

Análisis técnico-económico sobre cogeneración aplicado al edificio de la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Santa Fe

Technical-economical study of a cogeneration system applied to Santa Fe Regional Faculty building of the National Technological University

J. C. Doyharzabal, J. A. Caminos* y A. J. Cozzi
Universidad Tecnológica Nacional, Grupo de Estudios Sobre Energía, Santa Fe, Argentina
*jcaminos@frsf.utn.edu.ar

Resumen

El presente trabajo tiene por objeto mostrar los resultados del estudio técnico-económico realizado para determinar la posibilidad de aplicar un sistema de cogeneración en el edificio de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe. El estudio se basa principalmente en los siguientes aspectos: Generación de energía eléctrica y utilización de la energía desechada en los gases de combustión para calefacción y refrigeración. La primer parte del trabajo consistió en la recopilación de las facturas de energía eléctrica que se han abonado. Con estos datos se realizó un análisis previo de rentabilidad y de los beneficios de la cogeneración. Luego se evaluaron las distintas alternativas en sistemas de recuperación de calor como así también sistemas de refrigeración no convencionales. Durante el período de estudio se tomaron mediciones de las curvas de carga eléctrica y se estimaron las futuras. También se efectuó, un balance térmico para poder obtener las potencias necesarias y seleccionar distintos tipos de equipos y sistemas de recuperación a instalar. Por último se estudió la viabilidad del proyecto considerando distintas alternativas estudiadas y comparando los gastos de energía con los métodos convencionales.

Palabras claves: Cogeneración, energía, calefacción, refrigeración.

Abstract

Present paper has the purpose to show the results of the technical-economic study carried out to determine the possibility to apply a cogeneration system in Santa Fe Regional Faculty of the National Technological University. The study is mainly based in the following aspects: Electric energy generation and use of wasted energy from exhaust gases for heating and refrigeration purposes. First it was made a compilation of energy bills that were paid. With this information, a previous analysis of income-yield capacity and the benefits about co-generation was carried out. Then, different heat recovering systems as well as non-conventional refrigerating systems were evaluated. During the study, electric charge curves measurements were made and the future ones were estimated. There was also a thermal balance to obtain the needed capacities and a selection of various kinds of devices and recovering systems to be installed. Finally, the project viability was studied taking into account different alternatives and comparing the energy costs with the conventional methods.

Key words: Cogeneration, energy, heating, refrigerating.

1 Introducción

El presente trabajo tiene por objeto realizar el estudio técnico - económico de la posibilidad de cogenerar en la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional.

1.1 ¿Qué es la cogeneración?

En general encontramos procesos de cogeneración en las siguientes situaciones:

- Producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor

- u otro tipo de energía secundaria.
- Producción directa o indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos de que se trate.
- Producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustible producidos en los procesos de que se trate.

Como se desprende de los ítems anteriores la cogeneración consiste en la producción simultánea o secuencial de energía mecánica y térmica a partir de una misma fuente de energía, a diferencia de un sistema convencional que produce energía eléctrica o energía térmica independientemente.

El estudio se basa principalmente en los siguientes aspectos:

- Generación de energía eléctrica mediante grupos electrógenos.
- Utilización de la energía desechada por los mismos para:
 - Calefacción en los meses de invierno.
 - Refrigeración en las épocas estivales.

1.2 Consideraciones sobre la autogeneración

Aspectos técnicos

Para comenzar con nuestro estudio debemos optar por alguna alternativa de primo-motor. Teóricamente contamos con diversas opciones como son: turbinas de gas, turbinas de vapor y motores de combustión interna, si evaluamos la potencia demandada por la facultad vemos que la misma no alcanza valores razonables para que la utilización de este tipo de máquinas motrices sea conveniente; por lo tanto adoptamos como primo – motor un motor de combustión interna.

Ahora bien, nos encontramos en otra disyuntiva: utilizar motores de gas o motores diesel. Como primera tentativa hemos privilegiado la utilización de motores a gas debido a que cuentan con las siguientes ventajas:

Ventajas económicas:

- Menor gasto de combustible.
- Trabajan con un combustible más económico.
- Mayor duración del motor.
- Menor costo de mantenimiento y reparación.

Ventajas ecológicas:

- Sin humos de escape.
- Sin emisión de partículas.
- Bajo nivel de ruido.

Otras ventajas:

- Disponibilidad del combustible desde la red pública a través de simples gasoductos.

- Alimentación mucho más simple que con combustible líquido.
- Menor complicación en los circuitos auxiliares.

Aspectos económicos

Una vez adoptado el tipo de primo-motor a utilizar debemos realizar un análisis previo de rentabilidad de la autogeneración, para lo cual hemos recopilado los importes de las facturas de energía eléctrica del año próximo pasado, las cuales las comparamos con los hipotéticos importes de facturación de gas natural que se abonarían en caso de generar la misma cantidad de energía, en el mismo período, pero con un grupo electrógeno a gas.

En la Tabla 1 se detallan los valores de energía eléctrica consumida y el costo de las facturas que se han abonado en la facultad en 12 meses.

Tabla 1. Energía eléctrica consumida y su costo

Energía consumida (kW-h)	Costo
306.826	\$36504,55

Para calcular el valor de la factura de gas se toma en cuenta el precio del mercado.

De los datos del fabricante. de grupos electrógenos, obtenemos el consumo específico de combustible: 0,33 m³/kWh; valor que suponemos constante para todos los estados de carga, hipótesis que no se aparta mucho de la realidad.

Con este dato multiplicado por los kWh a generar (valor que obtenemos de la Tabla 1) resultan los m³ totales de gas necesarios para producir esa cantidad de energía, en la Tabla 2 se representa el costo de facturación de gas natural.

Tabla 2. Costo de facturación de gas natural

Energía consumida (m ³)	Costo
110596,2	\$16234,34

En la Tabla 3 se comparan los datos anteriormente obtenidos, en ella se aprecia la sensible economía que se obtiene con la autogeneración.

Tabla 3. Comparación de costo

Costo de energía eléctrica	Costo gas natural	Diferencia valores totales anuales
\$ 36504,55	\$ 17913,13	\$ 20270,21

Hasta aquí sólo hemos comparado: por un lado, los costos de la facturación de energía eléctrica, y por el otro; sólo los costos de combustible para accionar el motor de combustión interna; sin embargo sabemos que, además de

los gastos de combustible, las instalaciones generadoras, en general, tienen también costos de operación y mantenimiento; por lo tanto para lograr una comparación más real entre las dos alternativas se deben adicionar a los costos de facturación de gas natural los costos de mantenimiento del grupo electrógeno que en primera aproximación se pueden valorar en 0,007 \$ por kWh generado.

Refiriéndonos a la Tabla 1 obtenemos el total de la energía consumida anual que multiplicada por el costo unitario de mantenimiento resulta el costo total de mantenimiento según el siguiente cuadro (Tabla 4):

Tabla 4. Costo total

Total de energía activa consumida durante un año	Costo unitario de mantenimiento	Costo total de mantenimiento
335140 kWh	0,007 \$/kWh	\$ 2345,98

De esta manera la diferencia entre los costos anuales se reduce a una economía anual teniendo en cuenta los costos de mantenimiento de \$ 17924,23.

Este monto de dinero es, en primera aproximación, el que dispondremos anualmente para la amortización de los equipos.

2 Descripción de los componentes del sistema de cogeneración

2.1 Elementos de la instalación

Los principales elementos constitutivos del sistema de cogeneración que analizaremos en adelante son:

- Motor primario.
- Sistemas de recuperación de calor.
- Sistemas de refrigeración.

A continuación pasaremos a analizar cada uno de estos elementos, su ubicación en la instalación, como así también sus parámetros característicos de funcionamiento.

2.2 Motor primario

Como ya hemos analizado el primo motor más conveniente para nuestra instalación es un motor de combustión interna de gas. La banda de potencias cubierta por este tipo de unidades va desde 15 kW hasta aproximadamente 25 MW.

La aplicación de estos motores a sistemas de cogeneración requiere efectuar el aprovechamiento del calor que emana por diferentes circuitos del motor.

Tomamos en consideración únicamente los motores refrigerados con agua ya que los refrigerados por aire no tienen, en la actualidad, aplicación en el campo de la cogeneración.

2.3 Sistemas de recuperación de calor

En general podemos admitir tres soluciones en los sistemas de recuperación de calor, a saber:

- Sistemas de ebullición.
- Sistemas de agua calentada.
- Sistemas mixtos.

2.4 Sistemas de refrigeración

- Sistema de refrigeración al vacío.
- Ciclo de absorción.

Para la adopción del sistema de refrigeración a utilizar tuvimos en cuenta los siguientes factores:

- Simplicidad de la instalación.
- Aspectos económicos de operación.

2.5 Conclusión

Si bien el sistema de refrigeración al vacío tiene como principal ventaja una menor complicación en su instalación, por un lado, requiere vapor para su funcionamiento, y por el otro, y el más concluyente, la diferencia entre los costos de facturación permiten ahorrar con un sistema de absorción unos \$12.000 anuales sobre el sistema de refrigeración al vacío. Por consiguiente y entre estas dos alternativas, adoptamos el sistema de absorción BrLi/H₂O.

Deberá tenerse en cuenta que el estudio comparativo que antecede fue realizado tomando en consideración los circuitos básicos; es decir: ciclo de absorción de simple efecto y sistema de refrigeración al vacío con un termocompresor. Cabe acotar que las eficiencias de estos ciclos pueden mejorarse substancialmente utilizando: ciclos de absorción de doble efecto o sistemas de refrigeración al vacío con dos o más termocompresores.

El sistema de cogeneración contará entonces, con los siguientes componentes principales:

- Motor primario de combustión interna a gas natural.
- Generador eléctrico.
- Intercambiadores de calor del motor.
- Caldera de recuperación.
- Ciclo de absorción.
- Fan-coils.

3 Cálculo de la potencia a instalar

3.1 Análisis histórico de la demanda

El valor de potencia máxima es de 192 kW, es el único registrado durante 14 años, por lo tanto estimamos que las condiciones para que se diera este grandor de potencia activa difícilmente se repitan. Un valor de potencia que se reitera un mayor número de veces, y en consecuencia es más representativo de la instalación, es el de 180 [kW].

3.2 Modificación de la potencia instalada

Ahora bien, la demanda máxima de potencia adoptada en el punto anterior, todavía no es el valor de cálculo buscado, sino que deberá modificarse teniendo en cuenta dos factores principales:

La disminución de la carga, debido a que con el sistema de cogeneración tanto la refrigeración como la calefacción por métodos convencionales (aire acondicionado, estufas eléctricas, etc.), quedarían fuera de servicio. En realidad esta carga es muy difícil de evaluar, pero desde una posición conservadora, la estimamos en unos 30 [kW]. Téngase presente, y a modo de justificación, que, aproximadamente, 30 [kW] es la potencia requerida para accionar 25 estufas de cuarzo de dos velas o 10 acondicionadores de aire de 3000 frigorías.

El incremento de potencia debido al accionamiento de las instalaciones auxiliares del sistema de cogeneración. Entiéndase por tales a los correspondientes al ciclo de absorción y al de calefacción, que comprenden principalmente, las bombas de circulación de líquido y las unidades terminales tipo fan-coil.

A continuación se calcula cada una de estas potencias. (Tabla 5):

Tabla 5. Potencias calculadas

Potencia base de cálculo	180 [kW]
Disminución de carga por supresión de sistemas de climatización convencionales	30 [kW]
Potencia consumida por los circuitos auxiliares del sistema de cogeneración	57 [kW]
Potencia final a adoptar	207 [kW]

Potencia a instalar según criterios técnicos de reserva

Este valor 207 [kW], es la potencia máxima anual que estimamos deberá atender nuestro equipo cuando entre en funcionamiento. Ahora bien adoptamos una instalación de dos unidades generadoras, cada una de ellas capaz de atender por sí sola el pico de carga anual del sistema de potencia en cuestión,

$$\text{Cap} = 2 \cdot P_{\text{máx}} \quad (1)$$

En consecuencia y por lo expuesto anteriormente se adoptarán dos grupos motor generador a gas de 224 [kVA].

En el siguiente esquema (Fig. 1) quedan discriminados los distintos tipos de potencias involucradas.

De la observación de este esquema concluimos que: del 100% (563.55 KW) de energía aportada por el combustible, 31.8% (179.2 kW) se obtiene como potencia útil en bornes de generador y el 47.7% (268.8 kW) se obtiene como potencia útil para el circuito de climatización; es decir, que el grupo, en su conjunto, trabaja con un rendimiento de aproximadamente 79.5%.

En lo que sigue no deberá perderse de vista que nuestro ciclo de cogeneración trabajará según el esquema de un ciclo tipo Topping o generación de potencia seguida de generación de calor, es decir, el combustible es utilizado para generar energía eléctrica, mientras que el calor residual se aplica para los procesos de calefacción o refrigeración según convenga.

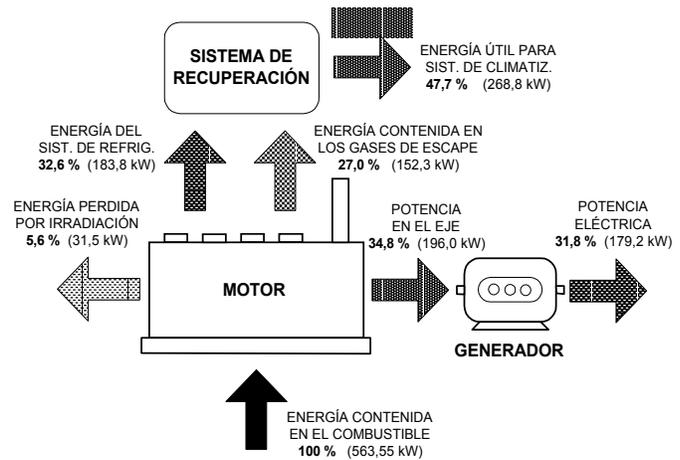


Fig. 1. Potencias involucradas

4 Análisis de los beneficios económicos

Para analizar las bondades económicas de nuestro sistema de cogeneración a continuación realizaremos las siguientes comparaciones:

Costo de la energía eléctrica consumida durante los meses de invierno (junio, julio y agosto) más los costos hipotéticos de gas natural calefaccionando toda la instalación con calefactores de gas versus los costos de facturación de gas para producir la misma cantidad de energía, tanto eléctrica como térmica, en el sistema de cogeneración.

Costo de facturación de la energía eléctrica consumida durante las épocas estivales (noviembre, diciembre, febrero y marzo) más los costos de energía eléctrica para el accionamiento de compresores de un ciclo frigorífico convencional para refrigerar toda la facultad versus los costos de facturación de gas para producir la misma cantidad de energía, tanto eléctrica como frigorífica, en el sistema de cogeneración.

Costo de facturación de la energía eléctrica en los meses restantes (septiembre, octubre, enero, abril y mayo) versus los costos de facturación de gas para producir la misma cantidad de energía eléctrica en autogeneración.

4.1 Ahorros económicos totales

Todo lo hasta aquí detallado se resume en la Tabla 6:

Tabla 6: Costos y beneficio anual

Costos sistema Convencional	Costos sistema de cogeneración	Beneficio anual de la instalación
\$ 47755,92	\$ 24053,20	\$ 23702,72

A esta diferencia la debemos desafectar de los costos de mantenimiento del grupo motor generador, que evaluamos en 0,007 \$/kWh generado (Tabla 7):

Tabla 7. Ahorro neto anual

Total de energía activa consumida con el sistema de cogeneración	392911 kWh
Costo total de mantenimiento	\$ 2750,38
Ahorro anual teniendo en cuenta los costos de mantenimiento	\$ 20952,34

5 Recuperación de la inversión

5.1 Inversiones a considerar

En este estudio no se tendrán en cuenta las inversiones necesarias para climatizar el edificio. Por lo expuesto la única inversión a recuperar es la referida solamente a los grupos motor-generador.

5.2 Costos de adquisición de los grupos electrógenos

De acuerdo a la cotización en plaza un grupo electrógeno a gas natural de 224 kVA de potencia, con generador y demás auxiliares está valuado en: \$ 48.890 + IVA = \$ 59.157.

5.3 Viabilidad económica

La viabilidad económica se basa en el conocimiento de parámetros económicos como son: el tiempo de retorno de la inversión o Pay-Back (PB), el valor actual neto de la inversión (VAN) y la tasa de rendimiento interno de la inversión (TRI).

- Tiempo de retorno de la inversión calculado es de 2,82 años.
- Valor actual neto de la inversión sólo se hace positivo a partir del año 4.
- Tasa de rentabilidad interna para esta inversión estará comprendida entre el 15 y el 16 %.

6 Conclusiones

Teniendo en cuenta que el período de vida útil (n)

adoptado para el motor es de cuatro años y que la tasa de actualización anual (i) es del 6%, podemos concluir que todos los índices económicos detallados anteriormente dan resultado positivo, a saber:

Pay-Back: este parámetro resultó ser 2,82 años, lo que significa que en ese período de tiempo recuperaremos la inversión; pero, por otro lado, este tiempo es menor que la vida útil del motor (4 años); en consecuencia la inversión es rentable.

VAN: el valor del VAN para el año cuatro de la inversión es \$13444, este valor simboliza la suma de los ahorros netos anuales, actualizados para el año cero, a lo largo de la duración del proyecto; como este valor es mayor que cero se concluye que la inversión es rentable.

TRI: el valor de este parámetro para el año cuatro resultó ser, aproximadamente, del 15,55%, como este valor es mayor que el 6%, también este parámetro nos dice que la inversión es rentable.

Referencias

- Banyeras L, 1996, Cogeneración de calor y electricidad, Ediciones CEAC, Barcelona, España.
- Joseph O, 1991, Cogeneration planner's handbook, The Fairmont Press, Lilburn, U.S.A.
- CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía), 1995, Diseño de sistemas de cogeneración, Amacalli Editores S.A, México D.F.
- CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía), 1995, Esquemas de cogeneración, Amacalli Editores S.A, México D.F.
- CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía), 1999, Manual de cogeneración, México D.F.
- GUASCOR (Gutierrez Ascunce Corporación S.A.), 1989, Apuntes sobre motores de gas y cogeneración, Zumaia-España.
- Pedroni JM, 1998, Los sistemas de refrigeración al vacío en la industria, Buenos Aires.
- Pedroni JM, 1998, Termocompresores, Buenos Aires.
- Refferty KD, 2000, Absorption refrigeration, Goe-Heat Center.
- Institut Català D'Energia, 1999, Planta de cogeneración-absorción a gas natural, Barcelona.
- ASHRAE, 1998, Refrigeration handbook.
- ASHRAE, 1966, Guide and data book.
- CARRIER, 1980, Manual de aire acondicionado, Mc. Graw-Hill, New York.
- Vaillard E, Apuntes de la cátedra Centrales y Protecciones eléctricas.
- Rosas E, Ciclos de absorción, apunte de la cátedra Máquinas Térmicas.