

INTRODUCCIÓN

La energía es la base de nuestra civilización industrial y, por lo tanto, la cuestión energética se ha instalado hoy en la región y se ha constituido en uno de los temas más relevantes de la agenda de nuestros países.

La característica distintiva de nuestra civilización es que se ha desarrollado a partir del establecimiento un régimen energético sustentado en los combustibles fósiles.

Primero fue el carbón que dio un impulso extraordinario al sistema de producción fabril y permitió la expansión de la Revolución Industrial. Luego el petróleo que marcó una nueva era y, en estos últimos años, se ha sumado el gas a esta fuente energética abundante, versátil y barata. Pero abundante no es eterno, y hoy el mundo está mirando con preocupación el agotamiento de los hidrocarburos, ya que más del 80% de la energía consumida a nivel mundial proviene de combustibles fósiles, de los cuales un 35% corresponde al petróleo y un 21% al gas. En este contexto, los países desarrollados están implementando distintas políticas para garantizarse el suministro de hidrocarburos que les permitan seguir sustentando su nivel de vida. Es por esto que el problema energético es actualmente una de las causas más importantes de los conflictos mundiales y está definiendo la agenda de los países desarrollados.

El desarrollo actual y prospectivo de la industria y los servicios, en una economía abierta y globalizada, requiere de acciones encaminadas a reducir costos y aumentar la competitividad. En la actualidad las empresas han visto como los energéticos han pasado de ser un factor marginal en su estructura de costos a constituir un rubro importante en los mismos, a la vez que, la necesidad de lograr un mayor equilibrio entre economía y medio ambiente, han convertido al ahorro y uso eficiente de la energía en una herramienta fundamental para lograr este objetivo, manteniendo el nivel de rentabilidad empresarial. /10/

Hasta el momento el problema de explotar el recurso eficiencia energética se ha efectuado de una forma muy limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro o conservación energética. Esta vía, además de obviar partes de las causas que provocan baja eficiencia energética en las empresas, generalmente tiene baja efectividad por realizarse muchas veces sin la integralidad, los procedimientos y los equipos requeridos, por limitaciones financieras para aplicar los proyectos, pero sobre todo, por no contar la empresa con la cultura ni las capacidades técnico administrativas necesarias para realizar el seguimiento y control requerido y lograr un adecuado nivel de consolidación de las medidas aplicadas. /1/

Los análisis realizados en numerosas empresas ponen de manifiesto el bajo nivel de gestión energética existente en muchas de ellas, así como las posibilidades de reducir los costos energéticos mediante la creación en las empresas de las capacidades técnicas organizativas para administrar eficientemente la energía.

En la actualidad han surgido nuevas técnicas que permiten un mejor uso de las fuentes renovables de energía y que fomentan un camino que respeta los ciclos biológicos de la naturaleza. No obstante, como estas nuevas técnicas aún no han consolidado su implantación y generalización, un camino certero y necesario hasta que prevalezca su uso lo constituye velar por un aprovechamiento eficiente y racional de la energía obtenida de los combustibles tradicionales, conjugándose la necesidad de su sustitución y las acciones, tanto internacionales como nacionales, hacia el cambio de la política energética, con el fin de reducir la contaminación ambiental y a su vez garantizar el desarrollo tecnológico, económico, político y social de las naciones de nuestro planeta. /3/

El uso eficiente de la energía consiste en la disminución del consumo energético en los distintos procesos de producción, transporte, transformación y uso finales que realizan en todas las actividades de un país, sin que las medidas

implementadas impliquen un deterioro de los niveles de productividad o en la calidad de vida del consumidor.

En el trabajo se presentan los elementos fundamentales del mantenimiento técnico mediante diagnóstico a los centros donde se posea generadores de vapor.

Problema científico: La no existencia de un estudio profundo que involucre aspectos técnicos-económicos que permita evaluar el nivel de gestión energética en la empresa de medicamentos MEDILIP, Bayamo.

Hipótesis: Utilizando las herramientas de la gestión energética es posible evaluar el nivel de gestión energética en la empresa de medicamentos MEDILIP, Bayamo.

Para dar cumplimiento a la hipótesis nos planteamos el siguiente **objetivo general:** Evaluar el nivel de gestión energética en la empresa de medicamentos MEDILIP, Bayamo.

Objetivos parciales:

1. Realizar una profunda búsqueda bibliográfica sobre el tema.
2. Realizar un diagnóstico de recorrido en la empresa de medicamentos MEDILIP, Bayamo.
3. Realizar un diagnóstico de primer nivel en la empresa de medicamentos MEDILIP, Bayamo
4. Proponer medidas para elevar la eficiencia térmica del generador de vapor.

CAPITULO I: FUNDAMENTACIÓN ACTUAL DEL TEMA.

1.1- EFICIENCIA ENERGETICA Y COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

La eficiencia energética, entendida como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía necesaria para garantizar calidad total, es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones. /3/

Eficiencia energética implica lograr los requisitos establecidos por el cliente con el menor gasto energético posible y la menor contaminación ambiental por este concepto. /9/

Cualquier actividad humana trabaja sobre la base de la utilización de energía, por ello es natural que en muchos casos uno de las principales partidas del costo total de una actividad sea el costo energético, donde se incluyen los componentes relativos a la producción, distribución y uso de las diferentes formas de energía. /17/

Los aspectos básicos que determinan la competitividad de una empresa o institución son la calidad y el precio de sus productos o servicios. La posición en el mercado y la estrategia de cambio de posición viene determinada por la relación calidad - precio con respecto a otras entidades de competencia. El objetivo estratégico de todo empresario es ubicarse en el cuadrante de "buena posición", y dentro de este, en la punta de la competencia, logrando mayor calidad y menor precio, o en el caso de precios fijados por un mercado globalizado, mantener una alta calidad con los menores costos posibles, para aumentar las utilidades.

Un programa de aumento de la eficiencia energética reduce los costos, permite disminuir el precio o aumentar las utilidades, sin afectar la calidad, mejorando la competitividad de la empresa, es decir su posición en el mercado, figura 1.1 /5/

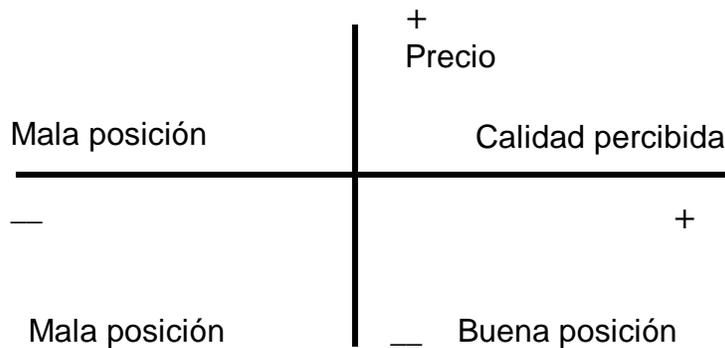


Figura 1.1 Posición en el mercado de una Empresa

El ahorro de energía, si bien no representa una fuente de energía en sí, se acostumbra a considerarla como tal, ya que ofrece la posibilidad de satisfacer más servicios energéticos, lo que es equivalente a disponer de más energía. El incremento de la eficiencia energética tiene un inmediato y directo beneficio ambiental, ya que implica una reducción en el uso de recursos naturales y en la emisión de contaminantes, incluido el CO₂. Sin lugar a dudas, la energía más limpia es la energía ahorrada. /19/

El incremento de la eficiencia energética se logra mediante las acciones tomadas por productores o consumidores que reducen el uso de energía por unidad de producto o servicio, sin afectar la calidad del mismo. /4/

Para evaluar los cambios en la eficiencia energética se utilizan dos indicadores básicos:

- La intensidad energética
- El consumo específico de energía o índice de consumo.

En los países desarrollados se evidencia una marcada acción para elevar la eficiencia energética a partir del alza de los precios provocada por la primera crisis del petróleo de inicios de los años 70, acción que se refuerza con el nuevo incremento de precios que se produjo a inicios de los 80. Estas acciones pasaron a formar parte de la política energética en estos países, logrando desacoplar los ritmos de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), del consumo de energía.

Entre los elementos fundamentales de esa política están: el incremento máximo de la eficiencia en el uso de todas las formas de energía, la búsqueda de fuentes alternativas al petróleo, el desarrollo de tecnologías y equipos de uso final de una alta eficiencia y el desplazamiento hacia industrias menos energointensivas, como consecuencia del propio proceso de desarrollo y maduración de la industria.

Así, por ejemplo, en los últimos 20 años los países desarrollados han tenido un crecimiento promedio anual del PIB del 2.8 %, mientras que el consumo de energía solo ha aumentado en 1.1 % anual. En Japón, Estados Unidos y otros países desarrollados se evidencia un marcado descenso en la intensidad energética a partir de los años 70. /17/

En los países de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD) se produjo el desacoplamiento del consumo de energía del crecimiento económico a partir del año 1973, esto es, creció la economía prácticamente sin incremento del consumo de energía. En el período 1979-1983 el consumo total de energía se redujo, mientras que el PIB continuó ascendiendo, y a partir de mediados de los 80 el consumo de energía ha continuado aumentando ligeramente, pero siempre a una menor razón que el crecimiento de la economía de estos países. Por ejemplo, de 1980 a 1994 los países de la OECD tuvieron un crecimiento promedio anual del PIB de 2.8 %, mientras que el consumo de energía en promedio creció al 1.1 %. En ese mismo periodo los países de menor desarrollo crecieron económicamente al 2.5 % anual, pero el consumo de energía aumentó a razón de 4.7 % al año, lo que indica un deterioro en la intensidad energética y por tanto en la eficiencia energética. /13/

En América Latina y el Caribe, salvo algunas excepciones, no se han observado mejoras en este campo, donde el crecimiento del PIB ha ido en paralelo con el consumo de energía, incluso manifestándose determinada tendencia a la elevación de este indicador en algunos sectores. /10/

1.2 OPORTUNIDADES RELACIONADAS CON LOS EQUIPOS Y LAS TECNOLOGÍAS:

- Incrementar la eficiencia en el uso de las materias primas e incrementar el reciclaje.
- Introducción de tecnologías de alta eficiencia energética en las industrias de cemento, acero, química, de pulpa y papel, y refinación de petróleo.
- Incrementar la aplicación de los sistemas de cogeneración en la industria, e introducirlos en el sector terciario.
- Introducción de ciclos combinados con turbinas de gas y turbinas de vapor para la generación de electricidad.
- Introducción de ciclos integrados con gasificación de carbón y biomasa.
- Introducción de equipos de alta eficiencia en el sector comercial y residencial.
- Cambio a modos de transportación de menor consumo de energía.
- Mejoras en la tecnología y la infraestructura del transporte.
- Mejoras en los sistemas de riego y cultivo en la agricultura.
- Incrementar la participación del gas natural en el balance de combustibles.
- Ampliación de la participación de las energías renovables, en particular:
- Aplicación del calentamiento solar de agua en el sector residencial, comercial y turístico.
- Aprovechamiento energético de los residuos agrícolas e industriales.
- Producción de energía a partir de la biomasa.
- Aprovechamiento máximo de la hidroenergía.
- Aprovechamiento de la energía eólica para la generación de electricidad.
- Utilización de la electricidad fotovoltaica en sitios no conectados a la red.
- Aplicación de los principios de la arquitectura bioclimática y de los sistemas pasivos de climatización.
- Empleo de combustibles más limpios para el transporte; gas natural comprimido, alcohol, biocombustibles, hidrógeno (celdas de combustible).
- Incremento de la eficiencia en la cocción de alimentos.

b) Oportunidades relacionadas con la gestión energética y las prácticas de consumo:

- Incremento de la educación energética ambiental y la promoción del ahorro de energía a todos los niveles.
- Elevación del nivel de la gestión energética empresarial, mediante la implementación de sistemas avanzados de administración de energía.
- Reforzamiento institucional en el campo de la eficiencia energética.
- Desarrollo de seminarios, eventos, cursos, diplomados, especializaciones, etc. sobre eficiencia energética.
- Establecimiento de legislaciones que promuevan la eficiencia energética.
- Desarrollo de proyectos pilotos demostrativos de eficiencia energética.
- Establecimiento de programas de auditorías e incentivos para pequeñas y medianas industrias.

1.3 CONCEPTOS BASICOS DE GESTION ENERGÉTICA

- Lo más importante para lograr la eficiencia energética en una empresa no es sólo que exista un plan de ahorro de energía, sino contar con un sistema de gestión energética que garantice el mejoramiento continuo.
- Es más importante un sistema continuo de identificación de oportunidades que la detección de una oportunidad aislada.
- Para el éxito de un programa de ahorro de energía resulta imprescindible el compromiso de la alta dirección de la empresa con esa administración.
- Debe controlarse el costo de las funciones o servicios energéticos y no el costo de la energía primaria.
- El costo de las funciones o servicios energéticos debe controlarse como parte del costo del producto o servicio.
- Concentrar los esfuerzos en el control de las principales funciones energéticas.
- Organizar el programa orientado al logro de resultados y metas concretas.
- Realizar el mayor esfuerzo dentro del programa a la instalación de equipos de medición.

ERRORES QUE SE COMETEN EN LA GESTION ENERGETICA.

- Se atacan los efectos y no las causas de los problemas.
- Los esfuerzos son aislados, no hay mejora integral en todo el sistema.
- No se atacan los puntos vitales.
- No se detectan y cuantifican adecuadamente los potenciales de ahorro.
- Se consideran las soluciones como definitivas.
- Se conforman creencias erróneas sobre cómo resolver los problemas.

BARRERAS QUE SE Oponen AL ÉXITO DE LA GESTION ENERGETICA.

- Las personas idóneas para asumir determinada función dentro del programa, se excusan por estar sobrecargadas.
- Los gerentes departamentales no ofrecen tiempo a sus subordinados para esta tarea.
- El líder del programa no tiene tiempo, no logra apoyo o tiene otras prioridades.
- La dirección no reconoce el esfuerzo del equipo de trabajo y no ofrece refuerzos positivos.
- La dirección no es paciente y juzga el trabajo solo por los resultados inmediatos.
- No se logra conformar un equipo con buen balance interdisciplinario o interdepartamental.
- Falta de comunicación con los niveles de toma de decisiones.
- La dirección ignora las recomendaciones derivadas del programa.
- El equipo de trabajo se aparta de la metodología disciplina y enfoque sistemático.
- Los líderes del equipo de trabajo son gerentes e inhiben la actuación del resto de los miembros.

1.4 MODELOS DE GESTIÓN ENERGÉTICA

1.4.1 PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA(UNEP)

El modelo de Producción más limpia y Eficiencia de energía(CP-EE) propuesto por UNEP básicamente consta de los siguientes elementos principales:

Planificación y Organización

Es una de las más importantes etapas para el buen desarrollo de CP-EE. Lo componen las siguientes seis actividades:

1. Obtener compromiso y participación de la alta dirección Involucrar a los empleados
2. Organizar equipo de CP-EE
3. Organizar la información básica existente
4. Identificar barreras y soluciones para el CP EE
5. Determinar el enfoque de la valoración de CP - EE

Pre- valoración

Consta de las siguientes cuatro actividades:

1. Preparar diagramas de flujo de proceso
2. Hacer un recorrido
3. Caracterizar las entrada y salida de calidad y cantidad de energía
4. Generar base de datos

Valoración

La valoración comprende cuatro pasos indispensables:

1. Preparar un balance de materia y energía incluyendo las pérdidas.
2. Hacer un diagnóstico.
3. Generar ideas de solución.
4. Revisión de las opciones.

Análisis de viabilidad

En esta actividad se tiene en cuenta:

1. Las evaluaciones económicas y ambientales
2. Escogencia de opciones viables

Implementación y continuación

Esta actividad implica las siguientes tareas:

1. Preparar el plan de puesta en práctica de CP - EE
2. Mantener continuo el plan de CP EE

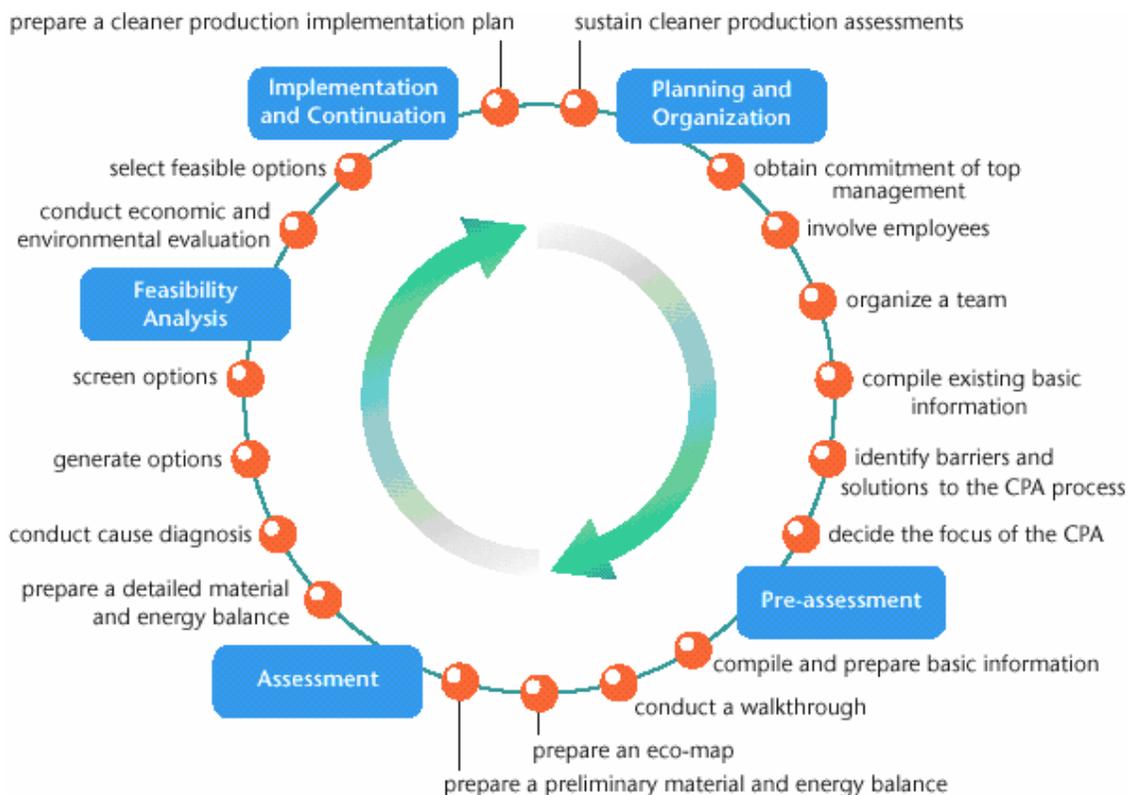


Figura 1.1 Metodología de CP-EE

1.4.2 GESTIÓN TOTAL EFICIENTE DE LA ENERGÍA (CEEMA) (Centro de Estudio de Energía y Medio Ambiente), Universidad de Cienfuegos, Cuba.

Un sistema de gestión energética propuesto por CEEMA, se compone de: la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para su implementación.

Análisis preliminar de los consumos energéticos

El análisis preliminar abarca la información de las fuentes y consumos de portadores energéticos del proceso productivo, distribución general de costos, indicadores globales de eficiencia y productividad, etc., y posibilita la conformación de la estrategia general para la implantación del sistema de gestión energética en la empresa.

Compromiso de la Dirección

Aunque en las actividades de la Gestión Energética todo el personal debe tomar parte de una forma u otra, resulta imprescindible para el éxito de estas actividades el compromiso de la dirección.

Diagnósticos o auditorías energéticas

El diagnóstico o auditoría energética constituye la herramienta básica para saber cuánto, cómo, dónde y por qué se consume la energía dentro de la empresa, para establecer el grado de eficiencia en su utilización, para identificar los principales potenciales de ahorro energético y económico, y para definir los posibles proyectos de mejora de la eficiencia energética.

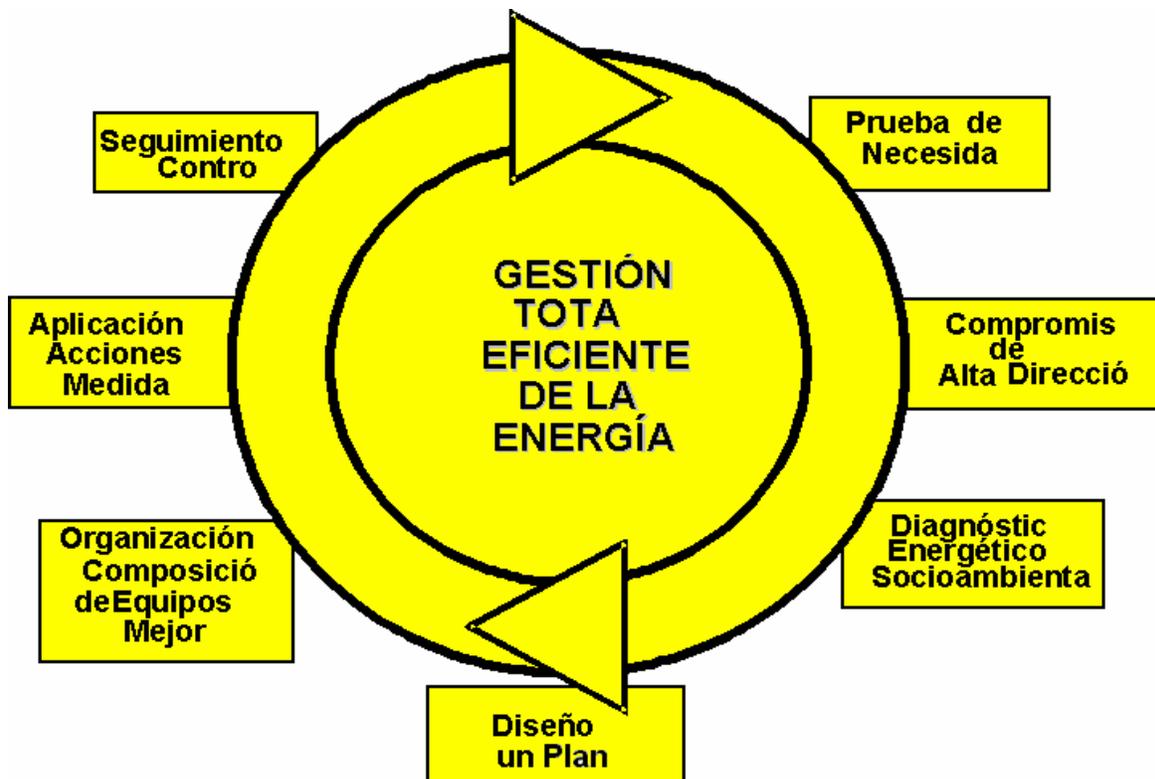


Figura 1.2 Gestión Total Eficiente de la Energía (CEEMA)

1.4.3 METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DEL CONSUMO ENERGÉTICO (UPB)

El modelo de la Universidad Pontificia Bolivariana propone las siguientes etapas, que no tienen que ser realizadas en estricto orden secuencial.

La implementación de una metodología de administración energética usualmente involucra los siguientes pasos:

1. Una auditoria y evaluación energética.
2. Identificación de los centros de costos de energía.
3. Desarrollo de los procesos de monitoreo.
4. Definición de estándares de funcionamiento.
5. Desarrollo de procedimientos para el análisis de datos y reportes de funcionamiento.
6. Definición de objetivos para mejorar el funcionamiento.

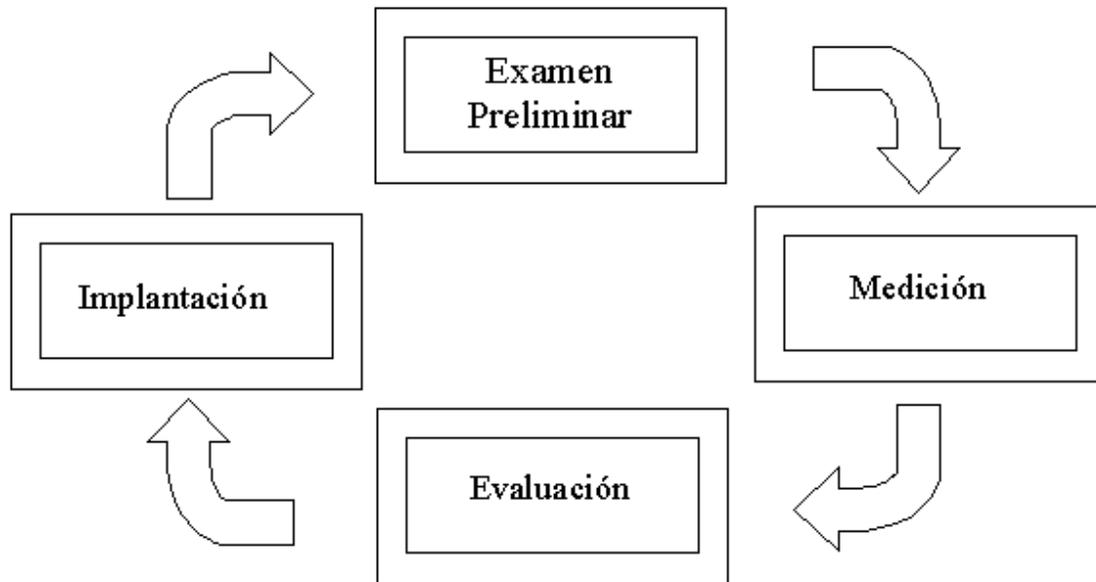


Figura 1.3 Generalidades sobre la metodología para el control del consumo energético (UPB)

1.4.4 GERENCIA DE LA ENERGÍA (EnergyStar)

La metodología empleada por EnergyStar [4] para la gestión energética está compuesta de lo siguiente:

Creación de un comité de energía

Para establecer el programa energético se debe formar un equipo dedicado a la energía e instituir una política energética que es el inicio para la fijación de metas e integración de la gerencia de la energía en la cultura y operaciones de una organización.

Determinación del funcionamiento

Es el proceso periódico de evaluar el uso de la energía en las instalaciones y funciones importantes de la empresa y establece una línea de fondo para los resultados futuros que miden los resultados en eficiencia.

Fijar Metas

Las metas fijadas conducen las actividades en la gerencia de la energía y promueven la mejora continua. Para desarrollar metas eficaces es necesario: determinar el alcance de las mismas, estimar el potencial para mejoras, estimar fechas de cumplimiento para la organización entera, las instalaciones y otras unidades.

Crear un plan de acción

Los pasos básicos para la creación del plan de acción son:

1. Definir los pasos y los objetivos técnicos que se quieren lograr.
2. Determinar las funciones y los recursos necesarios.

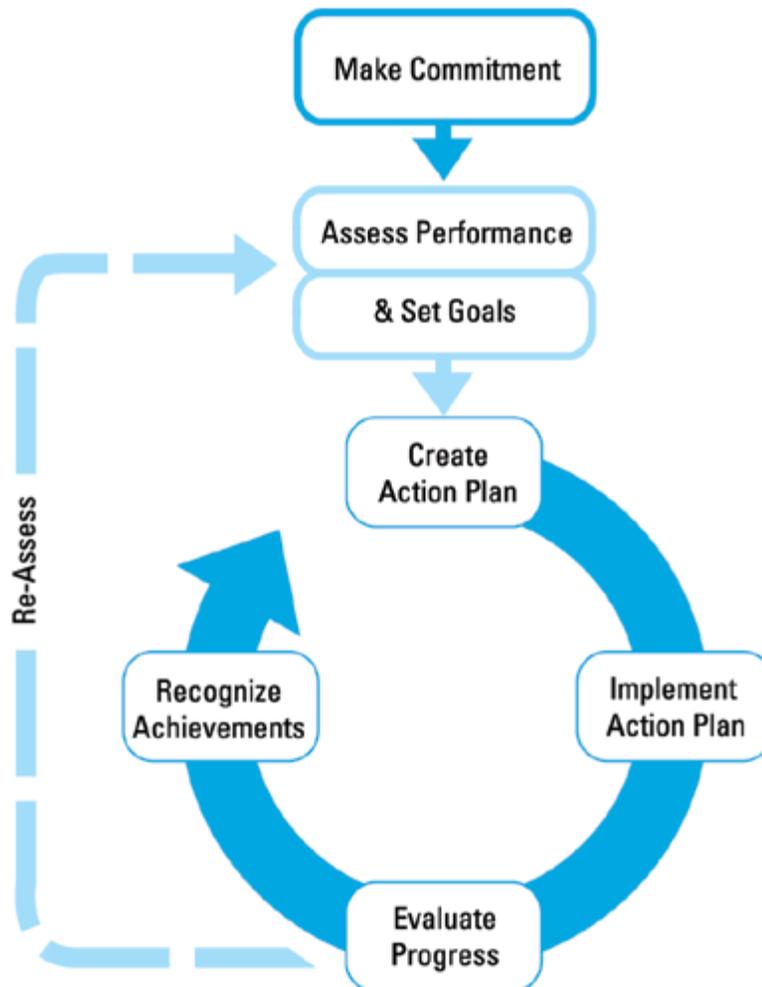


Figura 1.4 Esquema de la gerencia de la energía (EnergyStar)

1.4.5 PROGRAMA DE DIRECCIÓN DE LA ENERGÍA (WAYNE CTURNER)

Los componentes del programa de dirección energética propuesto por Wayne C Turner constan de los siguientes elementos:

Estructura organizacional

El diagrama organizacional para la dirección de energía es genérico. Debe adaptarse para encajar en cada organización. El principal rasgo del diagrama es la situación del director de energía. Esta posición debe ser bastante alta en la estructura organizacional para tener el acceso directo a los miembros directivos, y para tener un conocimiento de eventos actuales dentro de la compañía.

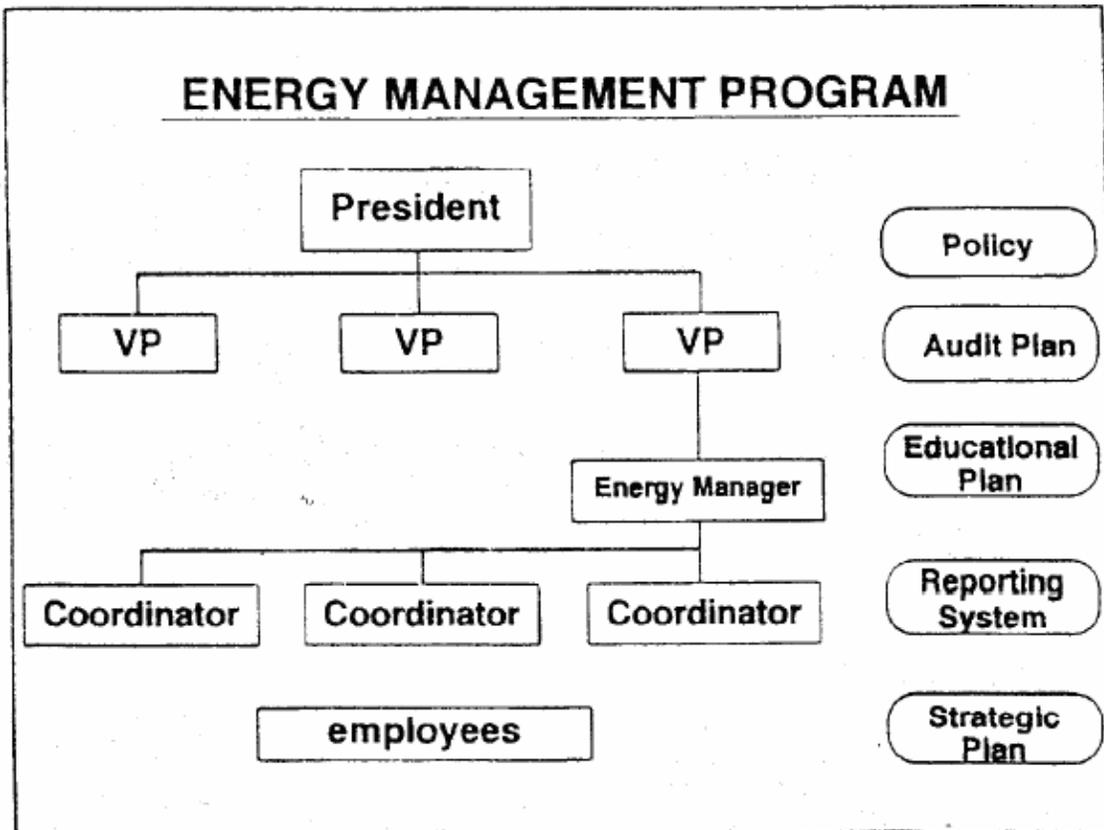


Figura 1.5 Esquema de la dirección de la energía

CAPITULO II: MATERIALES y MÉTODOS

2.1 Caracterización de la empresa.

Nombre Oficial: Empresa Laboratorio Farmacéutico Líquidos Orales de Bayamo “Medilip”.

- **Dirección:** Carretera Central Vía Santiago Km. 845 Bayamo Granma
- **Teléfonos:** 48-2502, 48-2524, 48-2546, 48-2568. 48-2302, 48-2269
- **Fax:** 42-7122
- **Dirección Electrónica:** medilip@grma.minbas.cu
- **Cuenta Bancaria:** 40748110493016
- **Código:** 105.0.12802



- **Logotipo:** 
- **Cantidad de trabajadores:** 328

De ellos:

- **Hombres:** 167
- **Mujeres:** 161
- **Por edades:** hasta 35 años: 226; de 36 a 55 años: 96 y más de 56 años: 6
- **Por nivel de escolaridad:** 66 Nivel Superior, 113 Técnicos de Nivel Medio, 71 de Nivel Medio Superior y 78 de Nivel Medio (Secundaria).
- **Por color de la piel:** Blanca 95; Negra 67 y Mestizo 166

▪ **Por Categoría Ocupacional:**

- * **Dirigentes** = 17 de ellos 3 mujeres
- * **Técnicos** = 103 de ellos 53 mujeres
- * **Administrativos** = 0 de ellos 0 mujeres
- * **Servicios** = 18 de ellos 5 mujeres
- * **Obreros** = 190 de ellos 100 mujeres
- * **TOTAL** = **328 Trabajadores**

Tabla 2.1 Edad promedio de los trabajadores de la empresa

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Promedio Edad (años)	25	26	27	28	30	32	33	36

Misión: “Producir Medicamentos en forma de Líquidos (Soluciones, Suspensiones y Emulsiones) y Polvos, tanto sintéticos como naturales para satisfacer las necesidades de la población y apoyar la obra solidaria de la revolución con calidad total, un mínimo de costo y un personal altamente calificado”.

Visión: “Lograr niveles de eficiencia, eficacia y gestión de la calidad en los procesos y productos farmacéuticos que nos permita homologarnos con líderes mundiales”.

Carpeta de Productos: Ácido Nalidíxico Infantil, Benzalconio Antioxidante, Benzoato Bencilo 10 %, Brea Champú, Cloruro de Benzalconio, Cloranfenicol, Clorpromazina, Cloruro de Potasio, Complejo Vitamínico B, Cosedal, Digoxina Infantil, Efedrina 1 %, Elixir Paregórico, Fenitoina, Fenobarbital Elixir, Gel Hidróxido Aluminio, Hidrato de Cloral, Ibuprofeno, Iodo-Povidona 10 %, Ketotifeno, Levamisol, Lidocaína 2 %, Loción Calamina, Loratadina, Metilbromuro de Homatropina, Metoclopramida, Multivitaminas, Pahomín, Paracetamol, Pepsiclor, Permetrina 1 %, Peróxido Hidrógeno 7 %, Piperazina, Primidona, Salbutamol, Solución Antiséptica, Tiomersal 0,1 %, Valproato de Sodio, Venatón, Vitamina A y D2, Vitamina C, Vitamina D2, Vitamina D2 Forte.

Países a los cuales se exporta: Plan Especial y con que productos: Benzoato de Bencilo 10 %, Difenhidramina Compuesta, Iodo-Povidona 10 %, Levamisol, Metoclopramida, Paracetamol, Peróxido Hidrógeno 7 %, Piperazina, Tiomersal 0,1 %, Vitamina A y D2, Vitamina C.

Operación Milagro: Benzoato de Bencilo 10 %, Iodo-Povidona 10 %, Metilbromuro de Homatropina, Peróxido Hidrógeno 7 %, Salbutamol, Cosedal, Efedrina 1 %, Metoclopramida.

En beneficio de la sociedad nosotros lo que hacemos es producir medicamentos para satisfacer las necesidades de nuestra población, es decir evitar que el país tenga que comprar estos productos en el exterior, si lo que nosotros producimos hubiera que comprarlo en el exterior fuera necesario invertir más de 30 millones de dólares y esto se hace solamente con menos de 10 millones de dólares.

Logros Fundamentales.

1. Aplicar Sistema de Perfeccionamiento Empresarial.
2. Incrementar todos los años los niveles productivos.
3. Cerrar el año 2009 con cero faltas de medicamentos.
4. Lograr las licencias sanitarias que nos permiten producir y comercializar nuestros productos.

2.2 HERRAMIENTAS PARA ESTABLECER UN SISTEMA DE GESTIÓN TOTAL EFICIENTE DE LA ENERGÍA

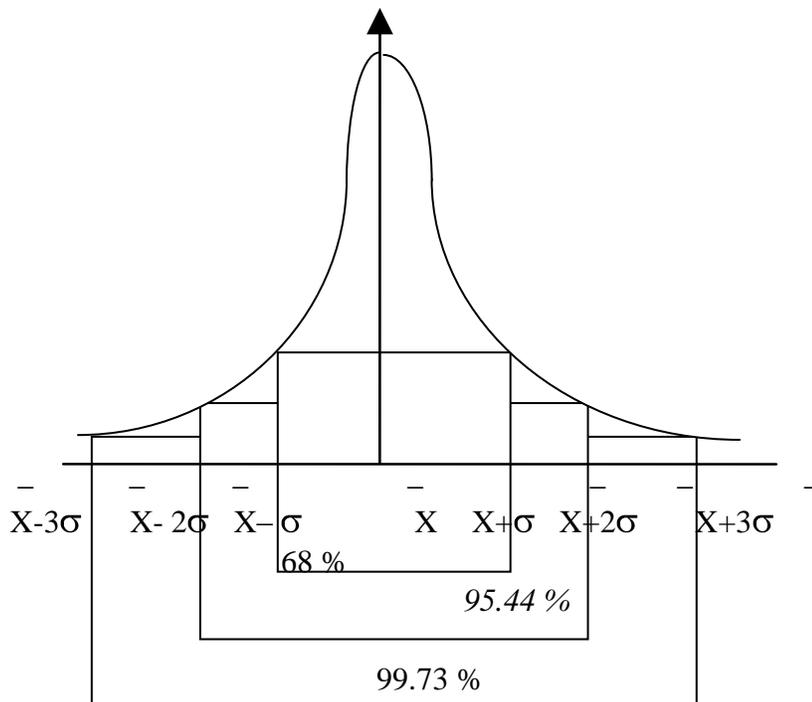
DIAGRAMA ENERGÉTICO – PRODUCTIVO

Esta herramienta consiste en desarrollar el flujograma del proceso productivo, agregándole todas las entradas y salidas de materiales (incluidos residuos) y de energía, con sus magnitudes características para los niveles de producción típicos de la empresa. También en el diagrama se muestran los niveles de producción de cada etapa, así como entradas externas al proceso de materiales semiprocesados si los hubiera. Es conveniente expresar las magnitudes de la energía consumida en cada etapa del flujograma por tipo de energía consumida y en porcentaje con respecto al consumo total de cada tipo.

GRÁFICOS DE CONTROL

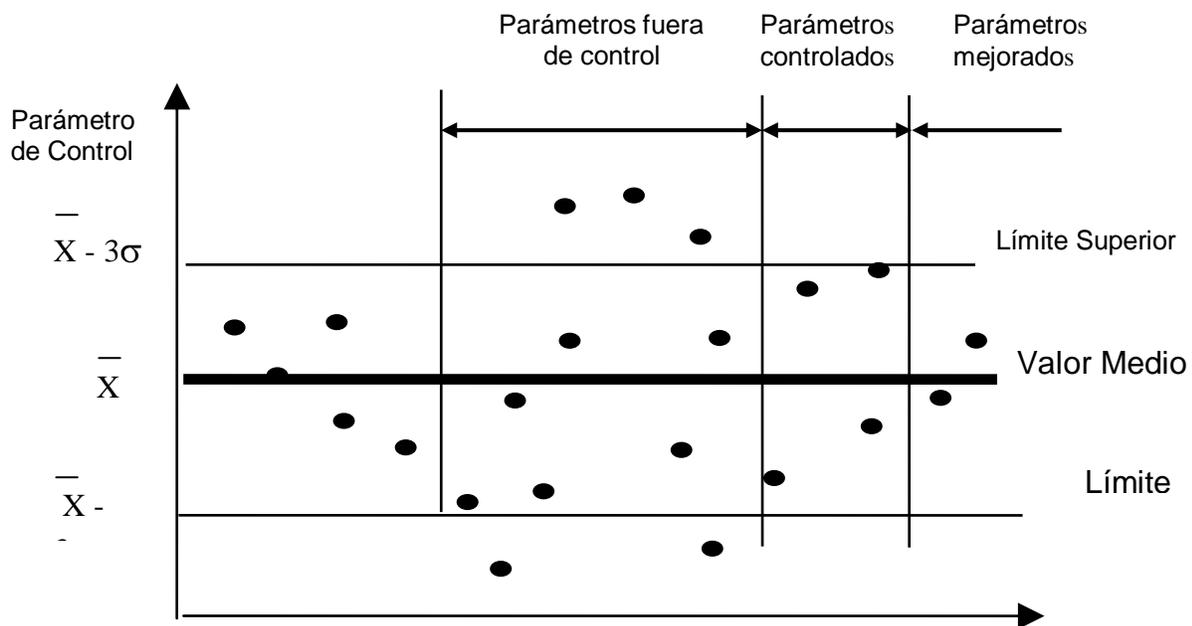
Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos. Se usan como instrumento de autocontrol y resultan muy útiles como complemento a los diagramas causa y efecto, para detectar en cuales fases del proceso analizado se producen las alteraciones.

Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos tienen un comportamiento denominado normal, es decir existe un valor medio M del parámetro de salida muy probable de obtener, y a medida que nos alejamos de este valor medio la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro cae bruscamente, si no aparecen causas externas que alteren el proceso, hasta hacerse prácticamente cero para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar (3σ) del valor medio. Este comportamiento (que debe probarse en caso que no exista seguridad que ocurra) permite detectar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso y que influyan en desviaciones del parámetro de salida controlado.



$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

El gráfico consta de la línea central y las líneas límites de control. Los datos de la variable cuya estabilidad se quiere evaluar se sitúan sobre el gráfico. Si los puntos situados se encuentran dentro de los límites de control superior e inferior, entonces las variaciones proceden de causas aleatorias y el comportamiento de la variable en cuestión es estable. Los puntos fuera de los límites tienen una pauta de distribución anormal y significan que la variable tuvo un comportamiento inestable. Investigando la causa que provocó la anomalía y eliminándola se puede estabilizar el proceso.



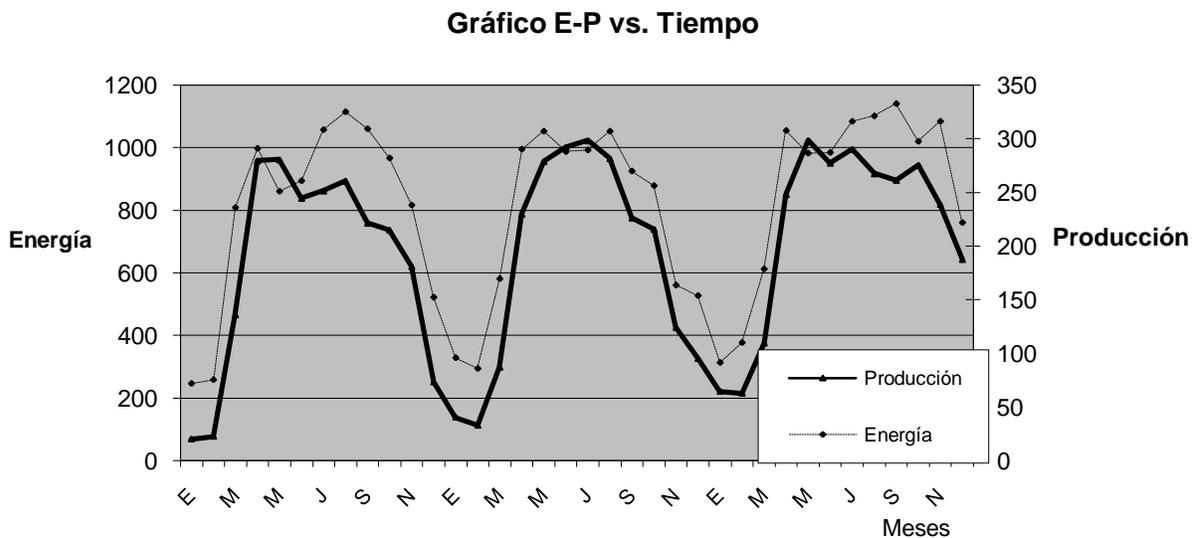
El objetivo del uso de este gráfico dentro del sistema de GTEE es determinar si los consumos y costos energéticos tienen un comportamiento estable o un comportamiento anómalo.

GRAFICO DE CAPACIDAD DEL PROCESO

La Capacidad de Proceso se define como la aptitud del proceso para lograr el valor deseado o un modo de consumo o costos energéticos. En un proceso estabilizado, la capacidad del proceso se expresa usualmente por el valor de la media más o menos 3 veces la desviación estándar ($x \pm 3\sigma$).

GRÁFICO DE CONSUMO Y PRODUCCIÓN EN EL TIEMPO (E – P vs. T)

Consiste en un gráfico que muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo. El gráfico se realiza para cada portador energético importante de la empresa y puede establecerse a nivel de empresa, área o equipos.



producción realizada o los servicios prestados durante ese mismo período, revela importante información sobre el proceso.

DIAGRAMA ÍNDICE DE CONSUMO – PRODUCCIÓN (IC VS. P)

Este diagrama se realiza después de haber obtenido el gráfico E vs. P y la ecuación, $E = mxP + E_0$, con un nivel de correlación significativo.

La expresión de la función $IC = f(P)$ se obtiene de la siguiente forma:

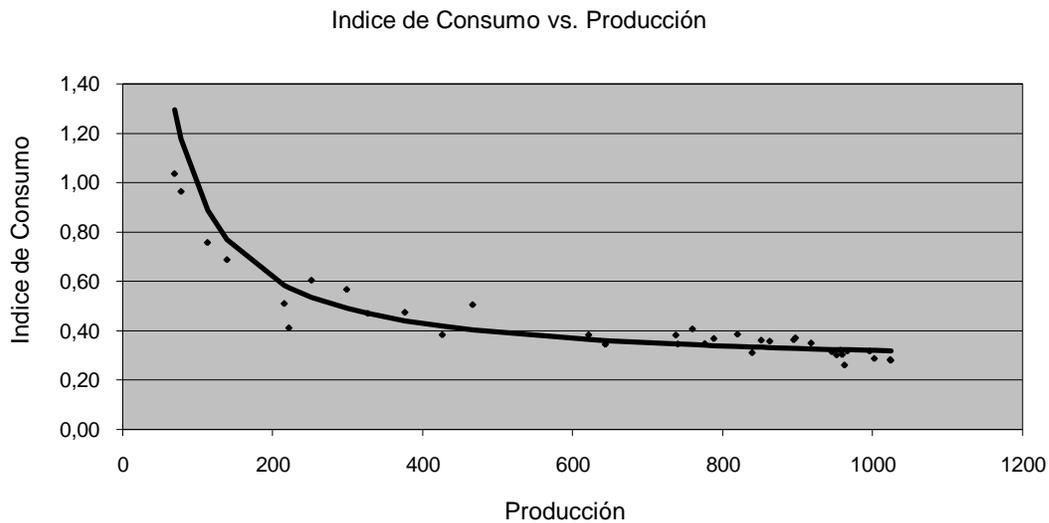
$$E = mxP + E_0$$

$$IC = E/P = m + E_0/P$$

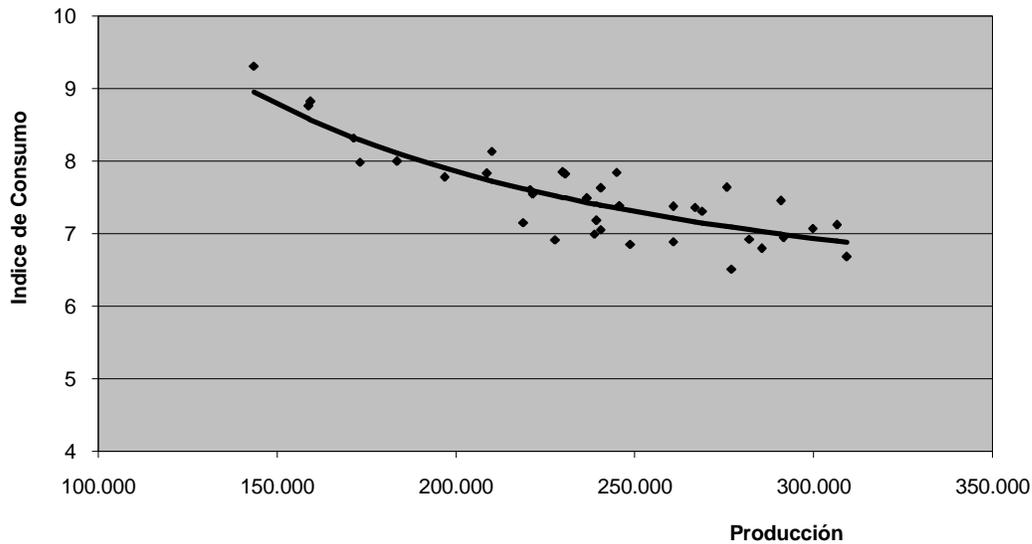
$$IC = m + E_0/P$$

El gráfico IC vs. P es una hipérbola equilátera, con asíntota en el eje x, al valor de la pendiente m de la expresión $E = f(p)$.

A continuación se presentan dos gráficos reales de IC vs. P, en los que se observa la influencia del nivel de producción sobre el índice de consumo.



Índice Consumo vs Producción



Las curvas anteriores muestran como el índice de consumo aumenta al disminuir el nivel de la producción realizada. En la medida que la producción se reduce debe disminuir el consumo total de energía, como se aprecia de la expresión $E=f(P)$, pero el gasto energético por unidad de producto aumenta. Esto se debe a que aumenta el peso relativo de la energía no asociada a la producción respecto a la energía productiva. Si la producción aumenta, por el contrario, el gasto por unidad de producto disminuye, pero hasta el valor límite de la pendiente de la ecuación $E=f(P)$. En cada gráfico IC vs. P existe un punto donde comienza a elevarse significativamente el índice de consumo para bajas producciones. Este punto se puede denominar punto crítico. Producciones por encima del punto crítico no cambian significativamente el índice de consumo; sin embargo, por debajo del punto crítico éste se incrementa rápidamente.

El gráfico IC vs. P es muy útil para establecer sistemas de gestión energética, y estandarizar procesos productivos a niveles de eficiencia energética superiores. Valores de IC por debajo de la curva que representa el comportamiento del índice durante el periodo de referencia comparativa, indican un incremento de eficiencia del proceso; en el caso contrario existe un potencial de disminución del índice de consumo igual a la diferencia entre el IC real (sobre la curva) y el IC teórico (en la

curva) para igual producción. También se pueden establecer sobre este gráfico las metas de reducción del índice proyectadas para el nuevo periodo e ir controlando su cumplimiento.

GRÁFICO DE TENDENCIA O DE SUMAS ACUMULATIVAS (CUSUM)

Este gráfico se utiliza para monitorear la tendencia de la empresa en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un período base de comparación dado. A partir de este gráfico también puede determinarse cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha consumido en exceso con relación al comportamiento del periodo base hasta el momento de su actualización.

DIAGRAMA DE PARETO

Los diagramas de Pareto son gráficos especializados de barras que presentan la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en porcentaje. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total.

El diagrama de Pareto es muy útil para aplicar la Ley de Pareto o Ley 80 – 20, que identifica el 20% de las causas que provoca el 80% de los efectos de cualquier fenómeno estudiado.

ESTRATIFICACIÓN

Cuando se investiga la causa de un efecto, una vez identificada la causa general aplicando el diagrama de Pareto, es necesario encontrar la causa particular del efecto, aplicando sucesivamente Pareto a estratos más profundos de la causa general.

La estratificación es el método de agrupar datos asociados por puntos o características comunes pasando de lo general a lo particular. Pueden ser estratificados los gráficos de control, los diagramas de Pareto, los diagramas de dispersión, los histogramas y otras herramientas de descripción de efectos.

2.3 EFICIENCIA TÉRMICA DE LOS GENERADORES DE VAPOR

Para la realización del trabajo nos basamos en los métodos clásicos de análisis energéticos descritos en todos los textos de termodinámica y utilizamos para cálculos avanzados el método termo económico.

Para el estudio se utilizó la instrumentación que se describe a continuación

- Manómetros Bourdon instalados en: Hogar de la Caldera, Salida de Vapor, entrada de agua. precisión 0.1 kgf/cm^2 .
- Termómetros, precisión 1°C en: Chimenea, Tanque de agua de alimentar, Superficie de la Caldera
- Cronómetro, precisión 0.1 segundos.
- Flujómetro Ultrasónico Portaflow 300.
- Aforos de Tanque de combustible y agua de alimentar, mediante métodos matemáticos de integración.
- Cinta métrica, precisión 1 mm .
- Pie de Rey precisión 0.01 mm .
- Wattímetro precisión 0.4 kW .

La eficiencia térmica es el indicador más importante del trabajo de un generador de vapor, ya que caracteriza el grado de aprovechamiento de la energía suministrada, o sea, la parte de esa energía que ha sido transferida al agente de trabajo.

Sobre la eficiencia térmica de un generador de vapor influyen muchos factores, pero estos pueden englobarse en tres aspectos básicos para obtener una alta eficiencia:

1. La combustión completa del combustible, lograda con una mínima cantidad de aire en exceso.
2. El enfriamiento profundo de los productos de la combustión.
3. La reducción de las pérdidas de calor por radiación y convección al medio circundante.

El balance térmico de una caldera operando a régimen estacionario puede escribirse en la siguiente forma simplificada:

$$Q_d = Q_1 + Q_p \quad (3.1)$$

Donde:

Q_d - Calor disponible, constituye la energía de entrada al generador por unidad de masa del combustible.

Q_1 - Calor útil, constituye el calor transferido al agente de trabajo.

Q_p - Pérdidas térmicas, representa la suma de todas las pérdidas que ocurren en los procesos de combustión y transferencia de calor en el generador de vapor.

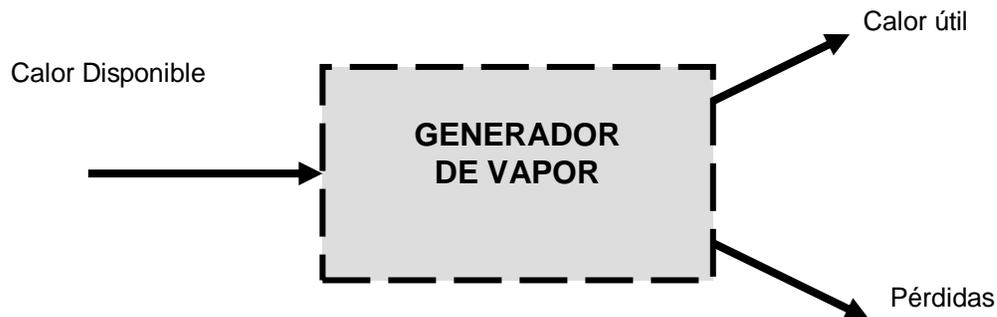


Figura 2.1 Esquema simplificado del balance térmico en un generador de vapor

2.4 MÉTODO INDIRECTO

Este método parte de determinar la suma de las pérdidas térmicas expresadas en porcentaje del calor disponible y luego determinar, indirectamente, la eficiencia como el porcentaje restante.

Donde:

$$\Sigma q_p = [\Sigma Q_p / Q_d] \times 100, \% \quad (3.4)$$

2.4.1 Volumen de los productos de la combustión.

2.4.1.1 Combustibles sólidos y líquidos

El volumen de los gases de combustión se puede dividir para su cálculo en volumen de gases secos y volumen de vapor de agua (por kg de combustible).

$$V_g = V_{gs} + V_{H_2O}, \text{ m}^3 \text{ N/ kg} \quad (3.5)$$

$$V_{gs} = V^{\circ}_{gs} + (\alpha - 1) \cdot V^{\circ}_a, \text{ m}^3 \text{ N/ kg}$$

$$V_{gs} = V_{RO_2} + V^{\circ}_{N_2} + (\alpha - 1) V^{\circ}_a, \text{ m}^3 \text{ N/ kg} \quad (3.6)$$

Donde:

$$V_{RO_2} = V_{CO_2} + V_{SO_2} (\text{m}^3 \text{ Nkg}^{-1})$$

$$V_{RO_2} = 0.01866 \cdot (C + 0.375 \cdot S) (\text{m}^3 \text{ Nkg}^{-1}) \quad (3.7)$$

$$V^{\circ}_{N_2} = 0.79 \cdot V^{\circ}_a + 0.008 \cdot N \quad (\text{m}^3 \text{ Nkg}^{-1})$$

$$V_{H_2O} = V^{\circ}_{H_2O} + 0.00161 \cdot d_a \cdot (\alpha - 1) V^{\circ}_a \quad (\text{m}^3 \text{ Nkg}^{-1}) \quad (3.8)$$

$$V^{\circ}_{H_2O} = 0.111 \cdot H + 0.0124 \cdot W + 0.00161 \cdot d_a \cdot V^{\circ}_a + 1.24 \cdot G_{at} (\text{m}^3 \text{ Nkg}^{-1})$$

Donde:

d_a - Humedad absoluta del aire, g/kg.

G_{at} - Flujo de vapor de atomización (en caso que proceda), kg vapor/kg comb.

$G_{at} = 0.02 - 0.1 \text{ kg}_v / \text{kg}_c$ para quemadores de plantas termoeléctricas.

$G_{at} = 0.1 - 1 \text{ kg}_v / \text{kg}_c$ para quemadores industriales.

$$V_g = V_{RO_2} + V^{\circ}N_2 + V^{\circ}H_2O + (\alpha - 1) V^{\circ}_a + 0.00161 \cdot d_a \cdot (\alpha - 1) V^{\circ}_a, \text{ m}^3 \text{ N/ kg}$$

Los volúmenes de gases con superíndice “ ° ” se refieren a volúmenes para una combustión estequiométrica.

2.4.1.2 Combustibles gaseosos

Para los combustibles gaseosos el volumen de los **gases triatómicos** se determina también sobre la base de las reacciones químicas de la combustión.

Así, para la combustión del monóxido de carbono ($CO + 0.5 \cdot O_2 = CO_2$) para 1 m³ de CO se obtiene 1 m³ de CO₂. Análogamente se determina el volumen de gases triatómicos (m³N/m³N) formados en la combustión de otros componentes.

Como resultado del procedimiento anterior, se obtiene la siguiente expresión:

$$V_{RO_2} = 0.01 \cdot (CO_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot CmHn), \text{ m}^3 \text{ N/m}^3 \text{ N} \quad (3.11)$$

El **volumen teórico de Nitrógeno** (para $\alpha=1$) se determina por la fórmula:

$$V^{\circ}N_2 = 0.79 \cdot V^{\circ}_a + 0.01 \cdot N_2, \text{ m}^3 \text{ N/m}^3 \text{ N} \quad (3.12)$$

El **volumen teórico de vapor de agua** se calcula por la expresión:

$$V^{\circ}H_2O = 0.01 \cdot (H_2 + H_2S + \sum n/2 \cdot C_m H_n + 0.124 \cdot d_g + 0.161 \cdot d_a \cdot V^{\circ}_a), \text{ m}^3 \text{ N/m}^3 \text{ N}$$

Donde:

d_g – Humedad del combustible, g/m³ de gas seco.

d_a – Humedad del aire de combustión, g/m³ de aire seco.

Volumen real de gases.

Los volúmenes reales (para $\alpha > 1$) se determinan por las expresiones siguientes:

Volumen de gases secos:

$$V_{gs} = V_{RO_2} + V^{\circ}N_2 + (\alpha - 1) \cdot V^{\circ}_a, \text{ m}^3 \text{ N/m}^3 \text{ N} \quad (3.14)$$

$$V_{H_2O} = V^{\circ}H_2O + 0.00161 \cdot d_a \cdot (\alpha - 1) \cdot V^{\circ}_a, \text{ m}^3 \text{ N/m}^3 \text{ N} \quad (3.15)$$

Y el **volumen total real de gases**:

$$V_g = V_{gs} + V_{H_2O} \quad (3.16)$$

2.4.2 Entalpía del aire y de los productos de la combustión.

Entalpía del aire.

$$I_a^o = V_a^o \cdot C_a \cdot T_a, \text{ kJ/kg (kJ/m}^3\text{N)} \quad (3.17)$$

$$I_a = \alpha \cdot V_a^o \cdot C_a \cdot T_a, \text{ kJ/kg (kJ/m}^3\text{N)}$$

Donde:

V_a^o - Volumen de aire teórico por unidad de masa del combustible, $\text{m}^3\text{N/kg}$ (o de volumen en el caso de combustibles gaseosos, $\text{m}^3\text{N/m}^3\text{N}$)

T_a - Temperatura del aire, $^{\circ}\text{C}$.

C_a - Calor específico a presión constante del aire a temperatura T_a , $\text{kJ/m}^3\text{N}\cdot^{\circ}\text{C}$

Entalpía de los productos de combustión.

$$I_g = I_g^o + I_a^o \cdot (\alpha - 1) + I_c, \text{ kJ/kg (kJ/m}^3\text{N)} \quad (3.18)$$

Donde:

I_g^o - Entalpía de la cantidad teórica de gases, $\text{kJ/kg (kJ/m}^3\text{N)}$

$$I_g^o = V_{\text{RO}_2} \cdot C_{\text{RO}_2} \cdot T_g + V_{\text{N}_2} \cdot C_{\text{N}_2} \cdot T_g + V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot T_g, \text{ kJ/kg (kJ/m}^3\text{N)}$$

I_a^o - Entalpía de la cantidad teórica de aire a la temperatura de salida, $\text{kJ/kg (kJ/m}^3\text{N)}$

I_c - Entalpía de los residuos volátiles (ceniza arrastrada), $\text{kJ/kg (kJ/m}^3\text{N)}$

$$I_c = 0.01 \cdot A_t \cdot a_v \cdot C_{\text{cen}} \cdot T_g$$

a_v - Fracción de ceniza que es arrastrada por los gases de combustión.

Para cálculos rápidos se puede utilizar la expresión aproximada:

$$I_g = V_g \cdot C_g \cdot T_g, \text{ kJ/kg (kJ/m}^3\text{N)} \quad (3.19)$$

Donde:

$$C_g = 1.35 + 0.0000753 \cdot T_g, \text{ kJ / m}^3\text{N } ^\circ\text{C}$$

2.5 BALANCE TÉRMICO DE GENERADORES DE VAPOR

El Balance Térmico de un generador de vapor posibilita determinar la eficiencia térmica, la capacidad, así como otras características operacionales, con el propósito de:

- Comparar el comportamiento real con el de garantía.
- Comparar diferentes métodos de operación.
- Determinar el comportamiento de diferentes componentes del generador de vapor.
- Comparar el comportamiento durante la combustión de diferentes combustibles.
- Determinar el efecto de cambios en el equipamiento.

Veamos como calcular los términos de la ecuación de balance de energía aplicada al generador de vapor.

$$Q_d = Q_1 + Q_p \quad (3.20)$$

2.5.1 Cálculo de los calores disponible y útil.

Calor Disponible, Q_d .

Constituye la energía suministrada por unidad de masa del combustible.

$$Q_d = Q_i + Q_c + Q_{pca} + Q_{vat}, \text{ kJ/kg (kJ/m}^3\text{)} \quad (3.21)$$

Donde:

Q_i - Poder calorífico o valor calórico inferior del combustible.

Q_c - Calor físico del combustible.

Q_{pca} - Calor añadido en el precalentador de aire (proveniente de fuentes externas).

Q_{vat} - Calor suministrado con el vapor de atomización (proveniente de fuentes externas).

Calor físico del combustible.

Se toma en consideración para combustibles sólidos de bajo poder calorífico, y para combustibles líquidos que se precalientan antes de ser suministrados al quemador.

$$Q_c = C_c \cdot T_c, \text{ kJ /kg} \quad (3.22)$$

Donde:

T_c - Temperatura del combustible suministrado al horno, °C

C_c - Calor específico del combustible, kJ/kg-°C

Para combustibles sólidos:

$$C_c = 0.419 \cdot W_t + C_{cs} \cdot (1 - 0.01 \cdot W_t)$$

C_{cs} - Calor específico del combustible seco, kJ/kg-°C

Para fuel oil puede calcularse por:

$$C_c = 1.738 + 0.0025 \cdot T_c, \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Calor añadido en el precalentador de aire.

Se considera este término si el aire es precalentado con vapor u otra energía proveniente de una fuente externa a la caldera.

$$Q_{pca} = \beta_{pca} (I_{pca} - I_{af}), \text{ kJ/kg (kJ/m}^3\text{N)} \quad (3.23)$$

Donde:

β_{pca} - es la relación entre el volumen de aire a la entrada del calentador de aire

y el volumen teórico.

$$\beta_{pca} = \alpha_h - \Delta\alpha_h + \Delta\alpha_{ca}$$

α_h - Coeficiente de exceso de aire a la salida del horno.

$\Delta\alpha_h$ - Coeficiente de infiltración en el horno.

$\Delta\alpha_{ca}$ - Coeficiente de infiltraciones en el calentador de aire.

I_{pca} - Entalpía del aire a la entrada del calentador de aire (salida del precalentador), kJ/kg (kJ/m³N).

I_{af} - Entalpía del aire a la temperatura ambiente, kJ/kg (kJ/m³N).

Calor añadido con el vapor de atomización.

Este término aparece en el caso de combustibles líquidos si se utiliza vapor de atomización proveniente de una fuente externa al generador de vapor.

$$Q_{\text{vat}} = G_{\text{vat}} \cdot (h_{\text{vat}} - h_{\text{vge}}), \text{ kJ/kg} \quad (3.24)$$

Donde:

G_{vat} - Gasto de vapor de atomización por unidad de masa de combustible kg vapor/kg combustible.

h_{vat} - Entalpía del vapor de atomización, kJ/kg.

h_{vge} - Entalpía del vapor de agua presente en los gases de escape. Se obtiene de las tablas de vapor con la presión atmosférica y la temperatura de los gases. Aproximadamente puede tomarse el valor de 2600 kJ/kg.

Calor útil, Q_1

Representa la energía transferida al agente de trabajo por unidad de masa de combustible.

$$Q_1 = [D_v \cdot (h_v - h_{aa}) + D_r \cdot (h_{sr} - h_{er})] / B_c, \text{ kJ/kg (kJ/m}^3\text{N)} \quad (3.25)$$

Donde:

D_v - Flujo de vapor producido por la caldera (saturado o sobrecalentado), kg/h.

h_v - Entalpía del vapor producido, kJ/kg.

h_{aa} - Entalpía del agua de alimentación, kJ/kg.

h_{er} , h_{sr} - Entalpías del vapor a la entrada y salida del recalentador intermedio, kJ/kg.

B_c - Gasto de combustible, kg/h ($\text{m}^3\text{N/h}$).

2.6 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS TÉRMICAS.

2.6.1 Pérdidas de calor sensible con los gases de salida, q_2 .

Está asociada al hecho de que la entalpía de los gases de salida es superior a la del aire y el combustible de entrada.

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_d} = \frac{(I_g - \alpha_{sal} \cdot I_{af}) \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)}{Q_d} \cdot 100 \quad (3.26)$$

Donde:

q_2 - Pérdida de calor sensible con los gases de salida expresada en % de calor disponible.

I_g - Entalpía de los gases de salida, kJ/kg ($\text{kJ/m}^3\text{N}$).

α_{sal} - Coeficiente de exceso de aire a la salida del generador de vapor.

I_{af} - Entalpía del aire a la temperatura ambiente, kJ/kg ($\text{kJ/m}^3\text{N}$).

q_4 - Pérdida por combustible no quemado, %.

La pérdida de calor sensible en % del poder calorífico inferior puede también calcularse con exactitud suficiente para fines técnicos por la fórmula aproximada de Siegert:

$$q_2 = K \cdot (t_g - t_a) / (\text{CO}_2 + \text{CO}), \% \quad (3.27)$$

Donde:

t_g - Temperatura de los gases de escape, °C.

t_a - Temperatura del aire ambiente, °C.

CO_2 , CO - Porcentaje en volumen de dióxido de carbono y monóxido de carbono contenido en los gases de escape.

K - Constante que depende del tipo de combustible denominada coeficiente de Hassentein. Para Fuel oil se puede tomar $K = 0.56-0.58$.

Tabla2.2 valores del coeficiente K para combustibles sólidos.

CO₂ (%)	Bagazo (W=50%)	Carbón (W=25%)
8	0.80	0.692
10	0.83	0.704
12	0.86	0.719
14	0.89	0.734
16	0.92	0.749

Los factores principales que influyen sobre esta pérdida son:

- El volumen y la composición de los gases de salida.
- La temperatura de los gases de salida.

Dentro de las causas que pueden provocar un incremento de esta pérdida durante la operación de la caldera están:

- Incremento del exceso de aire suministrado al horno.
- Excesivas infiltraciones de aire en los conductos de gases en calderas con tiro balanceado.
- Ensuciamiento exterior de las superficies de calentamiento.
- Incrustaciones interiores de las superficies de calentamiento por alteraciones en el régimen químico del agua de caldera.
- Deficiente bañado de las superficies por roturas en las mamparas deflectoras de gases.

2.6.2 Pérdidas de calor por combustión incompleta, q_3 .

Es la pérdida asociada a la presencia de productos de combustión incompleta (CO , H_2 , CH_4) en los gases de combustión, y que está provocada por la no entrega del poder calorífico de los mismos durante la reacción de combustión.

$$q_3 = \frac{V_{gs} \cdot (126 \cdot CO + 108 \cdot H_2 + 358 \cdot CH_4)}{Q_d} \cdot 100 \quad (3.28)$$

Donde:

q_3 - Pérdida por combustión incompleta expresada en % del calor disponible.

V_{gs} - Volumen de gases secos, m^3N/kg (m^3N/m^3N).

Q_d - Calor disponible, kJ/kg (kJ/m^3N).

CO , H_2 , CH_4 - % en volumen de monóxido de Carbono, Hidrógeno y Metano contenido en los gases de escape.

En la mayor parte de los casos reales de combustión en calderas, solo aparece CO como producto de combustión incompleta y la fórmula se simplifica:

$$q_3 = (126 \cdot CO \cdot V_{gs} / Q_d) \cdot 100, \quad \% \quad (3.29)$$

Para una evaluación aproximada de la pérdida por combustión incompleta puede utilizarse la siguiente expresión recomendada por la norma DIN cuando solo aparece CO como producto de combustión incompleta en los gases.

$$q_3 = (60 \cdot CO / (CO_2 + CO)) \cdot 100, \% \quad (3.30)$$

Si se dispone del contenido de carbono en el combustible se puede emplear la ecuación más exacta:

$$q_3 = \frac{3020 \cdot CO \cdot C_t}{0.536 \cdot Q_d \cdot (CO_2 + CO)}, \% \quad (3.31)$$

Donde:

C_t - Contenido de Carbono en el combustible, %

También son aplicables para cálculos aproximados las fórmulas de Pecker.

Para combustible sólido: $q_3 = 3.32 \cdot CO \cdot (\alpha - 0.02) \cdot (1 + 0.006 \cdot W_r) \cdot (1 - 0.01 \cdot q_4), \%$

Para fuel oil: $q_3 = 3.35 \cdot CO \cdot (\alpha - 0.1), \%$

Donde:

α - Coeficiente de exceso de aire a la salida del generador de vapor.

q_4 - Pérdida por combustible no quemado, %

W_r - Humedad reducida del combustible, 10^5 kg/kJ.

$$W_r = 4190 \cdot W/Q_i$$

Sobre esta pérdida influye fundamentalmente:

- La relación aire - combustible (coeficiente de exceso de aire).
- El mezclado del combustible con el aire.
- La temperatura en el horno.

A cargas reducidas se reducen las velocidades del aire, se afecta la atomización del combustible y se reduce la temperatura en el horno, todo lo cual incrementa la pérdida por combustión incompleta.

Las principales causas que pueden provocar un incremento de esta pérdida durante la operación de la caldera son:

- Sobrecarga térmica del volumen del horno lo que reduce el tiempo de permanencia de las partículas de combustible dentro del mismo.

- Operación a cargas reducidas con las consecuentes afectaciones en el mezclado, la atomización del combustible y la temperatura en el horno.
- Insuficiente exceso de aire suministrado al horno.
- Alta humedad del combustible.
- Mala preparación del combustible sólido.
- Mala atomización del combustible líquido por baja presión de atomización, deficiencias en los atomizadores o baja temperatura de precalentamiento.
- Baja temperatura del aire de combustión.

2.6.3 Pérdida por combustible no quemado, q_4 .

Esta dada por el combustible que no reacciona en el proceso de combustión, permanece inquemado en los residuos de combustión y no entrega su poder calorífico. Solo se calcula en el caso de combustibles sólidos o líquidos.

Esta pérdida es particularmente importante en los combustibles sólidos y en especial en los de alto contenido de cenizas y que se queman en hornos de parrilla. Para los combustibles líquidos y gaseosos normalmente no se toma en consideración.

El combustible sin quemar aparece en los residuos de combustión del horno (escoria), en los residuos que se depositan en los ceniceros de diferentes puntos del tracto de gases, y en los residuos volantes que son arrastrados con los gases de salida. De modo que al calcular esta pérdida se tienen en cuenta esos tres factores.

$$q_4 = \frac{32650 \cdot A}{Q_d} \cdot \left[a_e \cdot \left(\frac{C_e}{100 - C_e} \right) + a_v \cdot \left(\frac{C_v}{100 - C_v} \right) \right] \quad (3.32)$$

Donde:

q_4 - Pérdida por combustible no quemado expresada en % del calor disponible.

32 650 – Poder calorífico del Carbono, kJ/kg.

A- Contenido de ceniza en el combustible, %.

Q_d - Calor disponible, kJ /kg.

a_e, a_v - Fracciones de la ceniza del combustible que queda en los residuos del horno (escoria) y que escapa del horno con los residuos volátiles respectivamente.

$$a_e + a_v = 1$$

C_e, C_v - Contenido de combustible en los residuos del horno y volátiles expresado en %. Se determina mediante análisis de laboratorio de muestras de dichos residuos tomados durante la prueba.

La determinación de la fracción de la ceniza que permanece en la escoria se puede realizar mediante un balance de ceniza.

$$a_e = \frac{G_e \cdot (100 - C_e)}{A \cdot B_c} \quad (3.33)$$

Donde:

G_e - Masa de residuos de combustión que permanecen en el horno, kg/h

A- % de ceniza en el combustible.

B_c - Gasto de combustible, kg/h

C_e - % de sustancias combustibles (Carbono) en los residuos del horno.

Una estimación rápida de esta pérdida para combustibles líquidos se puede realizar mediante el Índice de Bacharach.

Tabla 2.3. Valores de la pérdida por inquemados sólidos en función del índice de Bacharach

Índice de Bacharach	Pérdidas por inquemados, %
1-2	0.2
3-4	0.4
5-7	0.8
8-10	0.9

Los valores normales de esta pérdida para combustibles sólidos oscilan entre 0.3 y 4%, dependiendo del tipo de combustible y modo de combustión.

Para hornos de combustión en cámara, con combustible de alto contenido de volátiles, oscila entre 0.3 - 0.6%, para bajo contenido de volátiles entre 3.5 - 4%

Los principales factores que influyen sobre esta pérdida son:

- Las características del combustible (granulometría, contenido de ceniza, humedad, contenido de volátiles).
- El exceso de aire suministrado al horno.
- La temperatura y aerodinámica en el horno.

Dentro de las causas fundamentales que pueden incrementar la pérdida de calor por combustible no quemado durante la operación están las siguientes:

- Sobrecarga térmica del volumen del horno.
- Insuficiente exceso de aire.
- Pobre mezclado del combustible con el aire.
- Baja temperatura en el horno, principalmente a bajas cargas con combustibles de bajo contenido de volátiles.
- Alta humedad en el combustible.
- Baja temperatura del aire de combustión.

2.6.4 Pérdidas de calor por radiación y convección, q_5 .

Durante el funcionamiento de los generadores de vapor, las superficies exteriores del horno y los conductos, los colectores, el domo, conductos de gases, tuberías, etc., alcanzan una temperatura superior a la ambiental. Este gradiente de temperatura genera una transferencia de calor al medio exterior que se efectúa por dos mecanismos fundamentales: convección y radiación, lo que representa una pérdida de calor, en ocasiones significativa, que afecta la eficiencia del generador de vapor. A este tipo de pérdidas generalmente se les denomina "pérdidas por radiación", y su magnitud depende fundamentalmente de las

dimensiones de la unidad (capacidad nominal), carga y de la temperatura y velocidad del aire exterior.

En el diseño de los generadores de vapor se tienen en cuenta una serie de factores para reducir la magnitud de estas pérdidas, entre ellos podemos citar el cálculo y selección correctos de los materiales aislantes, y la utilización de paredes de agua, logrando un compromiso con los costos de fabricación del equipo.

En la actualidad existen métodos prácticos para la determinación de la magnitud de estas pérdidas, aunque las mismas podrían determinarse por las ecuaciones convencionales que describen los procesos de transferencia de calor. Estudios e investigaciones realizadas han permitido generalizar métodos prácticos para la determinación de estas pérdidas fundamentalmente para generadores de mediana y alta capacidad. La Asociación Americana de Fabricantes de Generadores de Vapor (“American Boiler Manufacturers Association”, ABMA) ha generalizado un nomograma para la estimación de estas pérdidas en función de la capacidad nominal, producción y características de los generadores de vapor.

Esta pérdida, expresada en % de la energía de entrada (calor disponible), se reduce al aumentar la potencia nominal de la caldera, mientras más compacto es su diseño y cuando esta trabaja a cargas cercanas a la nominal.

Conociendo las pérdidas por radiación a carga nominal, para cargas diferentes se pueden estimar como:

$$q_5 = q_{5nom} \cdot \frac{D_{nom}}{D}$$

Donde:

q_5 - Pérdidas por radiación, %.

q_{5nom} - Pérdidas por radiación a carga nominal, %.

D - Flujo de vapor real, kg/h.

D_{nom} - Capacidad nominal, kg/h.

La pérdida de calor por radiación y convección es usualmente pequeña en generadores de vapor de media y alta capacidad, pero se convierte en una de las principales pérdidas en calderas de pequeña potencia.

Son dos las causas principales que pueden provocar un incremento de esta pérdida durante la explotación:

- El deterioro del aislamiento térmico de la caldera.
- La operación a cargas reducidas.

2.6.5 Pérdidas con el calor físico de los residuos del horno, q_6 .

Esta pérdida solo tiene significación para combustibles sólidos, y está dada por la extracción de residuos de combustible del horno (escoria y cenizas) con una temperatura superior al medio ambiente.

$$q_6 = \frac{A \cdot a_e \cdot C_{pe} \cdot T_e}{Q_d} \quad (3.34)$$

Donde:

q_6 - Pérdidas con el calor físico de los residuos del horno expresada en % del calor disponible.

A - Contenido de ceniza en el combustible, %

a_e - Fracción de la ceniza del combustible que permanece con los residuos del horno.

C_{pe} - Calor específico de la ceniza a la temperatura T_e , kJ/ kg-°C

T_e - Temperatura de extracción de los residuos de combustible del horno °C.

Para hornos con extracción sólida de la escoria $T_e = 600-700^\circ\text{C}$, para extracción líquida $T_e = T_f + 100^\circ\text{C}$, siendo T_f la temperatura de fusión de la ceniza del combustible.

2.6.6 Pérdidas por purgas, q_7

Esta pérdida está asociada a la diferencia de temperatura entre el agua (saturada) extraída de la caldera para mantener la concentración de sustancias perjudiciales dentro del rango recomendado, y el agua de alimentación. Algunos autores consideran el calor asociado a las purgas como calor útil, mientras que otros lo suman a las pérdidas. Dicho calor se determina por la expresión:

$$Q_7 = D_p \cdot (h_{ls} - h_{aa}) / B_c \quad (3.35)$$

Donde:

Q_7 - Calor perdido con las purgas por unidad de combustible, kJ/kg (kJ/m³N).

D_p - Gasto de agua extraída, kg/h. Este gasto oscila entre 1 y 4% del gasto de vapor.

h_{ls} - Entalpía del agua de caldera (líquido saturado a la presión del domo) kJ/kg.

h_{aa} - Entalpía del agua de alimentación, kJ/kg.

B_c - Gasto de combustible, kg/h (m³N/h para combustibles gaseosos).

El flujo de purga necesario, D_p se calcula como:

$$D_p = D_v [C_{aa} / (C_p - C_{aa})]$$

Donde:

D_p - Flujo de purga, kg/s.

D_v - Producción de vapor de la caldera, kg/s.

C_{aa} - Concentración de la sustancia en el agua de alimentación, ppm.

C_p - Concentración normada de la sustancia en el interior de la caldera, ppm. Los valores normados pueden tomarse de estándares o recomendaciones del fabricante.

Para la determinación del flujo de purga necesario se determinan los flujos de purga a partir de las cuatro sustancias usualmente consideradas en las normas de calidad de agua en calderas, y se selecciona el mayor.

La tasa de purga se calcula como:

$$K = \frac{D_p}{D_v + D_p} \cdot 100 \quad \%$$

Finalmente la pérdida de calor con las purgas, expresada en % del calor disponible se determina por la expresión:

$$Q_7 = (Q_7 / Q_d) \cdot 100, \quad \%$$

Durante la operación, una disminución en la calidad del agua de alimentación provoca la necesidad de incrementar las purgas y, por tanto, aumenta el valor de esta pérdida. Por otra parte, una purga mayor de la requerida, por un inadecuado control del régimen químico, puede ser otra causa de la elevación de esta pérdida.

2.7 El método de análisis exergético.

El Primer Principio de la Termodinámica establece la conservación de la energía en los procesos de transformación, pero no permite considerar la diferencia cualitativa entre diferentes formas de energía, ni establecer la dirección espontánea de los procesos termodinámicos.

Es el Segundo Principio de la Termodinámica el que da la idea de la diferente calidad de la energía; efectivamente, existen importantes diferencias cualitativas entre diferentes formas de energía, en particular, entre la energía térmica y el trabajo mecánico, que si bien son equivalentes bajo la luz del Primer Principio, la consideración es diferente bajo el prisma del Segundo Principio. Es este Segundo

Principio el que pone en evidencia que el trabajo es una energía de mayor calidad que el calor, ya que el trabajo se puede convertir en calor totalmente, mientras que solo una parte del calor es convertible en trabajo.

Es por tanto, el Segundo Principio de la Termodinámica el que permite establecer distinciones entre los diferentes tipos de energía sobre la base de su calidad, así como la direccionalidad de los procesos espontáneos.

2.7.1. Distinción cualitativa.

La experiencia pone de manifiesto la diferencia cualitativa entre el calor y el trabajo como formas de energía en tránsito. Si bien el Primer Principio establece la equivalencia entre los diferentes tipos de energía, el Segundo Principio limita la posibilidad de convertir todo el calor en una cantidad equivalente de trabajo.

Planck enuncia esta limitación así: “No es posible construir una máquina térmica que operando cíclicamente produzca trabajo a partir de calor tomado de una fuente caliente sin transferir parte de este calor a una fuente fría” (Imposibilidad del móvil perpetuo de segunda especie).

Precisamente, la capacidad de producir trabajo es una medida de la calidad de la energía. De acuerdo a este criterio las formas de energía se pueden clasificar en energías de calidad superior, que son totalmente transformables en trabajo a través de procesos reversibles (electricidad, energía mecánica), y energías de calidad inferior, las que solo son parcialmente transformables en trabajo (energía interna, calor).

2.7.2 Direccionalidad.

La direccionalidad de los procesos espontáneos se puede entender claramente por el hecho de que el calor pasa espontáneamente de un cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura, mientras que es imposible lograr el proceso inverso de forma espontánea.

Clausius enuncia esta limitación así: “No es posible transferir calor de un cuerpo a otro de temperatura superior sin la intervención de un agente externo”.

En el Segundo Principio de la Termodinámica se da la idea de la diferencia calidad de la energía; efectivamente se manifiesta de diferentes formas (Energía Mecánica, Eléctrica, Calorífica, Interna, etc).

Si son bien equivalentes bajo la luz del I Principio de la Termodinámica; la consideración es diferente si se tiene en cuenta las perspectivas del II Principio de la Termodinámica. Según éste el trabajo es una energía de mayor calidad que el calor, ya que el trabajo se puede convertir en calor totalmente, mientras que solo una parte del calor es convertible en trabajo. Esto prueba la no existencia del móvil perpetuo de Segunda especie (el resto es cedido a una fuente de menos temperatura).

Lo antes expuesto fundamenta que existe una distinción entre los diferentes tipos de energía de acuerdo a su calidad, y que se pueda establecer su clasificación en función de la capacidad de esta energía de realizar trabajo.

2.7.3 Utilidad de la Segunda Ley de la Termodinámica.

1. Proporciona los medios para evaluar la calidad de la energía.
2. Establece los criterios para determinar el funcionamiento ideal de los equipos.
3. Permite determinar la dirección de los procesos.
4. Establece los estados de equilibrio final para los procesos espontáneos.

2.7.4 Reversibilidad e Irreversibilidad.

Un proceso reversible es aquel que transcurre a través de una serie de estados de equilibrio interno, no existiendo fenómenos disipativos internos. Un proceso irreversible esta inevitablemente acompañado de un incremento de entropía en el sistema y el medio circundante, considerados en conjunto.

Hay dos grupos de procesos irreversibles:

1) Disipación directa de trabajo en energía interna del sistema.

Ejemplo. Fricción en líquidos y sólidos, resistencia óhmica.

2) Procesos espontáneos no equilibrados. El sistema tiende a moverse de una manera no restringida del estado de no equilibrio al estado de equilibrio.

Ejemplo Reacción química espontánea, difusión libre, expansión libre, equilibrio de temperatura.

2.7.5 Calidad de la energía.

El criterio general de la calidad de la energía se establece a partir de su capacidad para transformarse en trabajo, y de aquí la consideración de formas de energía ordenadas o de alta calidad, y formas de energía desordenadas o de baja calidad.

Dado que la entropía refleja el grado de desorden de un sistema, esta propiedad determina en qué grado una forma de energía desordenada puede ser convertida en una forma de energía ordenada.

2.7.5.1 Clasificación de las formas de energía.

Energía ordenada o de alta calidad. Es totalmente transformable de una forma a otra. Por ejemplo: Energía potencial almacenada en campos gravitatorios, eléctricos, magnéticos, en un muelle perfectamente elástico, como energía de deformación. Energía cinética almacenada en volantes de rotación y en chorro no turbulento de un fluido ideal.

Energía desordenada. No es totalmente transformable en trabajo. El desorden de este tipo de energía está asociado a movimientos aleatorios de átomos y moléculas. Las formas más características son la energía interna de la materia y la energía relativa al movimiento turbulento de un fluido.

Según la aptitud para realizar trabajo las energías se denominan:

1. De calidad Superior:
 - Energía Mecánica
 - Energía Eléctrica, etc.
2. De calidad Inferior:
 - Energía Interna
 - Energía Calorífica, etc.

2.7.6 Concepto de exergía.

Cada tipo de energía puede considerarse constituido por dos partes: una íntegramente transformable en trabajo (para las energías de calidad superior es la única presente), y la parte restante es energía no transformable en trabajo. La parte transformable en trabajo es lo que se denomina **exergía**. En analogía con el término de exergía, se ha propuesto designar como **anergía** a la parte que no puede ser transformada en trabajo.

Luego la exergía es una propiedad de los sistemas termodinámicos o flujos de energía que caracteriza la cantidad de trabajo que puede ser recibido por receptores externos de energía mediante la interacción reversible con el medio ambiente hasta el establecimiento del equilibrio completo.

El desequilibrio del sistema con el medio puede ser:

- Químico: diferencia de concentraciones.
- Mecánico: diferencia de presión
- Térmico: diferencia de temperatura.

La utilización de la exergía para el análisis de sistemas térmicos se realiza mediante los balances de exergía. Los balances de energía y exergía son balances similares: el Balance de exergía es expresión de la Ley de Conservación de la Energía, mientras que el Balance de exergía es expresión de la Ley de Degradación de la Energía.

2.7.6.1 Energía y exergía:

- La energía depende solo de los parámetros de la sustancia o el flujo, mientras que la exergía depende, además, de los parámetros del medio.
- La energía siempre tiene un valor diferente de cero. La exergía se hace cero cuando el sistema alcanza el equilibrio con el medio.
- La energía siempre se conserva en cualquier tipo de proceso, solo se transforma, mientras que la exergía se destruye, desaparece total o parcialmente en los procesos irreversibles (reales).

2.7.6.3 Exergía física en un volumen cerrado.

Al existir un desequilibrio térmico y mecánico del sistema dado con la atmósfera, del conjunto de ambos se puede obtener trabajo, y éste será máximo cuando el proceso sea reversible y cuando el estado final alcanzar en el sistema cerrado sea el estado muerto, cuando existe equilibrio térmico y mecánico con el ambiente.

La exergía física de un sistema cerrado en desequilibrio térmico y mecánico con el medio, e_v , será el trabajo máximo que puede obtenerse mediante un proceso reversible que termina en equilibrio térmico y mecánico con el medio (estado muerto).

$$e_v = U - U_0 - T_0(S - S_0) + P_0(V - V_0)$$

Donde:

U, S, V – energía interna, entropía y volumen del sistema en el estado considerado.

U_0, S_0, V_0 - energía interna, entropía y volumen del medio.

T_0, P_0 – temperatura absoluta y presión del medio.

2.7.6.4 Exergía física de flujo.

La exergía física de flujo, e_f , es el trabajo máximo que puede obtenerse al pasar el flujo estacionario de un sistema abierto del estado inicial al estado medio ambiental.

$$e_f = h - h_0 - T_0(S - S_0)$$

Donde:

h, S – entalpía y entropía específicas a la entrada del sistema.

H_0, S_0 – entalpía y entropía específicas en el estado muerto.

T_0 – temperatura absoluta del medio.

2.7.6.5 Exergía del flujo de calor.

Representa el trabajo máximo que se puede obtener de un flujo de calor. Se puede determinar para un flujo Q que se trasmite a una temperatura T , a partir del rendimiento de un Ciclo de Carnot que reciba el calor a esa temperatura y rechace calor al medio a la temperatura T_0

$$e_q = Q \frac{T - T_0}{T}$$

donde:

$$\frac{T - T_0}{T} \text{ es el rendimiento del Ciclo de Carnot trabajando entre } T \text{ y } T_0$$

2.8 Análisis Exergético.

El análisis energético, basado en el Primer Principio de la Termodinámica, al no valorar la calidad de la energía, no permite detectar ni cuantificar las irreversibilidades internas, no permite valorar la energía por su calidad o valor de uso disponible, lo que impide valorar adecuadamente desde el punto de vista

económico las pérdidas de energía y los proyectos de inversión para reducir los costes energéticos y determinar las mejores acciones para el perfeccionamiento de los procesos.

Particularmente, en el campo de la cogeneración, las conclusiones derivadas del análisis energético están limitadas por la no consideración de las diferencias en el valor del calor y la electricidad, dadas sus diferentes calidades. El método de análisis exergético constituye la base para la aplicación de los métodos termoeconómicos.



Fig. 2.1 análisis de las exergías de un sistema

Balance Exergético

Exergía aportada = Exergía productos + Pérdidas de Exergía

Pérdidas de Exergía = Exergía productos residuales + Exergía destruida

2.8.1 Pérdidas Exergéticas.

Se deben a la exergía destruida por las irreversibilidades internas y a la exergía perdida en productos residuales descargados al medio circundante, también llamadas pérdidas externas de exergía.

Las irreversibilidades internas están asociadas a:

- Procesos de estrangulamiento.
- Rozamiento y fricción fluida.
- Mezclas a diferentes parámetros.
- Transferencia de calor con diferencias de temperatura finita.
- Pérdidas eléctricas.

Las pérdidas externas están asociadas a los productos residuales descargados al medio, tales como:

- Pérdidas de calor al medio a través de las paredes.
- Descarga de productos de combustión al medio.
- Efluentes térmicos o presurizados al medio.
- Autoevaporación al medio.

2.8.2 Rendimiento Energético.

Indica el grado de perfección termodinámica de los procesos que ocurren en el sistema.

$\eta_e = (\text{exergía de los productos} / \text{exergía de entrada})$

$\eta_e = 1 - [(\text{exergía de entrada} - \text{exergía perdida} - \text{exergía destruida}) / \text{exergía de entrada}]$

Es obvio que para aumentar la eficiencia exergética de una instalación, no solo hay que disminuir las irreversibilidades, sino que los residuales o pérdidas deben también ser mínimos.

2.9 Interés del Método de análisis Exergético.

La destrucción de la exergía, como la producción de entropía son medidas válidas de las irreversibilidades de un proceso; pero la utilización de la entropía hace difícil asignar un significado a las pérdidas por irreversibilidades. Por el contrario, el método exergético permite valorar directamente las pérdidas reales de un proceso, es decir evalúa la disminución en el trabajo disponible de las fuentes energéticas utilizadas, como consecuencia de la realización del proceso considerado.

El Rendimiento Exergético de una instalación se define como:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Exergía} \\ \text{Aportada} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Exergía} \\ \text{producida} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Exergía} \\ \text{Destruída} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Exergía} \\ \text{residual} \\ \text{Pérdida} \end{array} \right\}$$

La diferencia que existe entre la exergía destruida y exergía residual es que la destruida no puede ser utilizada o recuperada y la residual si puede ser utilizada posteriormente.

A partir de esta definición general, se pueden plantear diversas formas para expresar el rendimiento exergético de una instalación:

La primera forma se refiere a la mínima exergía requerida para realizar el proceso o conjunto de estos en relación con la exergía usada realmente.

$$\phi_1 = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Exergía} \\ \text{mínima} \end{array} \right\}}{\left\{ \begin{array}{l} \text{Exergía} \\ \text{aportada} \end{array} \right\}}$$

Esta da la medida que puede introducirse, al comparar procesos reales con los teóricos; pero como los procesos reales son en mayor o menor grado irreversibles, es evidente que esa exergía mínima es en realidad una meta inalcanzable.

Otra forma de definir la eficiencia exergética, es estableciendo la relación entre los productos y lo aportado al sistema:

$$\phi_2 = \frac{\left\{ \begin{array}{c} \text{Exergía} \\ \text{productos} \end{array} \right\}}{\left\{ \begin{array}{c} \text{Exergía} \\ \text{aportada} \end{array} \right\}} = 1 - \frac{\left\{ \begin{array}{c} \text{Exergía} \\ \text{destruida} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{Exergía} \\ \text{pérdida} \end{array} \right\}}{\left\{ \begin{array}{c} \text{Exergía} \\ \text{aportada} \end{array} \right\}}$$

Es obvio que para aumentar la eficiencia Exergética de una instalación, no solo hay que disminuir las irreversibilidades, sino que los residuales o pérdidas sean también mínimas.

De la anterior expresión se deriva la siguiente fórmula para el cálculo del Rendimiento Exergético:

$$\phi_3 = \frac{\left\{ \begin{array}{c} \text{Exergía} \\ \text{productos} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{Exergía} \\ \text{pérdida} \end{array} \right\}}{\left\{ \begin{array}{c} \text{Exergía} \\ \text{aportada} \end{array} \right\}} = 1 - \frac{\left\{ \begin{array}{c} \text{Exergía} \\ \text{destruida} \end{array} \right\}}{\left\{ \begin{array}{c} \text{Exergía} \\ \text{aportada} \end{array} \right\}}$$

Estas expresiones difieren de las derivadas del Primer Principio de la Termodinámica; porque no solo tiene en cuenta en el numerador los productos útiles, sino que incluye todos los productos del proceso incluidas las pérdidas.

CAPITULO III: DISCUSIÓN Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Los métodos descritos en el capítulo anterior se aplicaron a una instalación de generación de vapor instalada en el laboratorio farmacéutico MEDILIP a esta caldera se le efectuó una reparación general en el año 2000 donde se le adaptó un nuevo quemador y un autómata.

Características actuales de la caldera:

Número de serie: 3.106

Tipo de caldera: 90

Nombre del fabricante: Steambloc

País del fabricante: Yugoslavia

Año de fabricación: 1968

Año de la primera puesta en marcha: 1972

Consumo de Combustible de la Caldera: → 120 kg/h

Tipo de tratamiento de agua: Agua suavizada

Bombas de agua: 1 trabajando y 1 de reserva.

Flujo Volumétrico del Agua: → 2000 kg/h

Bombas de combustible: 2

Tipo de Combustible: → Fuel oil

Presión de Salida del Combustible: → 7 kg/cm.

Presión Máxima de Vapor en la Caldera: → 8.5 DGS / cm²

Temperatura de los Gases de Escape: → 250 °C

Temperatura del Agua a Alimentar: → Ambiente

Temperatura del Combustible a la Entrada de la Caldera: → 140 °C

Carga Nominal del Generador de Vapor: 2500 kg/h

Carga de Trabajo del Generador de Vapor: 2000 kg/h

Temperatura Exterior del Agregado; 50 °C a 60 °C (323 °K a 333 °K)

3.1 CÁLCULOS PRELIMINARES

3.1.1 Composición Química del Petróleo Combustible

C= 81.3%, H= 9.86%, N= 0.71%, O₂= 0.145%. W= 1.41%, A= 0.147%. S=6.6%

Coeficiente de exceso de aire (Líquidos) 1,02 -- 1,1

$$\alpha = 1.02$$

Cálculo del valor calórico bajo del combustible a partir de su composición química.

PCS= Valor Calórico Alto

$$PCS = 8100C + 34200(H - O/8) + 2500S$$

Sustituyendo:

$$PCS = 10116.22 \text{ kcal/kg}$$

$$PSB = PCS - 583.5 * W$$

Sustituyendo;

$$PSB = 9294.2 \text{ kcal/kg}$$

Cálculo del volumen teórico de aire para el proceso de combustión ($\text{m}^3/\text{kg}_{\text{comb}}$)

$$V_{\text{aire}}^{\circ} = 0.0889 * (C^t + 0.375 * S^t) + 0.265 * H^t - 0.0333 * O^t$$

Sustituyendo valores queda

$$V_{\text{aire}}^{\circ} = 10.05 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{comb}}$$

Cálculo del volumen del aire real para el proceso de combustión

$$V_{\text{ar}} = V_{\text{aire}}^{\circ} * \alpha$$

Sustituyendo valores queda:

$$V_{\text{ar}} = 10.05 * 1.02 == 10.25 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Cálculo del volumen teórico de dióxido de carbono ($\text{m}^3/\text{kg}_{\text{comb}}$)

$$V_{\text{CO}_2}^{\circ} = 0.0187 * C^t$$

Sustituyendo valores queda

$$V_{\text{CO}_2}^{\circ} = 1.52 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{comb}}$$

Cálculo del volumen teórico de gases triatómicos ($\text{m}^3/\text{kg}_{\text{comb}}$)

$$V_{\text{RO}_2}^{\circ} = 0.0187 * (C^t + 0.375 * S^t)$$

Sustituyendo valores queda

$$V_{\text{RO}_2}^{\circ} = 1.57 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{comb}}$$

Cálculo del volumen teórico de nitrógeno (m^3/kg_{comb})

$$V_{N_2}^o = 0.79 * V_{aire}^o + 0.008 * H^t$$

Sustituyendo valores queda

$$V_{N_2}^o = 8.01 m^3/kg_{comb}$$

Cálculo del volumen teórico del vapor de agua (m^3/kg_{comb})

$$V_{agua}^o = 0.111 * H^t + 0.0124 * W^t + 0.0161 * V_{aire}^o$$

Sustituyendo valores queda

$$V_{agua}^o = 1.27 m^3/kg_{comb}$$

Calculo del volumen teórico de los gases (m^3/kg_{comb})

$$V_{gases} = V_{CO_2}^o + V_{N_2}^o + V_{agua}^o + 1.0161 * (\alpha - 1) * V_{aire}^o$$

Sustituyendo valores queda

$$V_{gases} = 10.84 m^3/kg_{comb}$$

Cálculo de los gases producto del proceso de combustión (m^3/kg_{comb})

$$mg = 1 - (A / 100) + 1.306 * \alpha * V_{aire}^o$$

Sustituyendo Valores queda

$$mg = 15.38 m^3/kg_{comb}$$

Calculo del flujo de los gases producto de la combustión, energía, y temperatura de los gases a la salida del combustor.

$$G_{gases} = Pr * mg \quad (kg_{gases}/s)$$

Cálculo de la densidad de los gases de escape para la temperatura de 483 °K por la siguiente expresión

$$\rho_f = \frac{M_f}{22.47} \cdot \frac{273}{(t_f + 273)}$$

Dónde:

$m_f \rightarrow$ Peso molecular del fluido = 28.97 mol / °K

Sustituyendo valores

$$P_f = 0,673 \text{ kgs/m}^3$$

Sustituyendo valores en G_{gases}

$$G_{\text{gases}} = 0,445 \text{ kg/s}$$

Aplicando la primera Ley de la Termodinámica a nuestro sistema nos queda

$$G_{\text{comb}} + G_{\text{agua}} + G_{\text{aire}} = G_{\text{vapor saturado}} + G_{\text{gases de escape}} + \text{Purga}$$

Según mediciones diarias:

$$G_{\text{comb}} = 120 \text{ lts/hrs llevado a masa seria} = 0.032 \text{ kg/s}$$

$$G_{\text{agua}} = 2000 \text{ kgs/hr} = 0.55 \text{ kg / s}$$

$$G_{\text{aire}} = 0.44 \text{ kg/s}$$

$$G_{\text{vapor saturado}} = 2000 \text{ kgs/hrs} = 0.55 \text{ kg/s}$$

$$G_{\text{gases de escape}} = 0.445 \text{ kg/s}$$

$$\text{Purga} = 0$$

3.2 Balance de masa

$$G_{\text{comb}} + G_{\text{agua}} + G_{\text{aire}} = G_{\text{vapor saturado}} + G_{\text{gases de escape}} + \text{Purga}$$

$$0.032 + 0.55 + 0.44 = 0.55 + 0.445 + 0$$

$$1.022 = 0.9956$$

La igualdad planteada en la ecuación no se cumple por un error de 0,026 lo cual no repercute en la eficacia de los resultados, y se atribuye esencialmente a los errores introducidos al cálculo debido al proceso de medición

3.3 Balance Térmico

Para determinar el estado técnico de nuestro generador de vapor se llevó a cabo un análisis energético, entrópico y exergético, la Caldera (generador de vapor). Fueron analizados los flujos de entrada y salida del sistema caldera sobre la base de temperatura, entalpías, exergías, entropías y flujo de masa. El estudio se realizó en las condiciones de estado estacionario de trabajo de la misma. Los rendimientos se obtienen por debajo de los recomendados en el funcionamiento de este tipo de generador de vapor. El rendimiento exergético fue mucho menor

que el energético, como se reporta en la literatura, al final se hacen propuestas para mejorar los resultados obtenidos.

Se realizará un balance energético y energético haciendo énfasis en este último. Se determinará la magnitud de sus irreversibilidades y el cálculo del rendimiento exegético. Los resultados permitirán valorar el funcionamiento de la caldera y las posibilidades de mejora con vistas a hacer un uso más eficiente del petróleo combustible.

El Balance térmico del Generador de Vapor consiste en el establecimiento de la igualdad entre la cantidad de calor que es introducido en el elemento de análisis (Q_d) y la suma del calor útil (Q_1) y las diferentes pérdidas que tienen lugar en dicha instalación.

Considerando que la caldera objeto de estudio es un sistema cerrado, donde lo que entra es igual a lo que sale en un intervalo de tiempo determinado (1 hora de trabajo), donde no se realizan extracciones de agua, ni el combustible es precalentado.

Cálculo del calor disponible para un kg de combustible

$$Q_d' = Q_b' + Q_{aextr} + i_{fcomb} + Q_q$$

donde

Q_b' → capacidad calorífica baja del combustible

$$Q_b' = 9294.2 \text{ kcal / kg}$$

Q_{aextr} → calor introducido por el aire el cual ha sido calentado con vapor u otra fuente externa. En nuestro caso se considera cero, por no existir precalentamiento

i_{fcomb} → Calor Físico del Combustible cuando este es precalentado. En nuestro caso se considera cero, por no existir precalentamiento

Q_q → Calor introducido al agregado con el vapor utilizado en la atomización del combustible.

Por lo que la ecuación nos quedaría:

$$Q_d' = Q_b'$$

$$Q_d' = 9294.2 \text{ kcal / kg, por conversión de unidades kJ / kgs.} = 38849.75.$$

3.4 Cálculo de las diferentes pérdidas

3.4.1 Pérdidas por incombustión química incompleta q_3 .

Estas pérdidas ocurren cuando en los productos de la combustión están presentes elementos combustible en estado gaseoso, dándose recomendaciones para el valor de los mismos, en dependencia del tipo de combustible y característica constructiva de la cámara de combustión, para combustibles líquido $q_3 = 0.5 \%$

3.4.2 Pérdida de calor por incombustión mecánica incompleta q_4

Se deben a la presencia de elementos combustible, asumidos, carbonos que salen del hogar sin quemarse.

El valor de q_4 se toma a partir de recomendaciones que existen al respecto en dependencia del tipo de combustible, procedimiento de quemado, característica de la cámara de combustión, etc. Para combustibles líquidos la misma no se tiene en cuenta, por tanto $q_4 = 0$

3.4.3 Pérdida de calor por los gases de escape q_2

El cálculo de la entalpía de los productos de la combustión es necesario para determinar la cantidad de calor que acepta ó absorbe la superficie de transferencia de calor y además para conocer cómo va variando el contenido de calor a lo largo de todo el conducto de gases.

Para los cálculos técnicos se emplea la entalpía específica definida como el calor asociado a los productos de la combustión cuando se quema 1kg de combustible sólido ó líquido (ó 1 m³ de gas).

Se expresa normalmente como:

$$I, \text{ kJ/kg}_c$$

La entalpía de los productos de la combustión (I) se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$I = I_g + I_c; \text{ kJ/kg}$$

donde:

I – Entalpía de los productos de la combustión, kJ/kg

I_g – Entalpía de los gases, kJ/kg

I_c – entalpía de la ceniza, kJ/kg

Como no se tiene en cuenta la entalpía de la ceniza, I_c = 0, entonces:

$$I = I_g$$

La entalpía de la parte gaseosa de los productos de la combustión (I_g), teniendo en cuenta que el coeficiente de exceso de aire puede variar a lo largo de toda la caldera, se determina como:

I_g^o – Entalpía de la cantidad teórica de gases, kJ/kg

I_a^o – Entalpía de la cantidad teórica de aire, kJ/kg

α - Coeficiente de exceso de aire.

Entalpía teórica de los gases, I_g^o.

$$V_{g^o} = V_{RO_2} + V_{N_2}^o + V_{H_2O}^o; \text{ m}^3/\text{kg}_c$$

$$I_{g^o} = V_{RO_2} \cdot i_{RO_2} + V_{N_2}^o \cdot i_{N_2} + V_{H_2O}^o \cdot i_{H_2O}; \text{ kJ/kg}$$

donde:

$i_{RO_2}, i_{N_2}, i_{H_2O}$ - Entalpía de los volúmenes de: gases triatómicos, nitrógeno y vapor de agua.

En nuestro caso, Para Temperatura 250 °C = 523 °k

$$i_{CO_2} = 458.2 \text{ kJ/m}^3$$

$$i_{N_2} = 326 \text{ kJ/m}^3$$

$$i_{H_2O} = 383.6 \text{ kJ/m}^3$$

$$i_{aire} = 382.2 \text{ kJ/m}^3$$

Según los valores obtenidos en el balance de masa de los valores teóricos tanto de los productos de la combustión como el valor del volumen de aire. Sustituimos.

$$I_g^o = V_{RO_2}^o \cdot i_{RO_2} + V_{N_2}^o \cdot i_{N_2} + V_{H_2O}^o \cdot i_{H_2O}$$

$$I_g^o = 3821.2 \text{ kJ/kg}$$

Entalpía de la cantidad teórica de aire, (I_a^o).

$$I_a^o = V_a^o \cdot i_{aire} ; \text{ kJ/kg}$$

donde:

$$V_a^o - \text{Cantidad teórica de aire, } m^3/kg$$

$$i_{aire} - \text{Entalpía del aire. } kJ/kg$$

Para nuestro caso con los valores obtenidos nos quedaría

$$I_a^o = 10.05 \cdot 382.2$$

$$I_a^o = 3841.11 \text{ kJ/kg}$$

$$I_g = I_g^o + (\alpha - 1) \cdot I_a^o$$

Sustituyendo valores

$$I_g = 4589.42 \text{ kJ/Kg}$$

$$i_x = C_{p_x} \cdot t$$

$$q_2 = \{(i_{ge} - \alpha_{ge} i_{af}) (100 - q_4)\} / Q_d'$$

como $q_4 = 0$ la expresión quedaría

$$q_2 = 100 \cdot (i_{ge} - \alpha_{ge} i_{af}) / Q_d' \text{ (\%)}$$

$$I_{af} = 105,6 \text{ kJ/kg}$$

α_{ge} → coeficiente de exceso de aire para el combustible

$$Q_d = 9294.2 \cdot 4.18 = 38848.92 \text{ kJ/kg}$$

Sustituyendo valores

$$q_2 = 11.5 \%$$

3.4.4 Pérdidas de calor al medio ambiente q_5

En nuestro caso, la caldera tiene un año de trabajo, por lo que el aislamiento está en perfecto estado y la temperatura exterior no excede los 50 °C (323 °K) para la carga que se diferencien de la nominal en un 25 %, La expresión quedaría de la siguiente manera:

$$q_5 = q_5^{\text{nom}} * D^{\text{nom}} / D \quad (\%)$$

donde:

D^{nom} → Carga Nominal de la Caldera dado por el Fabricante igual 2.5 t/h (2500 kg/h)

D → Carga Trabajo de la Caldera igual 2 t/h (2000 kg/h)

q_5^{nom} → es el 2.8 % de la Carga Nominal de la Caldera

Sustituyendo valores

$$q_5 = 3.5 \%$$

3.4.5 Cálculo de las Pérdidas del Calor Físico en la Escoria.

Esta se tiene en cuenta para todos los combustibles sólidos, cuando se quemen en cámara con extracción líquida de las escorias y en quemado en capa, en nuestro caso como el combustible es líquido esta la consideramos cero

Cálculo del Calor introducido al agregado con el vapor utilizado en la atomización del combustible Q_q

En nuestra Caldera no se utiliza el vapor como atomizador, por tanto este calor es cero

Cálculo del Rendimiento del generador de vapor η_{gv}

$$\eta_{gv} = 100 - \sum q \quad (\%)$$

Donde

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$$

En nuestro caso q_4 y q_6 son cero la fórmula queda de la siguiente manera:

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_5$$

Sustituyendo valores

$$\sum q = 15.5 \%$$

Calculando el rendimiento

$$D_{gv} = 100 - 15.5$$

$$D_{gv} = 84.5 \%$$

3.5 Coeficiente de Conservación de Calor

La distribución de la pérdida de calor al medio de los diferentes elementos del generador de vapor (Horno, Festón, Superficies Complementarias), bañados por los gases se realiza proporcionalmente a la cantidad de calor transmitido a esta, considerándose estas pérdidas locales a través del Coeficiente de Conservación de Calor (ϕ)

$$\Phi = 1 - q_5 / (q_{5+} D_{gv})$$

Sustituyendo

$$\Phi = 0.629$$

Cálculo del Gasto de Combustible

$$B = Q_{gv} * 100 / Q_d' * D_{gv}$$

Donde:

$Q_{gv} \rightarrow$ Calor útil en el agregado, determinándose por la siguiente expresión

$$Q_{gv} = D_{ext}(i_{ext} - i_{aa}) + D_{gv}(i_{vc} - i_{aa}) + D_{sat}(i_{sat} - i_{aa})$$

Como en nuestro caso no consideramos los flujos de agua de extracción, ni el vapor recalentado, la expresión queda:

$$Q_{gv} = D_{sat}(i_{sat} - i_{aa})$$

$i_{aa} = 40$ Kcal / kg, debido a que la entalpía es la temperatura del agua de alimentar

Cálculo de i_{sat}

Presión de trabajo: 7 kg / cm²

Presión Absoluta = Presión de Trabajo + 1.033 = 8.33 kg / cm²

Sustituyendo

$$Q_{gv} = D_{sat}(i_{sat} - i_{aa})$$

queda

$$Q_{gv} = 2000 * (661.13 - 40)$$

$$Q_{gv} = 1242260 \text{ Kcal / h}$$

Calculando B

$$B = 1242260 * 100 / 38848,92 * 84.5$$

$$B = 158 \text{ kg / h}$$

Debido a que una cantidad de combustible no se quema, provocando las pérdidas por incompleta combustión mecánica. Entonces el combustible realmente quemado se determina por la expresión:

$$B_c = B (100 - q_4) / 100, \text{ pero como } q_4 = 0 \text{ entonces}$$

$$B_c = B = 158 \text{ kg / h}$$

3.6 Cálculo Exergético de un Generador de vapor.

Se muestran a continuación los datos de interés

Datos:

El Fuel Oil No 2 tiene las siguientes características; % en peso:

$$C = 0.813 \quad H = 0.105 \quad S = 0.023 \quad W = 0.012 \quad A = 0.01$$

$$F_v = F_a = 0.55 \text{ kg/s}$$

$$F_c = 0.043 \text{ kg/s}$$

$$T_{\text{gases}} = 250 \text{ } ^\circ\text{C} = 523 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$F_g = 0.41 \text{ kg/s}$$

$$F_{\text{aire}} = 4.58 \text{ kg/s}$$

$$T_{\text{vsat}} = 170 \text{ } ^\circ\text{C} = 471 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$P_v = 7 \text{ kg/cm}^2 = 6,86 \text{ Bar}$$

$$T_a = 40 \text{ } ^\circ\text{C} = 313 \text{ K}$$

$$T_{\text{exterior pared}} = 60 \text{ } ^\circ\text{C} = 333 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Coef. Exceso de Aire: } \alpha = 1.02$$

$$\text{Pot}_{\text{VIF}} = 2.0 \text{ kW}$$

Se toma como ambiente de referencia: $T_o = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$; $298 \text{ } ^\circ\text{K}$ y $P_o = 0.1 \text{ MPa}$

Cálculo del poder calórico superior

$$\text{PCS} = 42285.79 \text{ kJ/kg}$$

Para el análisis se necesita conocer la pérdida de calor al medio exterior (PE) por radiación y convección. Su evaluación rigurosa se hace muy compleja debido al cálculo de los coeficientes de transferencia de calor por convección y por radiación, por esta razón se emplean métodos indirectos:

$$D_{\text{max}} : \text{Capacidad nominal} = 2.5 t_{\text{vapor}} / h$$

A: Factor de capacidad. Se determina en función de la producción de la caldera.

Capacidad real: $2 t_{\text{vapor}} / h$

% Aprovechamiento: $2 / 2.5 = 80 \%$; $A = 1.53$

(% PE) = $(100 / D_{\text{max}})^{1/2} A = (100 / 2.5)^{1/2} 1.53 = 9.6\%$

$Q_p = \% PE (PCS) * F_c$

$Q_p = 175 \text{ kW}$

3.7 BALANCE EXERGETICO

Para iniciar el análisis exergético es necesario conocer la exergía de los elementos de entrada y salida del sistema, de acuerdo al siguiente balance exergético:

$\sum B_{\text{entrada}} = \sum B_{\text{salida}} + D$ D: Destrucción de exergía

$B_c + B_a + B_{\text{aire}} + B_{\text{VTF}} = B_v + B_g + D$

B_c : Exergía del combustible

B_a : Exergía del agua

B_{aire} : Exergía del aire

B_v : Exergía del vapor

B_g : Exergía de los gases productos combustión

3.7.1 CALCULO DE LA EXERGIA DEL AGUA

$B_a = F_a b_a = b_{fa}$: exergía física

$b_{fa} = h - h_o - T_o (S - S_o)$

donde: h y h_o son las entalpías de la sustancia en el estado considerado y en el ambiente de referencia

S y S_o son las entropías de la sustancia en el estado considerado y en el ambiente de referencia.

$b_a = 2.7 \text{ kJ/kg}$

$B_a = 1.485 \text{ kW}$

3.7.2 CALCULO DE LA EXERGIA DEL VAPOR SATURADO

$B_v = b_v F_v$, $b_v = b_{fv}$

$b_v = h - h_o - T_o (S - S_o)$

$$b_v = 781.2 \text{ kJ/ kg}$$

$$F_v = F_a$$

$$B_v = 429.66 \text{ kW}$$

3.7.3 CALCULO DE LA EXERGIA DEL COMBUSTIBLE

$$B_c = F_c b_c ; b_c = b_{fc} + b_{qc}$$

b_{fc} : Se desprecia por resultar muy pequeña, sus parámetros están muy próximos a los de P_o y T_o , por tanto

$b_c = b_{qc}$: exergía química

La exergía química del combustible se calcula por la expresión:

$$b_c = \Delta h_f^\circ - T_o S_o - \sum f_j \mu_j^\circ ; \text{ cal/ mol C}$$

Donde

Δh_f° : entalpía de formación del combustible en el ambiente de referencia estándar (ARST)

S_o : Entropía del combustible en el ARST, cal/mol C⁰K

f_j : Es el elemento del vector de composición atómica del combustible de cada elemento constituyente de este, en mol de elementos j / mol de carb

μ_j° : Potencial químico de cada elemento constituyente del combustible en el estado muerto, cal/mol de elemento

Factor de conversión $f_c = 1000 \text{ C} / 12 = 1000 (0.813) / 12 = 67.75 \text{ mol C} / \text{kg comb.}$

Se sabe que:

$$\Delta h_f^\circ = VCS + \Delta h_f^\circ_{CO_2} + h/2 \Delta h_f^\circ_{H_2O(l)} + S \Delta h_f^\circ_{SO_2} \text{ cal / mol C}$$

Donde

VCS: Valor Calórico Superior

$$VCS = 1000 \text{ PCS} / 4.19 F_c = 148960.5 \text{ cal / mol}$$

$$\Delta h_f^\circ_{CO_2} = - 94052 \text{ cal / mol}$$

$$\Delta h_f^\circ_{H_2O(l)} = - 68315 \text{ cal / mol}$$

$$\Delta h_f^\circ_{SO_2} = - 70970 \text{ cal / mol}$$

Entalpías de formación del CO_2 , H_2O y el SO_2 respectivamente

Para combustibles líquidos:

$$So = 1.12 + 4.40 h + 10.66 O + 20.56 N + 20.70 S ; \text{ cal / mol comb K}$$

Estos valores se determinan partiendo de la composición elemental del combustible y de los pesos atómicos de cada elemento. O sea:

$$c = \frac{C}{C} \cdot \frac{12}{12} = 1 \text{ mol de carbono/mol de carbono}$$

Evidentemente, por esa razón no aparece en la ecuación de la entalpía de formación del combustible.

$$h = \frac{H}{C} \cdot \frac{12}{1.0} , \text{ moles de hidrógeno/mol de carbono}$$

$$n = \frac{N}{C} \cdot \frac{12}{14} , \text{ moles de nitrógeno/mol de carbono}$$

$$o = \frac{O}{C} \cdot \frac{12}{16} , \text{ moles de oxígeno/mol de carbono}$$

$$s = \frac{S}{C} \cdot \frac{12}{32} , \text{ moles de azufre/mol de carbono}$$

(Aquí se han tomado los pesos atómicos aproximados de cada elemento)

$$J = 1 : f_1 = f_c = C/C \times 12/12 = 1 \text{ mol C/ mol C}$$

$$J = 2 : f_2 = f_h = H/C \times 12/1 = (9.86 \times 12) / 81.3 = 1.455 \text{ mol H/ mol C}$$

$$J = 3 : f_3 = f_s = S/C \times 12/32 = (6.6 \times 12) / (81.3 \times 32) = 0.03 \text{ mol S/ mol C}$$

$$J = 4 : f_4 = f_n = N/C \times 12/14 = (0.71 \times 12) / (81.3 \times 14) = 0.007 \text{ mol N/ mol C}$$

$$J = 5 : f_5 = f_o = O/C \times 12/16 = (0.145 \times 12) / (81.3 \times 16) = 0.0013 \text{ mol O/ mol C}$$

$$\mu^{\circ}_1 = \mu^{\circ}_c = - 98546 \text{ cal / mol C}$$

$$\mu^{\circ}_2 = \mu^{\circ}_h = - 32766 \text{ cal / mol C}$$

$$\mu^{\circ}_3 = \mu^{\circ}_s = - 145966 \text{ cal / mol C}$$

$$\mu^{\circ}_4 = \mu^{\circ}_n = - 6902 \text{ cal / mol C}$$

$$\mu^{\circ}_5 = \mu^{\circ}_o = - 7777 \text{ cal / mol C}$$

Valores tabulados correspondientes al potencial químico en el estado muerto estándar, en cal/mol C.

$$\Delta h_f^{\circ} = 3844.9.0 \text{ cal / mol C}$$

$$S_o = 8.278 \text{ cal / mol comb K}$$

$$\sum f_j \mu_j^o = f_c \mu_c^o + f_h \mu_h^o + f_s \mu_s^o + f_n \mu_n^o + f_o \mu_o^o$$

$$\sum f_j \mu_j^o = -150660.6 \text{ cal / mol C}$$

$$bc = 152038.66 \text{ cal / mol C}$$

$$fc = 67.75 \text{ mol C / kg comb.}$$

$$bc = 152038.66 \text{ kJ/ kg comb} * fc$$

$$bc = 43159.6 \text{ kJ/ kg comb}$$

$$Bc = Fc bc$$

$$Bc = 1855.86 \text{ kW}$$

3.7.4 CALCULO DE LA EXERGIA DE LOS GASES PRODUCTOS DE LA COMBUSTION

$$Bg = Fg bg = Fg (bfg + bqg)$$

$$bqg = \sum X_n b^n + R T_o \sum X_n \ln X_n; \text{ cal / mol}$$

Para una combustión completa donde se obtiene solo los siguientes gases: CO₂, H₂O, O₂ y N₂ al quemar el combustible con exceso de aire, se tiene:

$$bqg = X_{N_2} b^o_{N_2} + X_{O_2} b^o_{O_2} + X_{SO_2} b^o_{SO_2} + X_{CO_2} b^o_{CO_2} + X_{H_2O} b^o_{H_2O} + R T_o (X_{N_2} \ln X_{N_2} + X_{O_2} \ln X_{O_2} + X_{SO_2} \ln X_{SO_2} + X_{CO_2} \ln X_{CO_2} + X_{H_2O} \ln X_{H_2O})$$

$$b^o_{N_2} = 159 \text{ cal / mol}$$

$$b^o_{O_2} = 943 \text{ cal / mol}$$

$$b^o_{H_2O} = 2066 \text{ cal / mol}$$

$$b^o_{CO_2} = 4822 \text{ cal / mol}$$

$$b^o_{SO_2} = 72884 \text{ cal / mol}$$

X_{N₂}, X_{O₂}, X_{SO₂}, X_{CO₂} y X_{H₂O} son las fracciones molares de CO₂, SO₂, O₂, N₂ y H₂O_(v) por mol de gases de combustión.

Como las fracciones molares son iguales a las fracciones volumétricas, cada una de ellas se puede calcular por :

$$X_{CO_2} = V_{CO_2} / V_g; \quad X_{SO_2} = V_{SO_2} / V_g; \quad X_{H_2O(v)} = V_{H_2O(v)} / V_g; \quad X_{O_2} = V_{O_2} / V_g;$$

$$X_{N_2} = V_{N_2} / V_g$$

$$V_g = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O(v)} + V_{O_2} + V_{N_2}$$

$$V_{CO_2} = 1.52 \text{ m}^3 \text{ CO}_2 / \text{ kg comb}$$

$$V_{SO_2} = 0.0462 \text{ m}^3 \text{SO}_2 / \text{kg comb}$$

$$V_{H_2O(v)} = 0.111 H + 0.124 W + 0.0256 \alpha V^O_a$$

$$V^O_a = 0.0889 (C + 0.3755 S) + 0.265 H - 0.033 O$$

$$V^O_a = 10.05 \text{ m}^3 \text{aire} / \text{kg comb}$$

$$V_{H_2O(v)} = 1.53 \text{ m}^3 \text{H}_2\text{O} / \text{kg comb}$$

$$V_{O_2} = 0.2099 V^O_a (\alpha - 1) = 0.42 \text{ m}^3 \text{O}_2 / \text{kg comb}$$

$$V_{N_2} = 0.7901 \alpha V^O_a + 0.008 N = 8.01 \text{ m}^3 \text{N}_2 / \text{kg comb}$$

$$V_g = 11.52 \text{ m}^3 \text{gases totales} / \text{kg comb}$$

$$X_{CO_2} = 0.131$$

$$X_{SO_2} = 0.518$$

$$X_{H_2O(v)} = 0.132$$

$$X_{O_2} = 0.0364$$

$$X_{N_2} = 0.695$$

$$b_{qg} = 380.66 \text{ kJ} / \text{kg gases}$$

Calculo de la exergía física de los gases de combustión, b_f :

Para $T = 250 \text{ }^\circ\text{C}$

$$b_{fg} (\text{Btu/lb}) = 26.77 = 63.25 \text{ kJ/kg}$$

Calculo de la exergía de los gases de combustión:

$$B_g = 406,59 \text{ kW}$$

Cálculo de la exergía del aire

$$B_{aire} = F_{aire} (b_q + b_f)$$

La exergía física del aire para $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ es aproximadamente igual a cero por lo que se desprecia, ya que la temperatura del aire a la entrada del sistema es muy próxima a la del ambiente de referencia, por tanto:

$$B_{aire} = b_q \text{ aire} = \sum X_n b^{0n} + R T_o \sum X_n \ln X_n$$

Para temperatura de bulbo seco del aire $t_{bs} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa 80 % (comportamiento medio), se tiene por carta psicométrica:

$X_g = 0.016 \text{ g H}_2\text{O} / \text{g as}$,

$X_m = P_{mas} X_g / P_m \text{ H}_2\text{O (v)} = 0.0256 \text{ mol H}_2\text{O (v)} / \text{mol}$

Los valores de X_{N_2} , X_{O_2} , X_{H_2O} pueden considerarse constantes por corresponder a los valores medios en el país.

$X_{N_2} = 0.7703 \text{ mol N}_2 / \text{mol}$

$X_{O_2} = 0.2046 \text{ mol O}_2 / \text{mol}$

$X_{H_2O} = 0.025 \text{ mol H}_2\text{O (v)} / \text{mol}$

$P_{mas} = 28.70 \text{ kg ah} / \text{kmol}$

$b_{qaire} = X_{N_2} b_{N_2}^{\circ} + X_{O_2} b_{O_2}^{\circ} + X_{H_2O} b_{H_2O}^{\circ} + R T_o (X_{N_2} \ln X_{N_2} + X_{O_2} \ln X_{O_2} + X_{H_2O} \ln X_{H_2O})$

$b_{qaire} = 0.36 \text{ kJ/kg}$

$B_{aire} = F_{aire} b_q$

$B_{aire} = 0.0154 \text{ kW}$

Cálculo de la exergía del calor perdido

$B_q = Q (1 - T_o / T)$

$B_q = 18.4 \text{ kW}$

Cálculo de la exergía de los ventiladores

$B_{VTF} = P_{VTF} = 2.0 \text{ kW}$

El balance exergético del sistema resulta:

$\sum B \text{ entrada} = \sum B \text{ salida} + D$

$B_c + B_a + B_{aire} + B_{elec} = B_v + B_g + B_q + D$

$B_c + B_a + B_{aire} + B_{VTF} - B_v - B_g - B_q = D$

$D = 304.71 \text{ kW}$

$\eta_{ex} = P / F = 1 - (L + D) / F$

$L = \text{Perdidas del sistema} = B_g + B_q = 406.59 + 18.4 = 424.99$

$D = \text{Destrucción de exergía en el sistema}$

$F = \text{Fuel} = B_c + B_{aire} = 1855.86 + 0.0154 = 1855.87 \text{ kW}$

$$\eta_{ex} = 100 - 39,3\% = 60,7\%$$

El rendimiento exergetico del sistema es muy bajo, correspondiente al 60,7%, debido a las irreversibilidades del proceso de combustión y de transferencia de calor

La evaluación estuvo dirigida a determinar el estado técnico del generador y valorar sus posibilidades de mejora. El rendimiento exergético da la medida de que realmente se obtiene un bajo por ciento de energía útil.

El análisis de los flujos de entrada y salida muestra posibilidades para mejorar estos rendimientos: Aire de entrada: puede instalarse un intercambiador de calor para aumentar la energía y exergía al aire de entrada utilizando los gases de escape, con lo cual disminuyen las pérdidas de calor por la chimenea, además de mejorar el proceso de combustión. En el diseño del intercambiador se debe tener en cuenta el punto e rocío de los óxidos sulfurosos, que varía según su concentración y las condiciones ambientales.

Algunas mejoras se pueden realizar en el sistema, el agua de alimentar es la que ofrece mayores posibilidades de mejora, entra fría a la caldera, el aporte energético y exergético es prácticamente nulo, se recomienda que debe entrar a alrededor de 75 C^0 , si entrara a esta temperatura su aporte energético sería aumentado en 2,59 veces mientras que el exergético en 44,33 lo cual nos dice dos cosas: una que no varían proporcionalmente una y otra, la segunda que las variaciones exergéticas son más bruscas que las energéticas lo cual se traduce en mayores ganancias cuando hay mejoras y viceversa.

3.8 Determinación de los puestos claves.

En la figura 3.1 se muestran los tipos de portadores energéticos de la empresa de medicamentos MEDILIP Granma y su influencia sobre el consumo total, siendo de gran significación el gasto de diesel que representa el 52,58 %, siendo en este portador energético donde se deben enfocar las medidas de ahorro para poder tener mayor eficiencia energética.

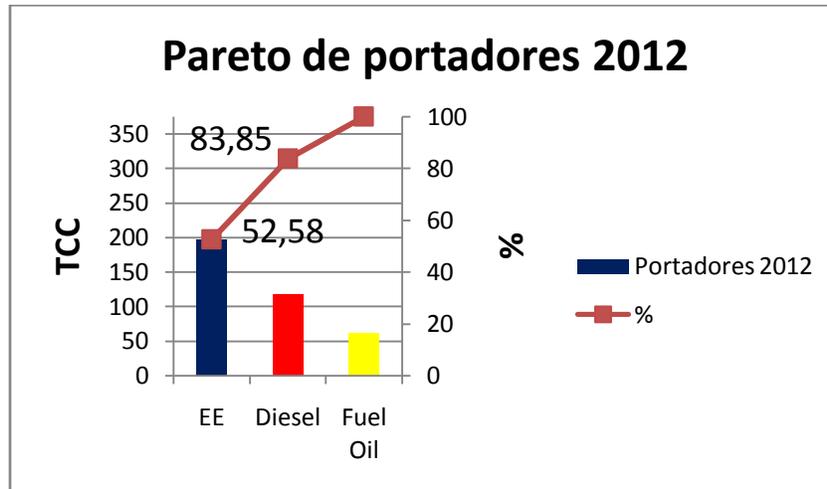


Figura 3.1: Estructura de consumo energético.

En la figura 3.2 se muestra el comportamiento del consumo de energía eléctrica y la producción en la empresa durante el 2012, nos percatamos que el consumo de energía posee un comportamiento variable, viéndose como hay meses como junio-julio donde la producción aumenta y el consumo se mantiene constante y en otros meses como enero-febrero ocurre lo contrario, esto se debe en lo fundamental a que existe un energía no asociada a la producción y esto ocasiona un aumento de los consumos sin un aumento de la producción, por otro lado tenemos que existen medicamentos que demandan mayor cantidad de energía que otros y sin embargo el índice de consumo es el mismo para todos, todo lo cual pone de manifiesto la necesidad de establecer en la entidad un sistema de gestión energética.

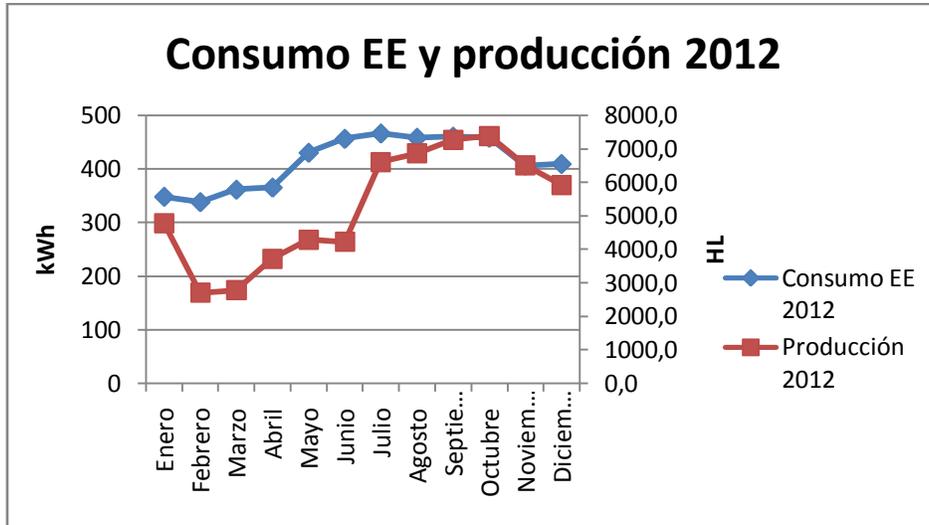
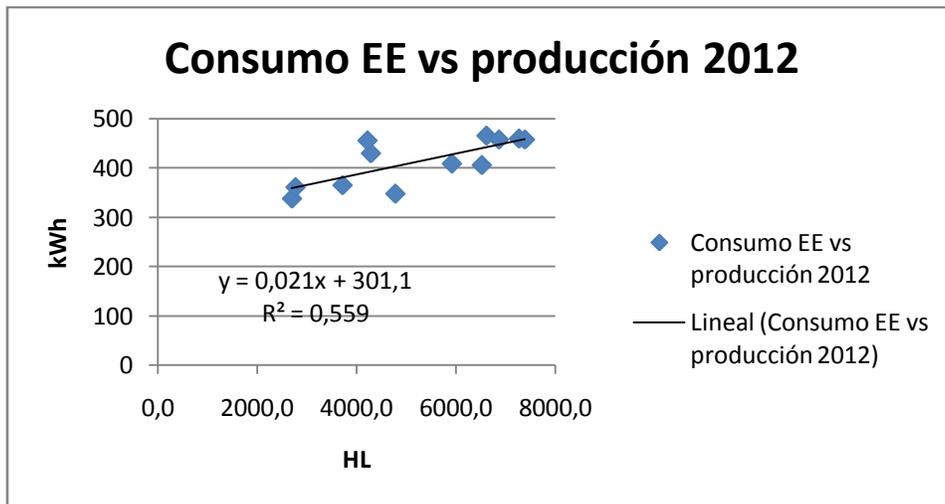


Figura 3.2: Gráfico de Control del Consumo de Diesel en la Brigada 5

La figura 3.3, pone de manifiesto que las variables que actualmente son empleadas para el control de la eficiencia energética no guardan ninguna relación pues la razón de correlación no cumple por lo referenciado según Campos (2002) y CEEMA (2002) de más del 75 %. Lo anterior pone en evidencia que es necesario definir una nueva variable para correlacionarla con la energía eléctrica.



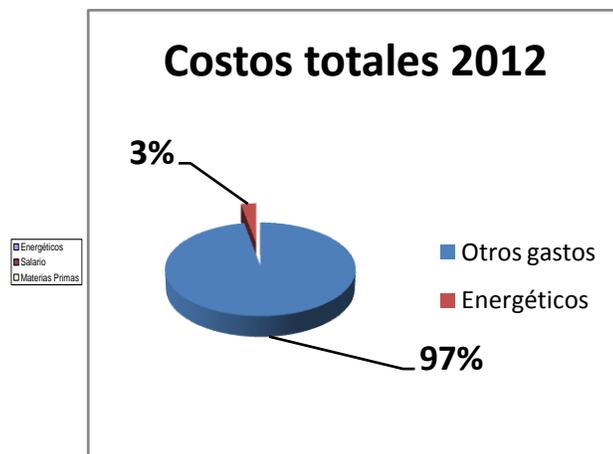
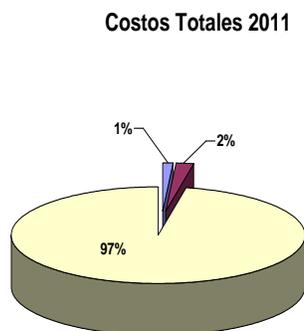
EVALUACION ECONOMICA

Todo estudio presenta un componente económico que es posible medir o estimar, en nuestro caso debido a que no contamos con el tiempo necesario para realizar un estudio económico profundo tenemos la posibilidad de estimar los resultados económicos del estudio realizado.

En primer lugar podemos darnos cuenta que la administración de los recursos energéticos en la entidad es deficiente por lo que no se utilizan a cabalidad los portadores energéticos.

Sería posible realizar un estudio para determinar las oportunidades de ahorro y encontrar las variantes más efectivas desde el punto de vista económico y energético con el correspondiente análisis de factibilidad.

En cuanto al área de generación de vapor se puede realizar un estudio termo económico que brindaría en cuanto podemos elevar el rendimiento térmico del generador y en consecuencia obtener ganancias desde el punto de vista económico y no pérdidas debido a la deficiente utilización de la instalación.



CONCLUSIONES:

1. La correlación lineal entre los consumos y la producción es menor de 0,75.
2. Los indicadores utilizados para evaluar la situación energética no son los más adecuados.
3. El nivel de administración energética de la empresa es incompetente inconsciente.
4. La eficiencia energética del generador de vapor es de 84,5 %.
5. La eficiencia exergética del generador de vapor es de 14,4 %.

RECOMENDACIONES:

1. Implantar un sistema de gestión energética en la empresa.
2. Crear una cultura energética que permita revertir la situación energética en la empresa.
3. Aplicar los diagnósticos técnicos para elevar la eficiencia técnica de los generadores de vapor.

Bibliografía.

1. Comisión Nacional de Energía, Programa de Desarrollo de las Fuentes nacionales de energía. La Habana, Cuba, 1993.
2. Comité Estatal de Normalización. 1988. Sistema Internacional de Unidades Factores y Tablas. Editorial: Pueblo y Educación. La Habana Cuba. 185 p.
3. Cuba CEN: 1988. Sistema Internacional de unidades Factores y Tablas. Editorial. Pueblo y Educación. La Habana Cuba. 185 p.
4. ECO/OPS: "Curso básico sobre contaminación del aire y riesgos para la salud". México, 1991.
5. Energy, vol. 18, No. 4, pp 371-386, Año 1993. Printed in Great Britain.
6. Enrico Turrini Conferencias. Protección de Medio Ambiente, independencia, democracia. Tres aspectos de un desafío en el cual las alternativas energéticas juegan un rol fundamental. pp 4-13. La Habana, Cuba, Junio 1994
7. <http://www.ciemat.es> (2001) sobre: Legislación en: El impacto ambiental en España.
8. <http://www.cubaweb.cu>. Proveedor de Servicios de Internet en Cuba. Discurso de Fidel Castro Ruz. Pinar de Rio 17/1/2006.
9. <http://www.penelope.gr/penelope/library/Libs/ESPLib/spleg/ii2and.htm> (2001) sobre: El impacto ambiental en Andalucía.
10. Taller Caribeño de Energía y Medio Ambiente, Cienfuegos, Cuba, 1997. Borroto, Nordelo, Aníbal E. El Verdadero Costo de la Energía, 10 p.
11. Kenney, W.F. Energy Conservation in the Process Industries. /W.F.Kenney./s.1/: Academia Press, 1969, 329 p.
12. Lage, Carlos. Resolución Económica V Congreso del PCC. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 1997. Pág. 45.
13. López, B, José María. 1984. Bombeo con electro máquinas: Teoría básica y aplicaciones (conferencia).
14. Ortiz. L y Gonzales. E "Briquetting wastes of the Spanish Forest". C.B Biomass Energy. Industry and Environment C.B Ed. Elsevier. London 1988. rtiz. L y Gonzales. E "Briquetting wastes of the Spanish Forest". C.B Biomass Energy. Industry and Environment C.B Ed. Elsevier. London 1992.

15. Panorama Ambiental de Cuba. 2000. Disponible en:
<http://www.panorama.ama.cu>, <http://www.medioambiente.cu>),
<http://web.rolac.unep.mx/dewalac/esp/> y
<http://www.cuba.cu/ciencia/citma/index>
16. Parque eólico de Turiguanó: Revista Energética. Energía y Tú. Vol.I N0 6. Ciudad de la Habana. 47 p.
17. Puiig, J. Corominas, J, Vp : 1995. La Ruta de la Energía. Nueva Ciencia (S.L) 200p.
18. Ramakumar, R. Energy Sources and Rural Development in Developing Countries. IEEE Transactionson Education (USA) / E-24 (3): pp 242-251, agosto 1981.
19. Savonius, R: Vp. 1973. Broce Institute: How Construct a Cheap Machine for Priming Water. Canada.
20. Smith H., Dickson L. 1990. The contribution of vehicle weight and ground pressure to soil compacting. Journal of Agricultural EngineeringResearch.
21. Varela, Rifa, J: 1977. Metodología para la selección de componentes de sistemas con bombas. CITA. Camagüey Cuba.