

01127
27



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

a la Dirección General de Bibliotecas
y difundir en formato electrónico e impreso
el producto de mi trabajo "recepción"
NOMBRE: Sanchez Plata
Raúl Alfonso
FECHA: 9-Julio-2003
LUGAR: Quilón

“AUDITORIA ENERGÉTICA DEL
SUBSISTEMA DE GENERADORES DE
VAPOR DEL SISTEMA DE AIRE
ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN DE LA
TORRE EJECUTIVA DE PEMEX ”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO
P R E S E N T A:
RAÚL ALFONSO SÁNCHEZ PLATA



ASESOR: M.I. VICENTE G. LÓPEZ FERNÁNDEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MÉXICO, D.F.

2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICO ESTA TESIS:

A MI PAPÁ, POR SER MI APOYO EN TODO MOMENTO, POR GUIARME EN EL CAMINO DE LA VIDA.

A MI MAMÁ, POR MOTIVARME A SEGUIR ADELANTE, A SER HOMBRE DE BIEN.

A MI HERMANO RUBÉN, DONDE QUIERA QUE ESTE, POR COMPARTIR NUESTRAS VIDAS, MOMENTOS ALEGRES Y POR LOS TRISTES. A MIS HERMANOS HUGO Y VANESSA

A OLGA POR SER PARTE IMPORTANTE DE MI VIDA, POR ESTAR A MI LADO EN LOS MOMENTOS DIFÍCILES, POR DARMÉ SU MANO PARA SEGUIR ADELANTE EN LOS MOMENTOS TRISTES.

AL ING VICENTE G. LÓPEZ FERNÁNDEZ, POR GUIARME EN LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO, QUE SIN SU APOYO NO SE HABRÍA REALIZADO.

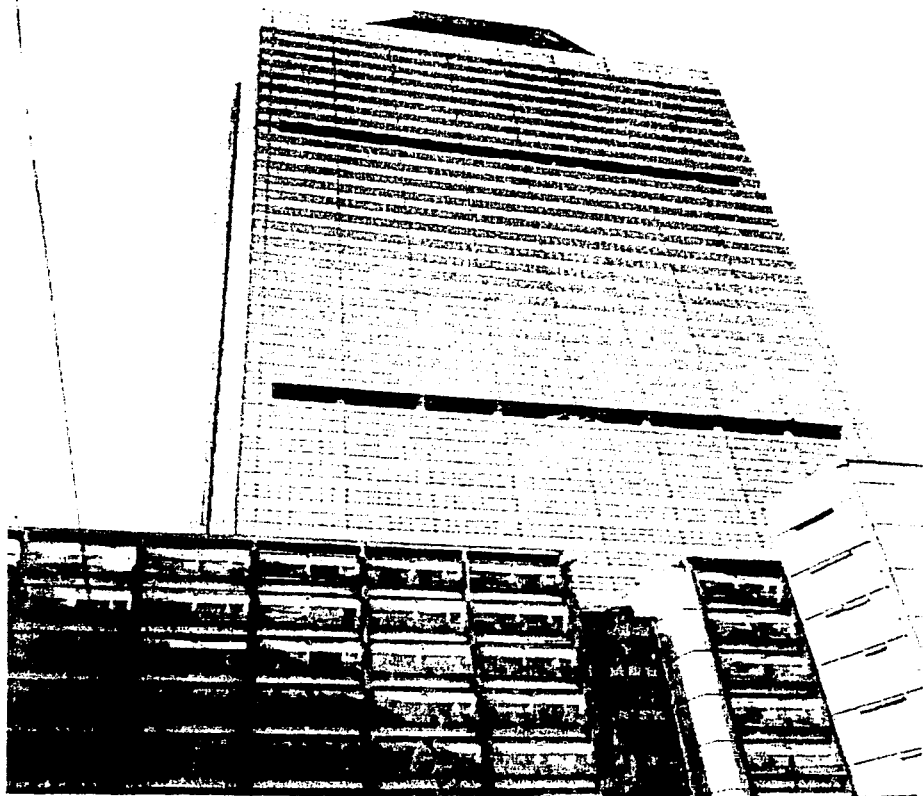
AL ING. J. ALBERTO SÁNCHEZ, AL ING HUMBERTO SANDOVAL POR LAS APORTACIONES REALIZADAS PARA LA CONCLUSIÓN DE ESTA TESIS.

A MIS AMIGOS ENRIQUE, PRUDENCIO, MARGARITO, ANGEL, POR LA COLABORACIÓN EN EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO.

B

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

AUDITORIA ENERGÉTICA DEL
SUBSISTEMA DE GENERADORES DE
VAPOR DEL SISTEMA DE AIRE
ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN
DE LA TORRE EJECUTIVA DE PEMEX.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

C

OBJETIVO

OBJETIVO.

Presentar la metodología básica, para desarrollar una Auditoría Energética (Diagnóstico Energético) de un sistema de generación de vapor, siendo objeto de la aplicación de dicha metodología el subsistema de generación de vapor del sistema de aire acondicionado por absorción de la torre Ejecutiva de PEMEX, logrando un proceso energéticamente más eficiente y económicamente más rentable.

D

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE

	Pag.
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	
Antecedentes	1
CAPITULO II LA AUDITORIA ENERGÉTICA	
2.1 Definición del concepto Auditoria energética.	3
2.2 Objetivo de la Auditoria energética	4
2.3 Administración de la Energía y la Auditoria Energética	7
2.4 Análisis del uso eficiente de la Energía.	8
2.5 Determinación de las posibilidades de Ahorrar Energía.	10
2.6 Evaluación de las posibilidades de Ahorrar Energía.	12
2.7 Presentación de Resultados de una Auditoria Energética.	13
2.8 Metodología para una Auditoria Energética.	14
CAPITULO III GENERADORES DE VAPOR TIPO PAQUETE	
3.1 Antecedentes.	17
3.2 Principio de Combustión.	20
3.3 Tipos de Generadores de Vapor	26
3.4 Tratamiento de Agua para Generadores de Vapor tipo paquete.	32
CAPITULO IV METODOLOGÍA PARA LA AUDITORIA ENERGÉTICA APLICADA A GENERADORES DE VAPOR TIPO PAQUETE	
4.1 Obtención de datos.	37
4.2 Análisis de datos.	62
4.3 Resultados.	63
CAPITULO V AUDITORIA ENERGÉTICA APLICADA AL SUBSISTEMA DE GENERADORES DE VAPOR TIPO PAQUETE DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN DE LA TORRE EJECUTIVA DE PEMEX	
5.1 Metodología para la Auditoria Energética aplicada al subsistema de generadores de vapor tipo paquete ubicados en el cuarto de máquinas en la Unidad de Servicios Integrados Centro Administrativo (USICA) exbúfalo, PEMEX.	65
5.2 Análisis de Datos.	79
5.3 Resultados y Conclusiones.	82

E



BIBLIOGRAFÍA
GLOSARIO

87
88

ANEXOS

91

- TABLA A.1 Constantes termodinámicas para algunas sustancias
TABLA A-2 Análisis de la combustión completa del Fuel Oil 1
TABLA A-3 Análisis de la combustión completa del Fuel Oil 2
TABLA A-4 Análisis de la combustión completa del gasóleo
TABLA A-5 Análisis de la combustión completa del gas natural
TABLA A-6 Análisis de la combustión completa del propano
TABLA A-7 Entalpía de gases(kcal/kg de gases) para combustibles líquidos (Fuel Oil 1,2 y Gasóleo C)
TABLA A-8 Entalpía de gases(kcal/kg de gases) para combustibles gaseosos(Gas Natural)
Pérdidas en tuberías revestidas de COQUILLA 315, COQUILLA 315M
TABLA C-1 Propiedades del vapor de agua
TABLA D-1 Algunas propiedades físicas del aire
TABLA D-2 Entalpía de aire saturado (kcal/kg aire saturado)
TABLA D-3 Calor específico del aire a presiones elevadas (kcal/kg°C)
TABLA E-1 Pérdidas de calor en depósitos de eje vertical.
TABLA E.2 Pérdidas de calor en depósitos de eje horizontal
Pérdidas por conducción y radiación en función de la máxima carga continua de una caldera
Diagrama de Mollier
Diagrama viscosidad - temperatura
Pérdidas en tuberías revestidas de COQUILLA 315, COQUILLA 315M
Abaco de coeficientes de conductividad. MANTA 322 densidad de 70kg.
Apéndice A. Principio de funcionamiento de Enfriadores de Agua por Absorción
Apéndice B. NOM-002-ENER-1995. Eficiencia Térmica de Calderas Paquete Especificaciones y métodos de Prueba.

F

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN.

Sin duda alguna, la energía es la fuerza que mueve al mundo de la industria. Por eso es importante saber como emplearla de una manera responsable. Sólo aquellos que hacen el mejor uso de la energía pueden prosperar en un mundo en el que la crisis de los energéticos, el alto costo de la energía y las futuras fuentes de obtención son temas de uso común. En la industria moderna, el ahorro de energía es una de las claves para abatir costos y poder competir en el ámbito mundial en una economía cada vez más globalizada.

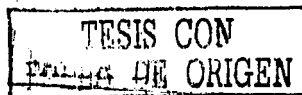
La actual crisis económica que enfrentamos ha tenido repercusiones a nivel macroeconómico del país como a nivel microeconómico de la empresa. Como una medida de ajuste económico, el gobierno federal incrementó los costos de los energéticos, con lo cual las empresas están viendo cómo el costo de la energía primaria representa cada vez más una parte importante del costo de producción.

Por lo anterior, se vuelve un objetivo fundamental de la planta productiva del país lograr una utilización más racional de la energía, reduciendo el consumo y mejorando la eficiencia energética del proceso con una más adecuada relación entre consumo y producción de bienes y servicios.

La industria mexicana emplea porcentajes significativos de energía eléctrica. Con el fin de apoyar a las industrias con mayores consumos de energía eléctrica, la Secretaría de Energía creó la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE)

Para enfatizar la importancia del ahorro energético, esta Comisión constituyó el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Prevención y Uso Racional de los Recursos Energéticos, este Comité es el organismo encargado de la elaboración de las Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética.

Por lo tanto en la actualidad se deben realizar a conciencia los métodos de Evaluación y diagnóstico de generadores de vapor para incrementar su disponibilidad y vida útil; así como el desarrollo de guías, normas y metodologías de ahorro de energía en instalaciones y procesos.



Un proyecto de ahorro de energía incluye la auditoría energética, que permita realizar en forma efectiva la medición de diferentes parámetros y su análisis. De igual manera, el conocimiento de equipos y nuevas tecnologías es vital para este quehacer. Otro punto generalmente ignorado para el ahorro de energía lo constituyen los programas de mantenimiento, tanto de equipos como de inmuebles, por lo que al no tener un mantenimiento adecuado, se desperdicia energía.

Un uso más eficiente y racional de la energía permite un mejor aprovechamiento de los recursos, tanto energéticos como económicos. Además, los procesos de producción pueden ser más competitivos, permitiendo, con una misma cantidad de energía, incrementar la producción.

Dentro de la estructura de consumo del sector industrial, hay que destacar que un porcentaje muy elevado de la energía primaria que se consume se destina a la calefacción de fluidos térmicos (agua caliente, vapor, etc.) en calderas. Calderas que en términos generales, se caracterizan por su antigüedad y bajas eficiencias.

El presente trabajo se ha realizado con el objetivo de presentar la metodología básica, necesaria para el desarrollo de una Auditoría Energética (Diagnóstico Energético) de un sistema de generación de vapor. Sirviendo este, como apoyo en la aplicación de la metodología para una Auditoría Energética en Sistemas de Generación de Vapor.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO II LA AUDITORIA ENERGÉTICA

2.1 DEFINICIÓN DEL CONCEPTO AUDITORIA ENERGÉTICA.

El término diagnóstico (auditoria) es asociado comúnmente con el área médica, definiéndose como un conjunto de signos o síntomas particulares de una enfermedad, a partir de los cuales el médico toma las medidas necesarias para combatir los agentes que la causaron. De manera análoga el "diagnóstico energético (auditoria energética)" efectúa una serie de técnicas de exploración y evaluación que permiten determinar el grado de eficiencia /deficiencia que se tiene en un sistema en el cual se manejen diferentes tipos de energías.

Tiene como base la identificación del consumo energético, que puede definirse como la respuesta a la pregunta ¿Cómo, dónde y cuanta energía es empleada o desperdiciada? En sistemas de generación de vapor, además del análisis del consumo energético se requieren los perfiles energéticos, lo cual permite establecer las áreas potenciales de ahorro de energía.

La Auditoria Energética se define como la metodología de examen (evaluación) de una instalación o sistema para identificar las posibilidades de incrementar el uso eficiente de la energía (eléctrica, térmica, etc.) . El sistema puede ser una casa, un establecimiento comercial, una planta industrial u otro lugar donde se consuma energía con determinado propósito.

Las Auditorias Energéticas a menudo crean conciencia sobre el uso racional de la energía, pero su objetivo práctico es lograr procesos energéticamente eficientes y económicamente más rentables. En nuestro país, son contadas las empresas que se han sometido a una Auditoria Energética, debido a que existen dudas respecto a los beneficios obtenidos con éstas.

Un auditor puede enfrentarse a las políticas de privacidad de datos en la empresa privada, que impiden el acceso a la información general de la planta (proceso y equipo); en tales casos, el auditor puede firmar contratos de secrecía para llevar a cabo el diagnostico y convencer a la alta gerencia de la utilidad de estas auditorias. La Auditoria Energética puede dividirse por etapas, como se ilustra en la figura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

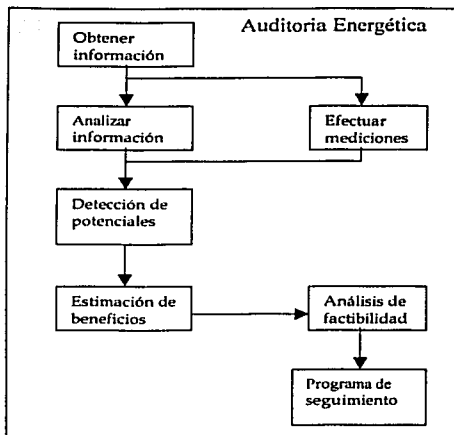


fig 3.1.1 Etapas de la Auditoría Energética

Una Auditoría Energética nos proporciona el estado energético de un equipo, proceso, una planta e incluso de la perspectiva industrial de un país.

2.2 OBJETIVO DE UNA AUDITORIA ENERGÉTICA.

El objetivo de una Auditoría Energética es determinar cuánta energía se suministra, cuánta es teóricamente necesaria, cuánta en realidad se utiliza o se transforma en trabajo y cuánta se desperdicia, detectando dónde, cómo y cuánto se consume con el fin de implantar medidas de corrección, control y comparación (con un índice de consumo energético y/o de productividad energética), que permitan el uso eficiente de la energía, abatiendo en consecuencia, el consumo de energía por producto final, y de esta manera, los costos de operación.

Para lograr dicho objetivo, el consumo óptimo de la energía resulta de una serie de estudios basados en Balances de materia, de Energía (de energía en particular), análisis entálpicos y entrópicos. El consumo de Energía óptimo también puede relacionarse con el diseño de la planta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2.1 TIPOS DE AUDITORIAS ENERGÉTICAS.

Las Auditorias Energéticas pueden ser de tres tipos:

- ↳ AUDITORIA ENERGÉTICA DE PRIMER GRADO(de Inspección)
- ↳ AUDITORIA ENERGÉTICA DE SEGUNDO GRADO(Parcial)
- ↳ AUDITORIA ENERGÉTICA DE TERCER GRADO(Completa)

Auditoria Energética de Primer Grado (de Inspección)

Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones y en el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se tienen en cada instalación. Al llevar a cabo este tipo de Auditoria se deben registrar detalles que son visibles a simple vista y que se consideran como desperdicios de energía, como pueden ser fugas de vapor, falta de aislamiento, mala combustión, equipos que operen innecesariamente, etc. En dicha Auditoria Energética no se busca realizar un estudio exhaustivo de uso de la energía, pero enfatizar las posibilidades de ahorro de energía de aplicación inmediata, además de la baja o nula inversión.

Auditoria Energética de Segundo Grado (Parcial)

Conocido también como Diagnóstico de Campo, el cual es más completo que el anterior, dado que en este se incluye información sobre el consumo de energía por cada actividad en específico, al igual que por cada equipo. Una vez obtenidos dichos datos se elaboran Balances de materia y energía, para evaluar la eficiencia con la que se usa la energía. Para poder llevar a cabo este tipo de Auditoria es importante contar con la adecuada instrumentación y control para comparar los valores de diseño y determinar las fluctuaciones en la eficiencia, sin embargo es conveniente de ser necesario poder efectuar estimaciones basadas en cálculos ingenieriles.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Auditoria Energética de Tercer Grado (Completa)

Este tipo de Auditoria Energética requiere un estudio más profundo de las condiciones de operación y una base de datos más precisa, por lo que se requiere una mejor instrumentación. En la Auditoria es común el uso de instrumentación en simuladores de proceso con el fin de analizar la interacción de proceso y equipos, así como de evaluar los efectos de los cambios de condiciones de operación en el consumo de energía.

Teniendo identificados los potenciales de ahorro energético y las fuentes de desaprovechamiento, corresponde desarrollar la etapa en la que se proponen las soluciones para corregir la problemática de pérdidas de energía, para posteriormente establecer un programa de actividades en el cual se establezcan las de carácter inmediato, mediano y largo plazo.

La aplicación de la Auditoria Energética en una variedad de sistemas, relacionados con el uso de energía, comprende el análisis que dé como resultado un aprovechamiento máximo de energía en los sistemas involucrados, así como la implantación de medidas correctivas que cuenten con los antecedentes técnicos y económicos que hagan atractivas las soluciones.

El establecimiento de indicadores es una herramienta de comparación necesaria, que permite la comparación de los consumos energéticos en sistemas que utilizan energía, esto es, si se reducen y/o se pueden reducir más, sin el cambio de condiciones de operación de los sistemas. El objetivo de una Auditoria Energética aplicada a un sistema involucrado con la energía es el examinar las condiciones existentes para detectar y eliminar fuentes de ineficiencia; dicha Auditoria Energética puede utilizarse para la preparación de programas ambiciosos de mejoramiento de la eficiencia por medio de las modificaciones en la operación y/o en la adición de equipo auxiliar para la operación más eficiente de los equipos involucrados.

La eficiencia mejorada que se obtiene de este proceso puede ser utilizada como una línea base con la cual puede compararse las posibles alteraciones en las condiciones de operación del los sistemas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.3 ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA Y AUDITORIA ENERGÉTICA

La administración de la energía es la metodología para organizar los recursos financieros, técnicos y humanos para elevar la eficiencia con la que se usa la energía en un sistema o instalación. La administración energética comúnmente abarca el llevar registros acerca del consumo de energía y el funcionamiento del equipo, optimización de las prácticas operativas, ajuste regular de maquinaria y equipo, y el reemplazo o modificación de elementos y sistemas ineficientes.

La Auditoria Energética forma parte de un programa de administración de la energía. El auditor, generalmente alguien sin nexos regulares con la instalación, inspecciona las prácticas operativas y evalúa el equipo consumidor de energía para formular recomendaciones sobre posibles mejoras. La Auditoria Energética se puede emprender, y con frecuencia así es, cuando no existe un programa formal para la administración de la energía. En instalaciones sencillas, particularmente las domésticas, un programa formal es impráctico, y en tal caso los procedimientos informales son suficientes para alterar las prácticas operativas y hacer mejoras modestas como la adición de aislamientos. En casos más complejos, la ausencia de un programa formal de administración de la energía suele ser una deficiencia grave. En tales casos, una de las recomendaciones primordiales surgidas de la Auditoria Energética será establecer un *programa de administración de energía*.

Puede variar mucho el grado de minuciosidad con que se efectúe una Auditoria Energética, pero el procedimiento básico es universal. El primer paso es recopilar datos para determinar los principales usos de la energía en la instalación. Esta información siempre comprende las facturas o cuentas por el servicio de energía, datos tomados de las placas de los equipos consumidores de energía más grandes, y programas operativos. A continuación el auditor inspecciona las instalaciones; basándose en los resultados de tal inspección, elabora una serie de medidas que se podrían aplicar para la conservación y uso de la energía, y estima tanto su costo como los ahorros anuales netos que proporcionarían tales medidas. Finalmente, el auditor presenta sus resultados a la dirección, a la gerencia o al propietario de la instalación.

El proceso de la auditoria puede ser tan simple como un recorrido seguido de un informe verbal, o tan complejo como un análisis completo, documentado con un extenso informe escrito, de todo el equipo consumidor de energía que haya en la instalación.

El éxito de una Auditoria Energética se juzga, en última instancia, por el beneficio neto resultante (valor de la energía ahorrada menos el costo de las medidas aplica-



das para ahorrar esa energía). Como el auditor rara vez está en posición de ejercer un control directo sobre las prácticas de operación y mantenimiento o sobre las decisiones de inversión, su trabajo puede ser anulado por las acciones o la inactividad de otros. A menudo las habilidades del auditor para la comunicación y las relaciones humanas así como su capacidad técnica, son esenciales para obtener buenos resultados en una Auditoría Energética. El auditor debe enfatizar, desde el inicio de su trabajo, que la administración de la energía exige un esfuerzo permanente, y que en instalaciones complejas suele necesitarse un programa formal de administración energética para obtener resultados óptimos. Prácticamente todas las visitas del auditor a una instalación se hacen en compañía de personal de mantenimiento. Estas personas por lo general son muy responsables y con frecuencia pueden proporcionar mucha información útil acerca del funcionamiento de la instalación; también son decisivas para el éxito de las disposiciones sobre conservación de energía que impliquen cambios en las prácticas de operación y mantenimiento. El auditor debe tratar al personal de mantenimiento con respeto y consideración, y evitar la actitud de "sabelotodo". Es frecuente que un auditor también deba relacionarse con gerentes sin preparación técnica. Estas personas suelen participar en la decisión de establecer un programa formal de administración de la energía y en la asignación de capital para inversiones en ahorro energético. El auditor tendrá que hacer esfuerzos por presentar explicaciones claras de su trabajo y recomendaciones a los gerentes que carezcan de conocimientos técnicos, y evitará escrupulosamente usar tecnicismos cuando se comuniquen con ellos.

Pese a que el éxito de una Auditoría Energética puede depender en cierta medida de factores ajenos al auditor, una buena Auditoría puede producir ahorros significativos de energía. Todo auditor puede afirmar con seguridad que es posible lograr un ahorro de energía de 20% o más en instalaciones donde no se hayan emprendido esfuerzos sistemáticos para un buen aprovechamiento de la energía.

2.4 ANÁLISIS DEL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

Un planteamiento sistemático del método de Auditoría Energética requiere que se emprenda un análisis tanto de los sistemas existentes de uso de la energía como de las prácticas operativas, antes de tratar de identificar las posibilidades del ahorro energético. En el curso de una auditoría, el auditor puede pasar varias veces del análisis de las pautas existentes para el uso de la energía a la identificación de las posibilidades de ahorro: haciendo primero el análisis más simple e identificando las oportunidades obvias de ahorrar energía; efectuando luego análisis más complejos, y así sucesivamente. Esta estrategia puede ser particularmente provechosa si es posible conducir la Auditoría Energética durante un tiempo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

bastante largo para poner en práctica algunas de las primeras recomendaciones del auditor. Los ahorros resultantes pueden aumentar enormemente la credibilidad de la gerencia o de los operadores de la instalación hacia el auditor.

El tiempo dedicado a analizar el uso de la energía podrá variar, pero incluso en una Auditoría Energética el auditor querrá examinar registros del consumo energético. Estos registros pueden servir para comparar la eficiencia de una instalación con la de instalaciones similares. El examen de las variaciones estacionales en el consumo de energía puede dar un indicio acerca de las fracciones del consumo destinadas a la calefacción y al enfriamiento ambiental. Los registros mencionados también son útiles para determinar la eficacia de los esfuerzos anteriores por conservar energía.

En un sorprendente número de instalaciones, los registros del citado consumo están incompletos. Con frecuencia se llevan registros de los costos de la energía consumida, pero no de las cantidades. Durante los periodos de constante ascenso de precios, es difícil evaluar el aprovechamiento de la energía con esos registros. Antes de visitar una instalación para hacer una Auditoría Energética, el auditor debe solicitar que se recopilen registros completos, y, si no hay datos disponibles, sugerir que se consigan con los proveedores. Una buena práctica para llevar registros forma parte esencial de todo programa de administración energética. Dichos datos registrados son especialmente importantes si se efectúan cambios en las actividades de operación y mantenimiento, ya que dichas modificaciones son fácilmente reversibles y a menudo requieren de un seguimiento cuidadoso para impedir un retroceso a las prácticas anteriores.

Al analizar el uso de la energía en una instalación o sistema, el auditor quizá dirija su atención a los sistemas que utilizan más energía. En plantas industriales estos sistemas por lo general abarcarán procesos de producción, como los de secado, destilación o forja. La realización de una buena Auditoría Energética en una instalación industrial requiere un conocimiento considerable de los procesos que se aplican.

Aunque hay algunos principios generales propios para todos los tipos de planta, la Auditoría Energética en la industria generalmente es una actividad muy especializada. La Auditoría Energética para el caso de sistemas domésticos o residenciales se encuentra en el otro extremo de especialización. Debido a que en una residencia se usa relativamente poca energía, deben utilizarse procedimientos de Auditoría Energética sumamente estandarizados para mantener el costo de la Auditoría Energética inferior al valor de los ahorros energéticos potenciales, los procedimientos estandarizados hacen posible que las Auditorías Energéticas sean efectuadas con rapidez por técnicos relativamente poco calificados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Un punto muy importante que debe considerar el auditor son las prácticas de mantenimiento. Tal examen usualmente se inicia determinando si se sigue un programa de mantenimiento preventivo (MP) o no. La aplicación de un programa así puede revelar mucho acerca de la efectividad de las prácticas al examinar los registros de MP.

El establecimiento de un plan de MP como parte del programa de administración de la energía es una recomendación que suele surgir de la Auditoria Energética. Las áreas importantes en el mantenimiento de un sistema que involucra el uso de energía, incluyen elementos auxiliares, controles, etc para un buen desempeño y un máximo aprovechamiento de la energía disponible.

El procedimiento de investigar primero las prácticas de operación y mantenimiento, y luego medir el rendimiento del sistema, normalmente es apropiado para cualquier sistema que involucre la utilización de energía .

2.5 DETERMINACION DE LAS POSIBILIDADES DE AHORRAR ENERGÍA

En casi todas las instalaciones puede descubrirse un numero sorprendentemente grande de oportunidades para ahorrar energía, que varían desde las obvias, como el uso de apagadores, hasta sistemas que implican avanzadas tecnologías de conversión energética. La identificación de maneras de ahorrar energía requiere imaginación e ingenio, así como de un sólido conocimiento de los principios técnicos.

La labor del auditor consiste en encontrar modos de *eliminar tareas innecesarias que consumen energía y minimizar el trabajo requerido para realizar las tareas necesarias.*

Algunas estrategias que se pueden aplicar para eliminar tareas innecesarias son mejores controles, eliminación de fugas y diversas modificaciones al sistema. Tomando la climatización como ejemplo, es necesario brindar un ambiente o clima interior confortable a los ocupantes del edificio, pero no suele ser necesario climatizar un edificio cuando está desocupado, calentar o enfriar los alrededores de éste y mucho menos enfriar el aire del edificio si el aire externo es más frío. Los interruptores de tiempo o reguladores horarios pueden desactivar el equipo climatizador cuando un edificio queda desocupado; las fugas o infiltraciones de calor en un edificio se pueden evitar usando aislamiento, y la modificación del sistema de CVAA para agregar un economizador al acondicionador de aire puede eliminar la necesidad de enfriar el aire interno cuando el ambiente exterior es más frío.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El método de exergía en el análisis de sistemas energéticos, contiene procedimientos para analizar la mínima cantidad de trabajo requerida para efectuar ciertas tareas. Aunque el mínimo teórico no se puede alcanzar en la práctica, un análisis desde esta perspectiva puede revelar operaciones ineficientes e indicar dónde podría haber oportunidades para efectuar mejoras significativas. Las estrategias dirigidas a minimizar el trabajo requerido para tareas necesarias incluyen recuperación de calor, mayor eficiencia en la conversión de energía y diversas modificaciones al sistema. Las estrategias de recuperación de calor varían desde complejos sistemas para generar energía eléctrica o térmica, hasta simples termocambiadores que se pueden usar para calentar agua con el calor de desecho del equipo.

No hay un método fijo para descubrir todas las posibilidades de ahorro de energía en una instalación. El enfoque más común es revisar listas de medidas de conservación energética que hayan sido aplicadas en otros sitios, para ver si son aplicables en la instalación donde se hace el diagnóstico. Se han compilado muchas de estas listas. Sin embargo, aun cuando las listas de medidas son útiles, no pueden sustituir una planificación inteligente y creativa. Las recomendaciones del auditor energético necesitan ser adaptables a la instalación, ya que las mejores medidas de la conservación energética suelen incluir elementos novedosos.

Durante el proceso de identificación de oportunidades de ahorro de energía, el auditor debe concentrarse primero en las medidas de conservación sin inversión. Se debe estimar el potencial de ahorro de estas medidas antes de evaluar otras con inversión. Luego se podrán hacer estimaciones del potencial de ahorro de las medidas con inversión, a partir del menor nivel de consumo energético que resultaría al implementar las medidas sin inversión. Aunque esto parece obvio, ha habido numerosas ocasiones en las que se han aplicado medidas con inversión, pero se han omitido alternativas más sencillas y sin inversión.

2.5.1 AHORRO DE ENERGÍA SIN INVERSIÓN.

Las medidas sin inversión para el ahorro de energía incluyen desactivar el equipo eléctrico cuando no se necesita, reducir los servicios de alumbrado y climatización hasta los niveles recomendados, reprogramar las operaciones que consumen mucha electricidad para realizarlas en horas de poca demanda, ajustar apropiadamente los controles del equipo y dar mantenimiento con regularidad. Estas medidas se pueden iniciar de inmediato, pero sus beneficios usualmente

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

dependen de un esfuerzo permanente. Para garantizar buenos resultados, se necesita un programa de administración energética que asigne las responsabilidades de mantener estas medidas sin inversión y de vigilar su eficacia. Por otra parte se necesita de un programa de Mantenimiento Preventivo (MP) para garantizar que los sistemas consumidores de energía operen eficientemente.

2.5.2 MEDIDAS CON INVERSIÓN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA.

Las más importantes adiciones, modificaciones o reemplazos de equipo consumidor de energía usualmente requieren de montos significativos de capital. Por consiguiente, estas medidas se someten a un escrutinio más minucioso antes de que la gerencia decida aplicarlas. Aunque el enfoque fundamental de eliminar tareas innecesarias y minimizar el trabajo que requieren las necesarias siga vigente, el auditor debe dedicar mucha más atención a las tareas de estimar costos y ahorros cuando considere las medidas de mayor inversión para el ahorro de energía.

2.6 EVALUACIÓN DE LAS POSIBILIDADES DE AHORRAR ENERGÍA

La evaluación del auditor acerca de las posibilidades de ahorrar energía debe empezar con una consideración cuidadosa de los efectos que pudieran tener en una instalación las medidas de conservación energética sobre la seguridad, salud, bienestar y productividad. Se debe hacer un esfuerzo serio por solicitar información del personal conocedor y de aquellos que tengan experiencia en medidas de conservación aplicadas en lugares similares. Para medidas de conservación energética que no interfieran con la actividad central de una instalación ni afecten la salud y seguridad de sus ocupantes, el factor que determina la acción es el mérito financiero de la medida en cuestión.

La mayor parte de las decisiones concernientes a la implementación de una medida de conservación de energía se basa en la evaluación que hace el auditor de los ahorros monetarios anuales y del monto inicial de inversión (si la hubiera) relacionados con la medida. Así, la estimación del costo de las medidas de conservación energética y de los ahorros resultantes es una parte sumamente importante del trabajo analítico que implica la Auditoría Energética.

Cuando se identifica por primera vez una oportunidad de conservación energética, el auditor debe hacer una estimación aproximada de los costos y ahorros para evaluar la utilidad de una investigación más amplia. Con frecuencia se puede obtener una estimación preliminar del costo de implementación de una medida

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

consultando a un contratista o proveedor local que tenga experiencia en el tipo de equipo que implica la medida.

Al hacer estimaciones preliminares de los ahorros monetarios anuales que producirá una medida, pueden aplicarse criterios simplificativos para estimar ahorros energéticos. Si se justifica un análisis más profundo de la medida, puede elaborarse una estimación más precisa del costo de implementación preparando una especificación clara y completa de la medida y obteniendo cotizaciones de contratistas o proveedores con experiencia. Al estimar ahorros se deberá ser cuidadoso al calcular el efecto de la medida sobre el uso de la energía, empleando datos confiables acerca de programas operativos, temperaturas, intensidades de flujo y otros parámetros.

También debe brindarse atención al efecto de la medida sobre las necesidades de mantenimiento y sobre la vida útil de los equipos, e incluir en la estimación de ahorros una cifra que represente el cambio en los costos de mano de obra o de depreciación.

2.7 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LA AUDITORIA ENERGÉTICA

La presentación efectiva de los resultados de la Auditoria Energética es fundamental para materializar los ahorros de energía. La presentación debe ser un informe para el personal de mantenimiento y para la gerencia el informe acompañado de un análisis financiero detallado. En algunos casos también podría ser necesario que el auditor redactara una solicitud a una fuente externa de financiamiento, como una dependencia gubernamental.

Los temas básicos que deben abarcar los informes son los siguientes:

1. El uso histórico de la energía en la instalación, en cantidades físicas y monetarias desglosadas por uso final.
2. Un análisis del programa existente de control energético (si lo hubiera) y recomendaciones para mejorarlo.
3. Una descripción de las medidas de conservación energética que se proponen y de los medios con los cuales se ahorrará energía.
4. El costo de aplicar las medidas y beneficios netos que recibirá anualmente la instalación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5. Cualesquiera otros efectos que tendrá la medida sobre el funcionamiento de la instalación, como cambios en las necesidades de mantenimiento o en los niveles de bienestar o comodidad.

El auditor debe estar preparado para exponer estos temas mediante explicaciones claras y acordes con los intereses y conocimientos de su público. Por ejemplo, un ejecutivo financiero podría solicitar detalles acerca de análisis de flujo de efectivo; sin embargo, el jefe de mantenimiento querrá información sobre antecedentes de confiabilidad del equipo en condiciones similares a las de su instalación. Diagramas, gráficas y fotografías podrían ayudar a explicar algunos temas, pero deben usarse moderadamente para evitar que los destinatarios se sientan abrumados con detalles de menor importancia.

El análisis financiero será la parte más importante de un informe en el que se recomienden medidas que requieran desembolsos de capital. La complejidad del análisis variará, dependiendo del tipo de informe, desde una simple estimación del costo de implementación y de los ahorros anuales, hasta un cálculo de la tasa interna de rendimiento o del flujo de efectivo descontado.

Los tipos más complicados de cálculos implican suposiciones concernientes a los incrementos futuros en los precios del combustible y de la electricidad, tasas de interés y otros factores. Debido a que estas suposiciones dependen del criterio del auditor y pueden afectar severamente los resultados, no se deben usar análisis muy complejos en los informes, con exclusión de los índices más sencillos como tiempo de recuperación de la inversión o la rentabilidad después de impuestos. Estos métodos no implican proyecciones numerosas al futuro.

2.8 METODOLOGÍA PARA UNA AUDITORIA ENERGÉTICA.

Para efectos de análisis, se consideran sólo las cuatro etapas significativas.

Etapas 1. *INSPECCIÓN*

En esta etapa se realiza un análisis visual, que permite obtener un primer acercamiento de las condiciones de operación físicas, operacionales y de personal de la planta. El auditor se hace acompañar de una persona que conozca el funcionamiento de la planta y labore en puestos técnicos que impliquen la operación de equipos de interés para el auditor. Asimismo, se analiza el consumo histórico de energía. Estas actividades permiten evaluar las áreas susceptibles de mejora en la eficiencia energética, así como jerarquizar los equipos a monitorear de acuerdo al consumo de energía que requieren y consumen.

Etapa 2. MONITOREO

Se evalúa el funcionamiento y operación de los equipos, identificando y cuantificando los parámetros de diseño (especificaciones del proveedor) y operación de los equipos (condiciones de trabajo en planta), así como su consumo energético. Esto permite obtener el grado de desviación existente entre la operación ideal y real de los equipos, determinando si hay una sub-utilización de los mismos o si se trabajan a niveles mayores de los diseñados. En ambos casos, existirá un consumo de energía elevado, dando como consecuencia altos costos de energía.

El monitoreo se efectúa en los equipos de líneas de proceso, sistemas de refrigeración y servicios auxiliares. Se hace un registro de los datos obtenidos en planta, tales como temperaturas, presiones, capacidades, tiempos de funcionamiento, frecuencia de mantenimiento y otros. Para retornar los resultados iniciales hacia la industria involucrada e interpretar éstos de manera objetiva, generalmente se realiza una junta con los encargados del área de producción, cuarto de máquinas y mantenimiento, a fin de contrastar los datos y observaciones obtenidos en el monitoreo con la experiencia de los encargados de estas áreas.

Etapa 3. ANALISIS

Para verter los resultados obtenidos del análisis de campo realizado en el paso anterior, se preparan hojas de cálculo con el fin de validar los datos estadísticamente, convertir las unidades de energía a índices más ilustrativos y gráficos que muestren a simple vista el comportamiento de los equipos y su consumo energético. Esto da paso a la planificación y realización de un programa de ahorro energético, el cual incluye medidas tanto de carácter preventivo como correctivo.

Etapa 4. SEGUIMIENTO, CONTROL Y EVALUACIÓN

Estos tres términos son una forma de complementar e integrar el programa de ahorro de energía permitiendo una mejor administración y ahorro de la misma. El seguimiento asegura que siempre se conozca el consumo de energía de la planta; el control permite prever situaciones que pudieran afectar al sistema y la evaluación supervisa constantemente las condiciones de operación asegurando que se lleve a cabo el programa de ahorro de energía dando como resultado una reducción en los costos de producción. Si no existe un seguimiento y control adecuado, todas las acciones emprendidas en un inicio podrían no servir de nada y lo que es peor incidir en mayores consumos de energía. Otra medida no menos importante es concientizar al personal que labora en la planta para el uso racional de la energía y evitando que ésta se desperdicie, pero no sólo es ahí donde se debe

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de tener conciencia del uso de la energía, sino que los directivos y administrativos deben ser partícipes y ser los primeros en tomar estas consideraciones.

En México se cuenta con personal experimentado en la elaboración de Auditorías Energéticas, así como con una gran cantidad de equipos y paquetes de cómputo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO III

GENERADOR DE VAPOR TIPO PAQUETE.

En el capítulo siguiente se explica la Metodología de la Auditoría Energética, en dicha metodología es necesario conocer los elementos que deben examinarse para determinar sus condiciones de operación, de ser necesario replazar el accesorio si no presenta las condiciones mínimas para su operación.

He aquí la importancia de que el auditor conozca plenamente el funcionamiento en general de Generadores de Vapor, por lo que en el presente capítulo se citan los accesorios necesarios para efectuar con mayor precisión la Auditoría Energética, al mismo tiempo mostrar al personal encargado de la operación de las deficiencias existentes en los generadores de vapor tipo paquete.

3.1 ANTECEDENTES.

Calderas o generadores de vapor:

Son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria. Las calderas tienen como antecedente la Eolipila de Herón (120.a.C.).

Hasta principios del siglo XIX se usaron calderas para teñir ropas, producir vapor para limpieza, etc., hasta que Papin creó una pequeña caldera llamada "marmita". Se usó vapor para intentar mover la primera máquina homónima, la cual no funcionaba durante mucho tiempo ya que utilizaba vapor húmedo (de baja temperatura) y al calentarse ésta dejaba de producir trabajo útil.

Luego de otras experiencias, James Watt completó una máquina a vapor de funcionamiento continuo, que usó en su propia fábrica, ya que era un industrial inglés muy conocido.

Dentro de los diferentes tipos de calderas se han construido calderas para tracción, utilizadas en locomotoras para trenes tanto de carga como de pasajeros. Vemos una caldera multi-humotubular con haz de tubos amovibles, preparada para quemar carbón o lignito. El humo, es decir los gases de combustión caliente, pasa por el interior de los tubos cediendo su calor al agua que rodea a esos tubos. La

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

entrada de hombre, que se ve abierta, es la base de la chimenea, es decir la caja de humos y en la parte superior se encuentra la salida de vapor.



fig. 3.1 Caldera tipo locomóvil

Para medir la potencia de la caldera, y como dato anecdótico, Watt recurrió a medir la potencia promedio de muchos caballos, y obtuvo unos 33.000 libras-pie/min o sea 550 libras-pie/seg., valor que denominó **HORSE POWER**, potencia de un caballo. Posteriormente, al transferirlo al sistema métrico de unidades, daba algo más de 76 kg-m/seg. Pero, la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de París, resolvió redondear ese valor a 75 más fácil de simplificar, llamándolo "Caballo Vapor" en homenaje a Watt.

Las calderas acuotubulares (el agua está dentro de los tubos) eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor, para accionar las máquinas a vapor de principios de siglo XIX.

En estas calderas, los tubos longitudinales interiores se emplean para aumentar la superficie de calefacción, y están inclinados para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta, provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja. Originalmente estaban diseñadas para quemar combustible sólido.

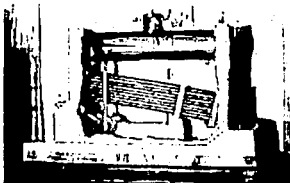


fig 3.2 Caldera acuotubular de Cornwall

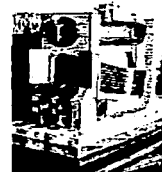


fig 3.3 Vista frontal

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se conoce como *vapor de agua* al fluido gaseoso que resulta de la vaporización del agua. La producción del vapor de agua depende de la correspondencia que exista entre dos de las características fundamentales del estado gaseoso, que son la presión y la temperatura. A cualquier temperatura, por baja que esta sea, se puede vaporizar agua, con tal que se disminuya convenientemente la presión a que se encuentre sometido dicho líquido, y también a cualquier presión puede ser vaporizada el agua, con tal que se aumente convenientemente su temperatura.

Estas calderas mixtas o intermedias, tienen tubos adosados a cajas, inclinados sobre el hogar y un colector cilíndrico grande encima, llamado *domo* o *cuerpo cilíndrico*, en donde se produce la separación del agua y el vapor. Además el vapor que se obtiene puede ser húmedo o seco, haciéndolo pasar por un sobrecalentador.

La producción de vapor de estas calderas es de unos 1500 kg/h cada una, a una presión de régimen de 13 atm. absolutas y 300 °C de temperatura. Desde su construcción estaban preparadas para quemar carbón, pero en el año 1957 el Prof. Lorenzo Lambruschini con la ayuda de sus alumnos, le incorporó ventiladores y quemadores para combustibles líquidos.

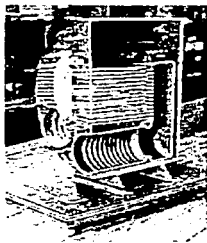


Fig. 3.4 Caldera acuotubular de Steinmüller

En general los tubos son la parte principal de la caldera, y dos o tres accesorios llamados domos, en donde se ubican las válvulas de seguridad, termómetros, tomas de vapor, entrada de agua, etc.

A lo largo de los últimos 50 años, el concepto sobre el que se basa el proyecto de los generadores de vapor, ha sufrido cambios fundamentales como consecuencia de las innumerables investigaciones que permitieron conocer los procesos de la combustión, transmisión del calor, circulación del agua y de la mezcla agua-vapor y del acondicionamiento del agua de alimentación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2 PRINCIPIO DE COMBUSTIÓN

Se llama combustión a la combinación violenta del oxígeno con combustible, resultando una liberación de calor.

La esencia de una eficiente combustión es lograr que cada molécula de combustible reaccione con una molécula de oxígeno para que libere el calor de la reacción.



fig 3.2.1. Combustión del Hidrógeno

La figura 3.2.1 ilustra la reacción de combustión del hidrógeno, donde efectivamente se combinan las proporciones correctas de estos dos gases.

Al igual que en una ensambladora de vehículos donde se combina un chasis a cuatro ruedas, en la proporción 1:4. En la combustión se busca que cada molécula de combustible se combine con las moléculas de oxígeno en una proporción específica. En la combustión cuando se introduce más oxígeno (o menos combustible) del necesario se excede la proporción de la mezcla, entonces el fuego se convierte en oxidante. El oxígeno de exceso no toma parte en el proceso e igualmente como entró, sale. Cuando se introduce menos oxígeno (o hay exceso de combustible) del necesario para la combustión el fuego se convierte en reductor. Aquí el combustible de exceso no forma parte del proceso y se arroja por la chimenea.

En la práctica el oxígeno se obtiene del aire, el cual está compuesto por: 78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno, 0.94% de Argón y el resto otros gases. Debido a que en el aire la proporción de oxígeno es mayor que la de nitrógeno, el volumen requerido de aire es mucho mayor que el requerido para oxígeno puro.

El nitrógeno del aire no participa en la reacción de combustión, es únicamente un acompañante indiferente al proceso. Aún así el nitrógeno absorbe cierta cantidad de la energía calorífica que se produce en la reacción; es decir, una porción de la energía calorífica se disipa entre las distintas moléculas de nitrógeno que formarán parte de los gases de combustión. Esto significa que se obtendrá una temperatura de llama más baja, si se utiliza aire en vez de oxígeno puro.

El mismo fenómeno se presenta si se suministra exceso de aire. En la Figura 3.2.2 se observa un diagrama del efecto del exceso de aire en la temperatura de los gases de combustión de un combustible.

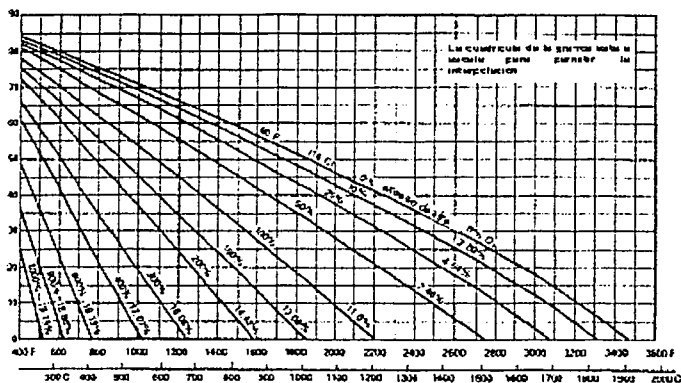


Figura 3.2.2 Efecto de exceso de aire en los productos de la combustión de un combustible.

Energía o Calor Disponible

El fenómeno de la influencia del exceso de aire en la temperatura de los productos de la combustión nos introduce al concepto de energía disponible.

La energía disponible se mide como el calor obtenido de la combustión perfecta de un combustible. Si mezclamos un combustible con la cantidad precisa de aire en una cámara cerrada donde se colecte el calor obtenido y se mida, la cantidad de calor recolectado es la energía disponible y esta se relaciona con la temperatura de los productos de la combustión. Por ejemplo 0.0283m^3 de Metano quemado con la proporción perfecta de aire genera, (2.151KJ) de energía, si los gases de combustión son enfriados hasta (288.6 K) . Este mismo 0.0283m^3 (1 pie^3), genera (1.93 KJ) de energía, si enfriamos los gases de combustión hasta (378 K) . El primer valor de energía se le conoce como poder calorífico superior, al segundo valor como poder calorífico inferior.

De lo anterior se deduce que mientras mejor aprovechemos la energía disponible de la combustión, menor será la cantidad de combustible necesario para obtenerla. De aquí que mientras más exceso de aire se introduzca (o menor la temperatura del mismo) menor será la energía que se podrá obtener.

Combustión del Gas Metano.

De manera simple la combustión del metano se puede expresar de la siguiente manera:



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El Gas Metano comercializado por tuberías es una mezcla de hidrocarburos donde el componente principal es Metano en más de un 80%. Por otra parte en un proceso industrial el oxígeno para la combustión se obtiene directamente del aire, el cual como indicamos posee en promedio, de 21% de oxígeno y el resto otros gases.

De lo anterior observamos que la reacción química de la combustión del Metano lleva consigo otras complejidades, es decir, no sólo es la reacción de metano con oxígeno; sino la combinación de todos los componentes del Gas Metano con todos los componentes del aire, donde naturalmente alguno de los acompañantes del Gas Metano y del aire no participan en la generación de calor.

En la práctica, para lograr que billones y billones de moléculas de combustible ubiquen una molécula de oxígeno entre los billones y billones de moléculas de los gases que componen el aire, se debe realizar algo más que sólo ponerlas en contacto; se necesita:

- a) Introducir constantemente la proporción adecuada.
- b) Lograr una buena mezcla.
- c) Lograr y mantener la ignición.

El control de la combustión se debe mantener con los tres puntos anteriores, en el mejor estado durante el proceso en que se requiera el calor. El desequilibrio en alguno de estos aspectos producirá una combustión ineficiente y, en ocasiones, riesgosa; con el consecuente derroche de energía.

Control del caudal de aire.

El control del aire aportado para combustión tiene gran importancia. La proporción estequiométrica correcta entre Gas Metano y aire es 1:10.5, aproximadamente. Generalmente siempre es necesario un exceso de aire para que la combustión sea completa y no se produzcan inquemados. Este exceso puede estar entre 10% al 20%, dependiendo de la sofisticación del sistema de control de combustión y el objetivo del proceso.

El control del caudal de aire, aparte de garantizar la proporción de la mezcla combustible deseada, determina de alguna manera, la temperatura de los gases de combustión y la cantidad de energía que se puede aprovechar de los mismos. En la figura 3.2.3 se observa una gráfica que muestra el efecto del exceso de aire en la energía disponible.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

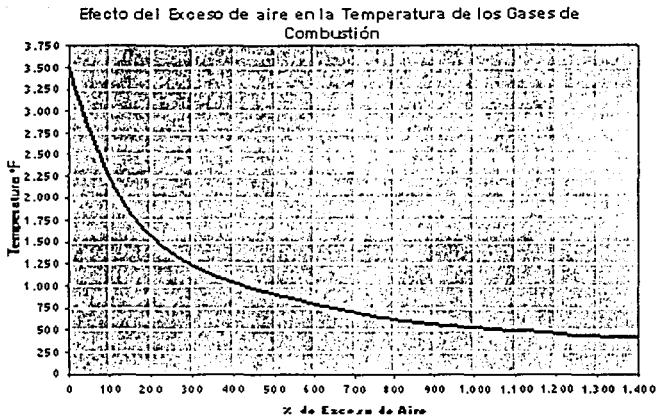


Figura 3.2.3. Efecto del exceso de aire en la Temperatura de los gases de Combustión y la Energía aprovechable

En la gráfica se observa cómo a mayor cantidad de aire, menor es la energía aprovechable. Por ejemplo la curva de 25% de exceso de aire (4.54% de O_2) tiene una temperatura a nivel de la llama de (1961 K). Si se aprovecha el calor de los gases de combustión hasta obtener una temperatura de (811 K) se habrá aprovechado un 69% de la energía disponible.

Control de mezcla en el quemador

Es claro que para ajustar los requerimientos de aire en un proceso, se debe actuar directamente sobre los elementos que actúan en la combustión, uno de estos es el quemador. Cada proceso requiere un tipo de quemador. Este quemador deberá ser más sofisticado en la medida que el proceso lo exige. Por ejemplo para calentadores de aire, donde el objetivo es incrementar la temperatura del ambiente para reducir la humedad de un producto, no es necesario mantener un control estricto del aire de exceso, por tanto un quemador tipo venturi como el indicado en la figura 3.2.4 puede ser el indicado.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

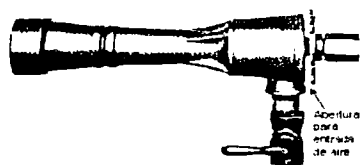


Figura 3.2.4. Quemador tipo venturi de Baja Presión

El quemador de la figura 3.2.4 sólo tiene posibilidad de ajustar la cantidad de aire con la variación de la abertura disponible para tal fin. El Gas Metano en estos quemadores ingresa previamente regulado y el efecto venturi succiona la cantidad de aire necesaria de acuerdo a la presión regulada de gas.

Para procesos más complejos, por ejemplo calderas pirotubulares, donde el quemador debe poseer un margen de operación para distintos niveles de requerimiento de energía, además de responder a ciclos de control automático de encendido y seguridad, se utilizan quemadores como el de la figura 3.2.5.

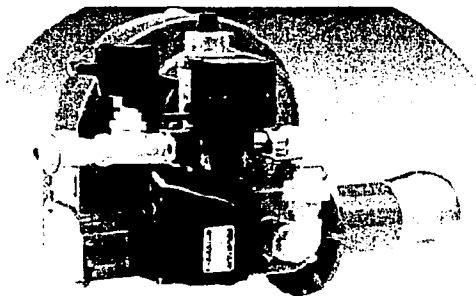


Figura 3.2.5. Quemador de Paquete Integral

El quemador ilustrado en la figura 3.2.5 posee ventilador de aire y válvula reguladora de gas, integradas en un solo cuerpo. La válvula reguladora de gas actúa de acuerdo a un programa preestablecido de encendido y responde a los

distintos escenarios de carga. Igualmente la cantidad de aire es ajustada automáticamente de acuerdo a los requerimientos puntuales del proceso.

El esquema de control de combustión de este tipo de quemadores funciona como se ilustra en la figura 3.2.6 .

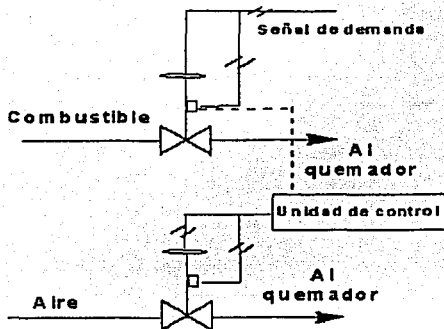


Fig 3.2.6. La unidad de control, de acuerdo con el programa preestablecido, ajusta las proporciones de aire/combustible al variar la demanda.

La exactitud en el ajuste de las proporciones aire-combustible para los quemadores con control de mezcla de acuerdo al esquema de la figura 3.2.6, dependerá del controlador y del tipo de actuador. Existen controladores de tipo electromecánico donde el ajuste de proporciones se lleva a cabo mediante un mecanismo de levas. Cada quemador posee facilidades para el ajuste de la mezcla. Estas facilidades son tan complejas como el proceso en el cual se utilizará el quemador. Los quemadores indicados anteriormente representan dos tipos muy generales. Existen variantes entre los indicados, así como una gama de opciones a elegir dependiendo de la tecnificación del proceso, el costo de la energía, las condiciones disponibles de presión e incluso algunos diseños para procesos particulares donde expresamente se desea una combustión incompleta.

Países con altos costos en la energía y fuertes presiones ambientales o procesos que requieren precisión utilizan sistemas electrónicos de control de combustión que manejan distintas señales, permiten modular la mezcla aire-combustible en función de variables como: temperatura del hogar de combustión, cantidad de O_2 emitido por las chimeneas, temperatura del aire de combustión, etc.

Consideraciones finales

El control de la combustión es fundamental para iniciar un programa de ahorro energético. Para esto una de las piezas claves a analizar es el quemador, que al mismo tiempo está ligado a las características del proceso productivo.

Para controlar la combustión primero se debe estar seguros que se utiliza el quemador que mejor se ajusta a las necesidades de uso del calor, las exigencias del mercado de nuestro producto y el costo del combustible. Después que se selecciona el quemador que armoniza con estas variables, se debe instalar los accesorios que permitan el ajuste de la mezcla, es decir: manómetros, válvulas de globo, reguladores, sistemas de levas, controladores electrónicos, etc. Para obtener el mejor desempeño de los equipos de combustión, aprovechando al máximo la energía disponible, deben ajustar los parámetros de control de aire-combustible. Para esto, dependiendo del proceso, se requerirá la calibración de los equipos por personal especializado.

Posteriormente se medirá continuamente el consumo de combustible para alertar sobre cualquier desvío que pueda presentarse por desajuste de la calibración. En conclusión, cada proceso que necesite calor requerirá de un rendimiento de la combustión particular, y para obtener el máximo beneficio de energía del combustible, tendrá que controlar la mezcla del combustible con el aire; sólo se sabrá si se está utilizando el combustible eficientemente y continuar con otras mejoras que reduzcan aún más el gasto.

3.3 TIPOS DE GENERADORES DE VAPOR.

Los sistemas generadores de vapor pueden clasificarse comúnmente de acuerdo a:

1.- Disposición de los Fluidos

1.1 Tubos de Humo(pirotubulares)

1.2 Tubos de Agua(acuotubulares)

Esta clasificación es la más común de acuerdo a la circulación de los gases de combustión respecto a la posición de tubos del generador de vapor.

3. 3 .1 ACCESORIOS DE GENERADORES DE VAPOR.

↳ *Válvula de seguridad*

La válvula de seguridad es un elementos obligatorio, impuesto por ley, que limita la presión máxima del vapor en la caldera.

Si bien puede haber varias colocadas en la misma instalación, por lo menos una de ellas debe ser tipo "a contrapeso". El contrapeso se coloca a la distancia adecuada para que su "momento estático" equivalga al momento de la fuerza efectuada por el vapor contra la válvula. Si la fuerza ejercida por la presión del vapor crea un momento mayor que el contrapeso, entonces la válvula se abre, aliviando las fuerzas creadas por el vapor, internas en la instalación.

Cada generador deberá estar provisto de 2 válvulas de seguridad, una por lo menos de las cuales será de tipo "a resorte", colocadas directamente sobre la cámara de vapor y reguladas de modo que permitan su escape, cuando la presión supere la establecida como máxima de trabajo. La sección libre de cada válvula deberá ser tal que permita el cumplimiento de las condiciones indicadas en el párrafo anterior. Serán construidas de forma tal que permitan ser fácilmente precintadas, lo que estará a cargo del personal de inspección. Una de las válvulas lo será para que funcione a una presión igual a la máxima de trabajo más un 10%. Los recalentadores de agua para la alimentación de los generadores estarán provistos de una válvula de seguridad, cuando posean aparatos de cierre, que permitan interceptar su comunicación con la caldera. Dicha válvula se precintará también a la máxima presión de trabajo de la caldera.

En todos los casos se tomarán las precauciones necesarias, para que el vapor no pueda causar accidentes al personal o a terceros.

A continuación se muestra una válvula de seguridad de tipo "a resortes".

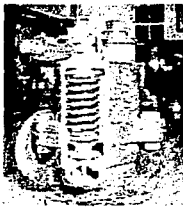


fig 3.3.1.1 Válvula de seguridad

↳ *Medición de vacío y de altas presiones*

Dada la diversidad de las presiones empleadas en las instalaciones de las calderas y de los circuitos de vapor, se emplean variados aparatos de medición.

Uno de los manómetros más empleados es el del tipo tubo de Bourdon, el cual posee un tubo de sección oval o aplastada y su perfil es de una forma parecida a un signo de interrogación (?). Cuando el vapor penetra en el tubo su presión lo hace enderezarse hasta que su resistencia elástica (reacción) sea igual a la fuerza del vapor (acción). El tubo debe ser de acero inoxidable, bronce fosforoso, etc.

El resorte antagonístico está al sólo efecto de evitar que el juego mecánico interno se refleje en molestas oscilaciones de la aguja indicadora.

Para bajas presiones, es decir vacío, la disposición es similar, aunque lógicamente con otras resistencias mecánicas.



fig 3.3.1.2 Vacuómetro



fig 3.3.1.3 Manómetro Bourdon

Cada generador de vapor debe estar provisto de un manómetro colocado a la vista del fogonero, instrumento sobre el cual estará indicado con un signo fácilmente visible, la presión máxima efectiva de trabajo.

↳ *Quemadores*

El combustible en la caldera se introduce mediante dispositivos que reciben el nombre de quemadores. En ellos se mezcla el aire atmosférico con el combustible, en realidad el oxígeno que forma parte del mismo, con el combustible que al quemarse producirá el calor, que calentará al agua produciendo el vapor. Los hay de muy variados tipos, en función del tipo de combustible primario que quema la caldera. Los más complicados son los quemadores para carbón, ya que previamente debe ser pulverizado a efectos de acelerar el quemado. Los de gas son simples en su concepción, resultando en un buen quemado de gran limpieza.

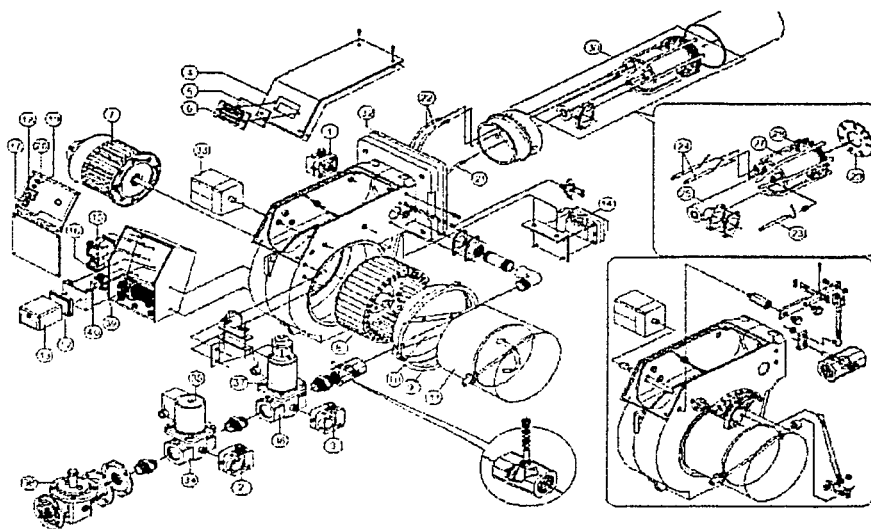


fig 3.3.1.4 Representación esquemática de los elementos de un quemador

El quemador que se muestra posteriormente, es un primitivo quemador de petróleo (no directamente, sino alguno de sus destilados). Mediante mariposas se logra la regulación del aire y de la cantidad de combustible, para producir la mezcla combustible óptima. Cuando el combustible es muy pesado, como por ejemplo el Fuel Oil, debe ser precalentado antes, para bajar su viscosidad y facilitar su atomización.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



fig. 3.3.15 Quemador de petróleo

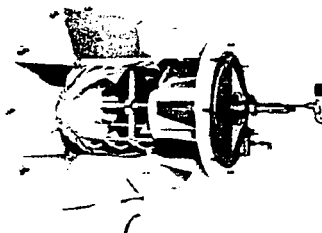


fig. 3.3.1.6 Quemador de gas

↳ Nivel de agua

Cada generador deberá estar provisto de un aparato indicador de nivel de agua en comunicación directa con el interior, de funcionamiento independiente en el caso de que exista otro, colocados a la vista del fogonero.

Este indicador deberá ser un tubo de vidrio dispuesto de modo que pueda limpiarse fácilmente o cambiarse y tenga la protección necesaria que sin impedir la vista del agua, evite la proyección de los trozos divididos en caso de rotura.

Los indicadores de nivel llevarán grabada una señal bien visible que indique el nivel mínimo de agua que contendrá la caldera. Los generadores de menos de 5m² de superficie de calefacción, podrán funcionar con un solo indicador de nivel que será del tipo de tubo de vidrio.

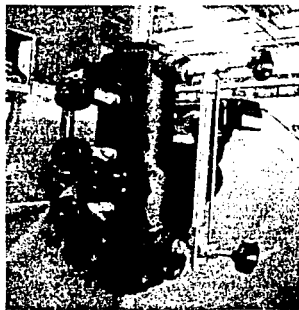


fig 3.3.1.7 Indicador de nivel

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

↳ Alimentador

Todo generador, con excepción de aquellos cuya superficie de calefacción no supere los 5m^2 (de superficie de calefacción), tendrán como mínimo 2 aparatos de alimentación de funcionamiento independiente; cada uno suficiente para proveer con exceso el agua necesaria. Uno de estos equipos deberá ser necesariamente una bomba de alimentación.

La tubería de estos equipos con el generador pueden unirse en una tubería común, debiendo colocarse una válvula de retención en la parte de unión del tubo con la caldera. Entre esta válvula y cada uno de los equipos de alimentación se colocará una llave grifo para reconocer la marcha de los mismos.

En los generadores de hasta 5m^2 de superficie de calefacción, se admitirá un solo sistema de alimentación que deberá reunir las condiciones indicadas en el presente inciso.

↳ Válvula de vapor

Cada generador estará provisto de su válvula de vapor, y en caso que diversos generadores alimenten un mismo conducto, cada uno se deberá poder independizar por medio de dispositivos de cierre hermético.

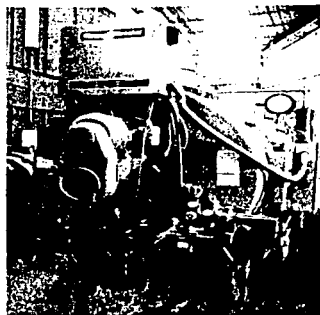


fig 3.3.1.8 Vista frontal del Generador de Vapor

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

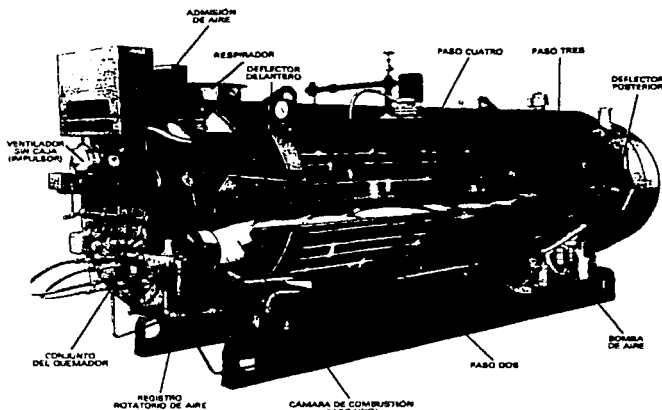


fig 3.3.1.9 Corte longitudinal de un C.V

3.4 TRATAMIENTO DE AGUA PARA GENERADORES DE VAPOR TIPO PAQUETE.

Objetivos del Tratamiento del Agua

Como se ha mencionado, el agua que servirá como alimentación para calentamiento o para la producción de vapor en calderas debe recibir un tratamiento adecuado a las características del agua disponible y las exigencias del proceso que empleará el agua caliente o el vapor producidos. Los objetivos del tratamiento se orientan precisamente a evitar las consecuencias de la presencia de las impurezas, y son los siguientes:

- Evitar incrustaciones en las superficies de transferencia de calor en el interior del caldera.
- Evitar la corrosión y picaduras por gases disueltos y ácidos.
- Evitar el arrastre.
- Evitar la fragilidad cáustica.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Características del Agua antes de ser Tratada

El agua natural a simple vista puede parecer pura y limpia, pero sometida a un análisis químico, siempre se encontrará impurezas que resultan indeseables en el agua de alimentación a una caldera.

El agua contenida en las nubes es perfectamente pura y si se pudiese disponer de ella para la producción de vapor, no habría razón para tratarla. Sin embargo, a medida que comienza a caer en forma de lluvia, a través de las capas de aire atmosférico, absorbe varios gases como oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, etc.

Posteriormente, al entrar en contacto con los suelos, disuelve sales minerales, calcio, magnesio y sodio; al transcurrir por el cauce de un río absorbe aún mayor cantidad de impurezas, materias orgánicas en descomposición, partículas de sílice y aguas contaminadas de ciudades e industrias con una variedad de materiales, que pueden mantenerse disueltos y también en suspensión.

Considerando las diferentes impurezas que contiene el agua, las cuales son de múltiples formas y características y pueden ser divididas en la siguiente forma

a) Sales Minerales en Solución

Estas consisten en bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos en forma de calcio, magnesio, sodio o potasio.

b) Sólidos en Suspensión o Turbidez

Así como las arenas, óxidos de hierro, arcilla, tierras de infusorios, etc.

c) Gases Disueltos

Como el oxígeno, el dióxido de carbono, el nitrógeno, el sulfuro de hidrógeno, metano, etc.

d) Materia Orgánica

Como microorganismos de tipo animal y vegetal, aceites, etc.

Todas las aguas naturales, sea cual fuere su procedencia, tienen algunas o todas las impurezas indicadas, por lo que al no tratar esta agua e introducirlas a la caldera nos provocarían problemas, como se indica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Problemas que ocasionan las impurezas del agua en el interior de las calderas

a) Incrustación

Las sales de calcio y magnesio, cuya presencia se identifica como dureza del agua, se quedan depositadas en las superficies de los tubos, en forma de incrustaciones, cuando el agua se evapora. Esto ocurre porque los componentes de calcio y magnesio son relativamente insolubles en agua y tienden a precipitarse; éstas incrustaciones reducen la transferencia de calor y provocan sobrecalentamiento en los tubos.

La dureza del agua natural varía desde pequeñas cantidades de calcio y magnesio hasta más de 500ppm. Las calderas de alta presión pueden tolerar sólo 0-2 ppm de dureza como carbonato de calcio.

Los sulfatos y la sílice precipitan generalmente en la superficie metálica de la caldera y no forman lodo, siendo estas incrustaciones de mayor dureza.

Para este proceso se utilizan equipos para tratamiento de agua, entre los cuales se encuentran los siguientes, filtros, suavizadores, etc; como los que se muestran a continuación:

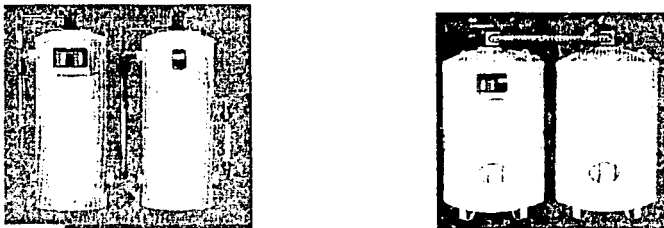
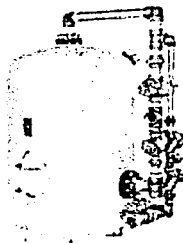


Fig. 3.4.1.1 Suavizadores para tratamiento de agua.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fig. 3.4.1.2 Filtros para tratamiento de agua



El hierro disuelto suspendido se encuentra también como depósitos en las superficies metálicas. Los compuestos de sodio se depositan sólo cuando el agua está completamente evaporada, puesto que son muy solubles.

b) Corrosión.

Los llamados gases no condensables son gases que no condensan a la temperatura normal encontrada en el agua cruda, son agentes corrosivos que invariablemente son arrastrados por el agua. El más objetable y peligroso de los gases es el oxígeno disuelto en el agua y en segundo lugar el bióxido de carbono. Las consecuencias de oxígeno disuelto en una caldera es que ataca al hierro formando hidróxido férrico. Esta corrosión se presenta como ámpulas en el material y dependiendo del tiempo que el oxígeno ataque al material, puede llegar a perforarlo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El bióxido de carbono corroe el material y muy especialmente en presencia de oxígeno disuelto. El CO_2 o bióxido de carbono combinado con el agua, forma ácido carbónico, el cual es un agente de corrosión bajo ciertas condiciones para metales féreos, aleaciones de níquel y aleaciones de cobre, ocasionalmente se presenta otro gas no condensable en el agua, llamado hidróxido de aminio o álcali, el cual si bien no corroe las partes metálicas de la caldera, si ataca las aleaciones de cobre comúnmente empleadas en válvulas, tubos y otras conexiones.

Con cierta frecuencia, llega a presentarse corrosión en las líneas de retorno de condensados, debido a la presencia de oxígeno y CO_2 . El primero se encuentra disuelto en el agua, pero también puede ser absorbido del aire con el cual entra en contacto el agua.

El tratamiento del agua de alimentación a la caldera se puede dividir en dos grandes grupos. Dependiendo de la calidad del agua de alimentación será necesario aplicar uno o varios de los procesos.

1.— Externo

- | | |
|------------------|----------------------|
| a) Filtración | e) Suavización |
| b) Sedimentación | f) Dealkalización |
| c) Coagulación | g) Desmineralización |
| d) Desaeración | j) Destilación |
- k) Tratamiento de los condensados.

2.— Interno. El tratamiento interno es utilizado para contrarrestar:

- a) Pequeñas cantidades de dureza resultantes del tratamiento externo o introducidas en el retomo de condensados.
- b) La tendencia corrosiva del agua debida a la presencia del oxígeno y bióxido de carbono.
- c) La cantidad de sales en el agua de compensación por medio de compuestos especiales para caldera.

La descripción de cada proceso de tratamiento de agua no se define por estar fuera del alcance del presente trabajo, por lo que sólo se presenta los diferentes procesos que se pueden utilizar, dependiendo de donde se suministre el agua para aporte a las calderas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO IV

METODOLOGÍA PARA LA AUDITORIA ENERGÉTICA APLICADA A GENERADORES DE VAPOR TIPO PAQUETE.

En el presente capítulo se realiza un repaso básico referente a la metodología utilizada en la aplicación de la Auditoria Energética a los Generadores de Vapor tipo paquete, teniendo en cuenta que el Auditor debe tener pleno conocimiento de las funciones que desempeña cada elemento(componente) y su importancia como parte del Generador de Vapor.

Es de gran importancia que el Auditor conozca los rangos de operación de los elementos(accesorios) para poder especificar su estado físico(condiciones de operación), considerando que su mal funcionamiento influya radicalmente en el aprovechamiento de los recursos(combustible, agua tratada, vapor, etc). El tener un seguimiento sistematizado de la metodología de una Auditoria Energética ayuda considerablemente en la credibilidad de los encargados de la operación de equipo, así como de los directivos.

La metodología para una Auditoria Energética aplicada a los generadores de vapor tipo paquete, se apego a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ENER-1995, "Eficiencia Térmica de Calderas Paquete, Especificaciones y Métodos de Prueba, para que los resultados sean más precisos y reales a las condiciones de operación de los generadores de vapor.

Para dicha actividad se elaboró una tabla, en el cual se especificaron las condiciones de operación, presiones, temperaturas; a cada equipo generador de vapor, dicha tabla tiene la siguiente estructura:

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

EMPRESA:	FECHA:	REALIZÓ:
EQUIPO:	TIEMPO DE OPERACIÓN:	
COMBUSTIBLE:		
DESCRIPCIÓN	NOTAS:	
TEMP DE GASES DE COMBUSTIÓN		
PRODUCCIÓN DE VAPOR		
CAPACIDAD DE LAS CALDERAS		
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE GAS NAT		
TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE		
TEMPERATURA DE AIRE		
PRESIÓN DE COMBUSTIBLE		
TEMPERATURA DE VAPOR		
TEMPERATURA DE AGUA DE APORT		
%CO ₂ (PROMEDIO)		
%O ₂ (PROMEDIO)		

Tabla. Parámetros de operación

Esta estructura se utilizó para cada uno de los generadores de vapor, como expediente de las condiciones de operación y físicas de los equipos.

4.1 OBTENCIÓN DE DATOS.

BALANCE ENERGÉTICO EN GENERADORES DE VAPOR.

Se establece un balance de energía como la igualdad entre la suma de energías entrantes, más las energías netas de reacción (exotérmica-endotérmica), y la suma de las energías salientes dentro de los límites de un generador de calor.

Condiciones de inicio:

Se elige una temperatura de referencia o de base, tb. Se realiza un balance de masa. Se considera el Poder Calorífico Inferior (P.C.I) de los combustibles (calor neto de reacción), siempre que la temperatura de los gases de salida sea superior a 373 K.

Calores involucrados en un balance de Energía:

- 1.- ENERGÍAS ENTRANTES(calores)
- 2.- ENERGÍAS SALIENTES(calores)

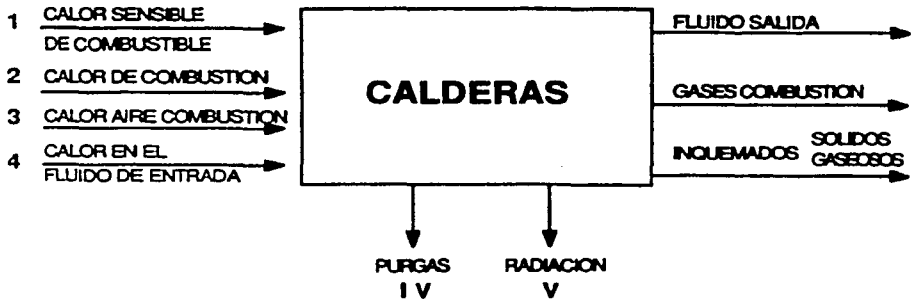


1.- ENERGÍAS ENTRANTES(calores) :

- 1.1 Calor sensible del combustible
- 1.2 Calor de combustión
- 1.3 Calor sensible del aire de combustión
- 1.4 Calor en el fluido de entrada

2.- ENERGÍAS SALIENTES(calores):

- 2.1 Calor en el fluido de salida
- 2.2 Calor sensible de los gases de combustión
- 2.3 Calor de no quemados $\begin{cases} \text{sólidos} \\ \text{gaseosos} \end{cases}$
- 2.4 Calor en las purgas de la caldera
- 2.5 Calor por radiación



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ENERGÍAS ENTRANTES (calores)**1.1 Calor sensible del combustible precalentado (Q_c)**

$$Q_c = C_c \times t_c \text{ [kJ/kg ó Nm}^3 \text{ de combustible]}$$

En donde:

C_c = Calor específico del combustible en kJ/kgK ó kJ/Nm³ K.

t_c = temperatura de precalentamiento del combustible.

$$t_c = (T - t_b)$$

1.2 Calor de combustión (Q_{co})

Es la energía química producida en la combustión.

$$Q_{co} = P.C.I. \text{ [kJ/m}^3 \text{]} \times G_{comb} \text{ [m}^3 \text{/s]}$$

$$Q_{co} \text{ [kJ/s]}$$

1.3 Calor sensible del aire de combustión (Q_a)

$$Q_a = G_a \times C_p \times \Delta t \text{ [kJ/ unidad de combustible]}$$

Δt = Temperatura del aire de combustión en quemador menos temperatura ambiente (K)

C_{pa} = Calor específico del aire [kJ/kg aire K].

Se obtiene en tabla D.1.

G_a = kg de aire/s.

Si analizamos la combustión en la caldera (en el sitio adecuado de tal forma de que no existan entradas parásitas de aire) obtenemos: t_{humos} , O_2 , CO_2 , CO , Opacidad.

De tal forma que calculamos el exceso de aire, entrando en las tablas de dicho combustible: A-2, A-3, A-4, A-5 y A-6

Entrando en dichas tablas con O_2 , y/o CO_2 obtenemos el exceso de aire de la combustión y los kg de aire que se utilizan por unidad de combustible quemado. Ese es el valor de G_a .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.4 Calor del fluido de entrada (Q_{fe})

La entalpía del condensado (h_{fc}) se obtiene en la tabla C-1 entrando con la presión y temperatura del aporte a la caldera

$$Q_{fe} = h_{fe} [\text{kJ/kg}] \times G_{fe} [\text{Kg/s}]$$

$$Q_{fe} [\text{kJ/s}]$$

$$G_{fe} - \text{gasto de fluido de entrada}$$

ENERGÍAS SALIENTES (CALORES)

2.1 Calor en el fluido de salida (Q_{fs})

La entalpía del fluido de salida (h_{fs}) se puede obtener en la tabla C-1 o directamente en el diagrama de MOLLIER del vapor de agua.

En ambos casos se entra con la presión de generación del vapor (absoluta) en $[\text{kg/cm}^2]$ y su temperatura(K) y obtenemos su entalpía en $h_v [\text{kJ/kg de vapor}]$ Si se trata de caldera de vapor (el caso más común).

$$Q_{fs} = h_{fs} [\text{kJ/kg de vapor}] \times G_{fs} [\text{Kg /s}]$$

Si se tratase de calderas de fluido térmico o agua caliente

$$Q_{fs} = C_{fs} \times t_{fs} [\text{K}/\text{kg de fluido}] \times G_{fs} [\text{Kg /s}]$$

En donde:

C_{fs} = Calor específico del fluido de salida a esa temperatura. Se obtiene en la tabla B-1 (agua caliente).

2.2 Calor sensible de los gases de combustión (Q_{gc})

El calor de los gases de combustión lo calculamos utilizando la tabla A-7 y A-8. Con el % de O_2 y/o CO_2 obtenemos el caudal de humos expresado en kg de humos/unidad de combustible "x"(gasto de humos).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Con la temperatura de humos "y" (entalpía de humos) en las mismas tablas, obtenemos su entalpía específica expresada en kcal/kg (kcal/kg_{humos}) de humos.

$$Q_{gc} = x \left[\frac{k \cdot g_{humos}}{s} \right] \times y \left[\frac{kJ}{kg_{humos}} \right]$$

$$Q_{gc} [kJ/s]$$

2.3 Calor de no quemados gaseosos (Q_{ig})

El calor perdido por no quemados gaseosos se obtienen aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_{ig} = \frac{21}{21 - O_2} \left[\frac{CO}{3.100} + \frac{HC}{1.000} \right] \times PCI \left[\frac{kJ}{m^3} \right] \times G_{comb} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Q_{ig} = % de pérdidas sobre el P.C.I. del combustible

En donde:

O₂ = Concentración de O₂ en los humos (%)

CO = Concentración de CO en los humos (ppm)

HC = Concentración de HC en los humos (ppm)

HC = Hidrocarburos

Por convenio se suele utilizar CO=HC, puesto que los aparatos de medida dan la suma de los dos y se toma la mitad de dicha lectura igual para el CO y el HC o miden sólo el CO y al HC se le asigna un valor igual.

2.3.1 Calor de no quemados sólidos (Q_{is})

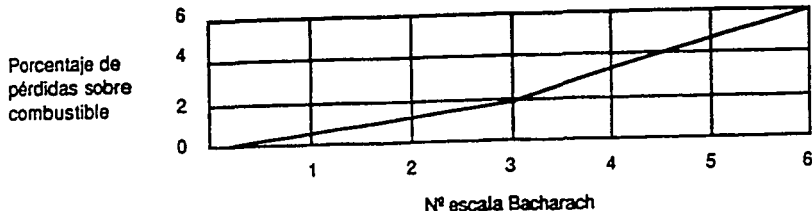
Se calcula midiendo la Opacidad mediante la escala Bacharach. Opacímetro.

El eje de las ordenadas del diagrama adjunto, nos proporciona el % de pérdidas respecto al P.C.I del combustible.

$$Q_{is} = [k]/m^3 \times G_{comb} [m^3/s]$$

$$Q_{is} [kJ/s]$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



2.4 Calor en las purgas de la caldera (Q_p)

$$Q_p = P(\text{kg/h}) \times h_p(\text{kJ/kg purga})$$

$$Q_p \text{ [kJ/h]}$$

En donde:

P = Caudal de purgas en [kg/h]

h_p = Entalpía de la purga [kJ/kg_{de purga}] y corresponde a la entalpía de líquido para la presión de generación de vapor.

El dato P nos lo facilita el propio jefe de cuarto de calderas, pues conoce exactamente el % de abertura de la válvula de purgas. Con la presión y la sección de abertura en la tabla que se adjunta se calcula el caudal.

$$Q_p = \frac{p \times h_p}{b} \text{ (kJ/h)}$$

$$b \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$Q_p \text{ [kJ/m}^3\text{]}$$

b = Consumo horario de combustible

2.5 Calor por radiación (Q_R)

$Q_{\text{Radiación}}$ se calcula midiendo las temperaturas y la superficie de la caldera, distinguiendo paredes verticales y horizontales hacia arriba y hacia abajo.

Calculamos las pérdidas expresadas en W/m^2 (si multiplicamos por 0,86 las obtendríamos en $kJ/h \times m^2$).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Si multiplicamos por cada superficie obtendríamos las pérdidas en kJ/h.

Como hemos visto en el apartado anterior, el consumo de combustible en la caldera es $b \text{ m}^3_{\text{comb}}/\text{h}$.

$$Q_r = \frac{\text{energía radiada (kJ/h)}}{b(\text{m}^3/\text{h})} = (\text{kJ}/\text{m}^3_{\text{comb}})$$

Si se desea un cálculo aproximado pero rápido se puede utilizar el ábaco o la tabla que se adjuntan (Pérdidas por radiación + purgas).

Se sabe que el cálculo de pérdidas por radiación y convección no se pueden estimar fácilmente, por lo que se debe recurrir a diagramas elaborados empíricamente, además de ser más prácticos en la aplicación de auditorías energéticas; donde dichas pérdidas son consideradas entre un 2-3% del poder calorífico del combustible.

CALCULO DEL RENDIMIENTO DE LA CALDERA POR EL METODO DIRECTO

Sin precalentamiento del aire de combustión:

$$\eta = \frac{P_v [h_v - h_c]}{C_c \times \text{P.C.I.}}$$

En donde:

P_v = Producción de vapor

h_v = Entalpía del vapor

h_c = Entalpía del condensado

C_c = Consumo de combustible

P.C.I. = Poder Calorífico Inferior del combustible

Cálculo de la producción de vapor (P_v)

a) Si tiene contador de vapor se lee directamente C_c (kg de vapor)

b) Si no tiene contador de vapor pero tiene contador de aporte a caldera:

P_v = Lectura contador de aporte-caudal de purgas.

El caudal de purgas lo calculamos por la tabla citada anteriormente.

c) Si la instalación tiene contador de agua pero está instalado en la toma de agua de la red y se conoce exactamente el caudal de condensados que se recupera:

$P_v = \text{Aporte-purga}$, $\text{Aporte} = \text{Caudal de condensados} + \text{aporte agua red}$.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

d) Si no se conoce el caudal de condensados que se recupera o el agua de aporte a la red o ambas, el rendimiento de la caldera habría que calcularlo por el método indirecto o de las pérdidas separadas.

Rendimiento directo sin precalentamiento de aire de combustión:

$$\eta = \frac{P_v \times [h_v - h_c]}{C_c \times P.C.I.}$$

Con precalentamiento del aire de combustión.

$$\eta = \frac{P_v \times [h_v - h_c]}{C_c \times P.C.I. + C_A C_p \Delta t}$$

CALCULO DEL RENDIMIENTO DE LA CALDERA POR EL METODO INDIRECTO:

Cuando la instalación no tenga contador de combustible y/o se conozca la producción de vapor, la única forma de calcular el rendimiento de una caldera es por el método indirecto.

$$\eta = \frac{Q_{UTIL}}{Q_{APORTADO}}$$

$$Q_{UTIL} = Q_{APORTADO} - Q_{PERDIDAS}$$

$$\eta = \frac{Q_{APORTADO} - Q_{PERDIDAS}}{Q_{APORTADO}} = 1 - \frac{Q_{PERDIDAS}}{Q_{APORTADO}}$$

$$Q_{PERDAS} = Q_{HUMOS} + Q_{INQUEMADOS\ GASEOSOS} + Q_{INQUEMADOS\ SOLIDOS} + Q_{PURGAS} + Q_{RADICION.}$$

$$Q_{APORTADO} = P.C.I. [kJ/m^3] \times G_{comb} [m^3/s]$$

$$Q_{APORTADO} [kJ/s]$$

$$Q_{HUMOS} = Q_{gc} = \text{calor de gases de combustión}$$

Una vez calculado el rendimiento plantear la ecuación siguiente:

$$\eta = \frac{P_v \times [h_v - h_c]}{C_c \times P.C.I.}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se puede calcular $P_v / C_c = x$ = producción específica de vapor [kg de vapor/m³].

Con precalentamiento del aire de combustión:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{PERDIDAS}}{Q_{APORTADO}}$$

$$Q_{APORTADO} = P.C.I + G_a \times C_p \times \Delta t$$

En donde: $G_a \times C_p \times \Delta t$ = Calor del aire de combustión y se calcula como hemos indicado anteriormente.

$$Q_{PERDIDAS} = Q_{HUMOS} + Q_{INQ.GAS} + Q_{INQ.SOL} + Q_{PURGAS} + Q_{RADIACION}.$$

Todos estos términos se calculan como se indicó anteriormente, teniendo en cuenta, que Q_{HUMOS} es el correspondiente a Q_{gc} = calor de gases de combustión.

Rendimiento de combustión

Sin aire precalentado:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{HUMOS} + Q_{INQ.SOL} + Q_{INQ.GAS}}{P.C.I}$$

Con aire precalentado:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{HUMOS} + Q_{INQ.SOL} + Q_{INQ.GAS}}{P.C.I + G_a \times C_p \times \Delta t}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Pérdidas totales

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \text{ (kJ/kg}_{\text{comb}}\text{)}.$$

Se calcula el rendimiento en % por la siguiente expresión:

$$E = \frac{(\text{PCI})_h - P}{(\text{PCI})_h} \times 100(\%)$$

1.º Pérdidas por calor sensible en los humos

Se calcula de la forma siguiente:

$$P_1 = G_{FH} X C_G (t_r - t_a)$$

donde:

P = Pérdidas por calor sensible en los humos (kJ/Nm³ comb.)

G_{FH} = Caudal de humos totales (kg humos/Nm³ comb.)

C_G = Calor específico medio de los humos (kJ/kg humos)

$$C_G = M + Nt$$

t_r = Temperatura de los humos a la salida (K)

t_a = Temperatura del aire a la entrada (K)

Las tablas A-5 y A-6 proporcionan los valores de G_{FH} , M y N para los principales combustibles (gas natural y propano), proporcionan directamente los valores de P_1 .

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

2.º Pérdidas por inquemados

$$P_2 = \frac{21}{21 - (O_2)} \times \left(\frac{(CO)}{3100} + \frac{(HC)}{1000} + \frac{OP}{65} \right)$$

3º Pérdidas por radiación y otros

Estas pérdidas hay que calcularlas en tanto por ciento sobre él (P.C.I)_h, para diferentes capacidades de vaporización. A continuación se muestra una tabla aproximada, útil para cuando la caldera funciona a su Capacidad máxima de vaporización.

Vaporización máxima	10 t/h	50 t/h	100 t/h
P ₃ = % de pérdidas	4.5	2	1.75

Cuando la caldera funciona a cargas parciales, las pérdidas por radiación y otros en % son, aproximadamente, inversamente proporcionales al porcentaje de carga.

⌘ MEDIDAS TIPIFICADAS DE AHORRO DE ENERGIA EN CALDERAS y REDES DE VAPOR

- 1- Ajuste de combustión
- 2- Almacenamiento y preparación del combustible
- 3- Economizadores en calderas
- 4- Precalentadores de aire de combustión
- 5- Recuperación del calor de purgas
- 6- Eliminación de fugas de vapor
- 7- Convertidores de frecuencia en ventiladores de combustión y bombas de alimentación en calderas.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

1.- Ajuste de combustión

Para ver el ahorro por ajuste de combustión habrá que calcular el rendimiento de combustión de la caldera antes (η_{CI}) y después (η_{CF}) del ajuste de combustión.

El Ahorro será:

$$A = \frac{\eta_{CF} - \eta_{CI}}{\eta_{CF}}$$

Si la caldera consume C (unidades de combustible/año)

el Ahorro será = A x C

Las inversiones a realizar para ajustar la combustión pueden ser:

- a) Ajustar la combustión de forma manual.
- b) Sustituir los quemadores.
- c) Instalar microprocesadores de combustión, controlando:

- O₂
- O₂ + CO
- O₂ + CO + Opacidad

En función del consumo anual de la caldera se propondrá la medida adecuada para ajustar la combustión.

2.- Almacenamiento y preparación del combustible

a) Almacenamiento

El combustible almacenado requiere un precalentamiento para conseguir una viscosidad que permita su bombeo al depósito de consumo diario (tanque de diario)

La red de combustible cuenta con los elementos siguientes:

- Depósitos enterrados o de superficie (horizontales y verticales) aislados o no.
- Serpentin de masa (o de fondo).
- Calentador de aspiración
- Equipos de control de temperatura
- Tuberías de acompañamiento aisladas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las medidas recomendables para el uso eficiente de la energía son:

- 1 - Mantener el combustible almacenado a 330 K. Esto se consigue mediante un regulador de temperatura (válvula termostática) sobre el calentador de fondo.
- 2- Aislar los depósitos de almacenamiento
- 3- Trasegar el combustible No.1 a 313 K y el combustible No.2 318 K actuando mediante válvulas termostáticas sobre el calentador de aspiración.
- 4- Emplear para calentar el combustible, en orden de preferencia:
 - Fluidos térmicos de recuperación
 - Vapor (a la presión inferior posible)
 - Electricidad
- 5- Situar adecuadamente los sensores de temperatura.
- 6- Instalar válvulas reguladoras (termostáticas)
- 7- Colocar en serpentines, purgadores de boya cerrada o de cubeta invertida
- 8- Recuperar los condensados
- 9 - Disponer de un trazado correcto en las líneas de vapor.
- 10- Instalar purgadores termodinámicos en las tuberías de vapor de acompañamiento.
- 11- Aislar conjuntamente las tuberías de combustible con las de acompañamiento, vapor y condensados.
- 12- Controlar fugas de combustible en serpentines y calentadores.

b) Preparación

El combustible que llega a los quemadores para su combustión, requiere de una preparación previa que comprende las operaciones básicas de:

- Filtrado
- Precalentamiento
- Presurizado

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La preparación del combustible, con las características requeridas por cada tipo de quemador, se realiza en dos fases:

- 1 - En el depósito nodriza (de diario), con calentamiento previo y decantación del agua y de sedimentos.
- 2- En grupos de preparación independientes del quemador o en equipos integrados en él. (quemador)

Los elementos principales de la instalación de preparación del combustible son :

- Depósito nodriza o de diario, aislados.
- Calentadores de aspiración y de paso.
- Equipos de control de temperatura.
- Tuberías de acompañamiento, aislados.

Las medidas recomendables para el uso eficiente de la energía son:

- 1- Mantener el combustible, en el depósito, entre 338 K y 343 K.
- 2- Purgar regularmente el agua y los sedimentos del depósito.
- 3- Aislar con lana mineral el depósito, el espesor óptimo vendrá en función de las horas de utilización pero nunca inferior a 0.04 m.
- 4- Prever una seguridad de bajo nivel, a una cota superior a la correspondiente a las resistencias eléctricas en servicio, en el depósito nodriza.
- 5- Emplear para calentamiento del combustible, en orden de preferencia:
 - Fluidos térmicos
 - Vapor (a la presión más baja posible)
 - Electricidad
- 6- Ajustar automáticamente la temperatura del combustible en depósitos y calentadores de paso, utilizando válvulas reguladoras y preferentemente, autoaccionadas.
- 7- Colocar purgadores de boya cerrada o de cubeta invertida, en calentadores de vapor .
- 8- Instalar purgadores termodinámicos en las tuberías de vapor de acompañamiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

9- Derivar al depósito principal el exceso de caudal del combustible bombeado, antes de su entrada a los calentadores de paso.

10- Aislar las tuberías de combustible (conjuntamente con las de acompañamiento) de vapor y de condensados.

11- Controlar las fugas de combustible en calentadores.

3.- Economizadores en calderas

Tras al ajuste de combustión, se presentan nuevas posibilidades de recuperación de parte de la energía residual contenida en los humos, que salen de una caldera.

La reducción de la temperatura en los humos presenta unos límites marcados por:

- El contenido de azufre en el combustible.
- Si la temperatura de los humos cae por debajo del punto de rocío ácido, parte del vapor de agua condensa y reacciona con el SO_3 formándose SO_4H_2 que ocasiona corrosiones en las superficies de intercambio.

La temperatura del fluido que se calienta presenta dos aspectos independientes:

-Debe disponerse de una elevada diferencia de temperaturas entre los gases y el fluido, para no precisar de excesivas superficies de calefacción.

-La temperatura de los gases, en las capas cercanas al exterior de la superficie de intercambio, deberá ser próxima a la del fluido del intercambiador. Si ésta es baja, se corre el peligro de alcanzar el punto de rocío ácido, en especial en el punto de entrada del fluido frío.

Los materiales empleados en la construcción de los intercambiadores, deberán presentar cierta resistencia a la corrosión por H_2SO_4 .

El ahorro por la instalación de un economizador se calculará a través de los rendimientos de la caldera antes y después de la mejora.

Normalmente estos rendimientos se calculan por el método indirecto.

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{PERDIDAS}}}{P.C.I}$$

$$Q_{\text{PERDIDAS}} = Q_{\text{HUMOS}} + Q_{\text{INQ. SÓLIDOS}} + Q_{\text{INQ. GASEOSOS}} + Q_{\text{RAD.}} + Q_{\text{PURGAS}}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Al instalar un economizador lo único que varía es el Q_{HUMOS} pues disminuirá la temperatura de salida de humos.

El ahorro será:

$$A = \frac{\eta_f - \eta_i}{\eta_f}$$

Si la caldera consume C (unidades de combustible/año)

El ahorro será: $A \times C$

Se pueden instalar diferentes tipos de economizadores en función del combustible (con o sin azufre) y de la temperatura del agua de aporte a la caldera (con el fin de evitar el choque térmico).

Para economizadores de tipo convencional, el límite de temperatura a bajar en humos es de:

Gas Natural	393 K
Combustible B.I.A.	423 K
Combustible N° 1 y 2	448 K

Se podrían bajar las temperaturas de los humos, consumiendo combustible N°1 y N°2, hasta 433 K siempre que no exista choque térmico en el economizador. Es decir siempre que el agua de aporte a la caldera llegue a una temperatura adecuada, entre 383 K y 393 K. Si no llegase a esa temperatura se puede precalentar el agua de entrada al economizador mediante intercambio con la de salida.

Si se utiliza un combustible sin azufre (gas natural) se puede instalar un economizador de doble cuerpo.

El primer cuerpo funcionará como un economizador convencional. El segundo cuerpo se utilizaría para precalentar el agua de la red antes o después (según el tipo de tratamiento) del suavizador y antes de entrar al tanque de condensados o desaireador.

Utilizando éste dispositivo se podría bajar la temperatura de los humos hasta 343 K - 363 K.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.- Precalentadores de aire de combustión

Son elementos en los que se eleva la temperatura del aire de combustión mediante el calor aportado por los gases de salida de la caldera.

El uso de precalentadores de aire está indicado:

- como mejora de la combustión de materiales de alto contenido en humedad (cortezas, basuras, etc...)
- cuando se precisan temperaturas elevadas de llama, para aumentar la proporción del calor transmitido por radiación.

La eficiencia de un intercambiador depende, fundamentalmente, de dos factores:

- Del gradiente térmico o diferencia de temperaturas entre los fluidos a calentar y a enfriar y.
- Del coeficiente global de transmisión del calor que depende, para un diseño determinado, del tipo de fluido a calentar y enfriar .

El mejor intercambio de energía se logra entre sustancias líquidas; teniendo en segundo término de eficacia el intercambio de energía entre sustancias líquidas y gaseosas; por último se tiene el intercambio de energía entre sustancias gaseosas. Por ello el uso de precalentadores de aire, en calderas y dado el bajo coeficiente global de transmisión de calor, sólo se recomienda como último recurso y siempre que no se pueda utilizar la entalpía de los gases de salida en precalentar a otro tipo de fluido (por ejemplo el agua de aporte de la red).

Si no existe otra opción que utilizar un precalentador de aire se utilizarán los de tipo rotativo o los estáticos de tubos de borosilicato. Dado el costo de dichos precalentadores, solo se recomiendan en calderas con un consumo superior a los 5.000 ton/año y como complemento de un economizador e instalado en serie con dicho equipo. En algunas calderas en las que se recupera el condensado a presión (temperatura de aporte a caldera = 423 K) y dado que el gradiente térmico entre los gases a enfriar y el líquido a calentar es bajo, por lo tanto la eficiencia sería baja, por lo se adoptan las siguientes soluciones:

a) Precalentar el aire de combustión con el condensado.

b) El condensado enfriado (en parte), precalentado en un economizador antes de introducirlo en la caldera.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La eficiencia global del intercambio mejora por dos motivos.

- a) Ambos intercambiadores son líquido/gas.
- b) Incrementa el gradiente térmico entre el fluido a calentar y a enfriar .

El ahorro por la instalación de cualquier equipo de este tipo se calcula a través de los rendimientos de la caldera antes y después de la mejora.

Normalmente estos rendimientos se calculan por el método indirecto.

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{PERDIDAS}}}{P.C.J}$$

$$Q_{\text{PERDIDAS}} = Q_{\text{HUMOS}} + Q_{\text{INO. SOL.}} + Q_{\text{INO. GAS}} + Q_{\text{RADIACION}} + Q_{\text{PURGAS}} .$$

Al instalar un precalentador de aire lo único que varía es la Q_{HUMOS} , pues disminuirá la temperatura de salida de humos.

El Ahorro será:

$$A = \frac{\eta_f - \eta_i}{\eta_f}$$

Si la caldera consume C (unidades de combustible/año). El ahorro será $A \times C$

Purgas

Entre las operaciones habituales en una caldera se encuentra la purga de la misma. La operación de purga consiste en extraer sólidos disueltos y en suspensión de la caldera, ya que al evaporarse el agua la concentración de sólidos aumenta en el agua que queda, lo cual conduce a problemas importantes.

La purga de la caldera se realiza extrayendo agua, la cual tiene una alta concentración en sólidos disueltos y en suspensión, e introduciendo agua de alimentación de muy baja concentración. Indudablemente, hay que buscar un punto de solución entre el caudal de la purga y los problemas asociados a los sólidos disueltos, ya que una purga insuficiente provocaría el arrastre de sólidos por el vapor, así como fangos e incrustaciones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para calcular la purga continua necesaria en una caldera hay que realizar un balance de los distintos componentes a controlar.

$$P \times a = A \times b + P \times b$$

$$P = \frac{A \times b}{a - b} \text{ (kg/h)}$$

En donde:

P= Caudal de purga (kg/h)

a= Salinidad total en la caldera (p.p.m.) refiérase a la siguiente tabla

b= Salinidad total en el agua de aportación (p.p.m.) (se mide con el conductímetro).

A= Caudal de agua de aportación (kg/h) = Caudal de vapor-Caudal de condensados que se recuperan.

	PRFISION (kg/m ³)	SALINIDAD TOTAL EN (CM ³) (mg/l)	SILICE EN Ag/l (mg/l)	SOLIDOS EN SUSPENSION (mg/l)	CLORUROS EN CL (mg/l)
CALDERAS ACUOTUBULARES	0-20	3.500	100	300	2.000
	20-30	3.000	75	250	1.500
	30-40	2.500	50	150	1.000
	40-50	2.000	40	100	800
	50-60	1.500	30	60	650
	60-70	1.250	25	40	500
	70-100	1.000	15	20	350
CALDERAS PIROTUBULARES	0-15	7.000	100	300	3.000
	15-25	4.500	75	300	2.000

FIGURA Norma UNE-9075 sobre límites en las características del agua en el interior de las calderas.

La cantidad de sales extraídas ha de ser la misma que la aportada. Luego:

$$P \times a = A \times b + P \times b$$

De donde:

$$P = \frac{A \times b}{a - b} \text{ (kg/h)}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Sea:

a: Salinidad total en la caldera (p.p.m.)

b: Salinidad total en el agua de aportación (p.p.m.)

P: Caudal de purga (kg/h)

A: Caudal de agua de aportación (kg/h) = Caudal de vapor - caudal de condensados que se recuperan

En cuanto a las pérdidas de calor en purgas, se calculan con la siguiente expresión:

$$P_p = \frac{P \times h_A}{(P.C.I)_h \times b} \times 100(\%)$$

Donde:

P_p : Pérdidas en purgas de la caldera en % sobre el (P.C.I)_h

h_A : Entalpía del agua de la caldera a la temperatura de saturación correspondiente a la presión del caldera (kJ/kg).

b: Consumo del combustible (kg_{comb.}/h)

(P.C.I)_h: Poder calorífico inferior húmedo (kJ/kg_{comb.})

5.- Recuperación del calor de purgas:

El agua evacuada en las purgas de calderas de vapor está a elevada temperatura, sometida a presión inferior se separa en dos fases líquida y vapor. Enviada directamente al drenaje, se pierde su contenido energético, ocasionando obstrucciones y daños en las conducciones.

Una vez enfriada, debe eliminarse por la elevada concentración de sales que contiene.

Procede de dos tipos de purgas:

- Continuas de desconcentración de sales.
- Discontinuas de descarga de fangos, de desconcentración de sales y de otros.

Puede considerarse como un condensado contaminado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El calor de purgas se recupera previa expansión del agua, procedente de las purgas continuas y de las discontinuas, por separado, en depósitos presurizados con posterior utilización del líquido y vapor producidos, independientemente.

Cuando la caldera es de alta presión, la purga se suele someter a varias operaciones consecutivas de expansión. De esta forma, se puede obtener vapor de agua a presiones más bajas que la de la caldera, que pueden servir para determinados procesos en fábrica.

El ahorro producido por el vapor generado se obtiene dividiendo a los kg/año de vapor generado por la producción específica de vapor de la caldera a dicha presión.

El ahorro producido por el calor recuperado del condensado sería:

$$A = \frac{Q[\text{kJ/año}]}{\eta \times P.C.I. [\text{kJ/kg comb}]}$$

En donde:

Q = Calor recuperado del condensado (kJ/año)

η = Eficiencia de la caldera

P.C.I. = Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg de combustible)

Para ver el calor recuperado del condensado (Q) habrá que tener en cuenta la cantidad de agua de reposición de la red, que se utiliza en la instalación, si la caldera tiene o no economizador de doble cuerpo o si en la empresa se pueden recuperar otro tipo de vertidos calientes.

Estos condicionantes, junto con la presión del desaireador y el tamaño del intercambiador de placas nos darán la cantidad de calor a recuperar del condensado. Si no existe ninguna de las limitaciones anteriores se podría bajar la temperatura del condensado.

6.- Eliminación de fugas de vapor.

El caudal de vapor que sale por un orificio está dado por la ecuación:

$$Q = K \times d^2 \sqrt{P \times (P+1)}$$

En donde:

Q = Caudal de vapor que sale por el orificio en kg/h.

d = Diámetro del orificio (mm)

P = Presión manométrica del vapor (kg/cm²)

K = 0.35

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El ahorro de energía por eliminar las fugas de vapor será:

$$A = \frac{Q \times H}{X} \text{ [unidad de combustible/año]}$$

Q = Caudal de vapor que se pierde en kg/h

H = h/año que existe la fuga de vapor

X = Producción específica de vapor: $\text{kg}_{\text{vapor}} / \text{unidad combustible}$.

7.- Aplicación de convertidores de frecuencia a ventiladores de combustión y bombas de agua de alimentación en calderas.

En la mayoría de las calderas, la regulación del caudal de aire de combustión y del agua de alimentación se realiza a velocidad constante del motor, mediante un compuerta y una válvula de regulación, respectivamente. De esta manera, basándose en la demanda de vapor, se crea la pérdida de carga necesaria para la obtención del caudal de aire y agua necesarios.

Frecuentemente, los ventiladores y bombas de agua de alimentación están muy sobredimensionados; funcionando una gran parte del tiempo en condiciones muy por debajo de las nominales. Por este motivo, el compuerta y la válvula de regulación, trabajan en posición muy cerrada, la mayoría del tiempo de operación.

En la regulación de dichas variables, gran parte de la potencia absorbida por los motores de accionamiento, se emplea en compensar la pérdida de carga producida en el compuerta y la válvula de regulación; la sustitución de estos sistemas convencionales, por sistemas que realizan la regulación de caudal, evita esta pérdida de energía.

Cuando el régimen de trabajo de una caldera de producción superior a las 25000Kg/h, varía frecuentemente, siendo durante mucho tiempo menor del nominal, el consumo de energía de los accionamientos del ventilador y de la bomba se puede reducir hasta un 70% y un 25%, respectivamente, de la energía consumida con los sistemas de regulación convencionales.

a) Ahorro de energía en el ventilador:

El caudal de aire de combustión es proporcional al número de revoluciones del ventilador.

$$Q = K \times N$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En donde:

Q= Caudal de aire

K= Constante de proporcionalidad

N= Número de revoluciones del ventilador.

La potencia absorbida por el motor es proporcional al cubo del número de revoluciones del ventilador.

$$P = K \times N^3$$

En donde:

P= Potencia absorbida por el motor

K= Constante de proporcionalidad

N= Número de revoluciones del ventilador

Como ejemplo se tiene:

En un ventilador de una caldera se han medido los parámetros siguientes:

% Carga	Potencia absorbida	Caudal de aire
100%	55 kW	25.903 kg/h
45%	32 kW	11.540 kg/h
10%	20 kW	2.844 kg/h

La caldera trabaja 7.000h/año, 5.000h/año lo hace aun 45% de carga y 2.000h/año con un 10% de carga

$$Q = K \times N$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{K \times N_1}{K \times N_2}$$

$$\frac{25.903}{11.540} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{25.903}{11.540} = \frac{N_1}{N_2} = 2.24$$

$$P = K \times N^3$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{N_1^3}{N_2^3} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

$$\frac{P_1}{P_2} = (2.24)^3 = 11.3$$

$$\frac{P_1}{P_2} = 11.3$$

$$P_2 = \frac{55}{11.33} = 4.8 \text{ kW} = P_2$$

De la misma forma para una carga de 10%

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{25.903}{2.844} = 9.1$$

$$\frac{P_1}{P_3} = \frac{N_1^3}{N_3^3}$$

$$\frac{P_1}{P_3} = (9.1)^3$$

$$P_3 = \frac{55}{(9.1)^3} = 0.07 \text{ kW}$$

Luego el ahorro de energía obtenible sería de:

$$(32 - 4.8) \times 5000 + (20 - 0.07) \times 2000 = 175\,860 \text{ kWh/año}$$

b) Ahorro de energía en la bomba

La potencia absorbida por el motor de la bomba es:

$$P = \frac{10 \times Q \times H}{R}$$

En donde:

P = Potencia absorbida (kW)

Q = Caudal (m³/s)

H = Altura manométrica total (m.c.a.)

R = Rendimiento de la bomba

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Ejemplo:

En la bomba de alimentación de una caldera se han medido los parámetros siguientes:

% Carga	Potencia absorbida
45%	25 kW
10%	20 kW

En base a la curva característica de la bomba de agua de alimentación de la caldera se tiene:

Carga de la caldera :	45%
Caudal de agua :	12 m ³ /h
Actual P :	23.4 kg/cm ²

Previsto (con variador de velocidad) P = 15 kg/cm²

La potencia absorbida en la situación actual y teniendo en cuenta el variador de velocidad, para caudales iguales.

$$P_1 = \frac{10 \times Q \times H_1}{R_1} = P_2 = \frac{10 \times Q \times H_2}{R_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{H_1 \times R_2}{H_2 \times R_1}$$

Así consideramos

$$\frac{R_2}{R_1} = 0.9$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{23.4}{15} \times 0.9$$

$$P_2 = 0.71 \times P_1$$

Al 45% de carga

$$P_2 = 0.71 \times 25 = 17.75 \text{ kW}$$

Al 10% de carga

$$P_3 = 0.71 \times 20 = 14.2 \text{ kW}$$

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

El ahorro de energía obtenible sería de

$$(25 - 17.75) \times 5000 + (20 - 14.2) \times 2000 = 47\,850 \text{ kWh/año}$$

Los puntos anteriores son básicos e importantes para la implementación de actividades enfocadas al ahorro de energía en un sistema de generación de vapor, por lo que deben ser considerados para realizar un exhaustivo análisis de Auditoría Energética y asegurar que dicho estudio arrojará resultados más acertados a las condiciones de operación de los equipos.

4.2 ANÁLISIS DE DATOS.

En esta etapa de la metodología, se busca realizar un exhaustivo análisis de los datos obtenidos durante la operación de los generadores de vapor tipo paquete, con el objeto de realizar la aplicación de la metodología para una Auditoría Energética con el fin de especificar las condiciones energéticas que estos guardan.

Por lo que se debe hacer énfasis en este tipo de Auditorías Energéticas para optimizar los equipos de proceso existentes dentro de las instalaciones, para un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

El auditor debe recordar que no debe dejar pasar cualquier observación por mínima que sea durante la operación de los generadores de vapor, ya que estas pueden tomar gran relevancia del nivel al que se requiera llegar en la aplicación de una Auditoría Energética.

He aquí la importancia de concientizar tanto a directivos como operadores, de la importancia de permanecer bajo un régimen de Auditoría Energética. Lo cuál se verá reflejado en el máximo aprovechamiento de los recursos energéticos de la empresa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.3 RESULTADOS.

Los temas básicos que deben abarcar los informes son los siguientes:

1. Un análisis del programa existente de control energético (si lo hubiera) y recomendaciones para mejorarlo.
2. Una descripción de las medidas de ahorro de energía que se proponen y de los medios con los cuales se ahorrará energía.
3. El costo de aplicar las medidas y beneficios netos que recibirá anualmente el sistema generador de vapor.
4. Cualesquiera otros efectos que tendrá la medida sobre el funcionamiento del sistema de generación de vapor, así como cambios en las necesidades de mantenimiento o en los niveles de bienestar o comodidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO V

AUDITORIA ENERGÉTICA APLICADA AL SUBSISTEMA DE GENERADORES DE VAPOR TIPO PAQUETE DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO POR ABSORCIÓN DE LA TORRE EJECUTIVA DE PEMEX.

5.1 METODOLOGÍA PARA AUDITORIA ENERGÉTICA APLICADA AL SUBSISTEMA DE GENERADORES DE VAPOR TIPO PAQUETE UBICADOS EN EL CUARTO DE MÁQUINAS EN LA UNIDAD DE SERVICIOS INTEGRADOS CENTRO ADMINISTRATIVO (USICA) EX BÚFALO, PEMEX.

Como parte de la aplicación de la metodología para una Auditoria Energética, se considera el seguimiento de la norma correspondiente a los métodos de prueba de los generadores de vapor tipo paquete NOM-002-ENER-1995, "EFICIENCIA TÉRMICA DE CALDERAS PAQUETE, ESPECIFICACIONES Y METODO DE PRUEBA". La cual se utilizó como referencia para realizar las mediciones correspondientes para determinar la eficiencia térmica de los generadores de vapor tipo paquete. En el presente trabajo, en la parte de Apéndice B se presenta la Norma Oficial Mexicana para consulta.

El contenido de la NOM-002-ENER-1995, establece los requerimientos mínimos para la obtención de la eficiencia térmica, que deberán cumplir las calderas paquete de tubos de humo, también se especifica el método de prueba que debe aplicarse para dicho cumplimiento, al mismo tiempo cubre a las calderas paquete de tubos de humo y tubos de agua, sin equipo de recuperación de calor.

Antes de aplicar la metodología, se necesitó hacer previamente la instalación de sondas para la extracción de muestras de gases de combustión, por lo que se presenta a continuación la preparación del sistema de generación de vapor.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



SONDAS PARA EXTRACCION DE GASES



INSTALACIÓN DE SONDAS PARA EXTRACCIÓN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



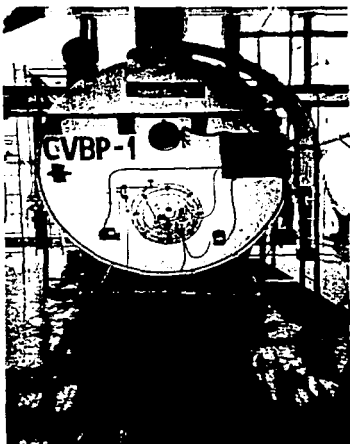
INSTALACIÓN DE SONDAS



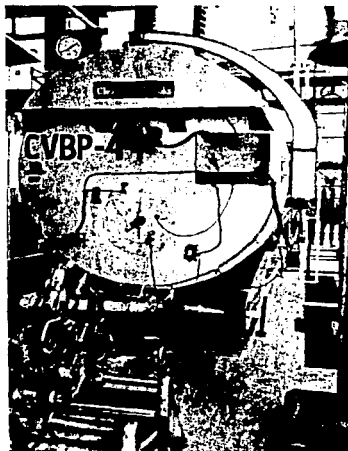
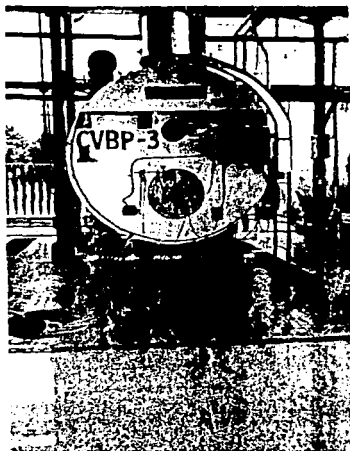
INSTALACIÓN DE SONDAS PARA EXTRACCIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN

La instalación de dichas sondas se les realizó a los cuatro generadores de vapor tipo paquete, los cuales se muestran a continuación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



CALDERAS DE VAPOR BAJA PRESION No.1 y No.2



CALDERAS DE VAPOR BAJA PRESION No. 3 Y No. 4

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La parte inicial de la metodología para la Auditoría Energética, es la obtención de datos, auxiliándonos de la instrumentación instalada en el sistema, dicha actividad consiste en la recopilación de los parámetros de operación del sistema de generación de vapor (Tabla de Parámetros), así como de la inspección del estado físico que guardan los equipos y del recorrido por la instalación de los mismos.

EMPRESA: PEMEX (USICA)	FECHA: 12/07/02	REALIZÓ: R. A. S. P
EQUIPO: GENERADOR DE VAPOR BP1	TIEMPO DE OPERACIÓN: 12 HRS/DIA	
COMBUSTIBLE: GAS NATURAL		
DESCRIPCIÓN		NOTAS:
TEMP DE GASES DE COMBUSTIÓN	446K(173°C) ,453K(180°C)	
PRODUCCION DE VAPOR	9400Kg/hr	
CAPACIDAD DE LAS CALDERAS	600 CC(5580Kw)	
COMPOSICIÓN QUIMICA DE GAS NAT	Gas Metano	
TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE	295K(22°C)	
TEMPERATURA DE AIRE	295K(22°C)	
PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	7.8kPa(línea), 4.9kPa(piloto)	
TEMPERATURA DE VAPOR	433K	
TEMPERATURA DE AGUA DE APORT	330K(57°C), 333K(60°C)	
% CO ₂ (PROMEDIO)	7.5	
% O ₂ (PROMEDIO)	10.16	

EMPRESA: PEMEX (USICA)	FECHA: 12/07/02	REALIZÓ: R. A. S. P
EQUIPO: GENERADOR DE VAPOR BP2	TIEMPO DE OPERACIÓN: 12 HRS/DIA	
COMBUSTIBLE: GAS NATURAL		
DESCRIPCIÓN		NOTAS:
TEMP DE GASES DE COMBUSTIÓN	446K(173°C) ,453K(180°C)	
PRODUCCION DE VAPOR	9400Kg/hr	
CAPACIDAD DE LAS CALDERAS	600 CC(5580Kw)	
COMPOSICIÓN QUIMICA DE GAS NAT	Gas Metano	
TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE	295K(22°C)	
TEMPERATURA DE AIRE	295K(22°C)	
PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	7.8kPa(línea), 4.9kPa(piloto)	
TEMPERATURA DE VAPOR	433K	
TEMPERATURA DE AGUA DE APORT	330K(57°C), 333K(60°C)	
% CO ₂ (PROMEDIO)	7.76	
% O ₂ (PROMEDIO)	7.75	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

EMPRESA: PEMEX (USICA)		FECHA: 12/07/02	REALIZO: R. A. S. P.
EQUIPO: GENERADOR DE VAPOR BP3		TIEMPO DE OPERACIÓN:	12 HRS/DIA
COMBUSTIBLE: GAS NATURAL			
DESCRIPCIÓN		NOTAS:	
TEMP DE GASES DE COMBUSTIÓN	446K(173°C) ,453K(180°C)		
PRODUCCIÓN DE VAPOR	9400Kg/hr		
CAPACIDAD DE LAS CALDERAS	600 CC(5580Kw)		
COMPOSICIÓN QUIMICA DE GAS NAT	Gas Metano		
TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE	295K(22°C)		
TEMPERATURA DE AIRE	295K(22°C)		
PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	7.8kPa(línea), 4.9kPa(piloto)		
TEMPERATURA DE VAPOR	433K		
TEMPERATURA DE AGUA DE APORT	330K(57°C), 333K(60°C)		
%CO ₂ : (PROMEDIO)	5		
%O ₂ : (PROMEDIO)	12.41		

EMPRESA: PEMEX (USICA)		FECHA: 12/07/02	REALIZO: R. A. S. P.
EQUIPO: GENERADOR DE VAPOR BP4		TIEMPO DE OPERACIÓN:	12 HRS/DIA
COMBUSTIBLE: GAS NATURAL			
DESCRIPCIÓN		NOTAS:	
TEMP DE GASES DE COMBUSTIÓN	446K(173°C) ,453K(180°C)		
PRODUCCIÓN DE VAPOR	9400Kg/hr		
CAPACIDAD DE LAS CALDERAS	600 CC(5580Kw)		
COMPOSICIÓN QUIMICA DE GAS NAT	Gas Metano		
TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE	295K(22°C)		
TEMPERATURA DE AIRE	295K(22°C)		
PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	7.8kPa(línea), 4.9kPa(piloto)		
TEMPERATURA DE VAPOR	433K		
TEMPERATURA DE AGUA DE APORT	330K(57°C), 333K(60°C)		
%CO ₂ : (PROMEDIO)	6.9		
%O ₂ : (PROMEDIO)	9.375		

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A continuación se muestra el registro de las lecturas proporcionadas por el equipo de medición de CO₂ mediante el proceso de absorción química de una solución de hidróxido de potasio; obteniendo el porcentaje de emisión de gases de combustión correspondientes a los cuatro generadores de vapor tipo paquete.

TABLA No.1

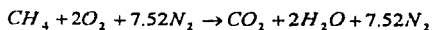
REPORTE DE EMISION DE GASES DE COMBUSTION EN LOS GENERADORES DE VAPOR

LECTURA	CALDERA 1		CALDERA 2		CALDERA 3		CALDERA 4		CHIMENEA	
	%CO ₂	%O ₂	%CO ₂	%O ₂	%CO ₂	%O ₂	%CO ₂	%O ₂	%CO ₂	%O ₂
1	7	10	8	9	5	12.5	6.5	8.9	6	9
2	8	11.5	8	7	4.5	13.5	6.8	9	7	9.5
3	7.5	10.5	7.5	8	4.5	12.5	6.7	9.3	7	9
4	8	7.5	6.5	7.5	5	12.5	7	9.2	6.5	9
5	8	10.5	8	8.5	5.5	13	6.8	9	6	9
6	7.5	11	7.5	7.5	5	12.5	7.2	9.5	6	9
7	7.5	11.5	7.5	7	5	11.5	7	9.6	8.5	8.5
8	7.5	10	7.5	8	5	12	6.7	9.8	6.5	9
9	7.5	10	8.5	8	5.5	12	7	10	5.5	9
10	7.5	10	8	8	5	12	6.9	9.5	6	9
11	7	10	7.5	7	5	12	7	9.7	6	9
12	7	9.5	7.5	7.5	5	13	7.2	9	6	9
PROMED	7.5	10.16	7.66667	7.75	5	12.41	6.9	9.375	6.25	9

Seguindo la metodología establecida para la realización de la Auditoria Energética, se tiene la realización del análisis de los datos obtenidos, realizando un exhaustivo estudio, con el fin de caracterizar el funcionamiento del sistema y determinar la eficiencia o deficiencia en su operación.

De los datos obtenidos respecto a la medición de gases de combustión y realizando los cálculos para especificar el exceso de aire, aire real, aire teórico. Aplicándolo a los generadores de vapor se tiene que para la CALDERA No. 1:

Se conoce que la ecuación estequiométrica (100%) para la combustión del metano es:



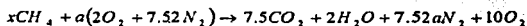
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tomando las lecturas de la tabla No.1 para la caldera No. 1, siendo las siguientes:

$$\% \text{CO}_2 = 7.5\% \quad \% \text{O}_2 = 10.16\%$$

Con éstas mediciones se obtiene del diagrama No.1 un exceso de aire de aproximadamente 83% Exceso de Aire (EA)

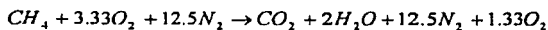
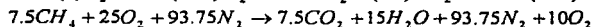
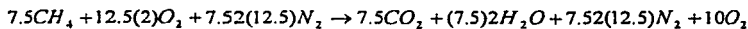
Realizando un balance estequiométrico para la combustión :



Balance:

C:	$x=7.5$
H:	$4x=2y(2)$, $x=y=7.5$
O:	$4a=2(7.5)2y+10(2)$
	$a=50/4=12.5$

Sustituyendo valores:



por lo tanto:

$$E.A = \frac{3.76 \left(\text{O}_2 - \frac{1}{2} \text{CO} \right)}{\text{N}_2 - 3.76 \left(\text{O}_2 - \frac{1}{2} \text{CO} \right)}$$

$$E.A = \frac{3.76 \left(10 - \frac{1}{2} (0) \right)}{93.75 - 3.76 \left(10 - \frac{1}{2} (0) \right)} = 0.6696 \approx 66\%$$

Calculando A_T , A_R , se tiene:

$$A_T = 11.43C + 34.32 \left(\text{H}_2 - \frac{\text{O}_2}{2} \right) + 4.29S$$

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

$$A_r = 11.43(0.75) + 34.32 \left(0.25 - \frac{0}{2} \right) + 4.29(0) = 17.15 \frac{\text{Kg}_{\text{aire}}}{\text{Kg}_{\text{comb}}}$$

$$A_R = E.A(A_r) + A_r = 0.66(17.15) + 17.15 = 28.46 \frac{\text{Kg}_{\text{aire}}}{\text{Kg}_{\text{comb}}}$$

De la misma manera se realiza para las otras Calderas, se obtiene la siguiente tabla:

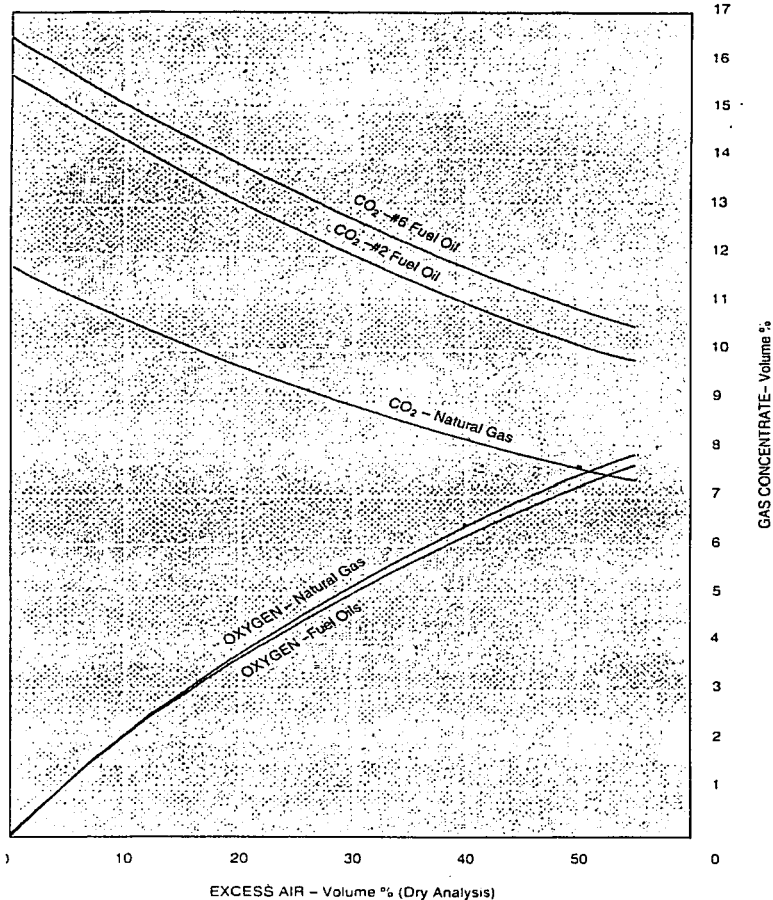
Auxiliándose del diagrama No.1 para la especificación del exceso de aire para cada una de las calderas

TABLA No. 2

Caldera	%CO ₂	%O ₂	%E.A	A _{teórico}	A _{real}
1	7.5	10.16	66	17.15	28.46
2	7.66	7.75	50.62	17.15	25.83
3	5	12.41	124.11	17.15	38.43
4	6.9	9.375	67.91	17.15	28.96

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DIAGRAMA No. 1
 CO₂ O₂ CARTA DE CONVERSION



TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Calculando la energía entrante al sistema:

CÁLCULO DE ENERGÍAS ENTRANTES

1.- Calor sensible del combustible precalentado (Q_c)

Para la aplicación, que no cuenta con precalentamiento del combustible Q_c , dicho termino en la Auditoria Energética no existe, por lo que toma el valor de cero.

$$Q_c = 0$$

2.- Calor de Combustión. (Q_{co})

En este punto se cuenta con el Poder Calorífico Inferior del combustible proporcionado por el proveedor:

$$Q_{co} = P.C.I \times G_{comb} = 30139.2 \frac{kJ}{m^3} \times 0.2196416 \frac{m^3}{s} = 6619.8 \frac{kJ}{s}$$

Considerado como el calor de combustión del Gas Natural suministrado a las instalaciones.

3.- Calor sensible del aire de combustión (Q_a)

$$G_a = 5.094 \text{ kg/s}$$

$$Q_a = G_a \times C_p \times \Delta t$$

Sustituyendo los valores obtenidos anteriormente, se tiene que:

$$Q_a = 5.094 \frac{kg_{air}}{s} \times 1.005 \frac{kJ}{kg.K} \times 6K$$

$$Q_a = 30.716 \frac{kJ}{s}$$

4.- Calor del fluido de entrada

$$Q_f = h_f G_{H2O}$$

Este valor se obtiene con la presión (1.4 Kg/cm^2) y temperatura (333 K) del fluido de entrada, se tiene que:

$$h_{fe} = 250.74 \frac{kJ}{Kg}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CALCULO DE ENERGÍAS SALIENTES

1.- Calor en el fluido de salida (Q_{fs})

La entalpía del vapor generado (h_{fs}) se obtiene de la tabla C-1 entrando con la presión y temperatura de la caldera, donde la presión es de 88.2 KPa (0.9 Kg/cm²) y 433 K (160°C) Por lo que la entalpía correspondiente:

$$Q_{fs} = h_{fs} \times G_v$$

$$Q_{fs} = 2796.99 \text{ kJ/kg} \times 1.958 \text{ kg/s} = 5476.5 \text{ kJ/s}$$

$$G_v = 1.958 \text{ kg/s}$$

2.- Calor sensible de los gases de Combustión (Q_{gc}).

Con el porcentaje de Oxígeno y/o el porcentaje del CO₂ se obtiene el caudal de humos expresados en $\frac{\text{kg}_{\text{humos}}}{\text{unidcomb}}$ para la 1ª caldera el promedio de las lecturas realizadas se obtuvo que:

$$\%O_2 = 10.16$$

$$\%CO = 7.5$$

De las tablas A-7, A-8 del apéndice las lecturas correspondientes son:

$$21.7 - 25.3 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3}, \%EA = 1.87$$

realizando mediciones de la temperatura de los gases de combustión, siendo de estos el promedio de aproximadamente de 433 K, de la tabla A-8 del apéndice, la entalpía específica correspondiente es de:

$$h_x = 170.99 \text{ kJ/kg}_{\text{gases}} = 40.85 \text{ kcal/kg}_{\text{gases}}$$

$$Q_{gc} = 23.5 \left(\frac{\text{kg}_{\text{humos}}}{\text{unidcombust}} \right) 40.85 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}_{\text{humos}}} \right)$$

$$Q_{gc} = 4018.45 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{comb}}} \right) \times 0.1323 \frac{\text{kg}_{\text{comb}}}{\text{s}}$$

$$Q_{gc} = 535.03 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

3.- Calor de inquemados gaseosos.

El calor perdido por inquemados gaseosos se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

$$Q_{is} = \frac{21}{21 - O_2} \left[\frac{CO}{3.1} + \frac{HC}{1} \right]$$

Q_{is} = % de pérdidas sobre el P.C.I del combustible. Donde:

O_2 = concentración de O_2 (%)

CO = concentración de CO en los humos (ppm)

HC = concentración de HC en los humos (ppm)

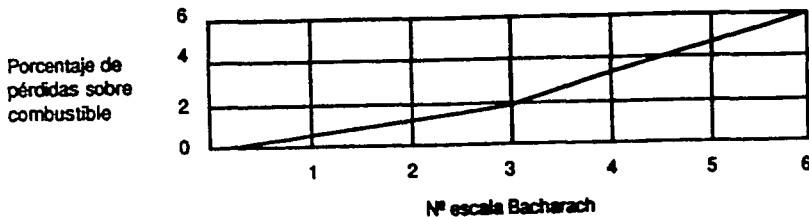
Dado que en nuestro muestreo referido a los gases de combustión NO se encontraron cantidades considerables de los elementos HC, CO, NO; por lo que se considera éste valor como nulo.

4.- Calor de no quemados sólidos. (Q_u)

$$Q_u = PCI \times \%PERDIDAS \times v \times G_c$$

Al llevar a cabo la medición de la opacidad (escala Bacharach) en los equipos se obtiene la mancha de hollín

Del diagrama que se adjunta, se proporciona el porcentaje de pérdidas respecto al P.C.I del gas natural.



De dichas muestras se obtiene que la opacidad en la escala Bacharach se asemeja al valor de 2, por lo que se considera un porcentaje de pérdidas sobre el combustible de aproximadamente de 1.7%.

Del P.C.I. se tiene que:

$$Q_u = P.C.I.(0.017) \times v \times G_c$$

$$Q_u = 7200 \text{ kcal/m}^3 (0.017) \times 1.66 \text{ m}^3/\text{kg} \times 0.13231 \text{ kg/s}$$

$$Q_u = 112.53 \text{ kJ/s}$$

$$7200 \text{ kcal/m}^3 = 30135.6 \text{ kJ/m}^3$$

5.- Calor por purgas.

$$Q_p = P \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) h_p \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right)$$

donde:

P = caudal de purga (kg/h)

h_p = entalpia de la purga

6.- Calor por radiación

$$Q_R = \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

De las lecturas realizadas para monitorear las temperaturas en la superficie del cuerpo de la caldera se obtuvo un promedio de $T=341 \text{ K}$, mientras que la temperatura del cuarto de máquinas fue en promedio de 295 K ; y las dimensiones de las calderas son las siguientes:

$$L = 222 \text{ pulg} = 5.6388 \text{ m}$$

$$D = 91 \text{ pulg} = 2.3114 \text{ m}$$

Por lo que el área total de la caldera considerando la superficie de las tapas es:

$$A_{\text{total}} = 49.3390 \text{ m}^2$$

por lo que las pérdidas por radiación en las calderas es de:

$$Q_R = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_a^4)$$

$$Q_R = 0.22 (5.67 \times 10^{-8}) (341^4 - 295^4)$$

$$Q_R = 74.19 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

donde:

$$\varepsilon = 0.22$$

$$\sigma = 5.37 \times 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

obtenido por el total de la superficie de la caldera, se tiene que:

$$q = 74.19 \left(\frac{W}{m^2} \right) 49.33 m^2 = 3659.79 W.$$

De la misma manera se calculan las Energías Entrantes y Energías Salientes de cada uno de los generadores de vapor tipo paquete, que se muestran a continuación.

5.2 ANÁLISIS DE DATOS

Siguiendo con la metodología, se presentan los resultados de las energías involucradas en el sistema, después del análisis de datos, obtenidos durante la operación de los generadores de vapor tipo paquete, en los cuales se muestra el manejo de la energía disponible, su aprovechamiento, así como el ¿dónde? se está desperdiciando la energía suministrada, y poder realizar los cambios pertinentes para un mejor aprovechamiento de los recursos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTADO DE GUATEMALA
UNIVERSIDAD DE LA PAZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRER DE INGENIERÍA EN ENERGÍA ELÉCTRICA

BALANCE DE ENERGIA APLICADO A LOS GENERADORES DE VAPOR**CALDERA No. 1****ENERGIAS ENTRANTES**

Q_c	$Q_{cof}(kJ/s)$	$Q_g(kJ/s)$	$Q_{sa}(kJ/s)$
0	6619.8	30.716	1128.3

ENERGIAS SALIENTES

$Q_{sa}(KJ/s)$	$Q_{cof}(kJ/s)$	Q_g	$Q_{sa}(kJ/s)$	$Q_{resf}(kJ/s)$
5476.5	535.06	0	112.53	3.658

CALDERA No. 2**ENERGIAS ENTRANTES**

Q_c	$Q_{cof}(kJ/s)$	$Q_g(kJ/s)$	$Q_{sa}(kJ/s)$
0	6153.8	32.72	1128.3

ENERGIAS SALIENTES

$Q_{sa}(KJ/s)$	$Q_{cof}(kJ/s)$	Q_g	$Q_{sa}(kJ/s)$	$Q_{resf}(kJ/s)$
5476.5	473.72	0	104.61	3.369

CALDERA No. 3**ENERGIAS ENTRANTES**

Q_c	$Q_{cof}(kJ/s)$	$Q_g(kJ/s)$	$Q_{sa}(kJ/s)$
0	6600	30.57	1128.3

ENERGIAS SALIENTES

$Q_{sa}(KJ/s)$	$Q_{cof}(kJ/s)$	Q_g	$Q_{sa}(kJ/s)$	$Q_{resf}(kJ/s)$
5476.5	649.2	0	112.26	3.1821

CALDERA No. 4**ENERGIAS ENTRANTES**

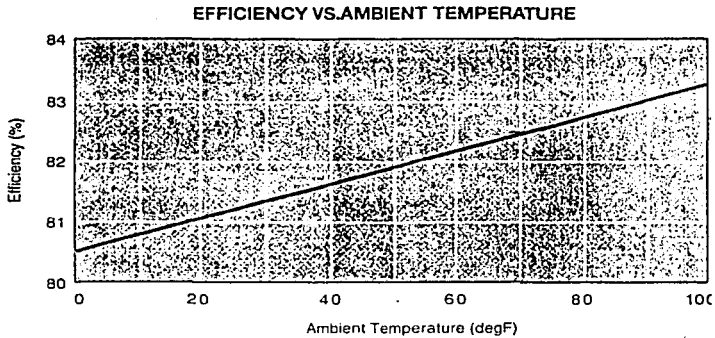
Q_c	$Q_{cof}(kJ/s)$	$Q_g(kJ/s)$	$Q_{sa}(kJ/s)$
0	7082.7	41.7	1128.3

ENERGIAS SALIENTES

$Q_{sa}(KJ/s)$	$Q_{cof}(kJ/s)$	Q_g	$Q_{sa}(kJ/s)$	$Q_{resf}(kJ/s)$
5476.5	586.9	0	120.77	3.563

Del diagrama eficiencia vs concentración O_2 se obtienen las eficiencias para cada generador de vapor, tomando en cuenta la concentración de O_2 respectivamente, que existe en los gases de combustión, de donde se obtiene la siguiente tabla.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



**EFICIENCIAS EN GENERADORES DE VAPOR BASADAS EN LA
CONCENTRACIÓN DE O₂ Y CO₂.**

CALDERA No. 1	Concentración		Eficiencia
	%O ₂	%CO ₂	%
	10.16	7.5	78

CALDERA No. 2	Concentración		Eficiencia
	%O ₂	%CO ₂	%
	7.75	7.6	80.5

CALDERA No. 3	Concentración		Eficiencia
	%O ₂	%CO ₂	%
	12.41	5	75

CALDERA No. 4	Concentración		Eficiencia
	%O ₂	%CO ₂	%
	9.37	6.9	76

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

5.3 RESULTADOS y CONCLUSIONES.

En este subcapítulo se presenta la conclusión del análisis de datos de la Auditoría Energética aplicada a los Generadores de Vapor tipo paquete, haciendo énfasis en las recomendaciones para aumentar las posibilidades de ahorro de energía en la operación de los equipos. Dichas recomendaciones, son en base de los resultados obtenidos.

En la selección de un generador de vapor, debe considerarse algo muy importante, como es el bajo costo de mantenimiento, y alta eficiencia, dado que son factores que incrementan al máximo el valor de la inversión. Recordando que el costo del Generador de vapor es una porción relativamente pequeña en la inversión en este tipo de equipos.

La alta eficiencia de la caldera, es el resultado de un plan específico que incluye:

- Número de pasos en la caldera
- Compatibilidad del quemador con la caldera
- La superficie de calefacción
- Presión de operación

El cálculo de la eficiencia debe de ser el más exacto y representativo de uso real de combustible de la caldera; así como la verificación de datos, incluyendo:

- Temperatura de gases de la chimenea
- Especificación exacta del combustible
- El exceso de aire real al que operan los generadores de vapor
- La temperatura ambiente adecuada
- Pérdidas por radiación y convección apropiadas.

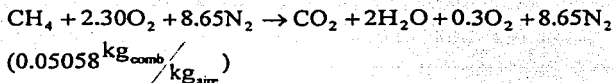
A continuación se muestran las condiciones actuales de operación de los generadores de vapor en las instalaciones de PEMEX.

	%CO ₂	%O ₂	%EA	Eficiencia	R _{q/a}
CALDERA 1	7.5	10.16	66	78	0.0346
CALDERA 2	7.66	7.75	50.62	80.5	0.03862
CALDERA 3	5	12.41	124.11	75	0.02596
CALDERA 4	6.9	9.375	67.91	76	0.03463

R_{q/a}= relación combustible-aire

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Para el exceso de aire recomendado de un 15%, se tiene la siguiente reacción estequiométrica:



A continuación se muestra la comparación de las condiciones de operación con las condiciones recomendadas para obtener un mejor rendimiento durante la operación de los generadores de vapor.

Mostrando cuales son los beneficios de las condiciones recomendadas.

Condiciones de operación actuales.

	%CO ₂	%O ₂	%EA	Eficiencia	R _{atc} (R _{atc})
CALDERA 1 (C1)	7.5	10.16	66	78	28.83(0.0346)
CALDERA 2 (C2)	7.66	7.75	50.02	80.5	25.89(0.0386)
CALDERA 3 (C3)	5	12.41	124.11	75	38.52(0.0259)
CALDERA 4 (C4)	6.9	9.375	67.91	76	28.87(0.0346)

Condiciones de operación recomendadas.

10.1	3	14.85	84	19.74(0.0506)
------	---	-------	----	---------------

EFICIENCIA, CONSUMO Y COSTO DE OPERACIÓN ACTUAL

	Eficiencia(%) actual de Operación	Consumo de combus(C _c)kg/año	Costo (\$/año)
C1	82.0	1 916 446.80	1 730 776
C2	82.8	1 897 930.43	1 714 053
C3	86.6	1 827 309.76	1 650 275
C4	81.5	1 928 204.17	1 741 394
	Eficiencia Recomendada de Operación(%)	Consumo Total actual de combustible	Costo Total de combustible
	84	7 569 891.16	6 836 499

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONSUMO Y COSTO DE OPERACIÓN A UNA EFICIENCIA DE 84%

Consumo de combustible por caldera	Costo de combustible por caldera
1 870 817.14 Kg/año	1 689 567 \$/año
Consumo total de los 4 generadores	Costo total de Combustible
7 483 268.56 Kg/año	6 758 269 \$/año
Combustible total ahorrado	Costo total ahorrado
86 622.6 Kg/año	78 230 \$/año

Como referencia para el calculo del costo del combustible se tomo la información proporcionada por (CONAE) 13/sep/2002.

- Optimización de la Combustión

Es posible mejorar la eficiencia de la caldera si se carbura el equipo a 3% de O₂, que puede obtenerse con una inversión mínima, que requerirá la carburación mensual de la caldera y permitirá cumplir con la normatividad ambiental vigente, y se obtendría una eficiencia térmica aproximada del 84%.

- Calor perdido en líneas aisladas y no aisladas.

Las pérdidas por aislamiento no son grandes; de acuerdo con las mediciones realizadas y representan el 1.5 % del calor liberado.

- Precalentamiento de aire.

Bajo la premisa de que la caldera puede operar en condiciones más adecuadas (EFIC= 84%), es posible conseguir ahorros precalentando el aire de combustión. Si se consiguen aumentos de temperatura de 30° sobre la temperatura ambiente, se tendrían mejoras en la eficiencia del orden de 1.5 %. Esta medida debe evaluarse como una solución posterior a las recomendaciones antes mencionadas, ya que el ahorro potencial no es muy alto y la inversión puede resultar considerable, con tiempos de recuperación de 1 a 2 años, dependiendo del tipo de equipo que se seleccione y las condiciones de operación de los equipos.

- Control Automático para regular el Oxígeno suministrado(O₂)

Para optimizar la relación aire-combustible, se recomienda la adquisición del sistema regulador de oxígeno, "C-B O₂ TRIM SYSTEM", para aprovechar al

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

máximo el combustible. Dicho sistema presenta gran control de la concentración de O_2 , dicho sistema cuenta con las siguientes características.

- ☞ Display de información continua al operador de los niveles de O_2 y de otros gases
- ☞ Ahorro de combustible de un 2% anual
- ☞ El C-B diagnostica la vida útil de la celda de Zirconia
- ☞ Diseñado para un fácil mantenimiento

- Calor perdido en tanques y depósitos cilíndricos

Aislamiento térmico en tanques de agua de alimentación con lana mineral colchoneta armada con las siguientes dimensiones $0.61 \times 1.22 \text{ m}^2$.

Estas son las propuestas para ahorro de energía dentro de las áreas potenciales de ahorro; a continuación se muestra un cuadro en el que se enlista las medidas propuestas en dichas áreas, de acuerdo con la nula, baja y media inversión para su implementación.

MEDIDAS PROPUESTAS PARA AHORRO DE ENERGÍA

* DIAGRAMA DE FLUJO EN ANEXOS

ÁREAS POTENCIALES DE AHORRO	MEDIDAS DE AHORRO	INVERSIÓN (\$) M.N	TIEMPO DE RECUPERACIÓN(AÑO)
CALOR PERDIDO EN TANQUES Y DEPÓSITOS CILÍNDRICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento térmico en dos tanques de alimentación a calderas 	9000	INMEDIATA
CALOR PERDIDO EN LINEAS AISLADAS Y NO AISLADAS	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar aislamiento térmico en tuberías • Cambio de aislamiento térmico 	18 000	INMEDIATA
CALOR PERDIDO EN PURGAS Y FUGAS	<ul style="list-style-type: none"> • Sustitución de purgadores • Reparación y eliminación de fugas 	6 000	INMEDIATA
CALOR PERDIDO POR PURGAS EN CALDERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la calidad del agua de repuesto • Incrementar el retorno de condensados 	30 000	0.4

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

PERDIDAS EN EL GENERADOR DE VAPOR	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización de la combustión • Reducir el porcentaje de exceso de aire • Instalación de equipos de recuperación de calor 	110 000	1.4
GASES DE COMBUSTIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Pre calentamiento de agua y aire • Verificar espesores de fluxes 	120 000	1.5
AGUA DE ALIMENTACIÓN Y CONDESADOS	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar el retorno de condensados: contaminación, porcentaje y temperatura • Inyectar directamente a la caldera los condensados de muy alta temperatura 	30 000	0.4
INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	<ul style="list-style-type: none"> • Calibración o modernización de los instrumentos • Dotar con analizadores de gases y otros instrumentos (control de oxígeno) 	150 000	2
CAPACITACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación del personal de operación 	50 000	0.7
CONTABILIDAD ENERGÉTICA	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer los costos de producción de vapor • Determinar el consumo específico de combustible • Determinar la eficiencia de operación 	100 000	1

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-078-SCFI-1994, antecedente de la norma NOM-002-ENER-1995, que se refiere a la eficiencia térmica de calderas paquete, especificaciones y métodos de prueba"; en promedio sólo la parte superior de la caldera está por encima de la temperatura de la superficie externa especificada en la norma. En esta zona se deberá poner más atención en el próximo programa de mantenimiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA.

- MANUAL DE AUDITORIA ENERGÉTICA TOMO I TOMO II, CADEM 1991
- BOILER EFFICIENCY. FACTS YOU SHOULD KNOW ABOUT FIRETUBE BOILERS AND BOILER EFFICIENCY. CLEAVER BROOKS
- AHORRO DE ENERGÍA EN LA OPERACIÓN DE CALDEROS INDUSTRIALES . ING. PERCY CASTILLO NEIRA. EDIT COMBUSTIÓN INDUSTRIAL.
- VOLUMETRIC AND PHASE, BEHAVIOR OF AIR FIELDHYDROCARBON SYSTEM
- SEMINARIO DE AHORRO DE ENERGÍA. SECRETARÍA DE ENERGÍA. AGOSTO 1995
- CHEMICAL ENGINEER HANDBOOK. PERRY.
- CALDERAS. UN ESTUDIO SOBRE FACTORES QUE AFECTAN SU EFICIENCIA. ING. NÉSTOR DÍAZ IPN

www.cleaverbrooks.com.mx

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

GLOSARIO

Aire de combustión

Es el aire que se introduce a la cámara de combustión del equipo para la oxidación del combustible.

Aire teórico

Es el aire estequiométricamente necesario para realizar una combustión completa.

Caballo caldera

Es el calor absorbido por la evaporación de 15,65 kg por hora de vapor saturado a una temperatura de 100 °C con agua de alimentación a la misma temperatura, siendo equivalente a 9,81 kW.

Caldera

Equipo en el cual se transfiere el calor producido por la combustión a un fluido de trabajo para calentarlo y/o evaporarlo.

Caldera de tubos de agua

Aquellas en las cuales los gases de combustión pasan por fuera de los tubos de la caldera y el agua por el interior de ellos.

Caldera de tubos de humo

Son aquellas en las cuales los gases productos de la combustión, circulan por dentro de los tubos de la caldera y el agua por el exterior de ellos.

Caldera paquete

Es una caldera fabricada y ensamblada totalmente en el taller del fabricante.

Calor absorbido

Es la cantidad de calor que absorbe un fluido de trabajo para calentarse y/o evaporarse.

Calor liberado

Calor producido por la combustión de un combustible.

Calor perdido

Calor liberado por el combustible que no es aprovechado por el fluido de trabajo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Calor suministrado

Es el calor total que entra al equipo, comprende al calor liberado por el combustible más el calor sensible de los diferentes fluidos que se introducen en la caldera.

Capacidad de una caldera

Es la máxima cantidad de vapor por hora (MCR) que puede generar la caldera en forma continua, deberá de ser indicada junto con la presión de operación, temperatura del vapor y temperatura del agua de alimentación. Esta capacidad también puede expresarse como el calor absorbido por el fluido de trabajo.

Capacidad equivalente de evaporación

Es la conversión de la capacidad de una caldera a cierta referencia para fines de comparación. Es el vapor que se puede generar a una presión de 101,33 kPa y a una temperatura de 100 °C con agua de alimentación a la misma temperatura, a partir del calor absorbido.

Combustible

Sustancia capaz de reaccionar con el oxígeno en presencia de una fuente de ignición dando como resultado liberación de calor, luz y gases.

Combustibles derivados del petróleo

Combustibles asociados al petróleo (gas natural) u obtenidos de su refinación (diesel, gasóleo, combustóleo, gas L.P., etc).

Combustión

Reacción de oxidación rápida de un combustible durante la cual se producen calor y luz como productos principales.

Eficiencia térmica

Es la relación entre el calor absorbido y el calor liberado (expresado en porcentaje).

Algebraicamente se tiene:

$$\eta = \frac{Q_l}{Q_e} \times 100$$

Método directo

$$\eta = 100 - \%Q_{pgc} - \%Q_{per}$$

Método indirecto

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Equipo de recuperación de calor

Equipo diseñado para transferir el calor de los gases residuales al fluido de trabajo (en este caso se le llama economizador) o al aire de combustión (precalentador de aire), con el fin de incrementar la eficiencia térmica de la caldera.

Exceso de aire

Es el aire que se introduce por encima del aire teórico para asegurar una combustión completa.

Exceso de oxígeno

Es el oxígeno que se introduce por encima del oxígeno teórico para asegurar una combustión completa.

Fluido de trabajo

Fluido utilizado como medio para transferir la energía liberada por el combustible al proceso y equipos en que se requiera. Este fluido comúnmente es agua, aceite térmico u otros.

Gases de combustión

Son los gases producto de la reacción del combustible con el aire de combustión.

Oxígeno teórico

Es el oxígeno estequiométricamente necesario para realizar una combustión completa.

Poder calorífico inferior (PCI)

Es la diferencia entre el poder calorífico superior y la energía necesaria para evaporar toda la humedad presente en los gases de combustión.

Poder calorífico superior (PCS)

Cantidad de calor que produce una unidad de masa o de volumen de combustible durante su combustión. Considerando que la humedad presente en los gases de combustión se encuentra en fase líquida.

Quemador

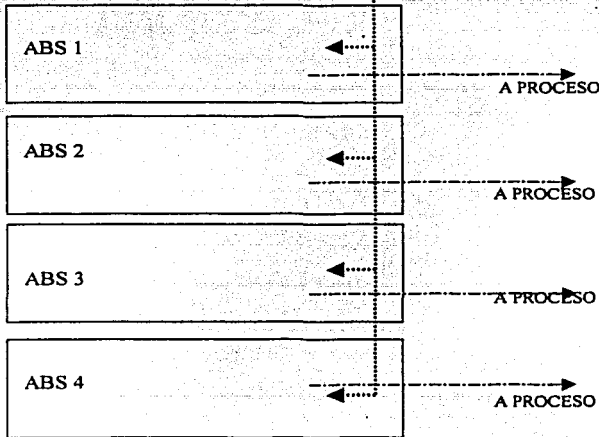
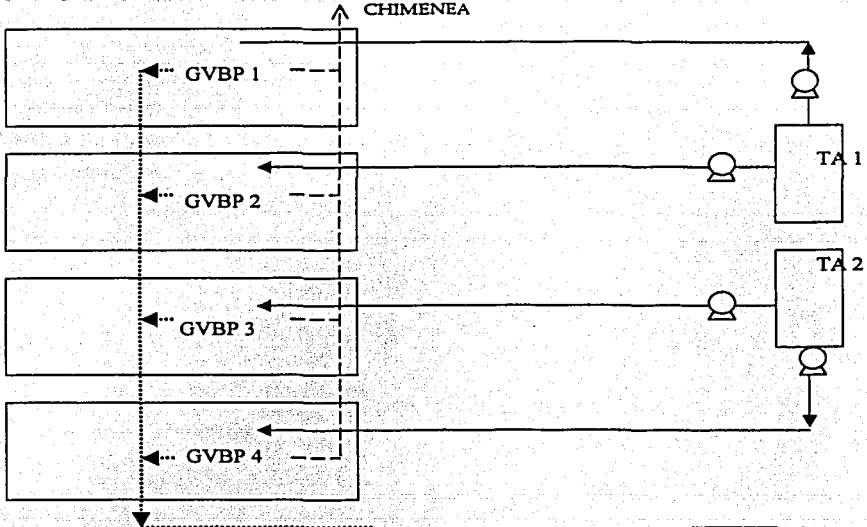
Dispositivo que se utiliza para efectuar la mezcla aire-combustible y realizar la combustión.


Temperatura de saturación

Es la temperatura de equilibrio entre la fase líquida y vapor de un fluido puro.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Diagrama de Instalación



- Agua de alimentación
- - - Gases de Combustión
- Vapor
-  Bomba de alimentación
- ABS. Absorbedora
- GVBP. Generador de Vapor Baja Presión
- TA. Tanque de Alimentación
- Diam. 1.20m
- Long. 2.50m

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

TABLA A.1 CONSTANTES TERMODINÁMICAS PARA ALGUNAS SUBSTANCIAS

	$\frac{M}{\text{g}}$	$\frac{M}{\text{g}}$	$\frac{M}{\text{R}}$	$\frac{M}{\text{C}_p}$	$\frac{M}{\text{C}_v}$	$\frac{M}{\gamma}$	$\frac{M}{\text{C}_p}$	$\frac{M}{\text{R}}$
C	12.01	—	—	—	—	—	—	—
H ₂	2.016	0.0899	420.6	3.450	0.310	0.0053	0.0143	765.40
O ₂	32	1.429	26.5	0.223	0.319	0.0846	0.0188	48.24
N ₂	28.016	1.251	30.26	0.249	0.312	0.0744	0.0185	55.16
CO	28.01	1.250	30.29	0.250	0.312	0.0740	0.0185	55.15
CO ₂	44.01	1.977	19.27	0.219	0.431	0.1170	0.0256	35.13
CH ₄	16.041	0.716	52.90	0.590	0.422	0.0424	0.0250	96.21
C ₂ H ₆	30.067	1.356	28.2	0.501	0.671	0.0803	0.0402	51.35
C ₂ H ₄	44.092	2.010	19.23	0.456	0.898	0.1196	0.0545	35.02
C ₂ H ₂	58.118	2.598	14.59	0.438	1.135	0.1582	0.0693	26.57
C ₃ H ₈	72.144	3.223	11.75	—	—	0.1904	—	21.40
C ₃ H ₆	28.051	1.260	30.25	0.431	0.539	0.0746	0.0321	55.04
C ₂ H ₂	26.036	1.176	32.59	0.462	0.543	0.0697	0.0322	59.38
C ₂ H ₄	78.107	3.538	10.85	0.316	1.100	0.2060	0.0651	19.77
S	32.06	—	—	—	—	—	—	—
SH ₂	34.076	1.539	24.88	—	—	0.0911	—	45.31
SO ₂	64.06	2.927	13.24	0.302	0.883	0.1733	0.0523	24.05
H ₂ O (v)	18.016	0.804	47.06	0.490	0.362	0.0476	0.0214	85.70
Aire	28.95	1.293	29.27	0.242	0.313	0.0766	0.0185	53.33

(1) Peso molecular

(2) Kg Nm³

(3) m kg kg *K

(4) Kcal kg *C medio entre 0-200°C, BTU lb *F medio entre 0-200°C

(5) Kcal Nm³ medio entre 0-200°C(6) lb ft³ 60°F 1 atm(7) BTU ft³ 60°F 1 atm. *F medio entre 32-400°C

(8) ft lb lb *R

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA A-2 Análisis de la combustión completa del Fuel Oil 1
 Composición del Combustible(KG/KG): C=0.846; H=0.097; S=0.027; N=0.01; Agua=0.015; Cenizas=0.005

Composición del combustible (KG/KG): C = 0.846; H = 0.097; S = 0.027; N = 0.01; Agua = 0.015; Cenizas = 0.005

POR CILINDRO			AIRE			GASES (KG/KG)						GASES (MM ³ /KG)		GASES (UNIDAD)	GASES (M)		
O ₂	CO ₂ + SO ₂	N ₂	EXCESO	EXCESO	MM ³ /KG	CO ₂	SO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	SI CENIZAS	HUMID	SECO	HUMED	KG/MM ³	M	
0.00	16.46	83.54	1.00	13.18	10.20	3.10	0.05	0.88	0.00	10.14	13.29	14.17	9.70	10.80	1.313	0.232	0
0.50	16.06	83.44	1.02	13.09	10.44	3.10	0.05	0.88	0.07	10.37	13.60	14.48	9.94	11.04	1.312	0.232	0
1.00	15.67	83.33	1.05	13.01	10.69	3.10	0.05	0.88	0.15	10.62	13.92	14.80	10.19	11.29	1.311	0.232	0
1.50	15.27	83.23	1.07	14.15	10.95	3.10	0.05	0.88	0.22	10.88	14.26	15.14	10.45	11.55	1.311	0.232	0
2.00	14.88	83.12	1.10	14.50	11.23	3.10	0.05	0.88	0.31	11.16	14.62	15.50	10.73	11.83	1.310	0.231	0
2.50	14.49	83.01	1.13	14.88	11.52	3.10	0.05	0.88	0.39	11.44	14.99	15.87	11.02	12.12	1.310	0.231	0
3.00	14.09	82.91	1.16	15.28	11.83	3.10	0.05	0.88	0.49	11.75	15.39	16.27	11.33	12.43	1.309	0.231	0
3.50	13.70	82.80	1.19	15.70	12.15	3.10	0.05	0.88	0.58	12.07	15.81	16.69	11.64	12.75	1.309	0.231	0
4.00	13.30	82.70	1.22	16.14	12.49	3.10	0.05	0.88	0.69	12.43	16.25	17.14	12.00	13.10	1.308	0.230	0
4.50	12.91	82.59	1.26	16.61	12.86	3.10	0.05	0.88	0.80	12.78	16.73	17.61	12.37	13.47	1.308	0.230	0
5.00	12.51	82.49	1.30	17.12	13.25	3.10	0.05	0.88	0.91	13.16	17.23	18.11	12.76	13.86	1.307	0.230	0
5.50	12.12	82.38	1.34	17.65	13.66	3.10	0.05	0.88	1.04	13.57	17.76	18.65	13.17	14.27	1.307	0.230	0
6.00	11.73	82.27	1.38	18.22	14.10	3.10	0.05	0.88	1.17	14.01	18.33	19.22	13.62	14.71	1.306	0.249	0
6.50	11.33	82.17	1.43	18.83	14.58	3.10	0.05	0.88	1.31	14.48	18.94	19.83	14.09	15.19	1.305	0.249	0
7.00	10.94	82.06	1.48	19.49	15.08	3.10	0.05	0.88	1.46	14.98	19.60	20.48	14.60	15.70	1.305	0.249	0
7.50	10.54	81.96	1.53	20.19	15.63	3.10	0.05	0.88	1.62	15.52	20.30	21.18	15.15	16.24	1.304	0.249	0
8.00	10.15	81.85	1.59	20.95	16.21	3.10	0.05	0.88	1.80	16.11	21.06	21.94	15.73	16.83	1.304	0.248	0
8.50	9.75	81.75	1.65	21.77	16.85	3.10	0.05	0.88	1.99	16.74	21.88	22.76	16.37	17.47	1.303	0.248	0
9.00	9.36	81.64	1.72	22.65	17.54	3.10	0.05	0.88	2.19	17.42	22.77	23.65	17.06	18.16	1.303	0.248	0
9.50	8.97	81.53	1.79	23.62	18.28	3.10	0.05	0.88	2.42	18.16	23.73	24.61	17.81	18.91	1.302	0.248	0
10.00	8.57	81.43	1.87	24.67	19.10	3.10	0.05	0.88	2.66	18.97	24.79	25.67	18.63	19.73	1.301	0.247	0
10.50	8.18	81.32	1.96	25.83	20.00	3.10	0.05	0.88	2.93	19.84	25.94	26.83	19.53	20.62	1.301	0.247	0
11.00	7.78	81.22	2.06	27.11	20.98	3.10	0.05	0.88	3.22	20.84	27.22	28.10	20.52	21.61	1.300	0.247	0
11.50	7.39	81.11	2.16	28.52	22.07	3.10	0.05	0.88	3.55	21.92	28.63	29.51	21.61	22.71	1.300	0.247	0
12.00	6.99	81.01	2.28	30.02	23.29	3.10	0.05	0.88	3.91	23.13	30.20	31.08	22.83	23.93	1.299	0.246	0
12.50	6.60	80.90	2.42	31.64	24.65	3.10	0.05	0.88	4.32	24.48	31.95	32.84	24.19	25.29	1.298	0.246	0
13.00	6.21	80.79	2.57	33.32	26.18	3.10	0.05	0.88	4.78	26.00	33.93	34.82	25.73	26.83	1.298	0.246	0
13.50	5.81	80.69	2.74	36.07	27.92	3.10	0.05	0.88	5.30	27.73	36.18	37.06	27.44	28.57	1.297	0.246	0
14.00	5.42	80.58	2.93	38.64	29.91	3.10	0.05	0.88	5.90	29.70	38.76	39.64	29.44	30.57	1.297	0.245	0
14.50	5.02	80.48	3.16	41.62	32.22	3.10	0.05	0.88	6.59	32.00	41.74	42.62	31.79	32.80	1.296	0.245	0
15.00	4.63	80.37	3.42	45.11	34.92	3.10	0.05	0.88	7.39	34.68	45.23	46.11	34.50	35.60	1.295	0.245	0

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TABLA A-3 Análisis de la combustión completa del Fuel Oil 2
 Composición del combustible(KG/KG): C=0.837; H=0.092; S=0.036; N=0.01; Agua=0.02; Cenizas:0.005

PORCIENTO			AIRE			GASES(KG/KG)							GASES (MM ³ /KG)		ENTRADA		ENTALPIA	
O ₂	CO ₂ +SO ₂	N ₂	EXCESO	KG/KG	MM ³ /KG	CO ₂	N ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	SECCO	HUMED.	SECCO	HUMED.	KG/MM ³	M	N	
0.00	16.62	83.38	1.00	12.94	10.02	3.07	0.07	0.84	0.00	9.96	13.10	13.94	9.55	10.59	1.310	0.252	0.0000281	
0.50	16.22	83.28	1.02	13.24	10.25	3.07	0.07	0.84	0.07	10.19	13.40	14.24	9.78	10.83	1.315	0.252	0.0000279	
1.00	15.82	83.18	1.05	13.56	10.50	3.07	0.07	0.84	0.14	10.43	13.71	14.56	10.03	11.07	1.314	0.252	0.0000277	
1.50	15.42	83.08	1.07	13.89	10.76	3.07	0.07	0.84	0.22	10.69	14.05	14.89	10.29	11.33	1.314	0.251	0.0000275	
2.00	15.02	82.98	1.10	14.25	11.03	3.07	0.07	0.84	0.30	10.96	14.40	15.24	10.56	11.61	1.313	0.251	0.0000274	
2.50	14.63	82.88	1.13	14.62	11.31	3.07	0.07	0.84	0.39	11.24	14.77	15.61	10.85	11.89	1.313	0.251	0.0000272	
3.00	14.23	82.77	1.16	15.01	11.62	3.07	0.07	0.84	0.48	11.54	15.16	16.00	11.15	12.20	1.312	0.251	0.0000270	
3.50	13.83	82.67	1.19	15.42	11.94	3.07	0.07	0.84	0.57	11.86	15.57	16.42	11.47	12.52	1.311	0.250	0.0000268	
4.00	13.43	82.57	1.23	15.86	12.28	3.07	0.07	0.84	0.67	12.20	16.01	16.85	11.81	12.86	1.311	0.250	0.0000267	
4.50	13.03	82.47	1.26	16.32	12.63	3.07	0.07	0.84	0.78	12.55	16.48	17.32	12.17	13.22	1.300	0.250	0.0000265	
5.00	12.63	82.37	1.30	16.82	13.02	3.07	0.07	0.84	0.90	12.93	16.97	17.81	12.55	13.60	1.309	0.250	0.0000263	
5.50	12.24	82.26	1.34	17.34	13.42	3.07	0.07	0.84	1.02	13.34	17.50	18.34	12.96	14.01	1.309	0.249	0.0000261	
6.00	11.84	82.16	1.38	17.90	13.86	3.07	0.07	0.84	1.15	13.77	18.06	18.90	13.40	14.45	1.308	0.249	0.0000259	
6.50	11.44	82.06	1.43	18.50	14.32	3.07	0.07	0.84	1.29	14.23	18.66	19.50	13.87	14.91	1.308	0.249	0.0000257	
7.00	11.04	81.96	1.48	19.15	14.82	3.07	0.07	0.84	1.44	14.73	19.30	20.14	14.37	15.41	1.307	0.249	0.0000255	
7.50	10.64	81.86	1.53	19.84	15.36	3.07	0.07	0.84	1.60	15.26	19.99	20.83	14.90	15.95	1.306	0.249	0.0000254	
8.00	10.25	81.75	1.59	20.59	15.93	3.07	0.07	0.84	1.77	15.83	20.74	21.58	15.48	16.53	1.306	0.248	0.0000252	
8.50	9.85	81.65	1.65	21.39	16.56	3.07	0.07	0.84	1.96	16.45	21.54	22.39	16.11	17.15	1.305	0.248	0.0000250	
9.00	9.45	81.55	1.72	22.27	17.23	3.07	0.07	0.84	2.16	17.12	22.42	23.26	16.79	17.83	1.304	0.248	0.0000248	
9.50	9.05	81.45	1.79	23.22	17.97	3.07	0.07	0.84	2.38	17.85	23.37	24.21	17.52	18.57	1.304	0.248	0.0000246	
10.00	8.65	81.35	1.87	24.25	18.77	3.07	0.07	0.84	2.62	18.65	24.41	25.25	18.33	19.38	1.303	0.247	0.0000244	
10.50	8.26	81.24	1.96	25.39	19.66	3.07	0.07	0.84	2.88	19.52	25.55	26.39	19.21	20.26	1.302	0.247	0.0000242	
1.00	7.86	81.14	2.06	26.65	20.63	3.07	0.07	0.84	3.17	20.49	26.80	27.64	20.19	21.23	1.302	0.247	0.0000240	
1.50	7.46	81.04	2.17	28.03	21.70	3.07	0.07	0.84	3.49	21.55	28.19	29.03	21.26	22.31	1.301	0.247	0.0000238	
2.00	7.06	80.94	2.29	29.58	22.89	3.07	0.07	0.84	3.85	22.74	29.73	30.57	22.46	23.51	1.300	0.246	0.0000236	
2.50	6.66	80.84	2.42	31.31	24.23	3.07	0.07	0.84	4.25	24.07	31.46	32.30	23.81	24.85	1.300	0.246	0.0000234	
3.00	6.27	80.73	2.57	33.25	25.74	3.07	0.07	0.84	4.70	25.57	33.41	34.25	25.32	26.37	1.299	0.246	0.0000232	
3.50	5.87	80.63	2.74	35.47	27.45	3.07	0.07	0.84	5.21	27.27	35.62	36.46	27.04	28.08	1.298	0.245	0.0000230	
4.00	5.47	80.53	2.94	38.00	29.41	3.07	0.07	0.84	5.80	29.21	38.15	39.00	29.00	30.05	1.298	0.245	0.0000228	
4.50	5.07	80.43	3.16	40.93	31.68	3.07	0.07	0.84	6.48	31.47	41.09	41.93	31.28	32.33	1.297	0.245	0.0000226	
5.00	4.67	80.33	3.43	44.36	34.34	3.07	0.07	0.84	7.27	34.10	44.52	45.36	33.95	34.99	1.296	0.245	0.0000224	

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

TABLA A-4 Análisis de la combustión completa del gasóleo

Composición del combustible (NM³/NM³): C₁H₄ = 0.86; C₂H₆ = 0.076; C₃H₈ = 0.024; C₄H₁₀ = 0.01; N₂ = 0.03

POR CILINDRO				AIRE			GAS (NM ³ /NM ³) FPP ²						GAS (NM ³ /NM ³)		GAS (NM ³ /NM ³)		GAS (NM ³ /NM ³)	
O ₂	CO ₂ + SO ₂	N ₂		EXCESSO	KG/NM ³	NM ³ /NM ³	CO ₂	SO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	SECCO	HUMEDO	SECCO	HUMEDO	KG/NM ³	M	N
0.00	11.98	88.02		1.00	13.40	10.37	2.21	0.00	1.68	0.00	10.33	12.54	14.23	9.39	11.48	1.239	0.265	0.0000293
0.50	11.69	87.81		1.02	13.69	10.60	2.21	0.00	1.68	0.01	10.36	12.84	14.52	9.62	11.71	1.240	0.264	0.0000291
1.00	11.40	87.60		1.05	14.01	10.84	2.21	0.00	1.68	0.14	10.80	13.15	14.83	9.86	11.95	1.241	0.264	0.0000289
1.50	11.11	87.39		1.07	14.33	11.09	2.21	0.00	1.68	0.22	11.05	13.48	15.16	10.11	12.21	1.242	0.263	0.0000287
2.00	10.83	87.17		1.10	14.68	11.36	2.21	0.00	1.68	0.30	11.32	13.82	15.51	10.38	12.47	1.243	0.263	0.0000285
2.50	10.54	86.96		1.12	15.04	11.64	2.21	0.00	1.68	0.38	11.60	14.19	15.87	10.66	12.76	1.244	0.262	0.0000283
3.00	10.25	86.75		1.15	15.43	11.94	2.21	0.00	1.68	0.47	11.89	14.57	16.26	10.96	13.06	1.245	0.262	0.0000281
3.50	9.97	86.53		1.18	15.83	12.26	2.21	0.00	1.68	0.56	12.20	14.98	16.66	11.28	13.37	1.246	0.261	0.0000279
4.00	9.68	86.32		1.21	16.26	12.59	2.21	0.00	1.68	0.66	12.54	15.41	17.09	11.61	13.71	1.247	0.261	0.0000277
4.50	9.39	86.11		1.25	16.72	12.94	2.21	0.00	1.68	0.77	12.89	15.86	17.55	11.97	14.06	1.248	0.260	0.0000275
5.00	9.11	85.89		1.28	17.21	13.32	2.21	0.00	1.68	0.88	13.26	16.35	18.03	12.34	14.44	1.249	0.260	0.0000273
5.50	8.82	85.68		1.32	17.72	13.72	2.21	0.00	1.68	1.00	13.66	16.87	18.55	12.74	14.84	1.250	0.259	0.0000271
6.00	8.53	85.47		1.36	18.27	14.15	2.21	0.00	1.68	1.13	14.08	17.42	19.10	13.17	15.27	1.251	0.259	0.0000269
6.50	8.25	85.25		1.41	18.86	14.60	2.21	0.00	1.68	1.27	14.54	18.01	19.69	13.63	15.73	1.252	0.258	0.0000267
7.00	7.96	85.04		1.46	19.50	15.09	2.21	0.00	1.68	1.41	15.02	18.64	20.33	14.12	16.22	1.253	0.258	0.0000265
7.50	7.67	84.83		1.51	20.18	15.62	2.21	0.00	1.68	1.57	15.54	19.32	21.01	14.65	16.75	1.254	0.257	0.0000263
8.00	7.38	84.62		1.56	20.91	16.19	2.21	0.00	1.68	1.74	16.11	20.06	21.74	15.22	17.31	1.256	0.257	0.0000261
8.50	7.10	84.40		1.62	21.70	16.80	2.21	0.00	1.68	1.92	16.72	20.85	22.53	15.84	17.93	1.257	0.256	0.0000258
9.00	6.81	84.19		1.68	22.56	17.46	2.21	0.00	1.68	2.12	17.38	21.71	23.39	16.50	18.60	1.258	0.256	0.0000256
9.50	6.52	83.98		1.75	23.50	18.19	2.21	0.00	1.68	2.34	18.10	22.64	24.33	17.23	19.32	1.259	0.255	0.0000254
10.00	6.24	83.76		1.83	24.52	18.98	2.21	0.00	1.68	2.57	18.88	23.66	25.35	18.02	20.11	1.260	0.254	0.0000252
10.50	5.95	83.55		1.91	25.64	19.84	2.21	0.00	1.68	2.83	19.74	24.78	26.47	18.89	20.98	1.261	0.254	0.0000250
11.00	5.66	83.34		2.01	26.87	20.80	2.21	0.00	1.68	3.12	20.69	26.01	27.70	19.85	21.94	1.262	0.253	0.0000247
11.50	5.38	83.12		2.11	28.23	21.85	2.21	0.00	1.68	3.43	21.73	27.38	29.06	20.91	23.00	1.264	0.253	0.0000245
12.00	5.09	82.91		2.22	29.75	23.03	2.21	0.00	1.68	3.79	22.90	28.90	30.58	22.08	24.18	1.265	0.252	0.0000243
12.50	4.80	82.70		2.35	31.45	24.34	2.21	0.00	1.68	4.18	24.21	30.59	32.28	23.40	25.50	1.266	0.252	0.0000240
13.00	4.52	82.48		2.49	33.37	25.83	2.21	0.00	1.68	4.62	25.68	32.51	34.19	24.89	26.99	1.267	0.251	0.0000238
13.50	4.23	82.27		2.65	35.54	27.51	2.21	0.00	1.68	5.13	27.35	34.68	36.37	26.58	28.67	1.268	0.251	0.0000236
14.00	3.94	82.06		2.84	38.08	29.44	2.21	0.00	1.68	5.70	29.26	37.18	38.86	28.51	30.61	1.270	0.250	0.0000233
14.50	3.65	81.85		3.05	40.94	31.67	2.21	0.00	1.68	6.37	31.48	40.06	41.74	30.75	32.85	1.271	0.249	0.0000231
15.00	3.37	81.63		3.31	44.29	34.28	2.21	0.00	1.68	7.15	34.07	43.43	45.12	33.37	35.47	1.272	0.249	0.0000229

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TABLA A-4 Análisis de la combustión completa del gasóleo(continuación)

Composición del combustible (K/G/K/G): C = 0,86; H = 0,11; S = 0,008; N = 0,01; Agua = 0,01; Cenizas = 0,001

POR CIENTO	AIRE			GASES(KG/KG)							GASES (MM ³ /KG)		GASES DENSIDAD		GASES ENTALPIA		
	O ₂	CO ₂ +SO ₂	N ₂	K(G/KG)	K(G/KG)	MM ³ /KG	CO ₂	H ₂ O	H ₂ O	O ₂	N ₂	SECOS	HUMED.	SECOS	HUMED.	KG/M ³	M
0,00	16,00	84,00	1,00	13,74	10,63	3,15	0,02	1,00	0,00	10,57	13,74	14,74	10,86	11,30	1,304	0,253	0,0000283
0,50	15,62	83,88	1,02	14,06	10,88	3,15	0,02	1,00	0,07	10,81	14,05	15,06	10,81	11,55	1,303	0,253	0,0000281
1,00	15,23	83,77	1,05	14,39	11,14	3,15	0,02	1,00	0,15	11,07	14,39	15,39	10,57	11,81	1,303	0,253	0,0000279
1,50	14,85	83,65	1,07	14,74	11,41	3,15	0,02	1,00	0,23	11,34	14,74	15,74	10,84	12,08	1,303	0,252	0,0000278
2,00	14,47	83,53	1,10	15,11	11,70	3,15	0,02	1,00	0,32	11,62	15,11	16,11	11,13	12,37	1,302	0,252	0,0000276
2,50	14,08	83,42	1,13	15,50	12,00	3,15	0,02	1,00	0,41	11,92	15,50	16,50	11,43	12,67	1,302	0,252	0,0000274
3,00	13,70	83,30	1,16	15,91	12,32	3,15	0,02	1,00	0,50	12,24	15,91	16,91	11,75	12,99	1,302	0,252	0,0000272
3,50	13,32	83,18	1,19	16,35	12,65	3,15	0,02	1,00	0,60	12,57	16,35	17,35	12,09	13,33	1,301	0,251	0,0000270
4,00	12,93	83,07	1,22	16,81	13,01	3,15	0,02	1,00	0,71	12,93	16,81	17,81	12,44	13,69	1,301	0,251	0,0000268
4,50	12,55	82,95	1,26	17,30	13,39	3,15	0,02	1,00	0,82	13,30	17,30	18,30	12,82	14,07	1,301	0,251	0,0000267
5,00	12,17	82,83	1,30	17,82	13,79	3,15	0,02	1,00	0,94	13,70	17,82	18,82	13,23	14,47	1,300	0,251	0,0000265
5,50	11,78	82,72	1,34	18,37	14,22	3,15	0,02	1,00	1,07	14,13	18,37	19,37	13,66	14,90	1,300	0,250	0,0000263
6,00	11,40	82,60	1,38	18,97	14,68	3,15	0,02	1,00	1,21	14,58	18,96	19,96	14,12	15,36	1,299	0,250	0,0000261
6,50	11,02	82,48	1,43	19,60	15,17	3,15	0,02	1,00	1,36	15,07	19,59	20,60	14,61	15,85	1,299	0,250	0,0000259
7,00	10,63	82,37	1,48	20,28	15,70	3,15	0,02	1,00	1,51	15,59	20,27	21,28	15,14	16,38	1,299	0,250	0,0000257
7,50	10,25	82,25	1,53	21,01	16,26	3,15	0,02	1,00	1,68	16,15	21,00	22,00	15,70	16,95	1,298	0,249	0,0000255
8,00	9,87	82,13	1,59	21,79	16,87	3,15	0,02	1,00	1,86	16,76	21,79	22,79	16,31	17,56	1,298	0,249	0,0000253
8,50	9,48	82,02	1,65	22,64	17,52	3,15	0,02	1,00	2,06	17,41	22,64	23,64	16,97	18,22	1,298	0,249	0,0000251
9,00	9,10	81,90	1,71	23,56	18,24	3,15	0,02	1,00	2,27	18,12	23,56	24,56	17,69	18,93	1,297	0,249	0,0000249
9,50	8,72	81,78	1,79	24,56	19,01	3,15	0,02	1,00	2,51	18,89	24,56	25,56	18,46	19,71	1,297	0,248	0,0000247
10,00	8,33	81,67	1,87	25,66	19,86	3,15	0,02	1,00	2,76	19,73	25,65	26,66	19,31	20,56	1,297	0,248	0,0000245
10,50	7,95	81,55	1,95	26,86	20,79	3,15	0,02	1,00	3,04	20,65	26,85	27,85	20,24	21,49	1,296	0,248	0,0000243
11,00	7,57	81,43	2,05	28,18	21,81	3,15	0,02	1,00	3,34	21,66	28,17	29,18	21,27	22,52	1,296	0,247	0,0000241
11,50	7,18	81,32	2,16	29,64	22,94	3,15	0,02	1,00	3,68	22,79	29,64	30,64	22,41	23,65	1,295	0,247	0,0000239
12,00	6,80	81,20	2,28	31,26	24,20	3,15	0,02	1,00	4,06	24,04	31,26	32,26	23,67	24,91	1,295	0,247	0,0000237
12,50	6,42	81,08	2,41	33,09	25,61	3,15	0,02	1,00	4,48	25,44	33,08	34,08	25,08	26,33	1,295	0,247	0,0000235
13,00	6,03	80,97	2,56	35,14	27,20	3,15	0,02	1,00	4,95	27,01	35,14	36,14	26,68	27,92	1,294	0,246	0,0000233
13,50	5,65	80,84	2,71	37,47	29,00	3,15	0,02	1,00	5,49	28,81	37,47	38,47	28,49	29,73	1,294	0,246	0,0000231
14,00	5,27	80,73	2,92	40,14	31,07	3,15	0,02	1,00	6,11	30,86	40,14	41,14	30,56	31,81	1,293	0,246	0,0000229
14,50	4,88	80,62	3,15	43,22	33,46	3,15	0,02	1,00	6,83	33,23	43,23	44,23	32,96	34,20	1,293	0,245	0,0000227
15,00	4,50	80,50	3,41	46,84	36,26	3,15	0,02	1,00	7,66	36,01	46,84	47,84	35,77	37,01	1,291	0,245	0,0000225

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TABLA A-5 Análisis de la combustión completa del gas natural

Composición del combustible (NM³/NM³): C₁H₄ = 0.86; C₂H₆ = 0.076; C₃H₈ = 0.024; C₄H₁₀ = 0.01; N₂ = 0.03

POR CIENTO				AIRE			GAS (KCAL/M ³ APT)						GAS (NM ³ /NM ³)		GAS (NM ³ /NM ³)		GAS (NM ³ /NM ³)	
O ₂	CO ₂ +SO ₂	N ₂		LX (L/M ³)	KG (NM ³)	NM ³ /NM ³	CO ₂	SO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	SECO	HUMED	SECO	HUMED	K (NM ³)	M	N
0.00	11.98	88.02	1.00	13.40	10.37	2.21	0.00	1.68	0.00	10.33	12.54	14.23	9.39	11.48	1.234	0.265	0.0000293	
0.50	11.69	87.81	1.02	13.69	10.60	2.21	0.00	1.68	0.01	10.56	12.84	14.52	9.62	11.71	1.240	0.264	0.0000291	
1.00	11.40	87.60	1.05	14.01	10.84	2.21	0.00	1.68	0.14	10.80	13.15	14.83	9.86	11.95	1.241	0.264	0.0000289	
1.50	11.11	87.39	1.07	14.33	11.09	2.21	0.00	1.68	0.22	11.05	13.48	15.16	10.11	12.21	1.242	0.263	0.0000287	
2.00	10.83	87.17	1.10	14.68	11.36	2.21	0.00	1.68	0.30	11.32	13.82	15.51	10.38	12.47	1.243	0.263	0.0000285	
2.50	10.54	86.96	1.12	15.04	11.64	2.21	0.00	1.68	0.38	11.60	14.19	15.87	10.66	12.76	1.244	0.262	0.0000283	
3.00	10.25	86.75	1.15	15.43	11.94	2.21	0.00	1.68	0.47	11.89	14.57	16.26	10.96	13.06	1.245	0.262	0.0000281	
3.50	9.97	86.53	1.18	15.83	12.26	2.21	0.00	1.68	0.56	12.20	14.98	16.66	11.28	13.37	1.246	0.261	0.0000279	
4.00	9.68	86.32	1.21	16.26	12.59	2.21	0.00	1.68	0.66	12.54	15.41	17.09	11.61	13.71	1.247	0.261	0.0000277	
4.50	9.39	86.11	1.25	16.72	12.94	2.21	0.00	1.68	0.77	12.89	15.86	17.55	11.97	14.06	1.248	0.260	0.0000275	
5.00	9.11	85.89	1.28	17.21	13.32	2.21	0.00	1.68	0.88	13.26	16.35	18.03	12.34	14.44	1.249	0.260	0.0000273	
5.50	8.82	85.68	1.32	17.72	13.72	2.21	0.00	1.68	1.00	13.66	16.87	18.55	12.74	14.84	1.250	0.259	0.0000271	
6.00	8.53	85.47	1.36	18.27	14.15	2.21	0.00	1.68	1.13	14.08	17.42	19.10	13.17	15.27	1.251	0.259	0.0000269	
6.50	8.25	85.25	1.41	18.86	14.60	2.21	0.00	1.68	1.27	14.54	18.01	19.69	13.63	15.73	1.252	0.258	0.0000267	
7.00	7.96	85.04	1.46	19.50	15.09	2.21	0.00	1.68	1.41	15.02	18.64	20.33	14.12	16.22	1.253	0.258	0.0000265	
7.50	7.67	84.83	1.51	20.18	15.62	2.21	0.00	1.68	1.57	15.54	19.32	21.01	14.65	16.75	1.254	0.257	0.0000263	
8.00	7.38	84.62	1.56	20.91	16.19	2.21	0.00	1.68	1.74	16.11	20.06	21.74	15.22	17.31	1.256	0.257	0.0000261	
8.50	7.10	84.40	1.62	21.70	16.80	2.21	0.00	1.68	1.92	16.72	20.85	22.53	15.84	17.93	1.257	0.256	0.0000258	
9.00	6.81	84.19	1.68	22.56	17.46	2.21	0.00	1.68	2.12	17.38	21.71	23.39	16.50	18.60	1.258	0.256	0.0000256	
9.50	6.52	83.98	1.75	23.50	18.19	2.21	0.00	1.68	2.34	18.10	22.64	24.33	17.23	19.32	1.259	0.255	0.0000254	
10.00	6.24	83.76	1.83	24.52	18.98	2.21	0.00	1.68	2.57	18.88	23.66	25.35	18.02	20.11	1.260	0.254	0.0000252	
10.50	5.95	83.55	1.91	25.64	19.84	2.21	0.00	1.68	2.83	19.74	24.78	26.47	18.89	20.98	1.261	0.254	0.0000250	
11.00	5.66	83.34	2.01	26.87	20.80	2.21	0.00	1.68	3.12	20.69	26.01	27.70	19.85	21.94	1.262	0.253	0.0000247	
11.50	5.38	83.12	2.11	28.23	21.85	2.21	0.00	1.68	3.43	21.73	27.38	29.06	20.91	23.00	1.264	0.253	0.0000245	
12.00	5.09	82.91	2.22	29.75	23.03	2.21	0.00	1.68	3.79	22.90	28.90	30.58	22.08	24.18	1.265	0.252	0.0000243	
12.50	4.80	82.70	2.35	31.45	24.34	2.21	0.00	1.68	4.18	24.21	30.59	32.28	23.40	25.50	1.266	0.252	0.0000240	
13.00	4.52	82.48	2.49	33.37	25.83	2.21	0.00	1.68	4.62	25.68	32.51	34.19	24.89	26.99	1.267	0.251	0.0000238	
13.50	4.23	82.27	2.65	35.54	27.51	2.21	0.00	1.68	5.13	27.35	34.68	36.37	26.58	28.67	1.268	0.251	0.0000236	
14.00	3.94	82.06	2.84	38.03	29.64	2.21	0.00	1.68	5.70	29.26	37.18	38.86	28.51	30.61	1.270	0.250	0.0000233	
14.50	3.65	81.85	3.05	40.99	31.67	2.21	0.00	1.68	6.37	31.44	40.06	41.74	30.75	32.85	1.271	0.249	0.0000231	
15.00	3.37	81.63	3.31	44.29	34.28	2.21	0.00	1.68	7.15	34.07	43.43	45.12	33.37	35.47	1.272	0.249	0.0000229	

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TABLA A-6 Análisis de la combustión completa del propano

Composición del combustible (NM³/NM³): C₃H₈ = 0.02; C₂H₆ = 0.92; C₄H₁₀ = 0.04; N₂ = 0.02

PWR (L/NM ³)			AIRE		GAS(S) (Kcal)					GAS(S) (NM ³ /NM ³)		GAS(S) (Kcal/NM ³)		GAS(S) (L/NM ³)			
O ₂	CO ₂ + SO ₂	N ₂	EXCISO	K(O/NM ³)	NM ³ /NM ³	CO ₂	SO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	SATUR	UNUMED	SECCO	UNUMED	KG/NM ³	M	N
0.00	13.66	86.34	1.00	30.42	23.53	5.82	0.00	3.17	0.00	23.40	29.22	32.39	21.67	23.61	1.265	0.260	0.0000289
0.50	13.33	86.17	1.02	31.11	24.08	5.82	0.00	3.17	0.16	23.93	29.91	33.07	22.21	26.13	1.265	0.260	0.0000281
1.00	13.00	86.00	1.05	31.83	24.64	5.82	0.00	3.17	0.33	24.48	30.63	33.79	22.76	26.70	1.266	0.259	0.0000285
1.50	12.68	85.82	1.07	32.58	25.22	5.82	0.00	3.17	0.50	25.07	31.38	34.55	23.35	27.29	1.266	0.259	0.0000283
2.00	12.35	85.65	1.10	33.38	25.84	5.82	0.00	3.17	0.68	25.68	32.10	35.35	23.97	27.91	1.266	0.258	0.0000282
2.50	12.02	85.48	1.12	34.22	26.49	5.82	0.00	3.17	0.88	26.32	33.02	36.19	24.62	28.56	1.267	0.258	0.0000280
3.00	11.69	85.31	1.15	35.11	27.18	5.82	0.00	3.17	1.08	27.01	33.91	37.08	25.31	29.25	1.267	0.258	0.0000278
3.50	11.37	85.13	1.18	36.05	27.90	5.82	0.00	3.17	1.30	27.73	34.84	38.01	26.04	29.98	1.268	0.257	0.0000276
4.00	11.04	84.96	1.22	37.04	28.67	5.82	0.00	3.17	1.53	28.49	35.84	39.01	26.81	30.75	1.268	0.257	0.0000274
4.50	10.71	84.79	1.23	38.10	29.49	5.82	0.00	3.17	1.78	29.30	36.89	40.06	27.63	31.57	1.269	0.256	0.0000272
5.00	10.39	84.61	1.29	39.22	30.36	5.82	0.00	3.17	2.04	30.16	38.01	41.18	28.50	32.44	1.269	0.256	0.0000270
5.50	10.06	84.44	1.31	40.41	31.28	5.82	0.00	3.17	2.31	31.08	39.21	42.36	29.43	33.37	1.270	0.256	0.0000268
6.00	9.73	84.27	1.37	41.69	32.27	5.82	0.00	3.17	2.61	32.06	40.48	43.65	30.42	34.36	1.270	0.255	0.0000266
6.50	9.40	84.10	1.42	43.05	33.32	5.82	0.00	3.17	2.92	33.11	41.85	45.02	31.48	35.42	1.271	0.255	0.0000264
7.00	9.08	83.92	1.46	44.51	34.45	5.82	0.00	3.17	3.26	34.23	43.31	46.48	32.61	36.55	1.272	0.254	0.0000262
7.50	8.75	83.75	1.51	46.08	35.67	5.82	0.00	3.17	3.62	35.44	44.88	48.05	33.83	37.77	1.272	0.254	0.0000260
8.00	8.43	83.58	1.57	47.77	36.98	5.82	0.00	3.17	4.02	36.74	46.57	49.74	35.15	39.09	1.273	0.253	0.0000258
8.50	8.09	83.41	1.63	49.60	38.40	5.82	0.00	3.17	4.44	38.14	48.40	51.57	36.57	40.51	1.273	0.253	0.0000256
9.00	7.77	83.23	1.70	51.59	39.93	5.82	0.00	3.17	4.90	39.67	50.38	53.55	38.11	42.05	1.274	0.253	0.0000253
9.50	7.44	83.06	1.77	53.75	41.60	5.82	0.00	3.17	5.40	41.33	52.54	55.71	39.78	43.72	1.274	0.252	0.0000251
10.00	7.11	82.89	1.84	56.10	43.43	5.82	0.00	3.17	5.94	43.14	54.90	58.07	41.61	45.55	1.275	0.252	0.0000249
10.50	6.79	82.71	1.93	58.69	45.43	5.82	0.00	3.17	6.54	45.13	57.48	60.65	43.62	47.56	1.275	0.251	0.0000247
11.00	6.46	82.54	2.02	61.51	47.63	5.82	0.00	3.17	7.20	47.31	60.33	63.50	45.83	49.77	1.276	0.251	0.0000245
11.50	6.13	82.37	2.13	64.68	50.03	5.82	0.00	3.17	7.93	49.73	63.48	66.65	48.28	52.22	1.276	0.250	0.0000243
12.00	5.80	82.20	2.24	68.19	52.78	5.82	0.00	3.17	8.74	52.43	66.98	70.15	51.00	54.94	1.277	0.250	0.0000240
12.50	5.48	82.02	2.37	72.11	55.82	5.82	0.00	3.17	9.65	55.44	70.91	74.08	54.04	57.98	1.278	0.250	0.0000238
13.00	5.15	81.85	2.52	76.53	59.24	5.82	0.00	3.17	10.67	58.84	75.33	78.50	57.48	61.42	1.278	0.249	0.0000236
13.50	4.82	81.68	2.68	81.55	63.13	5.82	0.00	3.17	11.84	62.70	80.35	83.52	61.38	65.32	1.279	0.249	0.0000234
14.00	4.50	81.50	2.87	87.31	67.58	5.82	0.00	3.17	13.17	67.12	86.11	89.27	65.84	69.78	1.279	0.248	0.0000232
14.50	4.17	81.33	3.09	93.96	72.73	5.82	0.00	3.17	14.71	72.24	92.76	95.93	71.01	74.85	1.280	0.248	0.0000229
15.00	3.84	81.16	3.34	101.76	78.76	5.82	0.00	3.17	16.51	78.22	100.55	103.72	77.06	81.00	1.280	0.247	0.0000227

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TABLA A-7 Entalpia de gases(kcal/kg de gases) para combustibles líquidos (Fuel Oil 1,2 y Gasóleo C)

Combustible (% _v / % _g)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0
Gasóleo C	12.6	12.7	12.8	12.9	13.0	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	13.9	14.0	14.1	14.2	14.3	14.4
Fuel Oil 1	12.6	12.7	12.8	12.9	13.0	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	13.9	14.0	14.1	14.2	14.3	14.4
Fuel Oil 2	12.6	12.7	12.8	12.9	13.0	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	13.9	14.0	14.1	14.2	14.3	14.4

Temp. Gases (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	925	950	975	1000																																																																																																								
Gasóleo C	6.3	12.7	19.1	25.5	31.9	38.4	45.0	51.5	58.1	64.6	71.4	78.1	84.7	91.2	98.5	105.3	112.3	119.1	126.1	133.0	139.9	146.8	153.7	160.6	167.6	174.5	181.5	188.4	195.4	202.4	209.4	216.4	223.4	230.4	237.4	244.4	251.4	258.4	265.4	272.4	279.4	286.4	293.4	300.4	307.4	314.4	321.4	328.4	335.4	342.4	349.4	356.4	363.4	370.4	377.4	384.4	391.4	398.4	405.4	412.4	419.4	426.4	433.4	440.4	447.4	454.4	461.4	468.4	475.4	482.4	489.4	496.4	503.4	510.4	517.4	524.4	531.4	538.4	545.4	552.4	559.4	566.4	573.4	580.4	587.4	594.4	601.4	608.4	615.4	622.4	629.4	636.4	643.4	650.4	657.4	664.4	671.4	678.4	685.4	692.4	699.4	706.4	713.4	720.4	727.4	734.4	741.4	748.4	755.4	762.4	769.4	776.4	783.4	790.4	797.4	804.4	811.4	818.4	825.4	832.4	839.4	846.4	853.4	860.4	867.4	874.4	881.4	888.4	895.4	902.4	909.4	916.4	923.4	930.4	937.4	944.4	951.4	958.4	965.4	972.4	979.4	986.4	993.4	1000.4
Fuel Oil 1	6.3	12.7	19.1	25.5	31.9	38.4	45.0	51.5	58.1	64.6	71.4	78.1	84.7	91.2	98.5	105.3	112.3	119.1	126.1	133.0	139.9	146.8	153.7	160.6	167.6	174.5	181.5	188.4	195.4	202.4	209.4	216.4	223.4	230.4	237.4	244.4	251.4	258.4	265.4	272.4	279.4	286.4	293.4	300.4	307.4	314.4	321.4	328.4	335.4	342.4	349.4	356.4	363.4	370.4	377.4	384.4	391.4	398.4	405.4	412.4	419.4	426.4	433.4	440.4	447.4	454.4	461.4	468.4	475.4	482.4	489.4	496.4	503.4	510.4	517.4	524.4	531.4	538.4	545.4	552.4	559.4	566.4	573.4	580.4	587.4	594.4	601.4	608.4	615.4	622.4	629.4	636.4	643.4	650.4	657.4	664.4	671.4	678.4	685.4	692.4	699.4	706.4	713.4	720.4	727.4	734.4	741.4	748.4	755.4	762.4	769.4	776.4	783.4	790.4	797.4	804.4	811.4	818.4	825.4	832.4	839.4	846.4	853.4	860.4	867.4	874.4	881.4	888.4	895.4	902.4	909.4	916.4	923.4	930.4	937.4	944.4	951.4	958.4	965.4	972.4	979.4	986.4	993.4	1000.4
Fuel Oil 2	6.3	12.7	19.1	25.5	31.9	38.4	45.0	51.5	58.1	64.6	71.4	78.1	84.7	91.2	98.5	105.3	112.3	119.1	126.1	133.0	139.9	146.8	153.7	160.6	167.6	174.5	181.5	188.4	195.4	202.4	209.4	216.4	223.4	230.4	237.4	244.4	251.4	258.4	265.4	272.4	279.4	286.4	293.4	300.4	307.4	314.4	321.4	328.4	335.4	342.4	349.4	356.4	363.4	370.4	377.4	384.4	391.4	398.4	405.4	412.4	419.4	426.4	433.4	440.4	447.4	454.4	461.4	468.4	475.4	482.4	489.4	496.4	503.4	510.4	517.4	524.4	531.4	538.4	545.4	552.4	559.4	566.4	573.4	580.4	587.4	594.4	601.4	608.4	615.4	622.4	629.4	636.4	643.4	650.4	657.4	664.4	671.4	678.4	685.4	692.4	699.4	706.4	713.4	720.4	727.4	734.4	741.4	748.4	755.4	762.4	769.4	776.4	783.4	790.4	797.4	804.4	811.4	818.4	825.4	832.4	839.4	846.4	853.4	860.4	867.4	874.4	881.4	888.4	895.4	902.4	909.4	916.4	923.4	930.4	937.4	944.4	951.4	958.4	965.4	972.4	979.4	986.4	993.4	1000.4

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TABLA A-8 Entalpía de gases (kcal/kg de gases) para combustibles gaseosos (Gas Natural) (continuación)

Temperatura, Grados (°C)	Temperatura, Grados (°C)									
	1025	1050	1075	1100	1125	1150	1175	1200	1225	1250
1025	3621	3618	3615	3612	3609	3606	3603	3600	3597	3594
1050	3613	3610	3607	3604	3601	3598	3595	3592	3589	3586
1075	3605	3602	3599	3596	3593	3590	3587	3584	3581	3578
1100	3597	3594	3591	3588	3585	3582	3579	3576	3573	3570
1125	3589	3586	3583	3580	3577	3574	3571	3568	3565	3562
1150	3581	3578	3575	3572	3569	3566	3563	3560	3557	3554
1175	3573	3570	3567	3564	3561	3558	3555	3552	3549	3546
1200	3565	3562	3559	3556	3553	3550	3547	3544	3541	3538
1225	3557	3554	3551	3548	3545	3542	3539	3536	3533	3530
1250	3549	3546	3543	3540	3537	3534	3531	3528	3525	3522
1275	3541	3538	3535	3532	3529	3526	3523	3520	3517	3514
1300	3533	3530	3527	3524	3521	3518	3515	3512	3509	3506
1325	3525	3522	3519	3516	3513	3510	3507	3504	3501	3498
1350	3517	3514	3511	3508	3505	3502	3499	3496	3493	3490
1375	3509	3506	3503	3500	3497	3494	3491	3488	3485	3482
1400	3501	3498	3495	3492	3489	3486	3483	3480	3477	3474
1425	3493	3490	3487	3484	3481	3478	3475	3472	3469	3466
1450	3485	3482	3479	3476	3473	3470	3467	3464	3461	3458
1475	3477	3474	3471	3468	3465	3462	3459	3456	3453	3450
1500	3469	3466	3463	3460	3457	3454	3451	3448	3445	3442
1525	3461	3458	3455	3452	3449	3446	3443	3440	3437	3434
1550	3453	3450	3447	3444	3441	3438	3435	3432	3429	3426
1575	3445	3442	3439	3436	3433	3430	3427	3424	3421	3418
1600	3437	3434	3431	3428	3425	3422	3419	3416	3413	3410
1625	3429	3426	3423	3420	3417	3414	3411	3408	3405	3402
1650	3421	3418	3415	3412	3409	3406	3403	3400	3397	3394
1675	3413	3410	3407	3404	3401	3398	3395	3392	3389	3386
1700	3405	3402	3399	3396	3393	3390	3387	3384	3381	3378
1725	3397	3394	3391	3388	3385	3382	3379	3376	3373	3370
1750	3389	3386	3383	3380	3377	3374	3371	3368	3365	3362
1775	3381	3378	3375	3372	3369	3366	3363	3360	3357	3354
1800	3373	3370	3367	3364	3361	3358	3355	3352	3349	3346
1825	3365	3362	3359	3356	3353	3350	3347	3344	3341	3338
1850	3357	3354	3351	3348	3345	3342	3339	3336	3333	3330
1875	3349	3346	3343	3340	3337	3334	3331	3328	3325	3322
1900	3341	3338	3335	3332	3329	3326	3323	3320	3317	3314
1925	3333	3330	3327	3324	3321	3318	3315	3312	3309	3306
1950	3325	3322	3319	3316	3313	3310	3307	3304	3301	3298
1975	3317	3314	3311	3308	3305	3302	3299	3296	3293	3290
2000	3309	3306	3303	3300	3297	3294	3291	3288	3285	3282

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA B-1 Presión de vapor, en el líquido y volumen específico del agua líquida

TEMPERATURA (°C)	PRESION DE VAPOR P_v (kg/cm ²)	CALOR EN EL LIQUIDO h_f (kcal/kg)	VOLUMEN ESPECIFICO v_f (m ³ /kg)	TEMPERATURA (°C)	PRESION DE VAPOR P_v (kg/cm ²)	CALOR EN EL LIQUIDO h_f (kcal/kg)	VOLUMEN ESPECIFICO v_f (m ³ /kg)
0	0.006228	2.01	0.0010002	42	0.08360	41.97	0.0010087
2	0.007193	2.01	0.0010001	44	0.09279	43.97	0.0010095
3	0.007723	3.02	0.0010000	46	0.10284	45.96	0.0010103
4	0.008289	4.02	0.0010000	48	0.11382	47.95	0.0010112
5	0.008890	5.03	0.0010000	50	0.12578	49.95	0.0010121
6	0.009530	6.03	0.0010001	52	0.13881	51.95	0.0010130
7	0.010210	7.03	0.0010001	54	0.15298	53.94	0.0010140
8	0.010932	8.04	0.0010002	56	0.16835	55.94	0.0010150
9	0.011699	9.04	0.0010003	58	0.18504	57.94	0.0010160
10	0.012513	10.04	0.0010004	60	0.2031	59.94	0.0010171
11	0.013376	11.04	0.0010005	62	0.2227	61.94	0.0010182
12	0.014291	12.04	0.0010006	64	0.2438	63.94	0.0010193
13	0.015261	13.04	0.0010007	66	0.2666	65.93	0.0010204
14	0.016289	14.04	0.0010008	68	0.2912	67.93	0.0010216
15	0.017376	15.04	0.0010010	70	0.3177	69.93	0.0010238
16	0.018527	16.04	0.0010012	72	0.3463	71.93	0.0010240
17	0.019745	17.04	0.0010013	74	0.3769	73.94	0.0010252
18	0.02103	18.04	0.0010015	76	0.4098	75.94	0.0010264
19	0.02239	19.03	0.0010016	78	0.4451	77.95	0.0010277
20	0.02383	20.03	0.0010018	80	0.4829	79.95	0.0010290
21	0.02534	21.03	0.0010021	82	0.5234	81.95	0.0010303
22	0.02694	22.03	0.0010023	84	0.5667	83.96	0.0010316
23	0.02863	23.02	0.0010025	86	0.6129	85.96	0.0010330
24	0.03041	24.02	0.0010028	88	0.6623	87.97	0.0010344
25	0.03229	25.02	0.0010030	90	0.7149	89.98	0.0010359
26	0.03426	26.01	0.0010033	92	0.7710	91.99	0.0010373
27	0.03634	27.01	0.0010036	94	0.8307	94.00	0.0010389
28	0.03853	28.01	0.0010039	96	0.8942	96.01	0.0010404
29	0.04083	29.00	0.0010042	98	0.9616	98.02	0.0010419
30	0.04325	30.00	0.0010044	100	1.0332	100.04	0.0010435
31	0.04580	31.00	0.0010048	102	1.1092	102.05	0.0010451
32	0.04847	32.00	0.0010051	104	1.1898	104.07	0.0010466
33	0.05128	32.99	0.0010054	106	1.2751	106.09	0.0010482
34	0.05423	33.99	0.0010058	108	1.3654	108.10	0.0010498
35	0.05733	34.99	0.0010061	110	1.4609	110.12	0.0010515
36	0.06057	35.99	0.0010065	112	1.5618	112.15	0.0010531
37	0.06398	36.98	0.0010068	114	1.6684	114.17	0.0010549
38	0.06755	37.98	0.0010072	116	1.7809	116.20	0.0010566
39	0.07129	38.98	0.0010075	118	1.8995	118.22	0.0010584
40	0.07520	39.98	0.0010079	120	2.0245	120.30	0.0010603

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA B-1 Presión de vapor, calor en el líquido y volumen específico del agua líquida (continúa)

TEMPERATURA (°C)	PRESION DE VAPOR P_v (kg/cm ²)	CALOR EN EL LIQUIDO h_f (kcal/kg)	VOLUMEN ESPECIFICO v_f (m ³ /kg)	TEMPERATURA (°C)	PRESION DE VAPOR P_v (kg/cm ²)	CALOR EN EL LIQUIDO h_f (kcal/kg)	VOLUMEN ESPECIFICO v_f (m ³ /kg)
122	2.1561	122.3	0.0010621	202	16.532	205.6	0.0011997
124	2.2947	124.3	0.0010640	204	17.228	207.8	0.0011629
126	2.4404	126.4	0.0010659	206	17.948	209.9	0.0011661
128	2.5935	128.4	0.0010678	208	18.690	212.1	0.0011693
130	2.7544	130.4	0.0010697	210	19.456	214.3	0.0011726
132	2.9233	132.5	0.0010716	215	21.467	219.8	0.0011812
134	3.101	134.5	0.0010736	220	23.659	225.3	0.0011900
136	3.286	136.6	0.0010757	225	26.007	230.8	0.0011991
138	3.481	138.6	0.0010777	230	28.531	236.4	0.0012088
140	3.685	140.6	0.0010798	235	31.239	242.1	0.0012186
142	3.898	142.7	0.0010819	240	34.140	247.7	0.0012291
144	4.122	144.8	0.0010839	245	37.244	253.5	0.0012400
146	4.355	146.8	0.0010861	250	40.56	259.2	0.0012512
148	4.599	148.9	0.0010884	255	44.10	265.0	0.0012629
150	4.854	150.9	0.0010906	260	47.87	271.0	0.0012755
152	5.120	153.0	0.0010928	265	51.88	277.0	0.0012888
154	5.397	155.0	0.0010951	270	56.14	283.0	0.0013023
156	5.684	157.1	0.0010974	275	60.66	289.2	0.0013169
158	5.989	159.2	0.0010997	280	65.46	295.3	0.0013321
160	6.302	161.3	0.0011021	285	70.54	301.6	0.0013484
162	6.630	163.4	0.0011045	290	75.92	308.0	0.0013655
164	6.970	165.4	0.0011069	295	81.60	314.4	0.0013837
166	7.325	167.5	0.0011094	300	87.61	321.0	0.0014036
168	7.693	169.6	0.0011118	305	93.95	327.7	0.001425
170	8.076	171.7	0.0011144	310	100.64	334.6	0.001448
172	8.475	173.8	0.0011170	315	107.69	341.7	0.001472
174	8.888	175.9	0.0011197	320	115.13	349.0	0.001499
176	9.317	178.0	0.0011223	325	122.95	356.5	0.001529
178	9.763	180.1	0.0011249	330	131.18	364.2	0.001562
180	10.225	182.2	0.0011275	335	139.85	372.3	0.001598
182	10.703	184.3	0.0011303	340	148.96	380.7	0.001641
184	11.201	186.4	0.0011331	345	158.54	389.6	0.001692
186	11.715	188.5	0.0011358	350	168.63	398.9	0.001747
188	12.248	190.6	0.0011386	355	179.24	409.5	0.001814
190	12.800	192.8	0.0011415	360	190.42	420.9	0.001907
192	13.371	194.9	0.0011445	365	202.21	434.2	0.00203
194	13.962	197.0	0.0011475	370	214.68	452.3	0.00223
196	14.573	199.2	0.0011505				
198	15.204	201.3	0.0011535				
200	15.857	203.5	0.0011565	374	225.2	488.0	0.00279

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA C-1 Propiedades del vapor de agua(continuación)

PRES ABS	SATURACION		VAPOR RECALENTADO(°C)																			
	TEMP(°C)	DENSIDAD	VAPOR	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	600	650	700	800				
125	126.4	336.2 0.0014	619.9 0.0132	H V	---	---	678.3 0.0146	701.9 0.0160	727.4 0.0176	747.0 0.0191	766.3 0.0206	781.7 0.0221	799.9 0.0236	815.8 0.0251	836.4 0.0266	845.0 0.0281	859.2 0.0295	868.5 0.0310	883.0 0.0325	913.0 0.0340	966.3 0.0355	
130	129.3	340.3 0.0014	617.3 0.0125	H V	---	---	668.9 0.0137	689.1 0.0150	714.4 0.0166	737.8 0.0180	755.3 0.0193	768.3 0.0207	782.1 0.0221	796.6 0.0235	814.3 0.0250	829.4 0.0264	844.1 0.0278	858.5 0.0291	868.3 0.0304	883.0 0.0318	913.0 0.0332	966.3 0.0347
135	132.2	344.4 0.0014	615.1 0.0116	H V	---	---	664.2 0.0129	685.8 0.0143	711.2 0.0157	734.0 0.0171	751.5 0.0185	764.4 0.0199	779.1 0.0213	794.4 0.0227	813.1 0.0241	828.4 0.0255	843.2 0.0269	857.7 0.0283	867.0 0.0297	882.0 0.0311	913.0 0.0325	966.3 0.0340
140	135.2	348.4 0.0014	612.8 0.0113	H V	---	---	660.2 0.0121	682.2 0.0133	708.0 0.0146	728.3 0.0162	743.5 0.0175	756.7 0.0189	771.7 0.0202	787.8 0.0216	807.9 0.0229	824.0 0.0243	839.1 0.0256	853.1 0.0270	862.0 0.0283	877.0 0.0297	913.0 0.0311	966.3 0.0325
145	137.9	352.5 0.0014	610.3 0.0103	H V	---	---	656.9 0.0113	678.7 0.0126	704.6 0.0139	727.8 0.0153	743.1 0.0166	756.9 0.0179	772.1 0.0192	787.9 0.0205	808.9 0.0218	825.0 0.0231	840.1 0.0244	854.1 0.0257	863.0 0.0270	878.0 0.0284	913.0 0.0297	966.3 0.0311
150	140.6	356.6 0.0014	607.9 0.0100	H V	---	---	653.4 0.0106	675.3 0.0118	701.1 0.0131	725.2 0.0144	741.2 0.0156	755.2 0.0168	770.2 0.0181	785.9 0.0194	807.0 0.0206	823.1 0.0219	838.1 0.0231	852.1 0.0244	861.0 0.0257	876.0 0.0270	913.0 0.0284	966.3 0.0297
155	143.4	360.4 0.0015	605.4 0.0090	H V	---	---	650.3 0.0099	672.0 0.0110	698.2 0.0123	723.3 0.0136	739.2 0.0148	753.7 0.0160	768.5 0.0172	783.5 0.0184	804.6 0.0196	820.7 0.0208	835.7 0.0221	849.7 0.0233	858.6 0.0246	873.6 0.0259	913.0 0.0273	966.3 0.0286
160	145.9	364.1 0.0015	602.9 0.0082	H V	---	---	647.9 0.0094	669.4 0.0106	696.0 0.0118	721.5 0.0131	737.2 0.0143	751.5 0.0155	766.0 0.0167	781.5 0.0179	802.6 0.0191	818.7 0.0203	833.7 0.0215	847.7 0.0227	856.6 0.0240	871.6 0.0253	913.0 0.0266	966.3 0.0279

H = Entalpia (Kcal/Kg); V = Volumen específico (m³/Kg)

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TABLA D-1 Algunas propiedades físicas del aire

TEMPERATURA °C	C_p (Kcal kg ⁻¹ °C)	ρ (Kg m ⁻³)	h_f (Kcal h. m ⁻² °C m)	η_p
-185	0.2393	0.0228	0.00712	0.77
-129	0.2393	0.0361	0.01139	0.76
-73	0.2393	0.0480	0.0155	0.74
-45.6	0.2394	0.0537	0.0176	0.73
0	0.2396	0.0622	0.0208	0.72
38	0.2401	0.0686	0.0234	0.71
93	0.2412	0.0778	0.0270	0.69
149	0.2421	0.0861	0.0305	0.69
205	0.2446	0.0939	0.0336	0.68
260	0.2474	0.1014	0.0367	0.68
317	0.2504	0.1082	0.0396	0.68
372	0.2535	0.1146	0.0425	0.68
427	0.2566	0.1211	0.0452	0.69
483	0.2598	0.1272	0.0477	0.69
537	0.2630	0.1328	0.0502	0.69
650	0.2687	0.1440	0.0550	0.70

TABLA D-2 Entalpía de aire saturado(kcal/kg aire saturado)
Puntos de referencia: Aire seco a 0°C y 760 mm Hg, agua líquida. 0°

°C	0	1	2	3	4
-15	-2.90	-2.60	-2.30	-2	-1.70
-10	-1.40	-1.10	-0.70	-0.30	0
-5	-0.30	0.70	1.05	1.40	1.80
0	2.25	2.65	3.05	3.50	3.95
5	4.40	4.90	5.40	5.90	6.40
10	7	7.70	8.25	8.85	9.45
15	10.15	10.85	11.55	12.25	13.10
20	13.85	14.75	15.60	16.45	17.40
25	18.40	19.45	20.60	21.65	22.80
30	24.10	25.35	26.15	28.10	29.55
35	31.10	32.70	34.30	36.15	37.90
40	39.80	41.50	42.10	42.30	42.60

TABLA D-3 Calor específico del aire a presiones elevadas(kcal/kg°C)

TEMPERATURA. °C	C_p CALOR ESPECIFICO DEL AIRE					
	1 atm	10 atm	20 atm	40 atm	70 atm	100 atm
100	0.237	0.239	0.240	0.245	0.250	0.258
0	0.238	0.242	0.247	0.251	0.277	0.298
-50	0.238	0.246	0.257	0.279	0.332	0.412
-100	0.239	0.259	0.285	0.370	0.446	—
-150	0.240	0.311	0.505	—	—	—

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

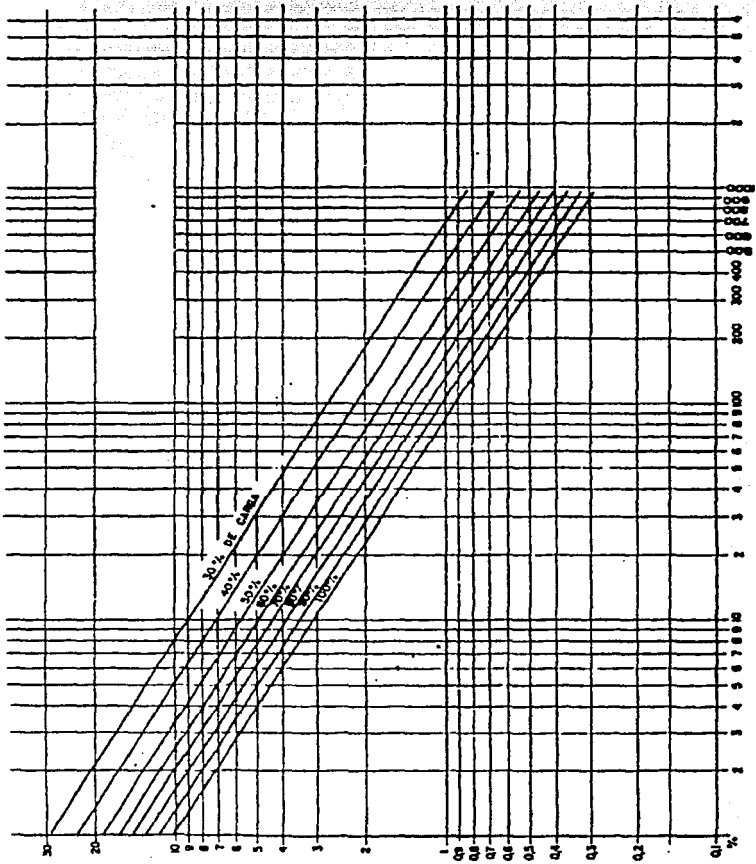
TABLA E-2 Pérdidas de calor en depósitos de eje horizontal

DISEÑO (°C)	Temperatura de la pared del depósito (°C)																
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200							
10	(1) kcal/h	85	177	166	368	378	197	377	317	493	628	770	931	1108	1283	1509	1732
	(2) kcal/h m	191	212	216	466	486	274	500	337	536	674	811	971	1161	1351	1561	1793
	(3) kcal/h m	191	212	216	466	486	274	500	337	536	674	811	971	1161	1351	1561	1793
20	(1) kcal/h	443	915	860	1860	1920	1063	1915	1602	2463	3110	3767	4535	5416	6399	7484	8671
	(2) kcal/h m	1026	1066	1066	2366	2446	1366	2466	1666	2466	3166	3766	4536	5417	6398	7483	8670
	(3) kcal/h m	1026	1066	1066	2366	2446	1366	2466	1666	2466	3166	3766	4536	5417	6398	7483	8670
30	(1) kcal/h	1048	1214	1264	2736	2876	1624	2976	2476	3776	4876	5976	7276	8676	10276	12076	14076
	(2) kcal/h m	2416	2416	2416	5476	5776	3176	5776	4176	5776	7376	8976	10576	12176	13776	15376	17076
	(3) kcal/h m	2416	2416	2416	5476	5776	3176	5776	4176	5776	7376	8976	10576	12176	13776	15376	17076
40	(1) kcal/h	1648	1814	1864	4036	4276	2476	4426	3676	5576	7276	8976	10876	12976	15276	17876	20676
	(2) kcal/h m	3776	3776	3776	8676	9176	5076	9176	6576	9176	11776	14376	17076	19776	22476	25176	27876
	(3) kcal/h m	3776	3776	3776	8676	9176	5076	9176	6576	9176	11776	14376	17076	19776	22476	25176	27876
50	(1) kcal/h	2248	2514	2564	5436	5776	3376	5926	4976	7476	9976	12476	15176	17876	20776	23876	27176
	(2) kcal/h m	5176	5176	5176	11776	12276	7076	12276	8676	12276	15876	19476	23076	26676	30276	33876	37476
	(3) kcal/h m	5176	5176	5176	11776	12276	7076	12276	8676	12276	15876	19476	23076	26676	30276	33876	37476
60	(1) kcal/h	2848	3214	3264	7036	7476	4476	7626	6476	9576	12676	15776	18876	22076	25376	28876	32576
	(2) kcal/h m	6576	6576	6576	14776	15276	8876	15276	11076	15276	19876	24476	29076	33676	38276	42876	47476
	(3) kcal/h m	6576	6576	6576	14776	15276	8876	15276	11076	15276	19876	24476	29076	33676	38276	42876	47476
70	(1) kcal/h	3448	3914	3964	8636	9176	5576	9226	7876	11876	15976	19976	24076	28276	32576	37076	41776
	(2) kcal/h m	7976	7976	7976	18276	18776	10576	18776	13376	18776	24376	29976	35576	41176	46776	52376	57976
	(3) kcal/h m	7976	7976	7976	18276	18776	10576	18776	13376	18776	24376	29976	35576	41176	46776	52376	57976
80	(1) kcal/h	4048	4614	4664	10036	10676	6476	10126	8676	13076	17176	21176	25276	29476	33876	38476	43276
	(2) kcal/h m	9276	9276	9276	21276	21776	12276	21776	15076	21776	28376	34976	41576	48176	54776	61376	67976
	(3) kcal/h m	9276	9276	9276	21276	21776	12276	21776	15076	21776	28376	34976	41576	48176	54776	61376	67976
90	(1) kcal/h	4648	5314	5364	11636	12376	7576	11576	9976	14476	18576	22576	26676	30876	35276	39876	44676
	(2) kcal/h m	10676	10676	10676	24276	24776	13876	24776	17576	24776	32376	39976	47576	55176	62776	70376	77976
	(3) kcal/h m	10676	10676	10676	24276	24776	13876	24776	17576	24776	32376	39976	47576	55176	62776	70376	77976
100	(1) kcal/h	5248	6014	6064	13036	13876	8476	12826	11076	15876	20076	24076	28176	32376	36676	41176	45876
	(2) kcal/h m	11976	11976	11976	27276	27776	15276	27776	20576	27776	36376	44976	53576	62176	70776	79376	87976
	(3) kcal/h m	11976	11976	11976	27276	27776	15276	27776	20576	27776	36376	44976	53576	62176	70776	79376	87976

DISEÑO (°C) = Temperatura de la pared del depósito (°C); Temperatura exterior (°C)
 (1) kcal/h = Pérdida de calor por unidad de tiempo
 (2) kcal/h m = Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie
 (3) kcal/h m = Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie
 Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie = 10 °C
 Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie = 20 °C
 Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie = 30 °C
 Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie = 40 °C
 Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie = 50 °C
 Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie = 60 °C
 Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie = 70 °C
 Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie = 80 °C
 Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie = 90 °C
 Pérdida de calor por unidad de tiempo y de superficie = 100 °C

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

PERDIDAS POR CONDUCCIÓN Y RADIACIÓN EN FUNCION DE LA MÁXIMA CARGA CONTINUA DE UNA CALDERA



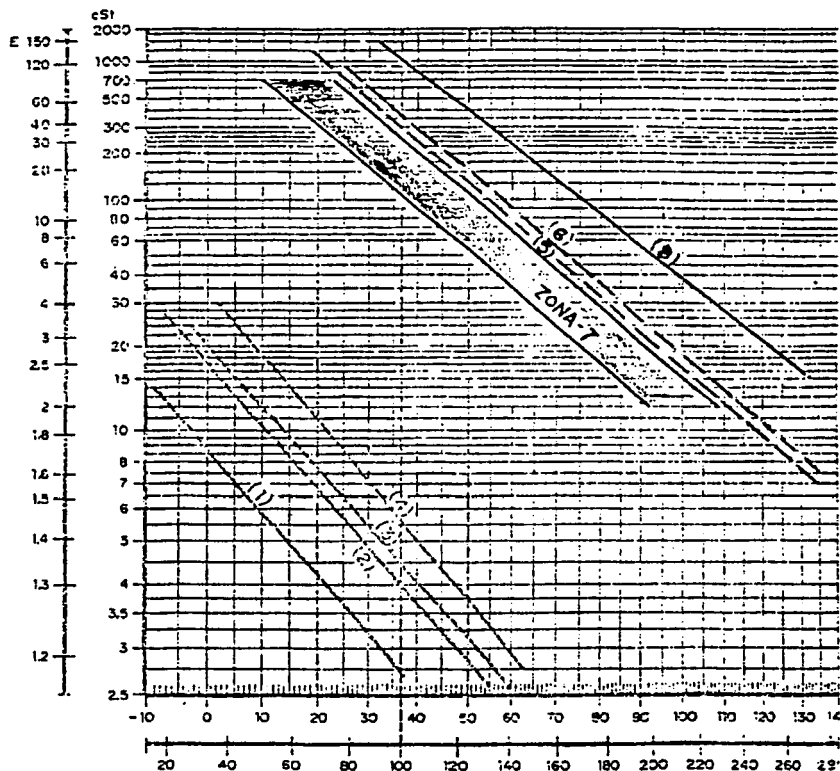
Máxima carga continua en T. Vapor/H

Perdidas por conducción y radiación en %

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

DIAGRAMA VISCOSIDAD - TEMPERATURA

— PROBABLES NUEVOS COMBUSTIBLES LIQUIDOS
 - - - - - ACTUALES

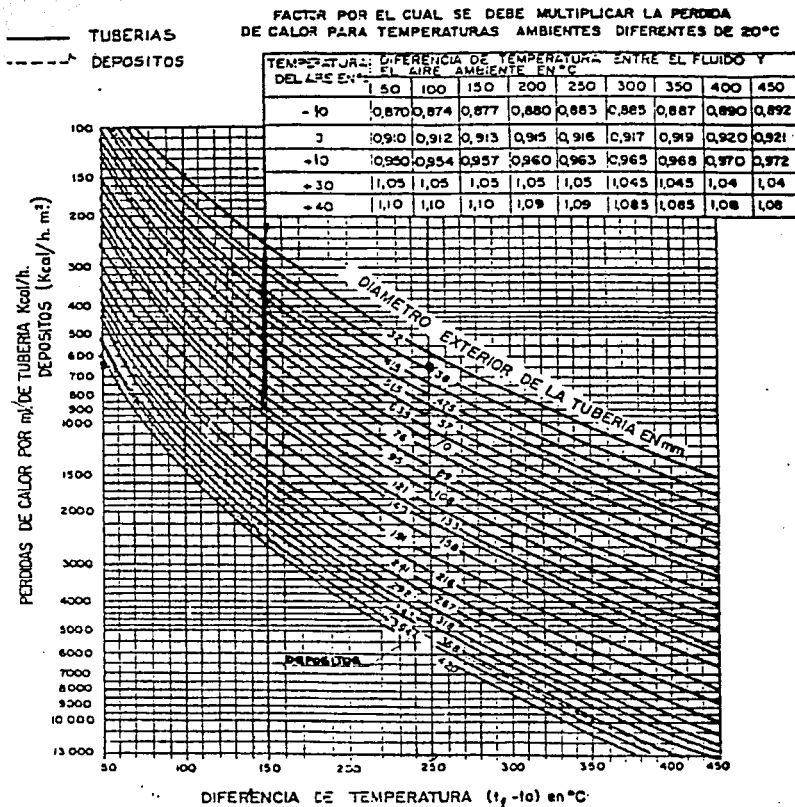


(1) GASOLEOS A, B.- VALOR TIPICO = GAS-OIL
 (2) " " " " LIMITE = " " "
 (3) GASOLEO C.- VALOR TIPICO
 (4) " " " " LIMITE

(5) FUEL - INDUSTRIAL - VALOR TIPICO
 (6) " " " " LIMITE
 ZONA 7 - FUEL - OIL Nº1 (ENTRE 7° Y 14°E A 50°C)
 (8) FUEL - OIL Nº2 - VALOR LIMITE

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

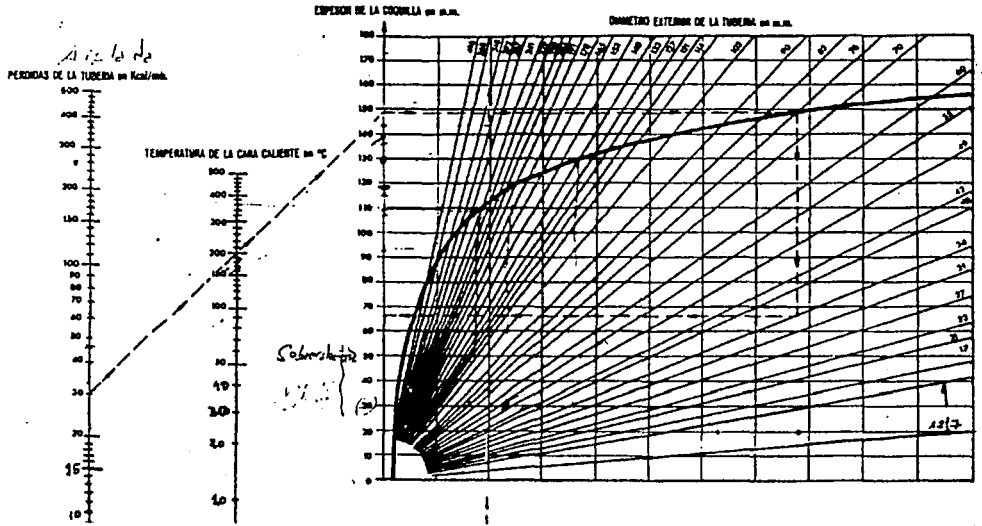
ABACO DE WRODE PARA EL CÁLCULO DE PERDIDAS EN INSTALACIONES NO AISLADAS



Pérdidas en tuberías revestidas de COQUILLA 315, COQUILLA 315M

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

COQUILLA 315. COQUILLA 315M
 Densidad de 110kg/m³ y 150 kg/m³

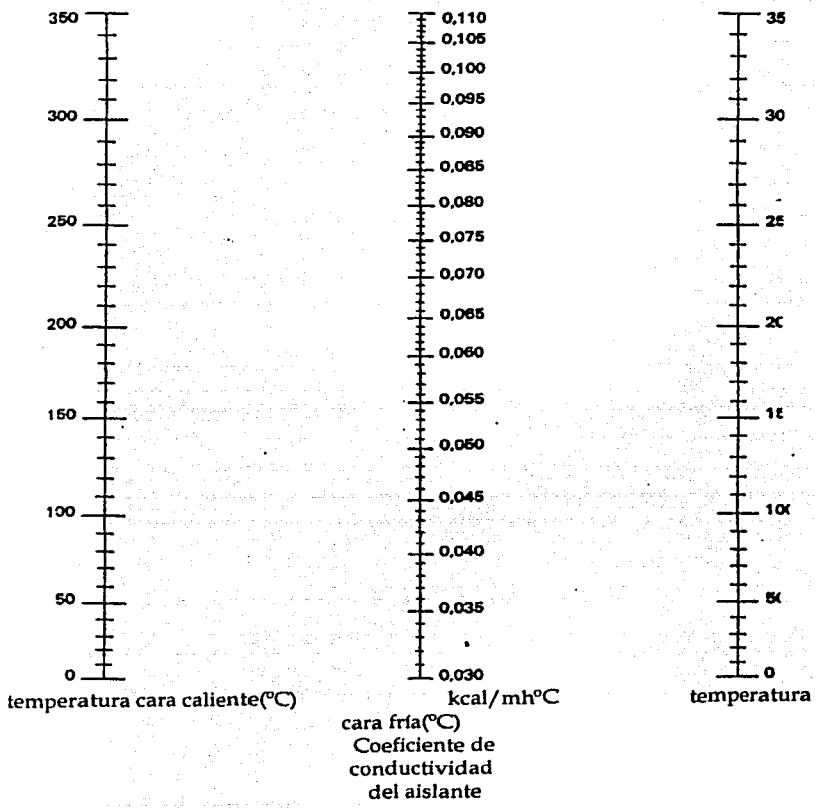


TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Abaco de coeficientes de conductividad

MANTA 322

Densidad de 70kg.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE ENFRIADORES DE AGUA POR ABSORCIÓN.

En todo proceso de refrigeración, la energía eliminada de la región tiene que expulsarse hacia otra región que se halle a una temperatura considerablemente mayor. Para efectuar el proceso de expulsión de calor, la temperatura del fluido dentro del ciclo de refrigeración debe elevarse a un valor superior al de la temperatura ambiente.

En la técnica de refrigeración por absorción, debe utilizarse una mezcla de dos componentes, tal como amoníaco y agua o bromuro de litio y agua, como el fluido circulante en parte del ciclo, en vez del componente empleado en el ciclo de compresión de vapor. El medio absorbente es una solución diluida (concentración baja) de bromuro de litio y agua, que entra continuamente. El proceso de absorción libera energía, por lo que debe hacerse circular agua de enfriamiento a través del absorbedor para mantener la solución a una temperatura constante. La temperatura del fluido absorbente se debe mantener en el valor más bajo posible, ya que la cantidad de refrigerante puro (bromuro de litio) que puede absorberse disminuye al aumentar la temperatura.

Los enfriadores por absorción cuentan con dos modificaciones esencialmente:

- 1.- La solución concentrada y fría necesita calentarse antes de entrar en el generador, y la solución caliente y diluida necesita enfriarse antes de entrar en el absorbedor por lo que es necesario colocar un intercambiador de calor entre el absorbedor y el generador de vapor, lo que permite que haya transferencia de calor de la solución diluida a la solución concentrada.
- 2.- Un requisito importante es que el bromuro de litio que proviene del generador debe estar esencialmente libre de agua al pasar a través del circuito condensador, válvula de estrangulamiento y evaporador. Estas son las modificaciones, considerables en este proceso de enfriamiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APÉNDICE A

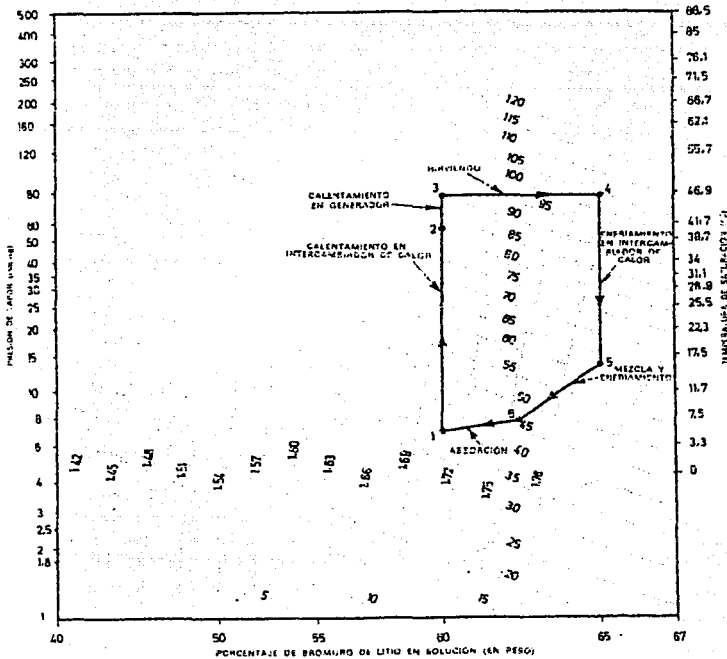


fig 1.1 Diagrama de equilibrio para bromuro de litio.

La máquina de absorción es una unidad para enfriamiento del agua que utiliza agua como refrigerante y la solución de bromuro de litio, como absorbente; los elementos principales que la componen son:

- 1.-Sección de Evaporador, donde es enfiada el agua por evaporación del refrigerante que es rociado sobre los tubos de agua.
- 2.-Sección de absorbedor donde el vapor del agua evaporada es absorbido por el absorbente. El calor de absorción es disipado por circulación del agua en el condensador en esta solución.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APÉNDICE A

- 3.-*Sección de generador* donde es adicionado calor en forma de vapor o de agua caliente para hacer que hierva el refrigerante del absorbente y reconcentrar la solución.
- 4.-*Sección del condensador* donde el vapor de agua producido en el generador es condensado por el agua del condensador que circula en esta sección.
- 5.-*Bomba de evaporador* que hace circular a presión el refrigerante sobre el haz de tubos de la sección del evaporador.
- 6.-*Bombas de la solución* que bombean la solución de bromuro de litio hasta el generador y también hasta el colector de pulverización del absorbedor.
- 7.-*Intercambiador de calor* donde la solución diluida que es bombeada hasta el generador desde el absorbedor es calentada por la solución caliente concentrada que es retornada al absorbedor.
- 8.-*Unidad de purga* que se emplea para eliminar los vapores no condensables de la máquina y mantener un a presión baja en la misma.

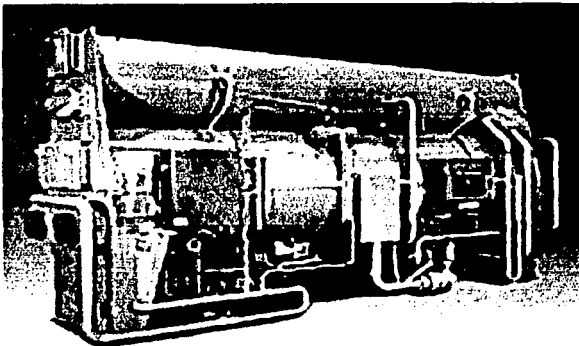


fig 1.2 Equipo de Absorción

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

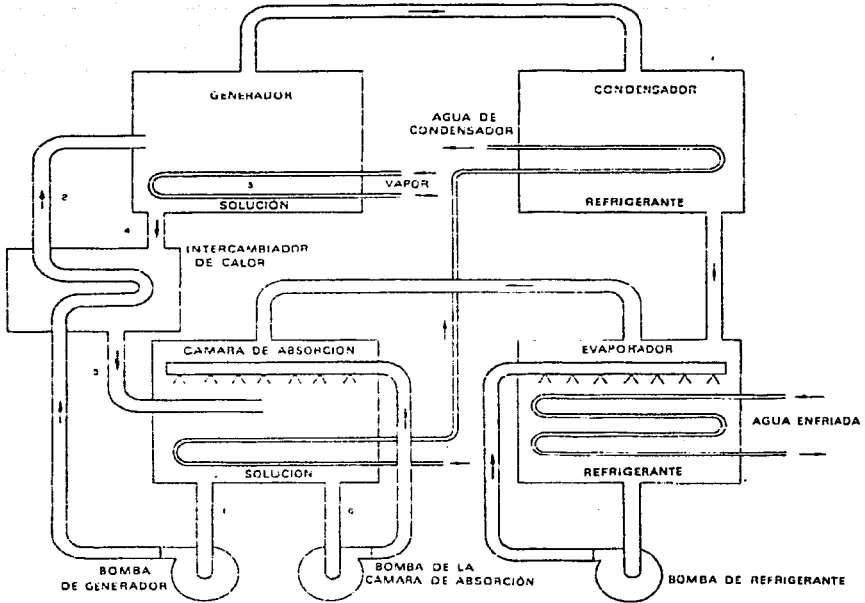


fig 1.3 Esquema de un ciclo fundamental de absorción

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APENDICE B

NORMA Oficial Mexicana NOM-002-ENER-1995, Eficiencia térmica de calderas paquete. Especificaciones y método de prueba.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Energía.- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.- Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE).

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ENER-1995, EFICIENCIA TERMICA DE CALDERAS PAQUETE. ESPECIFICACIONES Y METODO DE PRUEBA

FERNANDO BUENO MONTALVO, Secretario Técnico de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía de la Secretaría de Energía, con fundamento en los artículos 33 fracción IX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 1o., 38 fracciones I, II y III; 40 fracciones X, XII y XIII y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 29 fracción III del Reglamento Interior de la Secretaría de Energía, y

CONSIDERANDO

Que el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000 ha propuesto, entre sus objetivos fundamentales, la promoción de un crecimiento económico vigoroso, sostenido y sustentable en beneficio de los mexicanos.

Que para impulsar y alcanzar este objetivo fundamental, el Plan Nacional de Desarrollo identificó diversas estrategias prioritarias entre las cuales destacan el uso eficiente de los recursos, la aplicación de políticas sectoriales pertinentes y el despliegue de una política ambiental que haga sustentable el crecimiento económico.

Que para lograr las metas establecidas por estas estrategias será necesario propiciar un aumento sistemático de la eficiencia general de la economía, así como impulsar la actualización tecnológica.

Que como antecedente de la presente Norma se encuentra el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-078-SCFI-1994 "Eficiencia Térmica de Calderas Paquete. Especificaciones y Método de Prueba", publicado para comentarios en el Diario Oficial de la Federación el 23 de septiembre de 1994.

Que las reformas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 28 de diciembre de 1994, delimitaron las facultades de la nueva Secretaría de Energía, mismas entre las que se encuentra la de expedir normas oficiales mexicanas que promuevan la eficiencia del sector energético.

APENDICE B

Que la Ley Federal sobre Metrología y Normalización señala como una de las finalidades de las normas oficiales mexicanas el establecimiento de criterios y/o especificaciones que promuevan el mejoramiento del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales.

Que el Programa Nacional de Normalización 1995 publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 19 de abril de este mismo año contempla la expedición de diversas normas oficiales mexicanas, cuya finalidad es la preservación y uso racional de los recursos energéticos.

Que el programa de la Secretaría de Energía, para 1995 considera el ahorro y uso eficiente de la energía como una de las prioridades de la política sectorial.

Que el Reglamento Interior de la Secretaría de Energía publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 1 de junio de 1995, adscribió el ejercicio de la facultad de aprobar y emitir las normas oficiales mexicanas de eficiencia energética a la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, por sí o en conjunto con otras dependencias, por lo tanto se expide la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ENER-1995, EFICIENCIA TERMICA DE CALDERAS PAQUETE. ESPECIFICACIONES Y METODO DE PRUEBA

Para estos efectos, esta Norma Oficial Mexicana entrará en vigor seis meses después de su publicación en el *Diario Oficial de la Federación*.

México, D.F., a 28 de septiembre de 1995.- El Secretario Técnico de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, **Fernando Bueno Montalvo**.- Rúbrica.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ENER-1995, EFICIENCIA TERMICA DE CALDERAS PAQUETE. ESPECIFICACIONES Y METODO DE PRUEBA.

PREFACIO

En la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana participaron las siguientes empresas e instituciones:

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
 PETROLEOS MEXICANOS
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS
 ASOCIACION MEXICANA DE FABRICANTES DE CALDERAS, A.C.
 CLAYTON DE MEXICO, S.A. DE C.V.
 CLEAVER BROOKS, S.A. DE C.V.

APENDICE B**PROTHERM DE MEXICO, S.A. DE C.V.**

Esta Norma responde a la necesidad de incrementar el ahorro de energía y la preservación de recursos energéticos; además de proteger al consumidor de productos de menor calidad y consumo excesivo de combustible, que pudieran llegar al mercado nacional.

CONTENIDO

1. OBJETIVO
2. CAMPO DE APLICACION
3. REFERENCIAS
4. DEFINICIONES
 - 4.1 Aire de combustión
 - 4.2 Aire teórico
 - 4.3 Caballo caldera
 - 4.4 Caldera
 - 4.5 Caldera de tubos de agua
 - 4.6 Caldera de tubos de humo
 - 4.7 Caldera paquete
 - 4.8 Calor absorbido
 - 4.9 Calor liberado
 - 4.10 Calor perdido
 - 4.11 Calor suministrado
 - 4.12 Capacidad de una caldera
 - 4.13 Capacidad equivalente de evaporación
 - 4.14 Combustible
 - 4.15 Combustibles derivados del petróleo
 - 4.16 Combustión
 - 4.17 Eficiencia térmica
 - 4.18 Equipo de recuperación de calor
 - 4.19 Exceso de aire
 - 4.20 Exceso de oxígeno
 - 4.21 Fluido de trabajo
 - 4.22 Gases de combustión
 - 4.23 Oxígeno teórico
 - 4.24 Poder calorífico inferior (PCI)
 - 4.25 Poder calorífico superior (PCS)
 - 4.26 Quemador
 - 4.27 Temperatura de saturación
5. SIMBOLOS Y ABREVIATURAS
6. CLASIFICACION Y DESIGNACION DEL PRODUCTO

APENDICE B

7. ESPECIFICACIONES
 - 7.1 Energía térmica
 - 7.2 Temperatura de la cubierta externa
 - 7.3 Concentración de oxígeno en los gases de combustión
 - 7.4 Concentración de monóxido de carbono en los gases de combustión
8. MUESTREO
9. METODO DE PRUEBA
 - 9.1 Eficiencia térmica
 - 9.2 Método de prueba
 - 9.3 Condiciones del equipo
 - 9.4 Variables a medir
 - 9.5 Instrumentos y equipo para medición
 - 9.6 Procedimiento de medición
 - 9.7 Determinación de la eficiencia
 - 9.7.1 Exceso de aire
 - 9.7.2 Fracción del calor liberado contenido en los gases de combustión (% Q_{pgc})
 - 9.7.3 Calor perdido a través de las paredes (% Q_{pcr})
 - 9.7.4 Eficiencia térmica
10. MARCADO
11. VIGILANCIA
12. SANCIONES
13. BIBLIOGRAFIA
14. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

1. Objetivo

Esta Norma Oficial Mexicana establece los niveles mínimos de eficiencia térmica que deberán cumplir las calderas paquete nuevas de tubos de humo y de tubos de agua sin equipo de recuperación de calor.

También especifica el método de prueba que debe aplicarse para verificar dicho cumplimiento.

2. Campo de aplicación

2.1 Esta Norma cubre a las calderas paquete nuevas de tubos de humo y tubos de agua sin equipo de recuperación de calor, comercializadas en la República Mexicana por los proveedores, que utilizan combustibles líquidos y/o gaseosos derivados del petróleo con las siguientes características:

APENDICE B

por los proveedores, que utilizan combustibles líquidos y/o gaseosos derivados del petróleo con las siguientes características:

TABLA 1.- Campo de aplicación de la Norma

Capacidad Presión Temperatura	De 100 a 8 000 kW Hasta 1 MPa Saturación
-------------------------------------	--

2.2 Esta Norma presenta el método de prueba para determinar la eficiencia térmica de estas calderas.

2.3 Casos Especiales. La gran mayoría de las calderas paquete entre 100 y 8 000 kW operan a presiones menores a 1 MPa, sin embargo existen casos especiales para los cuales se requiere que esta presión sea mayor a 1 MPa a la temperatura de saturación. Esta Norma cubre estos casos especiales en el siguiente intervalo de presiones:

Calderas de tubos de agua: De 1 a 3 MPa
Calderas de tubos de humo: De 1 a 1,7 MPa

3. Referencias

NOM-008-SCFI Sistema general de unidades de medida.

NOM-005-STPS Relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles.

NOM-009-STPS Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias corrosivas, irritantes y tóxicas en los centros de trabajo.

NMX-AA-35 Determinación de bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión.

Reglamento de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social para la inspección de generadores de vapor y recipientes sujetos a presión.

4. Definiciones

4.1 Aire de combustión

Es el aire que se introduce a la cámara de combustión del equipo para la oxidación del combustible.

4.2 Aire teórico

Es el aire estequiométricamente necesario para realizar una combustión completa.

APENDICE B

4.3 Caldera caldera

Es el calor absorbido por la evaporación de 15,65 kg por hora de vapor saturado a una temperatura de 100 °C con agua de alimentación a la misma temperatura, siendo equivalente a 9,81 kW.

4.4 Caldera

Equipo en el cual se transfiere el calor producido por la combustión a un fluido de trabajo para calentarlo y/o evaporarlo.

4.5 Caldera de tubos de agua

Aquellas en las cuales los gases de combustión pasan por fuera de los tubos de la caldera y el agua por el interior de ellos.

4.6 Caldera de tubos de humo

Son aquellas en las cuales los gases productos de la combustión, circulan por dentro de los tubos de la caldera y el agua por el exterior de ellos.

4.7 Caldera paquete

Es una caldera fabricada y ensamblada totalmente en el taller del fabricante.

4.8 Calor absorbido

Es la cantidad de calor que absorbe un fluido de trabajo para calentarse y/o evaporarse.

4.9 Calor liberado

Calor producido por la combustión de un combustible.

4.10 Calor perdido

Calor liberado por el combustible que no es aprovechado por el fluido de trabajo.

4.11 Calor suministrado

Es el calor total que entra al equipo, comprende al calor liberado por el combustible más el calor sensible de los diferentes fluidos que se introducen en la caldera.

4.12 Capacidad de una caldera

Es la máxima cantidad de vapor por hora (MCR) que puede generar la caldera en forma continua, deberá de ser indicada junto con la presión de operación, temperatura del vapor y temperatura del agua de alimentación. Esta capacidad también puede expresarse como el calor absorbido por el fluido de trabajo.

APENDICE B

4.13 Capacidad equivalente de evaporación

Es la conversión de la capacidad de una caldera a cierta referencia para fines de comparación. Es el vapor que se puede generar a una presión de 101,33 kPa y a una temperatura de 100 °C con agua de alimentación a la misma temperatura, a partir del calor absorbido.

4.14 Combustible

Sustancia capaz de reaccionar con el oxígeno en presencia de una fuente de ignición dando como resultado liberación de calor, luz y gases.

4.15 Combustibles derivados del petróleo

Combustibles asociados al petróleo (gas natural) u obtenidos de su refinación (diesel, gasóleo, combustóleo, gas L.P., etc).

4.16 Combustión

Reacción de oxidación rápida de un combustible durante la cual se producen calor y luz como productos principales.

4.17 Eficiencia térmica

Es la relación entre el calor absorbido y el calor liberado (expresado en porcentaje). Algebraicamente se tiene:

$$\eta = \frac{Q_a}{Q_l} \times 100$$

$$\eta = 100 - \%Q_{pgc} - \%Q_{per}$$

Método directo

Método indirecto

4.18 Equipo de recuperación de calor

Equipo diseñado para transferir el calor de los gases residuales al fluido de trabajo (en este caso se le llama economizador) o al aire de combustión (precalentador de aire), con el fin de incrementar la eficiencia térmica de la caldera.

4.19 Exceso de aire

Es el aire que se introduce por encima del aire teórico para asegurar una combustión completa.

4.20 Exceso de oxígeno

Es el oxígeno que se introduce por encima del oxígeno teórico para asegurar una combustión completa.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

APENDICE B

4.21 Fluido de trabajo

Fluido utilizado como medio para transferir la energía liberada por el combustible al proceso y equipos en que se requiera. Este fluido comúnmente es agua, aceite térmico u otros.

4.22 Gases de combustión

Son los gases producto de la reacción del combustible con el aire de combustión.

4.23 Oxígeno teórico

Es el oxígeno estequiométricamente necesario para realizar una combustión completa.

4.24 Poder calorífico inferior (PCI)

Es la diferencia entre el poder calorífico superior y la energía necesaria para evaporar toda la humedad presente en los gases de combustión.

4.25 Poder calorífico superior (PCS)

Cantidad de calor que produce una unidad de masa o de volumen de combustible durante su combustión. Considerando que la humedad presente en los gases de combustión se encuentra en fase líquida.

4.26 Quemador

Dispositivo que se utiliza para efectuar la mezcla aire-combustible y realizar la combustión.

4.27 Temperatura de saturación

Es la temperatura de equilibrio entre la fase líquida y vapor de un fluido puro.

5. Símbolos y abreviaturas

Qa	Calor absorbido, W
Ql	Calor liberado por el combustible, W
Qp	Calor perdido, W
Qpgc	Calor contenido en los gases de combustión a la salida de la caldera, W
Qpqr	Calor perdido a través de las paredes del equipo, W
η	Eficiencia térmica, %
%Qpgc	Calor contenido en los gases de combustión a la salida de la caldera, %
%Qpqr	Calor perdido a través de las paredes del equipo, %

6. Clasificación y designación del producto

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

APENDICE B

6. Clasificación y designación del producto

Las calderas objeto de esta Norma se clasifican en dos tipos, de acuerdo a su funcionamiento y geometría:

6.1 Calderas de tubos de humo.

6.2 Calderas de tubos de agua.

7. Especificaciones

7.1 Eficiencia térmica.

La eficiencia térmica mínima (con base en el poder calorífico superior y a la presión normal de operación) que deben alcanzar las calderas, objeto de esta Norma, debe ser como se indica en la siguiente tabla, comprobándose mediante el procedimiento establecido en el punto 9.

TABLA 2.- Eficiencia mínima de calderas con base en el poder calorífico superior

Calderas tubos de humo	Capacidad kW	%	Combustible
	100-200	76	Gas natural o L.P.
	100-200	80	Combustóleo, gasóleo, diesel.
	200-8 000	76	Gas natural o L.P.
	200-8 000	80	Combustóleo, gasóleo, diesel.
Calderas tubos de agua			
	100-200	74	Gas natural o L.P.
	100-200	78	Combustóleo, gasóleo, diesel.
	200-8 000	76	Gas natural o L.P.
	200-8 000	80	Combustóleo, gasóleo, diesel.

7.2 Temperatura de la cubierta externa.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

APENDICE B

La concentración de oxígeno en los gases de combustión a la salida de la caldera no debe exceder de 5 % (en base seca).

7.4 Concentración de monóxido de carbono en los gases de combustión.

La concentración de monóxido de carbono en los gases de combustión no debe ser mayor de 200 cm³/m³ (a la concentración de oxígeno en los gases, que se tenga en la prueba).

8. Muestreo

Todas las calderas que estén dentro del campo de aplicación de esta Norma deben ser probadas.

9. Método de prueba

9.1 Eficiencia térmica.

A partir del balance de energía de una caldera es posible calcular la eficiencia térmica de ésta de dos maneras: método directo y método indirecto.

La eficiencia térmica se define como:

$$\eta = \frac{Q_a}{Q_\ell} \quad (1)$$

Del balance de calor tenemos que:

$$Q_a = Q_\ell - Q_p \quad (2)$$

Sustituyendo esta expresión en la ecuación (1) tenemos que:

$$\eta = 1 - \frac{Q_p}{Q_\ell} \quad (3)$$

La ecuación (1) corresponde al método directo (entrada y salida de calor), para determinar la eficiencia térmica por este método es necesario medir parámetros como son: cantidad de vapor generado, cantidad de combustible consumido, temperatura de agua de alimentación, etc.

La ecuación (3) corresponde al método indirecto (pérdidas de calor), para determinar la eficiencia térmica mediante este método los parámetros que deben ser medidos son: la temperatura, la concentración de oxígeno y de monóxido de carbono de los gases de combustión a la salida de la caldera.

9.2 Método de prueba.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

APENDICE B

El método de prueba que debe usarse para determinar la eficiencia térmica de las calderas paquete es el método indirecto o de pérdidas.

El calor perdido es igual a la suma del calor residual contenido en los gases de combustión y el calor que se transfiere al ambiente a través de las paredes de la caldera:

$$Q_p = Q_{pgc} + Q_{pcr} \quad (4)$$

Por lo que la ecuación (3) queda como:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{pgc}}{Q_l} - \frac{Q_{pcr}}{Q_l} \quad (5)$$

Que expresada en por ciento del calor liberado queda como:

$$\eta = 100 - \%Q_{pgc} - \%Q_{pcr} \quad (6)$$

La determinación del porcentaje de calor perdido con los gases de combustión $\%Q_{pgc}$ se basa en lo siguiente:

- La combustión es completa (la concentración de CO en los gases de combustión debe ser menor a $200 \text{ cm}^3/\text{m}^3$).
- Combustibles: gas natural y combustóleo (composiciones típicas).
- Con aire de combustión a las siguientes condiciones climatológicas:

Presión atmosférica	101,3 kPa
Temperatura ambiente	15,5 °C
Humedad relativa	60%

- El Q_{pgc} comprende el calor sensible de los gases de combustión y el calor que se pierde por el contenido de humedad de estos gases.

El porcentaje de calor perdido por convección y radiación a través de las paredes $\%Q_{pcr}$, es evaluado mediante la carta de pérdidas de calor de la gráfica 5 para el intervalo de aplicación de esta Norma. Las condiciones para las que fue obtenida la gráfica son:

- La diferencia de temperatura entre la superficie externa de la caldera y el aire ambiente es de 28 °C.
- La velocidad del viento de 0,5 m/s.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

APENDICE B

9.3 Condiciones del equipo.

Las condiciones que debe cumplir el equipo para realizar la prueba de eficiencia, son las siguientes:

- a) La caldera debe probarse a su máxima capacidad (MCR).
- b) La presión de prueba de la caldera debe ser la presión normal de operación y debe permanecer constante (con una variación máxima de 5%).
- c) La caldera a probar no debe estar afectada por otros equipos.
- d) Durante la prueba no se deben de realizar purgas.
- e) Durante la prueba no se debe de realizar soplado de hollín.
- f) No debe de haber fugas de gases de combustión ni infiltraciones de aire.
- g) El monóxido de carbono en los gases de combustión no debe ser mayor de 200 cm^3/m^3 .

9.4 Variables a medir.

Tg: Temperatura de gases de combustión a la salida del equipo.

[O₂]: Concentración de oxígeno en gases de combustión (base seca).

[CO]: Concentración de monóxido de carbono en gases de combustión (base seca).

Tce: Temperatura de la cubierta externa de la caldera.

9.5 Instrumentos y equipo para medición.

Los instrumentos y equipos para la medición de los parámetros indicados anteriormente son:

- Termómetro para medir la temperatura de los gases de combustión (Intervalo: de 0 a 400°C, Tolerancia: $\pm 1^\circ\text{C}$).
- Analizador de gases de combustión para medir la concentración de oxígeno. Los métodos aceptables son: El Orsat, celdas electroquímicas y paramagnético.
- Analizador de gases de combustión para medir la concentración de monóxido de carbono. Los métodos aceptables son: El Orsat, celdas electroquímicas e infrarrojo no dispersivo.
- Termómetro para medir la temperatura de la cubierta externa de la caldera (intervalo: de 0 a 100 °C, Tolerancia: $\pm 1^\circ\text{C}$).

9.6 Procedimiento de medición.

Durante la toma de mediciones, la caldera debe de estar operando de forma tal que se cumplan las condiciones que se señalan en el punto 9.3.

Se registra la temperatura de los gases a la salida del equipo y la concentración de oxígeno en los gases cada 10 minutos en un intervalo de una hora de operación. Al final se obtiene el promedio de estas seis lecturas.

APENDICE B

Durante la prueba se obtiene la temperatura de la cubierta externa de la caldera (al inicio, a la mitad y al final de la prueba) y éstas no deben ser mayores al valor establecido en el punto 7.2.

De igual forma se obtiene la concentración de monóxido de carbono en los gases de combustión (al inicio, a la mitad y al final de la prueba), estos valores no deben exceder el valor establecido en el punto 7.4.

9.7 Determinación de la eficiencia.

9.7.1 Exceso de aire.

Obtenemos el exceso de aire a partir de la concentración de oxígeno (valor promedio) en los gases de combustión en la figura 1, si se consume gas natural, o figura 2, si se consume combustóleo.

9.7.2 Fracción del calor liberado contenido en los gases de combustión (%Q_{pgc}).

Con el exceso de aire y la temperatura (promedio) de los gases de combustión, entramos en la figura 3 o figura 4 (dependiendo del combustible que se utilice) y se obtiene el calor liberado contenido en los gases de combustión (en por ciento).

9.7.3 Calor perdido a través de las paredes (%Q_{pcr}).

De la figura 5, en función de la capacidad de la caldera, obtenemos el calor perdido por convección y radiación a través de las paredes de la caldera (en por ciento).

9.7.4 Eficiencia térmica.

Sustituyendo los valores de %Q_{pgc} y % Q_{pcr} en la ecuación (6) determinamos la eficiencia térmica de la caldera mediante el método indirecto.

$$\eta = 100 - \%Q_{pgc} - \%Q_{pcr} \quad (6)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APENDICE B

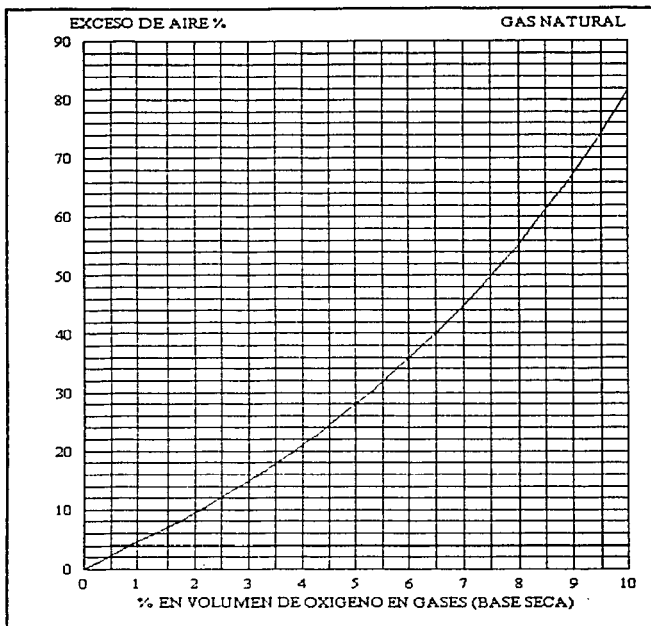


FIGURA 1.- Exceso de aire en función de la concentración de oxígeno.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APENDICE B

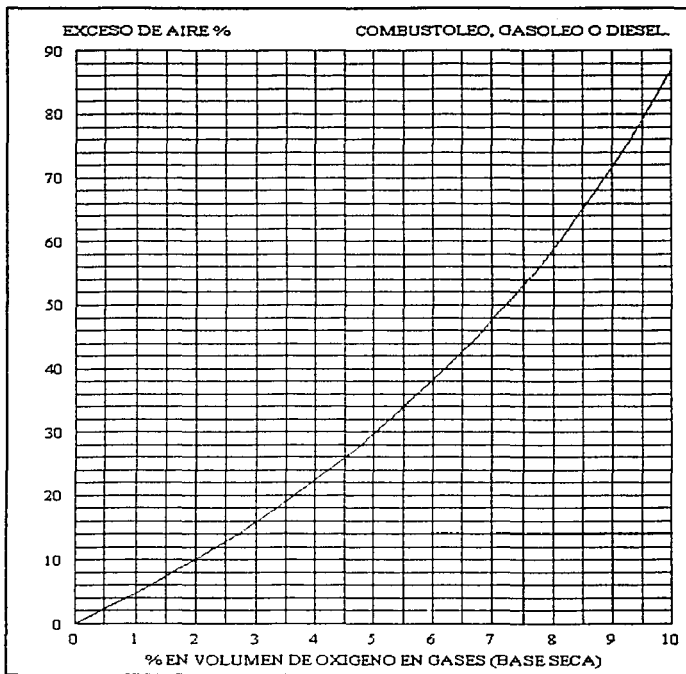


FIGURA 2.-Exceso de aire en función de la concentración de oxígeno.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APENDICE B

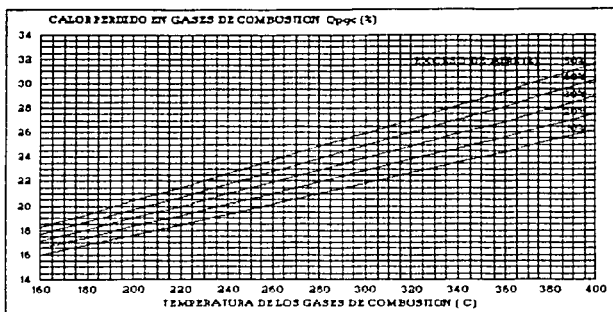


FIGURA 3. Calor perdido en los gases de combustión (BASE FCS) en calderas que utilizan gas natural.

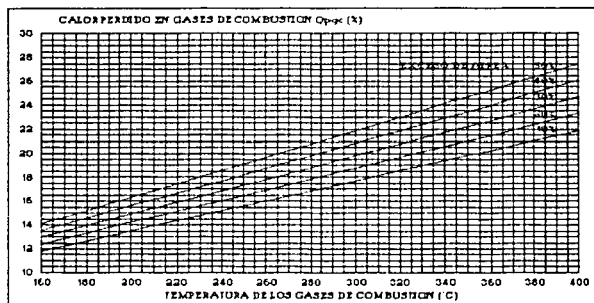


FIGURA 4. Calor perdido en los gases de combustión (BASE FCS) en calderas que utilizan combustible, gasóleo o diesel.

APENDICE B

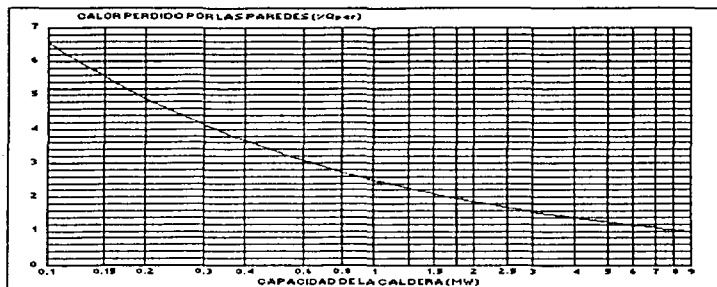


FIGURA 5.- Calor perdido a través de las paredes.

10. Marcado

Toda caldera regulada por esta Norma debe llevar como garantía de eficiencia térmica una placa o etiqueta, fijada en forma permanente por el proveedor o fabricante. La placa o etiqueta debe ser de un material no oxidable y deberá atornillarse, remacharse, soldarse o pegarse firmemente en un lugar visible de la caldera.

Dicha placa o etiqueta debe contener la siguiente información:

- Nombre y dirección del fabricante.
- Tipo de caldera.
- Modelo, número de serie del equipo y año de fabricación.
- Calor absorbido (MCR), kW.
- Presión normal de operación, MPa.
- Presión máxima de operación, MPa.
- Superficie total de transferencia de calor, m².
- Eficiencia térmica mínima (Base PCS), %.
- Tipo de combustible.
- Temperatura de gases a la salida, °C.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APENDICE B

- Concentración de oxígeno en gases de combustión, %.
- Leyenda "HECHO EN MEXICO" o "PAIS DE ORIGEN".

En una etiqueta por separado, en un lugar visible, las instrucciones y/o recomendaciones para su correcta instalación y operación óptima.

11. Vigilancia

La Secretaría de Energía, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social y la Procuraduría Federal del Consumidor en sus ámbitos de competencia son las autoridades que vigilan el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana

12. Sanciones

El incumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana se sanciona conforme a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás disposiciones legales aplicables.

13. Bibliografía

- a) American Society of Mechanical Engineers.
Power Test Codes, Steam Generating Units.
- b) Babcock & Wilcox. Steam, It's Generation and Use.
Babcock & Wilcox Co. 1978.
- c) Boiler Efficiency Institute.
Boiler Efficiency Improvement.
- d) Carl D. Shield, Calderas, Tipos, Características y Funciones.
CECSA. 1982.
- e) Japanese Industrial Standard.
JIS B8222. Heat Balance System of Boiler.
- f) Keenan and Keyes, Thermodynamic Properties of steam.
John Wiley & Sons, Inc. 1953.
- g) O. de Lorenzi, Combustion Engineering.

APENDICE B

Combustion Engineering, Inc. 1947.

h) Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Ley Federal sobre Metrología y Normalización.1992.

i) Secretaría de Desarrollo Social.

NOM-085-ECOL-1994, que establece los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas que usan combustibles fósiles líquidos y gaseosos.

j) Secretaría de Energía

NOM-009-ENER-1995, Eficiencia Energética en Aislamientos Térmicos

Industriales

14. Concordancia con normas internacionales

No se puede establecer concordancia por no existir norma internacional al momento de la elaboración de la presente Norma.

México, D.F., a 28 de septiembre de 1995.- El Secretario Técnico de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, **Fernando Bueno Montalvo**.- Rúbrica.