

# Estudio sobre la gestión energética en el área de generación de vapor de la fábrica de conservas “Los Atrevidos”.

Dr Raúl Alberto Pérez-Bermúdez [raulito@uclv.edu.cu](mailto:raulito@uclv.edu.cu)

MSc. Benigno Antonio Gutiérrez Solís [convc@enet.cu](mailto:convc@enet.cu)

## Índice

Introducción	1
Desarrollo	4
<b>Capítulo 1. Marco teórico referencial. Caracterización del estado del arte.</b>	5
1.1. El hombre, la energía y el medio ambiente	5
1.2. La generación y uso del vapor, un aspecto esencial en el desarrollo tecnológico de la humanidad. Particularidades del procesamiento industrial de las conservas de frutas	10
1.3. Diagnósticos energéticos (TGEE)	24
<b>Capítulo 2. Aplicación de la Tecnología de gestión eficiente de la energía.</b>	29
2.1. Caracterización del centro objeto de estudio	29
2.2. Aplicación de la Tecnología de gestión eficiente de la energía	29
<b>Epígrafe 2.3. Plan de medidas para el mejoramiento de los índices de consumo</b>	34
<b>Epígrafe 2.4. Utilización de gráficos como herramientas estadísticas</b>	35
<b>Capítulo 3. Evaluación termotécnica y económica en el área de generación</b>	41
3.1. Medidas recomendadas para el incremento de la eficiencia en el área de generación de vapor.	41
3.2 Caracterización del estado técnico y funcional del generador de vapor marca SADECA.	42
3.3. Determinación de la eficiencia del equipo	43
3.4. Cálculo técnico- económico de las pérdidas que se producen en operación de la instalación, en función de aplicar las medidas propuestas.	49
3.5 Evaluación del impacto ambiental del equipo en un periodo anual	58
Conclusiones	59
Recomendaciones	60
Bibliografía	61
Anexos	

## **Introducción**

Desde el surgimiento del hombre la energía ha sido fundamental para su desarrollo económico, entendiendo este en su más completo sentido e íntimamente relacionado con la calidad de vida de las poblaciones.

Toda actividad productiva es viabilizada con la utilización de la energía por ejemplo, en el medio rural que constituye la base de la alimentación mundial, la aplicación de la energía ha permitido una diversificación de las producciones y una mayor disponibilidad acorde con las crecientes demandas de la población.

Un aspecto muy importante es la disponibilidad de energía eléctrica, la cual ha permitido en comunidades rurales apartadas la realización de actividades domesticas de forma más fácil con un apreciable incremento de la calidad de vida de esas localidades. Sin embargo casi toda la infraestructura energética mundial descansa sobre el uso de los combustibles fósiles (petróleo y sus derivados), que constituyen la fuente principal para la generación de electricidad.

Los combustibles fósiles sin embargo no son una fuente inagotable y sus reservas además de ser finitas están restringidas a algunas zonas muy localizadas del planeta. Teniendo en cuenta los niveles actuales de crecimiento, se pronostica una importante disminución de la producción de combustibles fósiles, llegando a su fin para las últimas décadas del siglo XXI. Respecto a lo anterior, hay criterios más o menos optimistas, sin embargo la realidad es el carácter finito de estas fuentes.

Por otro lado esta el aspecto ambiental, el empleo de combustibles fósiles genera diferentes óxidos de carbono, nitrógeno y azufre, hidrocarburos y sólidos en suspensión los cuales dañan a la salud humana. La solución a este problema esta dada por el uso racional de los recursos, el cual solo es posible a partir del levantamiento de las potencialidades y el planeamiento a largo plazo en beneficio de la sociedad.

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

La eficiencia energética, entendida como la eficiencia en la producción y los servicios, 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, la misma implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos establecidos por el cliente, con el menor consumo y gasto energético posible, y la menor contaminación ambiental por este concepto.

Actualmente muchos países han buscado diversas vías para lograr solucionar las dificultades antes mencionadas, entre ellas están los diagnósticos energéticos, que permiten determinar las vías; procedimientos o medidas a aplicar para lograr un aprovechamiento mayor del poder energético de los portadores tradicionales como el gas y el fuel-oil. Las posibilidades de estas medidas son numerosas debido a que con operaciones sencillas se pueden obtener ahorros considerables.

Nuestro país dentro de sus procesos industriales emplea tecnologías de conservación de alimentos idéntica en todos los territorios que lo componen, en el caso de la provincia Villa Clara, uno de los establecimientos especializado en el tema se ubica en el Municipio Remedios, dicha fabrica “Los Atrevidos” produce dulces en a partir de frutas naturales, para lo cual utiliza un equipamiento cuyo funcionamiento depende de portadores energéticos como la electricidad, diesel, fuel oil y otros.

#### **Planteamiento del problema científico:**

La utilización de los portadores energéticos en la entidad lleva consigo una serie de medidas de control e inversiones en recursos y tiempo no lográndose siempre resultados satisfactorios en la actividad, esta es una de las razones por las cuales no se cuenta con una evaluación de la misma.

En la actualidad no es posible efectuar un dictamen objetivo del tema analizado sin fundamento técnico económico adecuado.

**Hipótesis:**

“Es posible mejorar la gestión energética en el establecimiento “Los Atrevidos” a partir de la aplicación y evaluación de los resultados que se obtengan en el diagnóstico energético del área de generación de vapor”.

**Objetivo General:**

“Realizar un estudio técnico – económico de las principales pérdidas que se producen en la operación del generador de vapor y que se encuentran estrechamente relacionados con las medidas recomendadas, que resultaron de aplicar la Tecnología de gestión eficiente de la energía, en la fabrica “Los Atrevidos”; para conocer el impacto de estas luego de ser acometidas”

**Objetivos específicos:**

-Lograr una fundamentación objetiva a partir del estudio de la literatura e información científico técnica existente, que permita un conocimiento más actualizado de los aspectos esenciales de la gestión energética en la generación de vapor durante el procesamiento industrial de frutas en conservas.

-Realizar un análisis estadístico del uso de los portadores energéticos en un periodo de 10 años relacionados con la producción de vapor en la industria de conservas de frutas mediante el empleo del sistema de gestión total eficiente de la energía para establecer las acciones inmediatas que mejoren la eficiencia energética del centro.

-Evaluar las principales pérdidas en la operación del equipo desde el punto de vista técnico- económico para determinar la factibilidad y efectividad de las medidas necesarias a aplicar en un periodo a corto y mediano plazo.

## **Desarrollo**

### **Materiales y Métodos.**

**El estudio realizado se fundamenta en la determinación del área y puestos claves en el consumo energético del centro que se analiza, utilizando la secuencia de trabajo siguiente:**

- 1. Realizar una revisión bibliográfica de los aspectos relacionados con el tema objeto de estudio.**
- 2. Aplicar la Tecnología de gestión eficiente de la energía al establecimiento.**
- 3. Evaluar técnica y económicamente las medidas que permitan lograr mejorar la gestión energética en el centro.**

## **Capítulo 1. Marco teórico referencial. Caracterización del estado del arte.**

Desde el punto de vista científico – metodológico cualquier investigación que se pretenda realizar debe estar precedida por estudios literarios e informáticos que permitan a la persona, conocer sus fundamentos básicos, pero además tener una cultura relacionada con el tema en cuestión; lo cual es de primordial importancia en el desarrollo del trabajo y sobre todo en el momento de emitir las conclusiones finales.

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo abordara aspectos relacionados con la utilización de la energía, la importancia que la misma tiene para el hombre y en especial el uso de esta a partir de los procesos de generación de vapor en industrias como la de producción de alimentos en conservas.

En su desarrollo histórico, el hombre ha necesitado de las diferentes fuentes energéticas pero debido a su propio egoísmo las ha destruido a tal punto , que en la actualidad existe una preocupación general no solo de la comunidad científica, los políticos y estadistas se han vinculado al tema puesto que la supervivencia de la especie humana esta en peligro.

Explotar los portadores energéticos con eficiencia, racionalidad e inteligencia es imprescindible, vital y necesario para la estabilidad económica, política y social de cualquier país, ya sea pobre o desarrollado.

Por tanto la aplicación de los resultados científicos, así como el empleo de tecnologías mas ahorrativas e incluso con un menor impacto ambiental, que las que se utilizan actualmente es uno de los aspectos mas importantes en los próximos años .Téngase en cuenta además que no solo el aspecto económico es fundamental, la actividad del hombre en su interacción con los medios de producción puede conllevar a una disminución de dichos consumos sin realizar inversiones o gastos adicionales.

### **Epígrafe 1.1. El hombre, la energía y el medio ambiente.**

Desde el surgimiento del hombre la energía ha sido fundamental para su desarrollo económico, entendiendo este en su más completo sentido e íntimamente relacionado con la calidad de vida de las poblaciones. **(24)**

Toda actividad productiva es viabilizada con la utilización de la energía por ejemplo, en el medio rural que constituye la base de la alimentación mundial, la aplicación de la energía ha permitido una diversificación de las producciones y una mayor disponibilidad acorde con las crecientes demandas de la población.

Un aspecto muy importante es la disponibilidad de energía eléctrica, la cual ha permitido en comunidades rurales apartadas la realización de actividades domesticas de forma más fácil con un apreciable incremento de la calidad de vida de esas localidades. Sin embargo casi toda la infraestructura energética mundial descansa sobre el uso de los combustibles fósiles (petróleo y sus derivados), que constituyen la fuente principal para la generación de electricidad. **(14)**

Los combustibles fósiles sin embargo no son una fuente inagotable y sus reservas además de ser finitas están restringidas a algunas zonas muy localizadas del planeta. Teniendo en cuenta los niveles actuales de crecimiento, se pronostica una importante disminución de la producción de combustibles fósiles, llegando a su fin para las últimas décadas del siglo XXI. Respecto a lo anterior, hay criterios más o menos optimistas, sin embargo la realidad es el carácter finito de estas fuentes.

Por otro lado esta el aspecto ambiental, el empleo de combustibles fósiles genera diferentes óxidos de carbono, nitrógeno y azufre, hidrocarburos y sólidos en suspensión los cuales dañan a la salud humana. La solución a este problema esta dada por el uso racional de los recursos, el cual solo es posible a partir del levantamiento de las potencialidades y el planeamiento a largo plazo en beneficio de la sociedad.

Para alcanzar el desarrollo económico y social, la energía constituye un elemento imprescindible, pero considerando la protección del medio ambiente como la mejor estrategia para resguardar la salud humana y garantizar la supervivencia o mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones. **(39)**

Una de las principales metas que se pretende en la actualidad envuelve conceptos como el de desarrollo sostenible, donde los beneficios del crecimiento económico y social se reproduzcan constantemente.

Las fuentes renovables de energía (FER), como alternativa al empleo de los combustibles fósiles tuvieron su primer impulso en la década del 70 del siglo XX, durante la crisis del petróleo. En la actualidad ha vuelto a alcanzar un nuevo auge motivado por el deterioro ambiental.

Al estudiar la historia del uso de la energía, se obtienen algunas conclusiones de mucho interés. Los países desarrollados han efectuado ya dos grandes transformaciones energéticas, las cuales llevaron de la leña y el carbón vegetal al carbón mineral, entre 1700 y 1800 aproximadamente, coincidiendo con la primera gran Revolución Industrial y la invención del telar, la maquina de vapor, el ferrocarril, etc., del carbón mineral al petróleo, entre 1800 y 1900 coincidiendo con la segunda Revolución Industrial y el advenimiento de la siderurgia, la electrificación y los vehículos automotores. **(8)**

La segunda transformación energética permitió y también impulso el establecimiento del primer sistema global para el suministro de hidrocarburos, sus derivados y las tecnologías asociadas, de esta forma los hombres identificaron el consumo de petróleo con el nivel de vida y se convirtió dicho portador en el energético de referencia.

El agotamiento previsible de los hidrocarburos, hace pensar en una probable tercera transformación energética hacia las fuentes renovables de energías, son muy diferentes las situaciones en los países desarrollados y en los subdesarrollados en cuanto al acceso a los servicios energéticos y al consumo de energía comercial. Cerca de 2000 millones de personas no tienen acceso a la electricidad. Una cifra similar continúa cocinando con combustibles convencionales. Son abismales las diferencias en el consumo de energía por habitante. Mientras que un norteamericano consume más de 14000 Kwh./año de electricidad, un indio no llega a 300 Kwh./año, o sea 43 veces menos. Sin hablar de otros países más pobres aún como el caso de Bangla Desh, en donde el consumo de electricidad per. cápita no alcanza los 100 Kwh. /año. **(38)**

Después de las dos transiciones energéticas que efectuaron los países industrializados, el petróleo se convirtió en el energético de referencia (los hidrocarburos representaron mas de 60% del consumo total de portadores energéticos comerciales durante el año 2003).



Los portadores energéticos sumados promedian un consumo anual de 9405 millones de toneladas equivalentes a petróleo de ellos el 87% son combustibles fósiles, además el portador que experimento mayor crecimiento en los últimos años fue el carbón mineral, cuyo consumo creció un 7%, el gas natural creció un 2,8%.

Sin embargo, dos circunstancias relacionadas con la hegemonía petrolera evidencian la necesidad objetiva de modificar esa situación mediante una transición hacia las fuentes renovables de energía derivadas del flujo solar, esas circunstancias son:

- a) El consumo de petróleo contamina el entorno, amenazando la supervivencia misma de la especie humana.
- b) El carácter no renovable del petróleo anuncia su desaparición física en una perspectiva más o menos lejana.

La necesidad objetiva de esa transición esta condicionada también por razones de carácter geográfico (los fósiles existen solo en ciertas regiones del planeta), económico-financiero ( los precios de los combustibles fósiles no tienen en cuenta sus costos sociales reales, pero además incluyen subsidios cuantiosos que los benefician y constituyen al mismo tiempo barreras para la introducción de las fuentes renovables),social ( casi un tercio de la humanidad carece de acceso a fuentes energéticas de alta calidad -como la electricidad- y se ve obligada a emplear leña u otras fuentes tradicionales con tecnologías ineficientes que agraden el entorno y la salud de las personas que las utilizan ) y político (nuevas guerras de conquista para garantizar el acceso y control del petróleo y gas natural ) entre las mas importantes ,que avalan la conveniencia de sustituir los combustibles fósiles como fuentes dominantes de energía.

Desde los años setenta se previo la necesidad, la conveniencia y la posibilidad de la tercera transición energética y se propusieron la electricidad y el hidrogeno como los nuevos portadores de referencia, después se ha confirmado su factibilidad. **(29)**

Desde 1987 se habla con insistencia del desarrollo sustentable, para lograrlo se necesita energética sustentable, que puede definirse como un sistema capaz de satisfacer la demanda de servicios energéticos a partir de fuentes renovables (FER).

La energética sustentable podría comenzar a materializarse desde ahora mismo con tecnologías maduras para generar electricidad y producir alcohol, mediante la biomasa y otros portadores renovables, con lo que se sustituyen combustibles fósiles y se evitan las correspondientes emisiones de gases de efecto invernadero, acercando el momento, lo que constituye un paso ineludible para mitigar el cambio climático y evitar el calentamiento global. **(16)**

Los portadores energéticos sumados promedian un consumo anual de 9405 millones de toneladas equivalentes a petróleo de ellos el 87% son combustibles fósiles, además el portador que experimentó mayor crecimiento en los últimos años fue el carbón mineral, cuyo consumo creció un 7%, el gas natural creció un 2,8%.

En cuanto a los precios desde el año 2001 este ha crecido un 6% anual, coincidiendo con la reducción en la oferta de la OPEP, mientras los países no miembros incrementaron su producción en setenta millones de toneladas solo en el 2002. Esas cifras confirman el carácter insostenible del Sistema Energético Global, no solo porque depende casi 90% de portadores de energía de origen fósil y no renovable, sino porque los combustibles fósiles constituyen la fuente principal de los gases invernadero. **(9)**

En nuestro país los incrementos del consumo de los portadores energéticos que se produjeron fundamentalmente en los derivados del petróleo a partir del Triunfo de la Revolución el 1ro de enero de 1959 debido al desarrollo económico y social, provocaron que, de una cifra de consumo de algo más de 3 millones de combustible equivalente en el año 1959, se llegó en la década de los 80 a unos 12 millones de toneladas.

La caída del campo socialista y la consecuente pérdida de mercados trajo consigo una reducción drástica de estos consumos, lo cual nos permitió adquirir una conciencia de la necesidad de mantener una política de ahorro consecuente con nuestras necesidades. En estos momentos se presta atención especial al desarrollo de fuentes de energía renovables y a la búsqueda de un incremento en la eficiencia energética en las actividades fundamentales: industria, transporte, sector residencial y de servicio; una muestra evidente de esto es la Revolución energética en que está inmerso el país. **(50)**

Como parte de esta tarea se han venido realizando una serie de trabajos como son: renovación de equipos electrodomésticos por otros de menor consumo, sustitución de luminarias, intensificación en el desarrollo de fuentes de energía renovables como la utilización de la energía eólica, desarrollo de los calentadores solares a una mayor escala, o sea generalizado su uso en sectores de la salud, la educación y la industria, reemplazo de grupos electrógenos por algunos ya existentes de menor rendimiento y montaje de otros nuevos como una forma alternativa de suministro de energía eléctrica en casos necesarios como catástrofes y apoyo a la red nacional de generación eléctrica en momentos picos.

Se hace necesario e impostergable la utilización eficiente y racional de los combustibles fósiles, así como un cambio en la mentalidad de los hombres puesto que lo que no seamos capaces de hacer con inteligencia hoy, mañana será demasiado tarde.

### **Epígrafe 1.2. La generación y uso del vapor, un aspecto esencial en el desarrollo tecnológico de la humanidad. Particularidades del procesamiento industrial de las conservas de frutas.**

El vapor ha sido durante siglos un medio para la calefacción y (o) para la obtención de energía mecánica a través de la conversión de la energía calórica de los combustibles fósiles del planeta. Esta fuente de energía ha tenido un amplio uso y en la actualidad es difícil que exista una industria donde no se utilice. Sin embargo, debido al creciente déficit que presentan en la actualidad los recursos energéticos no renovables, poseen una significativa importancia los trabajos encaminados a lograr un uso racional y eficiente de dichos recursos.

La forma más común de producir vapor es a partir de los generadores de vapor (calderas). Un generador de vapor es un equipo capaz de transformar en energía térmica, la energía contenida en los combustibles fósiles mediante su combustión y transferirla al agua para generar vapor, el cual en lo adelante se utilizará como tal o como sustancia de trabajo en otros equipos o procesos. Los generadores de vapor se subdividen en dos grandes grupos: los de tubos de fuego o pirotubulares y los de tubos de agua o aereotubulares. (42)

La explotación eficiente de los generadores de vapor es imposible de lograr sin la aplicación de una correcta estrategia de control automático, la cual además posibilita aumentar la fiabilidad y seguridad en el funcionamiento de estos equipos. Actualmente, los generadores de vapor presentan un determinado nivel de automatización, sin embargo, como regla en los mismos se controlan los procesos asociados al régimen de combustión (presión, nivel, flujo de vapor, relación aire combustible, temperatura del vapor producido, temperatura de los gases producto de la combustión, etcétera).

Es necesario destacar, que para lograr una alta eficiencia y fiabilidad en la explotación de los generadores de vapor resulta imprescindible desarrollar un control integral de todos los procesos asociados a la generación de vapor, entre los que se encuentran los procesos de preparación del combustible, generación de vapor y tratamiento de agua.

Considerando, la amplia aplicación que han encontrado los generadores de vapor pirotubulares no solo en el sector industrial, sino además en hoteles, hospitales, centros turísticos, etcétera y la necesidad de aumentar su eficiencia energética y fiabilidad en la explotación, en el presente trabajo se propone un sistema de control automático integral de estos basado en la aplicación de un autómatas programable. La selección de los autómatas programables como medios efectivos de control automático de los procesos tecnológicos que tienen lugar en los generadores de vapor se fundamenta en las diversas ventajas que estos presentan. Estos dispositivos además de poseer una elevada fiabilidad y robustez permiten el desarrollo de sistemas de control lógico-secuenciales, así como de sistemas de control retroalimentados clásicos y avanzados (control en cascada múltiple, control anticipatorio, control adaptativo, control inteligente aplicando lógica borrosa, etcétera). Además, los mismos están preparados para trabajar en ambientes industriales caracterizados por presentar ruido, suciedad, elevadas temperaturas, alto nivel de humedad, etcétera. **(41)**

La primera realización de una máquina de vapor fue la máquina de fuego, empleada para bombear agua y caracterizada por no tener mecanismos móviles, patentada el 25 de julio de 1698, presentada a la Royal Society en 1699 y construida en 1702 por Thomas Savery (Shilston 1650 – 1715). La segunda fue la construida diez años después por el plomero y vidriero de Dartford John Calley según los planos y

especificaciones de su conciudadano Thomas Newcomen (Dartmouth 1663 - 1729), herrero y predicador. Cuando tenía casi 40 años, Newcomen empezó a estudiar la máquina de Savery, y como éste ya tenía el privilegio de invención, él y Calley se pusieron de acuerdo con Savery para una nueva patente conjunta, que obtuvieron en 1705. Newcomen, a pesar de los consejos en contra del gran físico Robert Hooke, decidió usar por primera vez el cilindro y el émbolo propuesto por Papin, a diferencia de la máquina de Savery, que trabajaba con dos recipientes y un juego de válvulas, y enfriar el vapor introduciendo agua en el cilindro, en vez de hacer circular el agua por el exterior del recipiente como hacía Savery. El uso del émbolo abría las puertas a una verdadera máquina, con posibilidad de producir trabajo y no solo de bombear agua. **(8)**

Estas máquinas se caracterizaron desde un punto de vista termotécnico, por operar con el vacío producido por el vapor, según la idea de crear el vacío condensando vapor, avanzada en 1681 con su marmita para hacer caldo, por Denis Papin, quien también propuso más tarde una máquina Nuevo modo de producir con pequeño gasto de fuerzas unos movimientos sumamente considerables (en latín) *Acta Eruditorum*, Leipzig, 1690. Esto, hizo que bastase utilizar vapor sin sobrepresión, así Newcomen y Calley utilizaron una olla vieja de una cervecera.

Las máquinas de Newcomen tuvieron gran éxito y en 1729 ya se usaban en Alemania, Austria, Bélgica, Francia, Hungría y Suecia. En 1750 llegó a las colonias americanas, la primera para una mina de cobre en Newark y en 1774 se instaló en Kronstadt, para vaciar los diques de varada en la nueva base naval de Catalina la Grande de Rusia. Su robustez era tal que la última máquina desmantelada lo fue en 1934, en Parkgate, después de más de un siglo de funcionamiento. En España se instalaron las primeras máquinas, también para bombear diques, en los Arsenales del Ferrol y de La Carraca (Cádiz), existiendo planos de las mismas de 1813.

La tercera ya fue la culminación de la máquina de vapor atmosférica, la de James Watt construida más de medio siglo después de la de Newcomen (en 1765), pero también pensada inicialmente para la extracción de agua de las minas de carbón británicas, inundadas por el agua subterránea. Este tercer tipo de máquina, fue fruto de la primera aplicación práctica del conocimiento del calor latente descubierto por Joseph Black

(Burdeos 1728 - Edimburgo 1799), catedrático de medicina de la Universidad de Glasgow; en 1762. La efectuó el escocés James Watt (Greenok 1736 - 1819), también en la Universidad de Glasgow.

Las máquinas de Newcomen más modernas fueron adquiriendo todavía mayor tamaño y reemplazaron los delgados cilindros de bronce por cilindros de fundación más gruesos y pesados. En cada nuevo modelo se requería más vapor durante la carrera ascendente del émbolo puesto que el cilindro más pasado necesitaba más calor para alcanzar la temperatura del vapor. Por otra parte, hacía falta más agua para enfriar el cilindro al condensar el vapor en la etapa de la carrera descendente del émbolo. Watt se percató de este problema pero para solucionarlo necesitaba información experimental sobre los calores específicos de los materiales y las propiedades del vapor, especialmente los calores latentes de vaporización y de condensación.

Watt obtuvo un triunfo de la técnica y contribuyó decisivamente a consolidar el cambio del futuro de la humanidad; sin embargo, las máquinas, al ser atmosféricas, seguían siendo de dimensiones considerables, ya que no mejoró sustancialmente el generador de vapor, que era un generador atmosférico; al parecer por considerar demasiado peligroso el vapor a presión, ya propuesto en 1724 por Jacob Leupold (Planitz 1674 - Leipzig 1727).

Pero los sucesores de Watt, para aumentar la potencia de las máquinas de vapor, si lo hicieron. Richard Trevithick (1771-1833) en Inglaterra y Oliver Evans (1755-1819) en Estados Unidos, inventaron y fabricaron poco después de Watt, en 1800 y 1802 respectivamente, pero un siglo después de la máquina de Savery, la caldera a presión, uno de los primeros hitos de la Termotecnia. Estas máquinas carecían de condensador y dejaban salir el vapor a la atmósfera a presiones bastante elevadas, por lo cual eran más ruidosas que las de Watt y se las conocía como resopladoras.

La solución al enigma la encontró Sadi Carnot (Paris 1796 - 1832), con percepción genial concluyó que si se desea elevar el arte de producir fuerza motriz a partir del calor a la altura de una ciencia, debe estudiarse todo el fenómeno desde el punto de vista más general, sin hacer referencia a un motor, máquina o fluido en particular.

El descubrimiento importante no es el primer intento, sino los sucesivos mejoramientos. Hay una distancia casi tan grande entre el primer aparato en que se usó la fuerza expansiva del vapor y una máquina actual, como entre una balsa y un moderno navío. El honor de ese primer desarrollo pertenece a Inglaterra: Savery, Newcomen, Smeaton, Watt, Woolf, Trevithick y otros.

A pesar del trabajo que se realizó sobre todos los tipos de máquina de vapor, su teoría es muy poco comprendida y los intentos para mejorarla todavía están orientados casi exclusivamente por el azar.

Se ha planteado a menudo la cuestión de si la energía motriz del calor no tiene fin, si las posibles mejoras a las máquinas de vapor tienen un límite previsible, un límite que la naturaleza de las cosas no permitirá superar por ningún medio, o bien si, por el contrario, estas mejoras pueden ser llevadas a cabo indefinidamente.

La producción de movimiento por la máquina de vapor está acompañada siempre de una circunstancia que debemos señalar en particular. Esta circunstancia es el paso de calórico desde un cuerpo cuya temperatura es más o menos elevada a otro donde es mas baja...

...La potencia motriz del calor es independiente de los agentes empleados para desarrollarla; su cantidad viene determinada solamente por la temperatura de los cuerpos entre los cuales, como resultado final, ocurre la transferencia de calórico. **(58)**

En la generación que siguió a Watt, dos personajes destacaron por sus contribuciones a la Termotecnia en sus dos vertientes, calor y frío. Uno era norteamericano, Oliver Evans (Delaware 1755 - 1819), el otro inglés, Richard Trevithick (Ilogan 1771 - Dartford 1833). Aquí se citan por la invención del generador de alta presión y en el caso del segundo, además, del generador de tubos de humos que ha llegado hasta nuestros días.

Desde el punto de vista de la Termotecnia, lo que interesa es que el generador era también notablemente superior a los anteriores. Era un cilindro horizontal de cobre con el tubo de escape que lo atravesaba por el centro antes de unirse a la chimenea.

Los gases calientes pasaban, tanto a través de la caldera, por el tubo, como por su exterior, aumentando así la superficie calefactora y la temperatura del agua.

La evolución de los generadores de tubos de humo, por su simplicidad ha sido escasa, estos se mostraron extremadamente peligrosos, pues la ebullición estancada (pool boiling), favorecía la producción de incrustaciones y los excesos de flujo térmico, causaban el fallo de la chapa y el consiguiente estallido por despresurización súbita. En cualquier caso, esta configuración limitaba la capacidad de producción al no poderse superar valores de flujo de calor relativamente bajos. Esto provocó intentos de disminuir la cantidad de agua en la caldera, así como de hacerla circular por la misma, a fin de facilitar el enfriamiento de sus paredes.

De esta forma surgieron los generadores de tubos de agua que permitieron la convección forzada y, más adelante, aprovechar el efecto termosifón. La primera patente de este tipo la de William Blakey en 1774, que alegando una mejora en la máquina de Savery. Sin embargo el primer diseño con éxito fue el de James Rumsey, un inventor americano conocido por sus primeras experiencias con la navegación a vapor, quien patentó en Inglaterra en 1788 varios tipos de generadores algunos de los cuales eran del tipo de tubo de agua, que funcionaron.

Por la misma época, John Stevens, también inventó un generador de tubos de agua que consistía en un haz de pequeños tubos cerrados en un extremo y conectado por el otro a un depósito central. Este generador se patentó en 1803 en los EE UU., gracias a que el propio Stevens, que era abogado, había solicitado al Congreso una ley de patentes para proteger sus inventos. Tal ley se aprobó en 1790 y se puede decir que la base del sistema de patentes de los EE.UU., se creó gracias a la invención de las calderas de tubos de agua. Posteriormente Stevens también hizo inventos referentes a la máquina frigorífica y otro generador de tubos de agua patentado por John Cox Stevens en 1805 se ha conservado en el museo de la Institución Smithsonian, en Washington. **(59)**

Arthur Woolf resucitó el sistema compound en 1804 y construyó su primera máquina con varios cilindros en 1814, en 1822 Jacob Perkins construyó el generador de tubos



de agua que es el predecesor de los generadores de un paso actuales. Una serie de barras de fundición con unos orificios longitudinales de 1 1/4 de pulgada se disponían sobre las llamas en tres hileras conectando los extremos en el exterior del horno con una serie de codos hecho con tubos curvados. El agua se alimentaba por la hilera superior, a fin de que circulase a contra corriente, mediante una bomba de alimentación y el vapor recalentado se descargaba de la hilera inferior a un colector. También Perkins patentó en 1831 los tubos dobles para favorecer la convección natural, conocidos posteriormente como Field, que gozaron de gran popularidad hasta bien entrado el siglo XX.

Entre 1821 y 1825 se inventaron varios generadores de tubos de agua para vehículos, que era uno de los incentivos para los inventores, entre los que se puede destacar el de Maceroni y Squire, figura 84 de Robertson,, que trabajaba a 11 bar y que recorrió 1.700 millas (2.700 Km.) sin reparaciones importantes.

En este grupo es de destacar por su diseño racional, que favorecía la circulación natural, el generador para vehículo, en el que los tubos de agua que jugaban el papel de tubos vaporizadores (risers) descendían verticalmente de la coronación de la cámara de combustión y hacía un codo en su parte inferior para comunicar con un cámara envolvente concéntrica que contenía agua, haciendo el papel de tubos colectores (downcomers).

También para vehículos se patentó en 1833 el generador Hancock, precursor de los cambiadores de placas, se llegaron a construir hasta 1840 diez vehículos con este generador; cabe señalar que todos estos vehículos a vapor, técnicamente operativos, tuvieron que cesar de funcionar por la oposición de las autoridades de las localidades por donde circulaban.

En 1850 Guillermo Siemens (Lenthe 1823 - Londres 1883) inventó el regenerador que precalienta el agua de alimentación con una extracción de vapor. En 1856 Stephen Wilcox propuso con éxito un generador de vapor que tenía una configuración racional. El diseño incorporaba unos tubos inclinados que conectaban los acumuladores de agua

frontal y posterior permitiendo la circulación de la misma por efecto termosifón y una mayor superficie de calefacción que sus antecesores.

Una ventaja adicional era el reducido peligro de explosión inherente al uso de los tubos de agua, aunque el diseño tenía el inconveniente de estos eran inaccesibles para limpieza. En una conferencia en la universidad de Cornell, en 1890 George W. Babcock explicaba el principio de su generador, la circulación natural, atribuyendo la idea a Perkins.

En 1866 George Herman Babcock se asoció con Stephen Wilcox patentando su primer generador en 1867, con unas características para facilitar el mantenimiento muy adecuado. **(59)**

Sin embargo el primer generador con el diseño conocido como D, con los tubos evaporizadores (risers) y colectores (downcomers) adecuadamente dispuestos para obtener la circulación por termosifón, fue el Sochet, diseñado por el ingeniero francés del mismo nombre, sin embargo el generador fracasó, probablemente por mal diseño de la cámara de combustión, y en 1859 dejó de fabricarse.

El éxito de los generadores de tubos rectos e inclinados estimuló a los inventores para encontrar nuevos diseños. Así en 1880 Allan Stirling desarrolló un diseño que conectaba los tubos de generación de vapor doblándolos, lo que les permitía absorber mucho mejor las deformaciones térmicas, directamente a un recipiente de separación consiguiendo una baja altura encima de la cámara de combustión. Así fundó la Stirling Boiler Company que produjo generadores y fue adquirida por Babcock y Wilcox en 1906 que incorporó los tubos curvados a sus diseños, resolviendo los problemas que existían para la limpieza del interior de los mismos.

Por razones evidentes de condiciones operatorias, espacio, etc., rápidamente se establecieron dos familias de generadores de vapor: los marinos y los terrestres, estos últimos a su vez incluyendo las instalaciones fijas y las móviles (locomotoras).

El desarrollo de los generadores terrestres fijos estuvo ligado a su uso para generar electricidad, lo que se inició a finales del siglo XIX. Por ejemplo en los EE.UU. la planta de Brush Electric Light Company, en Philadelphia, fue la primera instalación que generó electricidad a partir de vapor en América, en 1881, mediante cuatro calderas de tubos de agua de 73 HP (55 Kw.) de potencia cada una. The Fisk Street Station de la Commonwealth Edison Company, fue la primera central térmica, en 1903 en instalar turbinas exclusivamente para generación de electricidad. Esta enorme planta estaba dotada con 96 generadores de 508 HP (cada uno 380 Kw.) produciendo vapor a 12 bar y 39EC de recalentamiento.

Con las paredes enfriadas con el agua el uso de combustible líquido, fuel oil, permitió una reducción del tamaño de los hogares importante, así como la reducción del mantenimiento del hogar y del ensuciamiento de las superficies de calentamiento por convección, resultando una reducción de la superficie específica para generar vapor. Como consecuencia de todo esto los actuales generadores para vapor de alta presión más de 85 bar, trabajan esencialmente por radiación, por lo que consisten en una cámara con paredes de tubos de agua, recalentadores y los accesorios como economizadores (precalentadores de agua) y precalentadores de aire. Los generadores para presiones más baja operan por radiación más convección, por lo que contienen haces de tubos además de las paredes con tubos de agua del hogar.

Una particularidad de los generadores de vapor es que dieron origen a los métodos de diseño de equipos a presión, dando lugar a normativas tan importante como el ASME Power Boiler Code, establecido en 1911 por la American Society of Mechanical Engineers, etc. **(58)**

Estas instalaciones contribuyeron al desarrollo de los cambiadores de calor, esenciales en la industria química. En su acepción más general los cambiadores de calor son los dispositivos en los cuales una corriente fluida o sólida más caliente que otra, cede calor a esta última.

Por contacto directo, con o sin mezcla de ambas. Cuando las corrientes son miscibles se tienen los llamados cambiadores de mezcla, en los cuales las corrientes pierden su identidad, convirtiéndose en una sola. Fue introducido por Watt, como ya se comentó.

De los ingenieros españoles teóricos del diseño de generadores de vapor, el pionero fue Agustín de Betancourt y Molina (Las Palmas de Canarias 1758 – San Petersburgo 1824), el cual publicó en Francia y su obra de termotecnia se quedó en manuscritos, el primer termotécnico que publicó obras propias en castellano fue Juan José Martínez Tacón.

En cuanto a Cataluña (1805) se instaló, en la fábrica de hilados de Jacint Ramón, la primera máquina de vapor, con su correspondiente generador.

El desarrollo de la industria comportó la aparición de talleres mecánicos de fundición como La Barceloneta, establecida en 1838, aunque en 1821 ya se fundó una pequeña fundición Comas en la calle de les Tapies, que prosiguió la tradición térmica catalana de hornos, así por ejemplo en 1844 se efectuó una exposición de la industria catalana que incluía dos expositores, D. Valentín Esparó y D. Celedonio Ascacibar, denominados fabricantes de fundición, que exponían maquinarias industriales y agrícolas diversas, incluyendo generadores de vapor.

Dentro de los diferentes tipos de calderas se han construido calderas para tracción, utilizadas en locomotoras para trenes tanto de carga como de pasajeros. amovibles, preparada para quemar carbón o lignito. El humo, es decir los gases de combustión caliente, pasan por el interior de los tubos cediendo su calor al agua que rodea a esos tubos. Para medir la potencia de la caldera, y como dato anecdótico, Watt recurrió a medir la potencia promedio de muchos caballos, y obtuvo unos 33.000 libras-pie/minuto o sea 550 libras-pie/seg., valor que denominó HORSE POWER, potencia de un caballo. Posteriormente, al transferirlo al sistema métrico de unidades, daba algo más de 76 Kg. m/seg. Pero, la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de París, resolvió redondear ese valor a 75 más fácil de simplificar, llamándolo "Caballo Vapor" en homenaje a Watt.

Las calderas de vapor, básicamente constan de 2 partes principales:

**Cámara de agua:** Recibe este nombre el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera, el nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 15 cms., por lo menos a los tubos o conductos de humo superiores. Con esto, a toda caldera le corresponde una cierta capacidad de agua, lo cual forma la cámara de agua. Según la razón que existe entre la capacidad de la cámara de agua y la superficie de

calefacción, se distinguen calderas de gran volumen, mediano y pequeño volumen de agua.

Las calderas de gran volumen de agua son las más sencillas y de construcción antigua. Se componen de uno a dos cilindros unidos entre sí y tienen una capacidad superior a 150 H de agua por cada m<sup>2</sup> de superficie de calefacción.

Las calderas de mediano volumen de agua están provistas de varios tubos de humo y también de algunos tubos de agua, con lo cual aumenta la superficie de calefacción, sin aumentar el volumen total del agua.

Las calderas de pequeño volumen de agua están formadas por numerosos tubos de agua de pequeño diámetro, con los cuales se aumenta considerablemente la superficie de calefacción.

Como características importantes podemos considerar que las calderas de gran volumen de agua tienen la cualidad de mantener más o menos estable la presión del vapor y el nivel del agua, pero tienen el defecto de ser muy lentas en el encendido, y debido a su reducida superficie producen poco vapor. Son muy peligrosas en caso de explosión y poco económicas.

Por otro lado, la caldera de pequeño volumen de agua, por su gran superficie de calefacción, es muy rápida en la producción de vapor, tienen muy buen rendimiento y producen grandes cantidades de vapor. Debido a esto requieren especial cuidado en la alimentación del agua y regulación del fuego, pues de faltarles alimentación, pueden secarse y quemarse en breves minutos.

**Cámara de vapor:** Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión. Cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

## **Tipos de calderas (58)**

### **Calderas de Gran Volumen de Agua.**

- Calderas Sencillas.
- Calderas con Hervidores.
- Calderas de Hogar Interior.

### **Caldera de Mediano Volumen de Agua (Ignitubulares).**

- Caldera Semitubular.
- Caldera Locomotora.
- Calderas de Galloway.
- Locomóviles.
- Calderas Marinas.
- Semifijas.
- Calderas Combinadas.

### **Calderas de Pequeño Volumen de Agua**

#### **-Acuotubulares. Tipos.**

- Caldera Babcock-Wilcox.
- Calderas Stirling.
- Caldera Borsig..
- Caldera Yarrow y Thornycroft.

#### **-Con tubos de Humo y de Agua.**

#### **-Pilotubulares. Tipos**

- Calderas horizontales.

Los generadores de vapor pilotubulares presentan los siguientes tres subsistemas:

- Subsistema de preparación del combustible;
- Subsistema de tratamiento del agua de alimentación.
- Subsistema de generación de vapor.

### **Subsistema de preparación del combustible**

Este subsistema tiene como objetivo fundamental garantizar que el combustible llegue al quemador de los generadores de vapor con la presión y temperatura requerida. Esta

es una condición importante para la explotación eficiente de estos equipos, la cual en múltiples ocasiones no se cumple con el debido rigor, ocasionando diferentes averías en los quemadores.

Las principales variables son:

- Presión en la línea de combustible.
- Temperatura en el tanque de alimentación de combustible.
- Nivel en los tanques de alimentación de combustible.

### **Subsistemas de tratamiento del agua de alimentación.**

El agua a introducir en la caldera para ser convertida en vapor debe ser debidamente tratada para evitar los siguientes problemas de operación, provocados por las condiciones de elevada presión y temperatura a las que se produce este proceso de transferencia de calor:

- Incrustaciones en las tuberías, lo que ocasiona una considerable disminución de la superficie de transferencia de calor, perdiéndose eficiencia en el proceso.
- Aumento de la resistencia calórica de las paredes de las tuberías, lo que puede provocar deformaciones en las partes afectadas.
- Depositiones de sólidos, lo cual origina constantes purgas (con las pérdidas de energía que estas ocasionan), así como paradas frecuentes para la limpieza del cuerpo del generador de vapor.
- Obstrucciones en las tuberías, lo cual provoca sobrepresión en la línea y por tanto puede ocurrir la destrucción de estas.

Las variables en este subsistema son:

- Conductividad del agua.
- Nivel en los tanques de alimentación de agua.
- Temperatura del agua de alimentación.

Con el objetivo de aumentar la eficiencia energética de la caldera es de gran importancia alimentar el generador de vapor con agua a determinada temperatura, aproximadamente entre 60-80 °C (preferiblemente 80 °C). Esto implica que para convertir esta agua en vapor se necesite una menor cantidad de calor. En este subsistema se considera que la temperatura del agua de alimentación no debe exceder los límites establecidos (60-80 °C), pues de excederse se elevarían las pérdidas de

energía en las tuberías no aisladas y las bombas de agua sufrirían un elevado calentamiento para el cual no están preparadas, lo que trae consigo una reducción del tiempo de vida útil de estos equipos.

### **Subsistema de generación de vapor**

Este subsistema constituye el elemento clave para la obtención de una elevada eficiencia energética del generador de vapor (GV). Una mejora en este subsistema presenta una repercusión más significativa sobre la eficiencia de la caldera que en el resto de los subsistemas, lográndose una mejor relación costo-eficiencia.

Las principales variables subsistema son:

- Presión en el cuerpo del generador de vapor.
- Flujo de combustible a la entrada del generador de vapor.
- Nivel en el cuerpo del generador de vapor.
- Opacidad y temperatura de los gases de escape.

### **Particularidades del procesamiento industrial de las conservas de frutas.**

La producción mundial de conservas de frutas es del orden de los dos millones toneladas y presenta tendencia creciente en los últimos años: las conservas de durazno es el principal producto con el 67% del total; la elaboración de ensalada de frutas con el 17%, peras el 13% y damascos el 3%. Los principales productores son Grecia (400.000 ton), España (160.000 t). ; EE.UU. (760.000 t), es el líder de la producción de duraznos y peras; Italia y España la de damascos, y Sudáfrica e Italia la de ensalada de frutas. **(32)**

A pesar de la gran popularidad de los alimentos enlatados, la principal limitación del proceso es la calidad del producto final. Dado que la comida no es buena conductora del calor, para matar a los organismos que pudieran causar enfermedades o la descomposición de los alimentos, es necesario aplicar al recipiente, durante cierto tiempo, el calor suficiente para garantizar que éste llegue al centro del alimento enlatado, a su 'punto frío'. Este método de preservación hace que los alimentos pierdan su jugo, textura, sabor y nutrientes. La bolsa retorta, desarrollada en la década de los años setenta para paliar este problema, es un laminado de tres capas, una externa y otra interna de plástico y una central de aluminio. La bolsa, que tiene un



grosor aproximado de 19 mm, se llena y se sella al vacío. Dado que la relación superficie/volumen es muy elevada, el calor sólo tiene que penetrar menos de 10 mm desde la superficie hasta el 'punto frío', con lo que se obtienen productos de mucha mayor calidad. **(51)**

En el caso del envasado aséptico, los alimentos se cocinan y esterilizan en primer lugar, y luego se envasan en condiciones de asepsia. Esto ayuda a conservar los sabores y los nutrientes, dado que se requieren tiempos de calentamiento mucho menores.

El envase Tetra-pack desarrollado en la década de los años setenta para paliar este problema, es un laminado de tres capas, una externa y otra interna de plástico y una central de aluminio. La bolsa, que tiene un grosor aproximado de 19 mm, se llena y se sella al vacío. Dado que la relación superficie / volumen es muy elevada, el calor sólo tiene que penetrar menos de 10 mm desde la superficie hasta el 'punto frío', con lo que se obtienen productos de mucha mayor calidad.

La descripción de cualquier proceso tecnológico de conservación de alimentos permite comprender que un detalle fundamental en el mismo es el uso de la energía asociada a la posibilidad de alcanzar los requerimientos necesarios de los productos, en este caso los portadores energéticos decisivos son: energía eléctrica y vapor, que unidos a una tecnología eficiente permiten alcanzar mejores índices de consumo y bajos consumos de estos portadores. **(31)**

### **Epígrafe 1.3. Diagnósticos energéticos (TGEE).**

En los países desarrollados se pusieron en práctica políticas de ahorro en varios sentidos simultáneos. Estas acciones pasaron a formar parte de la política energética de estos países, logrando desacoplar los ritmos de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), del consumo de energía. Entre los elementos fundamentales de esas políticas 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. **(17)**

Desde 1990 el consumo de energía por unidad de Producto Interno Bruto (PIB) a nivel mundial se ha reducido a razón de 2% por año, sin embargo, parte importante de esta reducción viene de los países de mayor desarrollo.

En el periodo 1980 – 2002 los países desarrollados lograron una reducción del 24 % en su intensidad energética, mientras que en ese mismo periodo, por el contrario, los países de América Latina y El Caribe incrementaron la intensidad energética en un 2 %.

**(11)**

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, la misma implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos establecidos por el cliente, con el menor consumo y gasto energético posible, y la menor contaminación ambiental por este concepto

La TGTEE (Tecnología de gestión total eficiente de la energía) consiste en un paquete de procedimientos, herramientas técnico-organizativas y software especializado, que aplicado de forma continua y con la filosofía de la gestión total de la calidad, permite establecer nuevos hábitos de dirección, control, diagnóstico y uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de ahorro, conservación y reducción de los costos energéticos en una empresa.

Su objetivo no es sólo diagnosticar y dejar un plan de medidas, sino esencialmente elevar las capacidades técnico-organizativas de la empresa, de forma tal que esta sea capaz de desarrollar un proceso de mejora continua de la eficiencia energética.

La TGTEE incorpora un conjunto de procedimientos y herramientas innovadoras en el campo de la gestión energética. Es particularmente novedoso el sistema de control energético, que incorpora todos los elementos necesarios para que exista verdaderamente control de la eficiencia energética.

Su implantación se realiza mediante un ciclo de capacitación, prueba de la necesidad, diagnóstico energético, estudio socio ambiental, diseño del plan, organización de los

recursos humanos, aplicación de acciones y medidas, supervisión, control, consolidación y evaluación, en una estrecha coordinación con la dirección de la empresa. La tecnología ha tenido una amplia generalización en empresas del país, demostrando su efectividad para crear en las empresas capacidades permanentes para la administración eficiente de la energía, alcanzando significativos impactos económicos, sociales y ambientales, y contribuyendo a la creación de una cultura energética ambiental. El diagnóstico o auditoría energética constituye una etapa básica, de máxima importancia dentro de todas las actividades incluidas en la organización, seguimiento y evaluación de un programa de ahorro y uso eficiente de la energía, el que a su vez constituye la pieza fundamental en un sistema de gestión energética.

Para el diagnóstico energético se emplean distintas técnicas para evaluar grado de eficiencia con que se produce, transforma y usa la energía. 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.

En resumen, los objetivos del diagnóstico energético son:

- Evaluar cuantitativamente y cualitativamente el consumo de energía.
- Determinar la eficiencia energética, pérdidas y despilfarros de energía en equipos y procesos.
- Identificar potenciales de ahorro energético y económico.
- Establecer indicadores energéticos de control y estrategias de operación y mantenimiento.
- Definir posibles medidas y proyectos para ahorrar energía y reducir costos energéticos, evaluados técnica y económicamente. **(10)**

Constituye una necesidad impostergable el estudio de los consumos energéticos y sus tendencias de crecimiento para los próximos años aplicando técnicas que permitan la obtención de resultados confiables en sectores, ramas, y entidades consumidores en el país y en especial el sector hotelero.

La gestión energética, que puede definirse como el análisis, planificación y toma de decisiones con el fin de obtener el mayor rendimiento posible de la energía que se utiliza no es más que lograr un uso más racional de la misma que permita reducir el consumo sin disminuir el nivel de producción o servicios.

El diagnóstico energético según el Manual Básico de Auditoria del CADEM (España 1997) es un servicio de asistencia técnica que permite un chequeo de la situación energética, a través de un análisis energético, emitiendo las propuestas de orientaciones y/o soluciones. El diagnóstico puede ejecutarse periódicamente en función de los niveles de consumo y el tipo de equipos y de instalaciones existentes.

Este diagnóstico puede ser ejecutado por empresas de consultoría o por expertos energéticos debiendo en su ejecución estar libre de complejidades así como ser asequible y entendible para el usuario. **(13)**

La metodología de trabajo debe contemplar una información aportada por el usuario a la que seguirá un análisis preliminar de los datos aportados, visitas a la instalación y toma de datos necesarios, el análisis y la evaluación y por último la elaboración y la entrega de un informe. Los medios que deben utilizarse en un diagnóstico son: no menos de dos técnicos bien preparados y experimentados así como medios de medición y en caso de ser necesario programas informáticos.

Para que un diagnóstico tenga éxito se requiere de dos elementos fundamentales:

1. El usuario del diagnóstico debe estar convencido de la necesidad del diagnóstico y colaborar dando datos que sean fiables, todo el apoyo logístico y la facilidad de movimientos al personal que ejecuta el diagnóstico y aceptando finalmente sus resultados y dándole el seguimiento requerido a las recomendaciones emitidas en el mismo.
2. Para confeccionar el diagnóstico los datos contenidos deben ser fiables, concisos, debe ser flexible y las recomendaciones emitidas deben ser técnicamente posible de ejecutar con una rentabilidad atrayente para el usuario.

El diagnóstico energético, según el Instituto de Investigaciones Eléctricas de México (Julio de 1997) lo define como la herramienta fundamental para saber cuánto, cómo,

dónde y por qué se consume la energía dentro de una entidad y así mismo establecer el grado de eficiencia de su utilización para lo cual se requiere de una inspección y de un análisis energético detallado de los consumos y pérdidas de energía, este no puede alcanzar ahorros significativos a largo plazo sin el respaldo de un programa permanente de seguimiento y control dentro de una empresa y por lo tanto va a formar parte de un programa integral de ahorro de energía. El diagnóstico energético de nivel 1 en México incluye: una inspección del centro, recopilación de datos relacionados con energía, producción, mantenimiento y control técnico, mediciones con equipos de medición portátiles, el análisis de los datos y las mediciones, y la preparación de una memoria con las conclusiones de las observaciones y los análisis. **(11)**

El diagnóstico energético del segundo nivel además de lo ejecutado en el primer nivel se analizan los sistemas propios de los procesos de la empresa, es decir las unidades productivas que los componen, que se introducen en los aspectos de calidad, mantenimiento y organización como elementos indirectos en los consumos de la energía. Los diagnósticos energéticos son la vía más acertada de conocer la situación actual y real de cualquier proceso, permitiéndonos tomar las medidas necesarias a tiempo para disminuir costos y lograr ahorros de los portadores.

En procesos productivos como la conservación de alimentos el uso eficiente de la energía es una tarea de primer orden puesto que los costos de los productos, la energía y el impacto ambiental se encuentran muy relacionados, por tanto lo descrito; en este trabajo resulta una herramienta de trabajo clave para lograr el objetivo de mejorar la gestión energética empresarial.

## **Capítulo 2. Aplicación de la tecnología de gestión eficiente de la energía en el establecimiento “Los Atrevidos”.**

### **Epígrafe 2.1 Caracterización del centro y del objeto de estudio.**

El sistema que se analizara a continuación se encuentra ubicado en el establecimiento “Los Atrevidos” del Municipio Remedios perteneciente a la Empresa de conservas Villa Clara, este centro se dedica a la producción de dulces en conservas, para lo cual posee diferentes áreas en las cuales se desarrolla el proceso productivo, destacándose:

**-Generación de Vapor:** El equipo que se encuentra en explotación tiene una capacidad de 2,9 t/h, marca SADECA, el cual se encuentra sobredimensionado para satisfacer la demanda de calor, existe otro equipo de 1,2 t/h; marca D.Dakovich, el cual se encuentra paralizado por un quemador, bombas de agua e insulación, sin embargo es el adecuado para la demanda del proceso. **Ver Anexo I**

**-Cocción:** compuesta por marmitas, equipos de esterilización y autoclaves.

**-Áreas de llenado, tapado y esterilización:** donde se materializa el proceso productivo.

**-Área de Termo formado:** en ella se elabora la pasta de guayaba, es una de las áreas claves del centro en cuanto a consumos energéticos.

### **Epígrafe 2.2. Aplicación de la tecnología de gestión eficiente de la energía**

El diagnostico realizado se fundamenta en la Metodología sobre la determinación de las áreas y puestos claves en el consumo energético del centro, la secuencia de trabajo de la misma es la siguiente:

- Definir los portadores energéticos del establecimiento.
- Determinar las áreas y puestos claves.
- Proponer los índices de consumo según corresponda.
- Utilización de gráficos como herramientas estadísticas.

### 2.2.1. Definición de los portadores energéticos.

Los portadores energéticos utilizados en el centro son:

- a) fuel oil.
- b) electricidad.
- c) vapor (como portador secundario).

A continuación se muestran los datos estadísticos sobre el uso del fuel oil y la electricidad como portadores energéticos principales.

**Tabla 1. Consumos históricos del centro.**

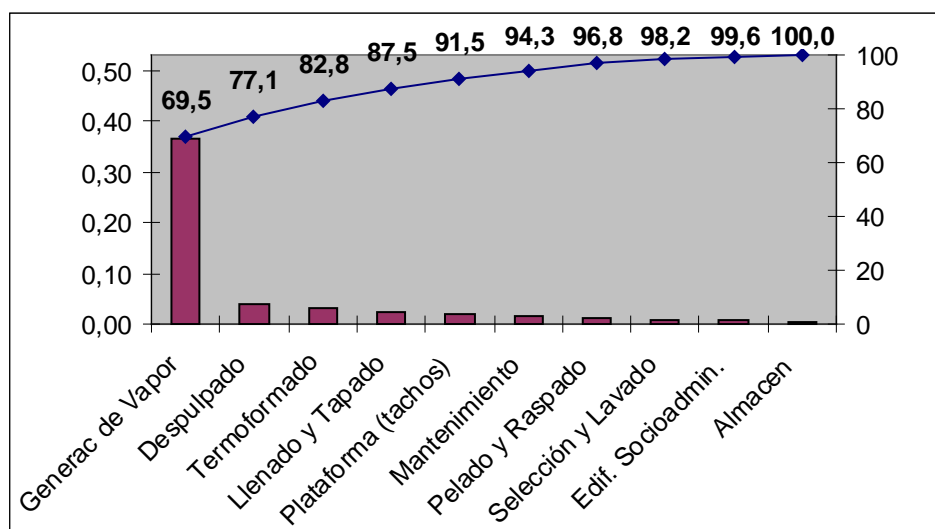
Años	Consumo electricidad	Consumo fuel oil	Producción	Índice elect.	Índice fuel oil
	MW-h	t			
1998	30,880	52,262	603,129	0,051	0,095
1999	41,720	67,942	582,726	0,050	0,082
2000	30,680	20,245	670,454	0,004	0,005
2001	39,920	70,086	670,454	0,060	0,105
2002	32,900	43,975	566,427	0,058	0,078
2003	39,420	55,667	799,400	0,049	0,070
2004	39,480	46,041	495,123	0,080	0,093
2005	38,480	55,652	641,691	0,060	0,087
2006	30,560	59,080	729,357	0,042	0,081
2007	30,000	56,645	748,292	0,040	0,076
Totales	353,800	527,596	6507,053	0,048	0,081
Promedio	35,380	52,760	650,705	0,054	0,081

## 2.2.2. Determinación de las áreas y puestos claves de consumo.

**Tabla 2. Estructura de consumo por áreas.**

Determinación de los puestos claves								
Estructura por áreas								
	Energía Eléctrica			Fuel oil		Total general		
Areas	Fisica	tcc	%	tcc	%	tcc	%	%Acum
Generación vapor	0.135	0.048	23.038	0.318	100	0.366	69.50	<b>69.50</b>
Despulpado	0.113	0.040	19.283			0.040	7.64	<b>77.14</b>
Termo formado	0.083	0.030	14.164			0.030	5.61	<b>82.75</b>
Llenado y Tapado	0.070	0.025	11.945			0.025	4.73	87.49
Plataforma (tachos)	0.059	0.021	10.068			0.021	3.99	91.48
Mantenimiento	0.041	0.015	6.997			0.015	2.77	94.25
Pelado y Raspado	0.038	0.014	6.485			0.014	2.57	96.82
Selección	0.021	0.007	3.584			0.007	1.42	98.24
Edif. Socioadmin.	0.020	0.007	3.413			0.007	1.35	99.59
Almacén	0.006	0.002	1.024			0.002	0.41	100.00
Total	0.586	0.209	100.000			0.527		

**Grafico de las áreas 1.**



Como se puede observar se deciden como áreas claves: generación de vapor, despulpado y termo formado.

### Estructura de consumo en el área de generación de vapor.

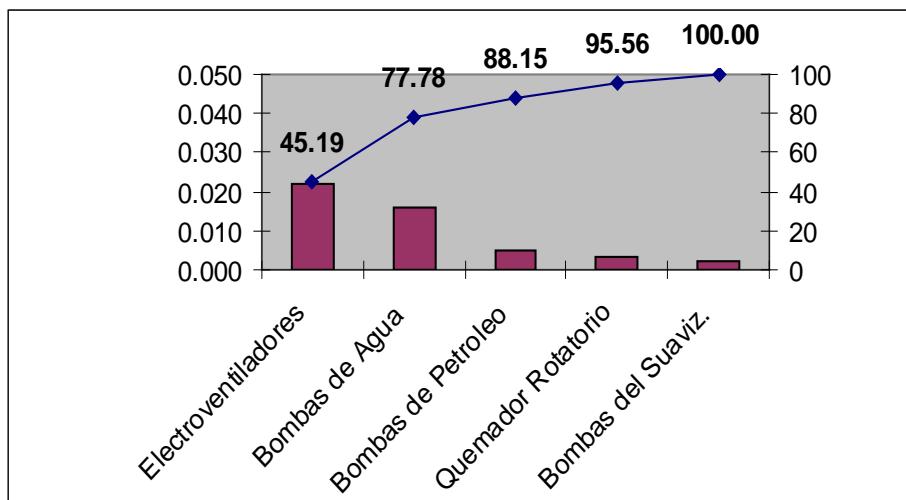
Este análisis se efectúa tomando como base la demanda diaria de los portadores:



**Tabla 3. Portador: electricidad**

No	Motores eléctricos de equipos	Físico (Mwh).	tcc	%	% Acum.
1	Electro ventiladores	0.061	0.022	45.19	<b>45.19</b>
2	Bombas de Agua	0.044	0.016	32.59	<b>77.78</b>
3	Bombas de Petróleo	0.014	0.005	10.37	88.15
4	Quemador Rotatorio	0.010	0.004	7.41	95.56
5	Bombas del Suavizador	0.006	0.002	4.44	100.00
	Total Área	0.135	0.048		

**Grafico 2. Distribución de consumos eléctricos en el área de generación.**



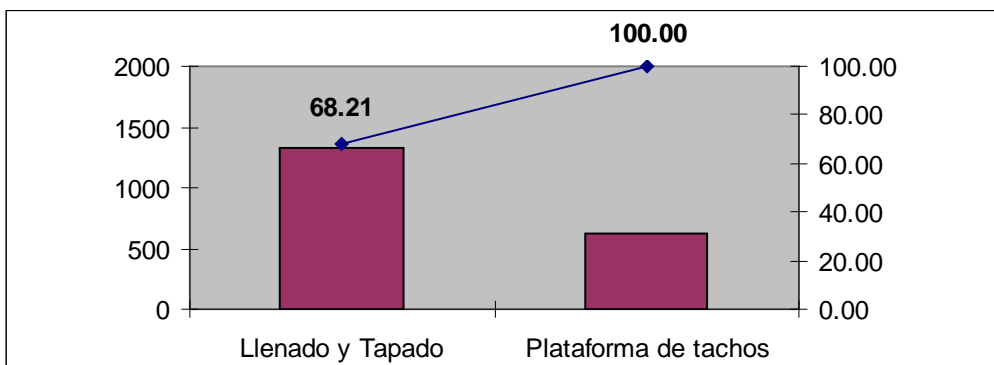
Del análisis gráfico estadístico se puede apreciar que los electroventiladores son los puestos claves en cuanto a consumo eléctrico.

#### **Análisis del vapor como portador secundario**

**Tabla 4. Portador: vapor**

No.	Áreas	Consumo de vapor (kgv/h).	%	% acum.
1	Llenado y Tapado	1330	68.205	<b>68.21</b>
2	Plataforma de tachos	620	31.795	100.00
3	Total	1950		100.00

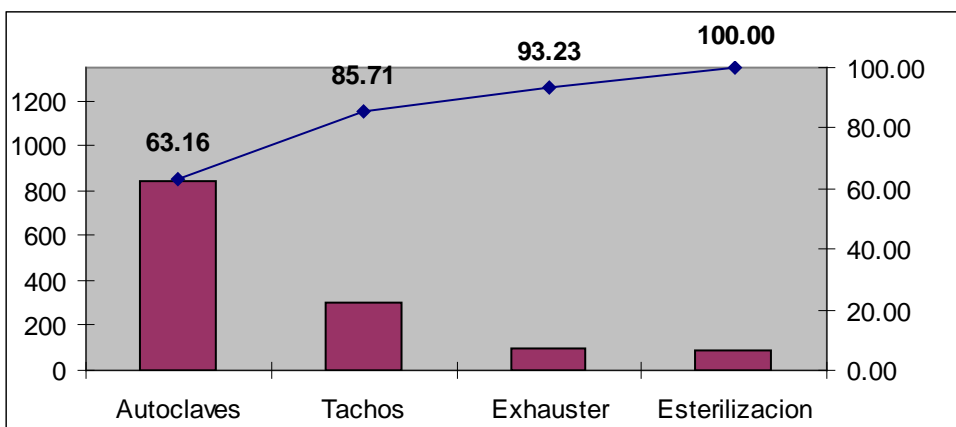
**Grafico 3. Distribución del consumo de vapor.**



**Tabla 5. Distribución del consumo de vapor en el área clave de Llenado y tapado.**

No	Equipos	Consumo de vapor (KgV./h)	%	%acum.
1	Autoclaves	840	63.158	<b>63.16</b>
2	Tachos	300	22.556	<b>85.71</b>
3	Exhauster	100	7.519	93.23
4	Esterilización	90	6.767	100.00
	Total	1330		

**Grafico 4. Puestos claves en el consumo de vapor.**



### 2.2.3. Propuesta de los Índices de Consumo.

En la instalación analizada no existen hoy índices de consumos normados, lo cual quedara establecido, como se expresa en la siguiente tabla.

**Tabla 6. Análisis de la propuesta de Índices de consumo.**

Áreas	Puesto Clave	Consumo diario	Cap. en 6h	Índices de Consumo
	Equipo	kW.		Valor
Generación	Electroventiladores	61.25	180t	<b>0.340</b>
	Bombas de agua	44.38	60m3	<b>0.730</b>
Despulpado	Despulpador	40.4	216t	<b>0.190</b>
	Repasador 1	23.1	80t	<b>0.280</b>
	Repasador 2	23.1	80t	<b>0.280</b>
Termoformado	Compresor grande	31.5	216m3	<b>0.140</b>
	Compresor pequeño	16.8	144m3	<b>0.120</b>
	Esteras retractiladora	12.6	1800u	<b>0.007</b>
	Bomba de vacío	7.56	60m3	<b>0.120</b>

### **Epígrafe 2.3. Plan de medidas para el mejoramiento de los índices de consumo.**

Una vez determinados los Puestos Claves se elabora el Plan de medidas para lograr la eliminación de los altos consumos y adecuarlos a los niveles de gastos según los índices requeridos

- 1- Capacitación a cuadros y operarios de puestos claves sobre temas relacionados con la gestión energética.
- 2-Cumplimiento de los mantenimientos programados a las calderas, así como ejecución de las guías de operación de acuerdo a como se encuentran establecidas.
- 3-Eliminación de salideros de agua, vapor y combustibles presentes en el centro.
- 4- Aislamiento de 10 metros de tuberías de vapor.
- 5- Analizar los registros diarios de consumo de electricidad, agua y fuel de acuerdo a las producciones realizadas para tomar las medidas necesarias de forma inmediata.
- 6- Cambiar 6 motores sobredimensionados.
- 7-Mejorar el estado técnico de los equipos de compresión y bombeo. Valorar la sustitución de 3 de ellos por equipos nuevos.

8-Realizar estudios de mantenimiento por diagnostico relacionado con los generadores de vapor, los equipos de despulpado y la línea de termo formado.

9-Automatizar los puestos claves, el 80 % del equipamiento trabaja de forma manual.

10- Adquirir equipos de medición tales como: amperímetros de gancho, flujo metros de agua.

### Cálculos Estimados con la aplicación de estas medidas:

**Tabla 7.Ahorros potenciales totales estimados**

Portador	Unidades físicas	Valor en USD
Electricidad	1,2 MWh /año	120.00
Fuel oil	16,58 t/año	7253.74
Total	-	<b>7373.74</b>

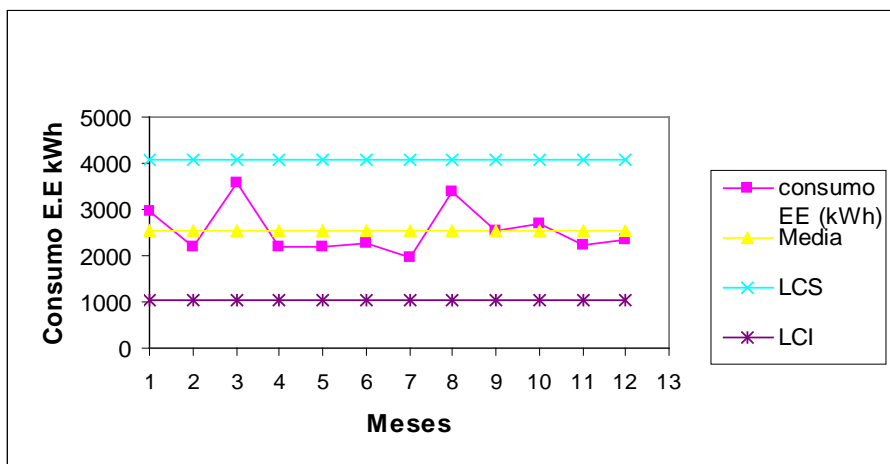
### Epígrafe 2.4. Utilización de gráficos como herramientas estadísticas.

#### Portador: Energía Eléctrica.

##### Gráfico de control.

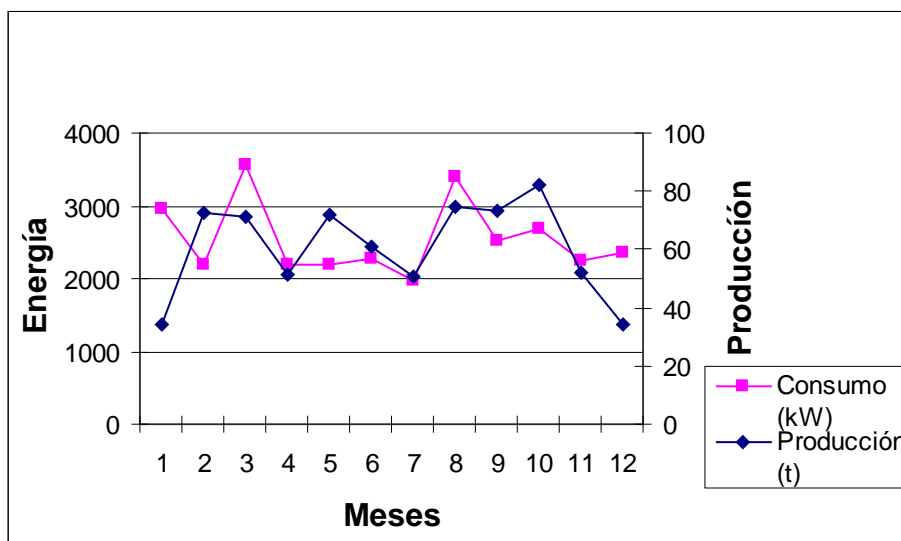
Este tipo de grafico nos permite analizar el comportamiento del consumo a lo largo del año, en este caso tiene un carácter estacional, con un pico pronunciado durante los meses de la cosecha (marzo y agosto).El valor de la desviación estándar resulta ser del mismo orden que el valor medio de la distribución, el centro no entrega energía eléctrica al sistema electro energético nacional.

#### Grafico 5. Control de energia eléctrica vs. tiempo.



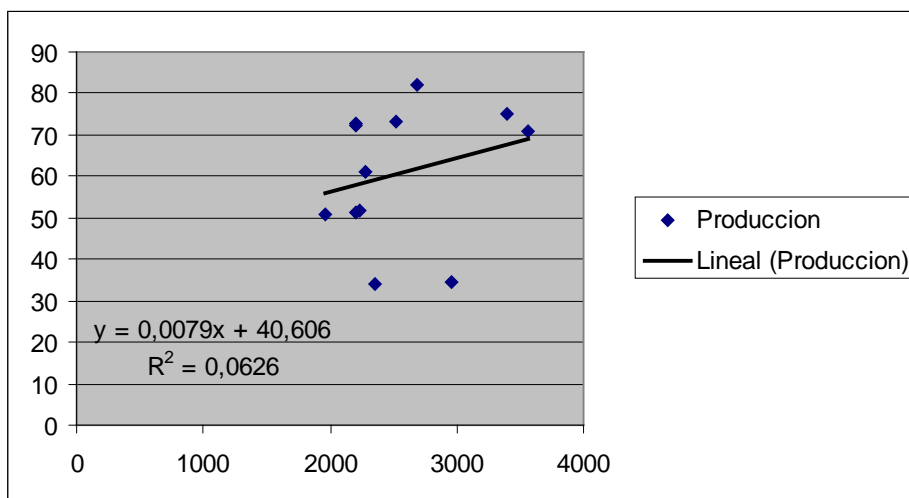
Al analizar el grafico considerando solo los meses fuera del pico de la cosecha, el régimen productivo resulta más estable y los límites tanto superiores como inferiores toman un valor proporcional al comportamiento de la actividad productiva que se estudia.

**Grafico 6. Consumo de energía – prod. vs. tiempo.**



El grafico muestra como el consumo de energía se incrementa en los meses donde existe en pico de cosecha, a pesar de no existir un aumento productivo significativo, pues este sobreconsumo esta dado por las características propias de la etapa como son funcionamiento de mayor cantidad de equipos involucrados en el proceso productivo, necesarios en actividades tales como lavado, estera de selección, molida y despulpado, generación de vapor, termo formado, etc.

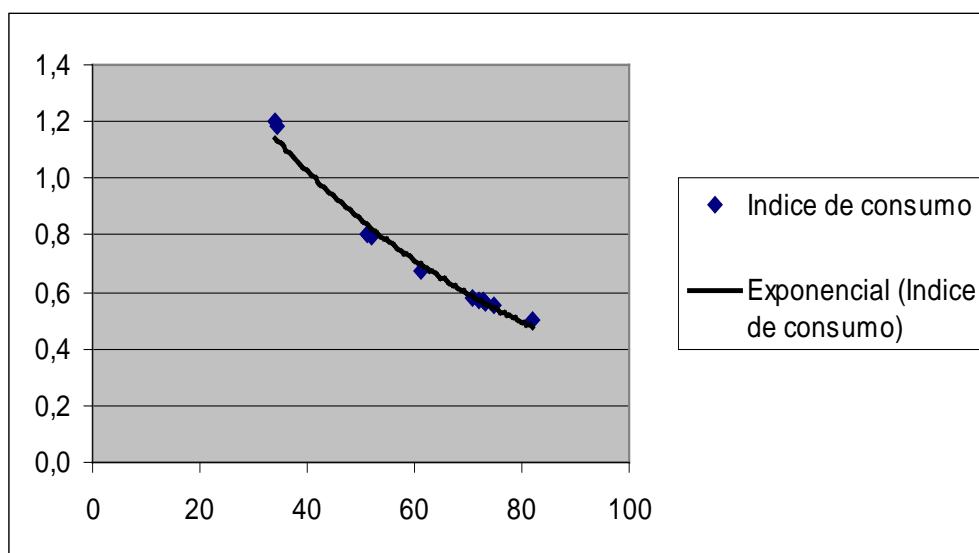
**Grafico 7. Consumo vs. Producción.**



El gráfico de consumo de energía vs. producción, muestra una pequeña correlación ( $R^2 = 0.0626$ ), lo que es un indicador de la gran dispersión de los resultados medidos. Esto es también una consecuencia del efecto ya discutido del carácter estacional de la producción, representado por los altos consumos de los meses de cosecha.

Por otro lado, la pendiente ( $m = 0.0079 \text{ Kwh/t}$ ) está subrayando la relativa independencia del consumo con relación al respaldo productivo obtenido, es decir, se consume casi lo mismo independiente de la producción. Esto indica un elevado componente de los consumos auxiliares o no productivos (como iluminación, administración, servicios y otros) comparados con los consumo directamente asociados a la producción.

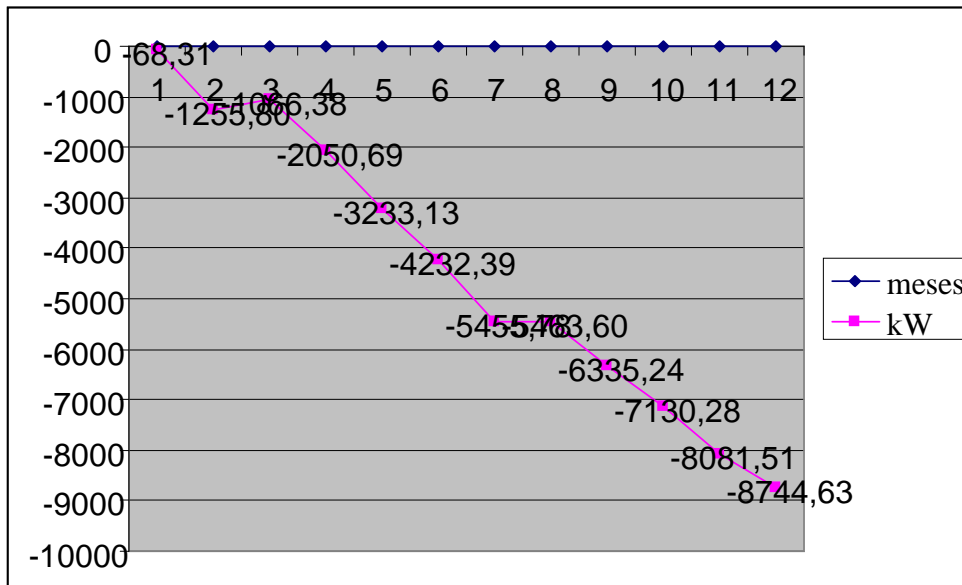
**Gráfico 8. Índice de Consumo vs. Producción**



Se observa 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, pero el gasto energético por unidad de producto aumenta, debido a que aumenta el peso relativo de la energía no asociada a la producción respecto a la energía productiva, esto cambiaría si los niveles de producción aumentaran, puesto que el gasto por unidad de producto disminuiría.

Este tipo tiene un punto crítico a partir del cual comienza a elevarse el índice de consumo para bajas valores de producción, dado fundamentalmente por la energía no asociada a la producción.

**Gráfico 9. Tendencias en el consumo de energía eléctrica.**



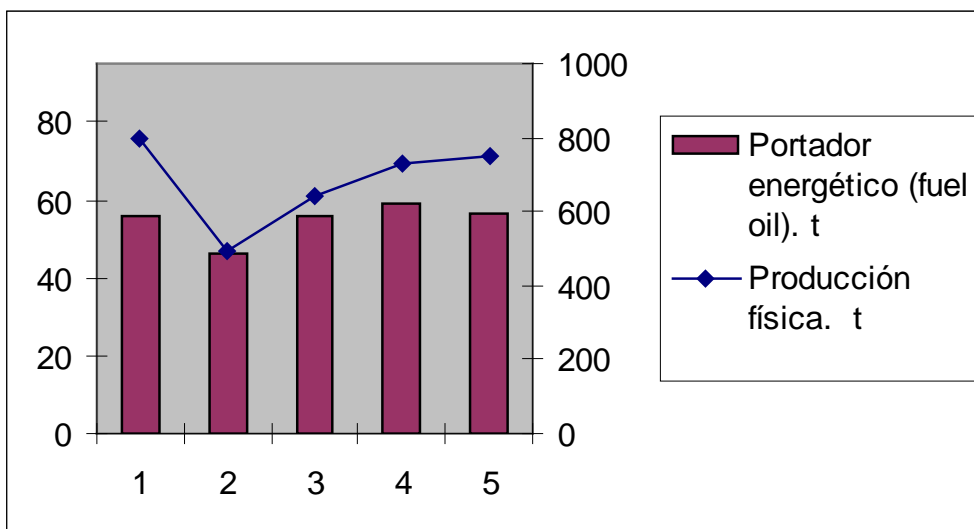
El gráfico de tendencias (CUSUM) muestra la tendencia al ahorro durante el período analizado. En este caso, el valor de dicho efecto neto es evidentemente negativo (ahorro), lo cual nos indica que en el año 2007 se concluye que el cumplimiento del plan de producción se realizó con **8.744 MW** dejados de consumir lo que demuestra que el sistema operó con eficiencia a pesar de la necesidad de tomar medidas técnico-organizativas.

**Portador: fuel oil**

**Tabla 8. Consumo de fuel oil (Periodo 5 años).**

No	Años	Portador Energético (Fuel Oil) t	Producción Física t
1	2003	55,7	799,4
2	2004	46,04	495,12
3	2005	55,65	641,7
4	2006	59,08	729,36
5	2007	56,65	748,3
6	Promedio	<b>54,62</b>	<b>682,8</b>

**Grafico 10. Comportamiento del consumo de fuel-oil.**



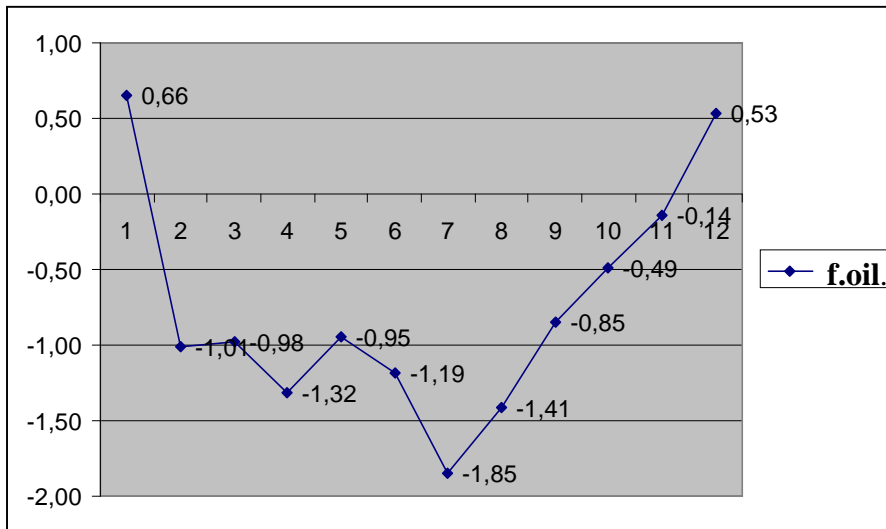
Como se observa el consumo de fuel oil se encuentra en una relación proporcional respecto a la producción física, independientemente que del año 2004 existió un ajuste del plan de producción con una disminución de ambos factores; a partir de ahí el comportamiento de la misma es de forma ascendente y los consumos se mantienen en una magnitud muy similar.

Si se realiza una valoración de los índices observamos que estos son insignificativos con un promedio de **0,081 kW/t**; esto se debe a la utilización de materias primas importadas lo cual hace que se utilice menos fuel oil en la producción.

Con la aplicación de **TGEE** se obtiene un estimado del comportamiento futuro en el consumo del fuel oil, a continuación se muestra el resultado de esta herramienta estadística.



**Grafico 11. Tendencias en el consumo de fuel oil.**



Queda demostrado que el equipo presenta una tendencia al sobre consumo como indica el gráfico anterior, este muestra un aumento del consumo en relación al año anterior, existiendo un sobreconsumo en el período analizado de **0.53 t**. En este caso, el valor de dicho efecto neto es evidentemente positivo (sobreconsumo), lo cual nos indica que en el año 2007 se concluye que un aumento productivo trajo un sobre consumo de fuel-oil lo que nos da una idea de la importancia que se le debe prestar al área de generación de vapor y sus puestos claves debido a que son los que mas inciden en este resultado.

### **Capitulo 3. Evaluación termotécnica y económica en el área de generación.**

#### **3.1. Medidas recomendadas para el incremento de la eficiencia en el área de generación de vapor (10).**

Las medidas que se recomiendan responden a la eliminación deficiencias que existen actualmente en la operación y funcionamiento del área:

- Análisis de la composición de los gases de escape
- Precalentamiento adecuado del combustible.
- Manejo adecuado de la viscosidad del combustible (líquido).
- Ajuste de la combustión (optimización de la relación aire/combustible).
- Control adecuado del régimen químico.
- Recuperadores de calor de gases de salida y en las purgas.
- Uso de controles automáticos de combustión y tiro.
- Utilización de la instrumentación necesaria para el control operacional del equipo.
- Mejorar el aislamiento térmico en tuberías y tanque de agua de alimentación.
- Incrementar recuperación de condensados.
- Eliminación de fugas y salideros.

##### **3.1.1. Determinación de los potenciales de ahorro estimado en función de aplicar algunas de las medidas antes señaladas.**

Para realizar los cálculos se tomaron los consumos de fuel oil 2007 (**56,65 t**) y el precio de la t de fuel oil en **437,5 USD**.

**Tabla 9. Ahorros potenciales**

<b>Medidas a aplicar y estimado de ahorro (%) por concepto de disminución de las pérdidas.</b>	<b>fuel oil (t)</b>	<b>Valores (USD)</b>
<b>-Análisis de la composición de los gases de escape. (7)</b>	<b>4,00</b>	<b>1750.00</b>
<b>-Ajuste de la combustión. (5)</b>	<b>2,80</b>	<b>1225.00</b>
<b>-Utilización de la instrumentación necesaria. (5)</b>	<b>2,80</b>	<b>1225.00</b>
<b>-Mejorar el aislamiento térmico. (80)</b>	<b>2,27</b>	<b>993.12</b>
<b>-Incrementar recuperación de condensados.(4)</b>	<b>2,15</b>	<b>940.62</b>
<b>-Eliminación de fugas y salideros. ( 4,5 )</b>	<b>2,56</b>	<b>1120.00</b>
<b>Totales</b>	<b>16,58</b>	<b>7253.74</b>

### **3.2 Caracterización del estado técnico y funcional del generador de vapor marca SADECA.**

El estado técnico del equipo es regular debido a los años de explotación y a la falta de recursos para cumplir con los mantenimientos y reparaciones programadas, no obstante el mismo se mantiene operando con una eficiencia adecuada acorde a las condiciones actuales, su disponibilidad técnica es del **91 %** garantizando el vapor necesario para el proceso productivo, téngase en cuenta que en este año se sobrecumplió el plan de producción, se debe señalar que es necesario acometer una serie de medidas técnicas que permitan una disminución de los consumos energéticos debido a que a partir del 2008 y por decisiones de la Dirección del país, las importaciones de materias primas serán reducidas por lo que debemos realizar molidas de productos agrícolas lo cual hace que el equipo trabaje mas horas.

En otro orden, el equipo se encuentra operando con una sola bomba de agua, el precalentamiento de petróleo es insuficiente, los electroventiladores son los mayores consumidores de electricidad del centro, no se recupera todo el condensado, existen salideros de agua, vapor y fuel oil. **Ver Anexo II**

No existe prácticamente ningún control automático, la instrumentación se encuentra incompleta, el tratamiento agua no es el adecuado debido a la utilización de productos químicos como la formula 1000P la cual no se emplea en la actualidad, falta de aislamiento térmico en tuberías de vapor e incluso en la superficie externa del equipo y de trampas de vapor.

La línea central de vapor presenta un manífor el cual se encarga de distribuir el flujo de vapor hacia las áreas de consumo donde se encuentran los principales equipos para realizar la elaboración de los productos, en cada ramal existe una válvula reguladora de línea de 4 Kg. /cm<sup>2</sup>. El sistema tiene trampas de vapor y cheques de retención, pero no los necesarios para que el mismo funcione correctamente. **Ver Anexo III**

Debemos señalar que en las tuberías de distribución y alimentación a los consumidores, existe durante el proceso de producción; un flujo de vapor que se mantiene constante y en tránsito.

### 3.3. Determinación de la eficiencia del equipo.

A continuación se muestran los datos técnicos nominales y reales en cuanto a la operación del equipo.

**Tabla 10. Datos del generador de vapor.**

Parámetros	nominal	valor real	UM	Datos obtenidos :
Capacidad	2900	2900	Kgv/h	datos de chapa
Temperatura del vapor	170	165	°C	medición
Presión del vapor	8	7	Kg./cm <sup>2</sup>	medición
Presión del agua alimentac.	10	8.5	Kg./cm <sup>2</sup>	medición
Temperatura agua alimentac.	80	82	°C	medición
Temperatura de gases	200	294	°C	medición
Temperatura combustible	100	90	°C	medición
Exceso de aire	1,10	-	-	datos de chapa
Consumo combustible	220	220	Kg./h	medición
CO <sub>2</sub> en escape	14	10	%	medición
O <sub>2</sub> en escape	1,9	7	%	medición
% de purgas	-	3	%	estimado
Caudal de agua.	2900	2900	Kg/h.	estimado
Temperatura de superficie	-	62	°C	medición
Temperatura ambiente	30	30	°C	medición
Diámetro de la caldera	2,4	2,4	m	medición
Largo de la caldera	5,2	5,2	m	medición
Altura	2,6	2,6	m	medición
Grado de rendimiento	87,7	-	%	Doc. técnica.

#### **Balance de masas.**

Para el agua:

Flujo de agua = Flujo de vapor + (3%) purgas

$$2900 \text{ Kg. /h} = 2813 \text{ Kg. /h} + 87 \text{ Kg. /h}$$

Para el combustible y los gases: el mismo se efectúa en el momento de realizar el cálculo de los componentes del gas de escape.

### Balance de energía.

La energía que entra al sistema se calcula como la suma del Valor calórico inferior del combustible y su entalpía para ello es necesario conocer las características del combustible utilizado.

Composición del combustible	%
Carbono.....C	83.8
Hidrógeno.....H	11.2
Oxígeno.....O	0.4
Nitrógeno.....N	0.2
Azufre.....S	1.4
Cenizas.....A	0
Humedad.....W	3.0

### Determinación del calor disponible Qd

$$Qd = Vci + hc \quad (1)$$

$$Vci = \text{Valor calórico inferior} = 81 C + 246 H - 26 (O + P) - 6 W \quad (1.1)$$

$$Vci = 39\,675 \text{ kJ/Kg.}$$

$$hc = \text{entalpía del combustible} = Cc + tc \quad (1.2)$$

donde Cc es el calor específico del combustible

$$Cc = 0.415 + 0.0006 tc \quad tc = 90^\circ\text{C} \quad \text{temp. del combustible} \quad (1.3)$$

$$Cc = 0.469 \text{ Kcal. /Kg. C}$$

$$hc = 176.7 \text{ KJ/Kg.}$$

Sustituyendo en (1) **Qd = 39 851.7 KJ/Kg.**

### Método Indirecto

$$\text{Eficiencia del generador} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (2)$$

donde:

q<sub>2</sub>: pérdidas por calor sensible en los gases de salida %

q<sub>3</sub>: pérdidas por in combustión química %

q<sub>4</sub>: pérdidas de calor por in combustión mecánica %

q<sub>5</sub>: pérdidas por radiación al medio ambiente %

q<sub>6</sub>: pérdidas por calor físico de las cenizas "Solo se calcula para combustibles sólidos, ya que los líquidos y los gases proporcionan residuos de poca magnitud". %

### 3.3.1. Determinación de los valores de las pérdidas de calor:

Formulario utilizado al efecto:

$$q_2 = ((h_{gs} - \alpha_{sal} \cdot h_{afrio})/Q_d) \cdot (100 - q_4).$$

$$\alpha_{sal} = 1(1 - (3.76 (O_2 - 0.5 CO)/N_2))$$

$$CO = ((21 - BCO_2) - (CO_2 + O_2)) / (0.605 + B)$$

$$B = 2.85 ((H + 0.126 O + 0.04 N)/(C + 0.375S))$$

$$N_2 = 100 - (CO_2 + O_2 + CO)$$

$$h_{gs} = h_{go} + (\alpha_{sal} - 1) h_{ao}$$

$$h_{go} = V_{RO_2} (C_{fl}) R_{O_2} + V_{N_2} (C_{fl}) N_2 + V_{H_2O} (C_{fl}) H_{2O}$$

$$V_{RO_2} = 1.866 (C + 0.375 S) / 100$$

$$V_{N_2} = 0.7 V_o + 0.8 (N / 100)$$

$$(2.10) V_o = 0.0889 (C + 0.375 S) + 0.265 H - 0.0333 O$$

$$V_{H_2O} = 0.111 H + 0.0124 W + 0.00161 d V_o$$

$$(2.12) q_3 = ((100 - q_4)/Q_d) \cdot 30.2 CO V_g$$

$$V_g = V_{RO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + (\alpha_{sal} - 1) V_o$$

$$V_{H_2O} = V_{H_2O} + 0.00161 d (\alpha_{sal} - 1) V_o$$

$$q_5 = \text{Raíz Cuadrada } (100 / \text{Rend } (t/h)) \cdot a$$

#### Leyenda

$h_{gs}$ : entalpía de los gases de salida (KJ /Kg.)

$\alpha_{sal}$ : coeficiente de exceso de aire

$h_{afrio}$ : entalpía del aire frío (kJ/Kg.)

CO: monóxido de carbono en los gases de combustión. (%)

$N_2$ : nitrógeno en los gases de combustión. (%)

$O_2$ : Oxígeno en los gases de combustión (%)

$CO_2$ : Dióxido de carbono en los gases de combustión (%)

B: coeficiente que toma en consideración la composición del combustible

$h_{go}$ : entalpía de la cantidad teórica de gases (Kcal. /Kg.)

$h_{ao}$ : entalpía de la cantidad teórica de aire (KJ/Kg.)

$V_{RO_2}$ : volumen real de gases triatómicos (m<sup>3</sup>/Kg.)

$V_{H_2O}$ : volumen teórico de vapor de agua (m<sup>3</sup>/Kg.)

$V_{N_2}$ : volumen teórico de nitrógeno (m<sup>3</sup>/Kg.)

(C<sub>fl</sub>): producto del calor específico por la temperatura de los gases.(Kcal./Kg.)

(Cfl)RO<sub>2</sub> = 107.045    (Cfl) N<sub>2</sub> = 76.27    (Cfl) H<sub>2</sub>O = 89.71

Vo: cantidad teórica necesaria de aire para la combustión (m<sup>3</sup>/Kg.)

d: Humedad del aire 16 (grs. /Kg.)

Vg.: Volumen real de gases a la salida de la caldera. (m<sup>3</sup>/Kg.)

VH<sub>2</sub>O: Volumen real de vapor de agua en los gases de la combustión (m<sup>3</sup>/Kg.)

a: factor de capacidad de la caldera (tabulado): 1,22 **(21)**

### Resultados obtenidos:

**Tabla 11. Valores para la operación actual del generador de vapor.**

Parámetros	U/M	Magnitud	Energia de entrada (kJ/Kg.)	Energia de salida (kJ/Kg.)
VH <sub>2</sub> O	m <sup>3</sup> /Kg.	3.680	-	-
VRO <sub>2</sub>	m <sup>3</sup> /Kg.	3,394	-	-
VN <sub>2</sub>	m <sup>3</sup> /Kg.	18,115	-	-
Vo	m <sup>3</sup> /Kg.	23,210	-	-
Vg.	m <sup>3</sup> /Kg.	35,730	-	-
Exceso de aire	-	1,454	-	-
q <sub>2</sub>	%	30,28	-	12067,1
q <sub>3</sub>	%	1,05	-	418,4
q <sub>4</sub>	%	0	-	-
q <sub>5</sub>	%	7,16	-	2853,4
q <sub>6</sub>	%	0	-	-
q <sub>1</sub>	%	<b>61,51</b>	-	<b>24513</b>
P <sub>ci</sub>	%	99,6	39675,00	-
Calor de calentamiento del combustible	%	0,4	176,7	-
Total	%	100	39851,7	39851,7

### 3.3.2. Balance exergoeconómico del generador de vapor.

En el **Anexo IV** se muestra un esquema exergético de los flujos que representan al sistema.

#### **Balance de exergía. (37)**

$B_{entra} = B_{sale}$                       donde    B: Exergía de una sustancia

$DL = (B_{entra} - B_{sale}) > 0$

$DL = (B_{agua} + B_{combustible}) - (B_{vapor} + B_{purgas} + B_{gases\ de\ sal.})$

Para el agua, el vapor, las purgas y los gases de salida:

$B = b * (\text{Flujo de la sustancia})$

b: exergía específica para la sustancia que se analiza y se calcula como:

$b = (h - h_0) - T_0 (S - S_0)$     donde  $h_0$ ,  $S_0$ ,  $T_0$  son las entalpías, entropías y temperatura para el Estado muerto de la sustancia.

$h$ ,  $S$ ,  $T$  son las entalpías, entropías y temperatura a la que se encuentra la sustancia y se encuentran tabuladas.

Datos necesarios para efectuar los cálculos:

$T_0 = 303\ K$      $S_0 = 0.4369\ KJ/kg\ K$      $h_0 = 125.79\ KJ/kg$      $P_0 = 101.3\ kPa$

**En las siguientes tablas se muestran los valores de entalpía, entropía y exergía de las sustancias que intervienen en el sistema analizado.**

**Tabla 12.**

Sustancias	$h(KJ/Kg.)$	$S(KJ/kgK)$	$b (KJ/Kg.)$
<b>Agua</b>	410.99	1.285	28.114
<b>purgas</b>	887.03	2.402	165.421
<b>vapor</b>	3049.9	6.854	979.496

**Para los gases de salida su b se calcula como la suma de las exergías de sus componentes**



**Tabla 13.**

<b>Magnitud/comp.</b>	<b>CO2</b>	<b>N2</b>	<b>H2O</b>	<b>Aire</b>
h	471.02	591.48	1066.35	572.59
ho	217.09	314.44	558.67	303.33
S	5.4641	7.5091	11.7059	7.3502
So	4.8684	6.8527	10.5056	6.7126
vol	1.0714	1.6831	2.6173	1.6277
30grados (vol)	0.5727	0.8996	1.3990	0.8700
b	73.33	78.04	143.80	75.97

Flujos del sistema:

agua :2900 Kg/h , vapor: 2813 Kg/h purgas:87 Kg/h

gases: (se calcula como el producto del  $V_g$  por el consumo de combustible entre el peso específico de los gases).

**Bagua** = bagua \* Flujo de agua =  $28.114 * 2900 = 81530.6$  KJ/h

**Bvapor** = b vapor \* Flujo de vapor =  $979.496 * 2813 = 2755322.248$  KJ/h

**Bpurgas** = bpurgas \* Flujo de purgas =  $165.421 * 87 = 14391.627$  KJ/h

**Bgases** = bgases \* Flujo de gases =  $295.17 * 2746.51 = 810690$  KJ/kg

**Bcombustible** = b combustible \* Flujo de combustible

$41798.95 * 220 = 9\ 195\ 769$  KJ/Kg.

**bcombustible** =  $k ( 1066 + 67.4 w + 1875 v + 3784 S - 177.8 E )$ .

$k = 7.817 C \quad v = 3N / 7C \quad S = 1 + ( ( 3 ( H - ( O - S ) / 8 ) / C$

$w = 6H/C \quad E = 3S/8C$  donde C, H, N, O, S es la composición del combustible en fracciones de unidad.

**b combustible** =  $41\ 798.95$  KJ/Kg.

**DL** = (Bagua + Bcombustible) – (Bvapor + Bpurgas + Bgases)

$9277299.6 - 3580404 = \underline{5696895.43\ KJ/kg}$

**Efic. Exerg** = (Bsale / Bentra) = **0.38**

Coeficiente de Irreversibilidad = (DL/Bentra) = 0.76

### 3.3.3. Termoeconomía

Calculo de la eficiencia exergética racional

$$Efexr = B_{vapor} / DL = 0.50$$

$$\text{Costo unitario del vapor} = B_{comb} / B_{vapor} = 3.79$$

Consideraremos el costo de combustible igual a su precio que es el dato que tenemos en este caso es **437.5 USD/ t** de fuel oil.

**Tabla 14 .Valores de los coeficientes para el calculo exergoeconómico.**

horas de trabajo anual (A)	1440	horas	6 horas/día
produc de vapor anual (Mp)	4176	t	20 días/mes
consumo de comb. anual	56,65	t	
inversión (I)	32715	USD	
consumo de agua anual	4176	t	
valor del combustible	437.5	USD/t	
tasa de amortización (Ng)	7	%/año	
tasa de retorno (R )	12	%/año	
valor del agua (Z)	0,25	USD/t	

#### **Costo exergoeconómico del vapor**

$$\text{Costo} = \text{costo exergético unitario} * \text{valor del combustible} = 1658,125 \text{ USD/t}$$

$$\text{Costo exergoeconómico anual (Ñ)} = 6924330 \text{ USD}$$

$$\text{Costo} = (Ng+R)*I/Mp*A+Z*Mp+Ñ = 6931589,85 \text{ USD/año}$$

$$\text{Costo exergoeconómico del vapor} = 1659,86 \text{ USD/t}$$

### **3.4. Cálculo técnico- económico de las pérdidas que se producen en operación de la instalación, en función de aplicar las medidas propuestas.**

El objetivo para todos los generadores de vapor es que produzcan el máximo de vapor con la cantidad de petróleo empleada, esto significa que se debe aprovechar en la medida lo más amplia posible, la energía contenida en el combustible; lo cual se logra asegurando a través del control permanente del funcionamiento de los quemadores y la vigilancia del proceso de combustión; que las pérdidas durante este proceso se

mantengan lo más bajo posible y que se reduzcan a aquel volumen que está condicionado objetivamente por la acción de las leyes de la física o al diseño constructivo del fabricante, por consiguiente el grado de eficiencia del equipo debe ser lo más elevado en la medida de las circunstancias.

Para cumplir con estos requisitos se deben aplicar medidas como:

- 1. Analizar la composición de los gases de escape.**
- 2. Ajustar la combustión (relación aire / combustible).**
- 3. Utilizar de la instrumentación necesaria.**
- 4. Mejorar el aislamiento térmico.**
- 5. Incrementar recuperación de condensados.**
- 6. Eliminar las fugas y salideros.**

A continuación se efectuara una evaluación del grado de incidencia en las perdidas, el consumo de fuel oil y la eficiencia con que se encuentra operando el generador de vapor; objeto de estudio; para lo cual se empleara una secuencia de cálculos donde se analizaran aquellos coeficientes que intervienen de manera directa en obtener el objetivo antes señalado.

**-Factor o índice de evaporación:** representa un indicador de la calidad del equipo, incluido su fuego, el cual expresa la cantidad de kg de vapor que se produce por kg de combustible, el mismo fluctúa entre **12 y 14 kgv/kg**.

El generador posee una capacidad de 2900 kgv/h y un consumo de combustible de 220 kg /h, por lo que el factor de evaporación es **13,18 kgv/kg**; se observa que se encuentra en el rango recomendado, no obstante a ello este indicador no se analiza; esto permitiría evaluar de forma estadística y periódicamente el funcionamiento del equipo en cuanto a consumos de fuel oil.

#### **3.4.1. Pérdidas de calor en el funcionamiento del generador**

Estas son inevitables y se deben a los procesos físicos que ocurren en los sistemas; pueden tener diversas causas, destacándose aquellas relacionadas con la combustión y los procesos de transferencia de calor.

Entre ellas las más significativas son:

**q3:** perdidas por in combustión química %

**q5:** perdidas por radiación al medio ambiente %

**q2:** perdidas por calor sensible en los gases de salida %

En el Balance energético se obtuvo el valor de cada una de ellas, si se realiza una comparación con los valores nominales de operación del equipo se puede determinar el consumo de combustible que se produce por no realizar un control adecuado de las mismas.

**En la siguiente tabla se muestran los valores de acuerdo a las normas con que la instalación debería estar operando.**

**Tabla 15.**

Parámetros	U/M	Magnitud	Energia de entrada (kJ/Kg.)	Energia de salida (kJ/Kg.)
Vg.(volumen real de los gases de salida	m3/Kg.	27,36	-	-
Exceso de aire	-	<b>1,10</b>	-	-
q2	%	23,19	-	9241,6
q3	%	<b>0,50</b>	-	199,3
q4	%	<b>0</b>	-	-
q5	%	<b>5,00</b>	-	597,8
q6	%	<b>0</b>	-	-
q1	%	<b>74,81</b>	-	<b>28693,0</b>

**Perdidas por in combustión química (q3):** La misma se produce cuando no hay la cantidad de aire suficiente, existe una mala atomización del petróleo, así como en caso de subenfriamiento de la llama, debido a un exceso de aire o a un aire demasiado frío en la combustión, esto provoca sedimentaciones en el hogar y en las áreas de caldeo, reduciendo la transferencia de calor de la llama al agua contenida en el equipo. **(56)**

Se forma coque u hollín, la pérdida que ocasiona este último se denomina índice de Bacharach, este no debe sobrepasar el **valor 4**, puesto que no se observara humo en los gases de escape.

Las sedimentaciones pueden ser determinadas mediante la siguiente expresión:

$R = 0,0184$  (Diferencia entre la temperatura de los gases de salida reales y los proyectados).

**$R = 1,73$  mm de capa de hollin**

Se presenta una diferencia de un 0,55 % que representan **52,29 kcal/kg**, de pérdidas. Si esta magnitud se multiplica por el consumo de combustible, **el valor de la pérdida seria de 11504,05 kcal/h ó 1,22 kg/h**

**Perdidas por radiación, conducción y convección del calor al medio ambiente (q5):**

La magnitud de la pérdida depende del tamaño (superficie), diseño constructivo e insulación térmica del generador. Cuando se trata de determinar pérdidas sencillas se pueden determinar aproximadamente de la siguiente forma:

$q_5 = \text{Raíz cuadrada } (100 / \text{Rend (t/h)}) * a$

Como se observa de los cálculos realizados con anterioridad existe una diferencia de un **2,16 %** en relación a los valores normados lo cual representan **(538,33 kcal/h** de perdidas.

**El valor de la pérdida seria de 118432,6 kcal/h ó 12,46 kg/h**

**Perdidas por calor sensible en los gases de salida q2:** Esta pérdida se produce a causa de la diferencia de temperatura entre el aire ambiental y los gases de escape, es determinante y es la que mejor se puede controlar y vigilar; se encuentra relacionada muy directamente con el índice de exceso de aire.

-Índice de exceso de aire: Durante el proceso de la combustión la demanda teórica de aire depende de los elementos contenidos en el combustible y en la práctica no es

posible efectuar una combustión completa con un volumen de aire teórico mínimo de aire, para ello cada partícula inflamable dentro de la llama tendría que entrar en contacto con las partículas de oxígeno y provocar una reacción.

Por tanto este índice no es más que la proporción real de aire suministrado por encima del volumen teórico, tratándose de mantener lo más bajo posible, puesto que ese exceso necesita ser calentado. lo cual provoca una disminución de la llama, además al existir una mayor cantidad de humo, existe una pérdida de calor mayor en los gases de escape.

El análisis de la composición de los gases es necesario puesto que para realizar mediciones o cálculos de la eficiencia en generadores de vapor se requiere poseer esta información, esto es aplicable al funcionamiento económico de la instalación.

Estas mediciones se deben realizar al final de la cámara de combustión y los parámetros principales a obtener son el % de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, además de la temperatura de salida de los gases. Se considera que para un índice de exceso de aire igual a la unidad se obtiene la mayor cantidad de dióxido de carbono, esto permite realizar los ajustes necesarios a los quemadores.

Según **(21)** para el fuel oil medio pesado el valor de CO<sub>2</sub> máx., es 15,7 %; el cual en relación a las mediciones que se poseen (10%) nos permite determinar que el exceso de aire tiene una magnitud de **1,57** el cual se encuentra fuera de los parámetros según las normas,

En el caso del O<sub>2</sub> se considera que cuando existe una combustión sin exceso de aire los gases no contienen oxígeno este se puede medir o determinar según la expresión:

$$\text{Alfa sal} = 21 / (21 - \text{O}_2)$$

Para las mediciones que se poseen (7%), el valor de alfa sal es **1,5** el cual corrobora el análisis anterior para el CO<sub>2</sub>,

En el caso de la temperatura de los gases de salida las mediciones indican un valor de 294 °C, magnitud esta muy superior a las recomendadas lo cual puede ocasionar hasta un 0.4% de sobreconsumo de fuel en el funcionamiento de la instalación

Si se toma como base el grado de eficiencia antes calculado de acuerdo a los parámetros normados o sea 74,81, el consumo de combustible se puede determinar de acuerdo al método directo de cálculo que plantea:

Eficiencia de equipo  $E_k = (m_d * A_i) / m_b * P_{ci}$  donde:

$E_k = 74,81$

$m_d$ : capacidad de generación de vapor 2900 kgv/h

$A_i$ : Diferencia entre el contenido calórico del vapor y el agua de alimentación (359 – 82)  
= 277 Kcal. / Kg.

$P_{ci}$ : 9500 Kcal. / Kg.

$m_b$ : consumo de combustible Kg. /h

$m_b = ((m_d * A_i) / (P_{ci} * E_k)) * 100 = 113,03 \text{ kg/h}$

Para la eficiencia real de 61,51 el resultado es  $m_b = 137,47 \text{ kg/h}$

**Existiendo un sobreconsumo de 24,44 kg/h**

Debemos señalar que cada una de estas perdidas se interrelacionan entre si producto a diversos factores que tienen en común y debido a los procesos de transferencia de calor que ocurren durante el funcionamiento de la instalación.

El **promedio total** del sobreconsumo de combustible debido a las pérdidas es **12,7 kg/h (18,29 t/año)**, lo cual ratifica los cálculos referidos a la ineficiencia del proceso y se aproxima al potencial de ahorro estimado de **16,58 t /año**.

Si las pérdidas analizadas con anterioridad se eliminaran al aplicar las medidas recomendadas, lográndose que el equipo opere dentro de los parámetros normados entonces al aplicar los análisis exergéticos y exergoeconómicos se obtendrían los siguientes resultados:

**Bagua = = 81530.6 KJ/h**

**Bvapor = 2755322.248 KJ/h**

**Bpurgas = 14391.627 KJ/h**

**Bgases = 620780.88 KJ/kg**

**Bcombustible = 9 195 769 KJ/Kg.**

**DL = (Bagua + Bcombustible) – (Bvapor + Bpurgas + Bgases)**

**9277299.6 - 3390494.75 = 5886804.85. KJ/kg**

**Efic. Exerg = 0.36**

Eficiencia exergética racional

**Efexr = 0.48**

Costo unitario del vapor = **3.64**

**Costo exergoeconómico del vapor**

Costo = 1592,5 USD/t

Costo exergoeconómico anual = 6650280 USD

**Costo = 6657539,85 USD/año**

**Costo exergoeconómico del vapor = 1594,24 USD/t**

**Se puede apreciar que existe una disminución de 274,05 USD/año en el costo exergoeconómico y en 65.52 USD/t el costo del vapor, de ahí la importancia que tiene el inmediato análisis y aplicación de los aspectos antes evaluados.**

### **3.4.2. MISCELANEAS**

Existen otras consideraciones que se deben tener en cuenta en el momento de realizar análisis en cuanto a la eficiencia del sistema objeto de estudio entre las cuales se encuentran:

- a) La insulación térmica.
- b) Economía del condensado.
- c) Los instrumentos de medición y control.
- d) Las fugas o salideros de vapor.



## **Insulación térmica**

Se estima que se evitan hasta un 80% de pérdidas energía producto a las condiciones óptimas de aislamiento térmico, lo cual en la realidad no se logra o no se le da la importancia que tiene este aspecto. A manera de ejemplo es efectuaron cálculos relacionados con el tanque de agua de alimentación del generador y de tuberías de vapor, los cuales presentan problemas de aislamiento deficiente.

### **-Tanque de agua de alimentación:**

Datos técnicos:

Capacidad: 2 m cúbicos

Área de fondo 1,57 m cuadrados

Área total: 9,42 m cuadrados

La perdida se determina por la siguiente expresión:

$qT = A \text{ total} * k * (t_i - t_c)$  donde  $k$  es el índice de transmisión de calor, el cual se encuentra tabulado cuyo valor es 8,5 Kcal / m cuad h grd.

$t_i$ : temperatura promedio del agua 80 °C

$t_c$ : temperatura ambiente: 30 °C

La perdida seria de 4003,5 kcal /h , lo cual representa un sobreconsumo de:

$mb = (qT * 0,8 * \text{horas de trabajo}) / Pcs * \text{Efic del Equipo}$

horas de trabajo: 4176

Pcs: 10300

Efic del Equipo: 61,51

$mb = 2128,74 \text{ kg / año} = \mathbf{2,13 \text{ t / año}}$

### **-Tuberías de vapor:**

1. Temperatura del vapor: 165 °C

Diámetro Interior : 40 mm

Diámetro exterior : 48 mm

Longitud: 10 m

Área: 1,5 m cuad.

$qTub$  según cálculos similares tiene un valor de 637,5 kcal/h lo cual significa un sobreconsumo de  $mb = \mathbf{0,34 \text{ t / año}}$

2. En el **Anexo V** se muestran cálculos realizados con el objetivo de proponer el espesor de aislamiento más adecuado desde el punto de vista energético y económico para solucionar problemas reales existentes en el centro referido a la insulación térmica.

### **Economía del condensado**

En cualquier empresa la recuperación de condensado constituye una fuente esencial para eliminar las pérdidas que se producen en el proceso y muchas de las cuales son inevitables, el mismo se realiza mediante una serie de medidas técnico organizativas y administrativas, con ello la demanda de agua para la generación se puede cubrir totalmente.

Dentro de las fuentes de pérdidas en la economía del condensado se encuentra la no utilización del vapor de expansión, la ausencia de tuberías de retorno, el empleo de trampas de vapor defectuosas, mal instaladas.

En el centro se recupera condensado, no en su totalidad debido precisamente al mal funcionamiento de las trampas o válvulas de extracción.

### **Los instrumentos de medición y control**

Es importante destacar la necesidad de emplear estos medios, debido a que permiten realizar el control de las operaciones, registrar y evaluar periódicamente los resultados que se obtienen. En el Establecimiento aunque se poseen los medios esenciales (manómetros, termómetros, presostatos etc.) no existen flujo metros de ningún tipo y aunque la entidad posee un equipo ORSATF para realizar análisis de gases, este no se emplea; además los análisis estadísticos no se realizan con toda la profundidad que requiere el tema. En otro orden los controles son manuales, solo existe alguna automatización en los controles de nivel de agua del generador, por lo cual es necesario e impostergable una valoración adecuada de este aspecto.

### **Las fugas o salideros de vapor.**

Anualmente se pierde gran cantidad de combustible debido a las fugas ya sea del propio combustible, el vapor e incluso el agua, estimándose que estas pueden encontrarse en el rango siguiente:

Una fuga entre 0,8 – 9,5 mm provoca un escape de 1,5 a 213 kg/mes de vapor lo cual representa una perdida de 0,116 a 16, 4 litros/mes de fuel oil. Por tanto es necesario eliminarlas a la mayor brevedad; el costo de esta tarea es mínimo por lo que se debe mantener estrecha vigilancia sobre el tema. Si se tiene en cuenta la obsolescencia técnica de las instalaciones y el deterioro físico de estas, entonces existe una alta probabilidad que se produzcan estos fenómenos, los cuales no deben ser pasados por alto, por el costo que a la larga conllevan.

### **3.5. Evaluación del impacto ambiental del generador en un periodo anual.**

Al quemar combustibles fósiles se envían a la atmósfera sustancias residuales de dicha combustión que son altamente nocivas para los seres humanos y para el medio ambiente. Cuando el Carbono, por ejemplo, que se emite a la atmósfera por las chimeneas de las industrias se combina con el oxígeno del aire, se forma el dióxido de carbono, gas de referencia en el calculo de los potenciales de efecto invernadero de acuerdo con el Protocolo de Kyoto. También se emiten otros gases que son causantes de lluvias ácidas y de afecciones respiratorias en los seres humanos. **(55)**

Según los datos de emisiones que posee la Oficina de Estadística y el Ministerio de Ciencia e Innovación Tecnológica (CITMA) por cada Kwh. generado en una de nuestras centrales termoeléctricas se emiten a la atmósfera **750g** de dióxido de carbono y para generarlo se necesitan **(277- 300) g**; de fuel oil con un índice de emisión de **3 g/L**.

Se estima que de aplicarse las medidas recomendadas se eliminarían el sobreconsumo de fuel oil e incluso se lograrían ahorros en el orden de las **18 t**, por tanto se disminuiría la contaminación ambiental; dejándose de emitir a la atmósfera un total de **0,055 t** de dióxido de Carbono, por el solo concepto de eliminar las perdidas que producen actualmente en la explotación del equipo.

## Conclusiones

1. La aplicación de la TGEE nos permitió conocer que los electroventiladores y las bombas de agua son los puestos claves del área, quedando establecidos sus índices de consumo normado, **(0,34 y 0,73) kW/t**; respectivamente; además existe una tendencia futura al sobreconsumo de fuel oil de **0,53 t** y a un ahorro de **8.7 MW** de acuerdo al grafico de tendencia analizado
2. Se calculo un ahorro en el orden de las **18 t** de combustible con un valor de **8002 USD**, y una elevación de **13 %** por encima de la eficiencia actual del generador (**62 %**), como resultado de las medidas propuestas; para mejorar la operación de la instalación, permitiendo conocer que se puede disminuir el costo unitario del vapor en **65.52 USD/t** y el costo exergoeconomico en **274.00 USD/año** de implementar las medidas propuestas.
3. De particular importancia es el análisis referido a la emisión de dióxido de Carbono donde se podría evitar la emisión de **0,055 t**, producto de mejorar la eficiencia con que se encuentra operando el sistema.

## **Recomendaciones**

1. Se debe establecer una norma relacionada con la recopilación de datos estadísticos para el cálculo y análisis del factor de evaporación, que permita evaluar el consumo periódico de fuel oil del equipo y tomar las medidas necesarias de acuerdo a los resultados que se obtengan.
2. La entidad debe adquirir los equipos de medición modernos con control automático que permitan registrar los datos concernientes a cada una de las operaciones sobre todo aquellas relacionadas con la combustión y realizar la evaluación técnica correspondiente
3. Realizar estudios energéticos dirigidos a evaluar el consumo eléctrico y de agua del centro, que fundamenten la aplicación de medidas que eleven la gestión en estos aspectos y que permitan mejorar la economía energética de la entidad.

## **Bibliografía.**

1. Acción Ecológica, Informe Especial: Los pueblos Surra y Achura. Una nueva batalla por la soberanía. Abya Yala. Quito. 1999.
2. Acción Ecológica: Asesinato a un defensor de los derechos ambientales en el Coca. Bolted de Preens. 2003.
3. Altamonte, H: Sostenibilidad de la energía en América Latina y el Caribe from <http://www.eclac.org/cgi-bin/get Prod.asp>.
4. Arthouros, Z.: Developing wind energy to meet the Kyoto targets in the European Unión.6:309-319. 2003.
5. Astrom, K. J. & Wittenmark, B: Adaptive Control, Second Edition, Addison-Wesley, 1977.
6. Autómata programable NODOREM ICID-1067, Manual de usuario, ICID, Cuba, 1992. Vol. XXI, No. 2, 2000
7. Basely, N.: Oilwatching in South América. Environmental Rights Action. Benin City. Nigeria. 1998.
8. Betancourt.: Los inicios de la ingeniería moderna en Europa, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid, 1996.
9. Boletín Trimestral No 11 Pág. 2 (Abril – Junio) [http://www, medio ambiente .cu /redpml .cu](http://www.medioambiente.cu/redpml.cu). 2005
10. Borroto Nordelo, A.E: “Gestión energética empresarial” .Versión electrónica. Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, p 98. 2002
11. Borroto Nordelo, A.E. & Viego Felipe, P: Gestión Energética Empresarial. Diplomado en Gestión Eficiente de la Energía. Universidad Autónoma de Baja California, Tecate, B.C., México, 2001.
12. Borroto Nordelo, A.E & Borroto Bermúdez, A.J: El Verdadero Costo de la Energía... Revista Mundo Eléctrico Colombiano. 1999.
13. Borroto Nordelo, A.E: Administración de Energía: Auditorias Energéticas y Cogeneración. Aníbal Borroto Nordelo, Especialización en Ciencias Térmicas, Universidad de Valle, Cali, Colombia, 1997.
14. Bravo, E. & Yáñez I: Explotación Petrolera en los Trópicos. (Eds.). Quito.
15. Bychko, B. J: Procesos químicos y termo energéticos. Dinámica y control. t.II, Ed. ENPES, Ciudad de La Habana, 1988.

16. Cambio Climático [http:// www .textos científicos.com/clima/cambio climat.htm](http://www.textoscientificos.com/clima/cambioclimat.htm). 2006.
17. Campos Avella, J.C: La Eficiencia Energética en la Gestión Empresarial. et.al., Editorial Universidad de Cienfuegos, Cuba, ISBN 959-257-018-3, 1997.
18. Campos Avella, J.C: Herramientas para Establecer un Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía. Diplomado en Gestión Energética, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, 2000.
19. Capa de ozono [http// www.meteosort.com/meteosort/cas/q/29 htm](http://www.meteosort.com/meteosort/cas/q/29.htm)
30. Castilla, L.M: Promoción del desarrollo empresarial en América Latina. (2006).
20. Comisión Europea, Dirección General de Energía y Transportes [http: / europa.eu .int/ comm/dgs/energy \\_ transport/index\\_e.html](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/index_e.html) Pág. 1 2004.
21. Comisión Nacional de Energía: Conferencias sobre Economía Energética. Consejo de Ministros. Cuba. Mayo 1986.
22. Comuna Cofán de Dureno: El Mejor Lugar de la Selva. Propuesta para la recuperación del Territorio Cofán. Abya Yala. Quito. 1998.
23. Clarck, M. Troubled waters. En: Petroleum Economist. Marzo. Volumen 71 N°3. 2004
24. Desrosier, N.W: "Conservación de Alimentos" Editorial Ciencia y Técnica 1964.
60. Dorf, R. & Bishop, R: Modern Control Systems, 7e. Addison Wesley, NY, 1995.
25. Duke Energy Corporation <http://www.duke-energy.com/> 2006
26. Ecologically Sound Energy Planning Strategies for Sustainable Development (IISc) [http:// ces.iisc.ernet.in/energy/paper/sustainable/integrated.html](http://ces.iisc.ernet.in/energy/paper/sustainable/integrated.html)
27. Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo Americana, Espasa Calpe, Madrid y Barcelona, 1902.
28. Energía renovable en México y política energética. Pág. 5. Junio 2001.
29. Energía renovable en España Journal Articles.
30. Escrivá Belmonte, J.L.: Jornada Anual de Finanzas y Tesorería de Empresa, Servicio de Estudios Económicos; Barcelona 16 de nov del 2006.
31. Espinosa, C: El consumo energético Pág. 26 Instituto mediterráneo por el Desarrollo Sostenible (Imedes), Desp 201 46021 Valencia [www. grupimedes.com](http://www.grupimedes.com), [www. ecoempleo.com](http://www.ecoempleo.com)
32. Fuente: Dirección Nacional de Alimentación en base a datos de CAFIM.

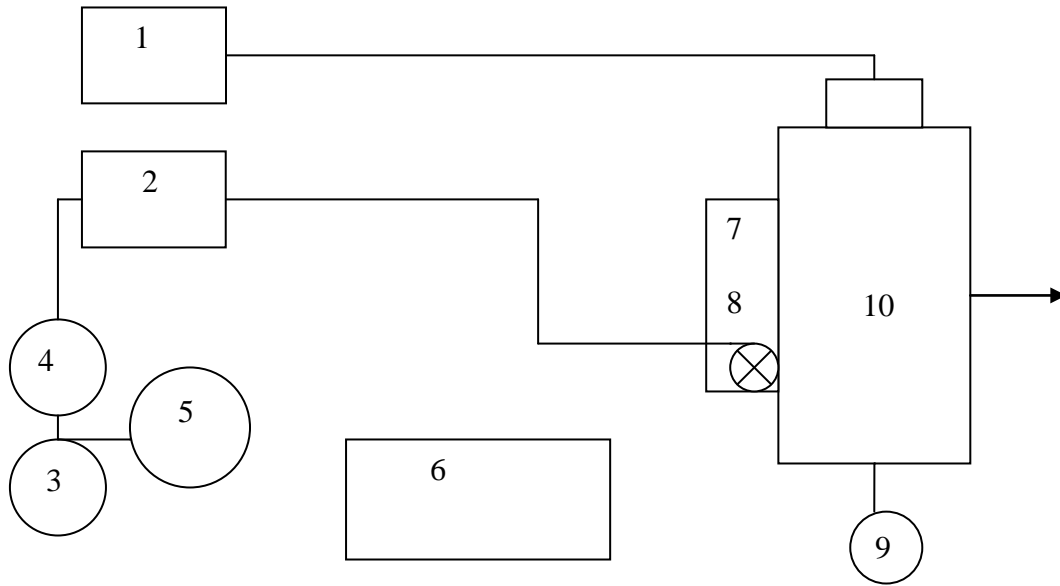
33. González Bayón, J: Controles de procesos térmicos en instalaciones termoenergéticas, Editorial ISPJAE, 1986.
34. Gran Enciclopedia Catalana. Barcelona: GEC, 1968 i següents
35. Jaime Martinez, L: An improved BEM model for the power 8:385-482. 2005
36. Jiménez.: Política Energética en México Journal Articles. 2001
37. Lapidó Rodríguez, M., Castellanos Álvarez, J.A. y J.C. de Armas Valdés. Termodinámico Avanzada, Universidad de Cienfuegos. 2005
38. Legault, R: Seminario sobre la generación de electricidad a partir de energías renovables Presidente de Helimax Energy, Inc. Comentarios: [info@anes.org](mailto:info@anes.org) Asociación Nacional de Energía Solar.
39. Libro Verde de la Comisión Europea Pág. 769. 2000
40. Ljung, L., & Glad, T: Modelling of Dynamics Systems, Prentice Hall, NY, 1994.
41. Marlin, T.: Process Control: Designing Process and Control Systems for Dynamics Performance, McGraw-Hill, NY, 1995.
42. Milán García, G. & Rivas Pérez, R: "Automatización integral de generadores de vapor igneotubulares", en Memorias del Segundo Congreso de la Asociación Colombiana de Automática, pp. 165-164, 1997.
43. Moreira da Silva, Fabio: Congreso Brasileiro de Engenharia Agrícola (27.: 1998 Pocos de Caldas, M.G.)Energia, Atomacao e Instrumentacao/Editado por: Lavras UFLA (SBEI) 1998. – 256 p.
44. Moscinski, J: Advances Control with MATLAB and SIMULINK, Prentice Hall, NY, 1996.
45. Oilwatch, Oil Extraction and Conservation of Biodiversity. Tegantai Nº 12. October 1999. OLADE. Sistema de information Económica Energética (2001). [http://www.olade.org/sieehome/estadisticas/consumo\\_mundial.html](http://www.olade.org/sieehome/estadisticas/consumo_mundial.html).
46. Ogel-Oil, gas and energy law intelligence <http://www.gasandoil.com/ogel/>.
47. Plauchú, A: Eficiencia en calderas. México, 1996.
48. Pérez Garay, L.: Generadores de vapor, Ed. ENPES, Ciudad de La Habana, 1985.
49. Peres, M.M: "La competitividad empresarial en América Latina y el Caribe". Revista de la CEPAL 74: 37- 49.
50. Revista Energía y Tu No.33 (Enero- Marzo. 2006) CUBASOLAR.
51. Reporte de Asesoría sobre producción más limpia la Conchita. Págs. (9 -12) y (25 y 26). Red nacional de p+I punto focal IIIA 2003.



52. Rivas Pérez, R: "Modelo matemático dinámico de generadores de vapor", en Ingeniería Eléctrica, Automática y Comunicaciones, Vol. XV, No. 3, Ciudad de La Habana, 1994.
53. Rivas Pérez, R. & De Prada Moraga, C & M. J. De la fuente, A.: "Control avanzado de procesos industriales", en Electro-Electrónica, No. 12, pp. 30-36, Lima, Perú, 1999.
54. Rhine, J. M. & Tucker, R.J: Modelling of Gas-Fired Furnaces and Boilers and Others Industrial Heating Process, McGraw- Hill, NY, 1994.
55. Roque Díaz, P: "Generación descentralizada y cogeneración". Maestría de Eficiencia Energética. CETA – UCLV. 2008.
56. Rubio González, A: "Combustión y Generación de Vapor". Universidad Central de Las Villas.2002
57. Rubio González, A: "Generadores de Vapor". Universidad Central de Las Villas.2000
58. Sandfort, John F: Máquinas Térmicas.Ed, Universitaria de Buenos Aires, 1965.
59. Steam. It's Generation and Use. Babcox & Wilcox Co.
60. Uribe, M.P: Única Opción: el suicidio colectivo. El pueblo U'wa y la Occidental. 1999.
61. Valente, M: El gasoducto Norandino. Una bomba de tiempo. Buenos Aires. (FIN/IPS/mv/mj/en/01).Publicado en Resistencia. Boletín mensual de Oilwatch N° 16. Mayo 2001.
62. Wen-Jei Yang: Wind energy-hydrogen storage hybrid power generation. 25:449-463. 2001.

## Anexos

### Anexo I. Esquema de la instalación del área de generación.



#### Leyenda

1- tanque de fuel oil.

2- tanque de agua de alimentación.

3- suavizador 1.

4- suavizador 2.

5- tanque de salmuera.

→ línea de vapor.

6- banco de transformadores.

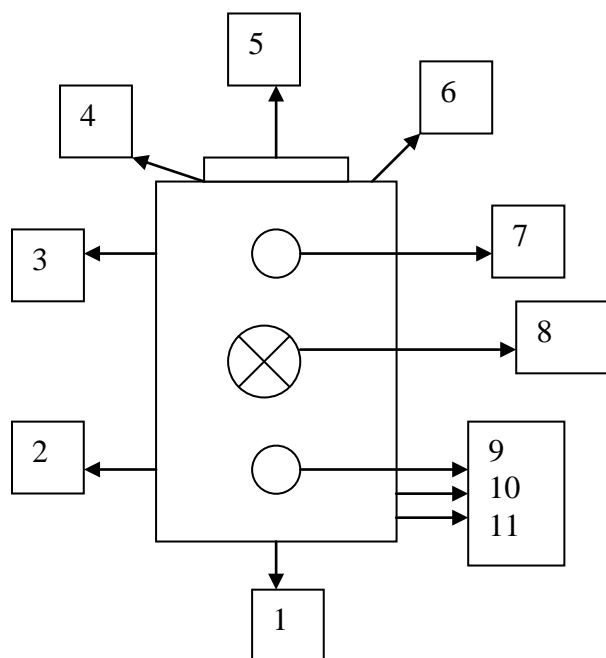
7- pizarra de control.

8- bomba de agua.

9- chimenea.

10- generador SADECA.

## Anexo II. Esquema estructural y de funcionamiento del equipo.

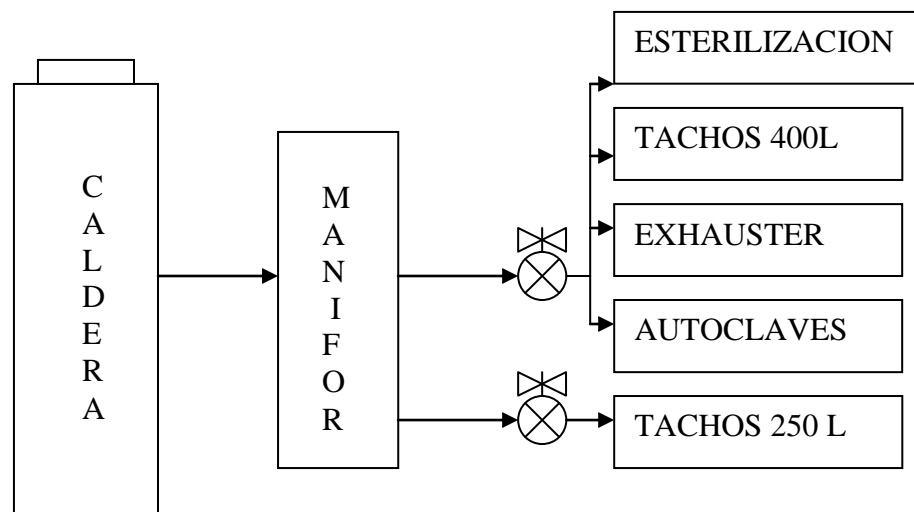


### Leyenda

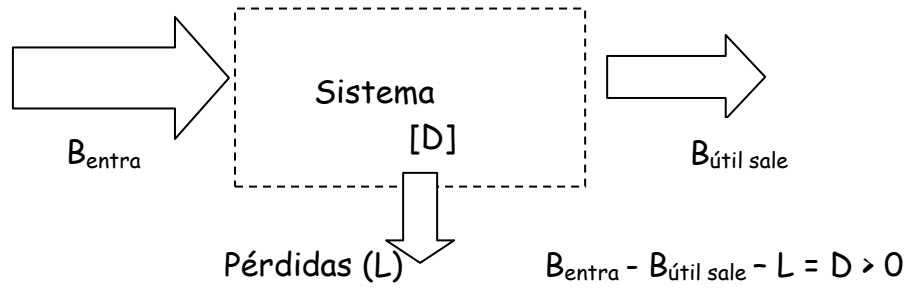
- |                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1- chimenea.             | 6- bomba de petróleo          |
| 2- bomba de agua.        | 8- válvulas del domo.         |
| 3- pizarra de control.   | 7 y 9- válvulas de seguridad. |
| 4- electro ventilador.   | 10- dosificador               |
| 5- quemador de petróleo. | 11- niveles de agua.          |

Estos son los equipos y aditamentos fundamentales que permiten el funcionamiento del generador de vapor.

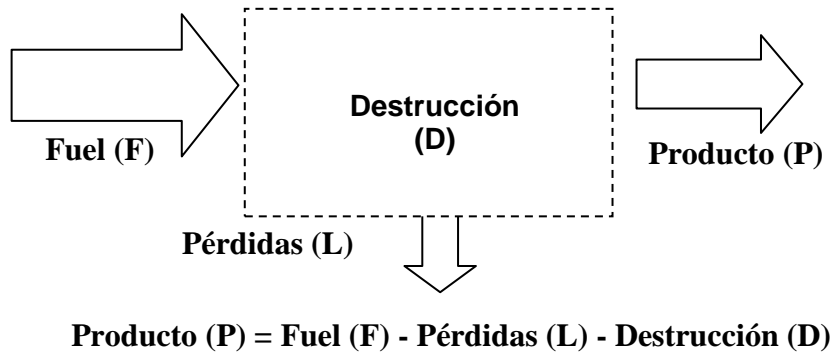
### Anexo III. Esquema de interconexión con el sistema consumidor



#### Anexo IV. Esquema exergético del sistema.



#### Balance de Exergía.



## Anexo V. Cálculo de aislamiento de tuberías.

### Ejemplo

Tubería	Símbolos	Dimensión	Unidad
Diámetro interior	Di	2	plgda
		0,051	m
Pared		4	mm
Diámetro exterior	De	0,059	m
Longitud	l	8	m
Material	Acero		
Conductividad térmica	k	26	Btu/h pie °F
Conductividad térmica	k	38,70	Kcal/h-m <sup>2</sup> -°C
		45,0	W/m/K
Coef. pelicular interior	hi	10000	Kcal/h-m <sup>2</sup> -°C
		11628	W/m <sup>2</sup> /K
Temperatura interior		165	°C
Temperatura ambiente		27	°C

### Material : Lana Mineral

Aislamiento	Símbolos	Dimensión	Dimensión	Dimensión	Unidad
Espesor	s	25,4	50,8	<b>76,2</b>	mm
Diám del Aislamiento	Da	0,110	0,160	0,2112	m
Radio exterior	Re	0,055	0,080	0,1056	
Conductividad térmica	k	0,0225	0,0225	0,0225	Btu/h pie °F
Conductividad térmica	k	0,03	0,03	0,03	kcal/m-h °C
		0,039	0,039	0,039	W/m/K
Coef. pelicular exterior	he	8,5	8,5	8,5	kcal/m-h °C
		10	10	10	W/m <sup>2</sup> /K
<b>Resistencias</b>					
Tubería	Rt	0,0001	0,000065	0,00006	k/W
Aislamiento		0,32	0,513	0,653	k/W
Película interior	1/h <sub>i</sub> A	0,00007	0,00007	0,00007	k/W
Área película interior	Ai	1,2767	1,2767	1,277	m <sup>2</sup>
Película exterior	1/h <sub>e</sub> A	0,037	0,025	0,019	k/W
Área película exterior	Ae	2,75	4,03	5,31	m <sup>2</sup>
Total		0,355	0,538	0,672	k/W

<b>Flujo ( pérdida calor)</b>		389	257	<b>205</b>	W
C. unit.de la energía		0,1	0,1	0,1	
C. unit flujo de calor		0,1	0,1	0,1	\$/Kwh.
C.Total de la Pérdida		0,04	0,03	0,02052	\$/h
Pérdida total		1703	1124	<b>899</b>	\$
Ganancia		7109	7688	<b>7913</b>	
<b>Gasto en aislante</b>					
Volumen	V	0,0538	0,1399	0,2585	m <sup>3</sup>
Densidad	D	9,4	9,4	9,4	lb/pie <sup>3</sup>
		151	151	151	kg/m <sup>3</sup>
Masa	M	8,1	21,1	39,0	kg
Precio Unitario		290	290	290	\$/tn
Costo total de Aislante		2,35	6,12	<b>11,30</b>	\$
Vida útil		5	5	5	años
		43800	43800	43800	horas
Depreciación		0,00005	0,00014	0,00026	\$/h
<b>Ganancia / Costo</b>		3026	1257	700	
Costo Total Optimo		1703,2	1124,8	<b>901,0</b>	\$