

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN LA SELECCIÓN DE SISTEMAS DE COGENERACIÓN CON GAS NATURAL

SENSITIVITY ANALYSIS IN THE SELECTION OF SYSTEMS OF CO-GENERATION WITH NATURAL GAS

Roberto Pineda León¹, Johnny Nahui Ortiz²

RESUMEN

Tener una visión general de la cogeneración, su estado actual y futuro tanto en el Perú como en el plano internacional permitiría analizar las alternativas de desarrollo de esta tecnología en el país, teniendo en cuenta el actual marco regulatorio y las condiciones de infraestructura disponibles sobre el uso del gas natural con la finalidad de diversificar la matriz energética nacional. Dentro de ello, el análisis de sensibilidad es una herramienta que proporciona elementos de valor sobre la factibilidad de la instalación de un determinado sistema de Cogeneración en la industria. Los sistemas de Cogeneración hoy disponibles, no solamente se caracterizan por su importante ventaja energética y medio ambiental, sino también por ser inversiones de alta rentabilidad. En el desarrollo del presente trabajo se muestra una metodología de cálculo para estimar el potencial de cogeneración de una planta industrial de manera rápida, segura y confiable, usando para ello un software básico diseñado en el entorno del MS Excel 2007.

Palabras clave.- Cogeneración, Potencial de cogeneración, Eficiencia energética, Centro consumidor.

ABSTRACT

To have a general vision of the co-generation, its present and future state as much in Peru as in the international plane would allow to analyze the alternatives of development of this technology in the country, considering the present regulatory frame and the conditions of infrastructure available on the use of the natural gas in order to for diversifying the first national energetic. Within it, the sensitivity analysis is a tool that provides value elements on the feasibility of the installation of a certain system of co-generation in the industry. The systems of co-generation today available, not only characterize by their important advantage energetic and environmental means, but also for being investments of high yield. In the development of the present work is a calculation methodology to consider the cogenerating potential of an industrial plant of fast way, safe and reliable, using for it a designed basic software in the surroundings of MS Excel 2007.

Key words.- Co-generation, Co-generation potential, Efficiency energetic, Consuming center.

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo, para la satisfacción de sus necesidades y su desarrollo continuo, la humanidad ha utilizado la energía en alguna de sus formas;

en la actualidad, con el crecimiento del comercio internacional y la mejora de la calidad de vida; la necesidad de energía es cada vez mayor, de todas ellas, las de mayor importancia son la electricidad y el calor [1].

¹Ingeniero Mecánico, egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería,
²Doctor, Ingeniero, Docente de la Sección de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

En un gran número de procesos o plantas se usan de manera intensa las energías térmica y eléctrica, el suministro de ellas se realiza de manera distinta; la energía eléctrica lo provee la distribuidora local, mediante contrato, y la energía térmica se produce in situ mediante calderas.

La tecnología de la cogeneración permite la producción secuencial de energía eléctrica y/o mecánica y de energía térmica aprovechable en los procesos industriales a partir de una fuente de energía primaria [2], en la actualidad es una de las mejores alternativas como método de producción de energía para la industria, acorde con las políticas de globalización económica, regional e internacional orientadas a lograr un desarrollo sostenible.

La finalidad de la cogeneración es aumentar el rendimiento global integrando los dos sistemas energéticos, produciendo la energía con mayor eficiencia y a menores costos que utilizando los recursos energéticos de manera separada.

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD Y DE CALOR ÚTIL

La electricidad es la forma de energía adecuada para el uso directo, tanto en el sector industrial, en el residencial como en el sector terciario; permite su traslado de un lugar a otro de forma sencilla y fácilmente transformable a otras formas de energía [3]. Su producción se fundamenta en una cascada térmica que tiene su origen en la energía química del combustible, que permite su transformación en calor y posteriormente en energía mecánica y energía eléctrica mediante generadores de electricidad.

Dentro de este esquema, se ubican las grandes unidades de producción de electricidad que utilizan tecnologías de turbinas de vapor, turbinas de gas, motores de combustión interna, ciclo combinado, entre otros.

La disponibilidad de energía térmica, es cada vez más importante, tanto para uso industrial (calor para procesos) como para calefacción, producción de frío, etc.; esta energía se obtiene en una caldera convencional en la que mediante el aporte de energía procedente de la quema del combustible, se obtiene vapor para procesos. El resultado de la investigación en un software básico que permitirá realizar un

análisis de sensibilidad técnico económico para determinar la posible implementación de un sistema de cogeneración.

LA COGENERACIÓN

De manera general, la cogeneración se define como la producción conjunta, en proceso secuencial, de electricidad (o energía mecánica) y energía térmica útil [4] a partir de una fuente primaria. Es precisamente aprovechamiento de la energía térmica lo que hace posible un rendimiento global en el uso de la energía muy elevada y en definitiva, un ahorro de energía primaria.

Existen también expresiones similares, como: Producción Combinada de Calor y Electricidad (Combined Heat and Power, CHP); de los Sistemas de Energía Total, las que definen a aquellas instalaciones destinadas a un auto abastecimiento energético completo.

En nuestro país existe creciente interés por parte de los industriales, para implementar sistemas de cogeneración en sus industrias, existen inconvenientes para los consultores y personas dedicadas a este tipo de actividad.

En el ámbito nacional, se define a la cogeneración como la producción combinada de energía eléctrica y calor útil, que forman parte integrante de cada actividad productiva, en el cual la energía eléctrica es destinada al consumo de dicha actividad y el excedente es comercializado en el mercado eléctrico a partir de una fuente de energía primaria [5].

La promoción del desarrollo de la cogeneración en el Perú, concuerda con los compromisos asumidos por el estado en el marco del protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Implementación de las normas ISO 14000) conforme al cual se debe fomentar el desarrollo sostenible a partir de la reducción y limitación de emisiones, promover la eficiencia energética en los sectores de la economía nacional y fomentar reformas que impulsen políticas y medidas que tienden a limitar o reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI), acreditándolas como empresas responsables con la Ecología. En la actualidad, los industriales nacionales están interesados en conocer de manera rápida la

posibilidad técnica y económica de implementar sistemas de cogeneración en su industria; uno de los inconvenientes es que no existe software nacional que facilite el acceso a los cálculos exergéticos y financieros para la implementación de sistemas de cogeneración en la industria nacional, recurriendo muchas veces al uso de software extranjeros, diseñados y desarrollados para otras realidades, en los que la cogeneración se ha desarrollado tecnológicamente existe mayor capacidad de compra por parte de los industriales; las industrias tienen mayor capacidad instalada, etc. [10 y 11].

TECNOLOGÍA DE LA COGENERACIÓN

La cogeneración es una técnica que se utiliza desde principios de siglo XX en Estados Unidos y Europa, razón por la cual ha evolucionado hasta convertirse en una tecnología eficiente, ver Tabla 1. De acuerdo al Reglamento Nacional de Cogeneración, se tiene en cuenta las siguientes tecnologías:

- a) Turbina de vapor
 - Turbina de vapor a contrapresión.
 - Turbina de vapor de extracción condensación.
- b) Turbina de gas de ciclo simple.

- c) Ciclo combinado.
- d) Motores alternativos de combustión interna MACI.

Tabla 1. Sistemas de cogeneración típicos.

| Tipo de impulsor primario | Relación Q/E |
|-----------------------------|--------------|
| Motor de combustión interna | 0.8 - 2 |
| Turbina de gas | 1.2 - 4 |
| Turbina de vapor | 2 - 30 |

BENEFICIOS DE LA COGENERACIÓN

Los principales beneficios que otorga la aplicación de la tecnología de la cogeneración tanto para el país como para la industria que se abastece de él son: [6].

- El ahorro de energía primaria.
- Disminución de pérdidas en las redes eléctricas.
- Mayor seguridad, competencia y diversificación de las fuentes energéticas.
- El aumento de la competencia en el sector de generación eléctrica.
- El desarrollo de la ingeniería nacional.

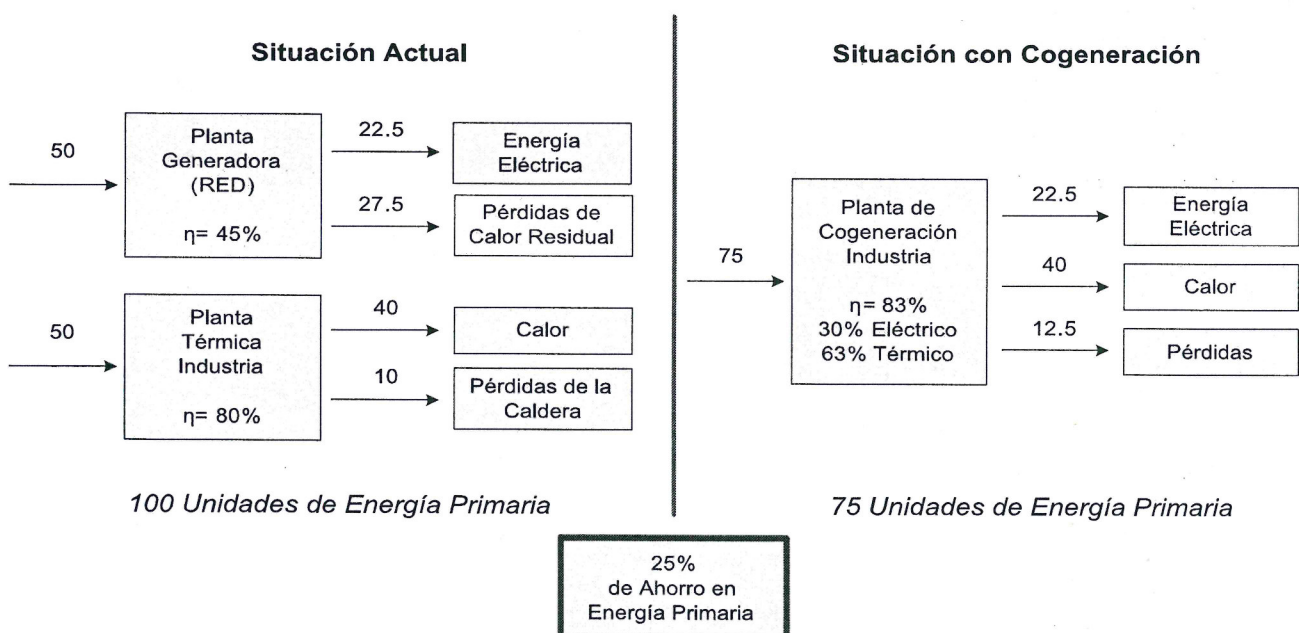


Fig. 1 Comparación del consumo de energía.

El sistema convencional presenta mayores pérdidas, en el conjunto generación, transmisión y distribución; alrededor del 25%; el sistema de cogeneración presenta menores pérdidas por que en la mayoría de las veces se instala en el local del centro consumidor, ver Fig. 1.

POTENCIAL DE COGENERACIÓN EN EL PERÚ

Entre los años 1985 y 1990 se produjo la acelerada distorsión de los precios de la energía eléctrica y combustibles, el gobierno peruano aplicó políticas de subsidios a los precios de la energía, por lo que el tema de la eficiencia energética en las industrias no fue prioritario [7]. Desde 1990, con la aplicación de medidas económicas correctivas, se efectuó el sinceramiento de los precios de la energía a niveles internacionales, motivando a los industriales a aplicar políticas de eficiencia energética con la finalidad de ahorrar combustible y considerar a la cogeneración como una alternativa.

La CENERGIA, en 1994, realizó un estudio denominado "Estudio de Determinación del Potencial de Cogeneración del Sector Manufacturero Industrial a Nivel Nacional" el cual se efectuó en el marco de la Cooperación Técnica de la Agencia Española de Cooperación Internacional _ AECI y del Instituto de Cogeneración Iberoamericana _ ICI. Los resultados de este estudio mostraron que el potencial tecnológico de Cogeneración del Sector Industrial a nivel nacional fue de aproximadamente 255 MW; el potencial efectivo de Cogeneración identificado en el Sector Industrial fue de 97 MW para un número de 76 empresas, los cuales podrían producir 620 GWh/año, es decir, el 4.3% de la producción de energía a nivel nacional de ese año. Dentro de los principales sectores en los cuales se determinó un importante potencial de Cogeneración se puede mencionar: aceites y grasas, bebidas y alimentos, metal mecánica y pesqueras, todos los cuales representaban aproximadamente el 70% del potencial efectivo a nivel industrial, ver Tabla 2.

Tabla 2. Potencial efectivo de cogeneración.

| Sector Industrial | Nº Empresas | Potencia (MW) | E.E. Cog. (GWh/año) | Inversión (US\$ $\times 10^3$) | Ahorros (10 ³ US\$/año) | P.R.I (años) |
|---------------------|-------------|---------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Aceites y grasas | 9 | 8 | 55 | 4,876 | 1,677 | 2.9 |
| Bebidas y alimentos | 13 | 16 | 99 | 7,505 | 2,977 | 2.5 |
| Cementos | 4 | 6 | 42 | 4,624 | 2,520 | 1.8 |
| Cerámica | 3 | 5 | 37 | 3,717 | 1,424 | 2.6 |
| Lácteos | 2 | 2 | 10 | 934 | 350 | 2.7 |
| Metal mecánica | 7 | 22 | 171 | 13,941 | 7,036 | 2.0 |
| Papelero | 3 | 6 | 46 | 4,223 | 1,585 | 2.7 |
| Pesquería | 19 | 19 | 62 | 6,803 | 2,479 | 2.7 |
| Productos químicos | 6 | 7 | 50 | 4,834 | 1,967 | 2.5 |
| Textil | 8 | 6 | 43 | 4,265 | 1,415 | 3.0 |
| Otros | 2 | 1 | 3 | 561 | 111 | 5.0 |
| TOTAL | 76 | 97 | 618 | 56,283 | 23,541 | 2.4 |

P.R.I.: periodo de retorno de la inversión.

Fuente: estudio de determinación del potencial de cogeneración del sector manufacturero industrial a nivel nacional. CENERGIA 1994.

De acuerdo a lo anterior, la cogeneración se presentaba como una alternativa viable para que las empresas industriales puedan auto producir energía eléctrica y exportar los excedentes a la red de distribución, logrando con ello la disminución de sus costos operativos y una reducción del déficit energético del país.

REGLAMENTO DE COGENERACIÓN

Aproximadamente, 12 años después, la Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas, publicó la aprobación del Reglamento de Cogeneración (Decreto Supremo N° 064-2005-EM, publicado el 29 de diciembre de 2005 **actualizado por el DS N° 037-2006-EM, Sustitución del Reglamento de Cogeneración, y su modificatoria, DS N° 082-2007-EM**, publicado el 7 de julio del 2006), con el fin de contar con un instrumento legal adecuado al interés nacional y concordante con los compromisos internacionales, que establezca los criterios y condiciones a favor de la inversión y puesta en servicio de centrales de cogeneración, así mismo, define los criterios a considerar en la implementación de un sistema de cogeneración,

establece los requisitos y condiciones para que las centrales de cogeneración participen en el mercado eléctrico.

El reglamento de cogeneración dispone la calificación de centrales eficientes mediante el establecimiento de criterios técnicos de eficiencia, es decir, el rendimiento eléctrico equivalente mínimo requerido (según tipo de tecnología y nivel de interconexión con el SEIN) que debe alcanzar una industria para que sea reconocida como Cogenerador Calificado, ver Tabla 3.

RELACIÓN ENTRE ENERGÍA ELÉCTRICA (E) Y CALOR ÚTIL (C); RENDIMIENTO ELÉCTRICO EFECTIVO (REE)

En el texto de la Sustitución del Reglamento de Cogeneración, en el Artículo 5°, se menciona que: para efectos de la calificación, los titulares de las centrales de cogeneración deberán acreditar valores de REE y C iguales o superiores a los indicados (ver Tabla 3) según la tecnología empleada y el nivel de tensión de su conexión al Sistema Eléctrico:

Tabla 3. REE según tensión de conexión al sistema eléctrico.

| Tecnología | Menor a 1kV | Entre 1 kV y 33 kV | Mayor a 33kV | C = E/V |
|------------------------------------|-------------|--------------------|--------------|---------|
| Motores de combustión interna | 0.52 | 0.54 | 0.55 | 0.87 |
| Turbinas de gas de ciclo combinado | 0.52 | 0.54 | 0.55 | 0.77 |
| Turbinas de gas de ciclo simple | 0.53 | 0.55 | 0.56 | 0.60 |
| Turbinas de vapor de extracción | 0.56 | 0.58 | 0.59 | 0.33 |
| Turbinas de vapor de contrapresión | 0.68 | 0.72 | 0.73 | 0.15 |

Fuente: Reglamento de Cogeneración. Perú.2005.

Para el cálculo del valor de REE se usa la relación:

$$REE = \frac{E}{Q \cdot \frac{V}{0.9}} \quad (1)$$

$$C = \frac{E}{V} \quad (2)$$

Donde:

El valor de C se calcula según la siguiente expresión:

E = Energía eléctrica generada en bordes de alternador, expresada en MWh.

Q = Energía suministrada por el combustible utilizado, calculada en MWh y con base a su poder calorífico inferior.

V = Calor Útil, expresado en MWh.

Los valores de REE y C se calculan para las condiciones de operación en su máxima capacidad de cogeneración y una (01) hora de operación continua.

METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Análisis energético del centro consumidor

Una industria o empresa es un centro consumidor que se caracteriza por tener dos tipos de demanda energética global: energía eléctrica y calor útil, ambos para satisfacer las necesidades de producción [8]. El mapa energético, que se muestra a continuación: ver Fig. 2, representa de manera gráfica la situación actual del centro consumidor, a partir de esa información podemos conocer las necesidades de energía eléctrica y de calor útil para el proceso productivo.

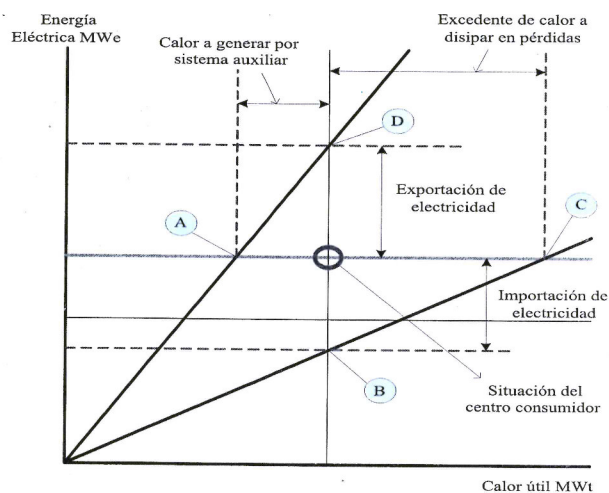


Fig. 2 Mapa energético del centro consumidor.

Existen 4 casos importantes a tomar en cuenta, indicados por los puntos de intersección de las rectas.

Caso A

Requerimiento de un sistema auxiliar de cogeneración útil

- Información.- El sistema de cogeneración satisface la demanda eléctrica, pero es insuficiente la producción de energía térmica.

- Solución.- Usar un sistema auxiliar de producción de calor: una caldera recuperadora de calor (HRSG) o un sistema convencional.

Caso B

Importación de electricidad

- Información.- Se satisface la demanda térmica pero es insuficiente la producción de electricidad.
- Solución.- Comprar electricidad de la red pública.

Caso C

Excedencia de energía térmica

- Información.- Es una situación no recomendable se satisface la demanda eléctrica pero se produce mayor calor útil que la requerida.
- Solución.- Vender la energía térmica a centro consumidores cercanos, como esto es inviable, resulta una pérdida de energía.

Caso D

Exportación de electricidad

- Información.- Se produce calor útil suficiente para el proceso, pero existe exceso de producción de electricidad.
- Solución.- El exceso de energía eléctrica es posible de ser comercializada en la red eléctrica, con lo que se estaría cumpliendo con los fines del Reglamento de Cogeneración del Perú.

La selección del sistema de cogeneración se hará de acuerdo al análisis del mapa energético, a la tecnología a emplear y al nivel de tensión de conexión al sistema eléctrico, la cual se describe en el Reglamento de Cogeneración.

Cálculo del ahorro de energía primaria, A_{ep} .

El ahorro energético se calcula tomando como referencia una instalación convencional determinada y comparándola con la equivalente con cogeneración. Como energía de cálculo se utiliza la energía primaria (tep, KWh) [9].

Ahorro de energía primaria sin excedente de energía cogenerada: (EP_{scg}).- Un centro consumidor presenta demanda de calor útil Q y demanda de electricidad E , que generalmente son producidos de forma independiente; sin embargo, el consumo de energía primaria, ocasionado por esta demanda, si depende de la tecnología de conversión de la energía primaria en energía útil y ésta fuente de energía primaria es la que interesa ahorrar.

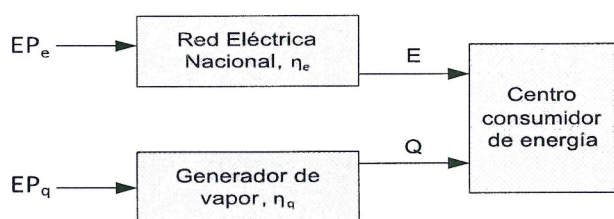


Fig. 3 Flujo de energía de un sistema convencional.

En la Figura 3, se representa el flujo de energía en un sistema convencional; la electricidad demandada se consume de la red nacional y el calor es proporcionado por una caldera, el consumo de energía primaria es:

$$EP_{scg} = EP_e + EP_q = \frac{E}{\eta_e} + \frac{Q}{\eta_q} \quad (3)$$

Donde:

- E: Demanda de energía eléctrica.
- Q: Demanda de energía térmica.
- EP_e : Consumo de energía primaria debido a la demanda de energía eléctrica.
- EP_q : Consumo de energía primaria debido a la demanda de energía térmica.
- η_e : Rendimiento global de la red nacional de producción y distribución de energía eléctrica.
- η_q : Rendimiento global del sistema de producción de calor.

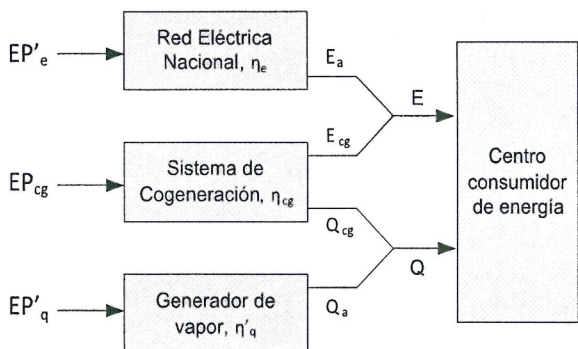


Fig. 4 Flujo de energía en un sistema con cogeneración.

En la Figura 4, se muestra un diagrama de flujo de energía en un sistema con cogeneración, que satisface la demanda de calor y electricidad del sistema convencional, sin excedente de energía eléctrica ni térmica [2]. El consumo de energía primaria se calcula por:

$$EP_{ccg} = EP'_e + EP_{cg} + EP'_q = \frac{E_a}{\eta_e} + \frac{E_{cg}}{\eta_{cg}} + \frac{Q_a}{\eta'_q} \quad (4)$$

Donde:

- E_{cg} : Electricidad cogenerada.
- Q_{cg} : Calor cogenerado.
- E_a : Electricidad de apoyo tomada de la red nacional.
- Q_a : Calor de apoyo de producción convencional.
- EP'_e : Consumo en energía primaria debido a la demanda de energía eléctrica del sistema con Cogeneración.
- EP'_q : Consumo en energía primaria debido a la demanda de energía térmica del sistema con Cogeneración.
- EP_{cg} : Consumo de energía primaria debido al equipo de Cogeneración.
- η_{cg} : Rendimiento eléctrico del sistema de Cogeneración.
- η'_q : Rendimiento del generador de calor convencional, que puede ser distinto de η_q .

El ahorro de energía primaria debido a la cogeneración será:

$$A_{ep} = EP_{scg} - EP_{ccg} \quad (5)$$

Usando las tasas de cobertura eléctrica y térmica; Γ_e , Γ_q , respectivamente, puede escribirse el ahorro energético en función de la demanda de electricidad.

$$A_{ep} = E \times \Gamma_e \times \left(\frac{1}{\eta_e} + \frac{R_{cg}}{\eta_q} - \frac{1}{\eta_{cg}} \right) \quad (6)$$

Donde:

$$\Gamma_e = \frac{E_{cg}}{E} \quad \text{y} \quad \Gamma_q = \frac{Q_{cg}}{Q} \quad (7)$$

$R_{cg} = \frac{Q_{cg}}{E_{cg}}$, relación de calor/electricidad del equipo de cogeneración.

Ahorro de energía primaria con excedente de energía cogenerada.- En la Figura 5, notamos un diagrama de flujo de energía en un sistema con cogeneración

con excedente de producción de energía cogenerada que es posible de exportar a la red de energía eléctrica, usar en otro sistema o expulsarlo al medio ambiente.

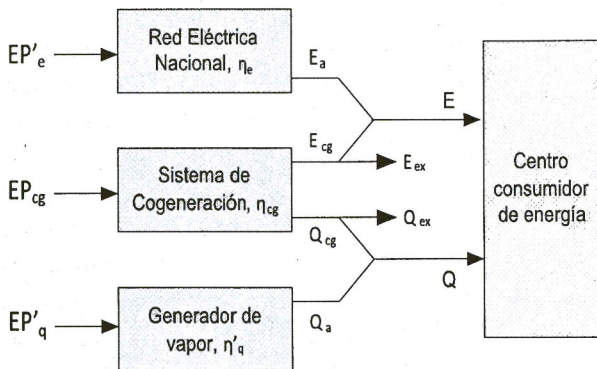


Fig. 5 Flujo de energía en un sistema de energía con producción de energía cogenerada.

El consumo de energía primaria se calcula igual que en el caso anterior, pero ahora se tendrá un ahorro extra de energía primaria debido a la energía exportada.

$$A'_{ep} = \frac{E_{ex}}{\eta_e} + \frac{Q_{ex}}{\eta_q} \quad (8)$$

Siendo: $E_{ex} = E_a + E_{cg} - E$ y $Q_{ex} = Q_a + Q_{cg} - Q$

Donde: E_{ex} : Electricidad excedente.

Q_{ex} : Calor excedente.

η'_q : Rendimiento del sistema de generación de calor al cual se exporta el calor excedente.

Entonces, el ahorro de energía total será: $A_{ep} + A'_{ep}$

RENDIMIENTO GLOBAL DE UN EQUIPO DE COGENERACIÓN

Teniendo en cuenta la energía total proporcionada por el sistema de cogeneración, calor y electricidad, y la energía del combustible suministrado, se define como:

$$\eta_{gcg} = \frac{E_{cg} + Q_{cg}}{EP_{cg}} \quad (9)$$

CÁLCULO DEL AHORRO ECONÓMICO

Se calcula comparando los costos del sistema convencional con los costos de un sistema

equivalente de cogeneración. La instalación de un sistema de cogeneración es un gasto extra en la inversión, la cual deberá amortizarse con el ahorro; el tiempo de recuperación de esta inversión adicional, es uno de los datos más significativos al evaluar la aplicabilidad de la implementación de un sistema de cogeneración [2].

Ahorro económico sin excedente de energía cogenerada: A_{ea}

El costo económico de energía del sistema convencional (C_{sc}) se calcula mediante:

$$C_{sc} = E \times ve + Q \times vq \quad (10)$$

Para calcular el costo económico de energía del sistema con cogeneración C_{cog} , se debe tener en cuenta los costos de la energía de apoyo (electricidad y calor), el combustible para la cogeneración y el sobre costo de mantenimiento debido a la existencia del sistema de cogeneración.

Entonces:

$$C_{cog} = E_a \times ve' + Q_a \times vq' + E_{cg} \times (vcg + vm) \quad (11)$$

Donde:

ve': Costo unitario de la electricidad comprada a la red (\$/kWh), dado por la tarifa eléctrica y que puede ser igual a ve .

vq': Costo unitario del calor útil (\$/kWh), que puede ser igual a vq .

vcg: Costo unitario del combustible de cogeneración (\$/MMBTU).

vm: Extra costo de mantenimiento del cogenerador (\$/MWh).

El ahorro económico anual, estará dado por:

$$A_{ea} = C_{sc} - C_{cog} \quad (12)$$

CÁLCULO DEL COSTO UNITARIO DEL CALOR ÚTIL PRODUCIDO

El costo del calor útil producido (\$/kWh) se calcula mediante:

- Caldera convencional.

$$vq = \frac{vc}{PCI} \times (1 + exc) \times \frac{1}{\eta_q} \quad (13)$$

- Sistema de cogeneración.

$$vq = \frac{vc}{PCI} \times (1 + exc) \times \frac{1}{\eta_{cg}} \quad (14)$$

Donde:

vc: Costo del combustible en US\$/gal.

PCI: Poder calorífico inferior en BTU/gal.

exc: Sobrecosto debido a la preparación del combustible y su sistema de alimentación y almacenamiento.

Ahorro económico con excedente de energía cogenerada

El costo energético del sistema convencional (C_{scg}) se calculará de la misma forma que en el apartado anterior, así como el costo energético del sistema con cogeneración (C_{cgg}), pero ahora se considera ingresos extras por la ventana de los excedentes de energía, mediante.

$$C_{ex} = E_{ex} \times ve'' + Q_{ex} \times vq'' \quad (15)$$

Donde:

El valor de “**ve**” corresponde al valor del costo marginal de la electricidad del sistema eléctrico (Perú), y “**vq**”, corresponde al calor de venta de la energía térmica, que en nuestro caso es cero.

Entonces:

$$C_{ex} = E_{ex} \times ve'' \quad (16)$$

y el ahorro económico, es:

$$A_{ea} = C_{sc} - C_{cg} + C_{ex} \quad (17)$$

TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN

El tiempo que se demora en recuperar la inversión, también conocido como Pay - Back (PB), se define como: la relación entre la inversión extra (I) ocasionada por el cambio de tecnología (sistema convencional a sistema con cogeneración) y el ahorro anual conseguido [2].

$$\text{Entonces PB} = \frac{I}{A_{ea}} \text{ (años)} \quad (18)$$

CONCLUSIONES

Realizar un análisis de sensibilidad técnico económico permite conocer el potencial de cogeneración de una industria, lo cual facilita llevar a cabo un estudio de pre factibilidad.

El producto de la investigación, denominado software básico permite realizar de manera inmediata el análisis de sensibilidad técnico económico, mediante el cambio de datos de entrada (precio de combustible convencional, precio del gas natural, tarifa eléctrica, etc.), permitiendo dar juicio de valor sobre la factibilidad de implementación de sistemas de cogeneración.

Los factores que influyen en la decisión de cogenerar con gas natural en el Perú, forman parte de un proceso de difusión de innovaciones; el marco regulatorio y las políticas de incentivo determinan fuertemente el desarrollo de la Cogeneración.

Dentro de este contexto, un análisis de sensibilidad técnico económico usando el producto de esta investigación permitirá que muchas industrias puedan conocer el potencial de cogeneración haciendo posible la realización de estudios de pre factibilidad.

La existencia de diversos software internacionales sobre el tema, muestran resultados satisfactorios, el inconveniente para los profesionales dedicados a la consultoría e investigación, es que están elaborados para otras condiciones de trabajo; frente a esto el software básico al disponer de información nacional cumple satisfactoriamente su objetivo.

REFERENCIAS

1. **Sala Lizarraga, J. M^a.**, “Cogeneración, aspectos termodinámicos, tecnológicos y económicos”. 3^a Edición Editorial Universidad del País Vasco, pp. 1, 2007, España.
2. **Jutglar i Banyeras, Ll.**, “Cogeneración de calor y electricidad. 1era Edición. Ediciones CEAC. 1996, pp. 13, 31, 40, Barcelona. España.

3. **Villares, M. M.**, "Cogeneración". 2ª Edición Fundación Confimetal, 2003, pp. 171, Madrid, España.
4. **Ministerio de Energía y Minas.**, "Reglamento de Cogeneración", <http://www.minem.gob.pe/archivos/dge/publicaciones/compendio/ds064-2005.pdf>, 2005, Lima Perú.
5. **Vargas, D. L., La Fuente, V. F.**, "Cogeneración en Chile: Potencialidad y Desafíos". http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed430/cogeneracion_en_chile.htm, pp. 8, Chile.
6. **La industria eléctrica mexicana:** "El Sector de la Cogeneración". http://www.icex.es/staticfiles/cogeneracion%20mexico%202000_7707_.pdf. PP. 5, México.
7. **Huaroto, C.**, "Perspectiva de la Cogeneración en la Industria Peruana". Boletín Técnico CENERGÍA. N°9. pp. 16-17. Lima, Perú.
8. **Sala J. M., Paradinas, Fco.**, "Estudios de viabilidad en los sectores residencial y terciario". Aplicación al caso de un Polideportivo, Energía, setiembre, 1991, pp. 438, 439, Barcelona, España.
9. **Guerra S. G., Vázquez Román, R., Rodríguez Toral, M. A.**, "Simulación de plantas de cogeneración de ciclo combinado usando ASPEN®", http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642005000100007&script=sci_arttext#r12, pp. 2 y 3, México.
10. **Schobeiri, T.**, "Simulación digital del comportamiento de turbinas de gas en servicio no estacionario mediante el ordenador", Brow Boveri Vol. 3, N° 87, pp. 161-173, España.
11. **Stronach, A. F., Smith, J. R.**, "Development of a simulation model of turbocharged diesel engine prime-movers for power system studies", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 10, N° 2, pp. 123-129, 1988. Londres, Inglaterra.

Correspondencia: senergas@yahoo.es

Recepción de originales: Octubre 2008

Aceptación de originales: Noviembre 2008