

# La cogeneración aplicada a la climatización de hospitales. Particularidades en el marco económico cubano

**J. Madariaga Arrizurieta, R. Ruano Domínguez.**

Grupo RC. SIME. Ave. 31, Calle 227, La Coronela. Cuba.

Teléfono: (537) 33 0488

E mail: ccf@colombus.cu

( Recibido el 11 de febrero de 1999; aceptado el 3 de marzo de 1999 )

## Resumen

En el trabajo se desarrolla un análisis para la implementación de la Cogeneración como solución energética integral, que permite elevar la eficiencia de determinados centros hospitalarios.

Se lleva a cabo una valoración que demuestra la efectividad económica de la Cogeneración y se realizan importantes comparaciones encaminadas a la aplicación de este proceso en centros con características similares.

**Palabras claves: Cogeneración, climatización, eficiencia, hospitales.**

## 1. Introducción

Este trabajo se basa en un estudio realizado a un gran complejo de hospitales de las afueras de La Habana, el cual presenta serios problemas en el área energética. El sistema de climatización central basado en enfriadoras de agua con compresores centrífugos de R-11 tiene cerca de 20 años de explotación y presenta un estado técnico deplorable, lo que hace imprescindible la sustitución de las enfriadoras y la restauración del sistema de agua fría para climatizar locales. El sistema de vapor y agua caliente del hospital también necesita una reparación con urgencia.

Todo esto sugirió la idea de una solución energética integral que permitiera elevar la eficiencia de la instalación, que es la cogeneración. Se realizó un estudio de factibilidad de la implantación de la cogeneración en este centro que por su elevado consumo energético, separación de las áreas de servicios técnicos del resto del hospital y la ubicación

geográfica en las afueras de la capital presenta condiciones muy favorables para introducir esta tecnología.

Se analizó la influencia de los costos de la generación y transmisión de la energía eléctrica en nuestro país en la efectividad económica de la cogeneración en un centro con estas características que además presenta importantes similitudes con otras instalaciones del sector terciario y fundamentalmente con instalaciones turísticas.

## 2. Situación energética actual del complejo de hospitales

El consumo de energía del complejo puede resumirse en la tabla 1.

Costo medio anual de la TEP: 99.87 USD/t.

**Tabla 1.** Valores medios de consumo mensual y demanda pico. Año 1997.

Portadores		Consumo estimado mensual		Consumo estimado anual.		
Portador	U	Consumo mensual	Demanda máxima (MW)	Consumo anual	(1) Valor USD	Combustible equivalente (TEP)
Electricidad	MWh	862.56	1.92	10350	353916.00	3738
Fuel oil	t	68.3		830.85	87239.2	820
Diesel	t	2.704		32.445	6164.55	34.325
LPG	t	4.251		51.012	16833.96	56.325
Totales					463014.5	4648.65

(1) Los precios utilizados se corresponden con información actualizada del MEP (ver anexo 1).

### 3. Sistema de climatización

Cuenta con 3 compresores centrífugos EBARA de 350 TR cada uno, 290 kW de potencia del motor, con R-11 como refrigerante. El enfriamiento es por agua con 3 torres de enfriamiento como se muestra en la figura 1.

Los problemas que presenta el sistema son graves y de diversa índole:

- Incrustaciones en el sistema de enfriamiento y las torres

- Operación de compresores estrangulados a un 20 y un 40% de su capacidad.
- Sobreconsumos eléctricos.
- Insatisfacción de las necesidades de climatización.
- Pobre estado técnico de los compresores, con cerca de 20 años de explotación bajo condiciones severas y con un mantenimiento defectuoso.
- Uso de R-11.

Por estas razones y por el tipo de refrigerante que utilizan se considera imprescindible su reemplazo en el menor tiempo posible.

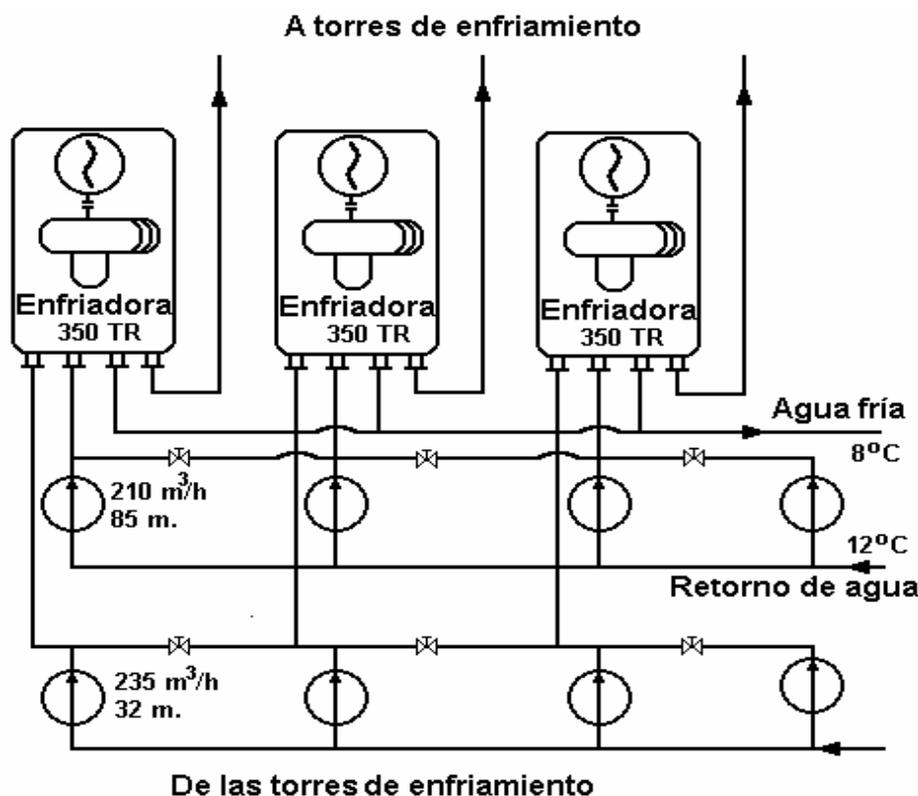


Fig. 1. Esquema del sistema de climatización del complejo de hospitales.

### 4. Vapor y agua caliente

El esquema de la instalación se muestra en la figura 2.

Problemas que presenta el sistema de vapor y condensado:

- Pérdidas de vapor y condensado en la sala de calderas, redes y consumidores.
- Trampas de vapor totalmente abiertas y descargando a la atmósfera.

- Tuberías sin aislar.
- Equipos sin trampas de vapor y descargando a la atmósfera.
- No se recupera el condensado en su mayoría y estimamos una pérdida equivalente a 140 kg<sub>fuel</sub>/día, un 6% del consumo de combustible.
- Salideros peligrosos. Presencia de corrosión.
- Pobre control de tratamiento químico del agua.

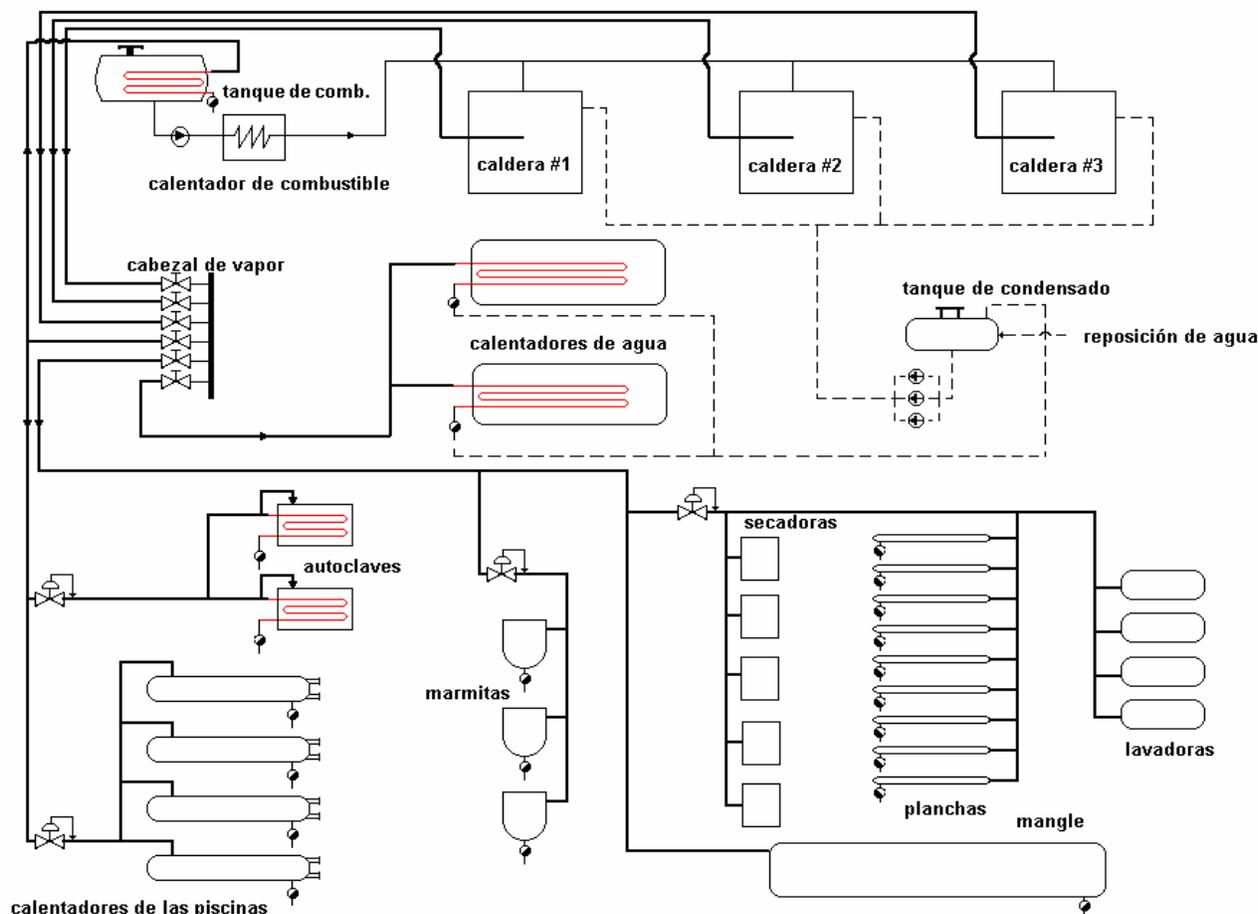


Fig. 2. Esquema térmico del complejo de hospitales.

## 5. Cogeneración como una solución integral

Ante la alternativa de grandes inversiones en el área energética del complejo de hospitales, realizamos un estudio de la factibilidad de instalar una planta de cogeneración que resolviera los problemas energéticos antes mencionados e incrementara la eficiencia energética de la instalación.

Para este análisis fue seleccionada una potencia eléctrica que garantiza el cubrimiento de la demanda de calor y de frío del sistema energético del complejo de hospitales.

La potencia bruta instalada propuesta es de 3500kW aproximadamente que puede satisfacerse con un motor Bazan-Man-6l 40/45 o dos motores de 1750 kW que funcionan con fuel- oil. Se analizaron 2 alternativas: **Alternativa A:** Climatización únicamente con máquinas de absorción, con acumulación de frío; **Alternativa B:** Climatización con máquinas de absorción y apoyo con enfriadoras de compresor de tornillo e intercambiadores de placas, con acumulación de frío. Para la selección de todas

las máquinas de absorción y el establecimiento de sus condiciones de operación se utilizaron los catálogos de la firma "TRANE". Luego de un análisis comparativo la alternativa seleccionada fue la "A" ya que aunque energéticamente es menos eficiente, resulta económicamente mas ventajosa tecnológicamente mas simple y mas fácil de operar. En aras de sintetizar el trabajo solo expondremos la **alternativa "A"**.

## 6. Climatización únicamente con máquinas de absorción y acumulación de frío

Para agua caliente es necesario dar un apoyo con vapor. Para la climatización se plantea: el uso de una máquina de absorción de simple efecto de 112 TR nominales, que funcione a partir de la energía aportada por agua caliente del circuito de enfriamiento del motor y de una máquina de absorción de doble efecto de 527 TR nominales, que utiliza el vapor generado en el recuperador del calor

de los gases del motor, con apoyo de vapor generado en calderas a partir de fuel-oil. Para el acumulador de frío se estimó un 30% de pérdidas de energía.

Los gráficos de carga de vapor y climatización (basados en estimaciones de la demanda) se muestran en las figuras 4 y 5.

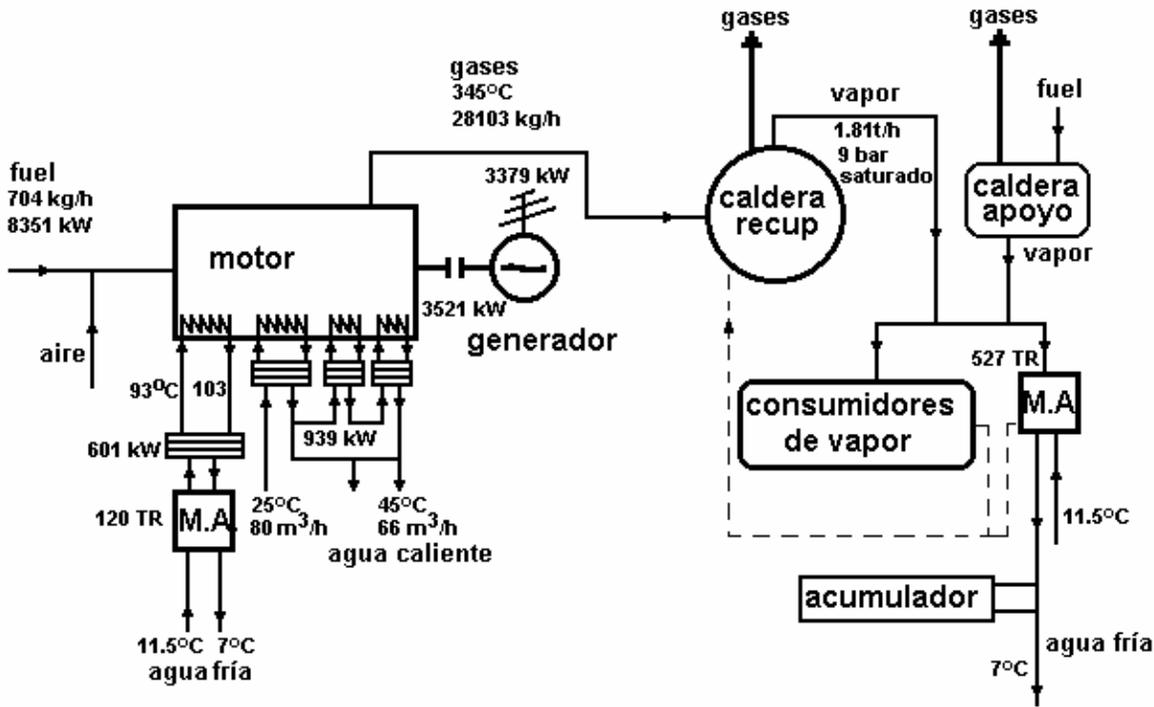


Fig. 3. Esquema térmico de la planta de cogeneración.

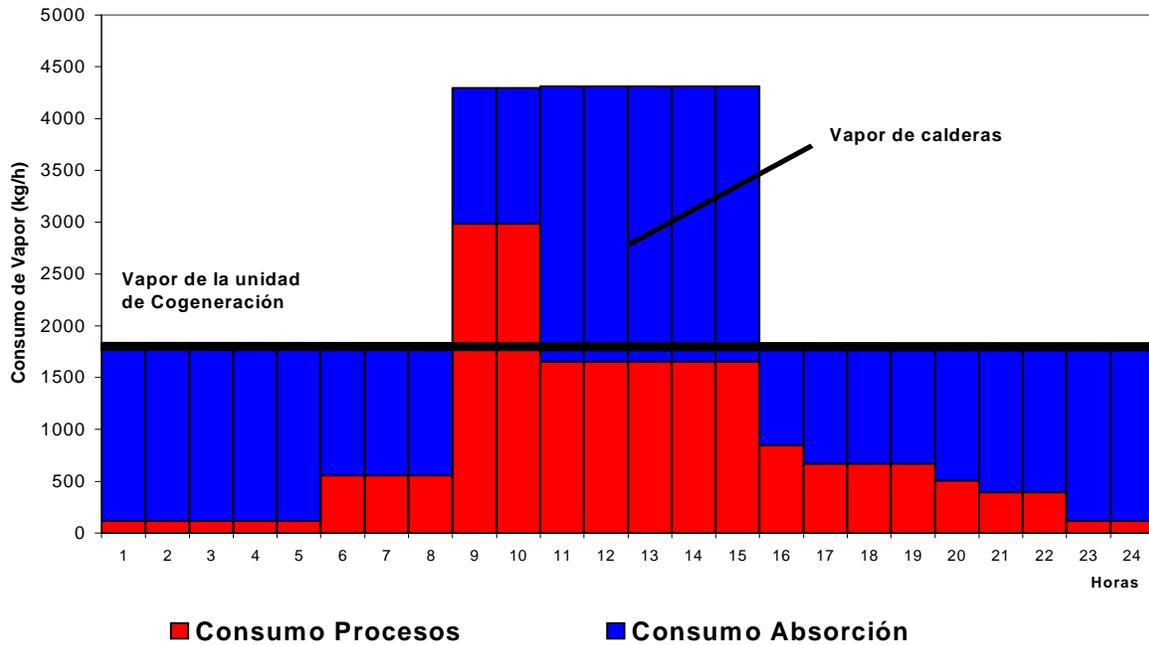


Fig. 4. Demanda horaria de vapor del complejo de hospitales y la planta de cogeneración.

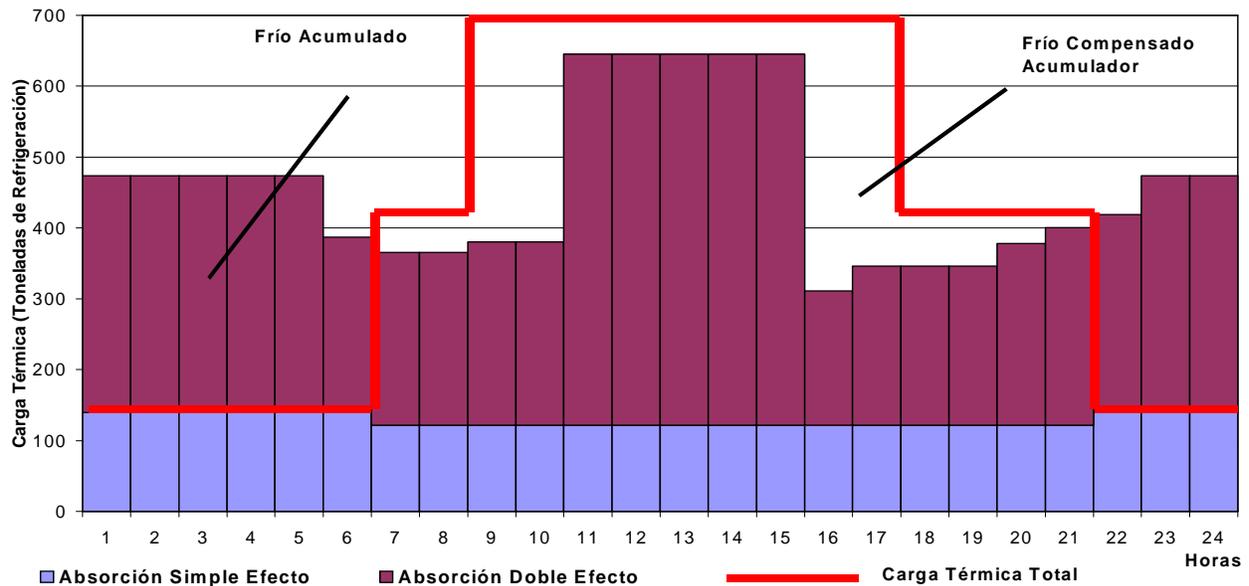


Fig. 5. Gráfico de carga de climatización CIMEQ-CIREN. Alternativa A de cogeneración.

Para cubrir la demanda de vapor que el motor no es capaz de satisfacer, basta operar con una caldera de 2,5 t/h existente en el complejo. Se cuenta además con calderas de reserva para los 23 días/año que asignamos para períodos de mantenimiento del motor y posibles averías; durante estos, el consumo pico de vapor es de 6250 kg/h que puede satisfacerse perfectamente por la batería de calderas existente.

### 7. Generación de energía eléctrica

La generación del motor-generator, con un factor de disponibilidad de 0,936 (560 h/año de paradas por mantenimiento o averías) sería:

$$E_{total} = 27705 \text{ MWh/año.}$$

Restando al consumo de energía eléctrica actual del hospital (10350 MWh) la electricidad que se consume actualmente en climatización y que estimamos en un 30% del consumo total actual, la energía eléctrica autoconsumida

por el complejo sería 6670 MWh/año, quedando la entrega neta de electricidad al Sistema Electroenergético Nacional en:

$$E_{Neta\ SEN} = 21034 \text{ MWh/año}$$

#### Consumo de combustible y calor para agua caliente

Consumo del motor = 5555 t/año de fuel oil.

Para valorar el consumo de combustible de las calderas es necesario establecer el consumo de vapor para el día promedio del año es 1.46 veces menor que el estimado para este día pico.

Del gráfico de demanda de vapor de esta alternativa para el día pico, descontando 113,7 kg/h empleados para el calentamiento de fuel se obtiene la tabla 2.

El consumo de vapor de los procesos del día medio se reduce en 1,46 veces. El vapor sobrante se distribuye sustituyendo todo el apoyo de calderas para los procesos, quedando como resultado la tabla 3.

Tabla 2. Día pico.

Consumo diario (kg/día)	Vapor del Motor		Vapor de Caldera	
	Procesos (neto)	Climatización	Procesos	Climatización
	15780,1	24931,1	2348,36	14342,2

**Tabla 3.** Día medio.

Consumo diario (kg/día)	Vapor del Motor		Vapor de Apoyo de Calderas	
	Procesos(neto)	Climatización	Procesos	Climatización
	10808	24931,1	0	9370,4

El vapor sobrante y genera un efecto frigorífico que se almacena en el acumulador de frío para su entrega posterior en una cantidad igual a 2004,8 TR-h/día.

El consumo medio de agua caliente se reduce a 45,2 m<sup>3</sup>/h. En esta situación media no se necesita apoyo con vapor y este se desplaza también hacia la producción de frío. Para el cálculo lo dejamos como un margen de seguridad.

El consumo de combustible en operación normal de calderas será de 228,35 t/año

Durante las 560 h/año de paradas del motor se consume fuel en calderas para vapor, agua caliente y climatización en máquinas de absorción.

**Tabla 4.** Consumo de vapor.

Consumidor	Climatización	Procesos	Agua caliente	Total
Vapor (T/año)	1136	252	392.7	1780,8

Consumo de fuel de calderas durante la parada del motor: 127 t/año

Consumo fuel de calderas: 355,4 t/año (incluye paradas del motor).

Consumo fuel total de la planta: 5910,4 t/año de fuel oil.

## 8. Balance energético global de la instalación

Consumo de energía de la instalación (fuel oil): 70104 MWh/año

Producción de vapor a consumidores del Hospital: 2670,2 MWh/año.

Producción de agua caliente a consumidores del Hospital: 3524,6 MWh/año.

Producción de Frío: 12914 MWh/año.

Entrega de energía eléctrica al hospital: 6670 MWh/año

Entrega de energía eléctrica al SEN: 21034 MWh/año

Consumo de electricidad durante paradas (está incluido en la entrega al hospital):  $6670 \left( \frac{560 \text{ h}_{\text{parada}}}{8760 \text{ h}_{\text{año}}} \right) = 426,39 \text{ MWh/año}$

Esta electricidad consumida, llevada a energía que porta el fuel quemado en el SEN para producirla equivale a 1711,24 MWh de energía de fuel oil.

**El rendimiento energético neto de este sistema de cogeneración:  $\eta = 65,19\%$**

## 9. Análisis económico

### Inversión

Restauración del sistema de calor y frío del CIMEQ-CIREN: 39132.00 USD

Módulo de cogeneración: 2714221.00 USD.

Acumulador de frío: 30000.00 USD

Máquina de Absorción de Doble Efecto: 332795,23USD.

Máquina de Absorción de Simple Efecto: 132695,65 USD.

Ingeniería: 20000.00 USD.

Total: 3268843,88 USD.

### Ahorro en operación

Para evaluar el ahorro determinaremos los gastos y ventas anteriores y posteriores a la cogeneración desde el punto de vista del país.

#### Hospital antes de la cogeneración

Gasto en energía eléctrica:

$$10350 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \cdot 0,3612 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \cdot 94,67 \frac{\text{USD}}{\text{t}} = 353916,00 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Gasto en combustible de calderas:

$$830,85 \frac{\text{t}}{\text{año}} \cdot 105 \frac{\text{USD}}{\text{t}} = 87239,20 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Se utilizó el valor de 94,67 USD/t de la mezcla de fuel y crudo que se quema en las plantas del SEN y el consumo específico del SEN de 361,2 g/kWh.

Hospital cogenerando:

Entrega de energía SEN:

$$21034,12 \frac{MWh}{año} \cdot 0,3612 \frac{kg}{kWh} \cdot 94,67 \frac{USD}{t} = 719257,60 \frac{USD}{año}$$

Gasto en combustible:

$$5910,4 \frac{t}{año} \cdot 105 \frac{USD}{t} = 620592,00 \frac{USD}{año}$$

Gasto mantenimiento motor

$$= 27705 \frac{MWh}{año} \cdot 9,5 \frac{USD}{MW} = 263197,60 \frac{USD}{año}$$

En este acápite se consideró un gasto de mantenimiento del motor de 9,5 USD/MW autogenerado.

Gastos de explotación de los sistemas de vapor y agua fría: 10036,01 USD/año

Ahorro anual:

$$Ahorro = (Gastos antes - Gastos cogen.) + Entrega de energía = 266587,00 \text{ USD/año.}$$

*Recuperación de la inversión = 12,26 años.*

Tan largo plazo de recuperación merece un análisis detallado. En primer lugar las mayores ganancias se deben a ahorros de combustible por energía eléctrica suministrada al hospital y al SEN, generada con mayor eficiencia que en este (además están el calor y el frío generados con el calor de desecho del motor). Esto significa vender la energía eléctrica al precio de costo del SEN que evidentemente daría un mínimo de ganancias y solo por la causa antes mencionada. A pesar de esta rigurosa base de cálculo, la inversión produce considerables ahorros anuales en divisa y se recupera de seguro mucho más rápidamente que una inversión de una central termoeléctrica como aquellas con las que se está ampliando la capacidad de generación del Sistema Electroenergético Cubano.

**10. Análisis de sensibilidad**

En este apartado se muestra un análisis del cambio del plazo de recuperación (pay-back) al variar el precio de la energía eléctrica, a partir del precio actual de 3.4 centavos/kWh en el que se basan los análisis de inversiones en el MEP según plan del año 1988. Los resultados se muestran en la tabla 5 y figura 6

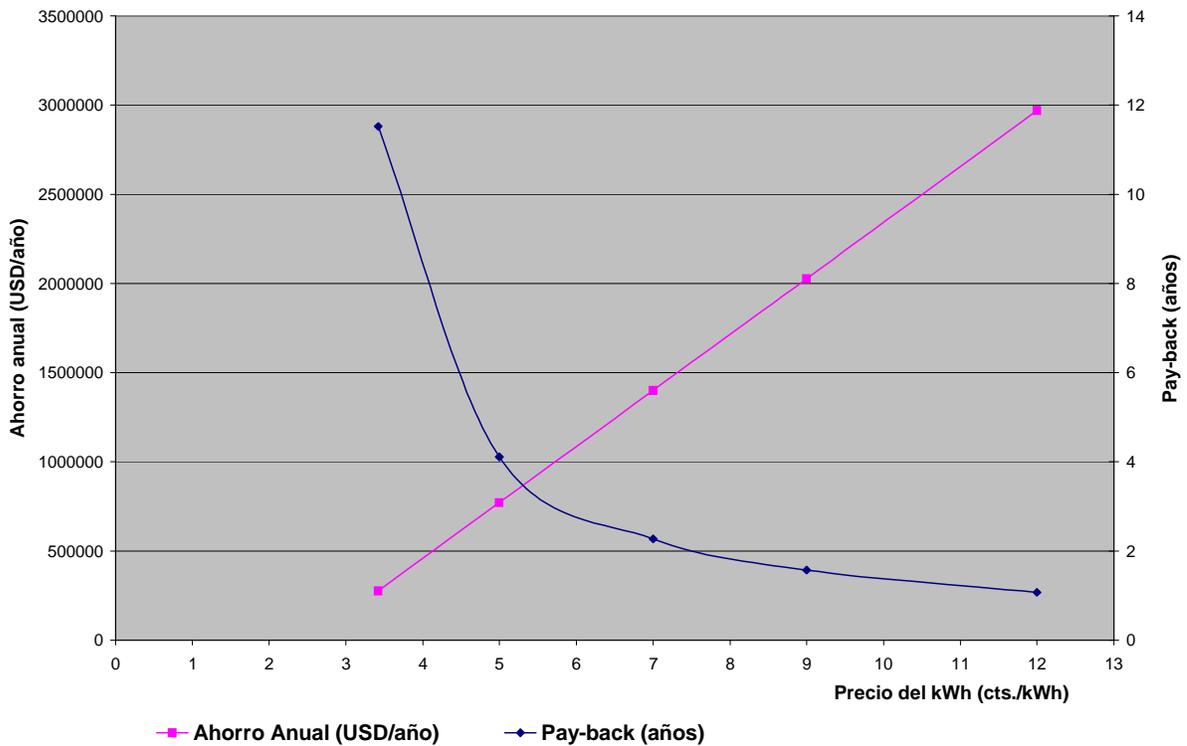


Fig. 6. Ahorro anual y pay-back de la planta de cogeneración.

Tabla 5. Variación del plazo de recuperación con el precio de la energía eléctrica.

Indicador	Unidad	Valores				
		3,42	5	7	9	12
precio	Cts./kWh					
Pay-back	Años	12,26	4,29	2,35	1,62	1,1
Ahorro Anual	USD/año	266587,30	762619,59	1390301,99	2017984,39	2959507,99

Como se observa en el gráfico y en la tabla 6, si aumenta el valor de la energía eléctrica (asumimos la compra y la venta al SEN al mismo precio) el plazo de recuperación disminuye rápidamente hasta valores muy ventajosos con grandes ahorros anuales.

es 0.17 USD/kWh) la recuperación de una inversión de cogeneración como la analizada se realiza en 1 año y 7 meses con ahorros anuales del orden de 2 150 000 USD/año lo que resulta extremadamente atractivo.

## 11. Conclusiones

1. La cogeneración en el contexto energético cubano es una solución energéticamente eficiente para instalaciones hospitalarias, turísticas y otras con características semejantes en cuanto a consumos energéticos y su distribución entre electricidad, calor y frío.
2. Es importante considerar siempre la factibilidad técnico-económica de la cogeneración para producir efecto frigorífico en un país como el nuestro donde los consumos de climatización son extremadamente grandes, mayores para casos como el analizado que todos los otros consumos energéticos sumados.
3. La eficiencia económica de este tipo de inversiones para nuestro país se incrementa a medida que el precio de la electricidad sea mayor. Para los valores dados en la actualidad para el análisis de inversiones energéticas el plazo de recuperación es muy largo y no las hace atractivas.
4. Para precios de electricidad de 0.095 USD/kWh que es por ejemplo el que se le cobra a instalaciones turísticas durante el horario normal (en horario pico

## Bibliografía

1. Carrier, EBARA, Frioclima, FRISERV, MYCOM, Sabroe, Trane Co., York: *Ofertas de enfriadoras de agua*
2. Instituto Internacional de Refrigeración: *Proceedings*. Sept. 1996.
3. Reyes R. Y Reyes F.: *Estudio de enfriadoras de absorción de LiBr-H<sub>2</sub>O*.
4. Bazán Motores, Guascor, Skoda: *Plantas de cogeneración*.
5. *Cogeneración '92: Jornadas técnicas*. Madrid. España. 1992.
6. *Cogeneración con motores alternativos: Colección tecnologías de avanzada en eficiencia energética*. 1993.
7. Instituto Catalán de la Energía: *La Cogeneración*. 1994.
8. Nordic Cogen Systems INC.: *Información sobre sistemas de Cogeneración*.
9. *Programa Thermie: Panorama del equipamiento y selección de instalaciones de Cogeneración en Europa*. Sept. 1992.

## The cogeneration applied to the hospital air conditioning. Particularities in the Cuban economic situation

### Abstract

An analysis is developed for implementation of cogeneration as integral energy solution that it allows elevating the efficiency of certain hospital centers. It is carried out a valuation that demonstrates the economic effectiveness of the cogeneration. Several important comparisons are made for the application of this process in centers with characteristic similar.

**Key words:** Cogeneration, efficiency energy, hospital center, air conditioning.