

# La energía térmica y el medio ambiente. Thermal Energy and Enviroment

Autores: MSc. Ing. Rubén Espinosa Pedraja.  
Dr . Jesús Castellanos Estupiñán  
MSc. Ing. José Ulivis Espinosa Martínez  
Dpto. Ing. Química, UCLV, Villa Clara.

## Resumen

Fue aplicado un programa de Gestión Energética Eficiente y una caracterización energética con herramientas simples en un ingenio de la provincia de Misiones en Argentina. Se comenzó con los consumos históricos de energía y se determinaron los actuales en el proceso de producción. Se recomendaron algunas acciones, así como técnicas de organización que disminuyen estos consumos y el impacto ambiental.

**Palabras Claves:** Gestión Energética, Estructura de Consumo, Caracterización Energética.

## Abstract.:

A program of energy administration in a Sugar Mill , in Misiones, Argentina, and characterizing the industry with simple tools was applied. Starting from historical data of consumptions and ending up determining the main team energy consumers inside the productive process. Some actions were recommended, so much technical as organizational to execute to diminish the mimes.

**Key words:** Energy Management, Consumption Structure, Thermal Characterization, Cogeneration.

## Introducción

Se han desarrollado varios trabajos con vista a conocer el ahorro de energía que se produce en estos procesos y la introducción de variantes que produzcan una minimización en los mismos, además de producir un aumento en la eficiencia energética y la consecuente disminución de los portadores energéticos ( 1, 2).

A continuación se darán algunos ejemplos donde se muestra los resultados obtenidos con la aplicación de la Tecnología y el ahorro de energía producido en un ingenio de 750 t/día y destilería anexa.

### **Datos tomados por el método de expertos:**

Turbogenerador, este equipo lo conforma una turbina de vapor a contrapresión de aproximadamente 1.5 Mw. de potencia nominal con adaptaciones para el acoplamiento con un generador sincrónico trifásico, construido para una frecuencia de la red de 50 Hz y 1 500 kW.h, de cuatro polos, para 1800 r/min.; el cual se compone en lo fundamental del cárter, en donde está montado el

paquete de chapas con el bobinado del estator y una parte rotativa y la rueda polar que porta el bobinado de excitación.

**Combustibles:** Bagazo, aserrín, virutas de madera, costaneros, etc.

**Valor calórico neto promedio:** 2400 Kcal. / Kg

**Índice de generación:** 2.0 a 3.0 kg de vapor / kg de comb.

**Humedad promedio del combustible:** 40%

Según los cálculos preliminares:

- Masa de combustible necesario: 7.77 t / h
- Eficiencia de la caldera: 74.3%
- Índice de consumo calculado de la turbina de vapor: 12.88 Kg de vapor / kWh prod.
- A proceso 470 kWh, a la red nacional 1030 kWh
- Eficiencia termodinámica de la turbina: 67%
- Masa de vapor producido: 19.32 t / h
- Por ciento de generación de vapor: 94.2%
- Pérdidas totales de calor aproximadas: menos del 5%.

### Caldera (Caren, Brasileña)

- Presión de vapor: 25 atmósferas manométricas **y vapor sobrecalentado 340°C.**
- Vapor a turbina: 19.5 t / h
- Vapor a destilería: 4 t / h
- Vapor otras necesidades del proceso: 1.5 t / h
- Agua al desobrecalentador: 2.4 t / h (Esta agua será extraída del domo superior de la caldera)
- Relación Q/E = 2.45 kWt / kWe

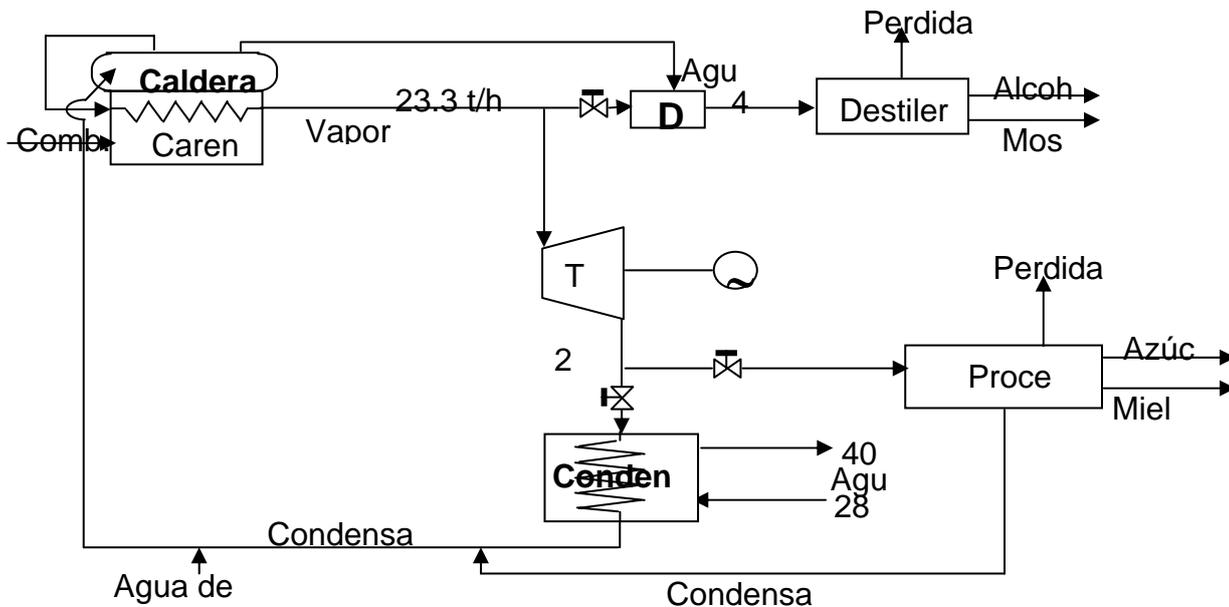


Fig. No. 1. Sistema energético base.

## Tecnologías existentes para la cogeneración en la industria azucarera actual.

Existen en la actualidad varias tecnologías para la Cogeneración, siendo las que mas prometen las siguientes ( 3,4):

- Tecnología para la cogeneración todo el año utilizando bagazo en el tiempo de zafra y carbón u otro combustible en el período de no zafra. (Mauricio)
- Tecnología para la cogeneración todo el año utilizando bagazo y una termoeléctrica anexa al ingenio utilizando como combustible bagazo sobrante de otras unidades y RAC u otros combustibles. (Proyecto Ingenio A, Santamaría, Cuba)
- Tecnología para la cogeneración todo el año utilizando caña energética en período de no zafra y bagazo u otro combustible y produciendo además, alcohol y torula. (Proyecto S.S. Cuba)
- Tecnología para la cogeneración todo el año utilizando bagazo en el tiempo de zafra u otro combustible y gasificando el mismo para usarlo en un sistema combinado. (Proyecto USA)

Para la aplicación de este trabajo se necesita un estudio más riguroso efectuado por un grupo multidisciplinario que agrupe un Ing Químico un electromecánico y un industrial, como mínimo.

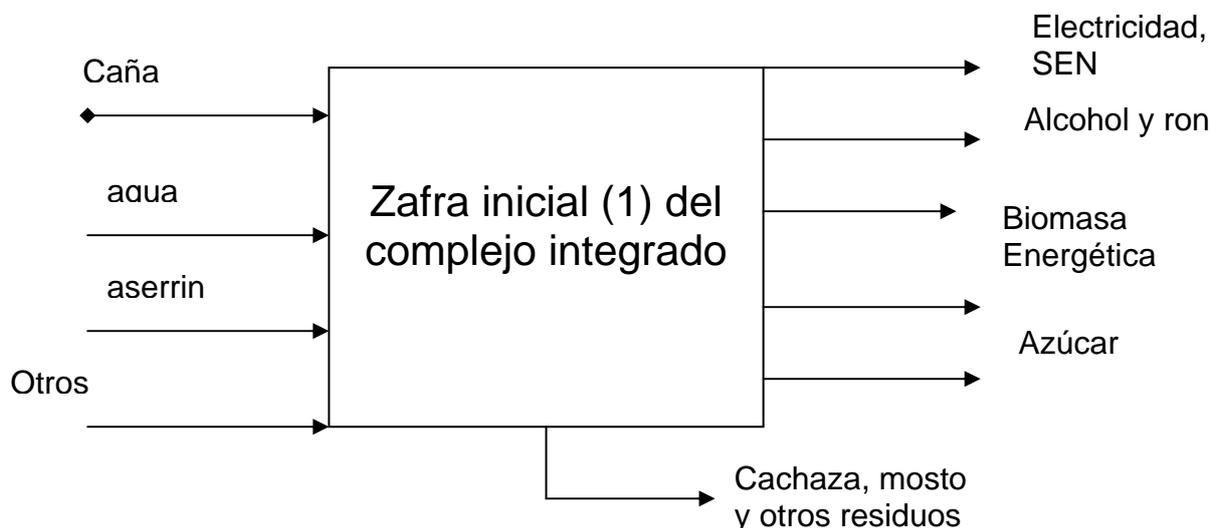
Planta de cogeneración con el uso de caña de azúcar, caña energética y otros combustibles y mieles en la producción de azúcar, alcohol y electricidad.

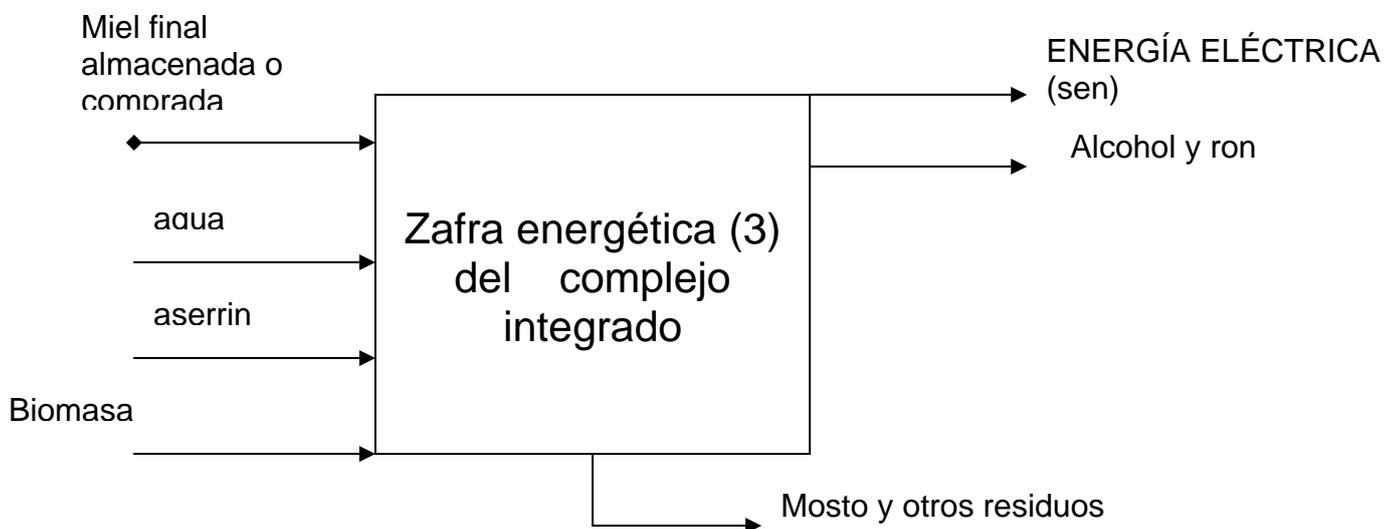
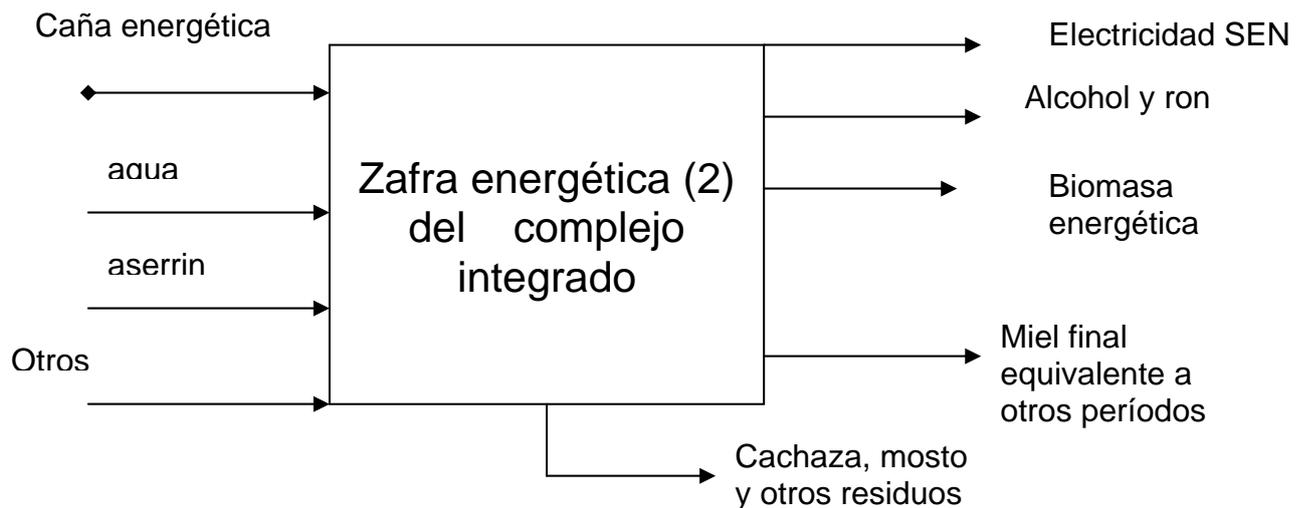
Períodos de operación del complejo integrado.

### **Zafra azucarera inicial (1)      Zafra azucarera (2)      Zafra azucarera (3)**

Ingenio                                      Ingenio                                      Destilería  
Destilería                                      Destilería                                      Destilería  
Planta de cogeneración      Planta de cogeneración      Planta de cogeneración

### DIAGRAMA GENERAL DE CADA UNO DE LOS PERÍODOS





Zafra inicial (1): Azúcar, alcohol, ron y electricidad. Bagazo sobrante y otros

combustibles para otras etapas y miel final.

Tiempo óptimo: 150 días

Zafra energética (2): Jugo para dilución de mieles, electricidad. Bagazo sobrante y otros combustibles para otras etapas

Tiempo óptimo: 146 días

Zafra energética (3): Electricidad al SEN, azúcar morena, alcohol y ron con el uso de la biomasa almacenada más otros tipos de combustibles.

Tiempo óptimo: 34 días.

Tiempo total de trabajo: 330 días al año.

## **Otras variantes que pueden ser estudiadas ( 5,6).**

Variante # 1. (Período no zafra)

### Caldera tubos de agua.

- Combustibles a usar: Aserrín, virutas de madera, costaneros, etc.
- Humedad promedio de los combustibles: 45%
- Valor calórico neto del combustible (VCN): 2068 Kcal. / Kg.
- Índice de generación promedio: 2.9 Kg de vapor / Kg comb.
- Combustible quemado (necesario): 6.89 t / h (166 t / día)
- Presión nominal: 25 atm
- Temperatura de sobrecalentamiento: 340°C
- Producción de vapor: 20 t / h (480 t / día)

### Turbogenerador de extracción variable

- Índice de consumo específico: 12.98 Kg de vapor / kWh
- Generación real: 1540 kWh y 50 Hz (36 Mwh. / día)
- A Proceso 170 kWh, a la red nacional 1370 kWh
- Vapor extraído: 4 t / h a 4 atm y 169°C (96 t / día)
- Escape producido: 16 t / h a 2 atm saturado (384 t / día)
- Energía utilizada en el proceso: 94%
- Índice de entrega de electricidad: 217 kWh / t de comb.

### Destilería anexa

- Materia prima: Miel final diluida ó azúcar morena diluida.
- Productos: alcohol (250 Hl. / día), ron, mosto frío.
- Pérdidas totales aproximadas: ≤ 5% del calor total.
- Vapor consumido a 3 atm saturado: 10 t / h (240 t / día)

### Condensador central.

- Vapor a condensador: 10 t / h (240 t / día) a 2 atm saturado (130°C).
- Agua de enfriamiento consumida a 28°C: 104 t / h (2500 t / día)
- Temperatura máxima de salida del agua: 40°C

### Condensados

- Condensados puros, seguros y calientes obtenido: 10 t / h y 130°C (240 t / día)
- Agua de reposición de caldera: 10 t / h (240 t / día)
- % de agua de reposición tratada: 50%

## Variante # 2. (Período zafra)

### Caldera tubos de agua.

- Combustibles a usar: Aserrín, virutas de madera, costaneros, etc.
- Humedad promedio de los combustibles: 45%
- Valor calórico neto del comestible (VCN): 2068 Kcal. / Kg.
- Índice de generación promedio: 2.9 Kg de vapor / Kg comb.
- Combustible quemado (necesario): 8.62 t / h (207 t / día)
- Presión nominal: 25 atm
- Temperatura de sobrecalentamiento: 340°C
- Producción de vapor: 25 t / h (600 t / día)

### Turbogenerador de contrapresión

- Índice de consumo específico: 12.98 Kg de vapor / kWh
- Generación real: 1540 kWh y 50 Hz (36 Mwh. / día)
- A Proceso 470 kWh, a la red nacional 1070 kWh
- Escape producido: 20 t / h a 2 atm saturado (480 t / día)
- Energía utilizada en el proceso: 94%
- Índice de entrega de electricidad: 179 kWh / t de comb
- Consumo de reductora. 5 t / h (120 t / día)
- % reductora: 20%
- Agua del domo superior al desobrecalentador: 2 t / h (48 t / día)
- Vapor al colector de escape: 7 t / h (168 t / día)
- Escape producido: 20 t / h a 2 atm saturado /480 t / día).

### Destilería anexa

- Materia prima: Miel final diluida ó azúcar morena diluida.
- Productos: alcohol (230 Hl. / día), ron, mosto frío.
- Pérdidas totales aproximadas:  $\leq 5\%$  del calor total.
- Vapor consumido a 3 atm saturado: 8 t / h (192 t / día)

### Proceso Tecnológico.

- Materia prima: Caña 800 t / día (molida crítica 790 t / día)
- Productos: azúcar comercial, azúcar morena y miel final
- Vapor consumido a 2atm saturado: 19 t / h (456 t / día)
- Consumo de vapor % caña: 36
- Perdidas de calor aproximada:  $\leq 5\%$

### Condensados

- Condensados puros, seguros y calientes obtenido: 19 t / h y 130°C 456 t / día)
- Agua de reposición de caldera: 6 t / h (144 t / día)

- % de agua de reposición tratada: 24%

#### 4. Consideraciones Generales

Del análisis realizado anteriormente y las características que debe tener un ingenio azucarero para lograr un balance termo-energético positivo, cuyos indicadores se muestran a continuación:

- % reductora = 10-12 %.
- Bagazo sobrante > 5 %.
- Agua de reposición < 15 %.
- Uso extensivo de los vapores vegetales.
- Consumo de vapor general < 50% caña.

#### 5. Conclusiones.

- La aplicación de los balances de masa y energía a través de un programa montado en Excel evidencian que los índices de generación y de eficiencia térmica en los generadores de vapor son bajos, que el consumo de vapor global y tecnológico del proceso es alto, lo que demuestra que el esquema de vapor concebido es ineficiente, provocando desbalance energético, con altos flujos de vapor por reductora y altos consumos de otros portadores.
- La distribución de la energía térmica por consumidores muestra que las pérdidas son algo superiores a las aceptadas teóricamente (5%), lo cual corrobora el mal estado del aislamiento térmico y las pérdidas por escape a la atmósfera.
- El ingenio se clasifica dentro de los de esta capacidad de molienda como de balance termo energético deficiente.

#### Bibliografía

1. Díaz García, Emilio.: "Energía: elemento básico para la operación eficiente del ingenio", Revista Cuba Azúcar, Volumen XXVII, N° 1, Ciudad Habana, 1998.
2. Espinosa P, R.: "Gestión energética en la industria química". (Grupo GENIQ). Dpto de Ingeniería Química. UCLV, 2000.
3. Espinosa P, R; et al.: "Sistemas de utilización del calor". Ediciones ENPES, Ciudad Habana, 1990.
4. Espinosa P, R.: Dpto de Ingeniería Química. UCLV, 1996.
5. Espinosa P, R. et al.: "Estudio para el incremento de la eficiencia energética en nueve complejos agroindustriales de Villa Clara". Centro Azúcar. N° 1, año 25, ene-abr, 1998.
6. Espinosa P, R.; et al.: "Análisis de la integración energética en los procesos tecnológicos de la Industria Azucarera". Dpto de Ing. Química. UCLV, 1999.