

## CARACTERIZACIÓN Y POSIBILIDADES DE AHORRO ENERGÉTICO EN GENERACIÓN DE VAPOR - ESTUDIO DE CASO

### RESUMEN

El trabajo se basa en la aplicación de un programa de gestión energética en el área de producción de vapor, que permita caracterizar el estado operativo y proponer estrategias de mejora en la Compañía Nacional de Levaduras LEVAPAN S.A., localizada en Tuluá, departamento del Valle del Cauca. Para su desarrollo, se aplican herramientas simples de gestión energética que permitan, a partir de datos históricos de consumo de combustible y generación de vapor, proponer estrategias de mejora en la empresa citada. Finalmente, del análisis de los datos recogidos se presentan estrategias de mejora aplicables en la compañía.

**PALABRAS CLAVES:** Gestión energética, generación de vapor

### ABSTRACT

*The work is based on the application of a power management program in the area of steam production, that allows to characterize the operative state and to propose strategies of improvement in the Compañía Nacional de Levaduras LEVAPAN S.A., located in Tuluá, department of Valle del Cauca. For their development, simple tools of power management are applied that allow, from historical data of fuel consumption and steam generation, to propose strategies of improvement in the mentioned company. Finally, from the analysis of the collected data, applicable strategies of improvement in the company are presented.*

**KEYWORDS:** .Power management, steam generation .

### 1. INTRODUCCIÓN

La situación actual de alto nivel de competitividad por precio y calidad del producto a la que están sometidas las empresas, no solo en Colombia, sino a nivel mundial, las obliga a estudiar posibilidades de ahorro dentro de sus costos de producción.

En Colombia, los sistemas de generación de vapor se han visto afectados en los últimos años por el incremento en las tarifas de gas natural, agua y productos químicos utilizados. Estos incrementos han hecho que el vapor de agua pase de ser uno de los servicios de menor cuantía a ser un rubro importante dentro de los costos de producción. Por esta razón, la Compañía Nacional de Levaduras LEVAPAN S.A. tomó la decisión de empezar a identificar potenciales de ahorro de energía en esta área y lograr su posterior materialización.

La identificación de estos potenciales debe partir de la caracterización energética, la cual, es una herramienta necesaria para la tipificación objetiva de potenciales de reducción de consumos energéticos y del control operativo del sistema y su eficiencia.

La caracterización energética es un procedimiento de análisis cualitativo y cuantitativo que permite evaluar la eficiencia con que la empresa administra y usa todos los

**ÁLVARO HERNÁN**

**RESTREPO**

Profesor Auxiliar, M.Sc., I.M.  
Facultad de Ingeniería Mecánica  
Universidad Tecnológica de  
Pereira  
arestrep@utp.edu.co

**JUAN CARLOS BURBANO**

Profesor asistente, M.Sc., I.M.  
Facultad de Ingeniería Mecánica  
Universidad Tecnológica de  
Pereira  
jburbano@utp.edu.co

**ÁLVARO ANDRÉS SALGADO**

Estudiante Ingeniería Mecánica.  
Universidad Tecnológica de  
Pereira

tipos de energía requeridos en un proceso productivo. También es el paso previo para implementar un sistema de gestión o administración de la energía el cual tiene por objetivo identificar el nivel de eficiencia energética de la compañía y posibles estrategias de mejora.

Los procedimientos de análisis cualitativo sirven para conocer las debilidades del sistema de administración energética que posee la empresa, entendiéndose por sistema de administración energética los procedimientos y procesos relacionados con la planificación, compra, almacenamiento, transformación, distribución, control y uso final de la energía. Los procedimientos cuantitativos se utilizan para conocer los niveles de eficiencia, de pérdidas, los lugares donde se producen estas últimas y los potenciales de su reducción. También permiten identificar y establecer los índices de eficiencia, las metas de reducción de pérdidas y los gráficos de control diario y mensual, como herramientas de la gerencia para evaluar la gestión administrativa en los cambios de hábitos del uso final.

### 2. LA GESTIÓN ENERGÉTICA EMPRESARIAL

En Colombia, la gestión energética en la industria es una actividad relativamente reciente que ha tomado un significativo auge a partir de la política de desmonte de

subsidios de los precios de los energéticos y la aprobación de la ley 697 de 2001 conocida como ley URE (Uso Racional de la Energía).

Implementar un sistema de gestión energética permite identificar las pérdidas de energía más relevantes del sistema que impactan los costos, clasificar estas pérdidas en relativas a los procedimientos y relativas a la tecnología, establecer y monitorear en tiempo real, indicadores de eficiencia que permitan controlar y reducir las pérdidas relativas a los procedimientos, evaluar técnica y económicamente los potenciales de reducción de las pérdidas relativas a la tecnología y contar con un plan estratégico a corto, mediano y largo plazo con metas alcanzables y entendidas por todos los actores claves.

Para el caso en estudio, se aplicaron herramientas simples de gestión, para así diagnosticar el sistema de generación de vapor.

Las pérdidas más comunes en el generador de vapor que centran el interés de este artículo, se producen por radiación, convección y contacto del equipo de generación con el medio circundante, y por fuga anormal de energía a través de los gases de escape de la chimenea. Otras fuentes de pérdidas en la caldera están relacionadas con: Calidad de la combustión, aislamiento de las paredes o refractario, tuberías y dispositivos internos de transferencia de calor, calidad del agua de alimentación y regímenes inadecuados de trabajo debidos por lo general a que los equipos de generación de vapor en las empresas sobrepasa la demanda promedio requerida por el proceso. La eficiencia promedio de un generador de vapor operando con gas natural, oscila entre el 75 y 80 % [7].

### 3. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN SISTEMAS DE GENERACIÓN DE VAPOR

En general, el diagnóstico energético en sistemas de generación y distribución de vapor comprende tres objetivos fundamentales:

- Evaluar cuantitativamente la energía que se transforma en el proceso de generación de vapor.
- Establecer la eficiencia de los generadores de vapor.
- Indicar potenciales de ahorro y uso eficiente de energía a partir de herramientas simples de gestión y definir las medidas por aplicar.

De acuerdo con estos ítems, los diagnósticos energéticos en sistemas de generación y distribución de vapor deben incluir Análisis de equipos y sistemas tales como: generadores de vapor, cabezales de vapor, tuberías de distribución, trampas de vapor y purgas, sin incluir los equipos para el uso final del vapor en los procesos productivos. Es de anotar, que este trabajo sólo hace énfasis en los equipos generadores de vapor.

A partir del análisis de equipos se deben definir los potenciales de ahorro de energía y las recomendaciones o

medidas que se estimen viables y realizables técnicamente. Todo lo anterior, se aplica al siguiente estudio de caso.

## 4. ESTUDIO DE CASO

El proceso se inicia con una inspección y reconocimiento de la planta, que permite lograr un entendimiento de los diferentes procesos que requieren la utilización de vapor, así como también de las condiciones de operación de los generadores de vapor con que cuenta la Compañía. Para obtener la información necesaria, iniciar el diagnóstico y planear las mediciones correspondientes, se emplea la siguiente metodología:

### 1. Identificación de la compañía

**Nombre:** Compañía Nacional de Levaduras Levapan S.A.

#### Variables geográficas (IDEAM-Aeropuerto Tulúa):

Altura sobre el nivel del mar: 960 m.

Temperatura promedio anual: 30°C.

Humedad relativa promedio anual: 70%.

#### Principales productos manufacturados:

Levadura fresca, levadura Seca, Levadura instantánea y Proteína de levadura (Extracto y con altos nucleótidos)

### 2. Componentes del sistema de generación de vapor.

A continuación se presentan los datos y características de las dos calderas que operan en la planta.

#### Caldera 1

Marca: COLMÁQUINAS Modelo: CH-350

Proveedor: COLMÁQUINAS Serie: A-1346

Fabricante: COLMÁQUINAS

Código	Característica	Descripción
	Pasos	3
2	Mod. Quemador	DISTRAL 3H TIPO
5	Ignición	Gas
6	P. Mínima de operac.	100 psi
8	Sup. Calentamiento	1500 ft2
9	Capacidad	11000 lbm/h
10	P. De diseño	150 psi
11	Tipo combustible.	Gas Natural
13	P. Alim. Comb	20 psig
14	Temp. Alim. Comb.	28°C
15	Temp. Aire	28°C
19	Temp. Mín. agua	por encima de 60 °C

### Caldera 4

Marca: POWER MASTER Modelo: PM-700-150

Proveedor: COMESA

Fabricante: COMESA

Código	Característica	Descripción
1	Pasos	3
2	Mod. Quemador	3HLG
5	Ignición	Gas
6	P. Mínima de op.	100 psi
8	Sup. Calentamiento	3556 ft2
9	Capacidad	24033.3 lbm/h @ 212 F
10	P. De diseño	150 psi
11	Tipo combust.	Gas Natural
13	P. Alim. Comb	20psig
14	Temp. Alim. Comb.	28°C
15	Temp. Aire	28°C
19	Temp. Mín. agua alimen.	por encima de 60°C

### 3. Identificación de consumo y uso final de vapor en la compañía

La figura 1 muestra un esquema de generación y la distribución de las redes de vapor para las diferentes áreas en la compañía.

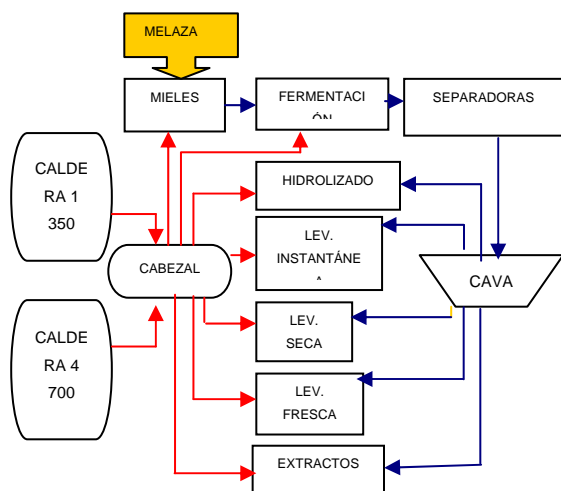


Figura 1. Esquema de generación y distribución de vapor a las diferentes áreas.

- La compañía presenta dos calderas denominadas por ellos: caldera 1, con capacidad de 350 BHP y caldera 4, con una capacidad de 700 BHP.
- La operación de las calderas no obedece a un plan acorde con producción.
- La caldera 4 cuenta con un sistema para la medición de libras de vapor marca ABB, modelo C15000000 STD.

De acuerdo a la forma de operar en la compañía LEVAPAN S.A., las áreas de trabajo que demandan vapor de forma significativa son:

Área	Equipo
Mieles	Cocinadores, alimentadores, flash Cooker
Fermentación	Fermentadores, PC2 y PC3
CIP	Tanques de agua caliente 1 y 2
Extractos	Evaporadores 310 y 320, Intercambiador de placas
Levadura instantánea	Secador de Levadura Instantánea
Levadura seca	Secador de lecho fluidizado

La medición del consumo de vapor se realizó, básicamente, por dos métodos: medición de condensados, en aquellos equipos donde fue posible y por diferencia de presiones en las válvulas automáticas de control. En la tabla 1, se presentan los consumos de vapor calculados para los diferentes equipos.

Equipo	Lbm/h
Cocinadores	6000
Alimentadores	2300
Flash Cooker	1800
Fermentadores	2500
Evaporador 310	2500
Evaporador 320	1400
Intercambiador de placas	400
Secador de lecho fluidizado	1100
Secador de Levadura instantánea	3600

Tabla 1. Consumo de vapor para los diferentes equipos.

Es de anotar que el consumo típico máximo en un instante determinado es de alrededor de 15000 lbm/h en virtud a que no todos los equipos operan simultáneamente.

Con base en lo anterior, se realizó un seguimiento de la generación de vapor de la caldera 4 operando sola en los meses de Octubre y Noviembre de 2004. Esta caldera cuenta con el apoyo de un FMC (Fermentation Measurement Control), el cual hace un registro las lbm de vapor generado, solamente es necesario monitorear el totalizador de libras de vapor que se encuentra en su tablero de control para darse cuenta de la demanda de vapor de la planta en intervalos definidos de tiempo. Las figuras 2 y 3, muestran el consumo de vapor en un día de alto consumo y un día de bajo consumo respectivamente. En las figuras el eje de las abscisas muestra el número de intervalos de 10 minutos.

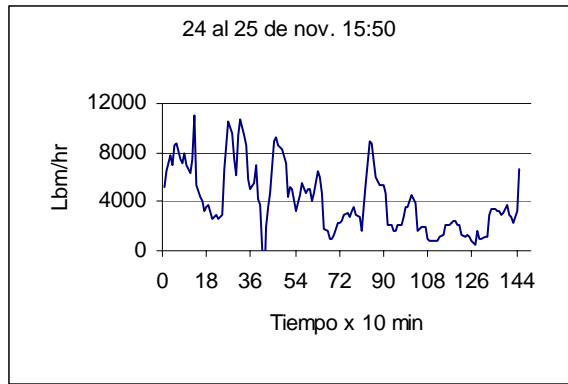


Figura 2. Consumo de vapor para un día de consumo normal

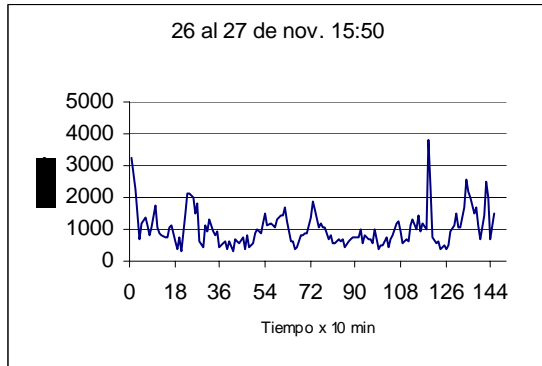


Figura 3. Consumo de vapor para un día de consumo bajo (fin de semana)

De las observaciones realizadas en un periodo de un mes se pudo concluir:

-Durante un día de producción normal, la caldera genera entre 6000 y 9500 lbm/h de vapor.

-Existen picos de demanda con una duración promedio de dos horas, en donde la caldera genera vapor a una razón entre 10000 y 14500 lbm/h. Estos picos se presentan en su gran mayoría durante 4 días de la semana (lunes a jueves) y se deben fundamentalmente al área de mieles.

Como puede verse en la figura 3, correspondiente a los días viernes y sábado, la demanda de vapor se reduce considerablemente.

La capacidad de generación de vapor de acuerdo a la temperatura media del agua de alimentación (80°C) para las calderas 1 y 4 se presenta en la tabla 2.

Caldera 4		Caldera 1	
Capacidad %	lbm/h	Capacidad %	lbm/h
100	22190	100	11095
90	19971	90	9985
80	17752	80	8876
70	15533	70	7766
60	13314	60	6657
50	11095	50	5547
40	8876	40	4438
30	6657	30	3328
20	4438	20	2219

10	2219	10	1109
----	------	----	------

Tabla 2. Generación de vapor de acuerdo a temperatura media de agua de alimentación.

Habiendo identificado la naturaleza de una alta demanda de vapor y de los picos de demanda en la planta, se inició un estudio de la eficiencia de la caldera 4, a diferentes factores de carga, en virtud a que con esta sola caldera, es factible cumplir con la demanda de vapor exigida por los equipos.

#### 4. Determinación de la eficiencia de calderas

Para la determinación de la eficiencia de las calderas, se utilizó el método directo. La ecuación utilizada para determinar la eficiencia de la caldera es: [3]

$$\eta = \frac{w(hv - ha)}{V_{cald} \times LHV}$$

donde:

w = flujo de vapor (lbm/h)

hv = entalpía del vapor a presión de caldera promedio @113.6 psi = 1188.4469 BTU/lbm

ha = entalpía del agua de alimentación promedio @ 164.87°F = 132.4585 BTU/lbm

Vcald = consumo de gas natural de la caldera (m<sup>3</sup>/hr)

LHV = poder calorífico inferior del gas natural = 35110.1695 BTU/m<sup>3</sup>

Los datos de consumo de gas natural se presentan en la tabla 3.

#### Análisis de la eficiencia de la caldera 4

El procedimiento realizado para calcular la eficiencia del equipo se facilitó gracias a los instrumentos de monitoreo y control instalados en la caldera. Se tuvo que chequear el registrador de libras de vapor, al igual que las medidas de los contadores de gas natural en la estación principal y extractos para intervalos definidos de tiempo.

La figura 4, muestra el comportamiento de la eficiencia para la caldera 4 en función del vapor generado.

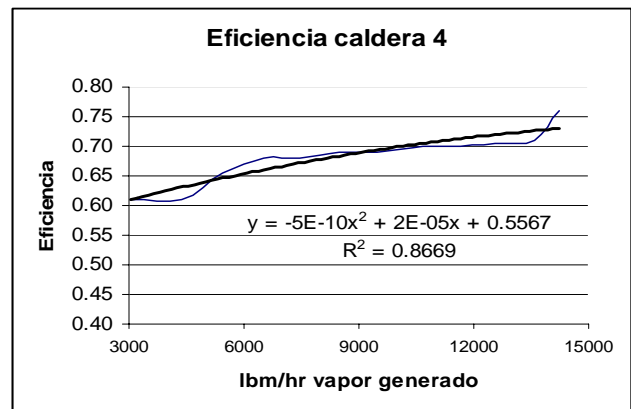


Figura 4. Comportamiento de la eficiencia de la caldera 4.

La figura 5, muestra la relación entre el vapor generado y el gas consumido.

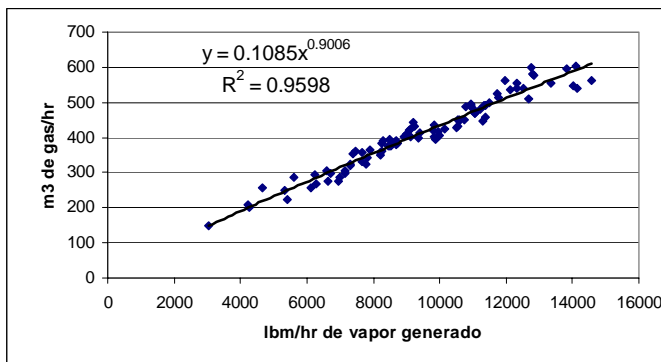


Figura 5. Relación entre el vapor generado y el gas consumido para la caldera 4.

Al analizar los resultados se puede observar:

-Dada la tendencia del sistema, como era de esperarse, la eficiencia de la caldera mejora al incrementar la carga en la misma. Por lo tanto no sería recomendable operar la caldera 4 para cargas inferiores a 9500 lbm/h.

-En los puntos de mayor generación de vapor se observan las reducciones más significativas de consumos de gas. Por ejemplo, para generar 12000 lbm/h de vapor se requieren de 511.84 m³ de gas lo cual es menos del doble de lo necesario para generar 6000 lbm/h de vapor.

- Se encontró que a cargas similares se presentan diferentes eficiencias. Estas diferencias se deben a varios factores como lo son: Temperatura del agua de alimentación y de la demanda de vapor en los procesos.

A partir de la información de placa de la caldera 4, se sabe que tiene capacidad para producir 22190 lbm/h de vapor en fuego alto, pero la caldera presenta una restricción en su capacidad. Esta restricción fue determinada por el estudio que realizó BBC Ingeniería Ltda en noviembre de 2002 por solicitud de la compañía. En el informe del estudio se especifica que la demanda de vapor de la planta no es superior a las 15000 lbm/h, haciendo que la caldera opere por debajo del 75% de su capacidad.

La tabla 3, muestra el comparativo de eficiencia de las calderas 1 y 4, así como los consumos de gas. Los datos para la caldera 1 se obtuvieron siguiendo un procedimiento similar al realizado en la caldera 4. En la tabla 3 se puede apreciar la diferencia en el consumo de gas, para cargas similares.

Caldera 4		
lbm/h	Eficiencia prom.	m³ gas/h
9500	0.68	414.131
9000	0.675	394.2979
8500	0.67	374.4648
8000	0.665	354.6317
7500	0.66	334.7986
7000	0.658	314.9655
6500	0.655	295.1324
6000	0.65	275.2993
Caldera 1		
lbm/h	Eficiencia prom.	m³ gas /h
9500	0.78	367.08488
9000	0.78	347.76463
8500	0.75	341.58214
8000	0.75	321.48908
7500	0.7	322.9243
7000	0.7	301.39601
6500	0.7	279.86772
6000	0.68	265.93766

Tabla 3. Consumos y eficiencia de calderas 1 y 4.

*Seguimiento de la eficiencia de la caldera 4*

Las condiciones operacionales y de estado técnico de los generadores de vapor cambian en el tiempo, producto del ensuciamiento de las superficies de transferencia de calor, el desajuste de los elementos mecánicos de regulación, cambios en la calidad del agua de alimentación, deterioro de los materiales de aislamiento térmico, entre otros. Esto ocasiona una variación en la eficiencia del generador de vapor. Para evitar incrementos innecesarios en el consumo de combustible como consecuencia de ese desajuste, se propuso implementar un seguimiento a la eficiencia de la misma.

La caldera 4 al tener un totalizador de libras de vapor, reúne todos los requisitos para realizar este seguimiento. El método para implementar el seguimiento de la eficiencia se compone de los siguientes pasos: *Definición del indicador a seguir, toma y filtrado de datos, establecimiento del periodo base y realización del gráfico de tendencia.*

La aplicación de este método permite detectar a tiempo ineficiencias operativas, hasta que la disponibilidad del equipo permita una parada para mantenimiento o reparación.

De acuerdo con lo descrito anteriormente y aprovechando los datos obtenidos durante el estudio de la eficiencia de la caldera 4, los resultados obtenidos se presentan en la figura 6.

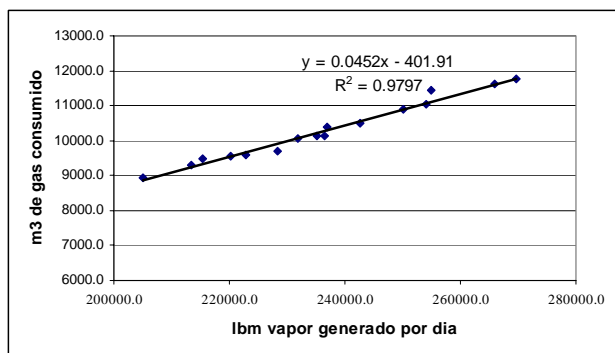


Figura 6. Correlación lineal entre el gas consumido y el vapor generado en la caldera 4.

## 5. ESTRATEGIAS DE MEJORA

Acorde con el anterior análisis se pueden sugerir algunas estrategias tendientes a mejorar la eficiencia energética.

Se recomienda que cada vez que se realice mantenimiento de la caldera, incluyendo limpieza, ajuste y calibración de la combustión, se vuelvan a tomar los datos necesarios en un tiempo no inferior a 15 días, para generar un nuevo periodo base.

Una buena opción para días de baja demanda de vapor es operar sólo la caldera 1, dado que cumple con la necesidad de la planta con un punto de operación de eficiencia alta.

La tabla 3, muestra que por debajo de las 9500 lbm/h de demanda de vapor, se vuelve conveniente operar solamente la caldera 1, porque al operar con un factor de carga alto, su eficiencia se mantiene alta. Caso contrario ocurre con la caldera 4, que por operar con un factor de carga bajo, sus pérdidas de calor aumentan, disminuyendo su eficiencia. Con base en la tabla 3, y para producciones de vapor entre 6000 y 9500 lbm/h, al operar únicamente con la caldera 1, se consigue un ahorro en el consumo del gas entre 24,87 y 48,14 m<sup>3</sup>/h, lo cual justifica una reprogramación en la operación de las calderas.

Analizando la parte de producción de levadura líquida, se sugiere que a partir de una producción por encima de 1.200.000 toneladas de ésta, se opere sólo la caldera 4, debido a que las condiciones de demanda de vapor de la planta se mantienen altas.

Debe evitarse operar las dos calderas simultáneamente, debido a que bajo este sistema de operación, las dos calderas trabajarían a carga parcial, disminuyendo por consiguiente la eficiencia.

Se recomienda que para un futuro, no lejano, se cambie la válvula reguladora de gas, por una que permita mayor control en la combustión, ya que la existente, sólo permite, operar en fuego alto y bajo.

## 6. CONCLUSIONES

Una caracterización y un análisis para posibilidades de ahorro de energía en la generación de vapor se realizaron

en este trabajo, mediante un estudio de caso, realizado en la Compañía Nacional de Levaduras S.A.

En Levapan S.A. se lleva un registro diario de operación de las calderas. En él, se consignan las condiciones de operación de las calderas, permitiendo conocer diariamente, cual fue el consumo de gas y el vapor producido, por lo cual este tipo de investigaciones puede ser más fácilmente materializado.

Dadas las condiciones operativas de la sala generadora de vapor, resultó complicado, durante el desarrollo de este trabajo, registrar los consumos de la caldera 1 y a su vez plantear un periodo base.

Los datos medidos y la correlación entre ellos, una vez hecho el filtrado, resultaron muy satisfactorios, lo cual hace pensar que las observaciones que se puedan hacer al sistema para su mejora resultarán con un alto grado de credibilidad.

Por último, algunas estrategias para mejorar la eficiencia energética, han sido planteadas en el ítem anterior.

## 7. REFERENCIAS

- [1] ANDI, E.E.P de MEDELLÍN, Guías Para el Uso Racional de Energía por Procesos en la Industria. Medellín, Colombia: Publicaciones Universidad Pontificia Bolivariana, Segunda Edición, 1998.
- [2] CAMPOS, J.C., CARMONA, G., LÓPEZ, D. Reducción de los costos energéticos en sistemas de generación de vapor. Congreso CIUREE, Santiago de Cali, Colombia, 2004.
- [3] CASTRO MORA, Javier. Operación y Mantenimiento de Calderas. Bogotá, Colombia: Unidad de publicaciones Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Primera Edición, Octubre de 2002.
- [4] COMESA, Manual de Operación y Mantenimiento: Calderas Fabricadas por COMESA S.A. para Levapan S.A. Tuluá, Colombia, 1995.
- [5] FIBERGLAS. Aislamientos: Apuntes Técnicos. Bogotá, Colombia: FIBERGLAS S.A., Abril de 1981.
- [6] GASES DEL NORTE DEL VALLE. Manual del usuario, Equipo Registrador AE 6000 Series.
- [7] PROMIGAS. Memorias del seminario: Uso Racional de la Energía. Santafé de Bogotá. Diciembre 4, 2003.
- [8] RESTREPO V, Álvaro Hernán. Memorias de diplomado Gestión Total Eficiente de la Energía, Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos, Cuba. 1999.
- [9] RODRÍGUEZ, Gonzalo. Operación de Calderas Industriales. Bogotá, Colombia: Ecoe ediciones, primera edición, abril del 2000.
- [10] SALGADO MEDINA, Álvaro Andrés. Memorias del Curso Operación y Mantenimiento de Calderas, Universidad Nacional. Bogotá, Colombia. Abril 2004.