

Utilización del condensado vegetal como agua de alimentación de la caldera en el procesamiento industrial de cítricos

Leticia Prevez-Pascual, Liván González-Rodríguez,* Sheyla Abreu-Saiz, José Guzmán-Hidalgo y Rogers Moya-González.

Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical, 7ma Avenida No. 3005, Miramar, Cuba. Correo electrónico: letypml@iift.cu.
*Empresa Industrial de Cítricos "Héroes de Girón". kilómetro 142, Autopista Nacional, Jagüey Grande, Matanzas, Cuba.
Correo electrónico: mariela@citricojg.cu

Recibido: 8 de noviembre de 2010.

Aceptado: 16 de enero de 2011.

Palabras clave: condensado vegetal, caldera, neutralización, agua suave, producción más limpia.

Key words: condensed vegetable, boiler, neutralization, soft water, cleaner production.

RESUMEN. El presente trabajo está orientado hacia la problemática del *desarrollo energético sostenible*, basado en la estrategia de *producción más limpia*, cuyo resultado es la propuesta tecnológica para la sustitución del agua suave proveniente del enfriamiento de los compresores y el agua de reposición de las torres de enfriamiento por el condensado vegetal que se genera en el evaporador de quintuple efecto durante la concentración de jugos cítricos en el procesamiento industrial de cítricos. Las evaluaciones se realizaron durante la campaña 2008-2009, en la Empresa Industrial "Héroes de Girón". La caracterización del condensado vegetal cumplió con los parámetros de calidad establecidos en cuanto a la concentración de aceites y grasas menores de 1 mg/L y mostró valores de dureza inferiores, no siendo así el pH, el cual fue necesario elevar con 0,125 t/año de NaOH para su neutralización. La temperatura alcanzada utilizando el condensado vegetal como agua de alimentación fue de 71,6 °C, lo que permitió el ahorro de 79 847,04 L/año de fuel oil. El sistema tecnológico diseñado a partir de los ahorros estimados de 26 355,54 CUC, la inversión de 14 240 CUC y costos de producción de 70,95 CUC tuvo un período de recuperación de la inversión de 0,53 años. Desde el punto de vista ambiental, la utilización parcial del condensado vegetal evitó una emisión a la atmósfera equivalente a 238,42 t de dióxido de carbono, la extracción de 30 758 m³ de agua del manto freático y posibilitó reducir el volumen de agua en los sistemas de tratamiento de los residuos.

ABSTRACT. The present work is aimed towards the problem of the *sustainable energy development*, based on *cleaner production* strategy where the result was a technological proposal for the substitution of the soft water coming from the cooling of compressors and the replacement water of the cooling towers for the vegetable condensed water that is generated in the evaporator of quintuple effect during the concentration of citrus juices as water of feeding of the boiler in the citrus processing industry. The evaluations carried out during the 2008-2009 season in the Citrus Industry "Heroes de Girón". The characterization of the vegetable condensed threw that it fulfilled the established parameters of quality, showing oils and fatty concentration smaller than 1 mg/L and lower values of hardness, not being the pH, which was necessary to rise with 0,125 t/year of sodium hydroxide for its neutralization. The feeding boiler water temperature using vegetable condensed water reached 71,6 °C allowing a saving of 79 847 L/year of fuel oil. The technological system designed saved 26 355, 54 CUC, with an investment of 14 240 CUC and production costs of 70,95 CUC having an investment recovery period of 0,53 year. From the environmental point of view the partial use of the vegetable condensed water avoided the emission to atmosphere equivalent to 238,42 t of carbon dioxide, the extraction of 30 758 m³ of water and to reduce this volume of water in the treatment systems.

INTRODUCCIÓN

El uso de los portadores energéticos durante el procesamiento industrial de cítricos, su influencia en las emisiones a la atmósfera, la mitigación de los cambios climáticos globales y los elevados precios de los combustibles fósiles constituyen las razones más importantes para trabajar en lograr el manejo eficiente y reducir uno de los principales gastos en las empresas procesadoras de cítricos.

En la Empresa Industrial de Cítricos "Héroes de Girón", donde se procesa más del 60 % de los cítricos de todo el país para obtener jugos concentrados y naturales,

celdillas cítricas y otros subproductos de naranjas y toronjas,¹ el agua proveniente de la condensación de los vapores vegetales durante la concentración de jugo se reutiliza en la limpieza de tanques, ultrafiltros, columnas de resinas, lavado de cáscaras y en la extracción de sólidos solubles de la pulpa del terminador de jugo.² Sin embargo, una parte del condensado vegetal va al manto freático por no disponer de las condiciones para aprovecharlo en otras operaciones.^{3,4}

Durante la concentración del jugo cítrico se generan alrededor de 200 a 300 L de condensado vegetal por tonelada de fruta procesada y en los primeros efectos

del evaporador de quintuple efecto el agua alcanza una temperatura de aproximadamente 80 °C.⁴ Sin embargo, para extender la vida útil de la caldera, evitar posibles averías, así como asegurar una circulación estable del agua y una óptima calidad del vapor generado, se alimenta con agua tratada previamente,^{5,6} la cual tiene un costo en el que no se incurriría si se utilizara condensado vegetal, pues los parámetros de calidad son aceptables y adicionalmente se lograría una reducción de energía, tanto en el proceso de desmineralización y bombeo, así como de combustible.⁷

El objetivo general de este trabajo fue evaluar el aprovechamiento del condensado vegetal que se generaba durante la concentración del jugo cítrico en el procesamiento industrial de cítricos para la sustitución parcial del agua tratada en la alimentación del generador de vapor, en cuanto a la factibilidad técnica, económica y ambiental de su implementación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una caracterización físico química del condensado vegetal que se generaba en los evaporadores TASTE, prestando especial atención a la temperatura y el pH. Estos fueron obtenidos a partir de mediciones en diferentes etapas de la campaña 2008-2009. Se determinó el volumen necesario de hidróxido de sodio, grado puro para análisis mediante la valoración de la disolución hasta lograr un intervalo de pH entre 8 y 9 unidades.

El efecto económico de la sustitución del agua de enfriamiento de compresores y el agua suave de reposición para la alimentación de la caldera por el condensado vegetal, se calculó por las ecuaciones que se describen a continuación y se tomaron los datos reales aportados por el Departamento de Producción de la industria tales como:

- Producción de vapor: 15 m³/h .
- Rendimiento de la caldera: 85 %.
- Tiempo de operación: 182 d/año.
- Costo del agua tratada: 0,2 CUC/m³ .
- Densidad del fuel oil: 0,95 kg/L .
- Poder calórico del fuel oil: 36 MJ/L .
- Capacidad calorífica del agua (c): 4,2 kJ/(kg · °C).
- Volumen de agua recuperada del evaporador para alimentación de la caldera: 6,5 m³/h .
- Temperatura del agua si no se recupera el condensado: 61,2 °C .
- Temperatura del agua si se recupera el 35 % del condensado vegetal: 71,6 °C .
- Precio de fuel oil: 285,91 CUC/t .
- Precio del hidróxido de sodio: 572 CUC/t .
- Se determinaron los siguientes parámetros:
- Consumo de calor absorbido (Q):⁸

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

Ahorro por consumo de combustible (CFO):⁸

$$CFO = \frac{Q1 - Q2}{RC \cdot PCC}$$

donde:

Q1 Energía calorífica absorbida sin recuperar condensado vegetal.

Q2 Energía calorífica absorbida recuperando el condensado vegetal.

RC Rendimiento de la caldera.

PCC Poder calórico del combustible.

$$\text{Ahorro económico total} = AECC + AECAT - GTC$$

donde:

AECC Ahorro económico por consumo de combustible:⁸

$$AECC = \frac{\text{Ahorro físico de combustible}}{\text{Precio del combustible}}$$

Ahorro económico por reducción de costos del agua tratada (AECAT):⁸

$$AECAT = \frac{\text{Volumen de agua tratada no consumida}}{\text{Costo del agua tratada}}$$

Gastos de tratamiento de condensado (GTC):⁸

$$GTC = \text{Cantidad de NaOH} \cdot \text{Precio del NaOH}$$

Para la evaluación ambiental se determinó la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera equivalente a la disminución de consumo de portadores energéticos, según los indicadores de de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) y la Organización del Banco Mundial (WBO).⁹

Se realizó un rediseño del sistema que está actualmente instalado en la Empresa Industrial “Héroes de Girón” para aprovechar el condensado vegetal en la alimentación de la caldera.

Para el análisis económico se calcularon los siguientes indicadores de viabilidad financiera empresarial: Valor Actualizado Neto (VAN) a una tasa de descuento de 12 %; Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión. Se empleó para determinar el costo de inversión, ofertas de fabricantes de maquinarias y equipos.¹⁰ Las bases para la determinación de precios de insumos materiales y servicios fueron referenciados a sus precios de importación; el servicio de energía eléctrica por la tarifa aplicada y los salarios de acuerdo con la escala vigente en la Industria.

DISCUSION DE RESULTADOS

La caracterización del condensado vegetal que generan los evaporadores de la Empresa Industrial de Cítricos “Héroes de Girón” al compararlo con los parámetros de calidad establecidos por la norma de calidad del agua para generadores pirotubulares,¹¹ (Tabla 1) arrojó que cumple con los niveles establecidos para la concentración de aceites y grasas menores de 1 mg/L y valores de dureza inferiores, no siendo así el pH, el cual fue necesario elevar para evitar la corrosión y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

En las líneas de vapor y condensado, se produce un ataque corrosivo intenso en las zonas donde se acumula agua condensada que origina perforaciones por toda la línea, debido entre otros factores, al bajo pH, el cual provoca que la delgada capa de óxido se disuelva y el

Tabla 1. Comparación del condensado vegetal con la norma de calidad de agua de alimentación para generadores de vapor.

Parámetros	Unidades	Norma UNE-9075	Condensado vegetal (CV)
Temperatura	°C	— ^a	60
pH	u	8 a 9	4,26
Acidez	%	≤ 25	0,013
Dureza	%	≤ 5	0
Aceites y grasas	mg/L	≤ 1	0,000 6
DQO	mg/L	≤ 10	96

^a No se contempla en la norma.

metal sea atacado.¹² Por otro lado, la corrosión que produce el oxígeno, debido a la entrada de aire al sistema y adicionalmente la existencia de un pH bajo, da lugar a que el dióxido de carbono reaccione con los metales del sistema y acelere la velocidad de la corrosión.¹²

Una de las ventajas del uso del condensado vegetal para la sustitución del agua suave empleada en la alimentación de la caldera es que se evitarían los problemas asociados a la dureza y por ende, las incrustaciones, las cuales se adhieren a los tubos y estructuras metálicas que están en contacto con el agua de alimentación¹² y reducen directamente la transferencia de calor,^{13,14} hecho que se traduce en un consumo mayor de combustible y una elevación de la temperatura de los metales.¹²

La ausencia de algunos tipos de grasas y aceites en el condensado vegetal evita la saponificación y su posterior endurecimiento, lo que resulta difícil de eliminar por procedimientos químicos simples, dada la alcalinidad, temperatura y presión existentes en el interior de la caldera con formación de incrustaciones y la corrosión.^{12,15}

Aunque un aumento de la DQO del agua de alimentación de la caldera por ensuciamiento o contaminación podría generar depósitos o formación de espuma con el consecuente arrastre de agua concentrada de caldera a la línea de vapor y condensado e incrustaciones en la sección post-caldera,^{12,16,17} en este caso específico, no presentó problemas a pesar de resultar superior a lo establecido en la norma. No obstante, se tiene previsto su reuso en otros procesos tecnológicos si excediera de estos valores y las descargas de fondo, pues son los únicos medios de diluir el agua del interior de la caldera.¹⁸

En el muestreo realizado durante la campaña, el condensado vegetal mostró un pH promedio de $(4,2 \pm 0,18)$ unidades (Fig. 1), por lo que para evitar los problemas de corrosión

en el sistema, se neutralizó con hidróxido de sodio y se ajustó entre 8 y 9, que es el mínimo permitido como agua de alimentación de la caldera. Según las valoraciones realizadas en el laboratorio, el gasto fue de 0,18 mL, por lo que se calculó que para lograr el pH establecido se necesitaría adicionarle $10,17 \text{ g/m}^3$ equivalente a $0,125 \text{ t/año}$.

Con respecto a la temperatura del condensado vegetal, se observó un comportamiento estable durante el año, corroborado por las mediciones realizadas (Fig. 2), que alcanzó $(60,70 \pm 1,24)^\circ\text{C}$ como promedio, lo que demuestra que con su utilización, se reduce el consumo de combustible¹⁵ en comparación con las aguas tratadas que se usaban.

Al realizar un balance de energía, la temperatura del agua de alimentación que se empleaba era de $61,2^\circ\text{C}$ al utilizarse el condensado de vapor a $8,5 \text{ m}^3/\text{h}$ a 80°C , el agua proveniente del enfriamiento de los compresores ABC a razón de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ a 40°C y el agua de reposición de las torres de enfriamiento a $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ a 25°C . Sin embargo, al sustituir estas dos últimas corrientes por el condensado vegetal a razón de $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ a $60,7^\circ\text{C}$ permitió alcanzar una temperatura de $71,6^\circ\text{C}$ en el agua de alimentación de la caldera, lo que reportó un ahorro de $7\,9847,04 \text{ L/año}$ de fuel oil.

Una vez determinado el volumen, la temperatura y la concentración de hidróxido de sodio, se procedió a realizar algunas transformaciones en el sistema actualmente instalado (Fig. 3).

En el área de calderas, se instaló un tanque de acero inoxidable de $1\,000 \text{ L}$ con agitador y se fue añadiendo el NaOH con una bomba dosificadora para garantizar su concentración. Además, se instaló un sensor de nivel que garantizó paralizar esta bomba a través de una electroválvula para evitar que se utilizara el condensado vegetal sin tratamiento.

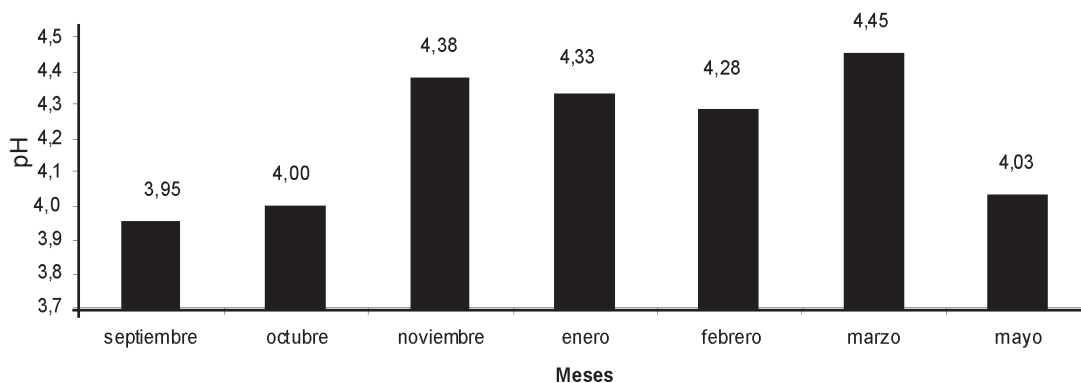


Fig. 1. Evaluación del pH del condensado vegetal durante la campaña 2008-2009.

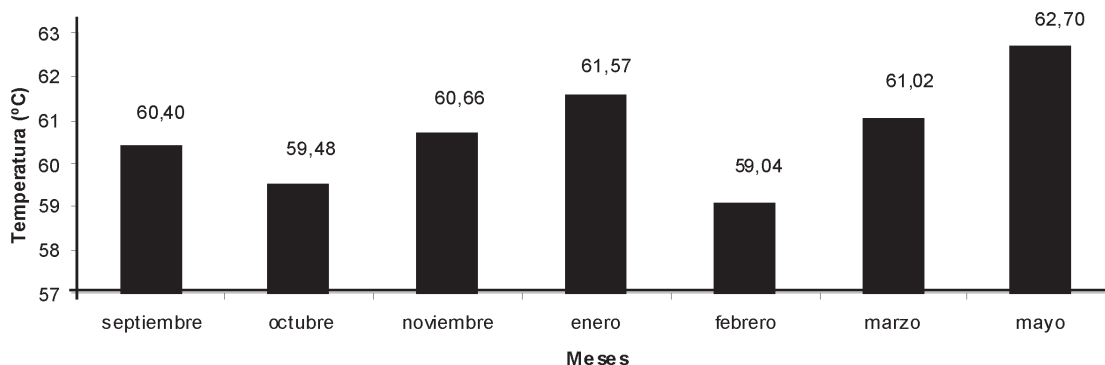


Fig. 2. Temperatura del condensado vegetal durante 6 meses de la campaña 2008-2009.

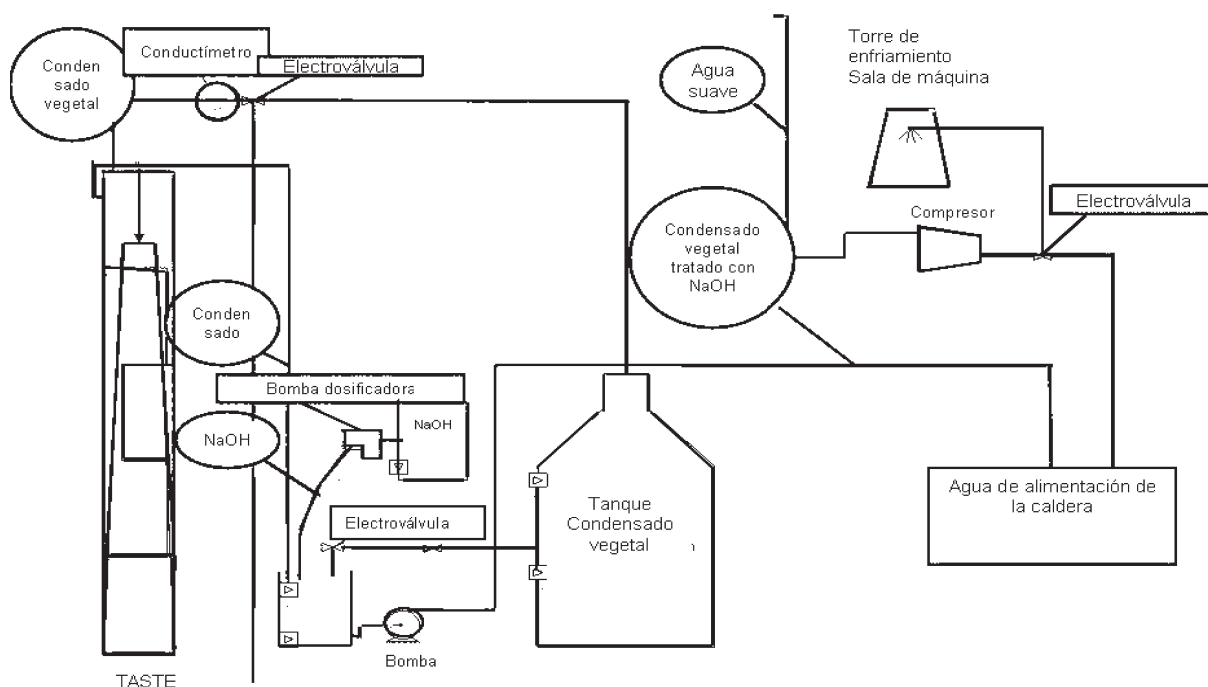


Fig. 3. Esquema tecnológico para el uso del condensado vegetal como agua de alimentación de la caldera.

En la tubería que conduce el condensado vegetal, se colocó un conductímetro, el cual acciona una electroválvula de tres vías. Esta variante permite enviar el condensado vegetal directamente al tanque de neutralización o hacia el tanque de almacenamiento según corresponda y en caso de contener jugo, se desvía al drenaje para garantizar que no llegue esta corriente a la caldera o se contamine el condensado que se usa para las limpiezas tecnológicas, situación que provoca la salida de lotes con problemas sensoriales. Además, se colocaron dos sensores de nivel para detener las bombas cuando no haya suficiente condensado vegetal en el tanque de almacenamiento.

El sistema también se adaptó para el caso de detenerse el bombeo del condensado de vapor hacia la caldera, para lo cual, se cierra una electroválvula del tanque de condensado. Esta medida garantizó que siempre existiera una reserva de condensado vegetal para la limpieza tecnológica, pues la bomba se detenía cuando dejaban de funcionar los evaporadores.

Además, se colocó otra electroválvula para cerrar el paso al agua tratada proveniente del área de compresores a caldera mientras se estuviera bombeando el condensado vegetal y de esta manera, durante el período en que la industria no estuviera concentrando jugos fuera posible reintegrarla nuevamente. También se previó instalar una tubería para la sustitución del agua tratada por el condensado vegetal en el área de los compresores para reducir los costos de operación.

Como resultado de esta adaptación en el período 2008-2009, se logró sustituir un 29 % de agua tratada, debido a la intermitencia en la producción de jugos concentrados para la alimentación de la caldera (Fig. 4) y el 71 % restante en otras labores, con lo que se ha evitado descharlo como efluente industrial.

Los resultados obtenidos por la sustitución parcial del condensado vegetal en la alimentación de la caldera permitieron un ahorro de fuel oil de 79 847 L/año, lo que representó el 2,58 % del gasto de combustible anual, con un efecto económico de 22 357 CUC y un ahorro de 30 758 m³ de agua que anteriormente se extraían del

manto freático y eran tratados para la alimentación de la caldera equivalente a 3 998,54 CUC.

La puesta en marcha del sistema propuesto requirió de una inversión de 14 203,82 CUC, al demandar de cable conductor flexible 0,6; dos vías; relé OMRON potencia 48 V; válvula de tres vías; tuberías de acero inoxidable DIM 50; transformador 440 a 48 V; sensores de nivel; electroválvulas; conductímetro; bomba dosificadora; tanque de acero inoxidable con agitador; electrodo, manguera de 8 mm y válvula acero inoxidable DIM 50 básicamente. Los gastos por concepto de salario fueron de \$1 736,52 MN, pues se requirió de un mecánico A de mantenimiento, un soldador, un tecnólogo, un técnico B en automatización y un técnico C en electroenergética.¹⁰

De acuerdo con los ahorros estimados de 26 355,54 CUC, la inversión de 14 240 CUC y costos de producción de 70,95 CUC la aplicación de esta medida tuvo un período simple de recuperación de 0,53 años. El estudio de factibilidad económica realizado mostró indicadores financieros como el valor actual neto (VAN) con una tasa de interés del 12 % positivo y una tasa interna de retorno (TIR) del 35 %, por lo que se recomendó el proceso tecnológico debido a su rápida recuperación en divisas.

Desde el punto de vista ambiental, la utilización parcial del condensado vegetal como agua de alimentación de calderas evitó la combustión anual de 79 847 L de fuel oil con un equivalente a emisiones a la atmósfera de 238,42 t de dióxido de carbono, la extracción de 30 758 m³ de agua del manto freático así como tratar este volumen de agua como residual industrial en la planta de tratamiento.

CONCLUSIONES

Se comprobó que es técnicamente factible utilizar el condensado vegetal para sustituir el agua suave en la alimentación de la caldera, al disponerse de esta corriente en el proceso tecnológico durante la concentración de jugos cítricos, cumplir con los parámetros de las normas establecidas y solo requerir el ajuste del pH con 0,125 t/año de NaOH para evitar la corrosión en la caldera.

El estudio de viabilidad económico realizado mostró para una inversión de 14 240 CUC, ahorros estimados de 26 355,54 CUC, un valor actual neto con una tasa de interés del 12 % positivo, una tasa interna de retorno del 35 %, un período de recuperación de la inversión de 0,53 años por lo que es factible la instalación de este sistema para usar el condensado vegetal en la alimentación de la caldera.

Desde el punto de vista ambiental se evitó la extracción de 30 758 m³ de agua del manto freático y se dejó de tratar la misma cantidad de condensado vegetal en forma residual, asimismo, se redujo en 238,42 t las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- García M, Sánchez D, Correa A. Consideraciones para una nueva citricultura en el continente americano. *Revista CITRIFRUT*. 2008;25(1):5-23.
- Abreu S, Fernández C.M, Moya R, Guzmán J., Bango G, Bello M, *et al.* ¿Cerrar ciclos en la industria cubana? *Boletín NOTICITRIFRUT*. 2009;(2):8-10.
- Abreu S, Fernández CM, Moya R, Guzmán J, Bango G, Bello M, *et al.* Estrategia de sostenibilidad para la Agroindustria. *Revista CITRIFRUT*. 2008;25(2):3-6.
- Prevez L, Sánchez-Osuna M. Manual de Producción Más Limpia para el sector industrial citrícola. Viena, Austria: ONUDI: 2007:p. 38-54.
- Borroto A. Combustión y Generación de vapor. Editorial Universo Sur. 2007:p.64-70.
- Correa G, Fernández L. Uso eficiente del agua en Refinería Luján de Cuyo. 2008. [Consultado: 7 de julio de 2008]. Disponible en: <http://biblioteca.iapg.org.ar/iapg/ArchivosAdjuntos/CONAID2/112%20trabajo.PDF>
- Martínez A. Manual de Termoeconomía, Santiago de Cuba: Ediciones Oriente: 2005:p.38-53.
- Pérez Y, García M. Manual para la gestión eficiente de la energía en la industria alimentaria. Viena, Austria: ONUDI: 2007:p.113-140.
- ONUDI. Manual de Producción Más Limpia. Viena, Austria: ONUDI: V.06-59580-febrero de 2007:p.158-64.
- González L. La producción más limpia como estrategia, para aumentar la eficiencia de las calderas de la Empresa de Cítricos “Héroes de Girón”. [Tesis de Diplomado]. Ciudad de La Habana, Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical; febrero de 2010.
- Norma UNE-9075:2008. Calderas Piro tubulares. Requisitos para la calidad del agua de alimentación y del agua de caldera. [Consultada: 24 de septiembre de 2008]. Disponible en: <http://www.eminfor.com/es/arti03.htm>
- Chávez W, Paredes C, Pacheco J. Causas de fallas en calderas. *Revista Tecnológica Edición Especial ESPOL Ciencia*. 2004. [Consultado: 29 de agosto 2008]. Disponible en: http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2004/9%20CAUSAS%20DE%20FALLAS.pdf
- Morán M, Shapiro H. Fundamentos de termodinámica Técnica. Editorial REVERTE S.A. 2000:p.135-50.
- Castellanos A, Montesino J, Pérez M. Métodos fundamentales de análisis de los procesos de transmisión de calor. Editorial Universidad de Cienfuegos: 2007:p.25-28.
- Borroto A. Ahorro de energía en sistemas de vapor. Centro de estudios de energía y medio ambiente. Villa Clara: Universidad Central de las Villas “Marta Abreu”: 2005:(2):p.16-38.
- Colectivo de autores. Calderas. 2008. [Consulta: 15 de julio del 2008] Disponible en: <http://www.lams.cl/calderas.html>.
- NT1633. Manual de instrucciones, uso y mantenimiento del generador de vapor modelo UMISA SMS'40(15) y resto de equipos instalados. 2001:p.54-78.
- Colectivo de autores. Uso del Agua. Generación de energía. *Revista Tecnológica Edición Especial ESPOL Ciencia*. 2006. [Consultado: 29 de agosto 2008]. Disponible en: http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2006/9%20CAUSAS%20DE%20FALLAS.pdf