Enrique Devis Echandía.

Posibilidades y Costos de Generación y Cogeneración Termoeléctrica en Escalas Pequeña e Industrial.

Resumen

En este artículo se muestran los valores más pequeños que se pueden concebir al generar electricidad con carbón, combustibles de desecho, o hidrocarburos, en escalas de 100 hasta uno o varios miles de kilovatios, y se basan en trabajos, inversiones y cotizaciones reales para un cierto número de casos específicos, en Colombia (particularmente en Bogotá).

Enrique Devis Echandía.

Ingeniero Mecánico Uniandes, PhD, Cornell University, N.Y., EE.UU. Profesor de Ingeniería Mecánica, Uniandes, Director Técnico DYNATERM LTDA. Area de especialización Materiales y Metalurgia.

La generación termoeléctrica puede realizarse de varias maneras: con equipos de mayor o menor dificultad tecnológica, lo que se refleja en los costos; con diferentes métodos, etc.. Al analizar distintos casos, se puede llegar a tener algunos conceptos sobre la conveniencia de los diferentes métodos, equipos, combustibles, etc., en mútiples aplicaciones.

En este trabajo se examinan 15 tipos diferentes de generación termoeléctrica , con capacidades de 100 o de 1000 kW, con carbón o con combustibles gratis, que operan en varias formas (ver tabla 1) con calderas y turbogeneradores diferentes, lo que produce costos de generación por kilovatio-hora generado que van desde $12 hasta $73, e inversiones por kilovatio de potencia instalada que van desde U$250 (cogeneración de 1000 kW) hasta $1250 (sistema de 100 kW simple). Estas cifras se comparan contra generación Diesel, Gasolina y Turbogas en tres casos específicos.

Las cifras en pesos y dólares empleadas representan los valores mínimos de equipos de buena calidad compatibles con los resultados que se buscan; los costos totales, es decir,los de los sistemas completos instalados y funcionando, se sacan de los valores que se obtienen cuando el individuo que realiza el proyecto (con inteligencia y con ayuda de otros) es la misma persona que lo paga y que recibe los beneficios de él; los costos totales mostrados pueden llegar a ser hasta el doble de lo que se toma aquí. Igualmente, los parámetros empleados (factor de carga, depreciación, vida útil, etc.) son muy particulares en cada caso, aunque pueden ser representativos de algunas ocurrencias específicas.

Generación De 100 Kw Con Vapor A Baja Presión

El primer caso que se va a considerar es el más simple:una caldera de carbón de baja presión, a 250 libras por pulgada cuadrada, genera vapor de agua saturado, en cantidad suficiente para que un turbogenerador

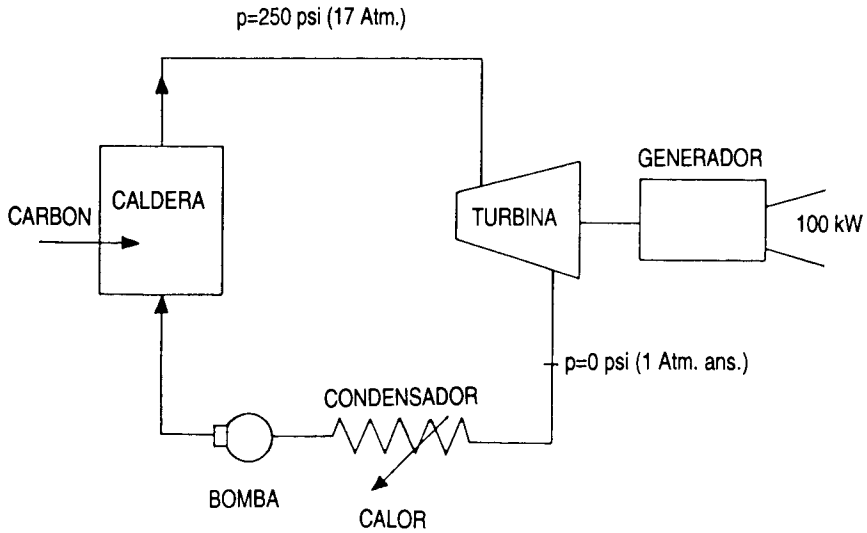


Figura 1

simple, de una etapa de presión tipo Curtis, genere 100 kilovatios de potencia eléctrica, descargando y condensando el vapor a presión atmosférica. En la figura 1 se muestra esquemáticamente este caso.

Se requiere encontrar el costo total de la inversión requerida, y el costo necesario para generar los 100 kW, por cada kilovatio- hora.

Para esta capacidad eléctrica, con el vapor en las condiciones descritas, una turbina de estas características requiere unas 3700 libras de vapor por hora; esto a su vez requiere una caldera de unos 3.7 millones de Btu/hora (926.000 kcal/h o1085 kW) ó 110 BHP (caballos de caldera). Nótese que la eficiencia térmica del conjunto es del 9.2%, ignorando lo que él mismo consume para operar.

Costos De Operación

Una caldera de carbón completa con todos sus implementos de 110 (ó 120 BHP para que tenga una capacidad sobrante) vale unos $25 millones de pesos, a lo cual se deben sumar unos $10 millones adicionales para los sistemas de almacenar y mover el carbón y la ceniza, y algunas obras civiles.

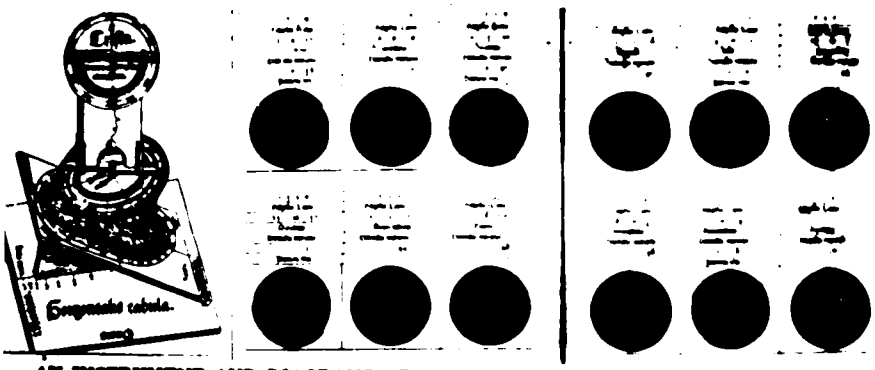
Naturalmente este costo puede incrementarse hasta unas cinco veces, dependiendo de diferentes factores; la cifra que se menciona, sinembargo, es una cantidad real por un equipo de buena calidad que tenga una vida útil, con un buen mantenimiento, superior a 20 años, incluyendo todos los demás costos, en Mayo de 1992, en Bogotá.

Por otro lado, un buen turbogenerador con su tablero de control puede costar unos $45.000 dólares puesto e instalado, generando 100 kilovatios netos trifásicos a 220 voltios y entregando a una red existente.

El último costo es el del condensador, que puede variar dependiendo del medio enfriante a emplear. Aquí se supondrá que este medio es aire, que enfría el vapor que sale de la turbina por medio de un intercambiador de calor.

El condensador en este caso puede costar unos $10 millones de pesos, con una capacidad de unos 3.5 millones de Btu por hora (875.000 kcal/h ó 1025 kW), cuando la temperatura del vapor es cercana a los 100º C y la del aire unos 30º C.

Como se verá más adelante, en algunos casos de cogeneración no se consideran el costo de la caldera o del condensador.



AN INSTRUMENT AND DIAGRAMS OF ECLIPSES FROM A BOOK BY REGIOMONTANUS

El costo total de la inversión, con el dólar a unos $650, es de $35 + $29 + $10 = 74 millones de pesos ($113.800 dólares, o sea $1.138 dólares por kilovatio instalado). Debe anotarse que esta cifra es alta, debido a los parámetros de operación escogidos, como se verá adelante. A lo anterior debe añadirse por lo menos un 10% para gastos tales como ingeniería, comisiones, etc., para un total de unos 81.4 millones o $125.000 dólares ($1250 dólares por Kw). Estas cifras se muestran en la Tabla 1.

Costos De Generación

Ahora se obtendrá el costo para generar la electricidad; se supondrá que en promedio se generará un 80% de la potencia máxima, lo cual es una cifra alta comparada con los casos de las centrales de generación pública. En una industria, donde se utilizará este equipo 24 horas al día, 330 días al año (7920 horas), puede darse el caso de que este factor de carga sea normal. Si estas cifras son inferiores a las mostradas, los costos serán progresivamente peores.

Se partirá de la base de que la vida útil del conjunto es de 15 años: es decir que el valor del equipo se reduce a cero en 15 años, a una tasa del 6.67% anual en pesos de valor constante (Mayo de 1992). En esta misma moneda fuerte, el costo del capital correspondiente a la inversión será del 10% anual del capital que se adeude.

El último costo principal proporcional a la inversión es el mantenimiento correctivo del equipo, se va a tomar como igual al 5% del valor de la inversión en el primer año, y crece a medida que el equipo envejece de tal forma que la suma de ésta más la del costo del capital (que decrece con el tiempo a medida que la

deuda disminuye) es una constante en pesos de valor constante. El gran total de esos costos es de 21.67% de la inversión al año. Como la generación anual es de 100 x 0.8 x 7920 = 633.600 kW-h/año, y el costo de generación proporcional a capital es de $81 x 0.2167 = $17.6 millones de pesos, el costo por kilovatio-hora generado es de 27.70.

A la cifra anterior hay que añadir los costos directos, que se tomarán como sigue: El costo del carbón que consume la caldera se toma como de 1.7 kilogramos de carbón por caballo de caldera por hora (lo que corresponde a una caldera con 75% de eficiencia térmica, para este tamaño pequeño y un carbón de 12.000 Btu/libra de calor de combustión).

El precio de un buen carbón puesto al lado de la caldera en Bogotá se toma como $16/kg. Esto implica un costo por hora de 1.7 (kg/BHP-hr) x 110 x 0.8 (BHP) x 16/kg = $2.394/hora, que dividido por los 80 kW-h netos generados dá un costo de combustible de $30 por

TABLA 1.

RESUMEN DE LAS CIFRAS ECONOMICAS PRINCIPALES

Tipo De Generacion Escogida	Inversion (mm$)	Inversion Por Kw Instalado	Costo Del Kwh Generado*
1. 100 Kw, vapor a 250 psi, saturado, condensado a 1 Atm., turbina simple	$81	U$ 1.250	$ 73
2. Igual al anterior, pero con el combustible gratis.	$81	U$1.250	$43
3. 100 kW, 250 psi, saturado, condensado al vacío.	$81	U$1.300	$73
4. 100 kW, diesel.	$20	U$310	$59
5. 100 kW, gasolina.	$10	U$155	$70
6. 1000 kW, 250 psi, saturado, turbina simple.	$360	U$555	$39
7. 1000 kW, 250 psi, turbina multietapa, condensando al vacío.	$396	U$609	$ 35
8. 1000 kW, 400 psi, turbina multietapa, condensando al vacío.	400	U$615	$35
9. 1000 kW, 250 psi, 700º F, multietapa, condensando al vacío.	$405	U$638	$35
10. 1000 kW, 400 psi, 700º F, multietapa, condensando al vacío.	$425	U$653	$32
11. Igual a 7., con combustible gratis	$ 396	U$609	$ 18
12. Igual a 8., con combustible gratis.	$ 400	U$615	$18
13. Igual a 9., con combustible gratis.	$405	U$638	$18
14. Igual a 10., con combustible gratis.	$425	U$653	$19
15. Turbogas de 1600 kW.	$700	U$675	$25.50
16. Cogeneración, 100 kW, vapor bajando la presión de 250 a 50 psi.	$45.60	U$700	$32.60
17. Cogeneración, 1000 kW, vapor bajando la presión de 250 a 50 psi.	$ 165	U$254	$12.50
18. Cogeneración, 1000 kW, vapor bajando la presión de 400 a 50 psi.	$ 181	U$280	$12.70

*El costo del kW-h generado supone una serie de parámetros empleados tales como un determinado factor de carga, vida útil, inversiones, horas por año, mantenimientos, etc., detallados en el resto de este artículo.

k-h (en caso de usarse otros combustibles esta cifra puede ser hasta 5 veces mayor).

A las anteriores cifras hay que añadir otros costos, como la mano de obra (unos $700 por hora) y mantenimientos preventivos y otros, unos $500 por hora, para un total de $1.200/hora., o $15 por kilovatio-hora. Las cifras por kilovatio-hora suman $73. En caso de que el usuario disponga de electricidad de las empresas públicas (lo cual no es equivalente a decir que esté conectado a la red de esas empresas) cuyo costo industrial no es inferior a $55 el kilovatio-hora, es claro que este sistema no es rentable. Sinembargo si no tener electricidad continuamente implica graves perjuicios, este sistema de microgeneración termoeléctrica aún pude tener sentido.

A vía de comparación, es conveniente obtener las cifras de generación con Diesel y Gasolina.

Generación De 100 Kw Con Diesel Y Gasolina

a). Diesel, 100 kW Instalados, 80 kW promedio.

El costo de la instalación puede ser, con todo, de unos 20 millones, y la vida útil del equipo puede totalizar unas 30.000 horas, lo que implica un costo de depreciación en 30.000 horas de 667 pesos por hora, o $8.33 por kW-h. El costo de capital al 10% anual, con 7920 horas, es de $253 por hora, ó $3.20 por kW-h, y el de mantenimiento (overhaul, en inglés) cada 8000 horas, tal vez valga un 15% de la inversión inicial. Las cifras anteriores suman $8.33 + 3.20+ 4.80= 16.33 por kW-h. Utilizando el mismo criterio anterior (costo de capital más mantenimiento = constante) esta cifra es constante en la vida del proyecto.

Por otra parte, el costo de combustible se puede calcular como sigue. Un buen sistema Diesel, operando cerca de su máxima eficiencia, requiere unos 0.6 libras de ACPM por Kw-h que a un costo de $460 el galón de 7.2 libras implica $38.30 por kW-h.

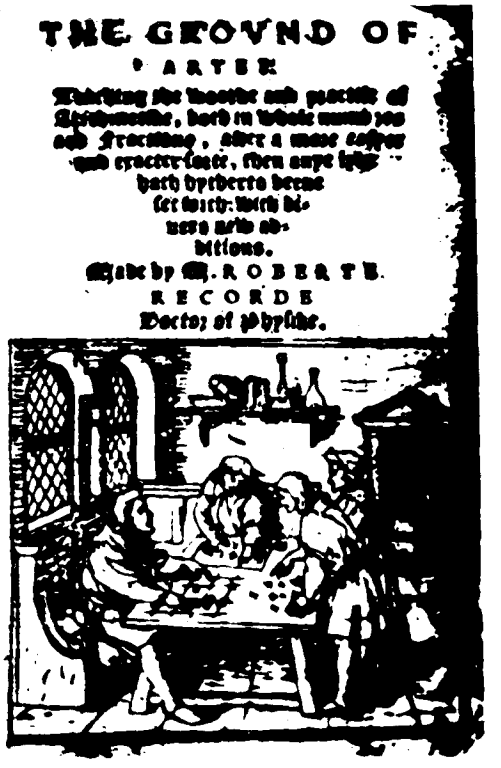
Si a todo lo anterior se suman unos $4 por kW-h ($320 por hora, o $2.5 millones al año) por concepto de aceite, otros mantenimientos, etc., el costo total del kW-h es de $16.33 + 38.30 + 4 = $59 por kW-h, que es comparable pero aún superior al de las empresas públicas en Bogotá para la industria.

En caso de usarse el equipo un número de horas inferior, el costo de capital por kW-h ($3.20) se incrementará proporcionalmente. Los otros costos permanecerán constantes.

b). Gasolina. Los costos por kW-h son similares al anterior, salvo que la depreciación puede ocurrir en un tiempo inferior (tal vez unas 5.000 horas) pero el costo de la inversión puede ser de unos $10 millones para 100 kW. En este caso, la cifra de $8.33 anterior, por depreciación, se puede volver $16 por kW-h; el de capital, de $4 pasa a $15, y el de "overhaul" pasa a cero (se bota el equipo). El gran total se vuelve $62.30, o algo superior al Diesel. Se ha supuesto un consumo de combustible similar al Diesel, aunque el sistema de gasolina puede algo menos eficiente, lo que subiría la cifra anterior a unos $70 por kW-h.

100 Kw, Caso Simple, Combustible Gratis.

Una tercera comparación con el caso del microgenerador termoeléctrico de 100 kW es la generación con el mismo sistema , pero obteniendo el combustible a ningún costo, como es el caso de utilizar la cascarilla de arroz en un molino, o la fibra de la palma africana en un cultivo de estos, o la



viruta y los residuos en una industria de madera. En este caso el costo del kW-h se baja desde $73 hasta $43, lo cual hace que el sistema empiece a ser rentable y competitivo.

Naturalmente, las anteriores cifras no son todas muy alentadoras, de tal forma que se investigarán otras alternativas, tales como aumentar de 100 a 1000 kW la capacidad instalada, a ver si hay alguna economía de escala, o condensar el vapor a menor presión, o usar turbinas de vapor más eficientes y costosas, o subir la presión inicial de la caldera, o sobrecalentar el vapor. Estos casos,combinados con los de co-generación en que se utilizan combustibles de cero valor, producen resultados importantes, como se verá adelante.

Generación De 1000 Kw Con Vapor A Baja Presión

En este caso, simplemente se va a multiplicar por 10 la capacidad de generación , lo que nos hace ver el efecto de la llamada economía de escala.

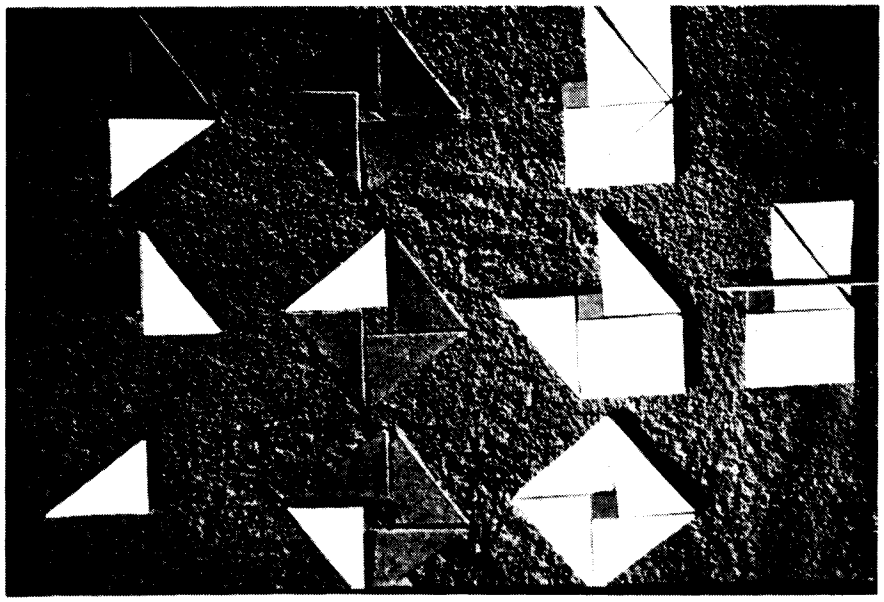
La caldera requerida , de 7.5 veces la capacidad anterior (debido a un menor requerimiento de vapor por mayor eficiencia de la turbina más grande), vale ahora unos $210 millones; el turbogenerador, similar al anterior excepto en su tamaño, vale unos $100.000 dólares (un incremento de 2.5 veces; aquí es notoria la economía de escala, ya que su capacidad es 10 veces mayor), o $65 millones; el condensador vale unos 50 millones; el total suma $360 millones, con un 10% adicional en otros gastos, ó U$555.000 (U$555 dólares por kW instalado, es decir, menos de la mitad de lo anterior).

El costo proporcional al capital (21.7% al año) es de $78 millones; el número de kW-h generado en el año es de 6'336.000; este costo parcial por kW-h es entonces $12.30 (vs. $37 en el caso de 100 kW).

El costo del carbón por kW-h se reduce a un 75% del caso anterior debido a una eficiencia algo mayor de la turbina, y es de $22. Los costos de mano de obra y otros, por hora, tal vez se tripliquen hasta $3600 por hora, ó $4.5 por kW-h; el gran total es de $39/kW-h; este es inferior al costo de las empresas públicas, y produce ganancias (contra 55 por kW-h) de 800 kW x 7920 hr x (55- 39) = $101 millones por año (28% de la inversión) en pesos de valor constante.

Generación Con El Equipo Para 100 Kw, Pero Condensado Al Vacio

Al utilizar un condensador diferente, que opera a 4" de columna de mercurio de presión absoluta, en vez de generarse 100 kW ésta capacidad puede incrementarse en un 10% con este tipo de turbina, lo que es relativamente muy poco (una turbina multietapa produce un efecto más pronunciado, como veremos adelante). Para lograr sacar ventaja de la menor presión de condensación es conveniente usar una máquina de vapor, que se adapta mejor a estas pequeñas capacidades. Aquí podemos lograr por lo menos una generación 50% superior a la de nuestra turbina simple. Para generar los 100 kW (80 en promedio) se requiere una caldera de menor capacidad (unos 80 BHP, lo que implica una inversión menor); sinembargo, el mayor valor del condensador hace que la invesión total en estos dos casi no cambie. El resultado final no es mucho mejor que en el caso de turbina.



Generación De 1000 Kw Condensando Al Vacio, Con Turbina Multietapa

Los anteriores análisis para 100 kW nos muestran la necesidad de utilizar una turbina de mayor eficiencia al condensar al vacío y en una escala mayor; en este caso la caldera requerida no será 10 veces mayor (10 x 3.700 libras por hora) o 7.5 veces mayor, sino de 18.600 libras de vapor por hora (cerca de 600 BHP, unas 5 veces más, o unos 5000 kW térmicos, lo que indica que la eficiencia térmica total va en el 20%). Esta caldera de 600 BHP ó 20 millones de Btu/h, vale unos $150 millones; el condensador, unos $80; pero el turbogenerador sube de $100.000 a $200.000 dólares ($130 millones). El gran total, de nuevo con un 10% adicional, es de $396 millones, algo mayor que el caso de 1000 kW anterior (los costos por kW-h, de $13.56). El costo del carbón, sinembargo, se reduce de nuevo, a $17 por kW-h neto generado (se supone un 5% de consumo por los equipos propios de la caldera). El gran total es de $13.5 + $17 + $ 4.5 = $ 35. lo que es una cifra importante (utilidades de 127 millones por año, ó 32% de la inversió cada año).

En caso de que el combustible valga cero, el costo del kW-h es de $18 y la utilidad anual es de $234 millones, ó 59% de la inversión, cada año.

Efectos Del Incremento En Presión Y Temperatura Del Vapor En El Rango De 1000 Kw.

El uso del vapor calentado a temperaturas mayores que las correspondientes a las de ebullición (o vapor sobrecalentado) se justifica de dos formas. Por una parte, en algunos casos (no todos) es técnicamente recomendable este uso, para evitar la generación de excesos de agua líquida a gran velocidad al final de los procesos en la turbina , lo que puede erosionar los materiales; por otra parte, el uso de vapor sobrecalentado incrementa la eficiencia total del proceso y, se espera, disminuye los costosdel kW-h generado.

Se ha visto que para generar 1000 kW con una turbina multietapa con vapor saturado a 250 libras de presión se requieren unas 18.600 lb/h de vapor; al emplear una temperatura del vapor de 700º F (lo que equivaldría a elevar la presión a 400 psi, en lo que a eficiencia se refiere) el consumo se reduce a 16.800; el incremento en la eficiencia es de un 10%. En una central grande, esta cifra es respetable. En una pequeña, por otro lado, el incremento en temperatura debe justificarse económicamente, como se verá.

El incremento solamente en la presión causa un efecto similar. A 400 psi se produce un incremento en el costo de la caldera de un 20% aproximado; a su vez, la caldera requerida es más pequeña; lo uno casi compensa lo otro; luego el costo de inversión casi no se altera. El costo de operación es pequeño, ya que el del carbón por kW-h, que era de $17, se reduce a $15. La diferencia , de $2/kw-h, puede no ser suficiente para compensar el mayor costo de la caldera, en algunos casos.

Al incrementar solamente la temperatura del vapor, el efecto es similar al de presión en cuanto al aumento de la eficiencia; el incremento en costo es mayor; el sobrecalentador puede subir el valor de la caldera en unos $25 millones o más (también incrementa el problema de mantenimiento de la caldera). Sinembargo, la disminución del valor de la caldera 10% es de $20, en consecuencia , el efecto del sobrecalentamiento es similar al del incremento en presión.

El efecto combinado, presión y temperatura a la vez, desde 250 psi, saturado, hasta 400 psi, sobrecalentado a 700º F, produce una reducción en el consumo de vapor desde 18.600 lb/h de vapor hasta 15.900 lb/h (17% de incremento en la eficiencia). Este efecto es de $30 millones o más en la inversión neta, y 17% de reducción en el consumo de carbón. Este último implica una reducción de $3.70 kW-h (23.5 millones por año) lo que se considera aceptable en vista de la inversión adicional ($45).

Sinembargo, para 1000 kW en las condiciones dadas, el resultado neto es que el costo de generación por kW-h, con inversiones mayores para mayor presión y temperatura y menores consumos de carbón, varía menos de un 10% (tabla 1).

En caso de usarse un combustible de cero valor, el kW-h generado sube o baja solamente en proporción a la inversión, para esta instalación de capacidad dada (1000 kW). En caso de que el combustible sea abundante, es entonces conveniente ir a las menores inversiones por kW instalado. A vía de comparación, estas son:

Comparación Con Un Sistema Turbogas

La inversión, en el caso de una turbina de gas del diseño más moderno con capacidad del orden de uno ó de pocos miles de kilovatios, es de unos 450 dólares por kW instalado, FOB fábrica, por el turbogenerador en su forma más simple con tablero y demás componentes esenciales. Esta cifra podrá además aumentarse por un factor de 1.5 (según el fabricante) para tener en cuenta gastos de

VALORES CON COMBUSTIBLES GRATIS

Inversión Total inversión/kW Costo Del kW-h.	Inversión Total	Inversión/KW	Costo del KW-h
250 psi, saturado	$396	U$609	$18.00
250 psi, 700º F.	$405	U$638	$18.00
400 psi, saturado.	$400	U$615	$18.00
400 psi, 700º F.	$425	U$653	$19.00

Nótese que, usando un valor de $20 por kW-h, el ahorro anual comparado contra $55 el kw-h es de $220 millones, ó 55% de la inversión total.

Haciendo la comparación con el mejor sistema Diesel, el ahorro anual es de $250 millones, o de 250% de la inversión total en Diesel (que se supone como de $100 millones) cada año, o 60% de la inversión en la planta de combustible gratis, cada año, en pesos de valor constante.

transporte, instalación y otros (al usarse gas, no se incluye el costo de conducción hasta el turbogas, lo que se considera ya hecho). El costo final, para 1.600 kilovatios, es de U$1'350.000 (U$675 por kW) ó $700'000.000.

El costo del kW-h proporcional a la inversión se puede calcular así: el turbogás (operando con gas natural) requiere un mantenimiento completo (overhaul) cada 40.000 horas, a un costo de unos U$200 por kW, o sea U$320.000 ó $200'000.000; con un factor de carga de 0.8 y 40.000 horas, lo generado en las 40.000 horas es 51.2×10^6 kW-h, para un costo de $4 por kW-h por este concepto.

El costo medio del capital se toma, en el primer año, como del 10% de la inversión en pesos de valor constante, y el valor del mantenimiento como del 2%, para un total el 12% x $700'000.000, ó $84'000.000; lo generado en el año de 8.000 horas, al 80% de 1600 kW, es 10.24×10^6 kW-h, lo que dá $8.20 por kW-h.

En tercer lugar, los costos proporcionales a la generación son el gas, a 820 por millón de Btu, y otros varios. El turbogenerador, en su forma simple, tiene una eficiencia global del 30% o sea 11.370 Btu por kW-h, lo que implica $9.30 por kW-h. Los gastos varios se toman, de nuevo, como $4 por kW-h ($40 millones por año).

El costo del kW-h, en total, es de $ 4 + 8.20 + $ 9.30 + $ 4 = $ 25.50, de lo cual el gas ($9.30) es el 36%.

Es de anotarse que al emplear un sistema Diesel eléctrico con gas natural, los costos de inversión serán algo menores, el "overhaul" será cada 10.000 horas, y el resultado puede ser un costo por kW-h semejante al anterior.

Cogeneración Bajando La Presión De Vapor En Una Turbina.

Se van a analizar los casos:

a). Generar 100 kW con vapor saturado a 250 psi, sacando el

a). 100 kW, 250 psi bajando hasta 50 psi:

		$Col.	U$.
Caldera 8000 lb/h	0.25 x 62 =	$15.5	$24.000
Turbogenerador		$26.0	$40.000
Sub total :		$ 41.5	
Mas otros (10%)		$45.6	

Por kW instalado: U$700

Costo de generación por kW-h:

Número de kW-h por año (7920 horas, 80% factor de carga): 633.600.

Costo proporcional al capital: 0.217 x 45'600.000. ÷ 633.000 =	$15.60
Carbón extra (80 kW)	$2.00
Otros (mano de obra, mantenimiento, etc.)	$15.00
TOTAL	$32.60

b). 1000 kW, 250 psi bajando hasta 50 psi:

	$Col.	U$.
25% adicional a caldera de 60.000 lb/h	$85	U$ 131.000
Turbogenerador	$65	U$100.000
Otros (10%)	$15	U$23.000
	$165 millones	U$254.000

Por kW instalado: U$: U$254.

Costo de generación por kW-h:

kW- por año (7920 horas, 80% factor de carga): 6'336.000.

Costo proporcional al capital 0.217 x 165.000.000 ÷ 6'336.000 =	$5.65
Carbón extra (800 kW)	$2.00
Otros (mano de obra, mantenimiento, etc)	$4.50
TOTAL	$12.50

lo que es una cifra muy positiva (produce un ahorro de $270 millones al año ó 1.63 veces la inversión), al trabajar al 80% de la carga promedio, 7920 horas año. Cuando el combustible vale cero, el costo es de $10.50 y el ahorro $282 millones. En el caso de imputarse la totalidad del valor de la caldera (lo que puede ocurrir en algunos casos), aún así el ahorro anual, de $198 millones es del 39% sobre la inversión ($505 millones).

c). 1000 kW, 400 psi bajando hasta 50 psi:

	$Col.	U$.
40% adicional a caldera de 45.000 lb/h	$100	U$154.000
turbogenerador	$65	U$100.000
Otros (10%)	$14	U$25.400
	$181 millones	

Por kW instalado: U$280

Costo de generación por kW-h:

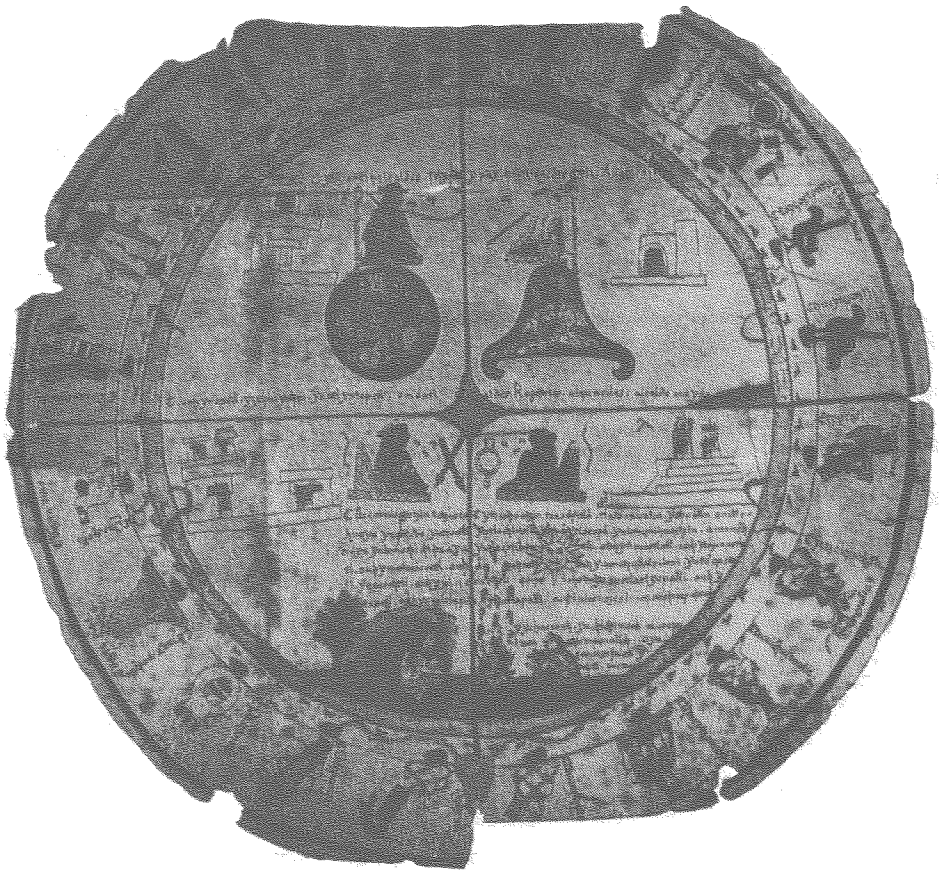
Número de kw-h por año (7920 horas, 80% factor de carga): 6'336.000.

Capital 0.217 x 181.000.000. ÷ 6'336.000 =	$6.20
Carbón extra (800 kW)	$2.00
Otros (mano de obra, mantenimiento, etc.)	$4.50
TOTAL	$12.70

vapor a 50 psi.

b). Generar 1000 kW en las mismas condiciones de a).

c). Generar 1000 kW con vapor a 400 psi, saturado, hasta 50 psi.

Lo primero sobre este tipo de cogeneración es el hecho de que no hay condensador porque el usuario emplea el vapor que sale de la caldera para otros usos diferentes a la generación, y necesarios para él, ni se puede imputar el valor total de la caldera al proyecto, dado que éste ya existe o se compra para el uso del vapor a baja presión; en este caso el mayor valor de la caldera por emplearse una mayor presión es del 25% (250 psi) o del 40% (400 psi). Por otro lado, la capacidad requerida de la caldera, para una generación eléctrica dada, es mayor dada la menor caída de presión a través de la turbina. Los valores requeridos se muestran en cada caso. Los costos son:(Ver Tabla, pag.19).

Esto da una utilidad de $268 millones (1.48 veces la inversión) por año. Nótese que la mayor eficiencia al generar el vapor a 400 libras (en vez de 250) hace que el consumo de vapor disminuya en un 25%, lo que es una cifra importante. Sinembargo, el costo del kW-h casi no varía, mientras que la inversión sí se incrementa. Al incrementarse todavía más la presión, habrá mejoras, pero cada vez menores, con un aumento en las dificultades técnicas y el consumo de electricidad de las bombas que dosifican la caldera.