbo o de cualquier otro tipo. Estas lecturas deberán realizarse en el cuarto de máquinas.

###### **8.1.2.1.3.7.B Temperatura de bulbo húmedo**



Se toma la temperatura con un psicrómetro: un termómetro de vidrio o digital, con una mecha húmeda que se agita. Se reporta el valor cuando se estabilice la lectura.

#### 8.1.2.1.3.7.C Presión barométrica

Se determina con un barómetro anerode o conociendo o consultando las tablas incluidas en el anexo V, que muestra la altura de diferentes partes de la República mexicana. Con esta altura se puede calcular la presión barométrica de un lugar, conociendo su elevación sobre el nivel de la mar, válida entre 500 y 4000 m.

$$P = 10,33 - ((h-500)/1000) \text{ m.c.a. "metros de columna de agua"}$$

En donde:

P: Presión barométrica en metros de columna de agua

h: Elevación del lugar en metros

*Método alternativo:*

- Se podrá usar la presión barométrica del lugar determinada por las “Normales Climatológicas” del Servicio Meteorológico Nacional.

#### 8.1.2.1.4 Inicio de la prueba, equipo y personal requerido

La hora de inicio para la toma de lecturas deberá de ser, de preferencia, en la mañana, que es cuando se puede realizar el levantamiento de información con seguridad.

El equipo y personal requeridos para efectuar la prueba serán los necesarios para cubrir todas las mediciones.

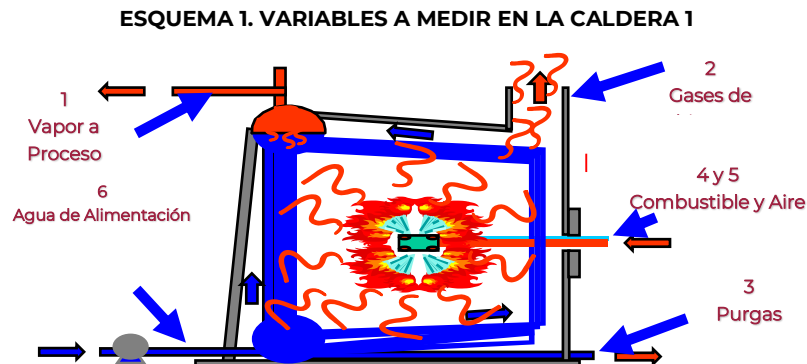
En los esquemas números 1 y 2 se indica la colocación de los instrumentos para la realización de la prueba de comportamiento.

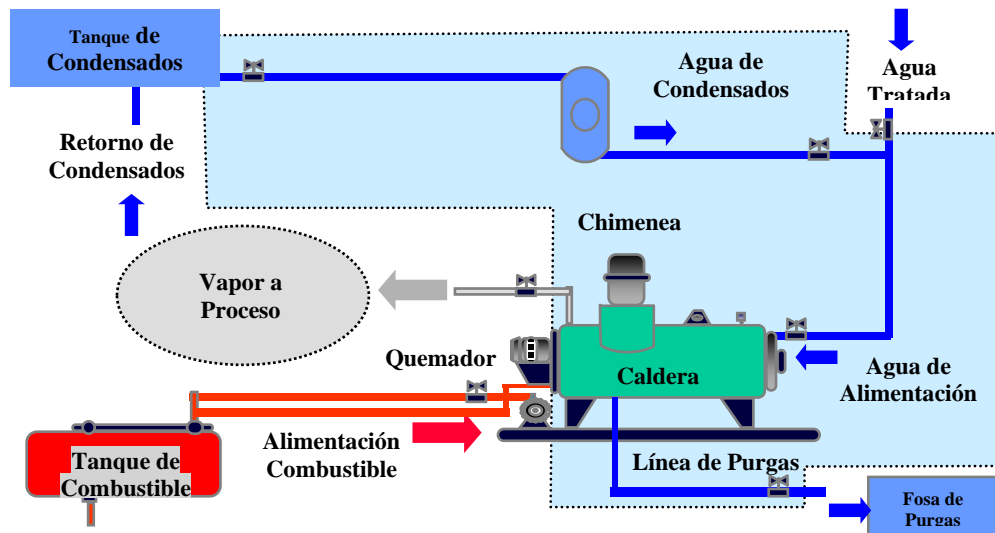
Los requerimientos adicionales que se necesitan son los siguientes:

- Equipo de seguridad, como: arnés con cable de vida, overoles, cascos, botas, guantes, lentes de seguridad, protector de oídos; así como seguir los requerimientos de seguridad implantados en el centro de trabajo.
- Se requiere personal específico para la toma de lecturas y tiempos.

#### 8.1.2.1.5 Llenado de formatos

Para la prueba de comportamiento, el formato en donde se registrarán las variables obtenidas es el formato 1 del anexo IV.



**ESQUEMA 2. VARIABLES A MEDIR EN LA CALDERA 2**


### 8.1.3 DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA (DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL GENERADOR DE VAPOR)

En este punto se obtendrá la eficiencia de la caldera, para lo cual se pueden emplear dos métodos de cálculo aprobados por el Código ASME (*Steam Generating. Power Test Codes 4-2013*), el método indirecto (método de pérdidas de energía) y método directo (método de entradas y salidas).

Obtención de resultados.

Con base a los datos recopilados durante la prueba de comportamiento, se elabora una tabla de comparación entre valores de diseño y prueba.

#### 8.1.3.1 Método Indirecto (Método de pérdidas de energía)

Este método consiste en la evaluación de las pérdidas de energía en el generador de vapor, así como la cuantificación de la energía suministrada a este, como son la energía del combustible y la energía de los créditos. Este es el método recomendado.

Para la aplicación del método de pérdidas de energía, se requiere determinar el total de pérdidas de energía:

- Por gases de combustión;
- Por la humedad en el combustible;
- Por formación de CO;
- Por la combustión del hidrógeno;
- Por la humedad del aire;
- Por pérdidas de incalculables.

El total de energía que entra a la caldera está constituido por:

- Créditos:
  - Calor en el aire de entrada;
  - Calor sensible en el combustible;
  - Calor en el vapor de atomización;
  - Calor que entra con la humedad del aire.
- Calor que entra con el combustible.

La eficiencia se cuantifica mediante la siguiente ecuación:  $\text{Eficiencia} = (1 - \text{pérdidas de energía}) * 100$ .



### 8.1.3.2 Método Directo (Método de entradas y salidas)

Este método consiste en la cuantificación de la energía suministrada a la caldera y la que es aprovechada para la generación de vapor. Para la aplicación del método de entradas y salidas de energía, se requiere determinar lo siguiente:

Energía aprovechada en el vapor:

- Representa la energía ganada por el vapor (energía del vapor, menos la energía del agua de alimentación).

Total de energía que entra a la caldera:

- Créditos:
  - Calor en el aire de entrada;
  - Calor sensible en el combustible;
  - Calor en el vapor de atomización;
  - Calor que entra con la humedad del aire.
- Calor que entra con el combustible.

La eficiencia se cuantifica mediante la siguiente expresión:  $\text{Eficiencia} = (\text{Q aprovechado} / \text{Q suministrado}) * 100$ .

La memoria de cálculo de los dos métodos en las calderas se presenta en el anexo VI.

### 8.1.4 DICTAMEN ENERGÉTICO

Con base en la evaluación energética realizada, se tendrá que elaborar el dictamen energético actual del generador de vapor a partir de los datos recopilados de diseño y la prueba de comportamiento, así como de la determinación de la eficiencia actual del generador de vapor.

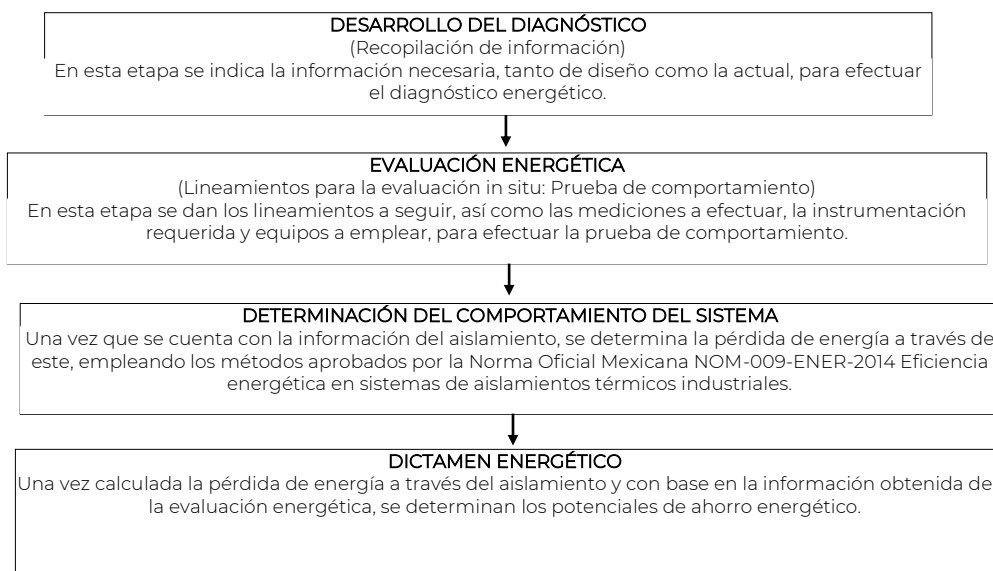
La determinación de la eficiencia energética del generador de vapor consiste en comparar los datos de diseño, con el valor obtenido en la sección de determinación de la eficiencia del generador de vapor.

A partir de este valor se pueden determinar los potenciales de ahorro de energía en la caldera de vapor.

## 8.2 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL AISLAMIENTO

A continuación, se presenta el diagrama del diagnóstico energético del aislamiento.

**DIAGRAMA 4. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL AISLAMIENTO**



## 8.2.1 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO EN EL AISLAMIENTO (RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN)

Los propósitos del diagnóstico energético en aislamientos térmicos industriales se reducen a:

- Evaluar el comportamiento actual del aislamiento.
- Establecer potenciales de ahorro de energía para el sistema de aislamiento en función de sus características de diseño.
- Recomendar modificaciones técnicas y económicamente viables, que permitan mejorar la eficiencia en los aislamientos térmicos industriales.

Para alcanzar tales objetivos, se deberán desarrollar las actividades secuenciales que a continuación se describen.

Es importante que la realización de cada una de estas etapas sea en forma sucesiva, es decir, no se podrá iniciar la siguiente etapa si no se ha terminado con la anterior.

### 8.2.1.1 Verificar la instrumentación requerida

Es necesario contar con la instrumentación adecuada para medir las variables necesarias del aislamiento, para poder realizar un diagnóstico energético confiable. Las mediciones a realizar son las siguientes:

Temperatura:	Es preciso contar con termómetros calibrados para medir la temperatura del tubo sin aislar, del fluido de proceso, de la superficie del aislamiento y del ambiente.
Espesor:	Mediante un vernier se determina el espesor del aislante (o, en su caso, con el espesor de diseño del aislamiento).
Velocidad del viento:	La medición de la velocidad del viento es mediante un anemómetro (o, en su caso, tener referencias climatológicas).

### 8.2.1.2 Obtención de información general del aislamiento

Mediante el empleo del formato 2, del anexo IV, será posible conocer los datos generales del sistema en consideración, que en general son los siguientes:

- Identificación de la tubería;
- Datos del aislamiento;
- Uso del aislamiento;
- Costos de vapor generado;
- Datos en campo.

### 8.2.1.3 Análisis y revisión de la información general del aislamiento

Como puede apreciarse, el conocimiento previo a nivel de gabinete de la información descrita en el párrafo anterior permitirá tener una visión inmediata y suficiente del sistema próximo a evaluar.

Dado que la siguiente etapa del desarrollo consiste en la recopilación de información detallada del sistema, dicha fase será mucho más redituable y efectiva por el hecho de conocer e inferir de antemano, la función y características operacionales del equipo en cuestión.

### 8.2.1.4 Recopilación de información detallada de diseño y operacional del aislamiento

Esta actividad de campo consiste en lo siguiente:





#### 8.2.1.4.1 Localización e integración de documentos de diseño

La documentación básica y fundamental para el desarrollo del estudio y análisis energético es la siguiente:

- Hojas de especificación del aislamiento, necesariamente tienen que ser las generadas o proporcionadas por el proveedor del equipo.
- Dibujo o plano del arreglo del aislamiento. También es un documento suministrado por el proveedor del equipo.

#### 8.2.1.4.2 Levantamiento e integración de datos operacionales

Información de bitácora operacional. Los datos relevantes a los que se refiere este punto son los siguientes:

- Fluido de proceso:
- Temperatura.

#### 8.2.1.5 Evaluación energética (Lineamientos para la evaluación *in situ*: determinación de las pérdidas de calor a través del aislamiento)

La evaluación de la pérdida de calor a través del aislamiento, a las condiciones de operación, se realiza de acuerdo con Norma Oficial Mexicana (NOM-009-ENER-2014 Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales). Para ello se requiere del levantamiento de información de las variables mencionadas en el punto anterior.

El procedimiento secuencial de esta etapa se describe en la sección de evaluación energética.

#### 8.2.1.6 Determinación de la pérdida de energía

Este punto consiste en el cálculo de la pérdida de calor a través del aislamiento y a partir de los datos obtenidos de campo.

El procedimiento secuencial de esta etapa se describe en la sección de determinación de la pérdida de calor a través del aislante, como lo establece la NOM-009-ENER-2014, para los casos de:

- Por el tipo de evaluación
  - Aislamiento actual;
  - Aislamiento nuevo.
- Por servicio de temperatura:
  - Alta temperatura.
- Por geometría:
  - Para superficies planas;
  - Para tuberías.

#### 8.2.1.7 Dictamen energético

A partir de los datos recopilados en las etapas anteriores (pérdida de calor) se darán las recomendaciones técnicas, económicamente viables, para reducir la pérdida de calor a través del aislamiento.

La descripción de esta etapa se encuentra en la sección de dictamen energético.

#### 8.2.1.8 Recomendaciones

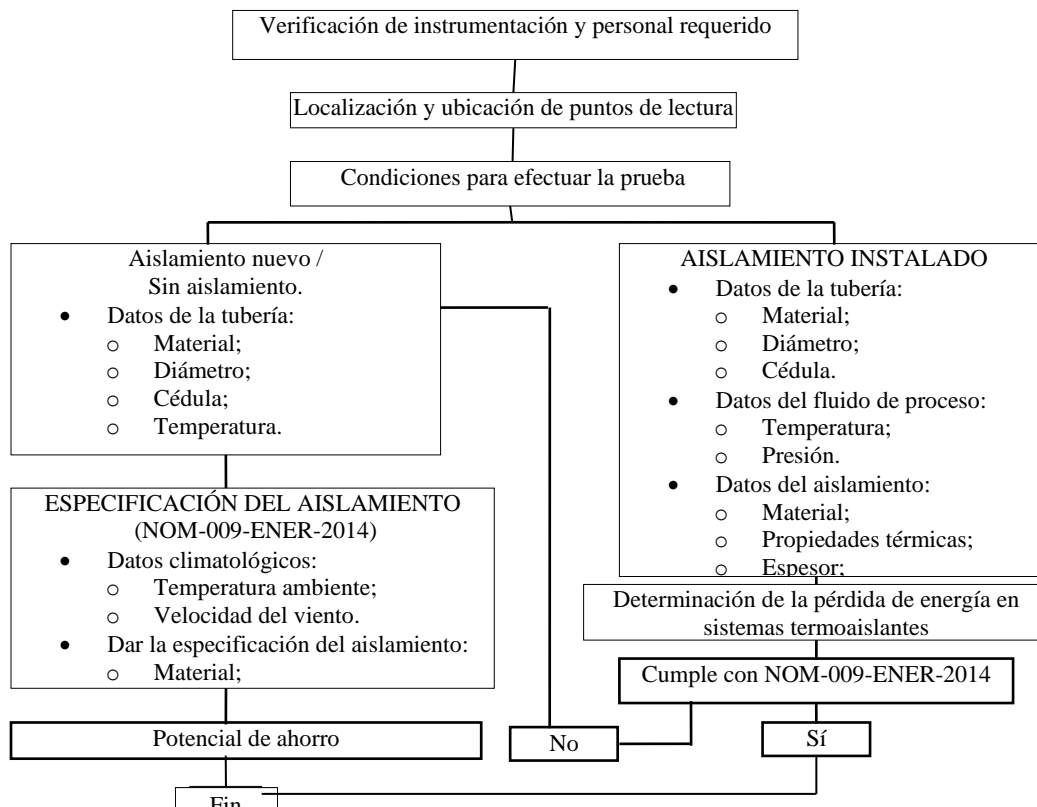
A partir del levantamiento de información y de la determinación de la pérdida de calor a través del aislamiento, se darán las recomendaciones. La descripción de esta etapa se encuentra a detalle en la sección de recomendaciones.



## 8.2.2 EVALUACIÓN ENERGÉTICA (LINEAMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN IN SITU: PRUEBA DE COMPORTAMIENTO)

A continuación, se presenta en el diagrama, la secuencia de evaluación del sistema termoaislante:

**DIAGRAMA 5. SECUENCIA DE EVALUACIÓN DEL AISLAMIENTO**



### 8.2.2.1 De acuerdo con la NOM-009-ENER-2014

Para realizar la prueba de comportamiento, como lo marca la NOM-009-ENER-2014, a continuación, se presenta de manera detallada la descripción y procedimiento para efectuar la prueba de comportamiento del aislamiento térmico:

- Aplican los criterios dentro del marco de las leyes federales, regulaciones estatales, etc.
- La aplicación de termoaislantes para una temperatura máxima de 650°C y hasta -200°C, las temperaturas excedentes a este rango quedan fuera del alcance de la norma.
- En la norma no se contempla los sistemas térmicos industriales de tuberías o equipos que por razones de proceso deban radiar o ganar calor con el medio.
- Para fines de esta norma considera como superficie plana, a la superficie de los tubos o paredes con diámetro exterior mayor a 750 mm (NPS30) y paredes planas o equipos, a las tuberías con diámetro nominal mayor a 750 mm (30 pulgadas).
- La máxima densidad de flujo térmico se expresa en W/m para tuberías y en W/m<sup>2</sup> para superficies planas (S.P.).

Cabe mencionar que en la NOM-009-ENER-2014, se contemplan los casos antes mencionados, pero para la presente evaluación energética se realizará el estudio para el criterio de conservación de energía. Aunque el mismo procedimiento se aplicaría para los demás casos, tomando en cuenta el criterio correspondiente.



### 8.2.2.1.1 Preparación de la prueba

El muestreo de un sistema de aislamiento térmico de nueva instalación deberá realizarse durante la etapa de montaje. Para muestrear el aislamiento instalado se recomienda:

- El sistema de aislamiento a evaluar deberá estar limpio y libre de materia extraña, para tener limpia la superficie de transferencia de calor.

#### Condiciones de prueba:

Estas son las limitaciones para la conducción de la prueba y que son obligatorias para dar validez a la misma: :

- El flujo de proceso deberá mantenerse en condiciones normales de operación;
- La temperatura del fluido de proceso igualmente deberá estar a las condiciones normales de proceso, sin presentar variaciones considerables.

### 8.2.2.1.2 Toma de lecturas

Primero, se revisan las condiciones físicas del aislamiento y luego se localizan los puntos de lectura. Estas lecturas se tomarán con una frecuencia a intervalos regulares de tiempo, de tal manera que presente poca variación en las mediciones y registrar las mediciones en el formato núm. 2 del anexo IV, para tener una ubicación de los puntos de lectura se pueden observar los esquemas 3 y 4 de este capítulo.

Procedimiento para la medición de temperaturas:

Las mediciones de la temperatura del fluido de proceso se harán con los instrumentos de medición descritos en el anexo III, considerando que el punto de medición sea aquel en donde se tenga acceso al *rack* de tuberías y la temperatura sea representativa.

- A. Temperatura del tubo sin aislar o de una superficie sin aislamiento.  
La medición de la temperatura de tubo o de la superficie se efectuará de la siguiente manera:
  - Utilice un termopar de superficie, colocándolo en diferentes puntos de la tubería o de la superficie.
- B. Temperatura del fluido del proceso o del interior de la superficie.
  - Para la medición de la temperatura, aproveche la instrumentación del centro de trabajo.
- C. Temperatura de superficie del aislamiento.
  - Use un termopar de superficie, colocándolo en diferentes puntos del aislamiento.
- D. Temperatura ambiente.
  - Utilice el termómetro de superficie o un termómetro de bulbo.

#### Procedimiento para la medición del viento:

La medición de la velocidad del viento debe de efectuarse utilizando los instrumentos de medición descritos en el anexo III, considerando:

- Utilizar el anemómetro, localizándolo a la altura en donde se esté evaluando el aislamiento.
- Se podrán tomar en cuenta velocidades recomendadas para su evaluación.

### 8.2.2.1.3 Inicio de la prueba, equipo y personal requerido

La hora de inicio para la toma de lecturas será, de preferencia, en la mañana, debido a que puede realizarse el levantamiento de información con seguridad.

El equipo y personal requerido para efectuar la prueba se muestra a continuación:

• 2 piezas	• Termómetros de pared.
• 1 pieza	• Vernier.
• 1 pieza	• Anemómetro.



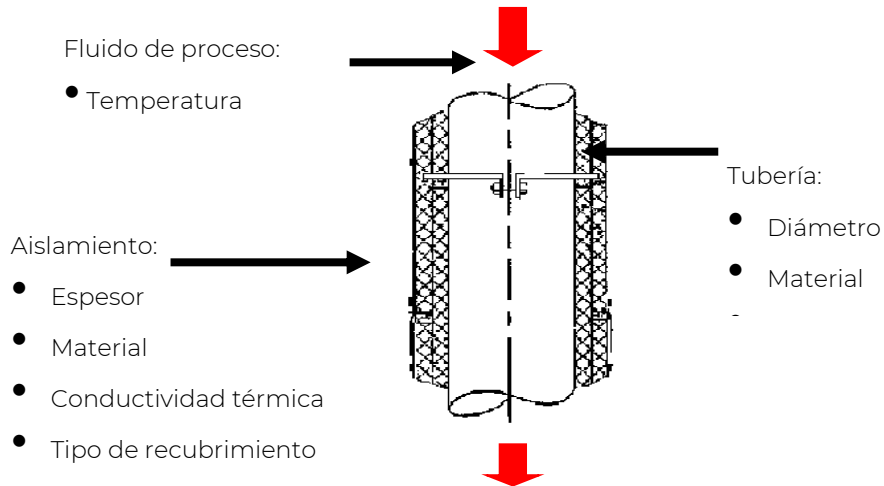
Los requerimientos adicionales son los siguientes:

- Equipo de seguridad, tal como: arnés con cable de vida, overoles, cascos, botas, guantes, lentes de seguridad, protector de oídos; así como seguir los requerimientos de seguridad del centro de trabajo.
- Se necesitan, al menos, dos personas para la toma de lecturas y tiempos.

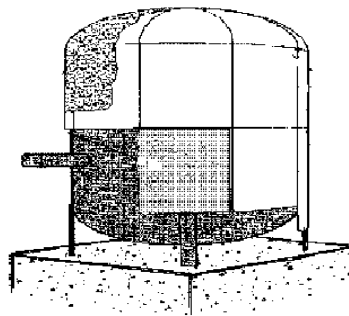
#### 8.2.2.1.4 Llenado de formatos

Para la prueba de comportamiento, en el formato 2 del anexo IV se registra la información de las variables obtenidas del aislamiento.

**ESQUEMA 3. VARIABLES EN EL AISLAMIENTO**



**ESQUEMA 4. DE AISLAMIENTO DE TANQUES**



### 8.2.3 DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AISLAMIENTO (DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE ENERGÍA A TRAVÉS DEL AISLAMIENTO)

En este punto se obtendrán los resultados de la pérdida de energía en el sistema termoaislante, de acuerdo con la NOM-009-ENER-2014. Los sistemas que se pueden evaluar son:

- Aislamiento instalado o nuevo.
  - Servicio de baja o alta temperatura.
  - Superficies planas o tuberías.

**Obtención de resultados:**

Con base en los datos recopilados durante el levantamiento de información, así como los de la prueba de comportamiento, se elabora una tabla de comparación entre los valores de diseño y prueba.



### 8.2.3.1 Cálculo de la pérdida de energía

El método empleado en la norma cuantifica la pérdida de energía a través del aislamiento, y este valor se compara con la máxima transferencia de calor permisible para sistemas a alta temperatura (tabla de la norma), o la ganancia de energía del sistema termoaislante para servicios a baja temperatura (tablas de la norma).

Una vez establecida la máxima transferencia de calor permisible por pérdida al ambiente, de acuerdo con la superficie por aislar o el servicio por temperatura, se podrá comparar con el criterio de máxima transferencia de calor, establecido en la norma, en caso de no cumplirlo, se especificará un nuevo aislamiento, siguiendo igualmente el procedimiento establecido en la norma.

El procedimiento para determinar la pérdida de energía a través del aislamiento es la siguiente:

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural y forzada, desde la superficie aislada, hacia el ambiente.

- $h_c$  = función de (coeficiente de forma, área, temperatura de la superficie del aislamiento, temperatura ambiente y velocidad del viento).

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $h_r$ ).

- $h_r$  = función de (área, temperatura de la superficie del aislamiento, temperatura ambiente y emisividad).

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor ( $h_s$ ).

- $h_s = h_c + h_r$

Cálculo de la pérdida de energía ( $q$ ).

- $q$  = función de (temperatura de operación, temperatura ambiente, espesor del aislamiento, conductividad térmica del aislamiento y coeficiente global de transferencia de calor).

Verificación de la temperatura de superficie del aislamiento ( $t_{sup}$ ), (para el caso de aislamiento nuevo).

- $t_{sup}$  = función de (temperatura de operación, temperatura ambiente, pérdida o ganancia de energía a través del aislamiento, conductividad térmica del aislamiento y coeficiente global de transferencia de calor).

La memoria de cálculo del aislamiento se presenta en el anexo VII.

### 8.2.4 DICTAMEN ENERGÉTICO DEL AISLAMIENTO

En esta sección se dará el dictamen energético del aislamiento a partir de los datos recopilados de diseño y de la evaluación energética, prueba de comportamiento de la pérdida de energía del aislamiento (formato 2, anexo IV).

El dictamen energético dependerá de la determinación de la pérdida de calor a través del aislamiento y de la comparación con los valores recomendados de la NOM-009-ENRG-2014, tablas (para servicios a alta temperatura) y tabla (servicio a baja temperatura).

De la comparación actual de la pérdida de calor, contra lo determinado en la norma, se determinará:

- Si el aislamiento cumple con la pérdida de energía con respecto a los valores establecidos en la norma.
- Si se tiene que cambiar o rehabilitar el aislante por uno nuevo.

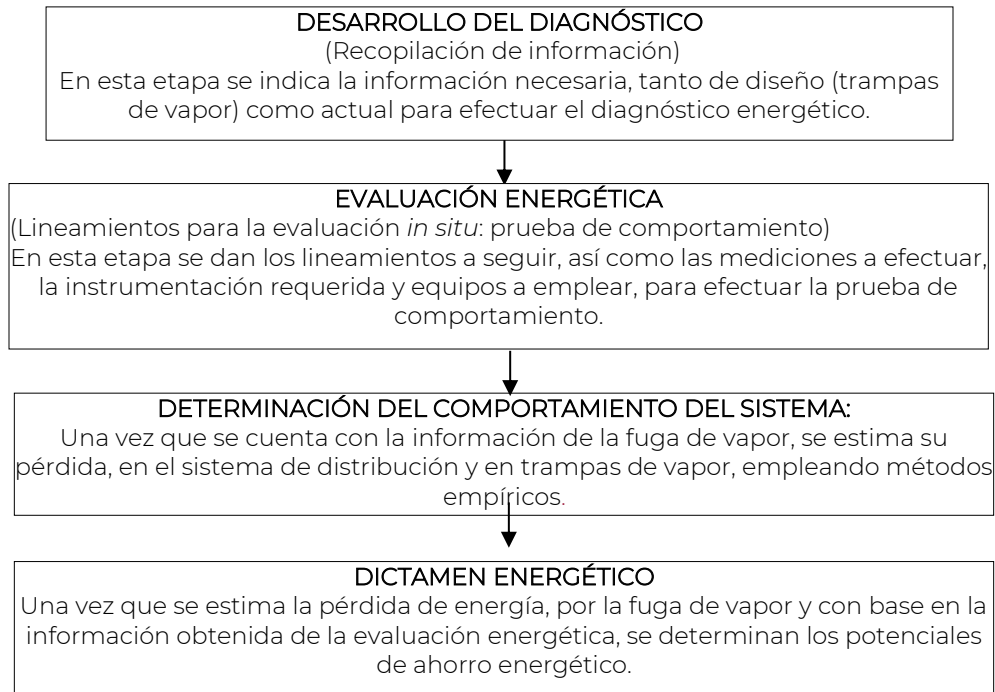
A partir de estos valores se puede determinar el potencial de ahorro en el aislamiento.



## 8.3 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE FUGAS DE VAPOR

A continuación, se presenta el diagrama del diagnóstico energético de fugas de vapor.

**DIAGRAMA 6. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE FUGAS DE VAPOR**



### 8.3.1 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO (RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN)

Los propósitos del diagnóstico energético en fugas de vapor en el sistema de distribución y en trampas de vapor, se reducen a:

- Identificar las fugas de vapor en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor.
- Establecer potenciales de ahorro de energía, por la eliminación de las fugas de vapor.
- Recomendar modificaciones técnicas y económicamente viables que permitan reducir o eliminar las fugas de vapor.

Es importante que la realización de cada una de estas etapas sea en forma sucesiva, es decir, no se podrá iniciar la siguiente etapa si no se ha terminado con la anterior.

#### 8.3.1.1 Verificar la instrumentación requerida

Es necesario contar con la instrumentación para medir las variables necesarias de las fugas de vapor en los sistemas de distribución de vapor y en trampas de vapor para poder realizar un diagnóstico energético confiable. Las mediciones a realizar son las siguientes:



Presión:	Mediante un manómetro localizado en la tubería de fluido de vapor.
Temperatura:	Es necesario contar con termómetros calibrados para tomar la temperatura de la superficie del tubo o trampa de vapor, del fluido de proceso y del ambiente.
Diámetro de fuga:	Se estima el diámetro de la fuga.
Medición ultrasónica:	Mediante equipo ultrasónico, se determina si la trampa de vapor está operando adecuadamente.

### 8.3.1.2 Obtención de información general de la fuga de vapor

Mediante el empleo del formato 3 del anexo IV, será posible conocer los datos generales de las fugas de vapor en las líneas de distribución y trampas de vapor, que en general son los siguientes:

- Identificación;
- Localización;
- Temperatura del vapor;
- Diámetro de la tubería;
- Tipo de trampa de vapor;
- Marca de la trampa;
- Modelo de la trampa;
- Diámetro del orificio.

### 8.3.1.3 Análisis y revisión de la información general de las fugas de vapor

Como puede apreciarse, el conocimiento previo al nivel de gabinete de la información descrita en el párrafo anterior, permitirá tener una visión inmediata y suficiente del sistema próximo a evaluar.

Dado que la siguiente etapa del desarrollo consiste en la recopilación de información detallada del sistema, dicha fase será mucho más redituable y efectiva, por el hecho de conocer e inferir de antemano, la función y características operacionales del equipo en cuestión.

### 8.3.1.4 Recopilación de información detallada de diseño y operacional en las fugas de vapor

Esta actividad de campo consiste en lo siguiente:

#### 8.3.1.4.1 Localización e integración de documentos de diseño

La documentación básica y fundamental para el desarrollo del estudio y análisis energético es la siguiente:

- Diámetro de tuberías;
- Hojas de especificación de la trampa de vapor; necesariamente tiene que ser la información generada o proporcionada por el proveedor de equipo;
- Dibujo o plano del arreglo de la trampa de vapor. También es un documento suministrado por el proveedor del equipo.

#### 8.3.1.4.2 Levantamiento e integración de datos operacionales

Información de bitácora operacional. Los datos relevantes a los que se refiere en este punto son los siguientes:

- Vapor:
  - Presión.
  - Temperatura.



### 8.3.1.5 Evaluación energética (determinación de fugas de vapor en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor)

Evaluación de las pérdidas de vapor en el sistema de distribución de vapor (estimación del diámetro de fuga) y en trampas de vapor mediante el uso de un equipo ultrasónico, a las condiciones de operación, mediante el cual se estimarán las pérdidas de vapor en las trampas de vapor.

El procedimiento secuencial de esta etapa se describe en la sección de evaluación energética.

### 8.3.1.6 Determinación de las fugas de vapor en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor

Este punto consiste en estimar el vapor que se pierde en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor a partir de los datos obtenidos de campo.

### 8.3.1.7 Dictamen energético

A partir de los datos recopilados en las etapas anteriores (identificación y estimación de la fuga de vapor), se darán las recomendaciones técnicas y económicamente viables, para reducir las pérdidas de vapor en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor.

La descripción de esta etapa se encuentra en la sección de dictamen energético.

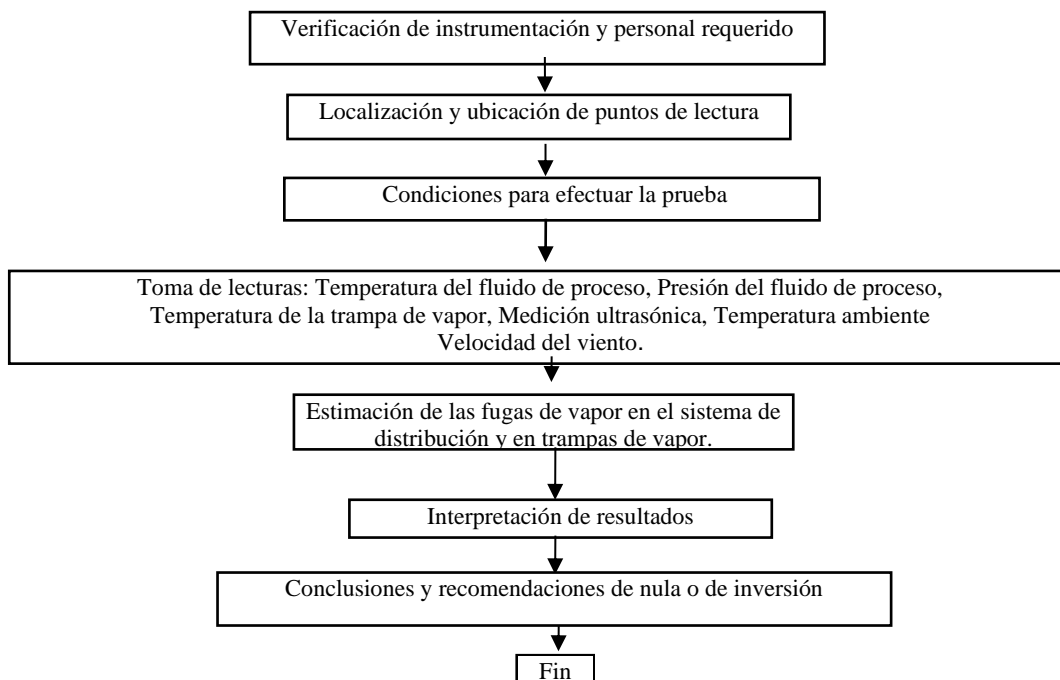
### 8.3.1.8 Recomendaciones

A partir del levantamiento de información y de la estimación de las fugas de vapor en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor, se darán las recomendaciones. La descripción de esta etapa se encuentra a detalle en la sección de recomendaciones operacionales.

## 8.3.2 EVALUACIÓN ENERGÉTICA: EN FUGAS DE VAPOR DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR Y EN TRAMPAS DE VAPOR (PRUEBA DE COMPORTAMIENTO: LINEAMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN *IN SITU*)

A continuación, se presenta en el diagrama la secuencia de evaluación de las fugas de vapor.

**DIAGRAMA 7. SECUENCIA DE EVALUACIÓN DE FUGAS DE VAPOR.**





### 8.3.2.1 Estimación de fugas

Para la estimación de fugas de vapor en el sistema de distribución de vapor, se estiman los diámetros de fuga y en las trampas de vapor se emplea un equipo ultrasónico para determinar la fuga de vapor.

Preparación de la prueba.

Para el muestreo de las fugas de vapor, deberá de observarse lo siguiente:

- Para el caso del sistema de distribución de vapor, se estima el diámetro de fuga.
- La superficie de la trampa de vapor deberá estar limpia para tomar las mediciones con el equipo ultrasónico y la medición de la temperatura.

#### Condiciones de prueba:

Las condiciones para la conducción de la prueba y que son obligatorias para dar validez a la misma, son las que a continuación se detallan:

- El flujo de proceso deberá mantenerse en condiciones normales de operación.
- La temperatura del fluido de proceso, igualmente, estará a las condiciones normales, sin presentar variaciones considerables.

### 8.3.2.2 Toma de lecturas

En cuanto a la duración de la prueba, una vez localizados los puntos de lectura y luego de la revisión y verificación de las condiciones de operación en la distribución del vapor, las lecturas se tomarán a intervalos regulares, de tal manera que presenten poca variación y se registrarán en el formato 3 del anexo IV; para tener una ubicación de los puntos de lectura, se pueden observar en el esquema 5, que se presenta en este capítulo.

#### 8.3.2.2.1 En el sistema de distribución

##### Estimación de la fuga de vapor en el sistema de distribución:

Se deberá estimar el diámetro de fuga de vapor en el sistema de distribución.

##### Condiciones térmicas del vapor:

Se tomarán la temperatura y presión del vapor con la instrumentación de la planta.

#### 8.3.2.2.2 En trampas de vapor

##### Procedimiento para la medición ultrasónica de la trampa de vapor:

La operación del equipo ultrasónico debe de seguirse de acuerdo con lo indicado en el manual de operación del equipo.

##### Procedimiento para la medición de temperaturas:

Las mediciones de la temperatura del fluido de proceso deben de efectuarse utilizando los instrumentos de medición descritos en el anexo III, considerando que el punto de medición sea aquel donde la temperatura sea representativa.

a. Temperatura de la trampa de vapor.

La medición de la temperatura de la trampa de vapor deberá efectuarse de la siguiente manera:



- Se realizará mediante un termopar de superficie, en la parte superior de la trampa de vapor.
- b. Temperatura del fluido de proceso.
  - Se realizará mediante la instrumentación con la que cuente el centro de trabajo.
- c. Temperatura ambiente
  - Se realizará mediante el termómetro de vidrio o con un termómetro digital.

#### Procedimiento para la medición del viento:

La medición de la velocidad del viento debe de efectuarse utilizando los instrumentos de medición descritos en el anexo III, considerando:

- Utilizar un anemómetro localizado al nivel del punto donde se esté realizando el aislamiento.
- Se podrán tomar en cuenta velocidades recomendadas para su evaluación.

### **8.3.2.3 Inicio de la prueba, equipo y personal requerido**

La hora de inicio para la toma de lecturas será, de preferencia, en la mañana, hora en la cual se puede realizar el levantamiento de información con seguridad.

El equipo y personal requerido para efectuar la prueba se mencionan a continuación:

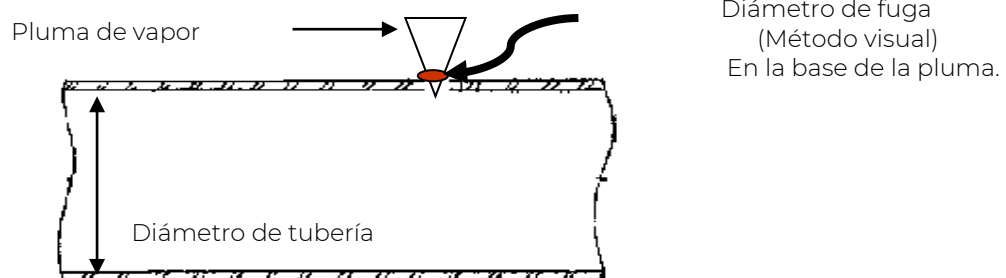
- 2 piezas      Termómetros de pared.
- 1 pieza      Equipo ultrasónico.
- 1 pieza      Anemómetro (o utilizar velocidad del viento, recomendadas).

En los siguientes esquemas se indican la colocación de los instrumentos para la realización de la prueba de comportamiento.

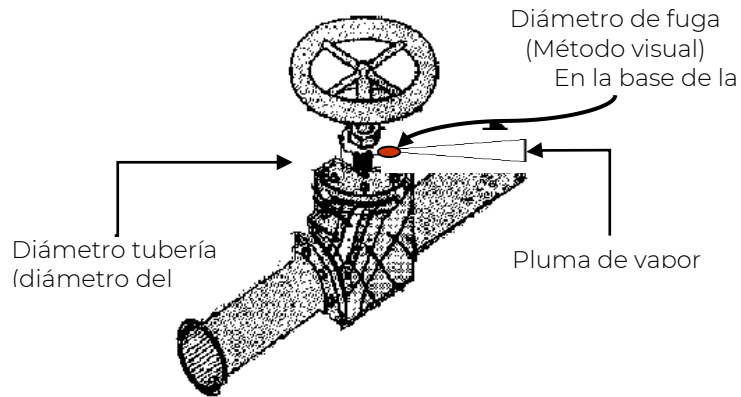
Los requerimientos adicionales que se necesitan son los siguientes:

- Equipo de seguridad tal como: overoles, cascos, botas, guantes, lentes de seguridad, protector de oídos; así como seguir los requerimientos de seguridad implantados en el centro de trabajo.
- Se requiere, al menos, dos personas para la toma de lecturas y tiempos.

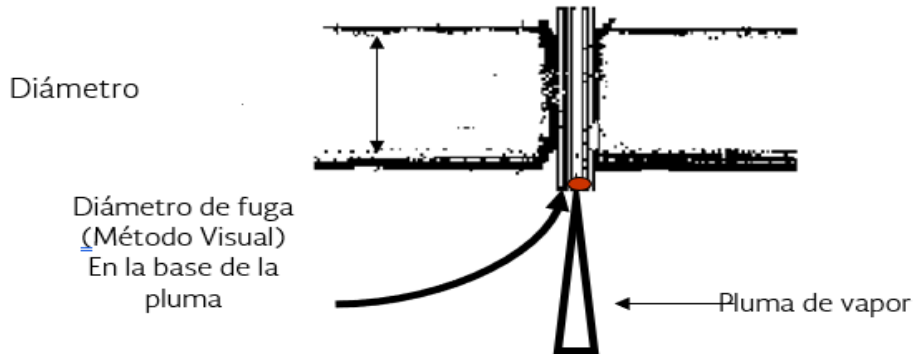
#### **ESQUEMA 5. VARIABLES EN LA DISTRIBUCIÓN DE VAPOR. FUGA EN TUBERÍA: FUGA TIPO PORO**



**ESQUEMA 6. VARIABLES EN LA DISTRIBUCIÓN DE VAPOR  
FUGA DE VAPOR EN VÁLVULAS**



**ESQUEMA 7. VARIABLES EN LA DISTRIBUCIÓN DE VAPOR  
FUGA DE VAPOR EN BRIDAS**



**ESQUEMA 8. VARIABLES EN TRAMPAS DE VAPOR**



Condiciones climatológicas:  
• Temperatura ambiente  
• Velocidad del viento



### 8.3.2.4 Llenado de formatos para la estimación de la fuga de vapor en el sistema de distribución y en la trampa de vapor

La información se registrará en el formato 3 del anexo IV.

### 8.3.3 DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA (ESTIMACIÓN DE FUGAS DE VAPOR: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR Y TRAMPAS DE VAPOR)

En este punto se obtendrán los resultados de las fugas de vapor en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor, mediante el uso de un equipo ultrasónico y de ecuaciones empíricas.

Obtención de resultados:

Con base en los datos de la recopilación de información, así como a en los de la prueba de comportamiento, se estima la cantidad de vapor que se fuga, en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor. El flujo de vapor que se fuga en este sistema se puede calcular de la forma siguiente:

$$W_{vf} = f(\rho, k, D_{tub}, D_{orif}, p_{vap}, p_{atm.}) = \text{kg/s}$$

donde:

$\rho =$	Densidad del vapor	kg/cm <sup>3</sup>
$k =$	Coeficiente de orificio	adimensional
$D_{tub} =$	Diámetro de la línea de vapor	Mm
$D_{orif} =$	Diámetro del orificio de la fuga	Mm
$P_{vap} =$	Presión manométrica del vapor en la línea	kg/cm <sup>2</sup>
$P_{atm} =$	Presión atmosférica	kg/cm <sup>2</sup>
$W_{vf} =$	Vapor que se fuga	kg/s

La memoria de cálculo de las fugas de vapor se presenta en el anexo VIII.

### 8.3.4 DICTAMEN ENERGÉTICO

(De fugas de vapor en el sistema de distribución y en trampas de vapor).

En esta sección se dará el dictamen energético actual de la fuga de vapor en el sistema de distribución y en trampas de vapor, a partir de los datos recopilados, en el formato 3 del anexo IV, que corresponde a información de diseño (trampa de vapor), de la evaluación energética y de la estimación de fugas de vapor en el sistema de distribución y en trampas de vapor.

Del diagnóstico energético de las fugas de vapor en el sistema de distribución y en trampas de vapor se determinará:

- Estimación de las pérdidas de energía por fugas de vapor en el sistema de distribución y en trampas de vapor.
- Programa de mantenimiento y reparación de fugas en el sistema de distribución y en trampas de vapor.

A partir de estos valores se puede determinar el potencial de ahorro por reparar y eliminar las fugas de vapor en el sistema de distribución y en trampas de vapor, y saber cómo están operando.



## 9 RECOMENDACIONES OPERACIONALES

Las actividades para implementar las siguientes recomendaciones, a ser realizadas por el usuario, requieren previamente de la realización del diagnóstico energético.

### 9.1 EN CALDERAS

#### Reducción del calor perdido en purgas:

**Indicación del problema:**

Se presentan purgas continuas en la caldera.

**Efecto en la operación:**

Reducción en la eficiencia de la caldera y aumento en el consumo de combustible.

**Problema:**

El agua de alimentación a la caldera presenta un alto contenido de sólidos disueltos.

**Solución:**

1. Efectuar mediciones de sólidos totales disueltos en el agua de alimentación a la caldera.
2. Mantener niveles de sólidos totales disueltos hasta de 2,500 ppm en el tipo de calderas acuotubulares.

#### Recuperación del calor de la purga continúa:

**Indicación del problema:**

El vapor producido en los tanques *flash* de la purga continua de la caldera se tira a la atmósfera.

**Efecto en la operación:**

Pérdidas de energía por el vapor desperdiciado.

**Problema:**

Falta de recuperación del vapor producido en el tanque *flash*.

**Solución:**

1. Interconectar la línea de salida de vapor del tanque *flash* al cabezal de baja presión.

#### Optimización de la combustión en el generador de vapor:

**Indicación del problema:**

Composición de los gases de combustión y excesos de aire altos.

**Efecto en la operación:**

Reducción de la eficiencia de la caldera y aumento en el consumo de combustible.

**Problema:**

Mala combustión en los quemadores.

**Solución:**

1. Optimizar la combustión en el generador de vapor mediante el ajuste del exceso de aire, realizando mediciones de los gases de combustión, por medio del personal de mantenimiento o por los operadores de la caldera, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

#### Limpieza de la caldera:

**Indicación del problema:**

Presencia de hollín en la caldera (combustible líquido), aumento de la temperatura de los gases de combustión.



**Efecto en la operación:**

Disminución de la transferencia de calor y, por consecuencia, disminución de la eficiencia de la caldera.

**Problema:**

Mala combustión en quemadores.

**Solución:**

1. Efectuar limpieza y ajuste en los quemadores dos veces al año.

## 9.2 EN AISLAMIENTO

Las actividades para implementar las siguientes recomendaciones a ser realizadas por el usuario requieren de la comparación de la pérdida de energía actual a través del aislamiento, contra la máxima transferencia de calor permitida, establecida en la NOM-009-ENER-2014. A continuación, se presentan las siguientes recomendaciones posibles:

- Deberán ser aisladas las superficies sin aislamiento.
- Completar aislamiento faltante en el sistema de distribución de vapor.

## 9.3 EN TRAMPAS DE VAPOR Y EN FUGAS DE VAPOR DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Las actividades para implementar las siguientes recomendaciones a ser realizadas por el usuario requieren de la realización previa del diagnóstico energético. A continuación, se presentan las siguientes recomendaciones posibles, cuando existen fugas de vapor:

- Establecer programa de mantenimiento preventivo y correctivo para reparar y/o sustituir las trampas defectuosas, tener inventario actualizado de las trampas de vapor. En el programa preventivo se debe establecer, periódicamente, el diagnóstico de la trampa de vapor, con el equipo ultrasónico, toma de temperaturas, purga de filtros y sedimentos, y observación de la trampa por medio de la válvula de prueba.

Establecer un programa de mantenimiento y reparación de fugas de vapor en el sistema de distribución, reparando los tramos de tubería en mal estado, cambiando empaques en válvulas y bridas.

## 10 EVALUACIÓN DEL AHORRO DE ENERGÍA Y BENEFICIOS ENERGÉTICOS

Las medidas de ahorro de energía, presentan potenciales ahorros de energía, derivados de la mejora en la operación y en la eficiencia de la caldera; así como por completar, reparar y sustituir el aislamiento; y reparación y eliminación de fugas en el sistema de distribución y en trampas de vapor. También existen beneficios económicos obtenidos por un menor consumo de combustible y de agua de reposición al sistema.

El ajustar diferentes parámetros de operación de la caldera, para lograr mejores condiciones de operación, representa el siguiente potencial de ahorro:

**Ahorro de combustible = energía usada anteriormente menos energía usada aplicando recomendaciones.**

El ahorro en el aislamiento está representado por la aplicación de medidas para reducir la pérdida de energía, a través del aislamiento, el cual representa el siguiente potencial:

**Ahorro de energía = energía equivalente por la reducción de la pérdida de energía a través del aislamiento**

La estimación del potencial de ahorro, que se presenta cuando existen fugas de vapor en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor, se realiza de la siguiente manera:

**Ahorro de energía = combustible equivalente por la reducción de la fuga de vapor en el sistema de distribución de vapor y en trampas de vapor**



## ANEXO I GLOSARIO DE TÉRMINOS

### I.1 EN CALDERAS

**Banco generador:** El banco generador es un haz de tubos vertical, soportado en su parte superior por el domo de agua. Los tubos van reducidos de diámetro en sus extremos y estos se unen a los domos. Este diseño aumenta la capacidad de la caldera, ya que se puede colocar mayor número de tubos en el espacio disponible en los domos. El banco generador se localiza después del sobrecalentador. Tanto el hogar como el banco generador tienen la característica de estar integrados por tubos, en los que circula una mezcla de líquido y vapor, por lo que en estas secciones de la caldera se genera únicamente vapor saturado, el que se alimenta al domo superior.

**Chimenea:** La chimenea se emplea para el tiro natural requerido para descargar los gases de combustión de la caldera a la atmósfera y, también, para cumplir con la reglamentación ambiental.

**Desaerador:** Es un equipo en el cual se mezclan diferentes corrientes de agua y cumple con diferentes funciones, como la eliminación de los gases disueltos en el agua (principalmente, el O<sub>2</sub>), precalentamiento del agua de alimentación a la caldera (condensados y agua de reposición), condensación del vapor que ya no se emplea en planta.

**Desobrecalentador o atemperador:** Son empleados en calderas, cuyo consumo de vapor saturado es bajo con relación a la demanda de vapor sobrecalentado. Generalmente, no están integrados al equipo de generación de vapor. El desobrecalentador se localiza a la descarga del cabezal de salida del sobrecalentador o en algún paso intermedio.

**Domo o Casco:** En sí, es el cuerpo de la caldera, puede ser ovalado o cilíndrico, dependiendo del fabricante. En sus extremos están adaptados los cabezales que sirven como sostén de los tubos o *fluxes*. En las calderas pirotubulares verticales, los tubos están dispuestos perpendicularmente, encima del hogar.

**Eficiencia de combustión:** Es la energía total contenida en la unidad de masa de combustible, menos la que transporta fuera de la caldera; expresada en % es lo que en práctica se designa como eficiencia de combustión y es una parte de la eficiencia total.

**Eficiencia máxima de combustión:** Esta eficiencia se puede alcanzar al suministrar el exceso de aire preciso y lograr que la suma de pérdidas por combustible no quemado y gases de combustión esté en su valor mínimo.

**Hogar o caja de fuego:** Es la zona donde se lleva a cabo la combustión; puede ser de paredes de agua o solamente con cubierta de acero y refractario. Los gases que abandonan el hogar continúan su trayectoria a través de los pasos o retornos hasta alcanzar la chimenea.

**Inquemados:** Parte del combustible que no sufrió el proceso de combustión.

**Instrumentación:** La instrumentación en una caldera está integrada por diferentes equipos, para mantener el control de esta, como son: termómetros, manómetros, medidores de flujo de agua, vapor, combustible, entre otros.

**Mamparas:** Son deflectores que sirven para incrementar la circulación de los gases.

**Poder calorífico inferior húmedo (PCIh):** Es la cantidad de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible, quedando finalmente agua en forma de vapor (kcal / unidad de combustible).

**Poder calorífico inferior seco (PCIs):** Es la cantidad de calor húmedo que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible seco, quedando finalmente agua en forma de vapor (kcal / unidad de combustible).

**Poder calorífico superior húmedo (PCSh):** Es la cantidad de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible, quedando finalmente agua en forma líquida a 0°C y a 1 atm (kcal / unidad de combustible).

**Poder calorífico superior seco (PCSS):** Es la cantidad de calor que se desprende en la combustión completa de la unidad de combustible seco, quedando finalmente agua en forma líquida a 0°C y a 1 atm (kcal / unidad de combustible seco).



**Precalentador de agua (Economizador):** Es instalado con el fin de recuperar parte del calor contenido en los gases de escape a la chimenea para incrementar la eficiencia de la caldera, reduciendo las pérdidas de energía. El economizador es un conjunto de tubos conectados en serie y paralelo; el agua puede ir por fuera o por dentro de los tubos. Se suele colocarlos en la trayectoria de los gases antes de que estos entren a la chimenea.

**Precalentador de aire:** Es un equipo que aumenta la temperatura del aire que entra a la caldera, utilizando la energía de los gases calientes producto de la combustión. Se utilizan diversos tipos de precalentadores de aire: tubulares, de placa y regenerativos, que son los más usuales.

**Quemadores:** Los quemadores son los dispositivos en donde se lleva a cabo el proceso de combustión. Existen quemadores específicos para el tipo de combustible a utilizar, así como los que pueden emplearse para quemar combustible líquido o gaseoso.

**Recalentador:** También es un intercambiador de calor que tiene por objeto recalentar el vapor que ya ha sido expandido parcialmente en una turbina. La finalidad del recalentamiento es disminuir la erosión en los álabes de las turbinas, ocasionada por la humedad del vapor. Estos equipos constan de un haz de tubos en serie y paralelo, por cuyo interior pasa el vapor. El recalentador de vapor puede ser de radiación y de convección, dependiendo de su colocación en la caldera.

**Refractario:** Material que retiene la energía de los gases de combustión, en el hogar de la caldera.

**Registros:** Pueden ser manuales o de dimensionamientos mayores; son empleados para dar servicio a las zonas en contacto con el agua.

**Sistema de tiro:** Su función es proporcionar aire suficiente para una combustión completa, los generadores de vapor operan con tiro natural, tiro inducido, tiro forzado o combinaciones de los tres. El equipo de tiro forzado inyecta aire primario con el combustible y aire secundario a la caldera. El sistema de tiro inducido propicia una presión reducida en la caldera al eliminar los gases calientes de combustión mediante un ventilador, induciendo de esta manera el aire primario y secundario.

**Sobrecalentador:** El sobrecalentador es un dispositivo que tiene por objeto sobrecalentar el vapor en una caldera antes de ser utilizado. Está constituido por bancos de tubos lisos o aletados, dependiendo de su posición en la caldera. Generalmente, se coloca a la salida del hogar - sobrecalentadores de radiación- o bien, entre el banco de convección; el sobrecalentamiento del vapor se lleva a cabo isobáricamente, siendo la presión igual a la de la caldera.

**Sopladores de hollín:** Equipo para remover la escoriación y el depósito de partículas de carbón en el interior de una caldera para mantener una buena transmisión de calor. Para su remoción se puede utilizar vapor o agua caliente, inyectándose adecuadamente con equipo de soplado. Los sopladores de hollín están constituidos por tubos que tienen una serie de boquillas, donde se inyecta el aire o el vapor a presión.

## **I.2 EN AISLAMIENTO**

**Acabado metálico:** Lámina metálica que tiene por objeto proteger al aislamiento térmico contra el intemperismo, ambientes corrosivos y abuso mecánico.

**Acabado no metálico:** Recubrimiento compuesto por cemento monolítico y/o masticque y una malla metálica, plástica o de fibra de vidrio, dispuesta alternadamente, en una o varias capas, cuyo objetivo es proteger al aislamiento contra el intemperismo, ambientes corrosivos y abuso mecánico.

**Accesorios de tubería:** Tales como codos de 90° o 45° de radio corto o largo, “t”, reducciones, bridas, válvulas o tapones.

**Adhesivo:** Compuesto que sirve para unir firmemente entre sí los termoaislantes, sobre todo para baja temperatura, como vidrio espumado o plásticos celulares.

**Ancla:** Accesorio que sirve para la fijación del termoaislante, pudiendo ser en forma de perno, tuerca, barra, solera o ángulo metálico, la cual se suelda a la superficie por aislar.





**Barrera de vapor:** Es un material o composición de materiales que solo se usan en sistemas a baja temperatura y que presentan gran resistencia al paso de vapor de agua (permeabilidad igual o menor de 0.001 perm.). Se aplica en la cara caliente (exterior) de cada capa del termoaislante. La barrera de vapor debe ser hermética y continua.

**Cemento acabado:** Es una mezcla de materiales aislantes fibrosos, granulares o ambos, que cuando se mezclan con agua desarrollan una consistencia plástica y al secarse en su sitio presentan resistencia mecánica.

**Cemento aislante:** Misma descripción anterior, aunque en este caso sí debe considerarse su resistencia térmica. Se aplica normalmente en bombas, accesorios de tubería de diámetro menor a 64 mm y en superficies irregulares.

**Coefficiente de transferencia de calor por convección (hc):** Es la cantidad de calor por convección que fluye por unidad de área, tiempo y temperatura, desde el ambiente hacia la superficie del sistema termoaislante en baja temperatura y, en sentido inverso, en alta temperatura, en  $[W/m^2-K]$  o  $[cal/h-m^2-^{\circ}C]$ .

**Coefficiente de transferencia de calor por radiación (hr):** Es la cantidad de calor por radiación que fluye por unidad de área, tiempo y temperatura, desde el ambiente hacia la superficie del sistema termoaislante en baja temperatura y, en sentido inverso en alta temperatura, en  $[W/m^2-K]$  o  $[cal/h-m^2-^{\circ}C]$ .

**Coefficiente global de transferencia de calor (hs):** Es la suma de hr y hc, en:  $[W/m^2-K]$  o  $[cal/h-m^2-^{\circ}C]$ .

**Conductividad térmica (k):** Es la cantidad de calor que fluye perpendicularmente a través de un área unitaria de un cuerpo homogéneo en una unidad de tiempo, manteniendo una diferencia de temperatura unitaria entre las caras del material del espesor unitario en:  $[W/m^2-K]$  o  $[cal/h-m^2-^{\circ}C]$ .

**Elementos de sujeción:** Materiales como soportes metálicos, anclas, pernos, clips, alambre, mallas metálicas, flejes y resortes, que sirven para sujetar el termoaislante en un lugar y posición específica, y prevenir su desplazamiento, asentamiento o ruptura dentro de condiciones de operación típicas.

**Equipo (a aislar):** Es todo aquel recipiente, cambiador de calor, tanque de almacenamiento, torre de destilación, desaerador o tanque horizontal, que se involucre en un proceso de transformación industrial.

**Fibras celulares:** Compuestos por pequeñísimas celdas individuales separadas entre sí. El material celular puede ser vidrio o plástico espumado. Los termoaislantes más usados son: vidrio espumado, poliestireno expandido, poliuretano, poliisocianurato y espuma fenólica.

**Fibras minerales:** Materiales procesados a partir del estado de fusión de roca, escoria o vidrio, y convertidos a fibra con un procedimiento de centrifugación a alta velocidad a través de dados de estirado o la combinación de ambos. Las fibras están distribuidas de modo multidireccional y dividen finamente el espacio de aire. Pueden o no estar unidas entre sí.

**Fleje:** Cinta metálica que sirve para asegurar al termoaislante y/o acabado metálico.

**Grapa:** Accesorio empleado para la fijación del fleje.

**Mastique de acabado:** Compuesto de base asfáltica, acrílica o polimérica, usado para formar la capa de acabado del sistema termoaislante, que puede aplicarse con llana o aspersión. En algunos casos, se requiere de una malla o tela de refuerzo. Algunos mastiques emulsionados con solventes se utilizan como barrera de vapor.

**Material de relleno:** Material de fibra mineral suelta, que sirve para rellenar juntas de expansión y huecos no mayores a 6.0 mm en el termoaislante instalado.

**Material termoaislante:** Material que posee baja conductividad térmica y que, por lo tanto, presenta una gran resistencia al paso de calor.

**Materiales de acabado:** Estos materiales cumplen la función de proteger al sistema termoaislante contra la intemperie.

**Materiales de sujeción:** Estos materiales tienen la función de sujetar al termoaislante sobre la pared metálica del tubo o equipo y se complementan con soportes propios.



**Perm:** Medida de transmisión de vapor de agua (permeabilidad), equivalente al paso de un gramo de agua (1/3175.2 kg) en una operación a través de un 0.0929 m<sup>2</sup> de superficie y cuando entre las dos caras existe una diferencia de presión de 25.4 mm de mercurio.

**Punto de rocío (Tr):** Es la temperatura a la cual el vapor de agua contenido en el aire ambiente se condensa sobre la superficie del sistema termoaislante, en: [K] o [°C].

**Sellador:** Compuesto de base polimérica, permanentemente plástico y flexible, usado para tratar los traslapes del recubrimiento metálico y evitar penetración de agua.

**Sistema termoaislante:** Combinación de materiales que incorpora un termoaislante, materiales de sujeción, barrera de vapor (para el caso de servicio a baja temperatura) y materiales de acabado, en el recubrimiento de equipo o tuberías.

**Soporte:** Anillos, vigas, anclas, pernos, patas, faldones y demás elementos estructurales, que sirven para apoyar a la tubería o equipo y a su respectivo sistema termoaislante.

**Temperatura ambiente (ta):** Es la temperatura del aire en el medio circundante al lugar donde se encuentra el sistema termoaislante, en [K] o [°C].

**Temperatura de operación (top):** Es la temperatura a la cual se desarrolla un proceso determinado y se toma como base para seleccionar el material termoaislante y su espesor: [K] o [°C].

**Temperatura de superficie (tsup):** Temperatura que se obtendrá en la superficie externa del sistema termoaislante, en: [K] o [°C].

**Termoaislantes cementos monolíticos:** Producidos con materiales fibrosos y granulares cementados con bentonita, que mezclados con agua generan una masa viscosa de gran adherencia. Se proporcionan a granel y envasados en bolsas.

**Termoaislantes colchonetas flexibles:** Están cubiertas por malla metálica (metal desplegado y malla de gallinero) en uno o ambos lados. Pueden fácilmente adaptarse a superficies curvas e irregulares, de modo que simplifican su manejo y aplicación. Los termoaislantes fibrosos son producidos como colchonetas flexibles.

**Termoaislantes espumado en sitio:** Espuma de poliuretano vaciada o espumada en sitio para cubrir o rellena áreas irregulares o de difícil acceso.

**Termoaislantes flexibles:** Preformados en hojas, rollos, tubos o unidades rectangulares, que tienen un alto grado de flexibilidad. Los termoaislantes fibrosos y elastómeros se encuentran en esta forma.

**Termoaislantes granulares:** Compuestos por nódulos que contienen espacios vacíos. No son considerados como celulares debido a que el gas (aire) puede transitar entre los espacios individuales. Son combinados con fibras de refuerzo, con lo que se consiguen rigidez, estructura y preforma. Los más comúnmente usados son: vermiculita expandida, perlita expandida, tierra diatomácea y silicato de calcio.

**Termoaislantes rígidos:** Placas y bloques en forma rectangular y preformados para tubería (medias cañas, cuadrantes, sextantes y bloques curvos). Los termoaislantes fibrosos, celulares y granulares son producidos en esta forma.

**Transmisión térmica (Q):** Coeficiente de flujo térmico o transferencia de calor. Es la cantidad de calor que fluye por unidad de tiempo y unidad de área en las condiciones que prevalecen en ese instante, en: [W/m<sup>2</sup>]; [cal/h-m<sup>2</sup>].



### **I.3 EN TRAMPAS DE VAPOR**

**Trampa de vapor:** Válvula automática, cuya misión es descargar condensado sin permitir que escape el vapor vivo.

**Trampa de vapor mecánica:** La operación de esta trampa se basa en la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado. Un flotador o cubeta sube en presencia del condensado y baja cuando únicamente hay vapor. El movimiento mecánico del flotador o cubeta hace que la válvula se abra en presencia de condensado y se cierre cuando solo hay un vapor.

**Trampa de vapor termodinámica:** Estas trampas parten del hecho de que el condensado caliente se libera a presión más baja y puede vaporizarse instantáneamente para dar una mezcla de vapor y agua. Incluye las trampas termodinámicas de tipo de impulso y de laberinto, y aun las de placa de orificio simple.

**Trampa de vapor termostática:** Esta es sensible a la diferencia de temperatura entre el vapor y el condensado, después que se ha subenfriado una pequeña parte del condensado en el cuerpo de la válvula. El vapor tiene un coeficiente de calor más alto, lo que causa un efecto inmediato sobre el sensor termostático de la válvula. Cuando el sensor se enfría en presencia del condensado, la válvula abre y lo libera; al entrar el sensor en contacto con el vapor vivo, la válvula se cierra, evitando la pérdida de vapor.



## ANEXO II TÉRMINOS DE REFERENCIA

Los términos de referencia es un documento técnico que establece los lineamientos que un consultor o firma de ingeniería especializada deberá cumplir durante el desarrollo del diagnóstico energético en los sistemas de generación y distribución de vapor.

Este documento es un apoyo para que los industriales puedan complementar sus lineamientos en la contratación de un consultor o firma de ingeniería especializada, para el desarrollo de los diagnósticos energéticos de los sistemas de generación y distribución de vapor.

Entre los principales puntos que el consultor o firma de ingeniería especializada deben cumplir son:

- Códigos y normas que se deberán de aplicar para el estudio, así como el alcance a cubrir en los trabajos que se lleven a cabo en estos sistemas, tanto a las condiciones de diseño como a las actuales de operación.
- Estado actual de los equipos del sistema de generación y distribución de vapor, indicando la razón de las desviaciones de las condiciones de operación actual, contra el diseño.
- Acciones operacionales que conduzcan al funcionamiento eficiente y a la disminución del consumo de energía en el sistema.
- Plan de acción de acuerdo con las recomendaciones; se debe especificar un programa para la implementación de las recomendaciones, desde las que no requieren inversión hasta las que requieran, estas últimas deberán acompañarse con su respectivo estudio de factibilidad técnico económico.

También en los términos de referencia se incluyen las bases de concurso, que representan las condiciones mínimas para que el consultor o firma de ingeniería especializada realice el trabajo.

El contenido propuesto de los términos de referencia es:

### Contenido

#### I. Objetivo

#### II. Alcance

- II.1. Análisis energético de la caldera, aislamientos térmicos y fugas de vapor del sistema de generación y distribución de vapor
- II.2. Levantamiento de datos en campo
- II.3. Elaboración del balance de materia y energía
- II.4. Cálculos
- II.5. Diagnóstico energético del sistema
- II.6. Definición de medidas de ahorro energético operacionales
- II.7. Definición de medidas de ahorro energético con inversión
- II.8. Factibilidad técnico-económico de las propuestas con inversión
- II.9. Informes
- II.10. Mecanismos de coordinación para la supervisión

#### III. Bases de concurso

- III.1. Requisitos generales para los concursantes
- III.2. Condiciones generales
- III.3. Organización
- III.4. Lineamientos generales



## ANEXO III INSTRUMENTACIÓN

### III.1 EN CALDERAS

Los instrumentos utilizados para efectuar la prueba de comportamiento deberán estar calibrados antes de efectuar la prueba, además de ser inspeccionados y aprobados por la autoridad correspondiente.

La referencia para utilizar estos instrumentos está dada por:

- Las propias instrucciones de uso del fabricante;
- Suplementos para instrumentos y aparatos Parte 5, Capítulo 4, código ASME (última versión).
- Código de prueba de potencia ASME “*Hydraulic prime movers*” (última versión).

Cualquier otro método aprobado por el Código ASME, *The Power Test Code Supplements on Instruments and Apparatus*, puede ser utilizado, así como otras publicaciones acerca de equipos y procedimiento requeridos en la prueba de los generadores de vapor, la cual incluirá los siguientes equipos:

- Para el agua de alimentación, vapor producido, vapor de atomización y purga:
  - Termómetro;
  - Manómetro;
  - Medidor de placa, orificio, tubo Venturi, entre otros.
- Para el combustible:
  - Termómetro;
  - Manómetro;
  - Medidor de placa, orificio, tubo Venturi, entre otros.
- Para gases de combustión:
  - Analizador de gases de combustión.

### III.2 EN AISLAMIENTOS

La instrumentación requerida para realizar el diagnóstico energético en el aislamiento se menciona a continuación:

- Termómetro de superficie.
- Kit de velocidad del viento (anemómetro) o, en su caso, utilizar velocidades recomendadas.
- Vernier o flexómetro.

### III.3 EN TRAMPAS DE VAPOR

El equipo empleado para realizar el diagnóstico energético en las trampas de vapor es el equipo de medición ultrasónico.



## ANEXO IV FORMATOS

### FORMATO 1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EN CALDERAS

Fecha: \_\_\_\_\_

**Formato 1**  
**Recopilación de información en calderas (cálculo: gas - líquido)**

Parámetros de diseño			Empresa	
Eficiencia de la caldera			Empresa	
<b>Vapor</b>			Uso de vapor	
Flujo (ton/h)			Marca	
Temperatura (°C)			Identificación	
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )			Tipo	
<b>Combustible</b>			Año de manufactura	
	Líquido	Gas		
Tipo				
Flujo (l/h) / (m <sup>3</sup> /h)				
Gravedad específica				
PCS (kcal/l) / (kcal/m <sup>3</sup> )				

Gases de combustión		Vapor	
Temperatura (°C)		Flujo (ton/h)	P (kPa)
O <sub>2</sub> (%)		Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Entalpía de vapor @ P <sub>mg</sub> (kJ/kg)
CO <sub>2</sub> (%)		Temperatura (°C)	
CO (ppm)			

Agua de alimentación		Combustible	
Flujo (ton/h)	P (kPa)		
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Entalpía del agua (kJ/kg)		
Temperatura (°C)			
Sólidos (ppm)			

Agua de alimentación		Combustible	
Tipo:	Líquido	Gas	
Flujo STD: (l/h) / (m <sup>3</sup> /h)			
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )			
Temperatura (°C)			
Gravedad específica			
PCS (kcal/l) / (kcal/m <sup>3</sup> )			
Análisis cromatográficos del combustible			
	Líquido	% peso	Gas % mol
C			Metano
H <sub>2</sub>			Etano
N <sub>2</sub>			Etileno
S			Propano
H <sub>2</sub> O			Propileno
O <sub>2</sub>			Butano
CO <sub>2</sub>			Butileno
CO			Pentano
Cenizas			Hexano
Otros			Nitrógeno
			Azufre
			Agua
			Hidrógeno
			Oxígeno
			CO <sub>2</sub>
			CO
			Otros

Gases de combustión		Vapor	
Temperatura (°C)		Flujo (ton/h)	P (kPa)
O <sub>2</sub> (%)		Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Entalpía de vapor (kJ/kg)
CO <sub>2</sub> (%)		Temperatura (°C)	
CO (ppm)			

Purga		Vapor de atomización	
Flujo (ton/h)	P (kPa)	Flujo (ton/h)	P (kPa)
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Entalpía del líquido (kJ/kg)	Temperatura (°C)	Entalpía del vapor (kJ/kg)
Temperatura (°C)		Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	
Periodicidad			

Condiciones ambientales		Agua de reposición	
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	P (psia)	Flujo (ton/h)	P (kPa)
Altitud (m)	Altitud (ft)	Temperatura (°C)	Entalpía del vapor (kJ/kg)
Temperatura de bulbo seco (Tbs) (°C)	Tbs (°F)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	
Temperatura de bulbo húmedo (Tbh) (°C)	Tbh (°F)		
Humedad relativa (%)	Humedad kg agua / kg a.s.		

Recuperación de condensados		Deareador	
Flujo (ton/h)	P (kPa)	Flujo (ton/h)	P (kPa)
Temperatura (°C)	Entalpía del vapor (kJ/kg)	Temperatura (°C)	Entalpía del vapor (kJ/kg)
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )		Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	

Valor leído de hoja electrónica

NOTAS:

**FORMATO 2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA AISLAMIENTO EN TUBERÍAS DE VAPOR Y SUPERFICIES PLANAS****REGISTRO DE DATOS DE AISLAMIENTOS PARA TUBERÍAS O SUPERFICIES PLANAS****DATOS GENERALES**

Centro de trabajo \_\_\_\_\_ Fecha : \_\_\_\_\_

Planta : \_\_\_\_\_

Eficiencia de la caldera ( % )	
Temperatura agua de alimentación a caldera (°C)	
Presión del agua de alimentación a caldera ( Kg/cm <sup>2</sup> )	
Tipo de combustible	
Densidad relativa del combustible (std)	
Poder calorífico del combustible ( Kcal/m <sup>3</sup> )	
Costos del combustible ( \$/m <sup>3</sup> )	
Costo del vapor generado ( \$/ ton )	
Presión atmosférica (kg/cm <sup>2</sup> )	



**FORMATO 3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EN AISLAMIENTOS PARA TUBERÍAS CON VAPOR**

## REGISTRO DE DATOS PARA AISLAMIENTOS DE TUBERÍAS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN

CENTRO DE TRABAJO: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

PLANTA: \_\_\_\_\_

TUBERÍA				
Identificación				
Diámetro (IN)				
Cédula				
Material				
Longitud (m)				
Diámetro exterior del tubo (mm)				
FLUIDO DE PROCESO				
Tipo				
Temperatura (°C)				
Presión manométrica (kg/cm <sup>2</sup> )				
AISLAMIENTO				
Tipo (material)				
Tipo de recubrimiento (material)				
Espesor (mm)				
Temperatura de superficie (°C)				
Conductividad térmica del aislante (W / m k)				
Emisividad del recubrimiento				
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS				
Temperatura ambiente (°C)				
Velocidad del viento (km/h)				
Notas:				





**FORMATO 4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE AISLAMIENTOS PARA SUPERFICIES PLANAS**

## REGISTRO DE DATOS PARA AISLAMIENTO DE SUPERFICIE PLANAS

CENTRO DE TRABAJO: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

PLANTA: \_\_\_\_\_

EQUIPO				
Identificación del Equipo				
Material				
Temperatura interna				
Fluido de operación				
Temperatura de superficie (°C)				
AISLAMIENTO				
Tipo (material)				
Espesor				
Tipo de recubrimiento (material)				
Emisividad del recubrimiento				
Temperatura superficie del aislamiento				
Conductividad térmica del aislante				
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS				
Temperatura ambiente				
Velocidad del viento				
NOTAS:				



## ANEXO V TABLAS Y GRÁFICAS

La información contenida en las tablas es solo como referencia, y es responsabilidad de quien utiliza la información.

**TABLA 2. ALTITUD (M) SOBRE NIVEL DEL MAR**

Lugar	Altitud (m)	Lugar	Altitud (m)
Acámbaro, Gto.	1,849	Cuatlixco, Mor.	1,345
Acapulco, Gro.	3	Cuatro Ciénegas, Coah.	731
Actopan, Hgo.	1,990	Cuautla, Mor.	1,302
Adrián, Chih.	1,835	Cuernavaca, Mor.	1,538
Agua Buena, Mich.	2,227	Culiacán, Sin.	53
Aguascalientes, Ags.	1,884	Dolores Hidalgo, Gto.	1,890
Ajuno, Mich.	2,223	Doña Cecilia, Tamps.	2
Aldamas, N.L.	100	Durango, Dgo.	1,898
Allende, Coah.	375	El Mante, Tamps.	78
Ameca, Jal.	1,248	Emp. Aguilera, Chih.	1,828
Amecameca, Méx.	2,470	Emp. Escobedo, Gto.	1,782
Apulco, Hgo.	2,180	Emp. Los Arcos Pue.	2,134
Aserraderos, Dgo.	2,538	Emp. Matamoros, N.L.	528
Atencingo, Pue.	1,098	Encantada, Coah.	1,850
Atenquique, Jal.	1,030	Ensenada, B.C.	3
Atlixco, Pue.	1,830	Esperanza, Pue	2,357
Atotonilco, Jal.	1,573	Felipe Pescador, Zac.	2,006
Balsas, Gro.	430	Fortín de las Flores, Ver.	900
Barroterán, Coah.	425	Fresnillo, Zac.	2,091
Beristáin, Hgo.	2,185	Frío, Zac.	2,305
Bermejillo, Dgo.	1,125	Gómez Palacio, Dgo.	1,135
Calles, Tamps.	159	Gregorio García, Dgo.	1,118
Campeche, Camp.	25	Guadalajara, Jal.	1,589
Cananca, Son.	1,700	Guanajuato, Gto.	2,073
Cardel, Ver.	28	Guaymas, Son.	4
Cárdenas, S.L.P.	1,202	Guerrero, S.L.P.	157
Carneros, Coah.	2,093	Hermosillo, Son.	211
Cd. Guzmán, Jal.	1,507	Hipólito, Coah.	1,232
Cd. Juárez, Chih.	1,113	Honey, Hgo.	2,001
Cd. Las Casas, Chis.	2,128	Iguala, Gro.	727
Cd. Lerdo, Dgo.	1,140	Irapuato, Gto.	1,723
Cd. Valles, S.L.P.	85	Irolo, Hgo.	2,454
Cd. Victoria, Tamps.	333	Isla María Madre, Nay.	4
Celaya, Gto.	1,755	Ixtapan de la Sal, Mex.	1,600
Chapala, Jal.	1,500	J. Carranza, Ver.	25
Chapultepec, CDMX	2,240	Jalapa, Ver.	1,440
Chicalate, Ags.	1,890	Jiménez, Chih.	1,381
Chihuahua, Chih.	1,423	Jaral de Progreso, Gto.	1,722
Chilpancingo, Gro.	1,250	La Y Griega, Gro.	1,886
Cima, CDMX	3,012	Laguna, Oaxaca,	256
Coatzacoalcos, Ver.	14	La Paz, B.C.	18
Colima, Col.	494	Las Palmas, S.L.P.	54



Comanjilla, Gto.	1,850
Comitán, Chis.	1,635
Córdoba, Ver.	871
Cozumel, Q.R.	3
Linares, N.L.	347
Los Reyes, Méx.	2,242
Los Reyes, Mich.	1,365
Manzanillo, Col.	8
Maravatío, Mich.	2,012
Mariscal, Gto.	1,788
Matamoros, Tamps.	12
Matchuala, S.L.P.	1,580
Matías Romero, Oax.	200
Mazatlán, Sin.	78
Meoqui, Chih.	1,152
Mérida, Yuc.	22
México, CDMX	2,280
Buenavista, CDMX	2,239
Monclova, Coah.	586
Montemorelos, N.L.	409
Monterrey, N.L.	537
Morelia, Mich.	1,923
Múzquiz, Coah.	468
Nautla, Ver.	3
Nuevo Laredo, Tamps.	171
Oaxaca, Oax.	1,550
Ocotlán, Oax.	1,510
Orendáin, Jal.	1,429
Oriental, Jal.	2,345
Orizaba, Ver.	1,248
Ozuluama, Ver.	43
Pachuca, Hgo.	2,426
Paredón, Coah.	771
Parián, Oax.	1,492
Parral, Chih.	1,738
Parras, Coah.	1,504
Pátzcuaro, Mich.	2,043
Pedriceña, Dgo.	1,308
Pénjamo, Gto.	1,702
Piedras Negras, Coah.	220
Potrero, Gto.	2,345
Presa de Guadalupe, Coah.	1,118
Progreso, Yuc.	14
Jaral del Progreso, Gto.	2,188
Puente de Ixtla, Mor.	896
Puebla, Pue.	2,162
Punta Campos, Col.	97
Purísima, Dgo.	2,489

Las Vigas, Ver.	2,421
La Vega, Jal.	1,249
Lechería, Méx.	2,252
León, Gto.	1,809
Río Laja, Gto.	1,902
Río Verde, S.L.P.	987
Rodríguez Clara, Ver.	135
Rosario, Coah.	1,154
Rosario, Dgo.	1,790
Rosita, Coah.	369
Sabinas, Coah.	340
Salamanca, Gto.	1,721
Salina Cruz, Oax.	56
Salinas, S.L.P.	2,076
Saltillo, Coah.	1,609
San Agustín, Hgo.	2,359
San Andrés Tuxtla, Ver.	360
San Bartolo, S.L.P.	1,029
San Carlos, Coah.	325
San Cristóbal, Ver.	3
San Felipe, Gto.	2,060
San Gil, Ags.	2,013
San Isidro, S.L.P.	1,734
San José Purúa, Mich.	1,800
San Lorenzo, Hgo.	2,495
San Luis Potosí, S.L.P.	1,877
San Miguel de Allende, Gto.	1,845
San Marcos, Jal.	1,353
San Martín, Pue.	2,257
San Miguel Regla, Hgo.	2,300
San Pedro, Coah.	1,094
Silao, Gto.	1,776
Sombrerete, Zac.	2,362
Sta. Bárbara, Chih.	1,927
Suchiate, Chis.	22
Tacubaya, D.F.-CDMX	2,309
Tamasopo, S.L.P.	351
Tamazunchale, S.L.P.	150
Tampico, Tamps.	18
Tapachula, Chis.	168
Taviche, Oax.	1,648
Taxco, Gro.	1,750
Tecolutla, Ver.	3
Tehuacán, Pue.	1,648
Téllez, Hgo.	2,331
Tehuantepec, Oax.	150
Teocalco, Hgo.	2,072
Teotihuacán, Mex.	2,270



Querétaro, Qro.	1,853
Ramos Arizpe, Coah.	1,392
Reata, Coah.	941
Tepic, Nay.	918
Tepuxtepec, Mich.	2,358
Texcoco, Mex.	2,253
Teziutlán, Pue.	2,004
Tierra Blanca, Ver.	60
Tingüindín, Mich.	1,614
Tlacolula, Oax.	1,616
Tlacotalpan, Ver.	38
Tlacotepec, Pue.	2,000
Tlalmalilo, Dgo.	1,113
Tlancuapilcan, Pue.	944
Tlaxcala, Tlax.	2,252
Toluca, Mex.	2,640
Tomellín, Oax.	615
Tonalá, Chis.	40
Torreón, Coah.	1,140

Tepa, Hgo.	2,409
Tepehuanes, Dgo.	1,787
Trópico de Cáncer, S.L.P.	1,860
Tula, Hgo.	2,050
Tulancingo, Hgo.	2,181
Tuxpan, Ver.	4
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	528
Uruapan, Mich.	1,610
Valladolid, Yuc.	22
Vanegas, S.L.P.	1,734
Venta de Carpio, Mex.	2,240
Ventoquipa, Hgo.	2,220
Veracruz, Ver.	16
Villa Juárez, Tamps.	80
Villaldama, N.L.	419
Villar, S.L.P.	1,592
Yurécuaro, Mich.	1,540
Zacatecas, Zac.	2,496
Tres Valles, Ver.	47

**TABLA 3. VOLUMEN CONTENIDO EN UN TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL**

% Altura del nivel	% Volumen
5	1.87
10	5.20
15	9.41
20	14.23
25	19.55
30	25.23
35	31.19
40	37.36
45	43.64
50	50.00
55	56.36
60	62.64
65	68.81
70	74.77
75	80.45
80	85.77
85	90.59
90	94.80
95	98.13
100	100.00



**TABLA 4. VALORES A CUMPLIR DE MÁXIMA DENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO ALTA TEMPERATURA**

Tamaño Nominal de Tubería		Temperatura de Operación												
		Hasta 333 K	Hasta 373 K	Hasta 423 K	Hasta 473 K	Hasta 523 K	Hasta 573 K	Hasta 623 K	Hasta 673 K	Hasta 723 K	Hasta 773 K	Hasta 823 K	Hasta 873 K	Hasta 923 K
		(60°C)	(100°C)	(150°C)	(200°C)	(250°C)	(300°C)	(350°C)	(400°C)	(450°C)	(500°C)	(550°C)	(600°C)	(650°C)
NPS (Pulg)	DN (mm)	Máxima Densidad de Flujo Térmico												
½	15	6	12	19	26	35	45	55	66	78	90	103	116	130
¾	20	7	13	20	28	36	47	58	71	86	97	111	126	138
1	25	8	15	22	32	41	50	64	78	90	105	122	132	148
1 ½	40	9	18	26	35	44	60	77	91	106	120	136	151	172
2	50	10	20	30	40	51	65	81	95	110	127	144	165	185
2 ½	65	11	23	33	44	56	71	88	104	119	138	158	180	202
3	80	13	24	39	49	61	77	98	113	129	152	176	192	212
4	100	15	27	43	55	69	90	107	128	149	173	193	221	240
5	125	18	31	47	62	75	95	114	137	159	186	204	235	261
6	150	20	35	52	70	85	105	126	145	170	194	219	250	278
8	200	24	42	62	81	100	122	148	165	195	222	255	288	326
10	250	29	48	70	90	112	139	164	184	217	254	286	322	375
12	300	33	53	77	102	125	155	183	207	241	274	318	360	403
14	350	38	60	84	111	136	165	196	219	259	292	338	389	430
16	400	42	65	92	124	150	179	214	243	281	319	370	412	473
18	450	46	72	101	136	164	196	230	263	306	342	390	445	498
20	500	50	79	111	149	175	210	246	285	328	367	422	478	533
22	550	54	85	120	158	186	224	261	304	348	390	450	505	568
24	600	58	93	130	168	200	233	275	325	373	413	468	532	607
26	650	64	100	140	182	210	248	293	346	395	441	495	564	646
28	700	70	107	150	193	221	263	312	368	418	469	527	596	675
30	750	80	113	158	200	235	277	337	385	437	494	557	626	702
S.P (nota 2)		30	42	58	72	81	92	105	115	128	143	159	180	207

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014. Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales:

1. La "Máxima Densidad de Flujo Térmico" se expresa en W/m para tuberías y en W/m<sup>2</sup> para superficies planas (S.P).
2. Para fines de esta NORMA se considera como superficie plana, a la superficie de los tubos o paredes con diámetro exterior mayor a 750 mm (NPS30) y paredes planas o equipos, a las tuberías con DN mayor a 750 mm (30 pulg.).
3. Las condiciones utilizadas para realizar los cálculos de la transferencia de calor máxima fueron:
  - Temperatura ambiente = 298 K (25 °C).
  - Velocidad de aire = 10 km/h.
  - Emisividad = 0.1



**TABLA 5. VALORES A CUMPLIR DE MÁXIMA DENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO BAJA TEMPERATURA**

Tamaño Nominal de Tubería		Temperatura de Operación								
		Hasta 273 K (0°C)	Hasta 248 K (25°C)	Hasta 223 K (50°C)	Hasta 198 K (75°C)	Hasta 173 K (100°C)	Hasta 148 K (125°C)	Hasta 123 K (150°C)	Hasta 98 K (175°C)	Hasta 73 K (200°C)
NPS (Pulg.)	DN (mm)	MÁXIMA DENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO								
½	15	3	6	8	10	12	14	15	16	17
¾	20	3	6	8	10	13	15	16	17	18
1	25	3	6	9	11	14	15	17	19	20
1 ½	40	4	7	10	13	15	17	19	20	22
2	50	4	8	11	14	17	19	21	22	25
2 ½	65	4	8	12	15	18	20	22	24	29
3	80	5	9	14	17	20	23	25	27	29
4	100	6	11	15	19	21	24	26	29	31
5	125	6	12	18	22	24	27	29	31	33
6	150	7	14	19	22	25	28	31	34	37
8	200	8	16	19	24	28	32	34	37	39
10	250	9	18	22	27	31	35	38	41	43
12	300	10	20	24	29	33	37	41	43	46
14	350	11	21	26	32	36	41	44	46	48
16	400	12	23	26	32	38	42	46	50	54
18	450	13	23	30	36	40	46	49	52	55
20	500	14	24	31	37	41	47	51	54	57
22	550	15	25	32	38	42	48	52	55	58
24	600	17	28	35	41	45	51	55	59	62
26	650	17	28	35	42	46	53	58	62	67
28	700	18	29	37	44	48	55	60	63	67
30	750	19	30	38	45	49	56	60	64	68
S.P (nota 2)		8	9	11	13	15	17	19	22	25

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014. Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales:

1. La "Máxima Densidad de Flujo Térmico" se expresa en W/m para tuberías y en W/m<sup>2</sup> para superficies planas (S.P).
2. Para fines de esta norma se considera como superficie plana, a la superficie de los tubos o paredes con diámetro exterior mayor a 750 mm (NPS30) y paredes planas o equipos, a las tuberías con DN mayor a 750 mm (30 pulg.).
3. Las condiciones utilizadas para realizar los cálculos de la transferencia de calor máxima fueron:
  - Temperatura ambiente = 298 K (25 °C).
  - Velocidad de aire = 10 km/h.
  - Emisividad = 0.1.



**TABLA 6. PODERES CALORÍFICOS TÍPICOS DE COMBUSTIBLES GASEOSOS Y LÍQUIDOS**

Combustible	Poder Calorífico Inferior	Poder Calorífico Superior
Gas Natural	8,205 kcal/m <sup>3</sup> est.	10,103 kcal/m <sup>3</sup> est.
	(922 Btu/pie <sup>3</sup> est)	(1,024 Btu/pie <sup>3</sup> est)
Gas L.P.	11,000 kcal/kg	11,915 kcal/kg
	(19,799 Btu/lb)	(21,445 Btu/lb)
Diésel	10,000 kcal/kg	10,680 kcal/kg
	(18,000 Btu/lb)	(19,224 Btu/lb)
Gasóleo	9,935 kcal/kg	10 500 kcal/kg
	(17,250 Btu/lb)	(18 900 Btu/lb)
Combustóleo	9,583 kcal/kg	10,111 kcal/kg
	(17,250 Btu/lb)	(18,200 Btu/lb)

## Notas:

- Densidad relativa del gas natural: 0.6 (con respecto al aire),
- Densidad relativa del gas L.P.: 0.56 (con respecto al agua),
- Densidad del Diésel: 0.865 kg/l a 15.5 °C & 760 mm Hg,
- Densidad del gasóleo: 0.899 kg/l a 15.5 °C & 760 mm Hg,
- Densidad del combustóleo: 0.982 kg/l a 15.5 °C & 760 mm Hg.

Se puede usar la “Lista de combustibles 2021”, que se considerará-para identificar a los usuarios con un patrón de alto consumo, así como los factores para determinar las Equivalencias en términos de barriles equivalentes de petróleo, que está en el Sitio de Internet de la Conuee:

[https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/SITE/Lista\\_de\\_Combustibles\\_2021.pdf](https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/SITE/Lista_de_Combustibles_2021.pdf)



**TABLA 7. ANÁLISIS TÍPICO DE COMBUSTIBLES**

% en peso	Gas Natural	Gasóleo	Combustóleo	Gas L.P.
C	73.07	86.00	83.88	82.09
H <sub>2</sub>	23.65	11.10	11.19	17.71
O <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.16	0.00
N <sub>2</sub>	3.28	1.00	0.54	0.00
S	0.00	0.80	3.71	0.00
H <sub>2</sub> O	0.00	1.00	0.50	0.00
Ceniza	0.00	0.10	0.00	0.00
Otros	0.00	0.00	0.02	0.20
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

**TABLA 8. UNIDADES DE GRAVEDAD ESPECÍFICA (SPECIFIC GRAVITY), °BÉ, °API**

Gravedad específica (SG). En sólidos y líquidos, es la relación entre el peso de un volumen de sustancia a una temperatura dada y el peso del mismo volumen de agua, a la misma temperatura y ambos expresados en las mismas unidades. Es un número adimensional. Como temperatura se toman 60°F/60°F, 4°C/4°C o 20°C/20°C.

$SG \times 0.99997 = g/cm^3$   
 $SG \times 2.37 = lb/cu-ft$   
 $SG \times 10 = lb/GB\ gallon$   
 $SG \times 8331 = lb/US\ gallon\ liq$   
 $SG \times 349.8 = lb/US\ liq\ barrel$

a)  $SG > 1$

$^{\circ}Be = 145 - (145/SG(60/60^{\circ}F))$  (USA)  
 $^{\circ}Be = 144.3 - (144.3/SG(15/4^{\circ}C))$  (rational)

b)  $SG < 1$

$^{\circ}Be = (140/SG(60/60^{\circ}F)) - 130$  (USA)  
 $^{\circ}Be = (144.3/SG(15/4^{\circ}C)) - 134.3$  (rational)

$^{\circ}API = (141.5/SG(60/60^{\circ}F)) - 131.5$





**TABLA 9. UNIDADES DE CONCENTRACIÓN**

	g/l	mg/cm <sup>3</sup>	ppm	grain/ US gallon	grain/ GB gallon	lb-ft <sup>3</sup>
1 gl	1	1	1000	58.42	70.15	0.062428
1 mg/cm <sup>3</sup>	1	1	1000	58.42	70.15	0.062428
1 ppm	0.001	0.001	1	0.05842	0.07015	0.000062428
1 grain/US gallon	0.01712	0.01712	17.12	1	1201	0.0010687
1 grain/GB gallon	0.01425	0.01425	14.25	0.8327	1	0.0008896
1 lb/ft <sup>3</sup>	16.019	16.019	16019	935.664	1124.113	1
1 ppm = 1 parts per million = 10 <sup>-6</sup>				1 ppm = 1 mg/l = 1 g/m <sup>3</sup>		
1 ppb = 1 parts per billion (USA) = 10 <sup>-9</sup> = 1 y/l.				1 g/m <sup>3</sup> = 0.436 grain/cu-ft.		
1 grain/cu-ft = 2.29 g/m <sup>3</sup>						

Fuente: Manual de Eficiencia Energética Térmica en la Industria (CADEM) Tomo II, Bilbao, España.

**TABLA 10. TEMPERATURAS DE LAS SUPERFICIES EXTERIORES DE AISLAMIENTO**

Aplicación del Aislamiento	Con Temperaturas Normales de Operación	Temperatura Exterior del Aislamiento	
		Para Protección del Personal	Para la Estabilidad en la Operación o Conservación de Calor
Para Estabilidad en la Operación	De 36 °C a 650 °C	36 °C	53 °C
Para la Estabilidad en la Operación y Conservación del calor	De 66 °C a 80 °C	40 °C	62 °C
Para la Estabilidad en la Operación	De 81 °C a 100 °C	40 °C	62 °C
Conservación de Calor y	De 101 °C a 300 °C	58 °C	80 °C
Protección del Personal	De 301 °C a 1500 °C	66 °C	88 °C

Fuente: Manual de Eficiencia Energética Térmica en la Industria (CADEM) Tomo II, Bilbao, España.

### Pérdidas en accesorios de tuberías

En todas las empresas los accesorios en las tuberías implican a una gran variedad de aditamentos, como pueden ser válvulas, codos, té y dispositivos de medición, entre otros. Muchos de estos accesorios, de acuerdo con su forma de construcción, es posible aislarlos completa o parcialmente, mientras que otros, no es posible aislarlos.

En las tablas siguientes se muestran los valores aproximados de las pérdidas suplementarias, originadas por los accesorios en función de una longitud equivalente de tubería, considerando un tipo único de accesorio válido para todos los casos.

Las tablas se consideran para la situación en que los accesorios estén ubicados en el interior o exterior de edificios y que estos se encuentren desnudos o parcialmente aislados, quedando los valores en función de la fracción aislada, del diámetro y de la temperatura de la tubería en que se encuentran los accesorios.



**TABLA 11. PÉRDIDAS SUPLEMENTARIAS DEBIDAS A LOS ACCESORIOS EN TUBERÍAS SITUADAS EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS**

Naturaleza del aislamiento	Diámetro interior de la tubería mm	Longitud equivalente de la tubería en metros para una temperatura de:	
		100 °C	400 °C
Totalmente sin aislamiento	100	6	16
	500	9	26
1/4 sin aislamiento 3/4 aislado	100	2.5	5
	500	3	7.5
1/3 sin aislamiento 2/3 aislado	100	3	6
	500	4	10

#### A. Válvulas

En la tabla 11 se tienen las pérdidas de calor correspondientes a válvulas, sin tomar en cuenta las bridas.

#### B. Pares de bridas

Si están sin recubrimiento, se considera que la pérdida de calor es la tercera parte de la pérdida en la válvula del mismo diámetro de tubería.

Si están aisladas, se considera que la pérdida de calor es la misma que si fuera una longitud igual de tubería.

#### C. Soportes de las tuberías

Si se encuentran ubicadas en el interior, hay que añadir el 15% de las pérdidas calculadas sin accesorios.

Si están ubicadas en el exterior y protegidas del viento, hay que añadir el 20%.

Si están situadas en el exterior y no protegidas del viento, hay que añadir el 25%.

#### D. Anillos soporte del recubrimiento del aislamiento

Si la protección del aislamiento es de chapa de hierro o aluminio y la distancia entre los soportes es de 1 m, deben considerarse cantidades adicionales a la conductividad térmica del material aislante.

**TABLA 12. PÉRDIDAS SUPLEMENTARIAS DEBIDAS A LOS ACCESORIOS EN TUBERÍAS SITUADAS EN EL EXTERIOR DE EDIFICIOS**

Naturaleza del aislamiento	Diámetro interior de la tubería mm	Longitud equivalente de la tubería en metros Para una temperatura de:	
		100 °C	400 °C
Totalmente desnudo	100	15	22
	500	19	32
1/4 sin aislamiento 3/4 aislado	100	4.5	6
	500	6	8.5
1/3 sin aislamiento 2/3 aislado	100	6	8
	500	7	11

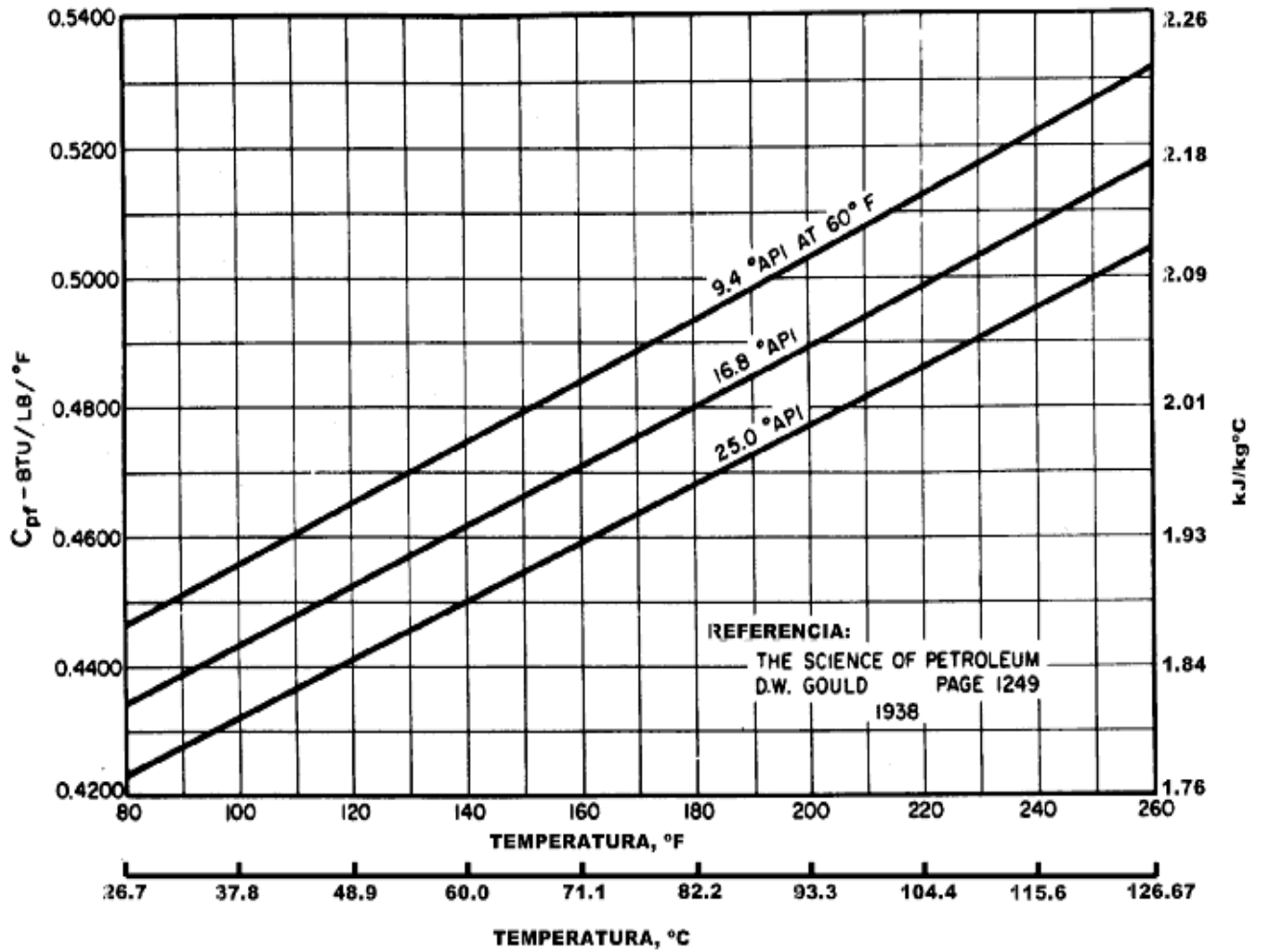


**TABLA 13. CANTIDADES ADICIONALES AL COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL AISLANTE**

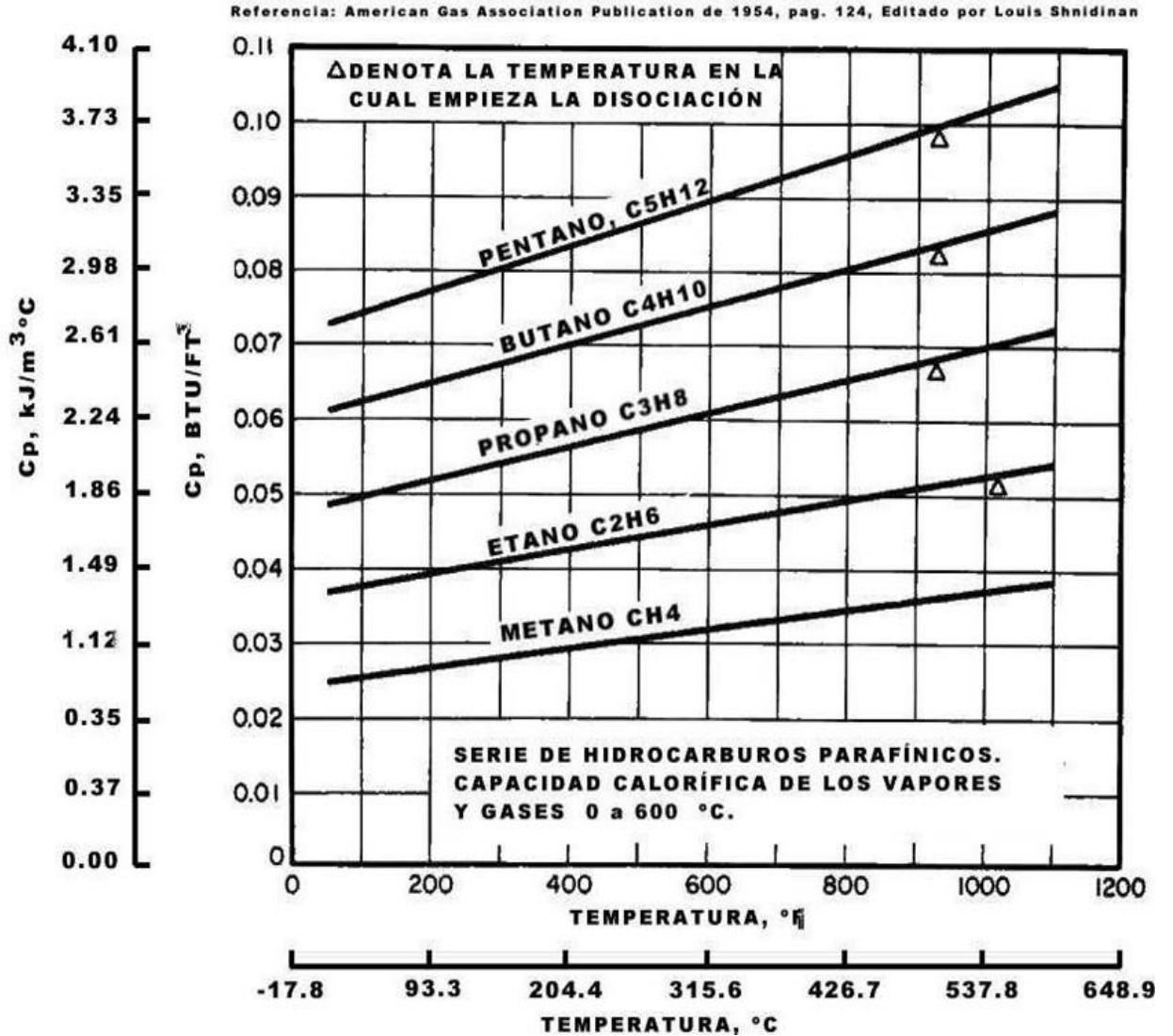
Equipo	kcal/m h °C
Soporte de hierro en pletina con un aislamiento técnicamente mediocre.	0.010
Soporte de hierro en pletina con un aislamiento técnicamente bueno.	0.006
Soporte de hierro en pletina con plaquetas de amianto rompiendo el puente térmico.	0.003



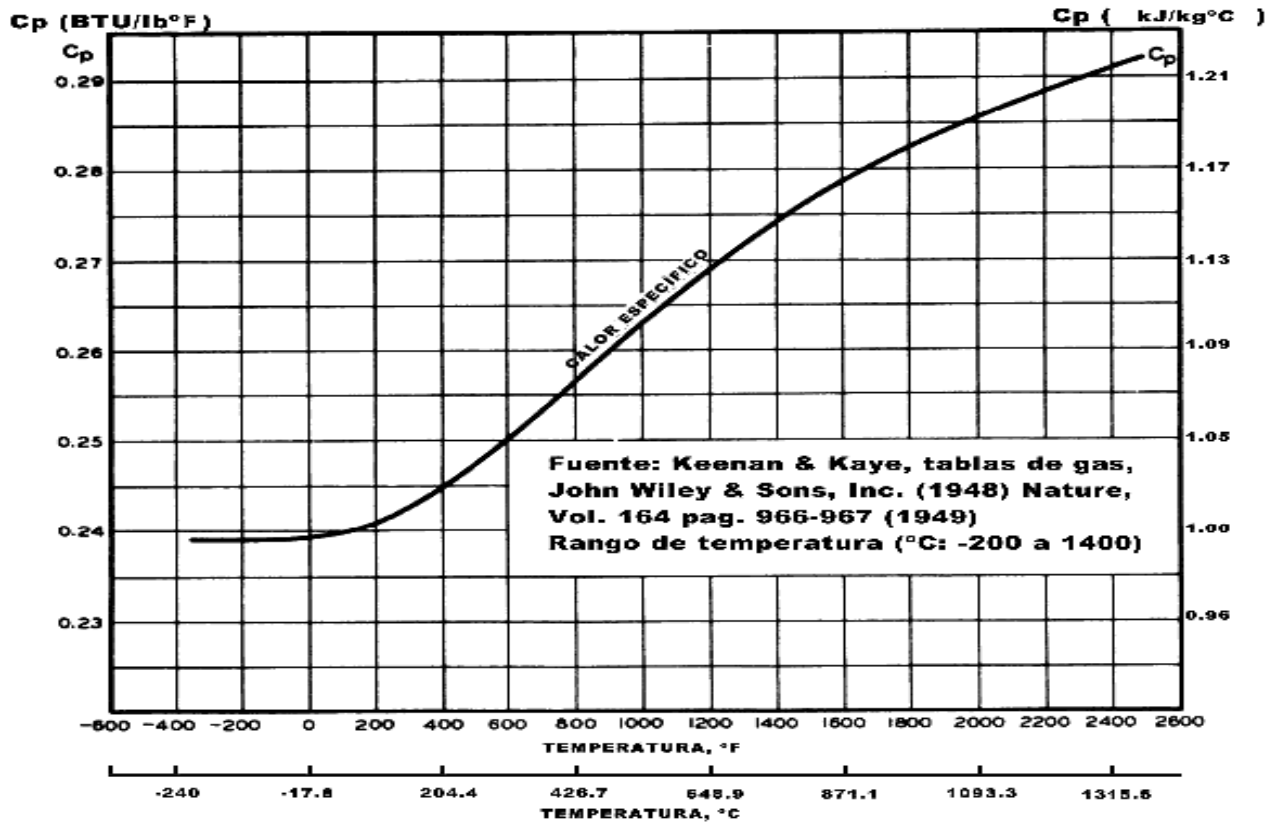
GRÁFICA 1. CALOR ESPECÍFICO DEL COMBUSTÓLEO A 1 ATMÓSFERA



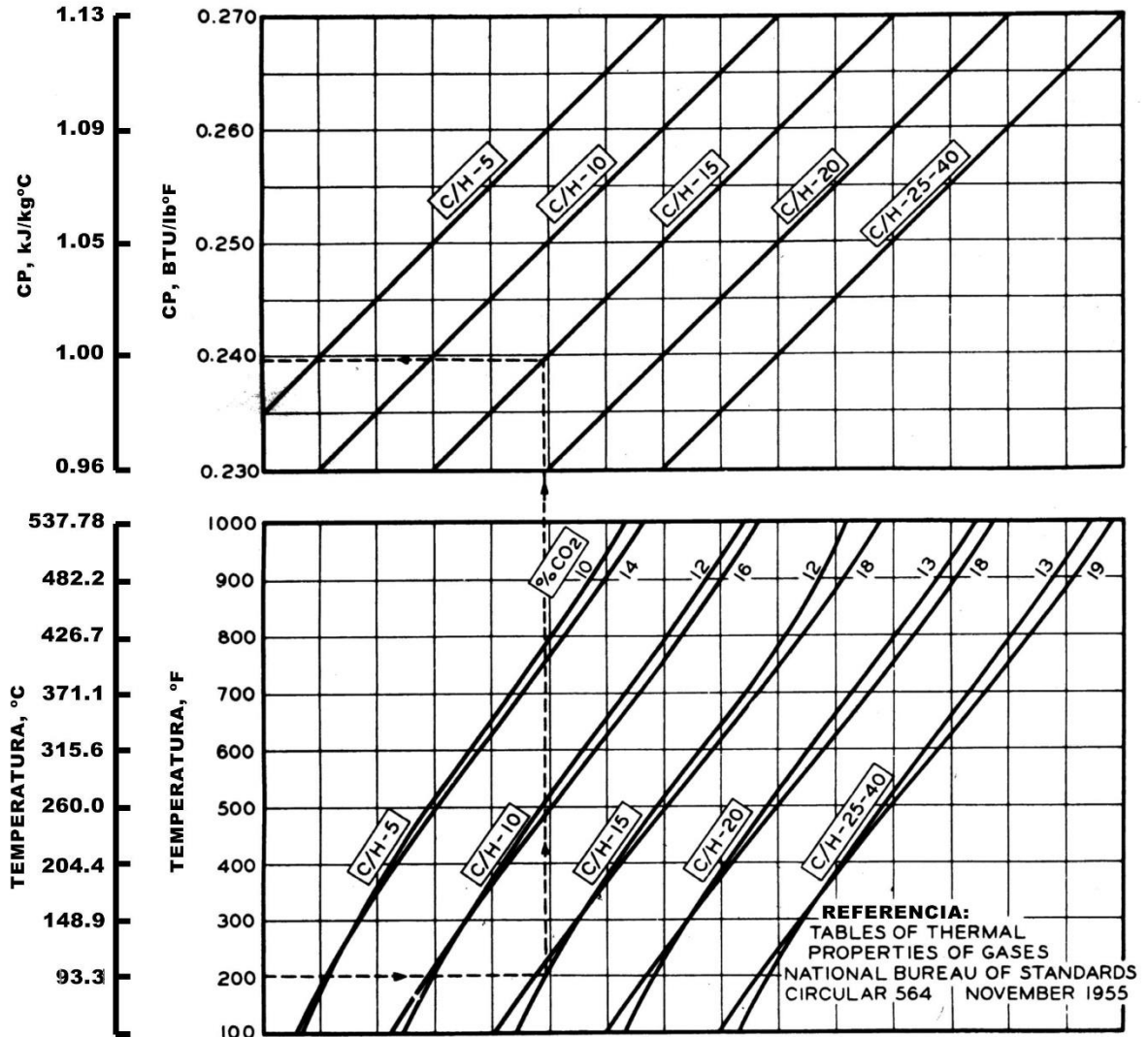
GRÁFICA 2. CALOR ESPECÍFICO DEL GAS NATURAL



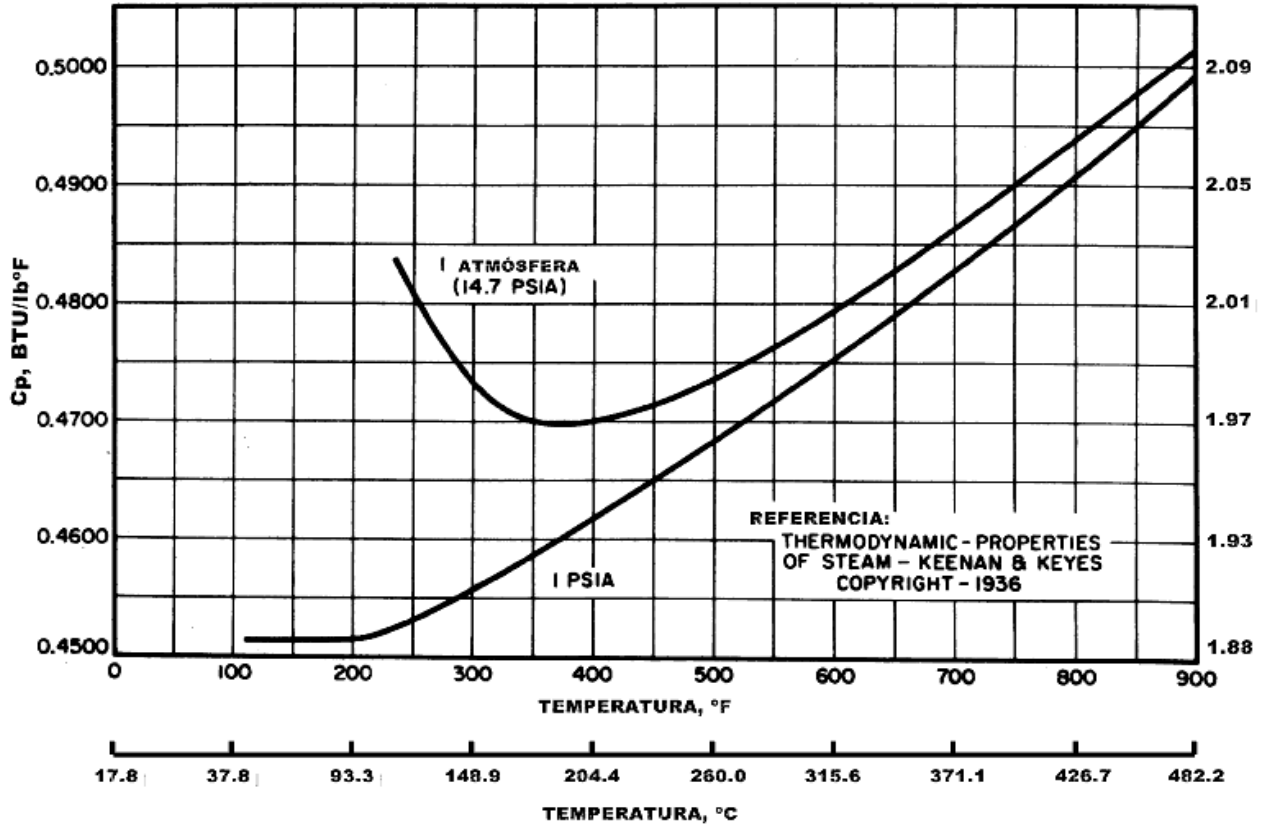
GRÁFICA 3. CALOR ESPECÍFICO DEL AIRE



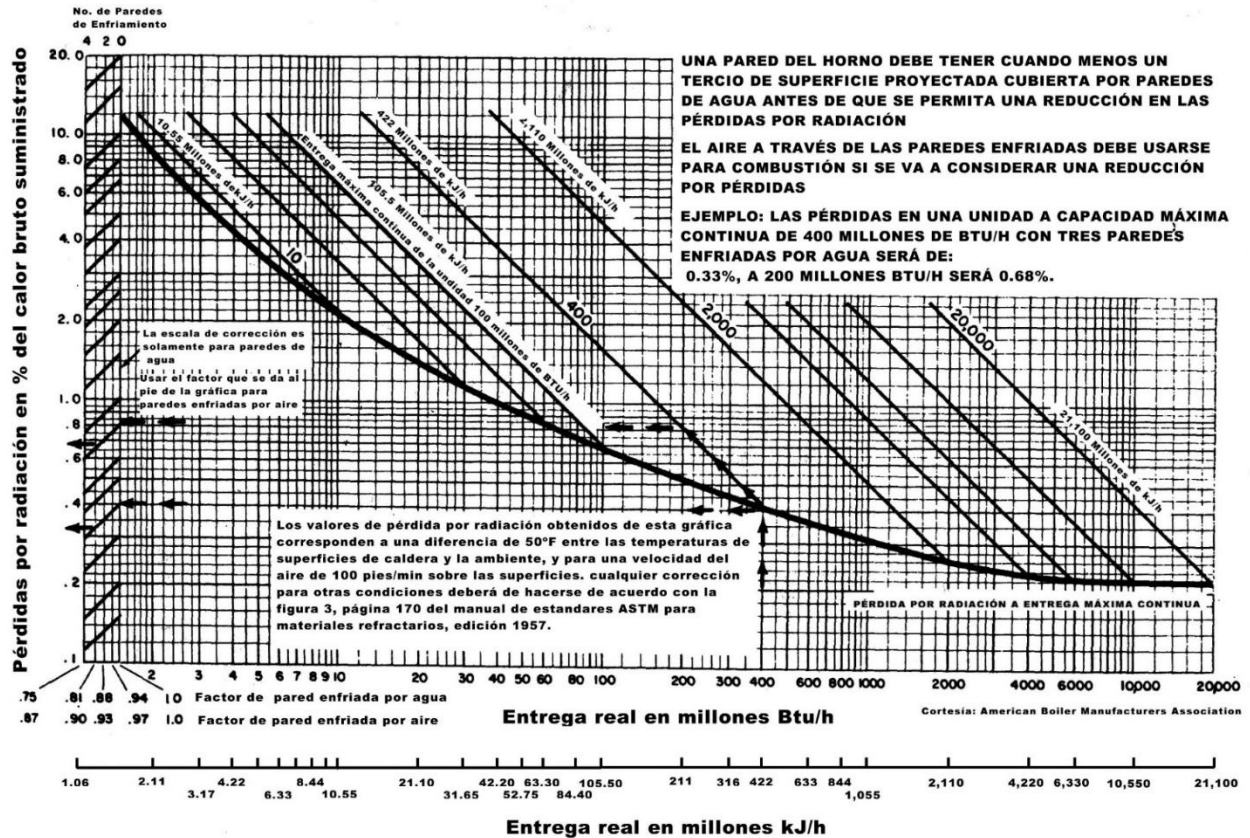
GRÁFICA 4. CALOR ESPECÍFICO DEL COMBUSTÓLEO EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN C-H



GRÁFICA 5. CALOR ESPECÍFICO DEL VAPOR





**GRÁFICA 6. PÉRDIDAS ESTÁNDAR POR RADIACIÓN EN CALDERAS**


Ejemplo de Aplicación de la “Gráfica 6. Pérdidas estándar por radiación en calderas”.

Una empresa cuenta con un generador de vapor que tiene una capacidad máxima de 7.788 t/h y con tres paredes de agua. Se necesita calcular las pérdidas por radiación.

$$\text{Capacidad Máxima} = 7.788 \frac{t}{h} \times 2'709,230 \frac{kJ}{t} = 21.1 \text{ millones de kJ}$$

De la gráfica 6, en el eje de las abscisas "Entrega Real en Millones de kJ", se localiza el valor de 2.1 y se traza una línea perpendicular a dicho eje, hasta hacer contacto con la curva denominada "Pérdida por Radiación a Entrega Máxima Continua".

Se traza una línea paralela al eje de las abscisas, que parte del punto de intersección de la línea trazada anteriormente y de la curva "Pérdida por Radiación a Entrega Máxima Continua", hasta hacer contacto con el subeje superior denominado "Número de Paredes Enfriamiento".

En caso de que el generador tenga paredes enfriadas por agua, se continúa por la trayectoria inclinada, que ajusta el valor de las pérdidas por radiación, hasta el número de paredes existentes en el generador, se continúa de forma paralela al eje de las abscisas hasta hacer contacto con el eje principal de las ordenadas denominado "Pérdidas por Radiación en % del Calor Bruto Suministrado", que para este caso en que se tienen tres paredes de agua, el valor de las pérdidas será de 1.13%.

Para el caso de que se tengan paredes enfriadas por aire, se utiliza el factor de (0.90) que multiplica a las pérdidas por radiación sin paredes (1.4), con lo que se obtiene el valor de 1.26 % de pérdidas por radiación.



## ANEXO VI MEMORIA DE CÁLCULO DE CALDERAS

### Método de cálculo de la eficiencia de la caldera

Previamente al seguimiento de este método, se debe de haber realizado el diagnóstico energético.

Se presentan los Métodos de Pérdidas (Método Indirecto), y el Método de Entradas y Salidas (Método Directo), los cuales son aprobados por el Código ASME. *Power Test Codes. Steam Generating Units. 4.1.*

La Conuee proporciona la descripción detallada del método y tiene los programas para calcular la eficiencia de la caldera cuando se emplea combustible líquido, combustible gas y para cuando se emplean, al mismo tiempo, los combustibles líquidos y gas.

#### Cálculos preliminares:

##### Flujo de nitrógeno

$$W_{N_2} = ((28.02 * N_2 / (12.01 * (CO_2 + CO))) * (C + 12.01 * S / 32.07) / 100)$$

En donde:

$W_{N_2}$	Flujo de nitrógeno	kg <sub>N2</sub> / kg cq
$N_2$	Nitrógeno en los gases de combustión	% mol
$CO_2$	Bióxido de carbono en los gases combustión	% mol
$CO$	Monóxido de carbono en los gases de combustión	% mol
$C$	Carbono en el combustible	% peso
$S$	Azufre en el combustible	% peso
kg <sub>N2</sub>	Kilogramos de nitrógeno	kg
kg cq	Kilogramos de combustible quemado	kg

##### Flujo de aire seco

$$W_a = (W_{N_2} - N_{2\text{ comb}} / 100) / 0.7685$$

En donde:

$W_a$	Flujo de aire seco	kg as / kg cq
$W_{N_2}$	Flujo de nitrógeno	kg <sub>N2</sub> / kg cq
$N_{2\text{ comb}}$	Nitrógeno en el combustible	% peso
kg as	Kilogramos de aire seco	kg

##### Flujo de gases de combustión

$$W_g = \{(44.01 * CO_2 + 32 * O_2 + 28.02 * N_2 + 28.01 * CO) * (C + 12.01 * S / 32.07)\} / \{12.01 * (CO + CO_2) * 100\}$$

En donde:

$W_g$	Flujo de gases de combustión secos	kg gas / kg cq
$CO_2$	Bióxido de carbono en los gases de combustión	% mol
$O_2$	Oxígeno en los gases de combustión	% mol
$N_2$	Nitrógeno en los gases de combustión	% mol
$CO$	Monóxido de carbono en los gases de combustión	% mol
$C$	Carbono en el combustible	% peso
$S$	Azufre en el combustible	% peso
kg gas	Kilogramos de gases de combustión secos	kg

##### Relación carbono / hidrógeno

$$C / H = C / H_2$$

En donde:

$C$	Carbono en el combustible	% peso
$H_2$	Hidrógeno en el combustible	% peso



**Presión parcial de la humedad en el flujo de gases de combustión**

$$m_g = 8.936 * H_2 / 100 + W_a * W_{aw} + M_f / 100 + W_z$$

En donde:

m <sub>g</sub>	Contenido de humedad en los gases de combustión	kg agua / kg cq
H <sub>2</sub>	Hidrógeno en el combustible	% peso
W <sub>a</sub>	Flujo de aire seco	kg as / kg cq
W <sub>aw</sub>	Humedad en el aire	kg agua / kg as
M <sub>f</sub>	Humedad en el combustible	% peso
W <sub>z</sub>	Flujo de vapor atomizado	kg vapor / kg cq
kg <sub>agua</sub>	Kilogramos de agua	kg
kg <sub>vapor</sub>	Kilogramos de vapor	kg

$$P_{mg} = P_b / \{ 1 + (1.5 * C / m_g * (CO_2 + CO)) \}$$

En donde:

P <sub>mg</sub>	Presión parcial de la humedad en el flujo de gases de combustión	kPa
P <sub>b</sub>	Presión barométrica del lugar	kPa
m <sub>g</sub>	Contenido de humedad en los gases de combustión	kg agua / kg cq
CO <sub>2</sub>	Bióxido de carbono en los gases de combustión	% mol
CO	Monóxido de carbono en los gases de combustión	% mol
C	Carbono en el combustible	% peso

**Aire teórico**

$$A_t = \{ 11.51 * C + 34.3 * (H_2 - O_2 / 7.937) + 4.335 * S \} / 100$$

En donde:

A <sub>t</sub>	Aire teórico (estequiométrico)	kg as / kg cq
C	Carbono en el combustible	% peso
H <sub>2</sub>	Hidrógeno en el combustible	% peso
S	Azufre en el combustible	% peso
O <sub>2</sub>	Oxígeno en el combustible	% peso

**Exceso de aire**

$$E_a = 100 * (O_2 - CO/2) / \{ 0.2682 * N_2 - (O_2 - CO/2) \}$$

En donde:

E <sub>a</sub>	Exceso de aire	%
CO	Monóxido de carbono en los gases de combustión	% mol
O <sub>2</sub>	Oxígeno en los gases de combustión	% mol
N <sub>2</sub>	Nitrógeno en los gases de combustión	% mol

**Cálculo de créditos:**
**Calor en el aire de entrada**

$$B_a = W_a * c_{pas} (T_a - T_{ref})$$

En donde:

B <sub>a</sub>	Calor en el aire de entrada	kJ / kg cq
W <sub>a</sub>	Flujo de aire seco	kg as / kg cq
c <sub>pas</sub>	Calor específico del aire seco	kJ / kg as °C
T <sub>a</sub>	Temperatura del aire	°C
T <sub>ref</sub>	Temperatura de referencia	°C



**Calor sensible en el combustible**

$$B_f = C_{pf} * (T_f - T_{ref})$$

En donde:

B <sub>f</sub>	Calor sensible en el combustible	kJ / kg cq
C <sub>pf</sub>	Calor específico del combustible	kJ / kg °C
T <sub>f</sub>	Temperatura del combustible	°C

**Calor en el vapor de atomización**

$$B_z = W_{va} * (h_{va} - h_{vsat}) / W_f$$

En donde:

B <sub>z</sub>	Calor en el vapor de atomización	kJ / kg cq
W <sub>va</sub>	Flujo de vapor de atomización externo a la unidad	kg / s
h <sub>va</sub>	Entalpía del vapor de atomización	kJ / kg
h <sub>vsat</sub>	Entalpía del vapor saturado a T <sub>ref</sub>	kJ / kg
W <sub>f</sub>	Flujo de combustible	kJ / s

**Calor suministrado con la humedad que entra con el aire**

$$B_m = W_a * W_{aw} * c_{pv} * (T_a - T_{ref})$$

En donde:

B <sub>m</sub>	Calor suministrado con la humedad que entra con el aire	kJ / kg cq
W <sub>a</sub>	Flujo de aire seco	kg as / kg cq
W <sub>aw</sub>	Humedad en el aire	kg agua / kg as
c <sub>pv</sub>	Calor específico del vapor	kJ / kg °C
T <sub>a</sub>	Temperatura del aire a quemadores	°C
T <sub>ref</sub>	Temperatura de referencia	°C

**Total de créditos**

$$B = B_a + B_f + B_z + B_m$$

En donde:

B	Calor total en los créditos	B
---	-----------------------------	---

**Combustible:**
**Calor que entra con el combustible**

En donde:

H <sub>f</sub>	Calor suministrado con el combustible (poder calorífico del combustible)	kJ / kg
----------------	--	---------

**Energía que entra al sistema:**

$$H_f + B$$

En donde:

H <sub>f</sub> + B	Calor que entra al sistema	kJ / kg
--------------------	----------------------------	---------

**Cálculo de la eficiencia**
**Método de pérdidas de energía (Método Indirecto):**

A continuación, se presenta la memoria de cálculo para determinar la eficiencia de operación de la caldera, por el método de pérdidas de energía, la cual se determina por la siguiente ecuación:



Eficiencia (Método de pérdidas  $n_p$ ) =  $100 - \text{Pérdidas totales de energía en la caldera}$   
 $= 100 - (L / (H_f + B)) * 100$

En donde:

$n_p$	Eficiencia de la caldera, por el método de pérdidas de energía	%
L	Pérdidas en el generador de vapor	kJ / kg cq
H <sub>f</sub>	Calor suministrado con el combustible	kJ / kg cq
B	Créditos	kJ / kg cq

#### Cálculo de pérdidas de energía:

##### **Pérdidas de energía por gases de combustión**

$$L_g = W_g * C_{pg} * (T_{gas} - T_{ref})$$

En donde:

L <sub>g</sub>	Pérdidas de energía por gases de combustión secos	kJ / kg cq
W <sub>g</sub>	Flujo de gases de combustión	kg gas / kg cq
C <sub>pg</sub>	Calor específico de los gases de combustión	kJ / kg °C
T <sub>gas</sub>	Temperatura de los gases de combustión	°C
T <sub>ref</sub>	Temperatura de referencia	°C

Porcentaje de pérdidas de energía por gases secos:  $L_g * 100 / (H_f + B)$  %

##### **Pérdidas de energía por formación de CO**

$$L_{co} = (CO * 10160 * 1.0549 * 2.205 * C / 100) / (CO_2 + CO)$$

En donde:

L <sub>co</sub>	Pérdidas de energía por la formación de CO	kJ / kg cq
CO <sub>2</sub>	Bióxido de carbono en los gases de combustión	% mol
CO	Monóxido de carbono en los gases de combustión	% mol
C	Carbono en el combustible	% peso

Pérdidas de energía por formación de CO:  $L_{co} * 100 / (H_f + B)$

##### **Pérdidas de energía por la humedad producto de la combustión del H<sub>2</sub>**

$$L_h = 8.936 * H_2 * (h_{pv} - h_{wsat}) / 100$$

En donde:

L <sub>h</sub>	Pérdidas de energía por la humedad producto de la combustión del H <sub>2</sub>	kJ / kg cq
H <sub>2</sub>	Hidrógeno en el combustible	% peso
h <sub>pv</sub>	Entalpía del vapor a la presión P <sub>mg</sub> y T <sub>gas</sub>	kJ / kg
h <sub>wsat</sub>	Entalpía del líquido saturado a T <sub>ref</sub>	kJ / kg

Pérdidas de energía por la humedad producto de la combustión del hidrógeno:  $L_h * 100 / (H_f + B)$  (%)

##### **Pérdidas de energía por la humedad del aire**

$$L_{ma} = W_a * W_{aw} * (h_{pv} - h_{vsat})$$

En donde:

L <sub>ma</sub>	Pérdidas de energía por la humedad del aire	kJ / kg cq
W <sub>a</sub>	Flujo de aire seco	kg as / kg cq
W <sub>aw</sub>	Humedad en el aire	kg agua / kg as
h <sub>pv</sub>	Entalpía del vapor a la presión P <sub>mg</sub> y T <sub>gas</sub>	kJ / kg
h <sub>vsat</sub>	Entalpía del vapor saturado a T <sub>ref</sub>	kJ / kg



Pérdidas de energía por la humedad del aire =  $L_{ma} * 100 / (H_f + B)$  (%)

#### Pérdidas de energía por la humedad en el combustible

$$L_{mf} = H_2O * (h_{pv} - h_{wsat}) / 100$$

En donde:

Lmf	Pérdidas de energía por la humedad en el combustible	kJ / kg cq
H <sub>2</sub> O	Humedad en el combustible	% peso
h <sub>pv</sub>	Entalpía del vapor a la presión P <sub>mg</sub> y T <sub>gas</sub>	kJ / kg
h <sub>wsat</sub>	Entalpía del líquido saturado a T <sub>ref</sub>	kJ / kg

Pérdida de energía por la humedad del combustible =  $L_{mf} * 100 / (H_f + B)$  %

#### Pérdidas de energía por el vapor de atomización

$$L_z = W_{va} * (h_{pv} - h_{vsat}) / W_f$$

En donde:

Lz	Pérdidas de energía por el vapor de atomización	kJ / kg cq
W <sub>va</sub>	Flujo de vapor de atomización externo a la unidad	kg / s
h <sub>pv</sub>	Entalpía del vapor a la presión P <sub>mg</sub> y T <sub>gas</sub>	kJ / kg
h <sub>vsat</sub>	Entalpía de vapor saturado a T <sub>ref</sub>	kJ / kg
W <sub>f</sub>	Flujo de combustible	kg / s

Pérdidas de energía por el vapor de atomización:  $L_z * 100 / (H_f + B)$  %

#### Pérdidas de energía por radiación y convección

L<sub>r</sub> = Pérdidas de energía por radiación y convección (%)  
 (Valor leído de la gráfica del anexo)

#### Pérdidas de energía no determinadas

L<sub>i</sub> = Pérdidas de energía no determinadas proporcionada por el fabricante, en hoja de diseño.

Condición	Pérdidas de energía estimada*
Combustibles líquidos y gaseosos	1.0 %
Combustibles sólidos	1.5 %

#### Porcentaje de pérdidas de energía en el generador de vapor

Pérdidas por gases de combustión	$L_g * 100 / (H_f + B)$	%
Pérdidas por la formación de CO	$L_{co} * 100 / (H_f + B)$	%
Pérdidas por la humedad producto de la combustión del H <sub>2</sub>	$L_h * 100 / (H_f + B)$	%
Pérdidas por la humedad del aire	$L_{ma} * 100 / (H_f + B)$	%
Pérdidas por la humedad en el combustible	$L_{mf} * 100 / (H_f + B)$	%
Pérdidas por el calor en el vapor de atomización	$L_z * 100 / (H_f + B)$	%
Pérdidas por radiación y convección	$L_r * 100 / (H_f + B)$	%
Pérdidas no determinadas	$L_i * 100 / (H_f + B)$	%

$$L = L_g + L_{co} + L_h + L_{ma} + L_{mf} + L_z + L_r + L_i$$

En donde:

L Pérdidas totales de energía en la caldera (%)



**Eficiencia de la caldera por el Método de Pérdidas:**

$$\text{Eficiencia (Método de pérdidas } n_p) = 100 - \text{Pérdidas totales de energía en la caldera} \\ = 100 - (L / (H_f + B)) * 100$$

**Cálculo de la eficiencia****Método de entradas y salidas (Método Directo):**

A continuación, se presenta la memoria de cálculo para determinar la eficiencia de operación de la caldera, por el método de entradas y salidas (de energía), la cual se determina por la siguiente ecuación.

$$\text{Eficiencia } (n_{e-s}) = (\text{energía aprovechada en el vapor} / \text{energía de entrada}) * 100$$

$$(\text{Método de entradas y salidas}) = W_{va} * (h_{pv} - h_{aa}) / (W_f * (H_f + B)) * 100$$

En donde:

$n_{e-s}$	Eficiencia de la caldera, por el método de entradas y salidas	%
$W_{va}$	Flujo del vapor de salida	kg / s
$H_{va}$	Entalpía del vapor de salida	kJ / kg
$H_{aa}$	Entalpía del agua de alimentación (de entrada)	kJ / kg
$B$	Créditos (energía de los créditos) de entrada	kJ / kg
$H_f$	Energía suministrada con el combustible de entrada	kJ / kg
$W_f$	Flujo de combustible de entrada	kg / s



## ANEXO VII MEMORIA DE CÁLCULO DE AISLAMIENTO

### Método de cálculo de la pérdida de energía a través del aislamiento

Se indican algunas ecuaciones generales para el cálculo de dos casos:

1. Para una pared plana, con una sola capa de aislamiento.
2. Para una tubería con una sola capa de aislamiento.

A continuación, se presentan algunas ecuaciones utilizadas para calcular la densidad de flujo térmico; presentadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014, Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 2014.

**TABLA 14. VARIABLES DEL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO**

Símbolo	Variable	Unidades
A	Área	m <sup>2</sup>
Ar	factor de temperatura	K <sup>3</sup>
C´	parámetro de espesor	m
Cr	coeficiente radiación	W / m <sup>2</sup> . K <sup>4</sup>
Cp	calor específico a presión constante	kJ / kg. K
D	Diámetro	mm
D	Espesor	mm
H	Altura	m
h	coeficiente de superficie de transferencia térmica	W / m <sup>2</sup> . K
l	Longitud	m
m	Massa	kg
	flujo másico	kg / h
P	Perímetro	m
q	densidad de flujo térmico	W / m <sup>2</sup>
qd	densidad lineal de flujo térmico para ductos	W / m
ql	densidad lineal de flujo térmico	W / m
R	resistencia térmica	m <sup>2</sup> . K / W
Rd	resistencia térmica lineal para ductos	m . K / W
Rl	resistencia térmica lineal	m . K / W
Rle	resistencia térmica lineal para superficies	m . K / W
RS	resistencia de la superficie de transferencia térmica	m <sup>2</sup> . K / W
Rsph	resistencia térmica para una esfera hueca	K / W
tfr	tiempo congelación	h
tv	tiempo de enfriamiento	h
tWP	tiempo donde comienza la congelación	h
T	temperatura termodinámica	K
U	transmitancia térmica	W / m <sup>2</sup> . K
Ul	transmitancia térmica lineal	W / m . K
Usph	transmisión térmica para una esfera hueca	W / K
UB	transmisión térmica de puentes térmicos	W / m <sup>2</sup> . K
UB	término adicional, correspondiente o relativo a la instalación y/o relativamente irregular del aislamiento de los puentes térmicos.	W / m <sup>2</sup> . K
UT	transmitancia térmica total para una pared plana	W / m <sup>2</sup> . K
UT,l	transmitancia térmica lineal total	W / m . K
UT,sph	transmitancia térmica total para una esfera hueca	W / K
v	velocidad del aire	m / s
z, y	factores de corrección para aislamientos irregulares de puentes térmicos	-





$z^*, y^*$	factores de corrección para la instalación de puentes térmicos	-
	coeficiente de caída de temperatura longitudinal	$m^{-1}$
$\tau$	coeficiente de tiempo de enfriamiento	$h^{-1}$
$h_{fr}$	entalpía específica del calor latente de congelación	$kJ / kg$
$E$	emisividad	-
	caudal térmico	$W$
	conductividad térmica de diseño	$W / m \cdot K$
$d$	conductividad térmica declarada o manifestada	$W / m \cdot K$
	temperatura Celsius	$^{\circ}C$
	diferencial de temperatura	$K$
	densidad	$kg / m^3$
	humedad relativa	$\%$
	constante de Stefan-Boltzmann	$W / m^2 K^4$

La densidad de flujo térmico,  $q$ , para una pared plana en la dirección,  $x$ , se calcula con la ecuación (1):

$$q = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \quad (1)$$

Para una sola capa, se calcula con las ecuaciones (2) y (3):

$$q = \frac{\lambda}{d} (\theta_{si} - \theta_{se}) \quad (2)$$

$$q = \left( \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R} \right) \quad (3)$$

Donde:

$\lambda$  = Conductividad térmica de diseño del aislamiento

$d$  = Espesor de la pared plana

$\theta_{si}$  = Temperatura de la superficie interna

$\theta_{se}$  = Temperatura de la superficie externa

$R$  = Resistencia térmica de la pared

La densidad lineal de flujo térmico,  $q_1$ , de un cilindro hueco con una sola capa, se calcula con la ecuación (6):

$$q_1 = \left( \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_1} \right) \quad (6)$$

Coeficiente de superficie de transferencia térmica

En general, el coeficiente de superficie de transferencia térmica,  $h$ , se calcula con la ecuación (17):

$$h = h_r + h_{cv} \quad (17)$$

Resistencia de la superficie externa

Para paredes planas, la resistencia de la superficie,  $R_{se}$ , se calcula con la ecuación (32):

$$R_{se} = \frac{1}{h_{se}} \quad (32)$$



Para aislamiento de tuberías, la resistencia térmica lineal de superficie,  $R_{ie}$ , se calcula con la ecuación (33):

$$R_{ie} = \frac{1}{h_{se}\pi D_e} \quad (6)$$

Transmitancia térmica

La transmitancia térmica,  $U$ , se calcula con la ecuación (35):

$$U = \frac{q}{\theta_i - \theta_a} \quad (35)$$

Donde:

$\theta_a =$  Temperatura ambiente externa

$\theta_i =$  Temperatura del aire interna a la pared plana o a la temperatura interna media para tuberías, ductos y recipientes

Para paredes planas, la transmitancia térmica,  $U$ , se calcula con la ecuación (36):

$$\begin{aligned} \frac{1}{U} &= \frac{1}{h_i} + R + \frac{1}{h_{se}} \\ &= R_{si} + R + R_{se} \\ &= R_T \end{aligned} \quad (36)$$

Para aislamiento de tuberías, la transmitancia térmica lineal,  $U_I$ , se calcula con la ecuación (37):

$$\begin{aligned} \frac{1}{U_I} &= \frac{1}{h_i\pi D_i} + R_I + \frac{1}{h_{se}\pi D_e} \\ &= R_{Ii} + R_I + R_{Ie} \\ &= R_{T,I} \end{aligned} \quad (37)$$

Determinación de la transmitancia térmica total

Para paredes planas, la transmitancia total,  $U_T$  se calcula con la ecuación (40)

$$U_T = U + D_{UB} \quad (40)$$

$$U_{T1} = U_I + D_{UB1}$$

**Nota:**

Para contar con la memoria de cálculo completa, favor de consultar) la ISO 12241:2008, *Thermal Insulation for Building Equipment and Industrial Installations Calculation Rules* (Aislamiento Térmico para la Construcción de Equipos e Instalaciones Industriales - Reglas de Cálculo de referencia).



## ANEXO VIII MEMORIA DE CÁLCULO DE FUGAS DE VAPOR EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y EN TRAMPAS DE VAPOR

Estimación de las fugas de vapor:

En las líneas de distribución y en trampas de vapor

Previamente al seguimiento de este método, se debe de haber realizado el diagnóstico energético.

Se presenta el cálculo para la estimación del vapor que se fuga en las líneas de distribución y en trampas de vapor.

La Conuee proporciona la descripción detallada del método y tiene los programas para estimar el vapor que se fuga en las líneas de distribución y en trampas de vapor.

### Estimación de la fuga de vapor

El flujo de vapor que se fuga a través de las líneas de distribución o por una trampa de vapor en malas condiciones, se puede estimar de la forma siguiente:

$$W_{vf} = k * \pi * (D_{tub}/10)^2 * \{2 * g_c * 100 * (p_{vap} - p_{atm}) * \rho / 1 \times 10^6\}^{0.5} * \{\beta^2 / 4\}$$

En donde:

$W_{vf}$	Vapor que se fuga	kg/s
$K$	Coefficiente de orificio	adimensional
$\pi$	Constante	adimensional
$D_{tub}$	Diámetro de la línea de vapor	mm
$g_c$	Factor de conversión gravitacional	N/kgf
$P_{vap}$	Presión manométrica del vapor en la línea	kg/cm <sup>2</sup>
$P_{atm}$	Presión atmosférica	kg/cm <sup>2</sup>
$\rho$	Densidad del vapor	kg/cm <sup>3</sup>
$D_{orif}$	Diámetro del orificio de la fuga	mm
$\beta$	$D_{orif}/D_{tub}$	adimensional

### Estimación del calor perdido

La energía perdida por la fuga a través de las líneas de distribución o por una trampa de vapor en malas condiciones, se puede estimar de la forma siguiente:

$$Q_f = W_{vf} \times \Delta h_v \quad \text{kJ/s}$$

En donde:

$Q_f$	Calor perdido	kJ/s
$W_{vf}$	Vapor que se fuga	kg/s
$\Delta h_v$	Entalpía de vapor en la línea ( $h_{vf} - h_{aa}$ )	kJ/kg
$h_{vf}$	Entalpía del vapor fugado a las condiciones del sistema	kJ/kg
$h_{aa}$	Entalpía del agua a las condiciones que se alimenta al sistema de generación de vapor (P,T)	kJ/kg



---

## **ANEXO IX PROGRAMAS DE EVALUACIÓN**

### **IX.1 EN CALDERAS**

Se debe de contar con una herramienta de evaluación energética de la eficiencia de la caldera, con la finalidad de evaluar y conocer la situación actual del generador de vapor, que nos proporcionará la eficiencia actual del sistema, así como las pérdidas que se tienen en este y la cuantificación de ellas, con el fin de que la empresa pueda conocer los potenciales de ahorro en el generador de vapor.

### **IX.2 EN AISLAMIENTO**

Igualmente, se debe de tener una herramienta de evaluación de la pérdida, que calcule la máxima transferencia de calor permisible por pérdida al o del ambiente hacia el proceso de alta o baja temperatura, de acuerdo con la superficie por aislar y a la temperatura máxima de operación.

También con el programa se puede calcular el espesor requerido para un material de aislamiento usando las tablas de la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014.

### **IX.3 EN FUGAS DE VAPOR**

La herramienta que tengan debe de estimar las pérdidas de vapor que se presentan en las líneas de distribución y en trampas de vapor, y estimar el potencial de ahorro que se tendría por la reparación de las fugas de vapor.

Esta metodología desarrollada en la Conuee brinda la oportunidad para la empresa de aplicar un diagnóstico energético en el sistema de generación y distribución de vapor, para identificar áreas de oportunidad energética, brindando asimismo las recomendaciones operacionales y de inversión.



## ANEXO X BIBLIOGRAFÍA

- Luis Alfonso Molina Igartúa, Gonzálo Molina Igartúa, Centro para el Ahorro y Desarrollo Energético y Minero, S.A. (CADEM), “Manual de Eficiencia Térmica en la Industria” (Tomo I y II), Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Bilbao, España, 1984.
- Selmec, Equipos Industriales, S.A. de C.V., “Manual Selmec de Calderas Cleaver Brooks”, Sociedad Electro Mecánica, S.A. de C. V., México, 1976.
- Plauchú Lima, Alberto, “Eficiencia en calderas, Ciudad de México.
- ASME Power Test Codes, Código PTC 4-2013 de pruebas de potencia para unidades de generación de vapor.
- Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-ENERG-1995, Eficiencia térmica de calderas paquete.
- Norma Oficial Mexicana NOM-012-ENER-1996, Eficiencia térmica de calderas de baja capacidad.



# GOBIERNO DE MÉXICO



## COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

Av. Revolución 1877, Loreto,  
Álvaro Obregón, CP 01090, CDMX



[gob.mx/conuee](https://gob.mx/conuee)