

Eficiencia energética enfocada al medio ambiente en el Ingenio Providencia S.A.

Adolfo León Vivas Paredes y Liner Antonio Bermudez Zapata⁶²

Resumen

En este artículo se presenta la transformación que está teniendo el Ingenio Providencia S.A. en la búsqueda de alcanzar la más alta eficiencia energética cuidando el medio ambiente, mediante el cambio y/o modernización de equipos con tecnología de punta, los cuales con un menor costo de operación y mantenimiento entregan una mayor producción, obteniendo resultados como: disminuir las emisiones de material particulado a la atmósfera por fuentes fijas, de 2000 a menos de 50 miligramos por metro cúbico, disminuir consumo de carbón de 6180 t por mes a 3000 t vendiendo 14,000 t por mes de bagazo, aumentar la generación de energía eléctrica de 8910 Kilowatios a 34,500 Kilowatios y disminuir en un 25% el consumo de vapor por tonelada de caña molida. Esta aplicación podría implementarse en todos los procesos similares del gremio azucarero, aportando a la preservación del medio ambiente, con sostenibilidad ante los cambios económicos mundiales.

Palabras claves. Eficiencia energética, Medio ambiente.

Abstract

This article discusses the transformation that Ingenio Providencia S.A. is going through in the search to reach the highest energetic efficiency possible while protecting the environment. This development has been made through a change or modernization for state of the art equipment which at a lower operation cost deliver a higher production and achieve the following results: Particulate emission reduction to atmosphere from a permanent source, from 2,000 milligrams per cubic meter to under 50 milligrams per cubic meter. Reduction of coal consumption from 6,181 tons per month to 3,000 tons per month. Sales of bagasse of 14,000 tons per month, an increase of electrical energy generation from 8,910 kilowatts to 34,500 and a reduction of 25% of steam consumption per ton of cane milled. This development can be implemented in all similar processes in the sugar industry contributing to the preservation of the environment and maintaining a sustainability through world economical changes.

Key words: Energetic efficiency, Environment

Introducción

La industria azucarera y alcoholera tiene mucha importancia económica y relevancia social en América Latina. La industria azucarera colombiana está ubicada en el valle geográfico del río Cauca. Esta región ofrece condiciones especiales para la siembra y cosecha de la caña de azúcar a través del año debido a sus ventajas agroclimáticas. La investigación y desarrollo tecnológico del sector aseguran una posición muy relevante en los rendimientos azucareros del campo cañero. El

⁶² Respectivamente: Gerente de Fábrica avivas@ingprovidencia.com; y Magister en Ingeniería énfasis en Energética bermudez@ingprovidencia.com

sector produce azúcar, alcohol y derivados para abastecer tanto el consumo interno nacional, como para exportar de manera permanente y creciente.

El Ingenio Providencia S.A. está ubicado a 40 km de la ciudad de Santiago de Cali, Valle del Cauca. En 2007 alcanzó cifras de azúcar producido empacado: 4,500,899 quintales, azúcar crudo neto desviado a alcohol: 1,665,606 quintales, alcohol producido: 71,035,139 litros, la caña molida fue de 2,647,876 t, el rendimiento comercial fue de 11.64%. Actualmente se encuentra adelantando proyectos para alcanzar una mejor eficiencia energética y así poder aprovechar al máximo la capacidad de los equipos instalados y a instalar para suplir las nuevas necesidades de vapor y electricidad requeridas en el funcionamiento de la planta de alcohol carburante, motorización de los molinos, la caldera no. 4, la nueva planta de cogeneración, la planta de CO₂ y la planta de depurado de bagazo .

En el proceso para llevar a cabo estos proyectos se está teniendo en cuenta que, básicamente para una producción determinada de azúcar, el problema de optimización estructural y operativa puede plantearse como lo exponen Bejan, Tsatsaronis y Moran [1] y [6]: el costo mínimo de producción es igual al costo de inversión más el costo de operación, sujeto a balances de masa y energía, restricciones lógicas y evaluación de agresiones ambientales.

En el caso del Ingenio Providencia S.A. la función objetivo a minimizar es el consumo de vapor por tonelada de caña, con las restricciones determinadas por los balances de masa y energía, tratados por Cengel y Boles [3].

La evolución de la agresión ambiental hacia el óptimo es evaluada a través del cumplimiento de la norma ISO 14000, en la búsqueda de considerar no sólo el consumo de energía y la economía global del proceso, sino también la contaminación y degradación del ambiente.

Eficiencia energética enfocada al medio ambiente.

Se ha venido desarrollando en varias etapas: cambio en el sistema de evaporación, cambio de turbinas por motores eléctricos, instalación de la caldera no.4 y montaje del sistema de generación de energía eléctrica en el modelo de cogeneración. Con un costo total del avance tecnológico de 1.3 millones de dólares americanos por MW de generación eléctrica instalado.

Cambio en el sistema de evaporación

En enero de 2007 se migró de un esquema de dos líneas de evaporación de cuatro etapas o efectos a una sola línea de evaporación con cinco etapas o efectos, la cual consistió en redistribuir los equipos evaporadores existentes y adicionar dos evaporadores más eficientes, que contienen un diseño de alimentación radial de vapor, permitiendo distribuir uniformemente la exergía del vapor en el intercambiador de calor del evaporador, minimizando así las pérdidas de exergía según Moran y Shapiro [5], lo cual dio como resultado la disminución del flujo de vapor requerido en el proceso de evaporación; Además, pasar de una presión de trabajo de 18 PSI a 22 PSI, disminuyendo el tiempo requerido de estadía del fluido en los equipos, posibilitando significativamente el aumento de la producción.

Cambio de turbinas por motores eléctricos

En el primer semestre de 2007, se retiró la turbina de vapor de la picadora de caña, reemplazándola por dos motores de 600 HP, acoplados al mismo eje, a su vez se retiró la turbina de vapor del ventilador de tiro inducido de la caldera 1, reemplazándola por un motor de 400 HP, lo cual fue muy significativo porque el consumo de vapor de alta presión que se requería para mover estas

turbinas de baja eficiencia (75%) se le dio un mejor aprovechamiento al utilizarlo en la turbina del generador principal el cual tiene una eficiencia de 87%. Aquí se empezó observar cómo se generaba más electricidad con el mismo consumo de vapor, disminuyendo así la compra de energía a la red pública.



Figura 1. Molinos con Turbinas.



Figura 2. Molinos con Motores Eléctricos.

La segunda etapa de cambio de turbinas por motores eléctricos se cumplió durante el primer semestre de 2008 con la motorización de los molinos, lo que consistió en reemplazar las seis

turbinas existentes con eficiencia del 75% (Figura 1) por motores eléctricos de 1200 Kw para los molinos no. 1 y no. 6 y motores eléctricos de 1000 Kw para los molinos no. 2, no. 3, no. 4, y no. 5 como se muestra en la Figura 2, conservándose el mismo aprovechamiento anteriormente citado, al utilizar este vapor de alta presión en la turbina del generador principal con eficiencia del 87%. Además de un salto tecnológico en la implementación de control por variadores de velocidad con tecnología de IGBT (del inglés Insulated Gate Bipolar Transistor), tanto en su etapa de rectificador como en la de inversor. Esto permitió mantener una buena calidad de energía cumpliendo con los requerimientos eléctricos de nivel de armónicos en la red así como también, un factor de potencia en la entrada de los variadores con un valor de 1, $fp = 1$, evitando tener que comprar bancos de condensadores para compensar factor de potencia. Otro logro, siendo este el más importante, fue el mejoramiento en la extracción de sacarosa en los molinos gracias a que con los variadores de velocidad se puede tener un nivel constante de alimentación de caña a cada molino, encontrando su punto óptimo de funcionamiento.

Instalación de la caldera no. 4

En la actualidad se está llevando a cabo la instalación de una caldera nueva con capacidad de entregar 400,000 lb/h de vapor a una presión de 955 PSI y temperatura de 950 °F, la cual cumple con los mejores criterios en mínima generación de entropía y máximo aprovechamiento de la exergía expuestos por Bejan [2], debido a su diseño, que contiene todos los equipos para utilizar y reutilizar en varias oportunidades las exergías del vapor y aires a través de toda la caldera. Estos equipos son el economizador, precalentador, superheater como también control por variadores de velocidad en diferentes procesos de la caldera, como el suministro exacto del combustible y el aire necesario para la combustión del mismo, alcanzando la relación óptima de aire/combustible que permitirá disminuir en 50% el consumo de carbón, lo que es muy favorable para la preservación del medio ambiente y es valorado por el protocolo de Kyoto, el cual a través de transacciones de bonos verdes equivalentes a la disminución de emisión de toneladas de CO₂ a la atmósfera representan un gran apoyo económico y viabilidad a la ejecución de estas obras.

Además de lo anterior, el Ingenio Providencia S.A. en la siembra de caña hace un gran aporte a la disminución de los gases de efecto invernadero, principalmente CO₂, que es producido en la combustión del bagazo en las calderas. El CO₂ consumido durante la producción de la caña es considerablemente mayor que el liberado en la combustión del bagazo, ya que sólo el 30% del CO₂ tomado por las plantas es convertido en material fibroso de la caña (Colombo et al. [4]).

Montaje de dos nuevos generadores.

Para aprovechar las ventajas energéticas de la nueva caldera no. 4, el Ingenio Providencia S.A. actualmente esta montando dos generadores eléctricos con capacidad de 20 MW cada uno, movidos por turbinas de vapor de una alta eficiencia (95%) con el fin de alcanzar una generación total de 34.5 MW de los cuales 18 MW se consumirán en las cargas actuales y futuras, incluyendo la motorización total de las turbinas existentes, como la desfibradora que tiene una turbina de 3800 HP equivalentes a 2.8MW, más la ampliación de las redes eléctricas en los circuitos de pozos profundos utilizados en el riego de agua para el campo. Los otros 16.5 MW de energía eléctrica se venderán a la red pública a través de una subestación de 13.2/115 KV y una línea de distribución de 9 km. Siendo un gran aliciente económico para las finanzas de la empresa y continuando con la política de diversidad en los productos.

Para dar cumplimiento a los contratos de venta de energía los cuales requieren ser constantes en la entrega de la misma y para suplir las necesidades de la planta de alcohol carburante

en los días de mantenimiento de la fábrica de azúcar, se compró una de las turbinas de los generadores a extracción-condensación, la cual permitirá cumplir con estas necesidades y aprovechar al máximo el vapor alta presión sin tener pérdidas de agua de condensados, obteniendo eficiencia energética.

Conclusiones

- El nuevo esquema de evaporación disminuyó el flujo de vapor de baja presión requerido en el proceso de 390,000 lb/h a 340,000 lb/h. Además, pasar de una presión de trabajo de 18 PSI a 22 PSI, disminuyendo el tiempo requerido de estadía del fluido en los equipos, pasando de un flujo masico de jugo de 390 t/h a 430 t/h, posibilitando significativamente el aumento de la producción.
- El cambio de turbinas por motores eléctricos en su primera etapa generó más electricidad con el mismo consumo de vapor de alta presión, disminuyendo así la compra de energía a la red pública, y en la segunda etapa con la motorización de molinos se obtuvo un excedente de energía para la venta a la red pública, con menos costos de operación y mantenimiento.
- La implementación de variadores de velocidad mejora la extracción de sacarosa en los molinos gracias a que con estos se gana controlabilidad y así se permite obtener un nivel constante de alimentación de caña a cada molino, encontrando su punto óptimo de funcionamiento.
- Con la instalación de la caldera no.4 y los turbogeneradores en el esquema de cogeneración, se espera un máximo aprovechamiento de los recursos energéticos del ingenio disminuyendo así los costos de operación y mantenimiento de estas secciones, como también el costo de insumos por concepto del carbón como combustible, además de una minimización del impacto ambiental al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, obteniendo un ingreso económico muy interesante con la venta de energía eléctrica a la red pública, venta de bagazo y transacciones de bonos verdes.
- Con la implementación de los criterios de eficiencia energética anteriormente planteados se ahorrará el 25% de consumo de libra de vapor por tonelada de caña, pasando de 1200 $\text{lb}_{\text{vapor}}/\text{t}_{\text{caña}}$ a 900 $\text{lb}_{\text{vapor}}/\text{t}_{\text{caña}}$.

Referencia

1. Bejan A., Tsatsaronis G., and Moran M. 1996. Thermal Design & Optimization. Wiley, New York.
2. Bejan A. Advanced Engineering Thermodynamics. 2nd Ed. John Wiley & Sons, New York.
3. Cengel Y.A., and Boles M. A. 2002. Thermodynamics, an engineering approach. McGraw Hill, New York.
4. Colombo Mauricio, Mele Fernando, Hernández María Rosa, Gatica Jorge y Silveira José Luz. 2006. Optimización Termoeconómica Y Ambiental De Ingenios Azucareros. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán Av. Independencia 1800, (4000) San Miguel de Tucumán, Argentina.
5. Moran M. and Shapiro H. 2000. Fundamentals of engineering thermodynamics, 4th Ed. Wiley
6. G. Tsatsaronis, Combination of exergetic and economic analysis in energy-conversion processes, in A. Reis, et al., eds., Energy Economics and Management in Industry, Proceedings of the European Congress, Algarve, Portugal, April 2-5, 1984, Pergamon Press, Oxford, England, Vol. 1, pp. 151-157.