

INTI/CID
1883
Y

Secretaría de Estado de Energía

Seminario sobre conservación de la
Energía Eléctrica

Buenos Aires, 4 - 7 - XI - 1980

Tema X - B

CONSERVACION DE LA ENERGIA
EN RELACION CON
LA AUTOGENERACION

Ing. Livio Dante PORTA

INTI

Ing. Justo José ARTUSI

AyEE

INTI-CID

1883

Y

-259-

*energía eléctrica - calor - termodinámica - auto generación
plantas industriales - fuentes de energía.*

Resumen

La autogeneración es presentada en función de la excelencia termodinámica que resulta de la aplicación del Segundo Principio a los procesos técnicos. Su conveniencia es asociada con las dificultades que derivan de la crisis petro - energética, con el uso de combustibles no fósiles, con el ahorro de energías primarias, etc.

La implementación de la autogeneración (calor y energía eléctrica) en conexión con la red exige una profunda comprensión tanto por parte de la Empresa de la red como la de la autogeneración, en forma de armonizar los recíprocos intereses .

Condición sine-qua non para el éxito de esa implementación a nivel de política energética, es que la misma se base en una profunda comprensión de la Termodinámica : nunca puede haber acción sin una filosofía profunda que la informe .

301779

Indice

1. Objeto del presente trabajo.
2. Conceptos técnicos fundamentales.
 - 2.1 - Cuadro comparativo de utilización de energía primaria.
3. La autogeneración.
 - 3.1 - Autogeneración insular.
 - 3.2 - Integración con la red de Servicio Público de E. Eléctrica
4. Factores que favorecen la autogeneración (calor y energía eléctrica).
 - 4.1 - Incidencia sobre la red .
5. Factores desfavorables.
6. El concepto de ahorro de energía en la creación de parques industriales .
7. La autogeneración en relación al uso de combustibles no fósiles.
8. Estructura de la autogeneración en el país.
 - 8.1 - Tendencia probable .
9. Relaciones con la Empresa proveedora de energía eléctrica.
 - 9.1 - Importancia de la calidad de las energías eléctricas intercambiadas .
10. Conclusiones y recomendaciones .

Apéndices :

- A1 . Ejemplo de un análisis técnico (información muy sintética)
- A2 . Aplicación sintética del segundo principio de la Termodinámica .

1. Objeto del presente trabajo

Se trata de examinar las posibilidades técnicas de la generación de energía eléctrica acoplada al suministro de calor en procesos industriales, en un esquema integrado con la red del Servicio Público de suministro de energía eléctrica. Al enunciar los conceptos fundamentales que deben presidir la racionalidad del esquema integrado, lo que presupone la posibilidad de intercambios de energía eléctrica, se tendrá en cuenta el recíproco juego de las energías primarias disponibles para autogeneración y el de los distintos usos finales de dichas energías. Se trata además de cuantificar el esfuerzo activo de una acción tendiente a la conservación de recursos energéticos no renovables mediante un reordenamiento del consumo de energía en el campo industrial.

Se pone énfasis en señalar que es necesario armonizar los naturales intereses que intervienen en una cogeneración, ya que no siempre será fácil compatibilizar no solo las cantidades sino también las calidades de las energías puestas en juego. Este trabajo está guiado por conceptos y criterios técnicos cuyo origen científico lo es el segundo principio de la termodinámica, que hace explícito los límites de convertibilidad a trabajo mecánico de la energía calórica resultante del proceso de la combustión.

Se intenta analizar el problema y ubicar las variables para evaluar la autogeneración dentro del escenario energético del país conforme a ;

- 1) a los aspectos regionales ,
- 2) la integración en el marco de las ofertas hidro y nucleo eléctricas .
- 3) la oferta de combustibles sean estos fósiles o no .
- 4) impacto de nuevos desarrollos tecnológicos. (no tratado)

El trabajo no pretende sino proponer al examen algunos aspectos de la temática, todo ello dentro de la fundamental línea de conservación de recursos primarios.

2. Conceptos Técnicos Fundamentales

La autogeneración permite satisfacer requerimientos esenciales de un uso racional de la energía. Esto se logra apuntando a la optimización del aprovechamiento de la capacidad de trabajo o energía de los combustibles mediante la generación simultánea de energía mecánica y calor industrial.

El segundo principio explicita mediante el factor de Carnot la máxima transformabilidad de la energía calórica en trabajo mecánico " L " , el que se obtiene a partir de una cantidad " Q₁ " de calor disponible en un fluido (agente de transporte) que está a una temperatura " T₁ " . Esa máxima transformabilidad está condicionada por la temperatura " T₂ " de la fuente fría o sumidero frío que puede ser el medio ambiente , por la siguiente relación ,

$$L = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot Q_1$$

Por lo tanto siempre será $L < Q_1$, si $T_2 > 0^\circ K$

La diferencia $Q_1 - L = Q_2 = Q_1 \cdot \frac{T_2}{T_1}$ es la cantidad mínima de calor que es disipada a la fuente fría .

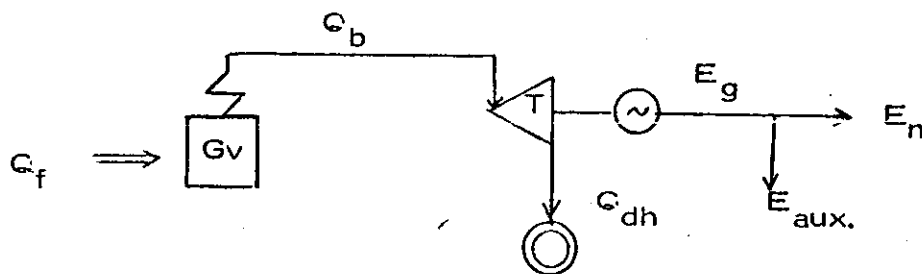
La comprensión de estas simples pero fundamentales relaciones es necesaria para entender el porqué de la justificación de la conveniencia de la autogeneración mixta, por oposición, si se quiere, a la alternativa de producir energía mecánica y calor industrial. Como resultado de la aplicación del Segundo Principio se obtiene la economicidad del esquema basado en un aprovechamiento escalonado de las energías disponibles de acuerdo a sus calidades, o "ad usum scholarum", de generar vapor una sola vez a más altas características de presión y temperatura y calentar los procesos industriales con vapor ya servido en las turbinas. Se ha dicho "generar vapor una sola vez" por oposición a "generar dos veces": una para producción de energía mecánica y otra para producir calor industrial.

La explicación detallada en forma amplia y aplicada está fuera de los límites de este trabajo, pero para un mejor entendimiento se informa conceptualmente:

- I. Parámetros determinantes del rendimiento térmico utilizando turbinas de contrapresión.
- II. Valor de las relaciones Calor - Energía Eléctrica posibles de obtener con instalaciones normales.
- III. Valoración exergética de procesos técnicos: Anexo 2

item I.

Para un mejor entendimiento se realiza el siguiente esquema;



En una turbina de contrapresión la relación entre la potencia eléctrica y la cantidad de calor entregada al proceso es:

$$\alpha = \frac{E_g \cdot \text{kWe}}{Q_{dh} \cdot \text{kWt}}$$

E_g = potencia eléctrica ; kWe

Q_{dh} = potencia calórica transferida al proceso ; kWt

Una turbina de extracción o contrapresión puede ser mirada como una de condensación con un condensador de alta temperatura, y su consumo específico es definido por la relación;

$$q = \frac{Q_b}{E_g} \frac{\text{kWt}}{\text{kWe}}$$

expresión en la que Q_b es el calor transferido de la caldera a la turbina en la unidad de tiempo.

Ignorando las pérdidas es: $Q_b = E_g + C_{dh}$, deduciendo de estas ecuaciones que:

$$q = \frac{1 + \alpha}{\alpha}$$

El consumo específico " q " es un índice que define a una instalación de contrapresión, pero se debe considerar que se ha utilizado el contenido exergético del vapor que es realmente su componente de valor. Esto es importante cuando es necesario establecer el valor de la unidad de energía eléctrica.

Denominando " Q_f " la potencia calórica de entrada a la planta, la eficiencia térmica puede ser definida por la relación ;

$$\eta_t = \frac{E_n + Q_{dh}}{Q_f}$$

expresión en la que " E_n " es la potencia neta generada, igual a ;

$$E_n = E_g - E_{aux.} \quad \text{es decir la diferencia}$$

entre la potencia bruta y el consumo (interno) de los auxiliares de la planta.

Conociendo el rendimiento calórico " η_g " del generador de vapor, se deduce que ,

$$Q_f = \frac{Q_b}{\eta_g}$$

y operando con las relaciones anteriores se deduce lo siguiente ;

$$\eta_t = \frac{E_n + Q_{dh}}{Q_f} = \eta_g \frac{(E_g - E_{aux.}) + Q_{dh}}{Q_b}$$

como

$$\frac{E_g}{C_b} + \frac{Q_{dh}}{Q_b} = 1$$

se deduce

$$\eta_t = \eta_b \left(1 - \frac{E_{aux.}}{C_b} \right)$$

en esta expresión final se observa que la eficiencia térmica de una planta de contrapresión depende del rendimiento del generador de vapor y de la relación entre la potencia consumida en el servicio interno con la de salida del generador de vapor .

Según las características de vapor (admisión y contrapresión) la eficiencia global del proceso en los casos corrientes toma valores de 0,7 y mayores .

Si se analiza la eficiencia actual de los generadores de vapor de mediana potencia y el correspondiente a turbinas modernas se puede decir que una excelente eficiencia global es prácticamente independiente del tamaño de la planta. Esto es importante pues dá oportunidades reales aún a instalaciones de baja potencia .

Item II.

Valor de las relaciones Calor - Energía Eléctrica, posibles de obtener con instalaciones normales.

Para la producción simultánea o no de energía eléctrica y calor de calefacción se informan algunas instalaciones cuyas estructuras tecnológicas son conocidas. Para hacer más objetiva la comparación de sus balances térmicos posibles, se asume un valor de entrada igual a 100 unidades de energía, común a todas las alternativas.

Distribución del balance de energía

<u>PLANTAS</u>	<u>Unidades de E. Eléctrica</u>	<u>Unidades de Calor</u>	<u>Pérdidas</u>
Turbinas de contrapresión fig. 1	29	52	19
Turbina a gas con caldera de recuperación fig. 2	32	44	24
Turbina de condensación fig. 3	34	0	66
Exclusiva generación de vapor fig. 4	0	85	15
Diesel con recuperación de calor	38	38	24

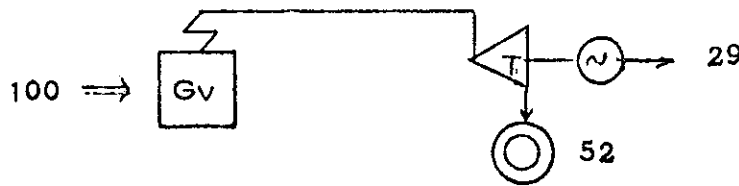


Fig. 1 Turbina de contra presión

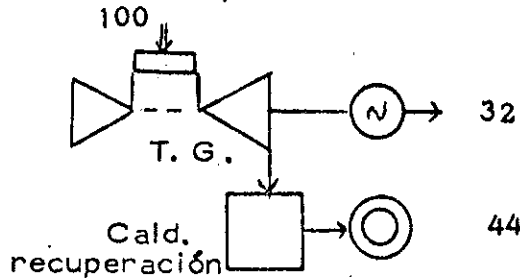


Fig. 2 Turbina a gas con caldera de recuperación

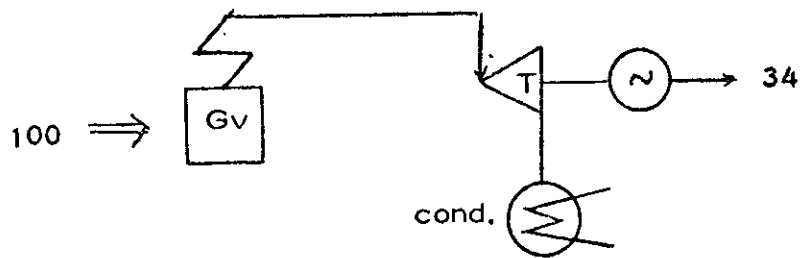


Fig. 3 Turbina con condensador



Fig. 4 Exclusiva generación de vapor

3. La Autogeneración

En su forma más amplia, la autogeneración ha de entenderse no solamente como la autoproducción de energía eléctrica, sino como la autoproducción de servicios tales como vapor para calefacción de procesos, aire comprimido, frío, gases calientes, etc. acoplados a la producción de energía eléctrica. Entre todos ellos debe existir una armonía, que viene fijada por la naturaleza del medio en el cual se implementan. Tienen su fuente de alimentación energética en los combustibles industriales, que pueden ser fósiles o no y en el suministro o no de energía eléctrica exterior al sistema.

Sucede que, para hacer un uso altamente eficiente de la energía primaria de entrada, es menester implementar la utilización de la capacidad de trabajo disponible conforme a un buen eslabonamiento termodinámico. Existe un amplio espectro de ya probadas posibilidades técnicas. Ese eslabonamiento está, en sus grandes líneas perfectamente definido por los niveles de temperatura en que se dan los procesos industriales, los que pueden ser clasificados como sigue:

<u>Nivel de los procesos</u>	<u>Temperaturas características</u>
Bajo nivel	de 110° a 150 °C
Medio nivel	de 300 a 400 °C
Alto nivel	de 1.000 a 1.500 °C

En general, los procesos industriales tienen una variada relación entre la demanda de calor y la de energía eléctrica, que puede variar entre límites muy amplios, la que cubre el espectro que va de los energo-intensivos a los termo-intensivos conforme a la siguiente tabla:

<u>Grupo</u>	<u>Procesos</u>	<u>Relación entre demanda de calor y de energía eléctrica</u>
I	energo - intensivos	0 a 2000 kcal /kWh
II	intermedios	2000 a 10 000 kcal/kWh
III	termo - intensivos	10 000 a 50 000 kcal/kWh

Cuando por razones de economicidad, se implementa en una instalación industrial un eslabonamiento en el uso del calor definido por sus necesidades expresadas por la relación calor / energía eléctrica, pueden darse muchas variantes, no solamente respecto a la naturaleza de los procesos sino por su modalidad operativa y la vinculación que pueden tener con la Empresa de Servicio Público de energía eléctrica.

Estas pueden ser agrupadas conforme a los criterios tales como los que siguen ;

Criterio de agrupamiento

- según los combustibles utilizados
- según las horas de utilización
- según la relación : calor / energía elect.
- según la vinculación con la red
- según el modo de operar en intercambio con la red
- según el sistema implementado
- según el costo de las distintas alternativas de suministro de energía
- según las posibilidades propias del nivel técnico de la industria .

Grupos

- fósiles ; fuel - oil o gas
- fósil carbón
- renovable ; leña
- residuos ; gases combustibles, residuos vegetales, basura, etc .
- operan aprox. 8000 h / año
- " " 6000 "
- " " 3000 "
- ver tabla anterior
- opera en forma insular
- opera en intercambio con la red
- entrega energía a la red en forma programable y diagramable .
- entrega energía a la red en forma fugaz (energía fantasma)
- no entrega energía a la red pero la utiliza para mantener frecuencia .
- recibe energía de la red y mantiene frecuencia
- turbina de contrapresión
- turbina de extracción y condensación
- turbina a gas con caldera de recuperación .
- turbina a gas con caldera de recuperación y máquina de contrapresión .
- turbina a gas y utilización de gases calientes .
- otros
- costo del gas vs. carbón (por Gcal)
- costo del gas vs. leña y residuos
- costo del kWh entregado por la red de servicio público o tarifa de uso industrial vs. el costo del kWh producido industrialmente .
- comparación de costos entre otras alternativas de energía primaria .
- admite presiones de 100 bar o más .
- " " " 40 bar
- " " " 20 bar
- nivel de especialización técnica para la gestión de operación y mantenimiento

- según la forma en que ocurre el intercambio con la red, el sistema de autogeneración

- usa la red para el transporte de energía a otra industria .
- ofrece energía en forma programable
- ofrece energía en forma diagramable
- usa la red a título de socorro
- tiene intercambio unidireccional
- tiene intercambio bidireccional
- admite compensación entregando energía de pico
- puede entregar o no energía fugaz
- es considerada integrante reserva del servicio público .
- puede operar en forma independiente de la red de servicio
- no puede operar sino está vinculado en paralelo con la red de servicio

El cuadro que precede permite visualizar a grandes rasgos , los factores que condicionan cada industria o cada caso particular. Los problemas que hacen a la autogeneración responden a las características de todos los que integran el espectro de los energéticos , a saber : que para que el servicio sea eficiente y económicamente óptimo, y compatibilice intereses particulares y comunitarios entre sí , es menester considerarlo en su compleja integración sin olvidar que el objetivo base es el uso racional de las energías disponibles .

Esa complejidad no es óbice para que los problemas que se plantean no puedan tener soluciones reales , como lo prueba las múltiples instalaciones existentes en el país y las de muy alta eficiencia que predominan en Europa .

3 . 1 Autogeneración insular

Las autogeneraciones insulares merecen ese tal nombre porque , actuando en forma independiente de la red , atienden a su propia demanda . Esta puede ser :

- I . solamente de energía mecánica (eléctrica)
- II . solamente de calor (vapor , gases calientes , etc)
- III . combinación de calor y energía mecánica .

Los principales factores que hacen a un sistema insular son :

- a) . una posición geográfica marginal
- b) . una posición geográfica vecina hoy a una red de servicio público (regional o al sistema interconectado Nacional) cuya vinculación con la red no ha sido considerada
- c) . una posición geográfica marginal con fácil acceso de combustible renovable .
- d) . una posición geográfica en la que el servicio público es deficitario
- e) . por la importancia de la instalación , sea por su potencia o por la calidad y confiabilidad exigida por el proceso , etc .

El cambio que se está produciendo en forma acelerada en el panorama energético indica la conveniencia de revisar muchas situaciones en orden a su potencial integración con la red de servicio público , esto en función que los elementos de juicio que determinaron históricamente la insularidad hayan cambiado de importancia o perdido vigencia .

3. 2 Integración con la red de S. Público de Energía Eléctrica

Quando la autogeneración está integrada con la red pueden darse las siguientes situaciones :

- a). la potencia intercambiada es insignificante frente a la potencia de la red .
- b). la potencia entregable a la red es significativa frente a la de esta y es considerada como parte de la reserva del sistema (regional)
- c). la red es utilizada para mantener la frecuencia con posibilidades de entregar solo potencia reactiva y recibir potencia activa .
(instalaciones con turbinas de contrapresión de módulo no correcto)
- d). la red es utilizada solo en casos de emergencia

En todos los casos se supone que existe generación combinada de calor y energía eléctrica .

Desde el punto de vista de la mejor utilización de los combustibles , si la generación de energía eléctrica es consecuencia del escaleonamiento energético , se puede decir que se satisface el más exigente criterio de racionalización termodinámica y de uso racional de las energías primarias . Desde el punto de vista de la aceptabilidad de la potencia por la red , la cuestión no es tan obvia . Cuando la autogeneración se produce en condiciones de entregar el excedente de la potencia que demanda su propio consumo , puede darse el caso en que esa posibilidad de entrega asuma valores importantes , sea por el tamaño (relativo) de la industria , sea por causa del alto valor de la relación calor consumido / energía eléctrica consumida , como es el caso de industria azucarera . En esta , cada tonelada de caña lleva implícito un sobrante de 30 kWh . Por lo tanto , para una producción Nacional del orden de los 12 millones de toneladas - año de caña habría una posibilidad de generar 0,36 TWh /año es decir aproximadamente 1 % de la demanda Nacional .

Valores como este , y aún otros menores pero significativos a nivel local, obligan a pensar que es necesario lograr una profunda , honesta y convencida colaboración entre los distintos sectores participantes para dar un uso racional a una fuente de energía de nada despreciable potencial . Puede ser que , a nivel regional , existan limitaciones , las que pueden desaparecer a medida que el Sistema Interconectado Nacional alcance pleno desarrollo.

4. Factores que favorecen la Autogeneración

Con referencia al empleo de generación de energía eléctrica en base a turbinas de contrapresión se tienen las siguientes ventajas y posibilidades :

- a) el consumo específico de la turbina puede ser del orden de 1150 kcal / kWh valor más favorable que el de 2250 kcal / kWh que se puede dar en la generación en el servicio público. (en realidad las dos turbinas utilizan o transforman la componente exergética del vapor , por lo tanto su consumo específico es casi similar , lo que sucede en esta comparación que rigurosamente no es correcta , es que en el segundo caso se incluye el condensador . En el anexo 2 se trata de explicar la interpretación de estos valores .)
- b) no se dan pérdidas por causa del transporte 7 % en alta y 7 % en baja tensión . Si la energía eléctrica es consumida en la vecindad , la pérdida es solo del 7 % por causa de la distribución en baja tensión .
- c) la eficiencia de la planta de contra presión es prácticamente independiente del tamaño , pero función de la potencia de la caldera , pero actualmente no hay mayor diferencia entre el rendimiento de las calderas grandes y el de las medianas .

Por ello, toda energía eléctrica generada por una demanda razonable de vapor para calefacción podrá ser absorbida con buena eficiencia. Para que este planteo sea correcto, el usuario de la caldera debe mantener la eficiencia original de esta en el tiempo.

d) el rendimiento termodinámico de las turbinas o máquinas alternativas actuales de contrapresión es alto (0,8 a 0,85) lo que mejora la producción de energía eléctrica por kg de vapor que pasa por la máquina.

e) los gastos de inversión (dols./kW instalado) son sensiblemente menores para las turbinas de contrapresión que las de servicio público.

f) los gastos de personal de atención no son mayores dado que, de todos modos, ese personal será necesario para atender la caldera del proceso. Esto sin embargo es relativo por qué la calidad del personal crece con la presión de trabajo.

g) las turbinas de contrapresión han demostrado una muy alta disponibilidad y confiabilidad

h) se ha dicho que instalar una turbina de contrapresión es como si se fuera a abrir un pozo de petróleo. Con esto se quiere decir que existe una nueva componente económica cuando se aumenta por efecto de una mayor racionalidad termodinámica la utilización de un combustible. Ello es así en estos casos porque hay una inversión que ha dejado de hacerse para extraerlo, refinarlo, etc.

i) dado que los procesos modernos de producción son continuos, se favorece la producción de energía eléctrica por autogeneración y esto es: porque se asegura un mayor número de horas de utilización y por razones de seguridad cuando el suministro no puede ser interrumpido aleatoriamente.

4.1 Incidencia sobre la red

No es económicamente rentable tener potencia de reserva en autogeneración: si falla la parte de generación de energía eléctrica, la energía calórica puede atenderse mediante un by-pass reductor de presión, esto supone que la red puede suplir el defecto de potencia originado por la falla. Aparentemente, esto se traduciría en que la inversión monetaria de potencia de reserva por autogeneración sería transferida a la red, lo que puede no ser cierto por que ésta no atiende simultáneamente a todos los socorros de la zona, se comprende probabilísticamente. También esto presupone que la potencia de autogeneración sea una fracción pequeña de la potencia en operación que pertenece a la red.

Si bien las centrales de contra presión podrían ser consideradas como reserva de la red, su pleno empleo es decir su auto reserva si existe (difícil si la demanda de energía del proceso ha sido bien implementado) hace que este socorro inverso sea prácticamente inexistente.

Un factor limitante de la energía entregada a la red, es la situación que se da, en el caso de interconexión con centrales hidráulicas, cuando estas operan en "desague", lo mismo ocurre cuando las centrales térmicas de la red (fósiles o nucleares) operan al mínimo técnico.

5. Factores desfavorables

La empresa industrial que incorpore la autoproducción de energía eléctrica a su producción de calor tendrá que asumir los riesgos inherentes al nuevo eslabón que agrega a su mecanismo productivo. Este riesgo es calculable, pero no determinante al punto de anular la economía del proyecto empresarial. Sin embargo ha de tenerse presente que como se ha dicho la confiabilidad de las plantas actuales es muy alta.

301779

Además del riesgo de falla, que está vinculado más a la calidad operativa que a la calidad de los equipos ha de considerarse el riesgo de adaptación defectuosa, es decir el que resulta de complicar más el proceso con elementos cuya integración termodinámica en el mismo no corresponde. Este es el mayor riesgo Empresario respecto a una instalación de producción mixta. Esto está vinculado con el estudio energético de los procesos objeto de la industria, de esta acción depende la correcta asignación de las energías calóricas y eléctrica necesarias, sus características de uso, su factor de utilización, etc. que determinan el módulo de la planta a instalar. En otras palabras, instalar una planta de contrapresión (caldera de más presión y turbina) tiene validez económica si responde por sus características al proceso que sirve. Por ejemplo; del tamaño depende el factor de utilización y de este depende el costo de la unidad de energía producida (recuérdese la expresión algebraica de la componente variable de la expresión binómica clásica de cálculo de costo unitario: $\$/\text{kWh}$.)

También existe un riesgo de operación de la planta térmica, denominándose así a lo vinculado con la confiabilidad y permanencia en servicio de las instalaciones, esta es una función de la calidad técnica que la sirve. La experiencia muestra, que muchas veces hay serias dificultades para igualar la alta eficiencia térmica potencial de una instalación y su realización en la realidad. Los cálculos de rentabilidad previos de una instalación para justificar su operación financiera y los programas de instalación en tiempo crítico no muestran las posibilidades operativas reales de acuerdo a su contexto. Esto explica la razón de dificultades que luego aparecen y que son costosas de corregir.

En resumen: los riesgos de falla, los riesgos de adaptación defectuosa y los riesgos de operación pertenecen al Empresario, y en los estudios de evaluación financiera deben ser tenidos en cuenta. Esto explica la exigencia creciente de las entidades de crédito para estas instalaciones que son verdaderas oportunidades de inversión.

6. El concepto de ahorro de energía en la creación de Parques Industriales

Es obvio que el agrupamiento energéticamente integrado de industrias cuyas características termo-intensivas o energía-intensivas se complementen entre sí en un esquema de autogeneración asociada con la red de Servicio Público es suficientemente atractiva como para motivar su consideración y estudio. La creación de parques industriales obligan a satisfacer una serie de necesidades, una de estas es lo referente al suministro de energía, pero como es necesario un uso racional de estas, hace, en principio válida la idea de promocionar su agrupamiento, facilitando la instalación de plantas de autogeneración integradas y/o compartidas cuando la naturaleza de los procesos lo permiten.

Evidentemente las combinaciones posibles para establecer un eslabonamiento energético son numerosas y probablemente a pesar de las restricciones que puedan aparecer, debe dar oportunidad en proyectos compartidos de conseguir una real racionalización del uso de las energías naturales.

En nuestro país con posibilidades ciertas de facilitar las instalaciones de modernas agro-industrias (alimentos, fibras, etc.) el agrupamiento de estas por la naturaleza casi-general de sus procesos que son térmicos, se debería estudiar su integración energética, pero no solamente con el criterio hasta aquí expuesto, sino en su relación con la oferta posible de energía de origen hidráulico y nuclear, en muchos casos quizás convenga promocionar el uso de la Bomba de Calor para sus procesos de calentamiento.

7. La Autogeneración en relación al uso de combustibles regionales no fósiles

Desde el punto de vista de la conservación de recursos fósiles por sustitución de combustibles no fósiles regionales, la Autogeneración sin dudas representa una importantísima contribución a la racionalización.

Cualquiera sea la opción, esta se apoya en recursos técnicos conocidos y probados para la utilización de bagazo, leña, desechos vegetales, etc. Es necesario destacar que esta utilización de recursos no fósiles goza del privilegio de estar asociada a consumos locales, es decir sin incurrir en el transporte de energía primaria a largas distancias.

El factor de mayor peso en orden a las decisiones es el costo del combustible no fósil frente al fósil o a la energía eléctrica generada por él. La decisión referida a un proyecto de esta naturaleza, el análisis de sus medidas financieras indicará a su momento su conveniencia o no, lo mismo con la generación de energía eléctrica en autoproducción frente al costo que le ofrece la red con su tarifa industrial. Este aspecto interesa al industrial que ha de evaluar los costos que hacen a su negocio pero quizás más al poder administrador que tiene la responsabilidad de la conducción de la política energética. Una característica que muchas veces se presenta en una autogeneración basada en la utilización de combustibles regionales no fósiles, es que su disponibilidad está férreamente vinculada al proceso que sirven, tal es el caso del bagazo, residuos de cáscaras, cortezas, follajes, etc.

En el anexo 1, en forma conceptual se informa de una alternativa de autogeneración y uso de combustible biomásico. Si se profundiza un poco el análisis se verá que no es tan simple como aparentemente se lo presenta, pero sin embargo frente a una realidad estas posibilidades deberían ser cada día más factibles. Lo informado en este anexo corresponde a una instalación industrial ubicada en el norte del país.

8. Estructura de la autogeneración en el país

Para evaluar la importancia de la autogeneración en el país, se transcribe lo informado en el anuario estadístico Energía Eléctrica de la Sec. de Estado de Energía, 1976 / 77 :

	<u>Servicio Público</u>	<u>Autogeneración</u>	<u>%</u>
Potencia instalada MW	7.882	1.903	19,5
Producción E.E GWh	22.218	4.997	16,5

Si bien es cierto que los datos se refieren a valores anteriores no muy distantes de la actualidad, se dan para tener idea de la participación en valores absolutos y relativos de la autoproducción. Como se observa toma valores importantes, orden del 20 % respecto a la potencia total instalada y orden del 17 % de la energía generada. No es motivo de este papel, pero esta situación merece ser analizada en profundidad y criterio.

La autogeneración participa con la siguiente distribución de potencia instalada :

	<u>Vapor</u>	<u>Diesel</u>	<u>T. Gas</u>	<u>Hidro</u>	<u>Total</u>
MW	987	695	197	24	1,903 MW
%	51,9	36,5	10,3	1,3	100 %

Se estima " a priori " que el orden del 30 % puede pertenecer a la producción mixta de calor - energía eléctrica , el resto estaría destinado a la producción de energía eléctrica , utilizando casi exclusivamente combustibles fósiles .

Del mismo anuario se ordenan datos para establecer su distribución geográfica resultando lo siguiente :

Potencia en kW y su participación en % : ()

Zona		Vapor	Diesel	T. Gas	Hidro	% del Total
<u>Litoral</u>	kW	692 441	505 274	52 650	1 505	66,3
	%	(70,1)	(72,6)	(26,7)	(6,3)	
NOA	kW	218 678	45 487	0	5 768	14,1
	%	(22,1)	(6,5)		(24)	
NEA	kW	35 330	19 674	0	0	2,9
	%	(3,58)	(2,8)			
Centro	kW	10 966	62 485	6 400	0	4,2
	%	(1,1)	(8,9)	(3,2)		
Cuyo	kW	7 356	30 077	6 000	16 701	3,2
	%	(0,74)	(4,3)	(3)	(69,6)	
Comahue	kW	0	15 786	6 400	0	1,2
	%		(2,27)	(3,2)		
Patagonia	kW	13 350	16 764	124 700	0	8,1
		(1,3)	(2,4)	(63,3)		

De esta distribución de potencia según las regiones del país se observa que es dominante la zona del Litoral aprox. 66 % y esta junto con el NOA tienen el dominante valor del 80 % .

Y si la zona del Litoral se desglosara se observará que un 35,7 % de la potencia total instalada en autogeneración se localiza en la Capital Federal y Gran Buenos Aires .

En el cuadro siguiente se ordenan los datos de producción de energía eléctrica , y se informa la producción total , la producción por tipo de generación indicando el porcentaje que corresponde a cada zona .

Generación de Energía Eléctrica

Tipo de producción

	Vapor	Diesel	T. Gas	Hidro	Total
MWh	3 392 724	787 799	817 434	62 756	4 997 710
%	66,6	15,8	16,4	1,2	100

Correspondiendo a cada zona los siguientes porcentajes :

<u>Zona</u>					<u>% del total</u>
Litoral	79,3 %	76,5 %	20,8 %	4,3 %	68,4 %
NOA	15,1 %	10,7 %	0	26,3 %	12 %
NEA	3,2 %	1,5 %	0	0	2,3 %
Centro	0,9 %	5,6 %	5	0	2,4 %
Cuyo	0,6 %	1,9 %	3,2 %	69,4 %	2,1 %
Comahue	0	1,8 %	4,7 %	0	1,1 %
Patagonia	0,8 %	2 %	66,1 %		11,7 %

De esta distribución de producción de energía eléctrica según las regiones del país se observa que es dominante la zona del Litoral, aprox. 68 % y esta junto con el NOA tienen el dominante valor del 80 % del total.

Y si la zona del Litoral se desglosara se observará que un 28,1 % de la producción total en autogeneración se localiza en la Capital Federal y Gran Buenos Aires.

Factor de utilización : realizando el cálculo en forma global el factor de utilización medio es del orden de 0,3 oscilando de 0,45 a 0,11 según los medios de producción y zona.

Con respecto al combustible utilizado se sabe que es fósil en forma dominante, no disponiendo valores de la utilización de recursos renovables (biomasa).

Respecto a las potencias que están interconectadas a la red de Servicio Público no se dispone de información, pero es probable que las unidades de contrapresión y de extracción y condensación con potencias de más de 4 MW estén interconectadas en su mayoría.

Estos valores y falta de información importante pone de manifiesto que de ser necesario reglamentar la autogeneración hace falta una

investigación más profunda que proporcione los medios para un análisis correcto de la situación de la autogeneración, pues habiendo oferta de E.E. por medios convencionales (más económicos en combustible e inversión) pondría en claro un reordenamiento de las posibilidades pues solamente algunos tipos de autogeneración resultarán convenientes .

Algunos valores estadísticos correspondientes al año 1977 muestran un incremento en las instalaciones de plantas de vapor de 2,9 % y en diesel 1,09 % sin variación en lo que hace a Turbinas de gas e hidroelectricidad, resultando una potencia total registrada en autogeneración de 1.940.200 kW .

Respecto a la energía generada esta acusa un significativo incremento en vapor + 7,8 % , una reducción de - 2,13 % en diesel, muy pequeña variación en turbo gas y un buen incremento en hidroelectricidad 23,8 % .

Con respecto a los valores anteriores, en forma global significa un aumento de + 5,2 % y un valor de producción de 5.260.000 MWh .

8.1 Tendencia probable

En forma rigurosa no se puede hablar de una tendencia de la evolución de la autogeneración , pues con los datos disponibles no es posible, solamente se enunciaran algunos factores que se consideran importantes, como la oferta de potencia y energía eléctrica por parte de la red, oferta de combustibles fósiles y sus costos relativos frente a una disponibilidad de combustibles renovables, de la demanda energética de los procesos industriales que convengan en un futuro. etc.

Es probable que la autogeneración que interesa se desarrolle a una tasa del orden del 4 al 5 % anual, siendo también probable una mayor descentralización , ubicándose las nuevas plantas en lugares de acceso a gasoductos y electroductos y también donde se disponga de combustibles no fósiles .

Esta situación habrá de acoplarse con ;

- a) la implementación de la política de racionalización en el uso de combustibles ;
- b) la obligatoriedad para todo proyecto (aún los de mediana y pequeña escala) de satisfacer adecuadas pautas de racionalización energética como condicío - nante del uso de crédito bancario ;
- c) aunque exista actualmente oferta de energía convencional, la autorización de instalación de nuevas industrias deberán estar condicionadas a una má - xima implementación de conceptos de economía energética con el fin de al - canzar un uso racional de estas y coherente con su conservación ;
- d) el favorecimiento de proyectos energéticamente autosuficientes o que de - sarrollen fuentes alternas de energía ;
- e) la integración de las autogeneraciones con la red de Servicio Público
- f) favorecer la estructura de parques industriales donde sea posible la in - tegración de un eslabonamiento energético.

9. Relaciones con la Empresa proveedora de energía eléctrica.

9.1 Importancia de la calidad de las energías intercambiadas

La posibilidad de intercambio dependen en buena medida de factores tales como la capacidad de oferta de la Empresa proveedora, de sus medios de producción , del combustible utilizado , del grado de integración con la red interconectada Nacional , etc .

Por ejemplo, es limitante para la aceptación de excedentes de energía autogeneradas cuando las centrales hidráulicas trabajan con sus diques " en desague " o cuando las centrales térmicas deben operar a sus mínimos técnicos.

La importancia de un autoprodutor para la red, depende de la oferta de su potencia sobrante y de la forma que puede ordenar temporalmente su uso.

Todo autoprodutor (siempre que lo sea en calidad de generador de energía y calor) debería establecer contacto con la Empresa de la red para adecuar en forma conjunta la problemática del caso, esto antes de tomar decisiones relativas al mismo, iniciativa que no puede ser solamente unilateral. Esto se dice, pues en procesos bien interconectados, la generación de energía deja relativamente poca energía disponible para el calentamiento y en estos procesos la mayoría de las corrientes de energía se componen en gran parte de energía y si esta no basta se la debería tomar del ambiente mediante una bomba de calor y si la exergía producida no basta se la debe tomar de la red, es decir hay una inversión de la situación de satisfacer la demanda de calor con un gran sobrante de energía eléctrica.

La influencia del factor " calidad " se da por la causa de que la energía eléctrica como tal no es un producto almacenable ni conservable, y su producción está regida por la demanda que de momento a momento se produce, (esto no en forma absoluta pues aceptando una merma puede ser almacenable en una central de bombeo o como energía química y almacenable en un producto que será consumido en un futuro). Para la satisfacción de esta demanda están las centrales de Servicio Público con sus posibilidades.

En las relaciones entre las Empresas (autoprodutora y la propietaria de la red) han de tenerse en cuenta temas tales como los que se detallan a continuación :

- a) la empresa de la red tiene preferencia conforme a sus posibilidades, en orden a determinar la potencia y horarios de intercambio ;
- b) la potencia de intercambio unidireccional debe ser garantizada en su calidad de programable y diagramable ;
- c) ha de haber acuerdo en ambas partes en cuanto a las tarifas : estas necesariamente han de ser iguales para los dos sentidos de transferencia . La potencia de socorro puede ser distribuida entre los componentes de un grupo de usuarios, sea o no con un cargo fijo por todo tiempo ;
- d) cuando el suministro de potencia de socorro fuera de programa ha sido contemplado, este está casi siempre ajustado a condiciones bien determinadas como aviso previo, límite de potencia, duración, etc. condiciones que pueden incluir penalizaciones ;
- e) en intercambios bidireccionales es normal la compensación mutua pero deben ser considerados los horarios en que se producen .
- f) consideración de factores técnicos tales como el factor de potencia a mantener o mejorar, implementación para medición, sincronización, protecciones, etc
- g) referente a las energías en más o fuera de programa, se deben fijar sus limitaciones y alcances de las penalidades . En un sistema interconectado donde las potencias en operación son de centenares de MW, la introducción fugaz de potencias mucho menores no influyen mayormente y deben ser aceptadas, por supuesto hasta un límite .
- h) reglamentaciones legales, etc .

Cuando existe oferta de potencia disponible en autogeneración, en alguna forma la introducción de esta baja el factor de utilización

de la potencia en operación en el Servicio Público, esto tiene consecuencias en el costo resultante del kWh, pero si el fin último es el de evitar una duplicidad en el consumo de combustible, es menester que esos costos sean balanceados contra los beneficios resultantes de evitar esa duplicación.

La filosofía precedente, emergente de una recíproca y clara comprensión de los fines últimos perseguidos, es el punto de partida que ha de inspirar toda interconexión y sus modalidades particulares.

10 . Conclusiones y recomendaciones

Es menester pensar que lo que se estructura hoy debe ser válido o conservar su vigencia por lo menos por dos décadas. Si se analiza la información respecto a la prospección de la demanda global de energía del país (S. E. E.) y la disponibilidad de recursos naturales que conforman la posible oferta de combustibles para uso directo y la implementación de los medios para la transformabilidad a oferta de energía eléctrica a lo que hay que agregar la posibilidad de la promoción y aceptación de un uso racional de las energías, se observa que puede haber un faltante de energía para consumo directo, por lo tanto la autoproducción acoplada con la de calor, frente a una necesidad de ahorro de energía para consumo directo, la convierte en uno de los medios más idóneos para la conservación de primarios.

Sabiendo que se justifica de por sí, la economía en la producción combinada de calor y energía eléctrica, se debe promover o facilitar su desarrollo cuando la industria está en condiciones de hacerlo.

Libertad en la decisión empresaria cuando la producción mixta se realiza en común a varias industrias en las que es posible un eslabonamiento energético.

Disposiciones de orden tarifario convenientes a las partes y costos diferenciados de los primarios que junto con disposiciones reglamentarias y facilidades crediticias específicas y otras medidas, permitan implantar un uso racional de los recursos disponibles, cuidando las valiosas petro divisas y dar cabida a recursos biomásicos y al carbón de R. Turbio para uso industrial.

Apéndices :

A 1 . Ejemplo de un análisis técnico

La decisión de implementar el autoabastecimiento energético en una industria es, en última instancia una decisión de la Empresa que debe juzgar su conveniencia o no, luego del análisis de la situación en la que intervienen por lo menos las siguientes variables ;

- a) Costo de la instalación y de varias alternativas posibles ;
- b) Su factibilidad financiera ;
- c) Costo de la energía eléctrica suministrada por la Red ;
- d) Costo de la energía primaria fósil ;
- e) Utilización de la planta en horas por año ;
- f) Costo del combustible renovable biomásico ;
- g) Parámetros fundamentales resultantes de un balance de energías , etc. ;
- h) Evaluación de acuerdo a lo que se dispone : equipo físico y personal, de la permanencia, eficiencia (economicidad) y continuidad de servicio .
- i) Costo resultante de la energía autogenerada y costo del calor ;
- j) Factibilidad de un acuerdo entre la empresa industrial y la de la red, tarifas, horas de intercambio, potencia, etc .
- k) Disposiciones legales, etc. etc

Es necesario comprender que cada instalación constituye un caso particular y por lo tanto cada caso exige un trato singular, para sus facilidades dependen de la mercadería que se procese, su insumo energético, etc.

Para dar una idea desde el punto de vista técnico con algunas resultantes en valores económicos se informa una de las alternativas posibles de una instalación industrial, de acuerdo a las siguientes condiciones ;

- I - todo el vapor producido por la planta industrial pase por la turbina de contrapresión ;
- II - la implementación de las nuevas instalaciones no debe afectar significativamente la producción de la planta durante su instalación ;
- III - la interconexión continua a la red debe continuar
- IV - implementar los medios para mantener frecuencia cuando se pierde la interconexión con la red ;
- V - el combustible fósil presentemente utilizado debe ser sustituido por combustible renovable (leña, follajes, cortezas y carbonilla residual)

En la primer figura de la página siguiente se informan los parámetros fundamentales de un estado actual, con los siguientes valores de entradas anual ;

m ³ de gas natural	19.000.000	m ³ Gas/año
kWh de la Red de S. Público	13.000.000	kWh / año

Para un primer cálculo estimativo, se considera que el costo unitario del gas natural es de 100 mil/m³ y el de la energía eléctrica de 64 mil/kWh,

De esto se deduce que el gasto anual en energía es de ;

*para el gas

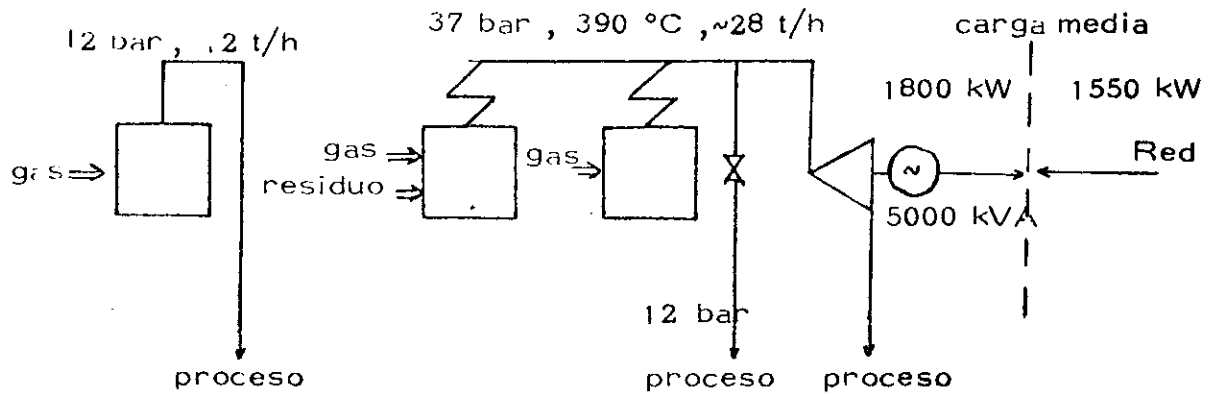
$$19 \cdot 10^6 \times 0,1 \text{ dolrs/m}^3 = 1,9 \cdot 10^6 \text{ dolrs.}$$

*para la energía eléctrica

$$13 \cdot 10^6 \times 0,064 \text{ dolrs/kWh} = 0,832 \cdot 10^6 \text{ dolrs}$$

$$\text{Total} = 2.732.000 \text{ dolrs/año}$$

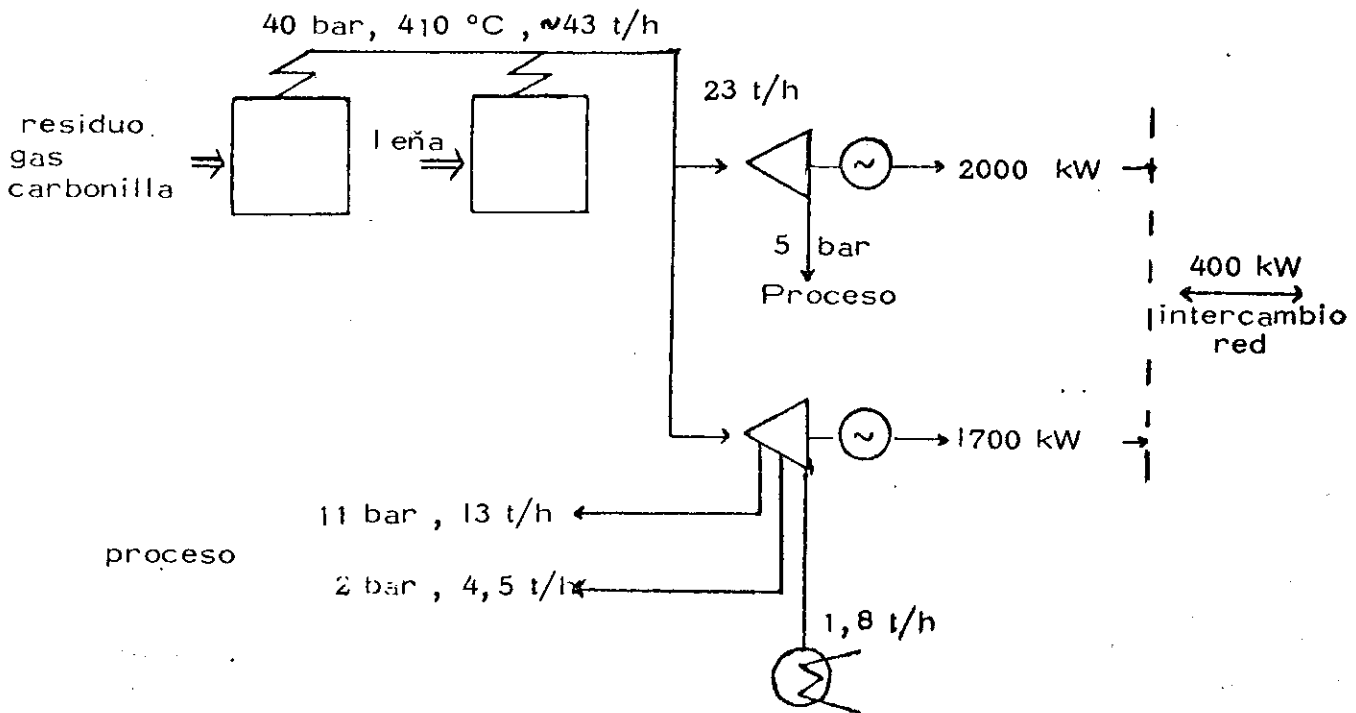
Esquema del estado actual ;



Se pregunta si, incorporando equipos para aumentar la autogeneración para satisfacer la demanda de la planta, asegurando la continuidad operativa aún en el caso de perder la interconexión y reemplazando el combustible fósil por biomásico, es factible tal implementación ?

Una de las alternativas de implementación

La alternativa aquí analizada se objetiviza en el siguiente esquema ;



En apretada síntesis tal implementación consiste en ;

- * instalar un nuevo generador de vapor de 30 t/h , 40 bar , 420 °C , agua de alimentación 120 °C , con horno para quemar cortezas , leña de desmonte y carbonilla
- * posible reacondicionamiento de la turbina existente para recuperar su eficiencia termodinámica original, e
- * instalar una turbina de extracción - condensación de unos 2500 kVA .

Tal como está mostrado, el esquema es estático ; en la realidad los flujos del vapor al proceso varían permanentemente, así como las potencias eléctricas tomadas por los receptores . En operación normal la demanda máxima de la planta es de 3.700 kW , por lo tanto se observa que el esquema puede ser posible . Cabe señalar que aún en operación normal es probable se establezca un intercambio de potencia de + - 400 kW que no afectará la red y es probable que en un balance resulte casi cero.

En una caldera por razones de seguridad se dispone mantener aproximadamente el 20 % del actual suministro de gas , es decir $1 \cdot 10^6$ m³/año ; la diferencia se cubre con carbonilla de madera de las que se espera disponer una 5000 t/año ; el nuevo generador de vapor ha de ser alimentado con leña y cortezas, debiéndose disponer de unas 35 000 t / año .

En una primera estimación se asigna a la biomasa un costo de 40 dol / t , con lo que el costo anual de combustible no fósil será ;

$$40\ 000\ \text{t/año} \times 40\ \text{dol/t} = 1,6 \cdot 10^6\ \text{dol / año}$$

El costo de instalación del nuevo generador de vapor y de la turbina de extracción - condensación (incluye alternador, controles tablero, etc) se estima en $3,5 \cdot 10^6$ dol .

Admitiendo una amortización de 770.000 dol / año , según las facilidades puede demostrarse que el proyecto puede ser rentable, lo que resulta del análisis de mediciones económicas más detalladas .

Es necesario aclarar que en este planteo se han dejado de lado la incidencia en el costo, de items importantes como ; la exigencia de mayor cantidad de agua desmineralizada , mayor costo de mantenimiento del horno del generador de vapor , etc. y la comprobación de saber si el costo asignado a la biomasa cubre los costos de manipuleo, transporte, etc.

Pero lo que se considera importante y razón por la cuál se da este ejemplo, es que en el balance global de energía , quedan libres a nivel Nacional el valor de 4.550 t/ año de combustible fósil, el que debe ser expresado en valor de petro divisa .

Este valor que se debe interpretar como toneladas equivalentes a fuel -oil que corresponden a los millones de metros cúbicos de gas dejados de quemar y al combustible líquido correspondiente a la generación de 13 GWh producido en plantas diesel y turbo gas .

Razón también por la cuál se dá este ejemplo y que debe ser analizado friamente es el balance total de inversiones . La pregunta es si la inversión realizada en gasoducto y electroducto para llegar a la planta fabril , vs. la inversión para conseguir el esquema de autoabastecimiento energético utilizando biomasa , responden a un criterio duro de racionalización teniendo en cuenta que ambos consumen créditos financieros y para una actividad no es correcto doble amortización , aunque una sea invisible .

Esto induce a pensar que para hacer realidad cierta y honesta un uso racional de la energía, hace necesaria una sabia reglamentación sobre todo para cuidar el destino de las inversiones de capital .

A. 2. Aplicación sintética del Segundo Principio de la Termodinámica

Se trata de explicar el fundamento termodinámico que avala la conveniencia de instalaciones combinadas de producción de energía eléctrica y calor para satisfacer la demanda de energía de algunos procesos industriales .

Si se analiza la historia de una unidad de combustible que puede ser cualquiera de los de uso comercial, que con la técnica actual inicia su uso en el proceso de la combustión, se observa que luego de obtener energía calórica, que produce un aumento de la energía interna en los gases producto de la combustión, esta experimenta una serie de transferencias y transformaciones de energía en procesos de calentamiento y de obtención de trabajo, que en última instancia alojada en el producto final, uso o servicio, tal energía potencial de combustible (que es considerada como exergía pura) ha quedado desipada al medio en una forma completamente desvalorizada es decir aniquilada . Por esto es lógico pensar que, antes que esta energía valiosa para la generación de trabajo técnico, lleguen a su estado final desvalorizado y que es inevitable, debemos tratar de obtenerle el máximo de utilidad o el máximo de transformaciones útiles en un todo de acuerdo con las leyes naturales que intervienen .

Tales leyes naturales son los principios de la termodinámica, y es necesario recurrir a estos principios, pues precisamente es la termodinámica la disciplina que se ocupa de la evaluación cualitativa y cuantitativa de las transformaciones y transferencia de energía .

Según el primer principio, la energía es una y no puede haber destrucción o creación de esta, solo se diferencia en la forma que se puede presentar y aparecen como equivalentes, pero unas pocas observaciones indican que no es así, es decir que no son termodinámicamente equivalentes en cuanto a sus calidades, por que cuantitativamente lo son .

La energía eléctrica y la energía mecánica convertibles una en otra casi sin pérdidas, son completamente distintas en cuanto a su aprovechamiento en comparación con la energía interna y el calor . Estas últimas son transformables en trabajo técnico en una forma limitada . El valor de esta limitación es determinable si se utiliza para el análisis crítico de tales transformaciones los recursos que proporciona el Segundo Principio de la Termodinámica . Se recuerda que lo que interesa es obtener el máximo trabajo técnico de los procesos energéticos y para su valoración y análisis crítico, la herramienta disponible es la utilización del concepto de EXERGIA . Exergía es toda energía transformable . La energía eléctrica y la mecánica son exergías puras, el calor no lo es integramente . Esta diferencia tiene una importancia enorme en la valoración energética de los procesos, con particular importancia para la autogeneración cuando está ligada a procesos mixtos de producción de calor y electricidad .

Desde el punto de vista de conservación de fuentes primarias, si el eslabonamiento energético está bien realizado permite una utilización de la energía química (combustión) con muy alta eficiencia .

Definición base

Toda forma de energía se la considera formada por dos componentes ; una transformable y utilizable como trabajo técnico, denominada EXERGIA y otra que no es transformable pero que transferible que se denomina ANERGIA

$$\text{ENERGIA} = \text{EXERGIA} + \text{ANERGIA}$$

$$E = Ex + A$$

Estos componentes tienen las siguientes características

Tanto, Ex como A pueden ser cero.

La anergía se encuentra disponible en la naturaleza en el calor portado por los cuerpos a temperatura ambiente, es gratis pero no se puede transformar en trabajo técnico bajo ningún concepto.

La exergía es lo contrario, no es gratis, debe ser tomada de un medio portante de calor a temperatura mayor que la del ambiente, por lo tanto está ligada a un costo, (aire o vapor de agua a alta presión y temperatura).

La exergía si se transforma en anergía, el proceso es absolutamente irreversible. Cuando se habla de pérdidas, termodinámicamente no significa otra cosa que aniquilar energía transformable y económicamente significa la pérdida de un bien. La valoración exergética permite el eslabonamiento con la valoración o medición en unidades económicas en forma racional y absolutamente coherente. Esto da lugar a comunicar lo siguiente:

" La única falta o pecado energético es el de perder exergía más de lo necesario "

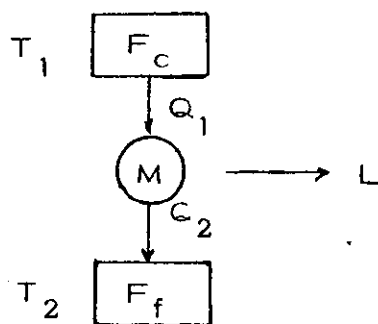
Esto se enuncia por que los procesos reales son sin excepción irreversibles, por lo tanto el arte en su manejo es hacerlos lo menos irreversibles posibles. Los que comprenden el significado de esto, no encarecen innecesariamente sus bienes y servicios.

Si el problema es encarecimiento y pronta falta de fósiles, el esfuerzo debe ser orientado a su racional utilización para que sean menos caros y duren más. Como el costo de los combustibles es costo de exergía pura, debe interesar la pérdida de esta y no la que resulta de la valoración entálpica. Cualquier reducción de pérdida de exergía en el curso de transformaciones de energía, es directamente equivalente a combustible dejado de consumir ó a un aumento de la potencia de salida.

Algunas conclusiones en base al 2º Principio

Lo que se comunica tiene caracter conceptual, en base a esquemas simples, objetivizando las evoluciones en el plano T S.

Para comenzar se estima conveniente recordar el siguiente esquema,



común a todos los textos de termodinámica, para explicar el enunciado de Carnot, el que deduce el trabajo máximo obtenible con una máquina térmica que opera entre las temperaturas T_1 y T_2 . Con un flujo Q_1 de energía calórica de la fuente caliente F_c , la cantidad máxima de trabajo L , es;

$$L = Q_1 \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

y lo entregado a la fuente fría es;

$$Q_2 = Q_1 \frac{T_2}{T_1}$$

Es decir que tratándose de energía calórica - materia con energía interna que no está en equilibrio termodinámico con el medio ambiente - la transformación a trabajo está afectada por el factor de Carnot $(T_1 - T_2) / T_1$, que está en función de las temperaturas absolutas (fuente caliente y fría).

Esto pone de manifiesto en el calor que circula Q_1 sus dos componentes;

L , equivalente a la fracción transformable de Q_1 , es la componente exérgica, y

Q_2 , no transformable, es la componente anérgica ($T_2 = \text{temp. ambiente}$)

Como: $E = E_x + A$

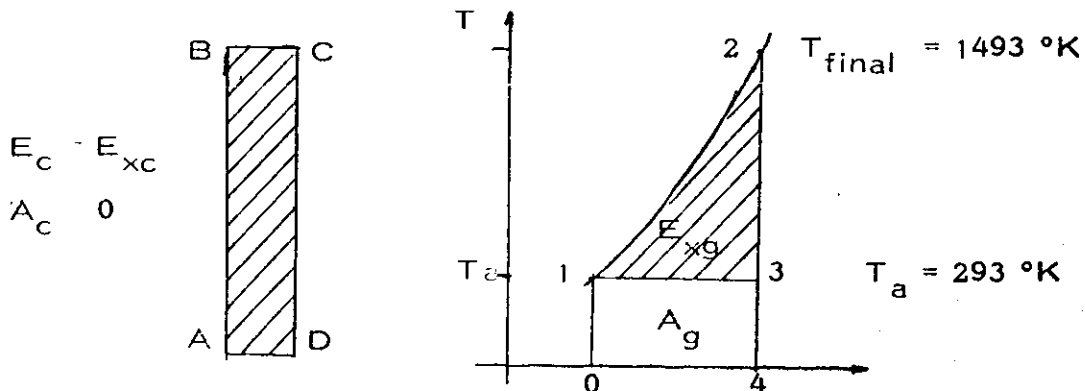
resulta, $Q_1 = L + Q_2$

Transformación de la exérgía

Breve descripción e interpretación en el plano T-S, de los procesos de combustión y de transmisión de calor.

La energía química potencial de un combustible valorada por su P.C.I. se la puede considerar como exérgía pura (esto es permisible con suficiente aproximación para la mayoría de los combustibles).

Su uso se inicia por el proceso de la combustión y tal proceso tiene su interpretación en el diagrama T-S como a continuación se indica. Por la energía liberada se puede considerar que los gases producto de la combustión elevan su temperatura (isobáricamente) desde la temperatura ambiente T_a a una temperatura final T_f .



De acuerdo a la expresión gráfica, se puede imaginar a la sup. \square ABCD como representativa de la energía del combustible, y se asume que es solamente exérgía;

$$E_c = E_{xc}$$

La energía de los gases de combustión se interpreta en el diagrama T-S, por la sup. \square 01234 donde es posible distinguir sus dos componentes;

Exérgía en gases $E_{xg} = \text{sup. } \triangle 123$

Anérgía en gases $A_g = \text{sup. } \square 0134$

Se asume que toda la energía del combustible a sido transferida a los gases producto de la combustión, esto implica un rendimiento energético del 100 %

$$\text{Energía en combustible } E_c = \text{Energía en gases } E_g$$

(en el proceso real existen pérdidas de energía, pero hacerlas igual a cero simplifica el planteo sin perder esta validez)

Resumiendo las igualdades anteriores se tiene;

$$E_c = E_{xc} = E_g = E_{xg} + A_g$$

El balance exergético sobre la envolvente de este proceso expresado por la relación,

$$\frac{\text{Exergías salientes}}{\text{Exergías entrantes}} = \frac{E_{xg}}{E_{xc}} = \eta_{ex}$$

será evidentemente un valor menor que 1.

En otras palabras, a este proceso se lo puede imaginar conforme a las siguientes etapas ;

a) se libera la energía química del combustible $Q_{químico}$ en forma de E_{xc}

$$Q_{químico} = E_{xc} \quad \text{con} \quad A_{química} = 0$$

b) se transfiere la energía química a los gases como E_g (energía en gases)

$$Q_{químico} = E_g$$

apareciendo una componente anérgica A_g tal que ; $E_g = E_{xg} + A_g$

Dando valores numéricos a una combustión que con una determinada estequiometría genera gases a 1473 °K partiendo de una temperatura ambiente de 273 °K resulta un rendimiento exergético del 67 %.

Resumiendo se tiene :

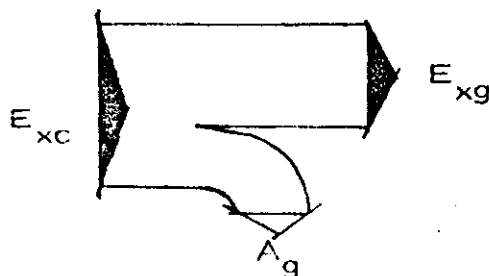
1° . En el proceso de la combustión se degrada la energía química potencial de los combustibles, con un rendimiento exergético del orden del 67 % para las combustiones con equipos comunes , es decir que un 33 % de la energía original aparece en los gases como anérgica , (otra estequiometría y otras condiciones operativas pueden llevar el rendimiento exergético a un máximo de 71 %),

2° La exergía portada por los gases es la fracción capaz de transformarse en otras formas (mecánica) y solamente esta fracción ,

3° El proceso de la combustión degrada la energía química del combustible en el orden del 33 % . La anérgica generada no es transformable bajo ningún concepto pero es transferible.

4° Las calorías exergéticas alojadas en los gases ha aumentado su valor en la relación que corresponde al rendimiento exergético .

5° Diagrama Sankey para este proceso ;



Por lo tanto, tal como se utilizan hoy los combustibles, por el solo hecho de quemarlos se pierde una fracción importante de su capacidad de trabajo técnico

Análisis crítico de la utilización de estos gases con elevada energía interna .

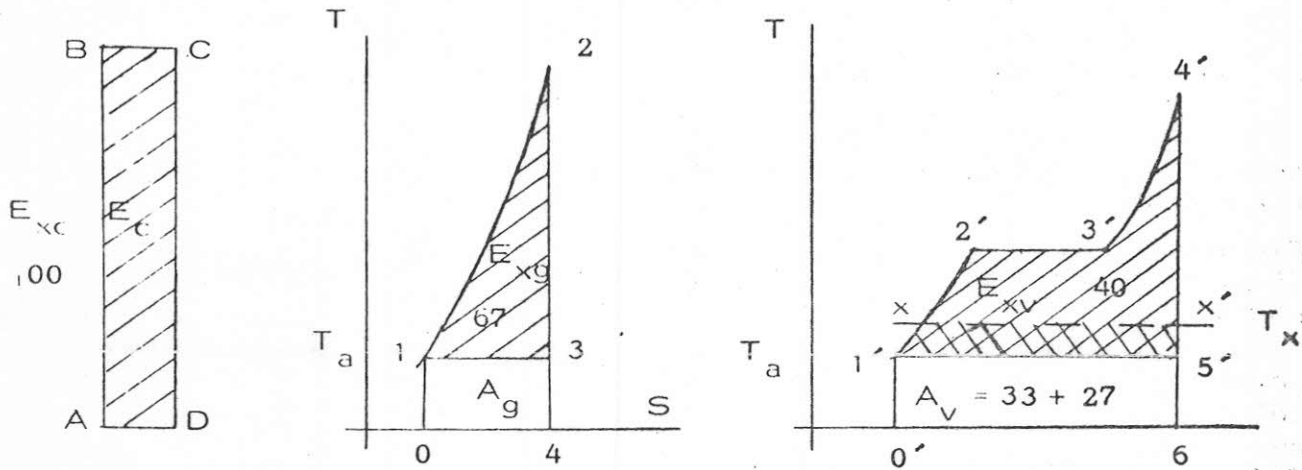
Se toma como ejemplo la generación de vapor , (se asumen simplificaciones al planteo que no quitan validez a las conclusiones).

En el generador de vapor se supone que toda la energía del combustible ha pasado a los gases E_g y esta es transferida en su totalidad al vapor de agua.

Es decir que en generador de vapor se realiza el proceso de la combustión y el de transferencia de calor desde los gases al agua - vapor , dos procesos absolutamente irreversibles .

En la transmisión de calor, con diferencias finitas de temperaturas, se produce otra degradación de la E_{xc} , que para las condiciones corrientes de generación de vapor con características usuales de presión y temperatura , vale el orden del 27 % de E_{xc} , en consecuencia la pérdida total de la exergía original , es del orden del 60 % , (33 + 27) .

Omitiendo las relaciones másicas y las escalas , puede ser interpretado en el plano T -S ,



Asumiendo que las pérdidas energéticas sean iguales a cero , energéticamente se puede escribir ;

$$E_{xc} = E_g = E_v$$

En el plano T-S , es fácil distinguir las dos componentes energéticas del vapor

$$E_v = E_{xv} + A_v$$

Obsérvese que los gases transfieren toda su energía, tanto la exergética como la anergética y en el vapor con las características del punto 4' , aparece más energía que la transferida .

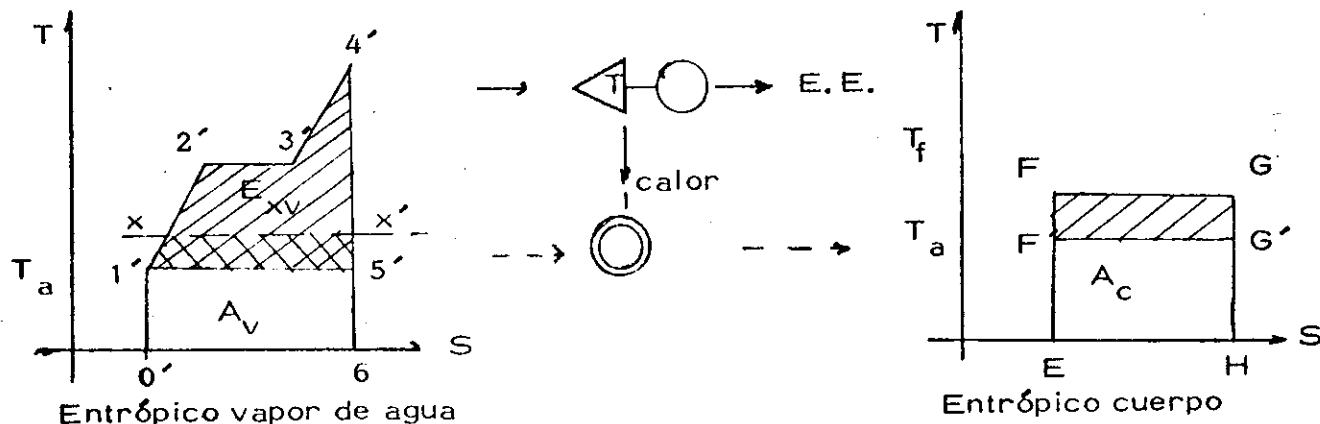
Tomando la generación de vapor como un proceso de calentamiento, de acuerdo a lo anterior se deduce una importantísima conclusión y que vale para todos los procesos de calentamiento, y es que al cuerpo a calentar hay que suministrarle energía para que genere su componente exergética y anergética .

En el diagrama anterior, la sup. $\square 1'2'3'4'5'1'$ corresponde a la fracción exergética del vapor ; 40 % de E_{xc} , esta y solamente esta es posible de transformarla en energía eléctrica .

En una central convencional , la componente anergética del vapor es eliminada en el condensador y como es anergía no es pérdida . Esto demuestra que hay barreras infranqueables para mejorar el rendimiento de las plantas convencionales.

Si para un proceso de calentamiento se utiliza vapor de agua a un nivel de temperatura T_x mayor que la temperatura ambiente y razonando sobre el mismo esquema anterior, se tiene que la energía del vapor puede ser desglosada en sus dos componentes, una exérgica sup. $\square x2'3'4'x'$ y otra que contiene toda vía una fracción de la exérgica disponible en el vapor sup. $\square 0x'6$,

El siguiente diagrama aclara el concepto,



Como en el cuerpo a calentar aparece una componente anérgica, sup. $\square EF'G'H$ y que se genera a partir de la exérgica del combustible, y como esto es inexorable, es muy conveniente primero transformar la parte exérgica del vapor en otra exérgica como la energía eléctrica y segundo satisfacer la demanda de calor anérgico del cuerpo a calentar con la anérgica generada en los procesos anteriores. En otras palabras, el cuerpo a calentar es el sumidero de la anérgica creada o generada en los procesos de combustión y de transmisión de calor.

Como el cuerpo a calentar tiene una temperatura final mayor que la del ambiente el agente calefactor le deberá suministrar la componente exérgica.

La exérgica del vapor suministrada para la calefacción será la sup. $\square 1x'3'$, que deberá generar la exérgica del cuerpo a calentar sup. $\square F'FGG'$ y de aquí una conclusión muy importante, el cuerpo a calentar consume trabajo técnico.

De esta forma la utilización del combustible es integral, da oportunidad de obtener energía premium y abastecer un proceso de calefacción en sus componentes exérgicas y anérgicas.

Esta es la razón de la conveniencia de la autogeneración en procesos mixtos de producción, generando un ahorro de energía primaria que es del orden del 30 %.

El planteo ha sido expuesto en base a turbinas de contrapresión.

Con los mismos recursos de análisis podrían ser vistos los procesos de alta temperatura que generan gases calientes, o el calentamiento de etapas de procesos con bomba de calor, etc.

BIBLIOGRAFIA

- Aprovechamiento Racional y Económico de los Combustibles.
Ing. Jacobo Agrest
N.U. Seminario Latino Americano de Energía . México , 1961
 - Maximising by - product energy
 - Project design Application and practice
Papers presented at the 9th. annual STAL-LAVAL Industrial Power Symposium in Houston , Texas , October 1976 .
 - The Industrial Powder Station of Saras Refinery
Siemens Review , October 1970 , N° 10 , pag. 515 - 520
 - Economical design of District Heating Powder Plants
Brown Boveri , Publication CH - T - 042013
 - Aplicación de turbinas industriales .
Siemens
 - District Heating , some economical and technical aspects.
Stal-Laval , publication Fvp- N.M. 9/71 , 1512
 - Power production in steam consuming Industries .
Stal-Laval , publicación 577 E-03.79 , 2000
 - Análisis de las transformaciones energéticas y de las pérdidas de energía con referencia a la industria azucarera.
Universidad Nacional de Tucumán . Dr. Ing. Carlos J. Haug , 1966
- De la Conferencia Internacional de Combustibles en la Industria , realizada en Buenos Aires en 1966 .
- Una solución Argentina al problema de la gasificación , combustión y generación de vapor ,
Ing. Jacobo Agrest .
 - La aplicación del Segundo Principio de la Termodinámica a los procesos Técnicos .
Ing. Zoran Rant
 - Control Operativo Simplificado
Ing. Sergio Arkhipenko
 - Producción combinada de energía y vapor , por las instalaciones de contra presión en la industria.
Fédération Internationale des Producteurs Auto-Consommateurs Industriels d'électricité . Rev. Calor , agosto 1966
 - Seminario de Bancos de Desarrollo Americanos . Resultados de la Reunión . Puerto Rico , Marzo , 1980
 - Plantas combinadas de vapor y gas para la producción simultánea de energía y vapor para procesos industriales.
Revista técnica Sulzer . Rev. Calor , Julio . 1965
 - Potencia y Energía útil obtenible en instalaciones de contrapresión .
De Associazione Termotecnica Italiana. Rev. Calor , XI 1962
 - Termodinámica . J.E. Emswiler
 - Tratado moderno de termodinámica . Dr. Ing. Hans D. Baehr
 - Energy Utilization in the Paper Industry
W.B. Wilson , W. Hefner , Combustion , april 1973
 - Utilization of Power - Plant Heat
J.E. Funnel , E. J. Wolfe , Combustion , May 1974