

# INTEGRACIÓN DE POTENCIA Y PROCESO EN UN INGENIO PRODUCTOR DE AZÚCAR CRUDO

**Rubén Espinosa Pedraja, José Ulivis Espinosa Martínez,**  
Departamento de Ingeniería Química, Universidad Central “Marta Abreu” de  
Las Villas, Santa Clara, Cuba.

Recibido:

Aceptado:

El trabajo consistió en un estudio energético en un ingenio productor de azúcar crudo, Donde se aplicaron no solo los balances energéticos convencionales sino también la tecnología Pinch (TP). Con estos resultados se realizaron análisis de diferentes alternativas así como la posibilidad de cogeneración obteniéndose mejoras apreciables en el esquema energético de la planta.

Palabras clave: Balance Energético, Integración de procesos, Tecnología Pinch.

## **INTEGRATION OF POWER AND PROCESSING A RAW SUGAR MILL**

It was realized an energetic balance in a sugar mill, applied the conventional energetic balance and the pinch technology (TP). With the final results it had been analyzed alternatives, and the possibility of cogeneration. An energetic scheme more organized and economics was founded.

Key words: Energy balance, Integration of processes, Pinch Technology

## **INTRODUCCIÓN**

La Tecnología Pinch es una metodología que comprende un grupo de técnicas estructuradas para la aplicación sistemática de la primera y segunda ley de la termodinámica. Estas reglas son a la vez simples y prácticas. La aplicación de estas técnicas facilita el diseño ingenieril del proceso para discernir la ganancia fundamental dentro de la integración térmica entre el proceso químico y los sistemas de utilidades circundantes. Esto facilita la optimización del consumo total de utilidades y de las áreas del

proceso y la configuración *a priori* del sistema de utilidades para la simulación detallada final y la optimización.

La integración de procesos se ha llevado a cabo a lo largo de muchos años a través de la experiencia de ingeniería y por la observación de los procesos específicos. Sin embargo con el arribo de la tecnología Pinch (TP), cuestionada por unos y bienvenida por otros, fueron reconocidas las ideas originales acerca de la integración de procesos, ya que dio al ingeniero la posibilidad de descubrir de

manera precisa toda la energía que debe utilizar realmente en su planta. Usando los conceptos que engloba la TP, el ingeniero puede convertirse en controlador del proceso, puede tomar en cuenta aspectos importantes como la operabilidad, la disposición de la planta, la seguridad, etc., y guiarse hacia una solución donde no solo tome en cuenta la eficiencia térmica sino que sea industrialmente aceptable.

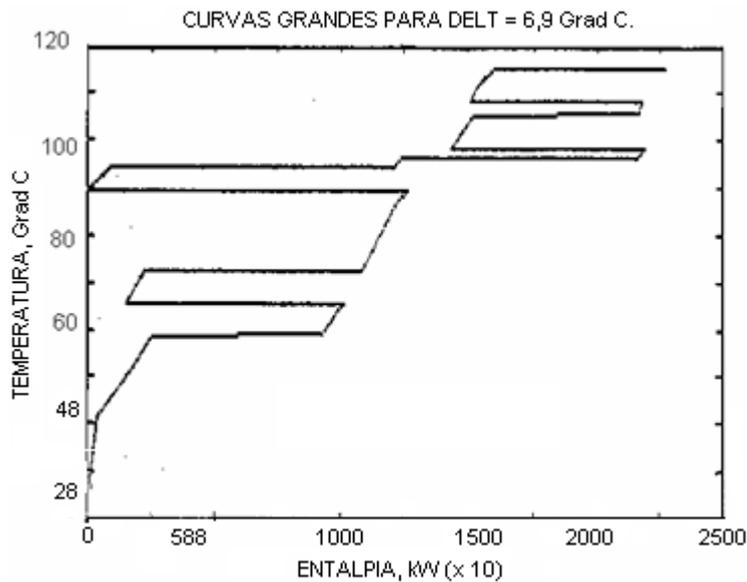
## DESARROLLO

Para el caso de análisis se tomó un ingenio de 210 000 @ diarias (100 tch). Se comenzó realizando un balance energético utilizando la metodología del P.T. Rubén Espinosa y col. que arrojó los resultados siguientes:

- Vapor por reductora: - 7 166,25 kg/h
- Faltante de bagazo: 3 856.8 kg/h
- Vapor % caña: 69 %
- Generación de electricidad @ 1 200 kwh (Satisfacción 100 % demanda)
- Relación Q/E = 43

Como se observa existe un desbalance energético apreciable dada la cantidad de escape sobrante y un faltante de bagazo de gran consideración, sin embargo es imposible determinar con precisión dónde se ubican los mayores problemas; para lo cual se aplica entonces la Tecnología Pinch a la parte tecnológica del proceso.

A partir de los siguientes datos se aplica la TP y se obtiene la información dada por la gráfica de la figura 1.



**Figura 1. Esquema actual**

Existe una violación de las reglas de la Tecnología Pinch debido a que solo se debe adicionar calor por encima de la temperatura Pinch (89,6 °C) y enfriamiento por debajo lo que no se cumple en las corrientes 16, 17, 20 que representan los flujos de jugo que entran a calentadores y múltiple efecto, además no existe verticalidad entre las curvas lo que puede deberse también a que la presión de escape no sea la adecuada.

Consumo de vapor de Escape = 53 249,48 kgv/h  
Consumo Según TP = 30 173,11 kgv/h

De aquí se infiere que puedan existir otras combinaciones en el proceso más factibles que la usada hasta el momento.

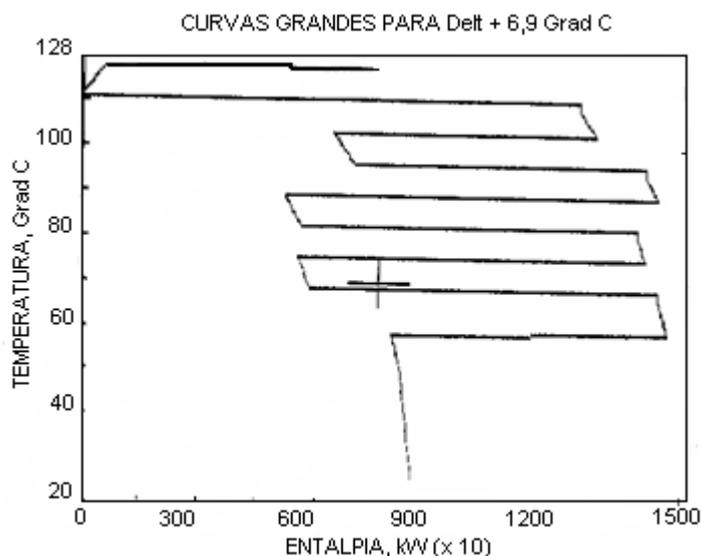
Basado en estas dificultades se plantea un análisis de cuatro alternativas:

1. Quintuple efecto a  $P = 20 \text{ Lb/plg}^2$
2. Quintuple efecto a  $P = 20 \text{ Lb/plg}^2$  realizando extracción a calent en los 3 primeros vasos.
3. Quintuple efecto a  $15 \text{ Lb/plg}^2$ .
4. Mantener el esquema original (pre y cuádruple) trabajando a  $20 \text{ Lb/plg}^2$ .

Las dos últimas se desechan por tener consumos similares o superior a la variante instalada y para seleccionar las dos restantes se aplica nuevamente TP. Seleccionándose la 2, o sea quíntuple efecto, con extracción a calentadores trabajando a 20 Lb/plg<sup>2</sup>.

Consumo de vapor variante propuesta = 15 803,27 Kgv/h (TP)  
Consumo de vapor variante propuesta = 23 778 Kgv/h

En la Figura 2 se muestran las curvas grandes para el sistema propuesto.



**Figura 2. Variante propuesta**

Se pasa entonces al área de tachos donde también se detectan problemas con el aprovechamiento del vapor. Se aplica la variante TP para sistemas discontinuos, integrando el trabajo de tachos y mejorando la estrategia de trabajo propuesta, logrando un ahorro de vapor de 8 033,48 Kgv/h (6 045 kW), con la instalación de un acumulador de vapor que suple los picos en la demanda.

Con estos cambios anteriormente descritos se logra obtener dentro del área tecnológica mejoras apreciables en los consumos y operación de los equipos.

Se pasa entonces a analizar el área de generación de vapor del ingenio.

Los generadores de vapor instalados se encuentran en una situación de mal estado técnico lo que no permite que se alimente vapor a la presión necesaria a los turbogeneradores y turbinas para que se logre el escape de 20 Lb/plg<sup>2</sup> necesario para el funcionamiento del quíntuple efecto propuesto, ni se puede

generar toda la energía eléctrica que es capaz de producir el turbogenerador (1 500 Kwh) genera (1 200 Kwh).

Se plantea el cambio de las dos calderas de 200 Lb/plg<sup>2</sup> (13.6 atm) una caldera de 250 Lb/plg<sup>2</sup> (17 atm) vapor sobrecalentado y capacidad 45 Tv/h, que logra el escape a las condiciones requeridas. Así como generar 1412.44 Kwh.

Como las necesidades eléctricas son satisfechas con los 1200 Kwh entonces este excedente se va a utilizar para sustituir a cuatro de las cinco bombas recíprocas, altas consumidoras de vapor por motores eléctricos.

Consumo de Motores eléctricos = 210,01 Kwh

Se realiza nuevamente el balance energético con todos los cambios analizados hasta el momento y se obtiene :

Vapor por reductora = 4 048,74 Kgv/h (3%)  
Faltante de bagazo = 2,92 t/h

Vapor % caña = 59%  
Generación de electricidad = 1412.44 Kwh  
Relación Q/E = 28.

Aunque el balance mejoró notablemente aún existen los siguientes problemas:

- Las diferencias existentes entre el escape disponible y el necesario para el proceso fueron mejoradas pero aún existe un sobrante de vapor en las calderas de baja.
- Aunque mejoró la cantidad de bagazo que se necesitaba para el proceso aún existe un faltante que puede eliminarse pues solo por escape sobrante se bota una cantidad de vapor que equivale a 1.99 Tbag/h.
- Aún persiste una violación de la TP al utilizarse en los tachos vapor de escape.

Por lo anterior se plantean estos últimos cambios:

- Un pre-evaporador trabajando a alta presión (20Lb/pg<sup>2</sup>) (1.36 atm) y 600 m<sup>2</sup> de área de transferencia de calor que aportaría 12 Tv/h a tachos.
- Eliminación de una de las calderas de baja presión debido a la sustitución de las bombas recíprocas por motores eléctricos.
- Uso del acumulador de vapor seleccionado según TP a tachos.
- Uso del vapor residual de las calderas de alta .
- Uso del turbogenerador como regulador del vapor producido.
- Trabajo de los tachos con vapor de extracción del pre evaporador unido al acumulador.

Se realiza por última vez al balance energético lográndose parámetros muy cercanos a los establecidos por la literatura a nivel mundial.

- Vapor por reductora 7 % (12-15 %) recordar que el turbogenerador actúa como regulador.
- Sobrante de bagazo - 4 800 Kgb/h
- Ahorro de bagazo - 7 % (13 %)
- Relación Q/E - 20,38
- Vapor % caña - 57 % (50-55 %)
- Índice de generación - 2,09 Kgv/kgb.
- Generación de electricidad: 14,01 Kwh/Tc (15-18 Kwh/Tc)

El análisis económico de las inversiones a realizar arroja los resultados siguientes:

- Ganancia: \$ 356160 /año
- Tiempo de recuperación de la inversión: 4,36 años
- % retorno: 123

## CONCLUSIONES

1. La realización de una evaluación termoenergética en la instalación actual, sirvió para conocer las dificultades existentes en el esquemas térmico, fundamentalmente el gran desbalance que existe en cuanto a vapor generado por equipos primarios y vapor utilizado en proceso tecnológico, lo que causa un déficit de bagazo apreciable.
2. La aplicación de la TP de una amplia información acerca de la magnitud de las pérdidas, así como su nivel de jerarquización además de una manera de solución a estos problemas.
3. La instalación de una nueva caldera, unido a los cambios citados anteriormente, permiten obtener resultados alentadores en el balance, que lo sitúan con parámetros similares a los obtenidos en la literatura actualizada.

## BIBLIOGRAFÍA

1. LINNHOFF, B. *ET AL.*: User guide or process integration for efficient use of energy. Inst. Cher. Eng. Rugby., U. K. 1997.
2. NOEL, E. L.: "Cogeneration and the optimal steam / energy balance," *International Sugar Journal* N<sup>o</sup> 1150, 1994.
3. ESPINOSA PEDRAJA, R.: "Sistema de utilización del Calor en la Industria Azucarera", 1990.
4. EZQUERRA ROQUE, Y.: Tesis para optar por el grado de Máster en Análisis de Procesos, UCLV, 1998.
5. PETER, M.: Plant Design and Economics for Chemical Engineers. 2<sup>nd</sup> Edition. Edic. Revolucion., 1980.

6. CONAE: Esquemas de cogeneración. Amocalli. Ediciones SA, México, 1995.
  
7. ALARÍS, F. J.: Está ud realmente cogenerado? El caso de las industrias de procesos. 2<sup>das</sup> Jornadas de cogeneración CONAE, México, 1993.