

**COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA OBTENIDA POR COGENERACIÓN EN
CENTRALES AZUCAREROS. PARTE II. APLICACIONES.
COST OF THE ELECTRICAL ENERGY OBTAINED BY COGENERATION IN THE
SUGAR CANE MILLS. PART II. APPLICATIONS.**

Autores (Authors):

Dr. Juan José Sánchez Jiménez, (cheosj@yahoo.com), República de Panamá 173, CP 44570, Tlaquepaque, Jal., México, Tel. (33) 36399231; Dr. Alexis Martínez del Sol; Mtro. José Salvador Beltrán León; Dr. Mariano David Zerquera Izquierdo; Universidad de Guadalajara.

Resumen.

En el presente trabajo muestra la aplicación de la metodología utilizada para calcular el costo de la energía eléctrica obtenida por cogeneración en centrales (*ingenios*) azucareros y que fue analizada en la parte I. Para su ejemplificación se tomaron algunos ingenios azucareros ubicados en Cuba.

Palabras claves: cogeneración, vapor, costo de la energía, proceso.

Abstract.

The practical application of the methodology to calculate the cost of the electrical energy generated with steam in sugar cane mills is shown in this paper. Some Mexican and Cuban sugar mills were taking into account to exemplify the Method analyzed in the article "Cogeneration in the sugar cane mills. Part I."

Key words: cogeneration, steam, energy cost, process.

Desarrollo.

Aplicación de estas metodologías a varios centrales azucareros [4]

Aplicado el método a varios centrales azucareros, entre ellos, el central Héctor Molina ubicado en la provincia Ciudad de La Habana, [4] ubicado en provincia Habana. Cuba. El mismo posee 5 turbogeneradores cuyas capacidades son las siguientes, 3 de 2 MW; 1 de 1.4 MW y 1 de 4 MW. Para la ejemplificación se tomó uno de los de 2 MW, cuya eficiencia eléctrica (η_e) es 0.95% y se determina para un estado de carga de 1000 kW.

1. Gastos de combustible.

1. La eficiencia a plena carga como:

$$\eta = 2000/0.95 = 2105 \text{ kW.}$$

2. Las pérdidas a plena carga:

$$\Delta P = P_{\text{entrada}} - P_{\text{salida}}$$

$$\Delta P = 2105 - 2000 = 105 \text{ kW.}$$

Los datos de los demás turbogeneradores aparecen en la *tabla I*.

2. El coeficiente de carga (kc):

$$kc = 1000/2000 = 0.5$$

3. Las pérdidas a este estado de carga:

$$P_i = kc \cdot P_i/P_N$$

donde:

k_c : Coeficiente de carga

P_i : Potencia al estado de carga i , kW.

P_N : Potencia nominal, kW

De la *figura 4* (Parte I) se obtienen las pérdidas para este estado de carga:

$$\Delta P_{c(k_c = 0.5)} = 0.5625 \cdot P_N$$

$$\Delta P_{c(k_c = 0.5)} = 0.5625 \cdot 105$$

$$\Delta P_{c(k_c = 0.5)} \approx 59 \text{ kW}$$

Tabla I. Eficiencia de las calderas más utilizadas en la industria azucarera.

No.	Tipo de caldera	Eficiencia % (Respecto a VCN)
1	Piro tubular con horno de parrilla fija	85
2	De tubos rectos y tres pases con horno Martín sin arcos	67
3	De tubos rectos y tres pases con horno Martín con arcos	69
4	De tubos rectos y tres pases con horno Ward	70
5	Villa Clara con horno Ward	75
6	Stirling con horno Martín si arcos	64
7	Stirling con horno Martín de arcos	66
8	Stirling con horno Ward	67
9	Evelma de la primera generación con horno Martín de arcos	64
10	Evelma de la segunda generación con horno Martín de arcos	66
11	Evelma de la tercera generación con horno de celda	78
12	Reto de 25 y 40 t/h	78
13	Alemana de 45 t/h	80
14	Retal	78
15	Stirling con horno esparcidor y calentador de aire	80
16	Stirling con horno esparcidor	70

4. La eficiencia a este estado de carga:

$$\eta = \frac{1000}{1000 + 59} = 0.944$$

Como el gasto de combustible depende del estado de carga de los generadores un valor representativo se puede calcular a partir de las generaciones promedios de cada uno de ellos, las que aparecen, al igual que los gastos de combustibles, en la *tabla II*.

El turbo 1 en el período analizado (*una zafra*) generó 4' 831 784 kW - hora. Aplicando la

ecuación 2 (*de la parte I*). El precio de la tonelada de bagazo se tomó como \$ 5.25 pesos/ton. (*valor obtenido del Dpto. de Contabilidad de la empresa*) y una generación promedio de 1491.6 kW-h (*generación total/días de zafra*), se obtiene que el gasto de combustible para este turbogenerador es de 30.83 pesos/hora (*tabla II*), lo que equivale a un gasto de combustible total durante el período de zafra de 99 877 pesos (30.83 pesos/hora x 3240 horas de trabajo/zafra)

2. Gastos de Amortización.

Aparecen tabulados en la *tabla III*, según datos ofrecidos por el MINAZ Provincial. [1, 2, 3, 4]

3. Gastos de salario durante el tiempo de zafra.

Se tomó el salario de los operadores de la

pizarra general, turbinas, mecánicos, etc., durante el período de zafra, o sea, el salario del personal que labora directamente en esta instalación, incluyendo el 10% de seguro social.

En el ejemplo objeto de análisis este valor asciende a 13.39 pesos.

Tabla II. Valores aproximados de la eficiencia termodinámica en turbinas.

Tipo de Turbina	Presión (kg/cm ²) *	Eficiencia termodinámica
Contrapresión	3-7	0.65-0.70
Contrapresión	0.5-3	0.70-0.72
Condensación	-	0.72-0.75
Reacción y condensación	-	0.75-0.80

* Presión manométrica. Si se desea en lbs/pulg² multiplique por 0.3417

Tabla III. Resultados de la aplicación del método al central azucarero Héctor Molina de provincia Ciudad Habana, Cuba.

Turbo Generador	Capacidad MW	Energía Promedio (kW-h)	* Gasto Combustible (pesos/hora)	Costo Inversión (pesos)	Costo de Amortización (pesos)	Ne Nominal	ΔPn (kW)	Nm
1	2.0	1492	6.33957	228 635	15 547	0.95	105.263	0.95
2	2.0	1746	7.39667	228 635	15 547	0.95	105.263	0.95
3	2.0	958	4.26400	320 557	21 798	0.947	112.903	0.92
4	1.4	1236	5.58550	301 820	24 604	0.935	97.320	0.92
5	4.0	1700	7.24051	335 705	22 828	0.96	166.667	0.95
Total	----	7132	30.82625	1415 352	100 324	----	587.416	--

* En un día característico.

Gasto de combustible.....\$ 99 877.00
 Gasto de amortización 100 234.00
 Gasto de salarios (zafra) .. 13 392.00
 Gasto de reparaciones..... 8 170.00
 Gasto total..... **221 763.00**

Días de zafra: 153

Generación total..... 22 456 861 kW-h
 Precio tonelada bagazo... \$ 5.25

Costo de la energía generada \$ 0-009875 pesos/kW-h

4. Gastos de reparaciones.

Se tomó el salario del personal que trabaja en el arme, desarme y reparación de los equipos, incluyendo el 10 por ciento de seguro social y se le adiciona el costo de los materiales y

componentes utilizados. Para el ejemplo analizado este gasto asciende a 170 pesos.

5. Gastos indirectos.

Sólo se tiene en cuenta cuando se vende energía al sistema, o sea, cuando se

comercializa y parte de la generación es un producto mercantil. Para el ejemplo analizado toda la generación se consume en la fábrica.

El costo de la energía será entonces igual a la suma de todos los gastos.

Combustible.....	99 877
Amortización.....	100 324
Salarios (zafra).....	8 170
Indirectos.....	-----
Total	\$ 221 763

La generación total ascendió a 22' 456 861 kW-h, durante el período de zafra, lo que

implica que el costo del kW-hora generado fuera de:

$$\frac{221\,763}{22\,456\,861} = 0.009878 \text{ pesos/kW-hora.}$$

Por lo que se puede apreciar que el costo de energía generada en las empresas que utilizan vapor en su proceso, como lo son los centrales azucareros, es menor de 1 centavos, lo que justifica plenamente la generación en las mismas. En la *tabla IV* se muestra el costo de la energía eléctrica obtenida por cogeneración para varios centrales azucareros cubanos.

Tabla IV. Costo de la energía eléctrica generado por cogeneración en varios centrales azucareros cubanos. [4]

Nombre del Central	Ubicado en la provincia	Costo energía eléctrica (pesos/kW-h)
10 de Octubre	Villa Clara	0.012
Mario Muñoz Monroy	Matanzas	0.01018
Batalla de Santa Clara	Villa Clara	0.01563
Quintín Banderas	Villa Clara	0.0104
Héctor Rodríguez	Villa Clara	0.012226
Mariana Grajales	Villa Clara	0.01113
Héctor Molina	Provincia Habana	0.009875
Uruguay	Sancti Spiritus	0.0078 0.109**

** utilizando petróleo como combustible.

Conclusiones.

1. El costo de la energía eléctrica obtenida por cogeneración oscila desde décimas hasta unos pocos centavos, este se abarata si el combustible utilizado es el bagazo.
2. El ejemplo resuelto puede servir de guía para el cálculo del costo del kW/hora obtenido por cogeneración.
3. Resulta beneficioso a las empresas que utilicen vapor en su proceso cogenerar. Ello representará un considerable ahorro de dinero como consecuencia de la reducción del precio a que se compra a las empresas suministradoras con relación al obtenido por cogeneración.

Recomendaciones.

Se recomienda:

1. A todas las empresas que utilicen vapor en su proceso: **cogenerar**.
2. Tratar de no pasar vapor por la válvula reductora, es decir aprovechar todo el vapor que necesita el proceso para generar energía eléctrica.

Bibliografía.

1. Sánchez Juan J. y otros. Diseño de instalaciones eléctricas industriales. Tomo I. Editorial Amate. México. 2006.
2. Sánchez Juan J. y otros. Diseño de instalaciones eléctricas industriales. Tomo II. Editorial Amate. México. 2006.
3. Sánchez Juan J. y otros. Diseño de instalaciones eléctricas industriales. Tomo III. Editorial Amate. México. 2006.
4. Sánchez Juan J. y otros. Configuraciones Circuitales en la Industria Azucarera. Memorias del VIII Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña de Azúcar Diversificación '2004. ICIDCA del 14 al 18 de Junio de 2004. Hotel Habana Libre Tryp. Cuba.