

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN CON GAS
NATURAL PARA EL SECTOR INDUSTRIAL TEXTIL**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERA MECANICO**

JOSE ANTONIO ASCENCION VARELA

PROMOCION 2000-II

LIMA-PERU

2 0 1 1

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| Prologo..... | (1) |
| 1. Introducción..... | (3) |
| 1.1. Antecedentes..... | (3) |
| 1.2. Objetivo..... | (6) |
| 1.3. Alcance..... | (7) |
| 1.4. Justificación..... | (8) |
| 1.5. Limitación..... | (13) |
| 2. Generalidades sobre Cogeneración..... | (15) |
| 2.1. Definición de Cogeneración..... | (15) |
| 2.2. Características de la Cogeneración..... | (19) |
| 2.3. Ventajas de la Cogeneración..... | (19) |
| 2.4. Aplicaciones de la Cogeneración..... | (21) |
| 2.5. Cogeneración vs. Generación Convencional..... | (24) |
| 2.6. Sistemas de Cogeneración..... | (31) |
| 2.7. Cogeneradores por todas partes..... | (33) |
| 2.8. El elemento primario: Motor de Gas o Turbina..... | (35) |
| 2.9. Elementos de una Planta de Cogeneración..... | (37) |
| 2.10. Clasificación de los Sistemas de Cogeneración..... | (39) |
| 2.10.1. Clasificación dependiendo de la maquina motriz..... | (39) |
| 2.10.1.1. Cogeneración con Turbina de Gas..... | (39) |
| 2.10.1.2. Cogeneración con Turbina de Vapor..... | (42) |
| 2.10.1.3. Cogeneración en Ciclo Combinado..... | (44) |
| 2.10.1.4. Cogeneración con Motor Alternativo..... | (48) |
| 2.10.2. Clasificación según el orden de producción de electricidad y calor..... | (51) |
| 2.10.2.1. Sistemas Superiores..... | (52) |
| 2.10.2.2. Sistemas Inferiores..... | (53) |

| | |
|--|-------|
| 4.4. Sistema de Cogeneración en una Empresa Textil..... | (109) |
| 4.4.1. Sudamericana de Fibras (SdF)..... | (109) |
| 4.4.2. Datos Técnicos para el Diseño del Sistema de Cogeneración..... | (115) |
| 4.4.3. Selección de la Tecnología..... | (116) |
| 5. Evaluación Energética..... | (117) |
| 5.1. Análisis del Sector de Cogeneración..... | (117) |
| 5.2. Situación Actual de la Cogeneración en el Perú..... | (119) |
| 5.3. Ahorros con el Programa de Cogeneración..... | (123) |
| 5.4. Análisis y diagnóstico energético de la Industria textil..... | (124) |
| 5.5. Análisis Energético del Sistema de Cogeneración..... | (131) |
| 5.5.1. Cálculos Térmicos para el Sistema de Cogeneración..... | (131) |
| 5.5.2. Eficiencia del Sistema de Cogeneración..... | (134) |
| 5.5.3. Rendimiento Eléctrico Equivalente..... | (134) |
| 6. Estructura de Costos..... | (135) |
| 6.1. Rentabilidad de un Sistema de Cogeneración..... | (135) |
| 6.2. Impacto de la relación energía térmica/electricidad en la rentabilidad de sistemas de cogeneración..... | (140) |
| 6.3. Fuentes y costos de energías en una industria textil..... | (143) |
| 6.4. Oportunidades de mejoramiento en una industria textil..... | (145) |
| 6.5. Costos del Sistema de Cogeneración..... | (146) |
| 6.6. Ahorro de Consumo de Energía Eléctrica..... | (147) |
| 6.7. Ahorro en Costo de Generación..... | (147) |
| Conclusiones..... | (148) |
| Recomendaciones..... | (154) |
| Bibliografía..... | (156) |
| Plano..... | (157) |
| Anexos..... | (158) |

PROLOGO

El presente informe de competencia profesional desarrolla una investigación acerca de los sistemas de cogeneración. Además se muestra el dimensionamiento de un sistema de cogeneración, con el fin de atender las demandas energéticas de una empresa de la industria textil. Para un mayor entendimiento, el informe se ha dividido en 6 capítulos.

En el primer capítulo se muestra los antecedentes, el objetivo, el alcance, la justificación y la limitación que se presentan en el desarrollo del informe.

Para el segundo capítulo se presentan los fundamentos teóricos acerca de los sistemas de cogeneración, desarrollando las características, ventajas y aplicaciones de la cogeneración. Además de las tecnologías y barreras que se presentan para una instalación de un sistema de cogeneración.

En el tercer capítulo se desarrolla una descripción general del contexto energético del Perú; así como del sector textil peruano, debido a que el dimensionamiento del sistema de cogeneración se va realizar en una empresa textil.

Para el cuarto capítulo se realizó una selección de la tecnología utilizada para una alternativa de sistema de cogeneración basados en los datos técnicos obtenidos de una empresa textil.

En el quinto capítulo se muestra el análisis energético realizado al sistema de cogeneración propuesto, mostrando los resultados de los principales parámetros energéticos calculados para la empresa textil.

Para el sexto capítulo se presenta el estudio de la rentabilidad del sistema de cogeneración, mencionando el ahorro de consumo de energía eléctrica; así como también el ahorro en costo de generación.

Finalmente, quiero expresar mi más sinceros agradecimientos a mi asesor, a todos los profesionales con quienes me entreviste y a mi familia, por sus valiosos apoyos para la realización del presente informe.

El Autor

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La cogeneración implica la generación integrada de electricidad y calor y tiene sentido práctico si existen demandas de ambos vectores que justifiquen la consecuente instalación del sistema. Una instalación de cogeneración presenta un requerimiento de combustible menor que la suma de los consumos de procesos monopropósito produciendo la misma cantidad de electricidad y calor. Por un lado, la producción de electricidad no debe necesariamente ser utilizada in situ si existe la infraestructura de transporte y/o distribución al que pudiera ser inyectada en caso de existir excedentes, o de donde pudieran ser tomados los faltantes si los hubiera. Por otro lado, la existencia del usuario demandante de calor es pues la condición necesaria e indispensable para la existencia de un proyecto de cogeneración, dado que el calor producido debido a la limitada transportabilidad del vector térmico. En un sistema convencional las pérdidas respecto del recurso primario alcanzan hasta el 65%, mientras que en uno de cogeneración son aproximadamente del 10%, como se indica en la figura.

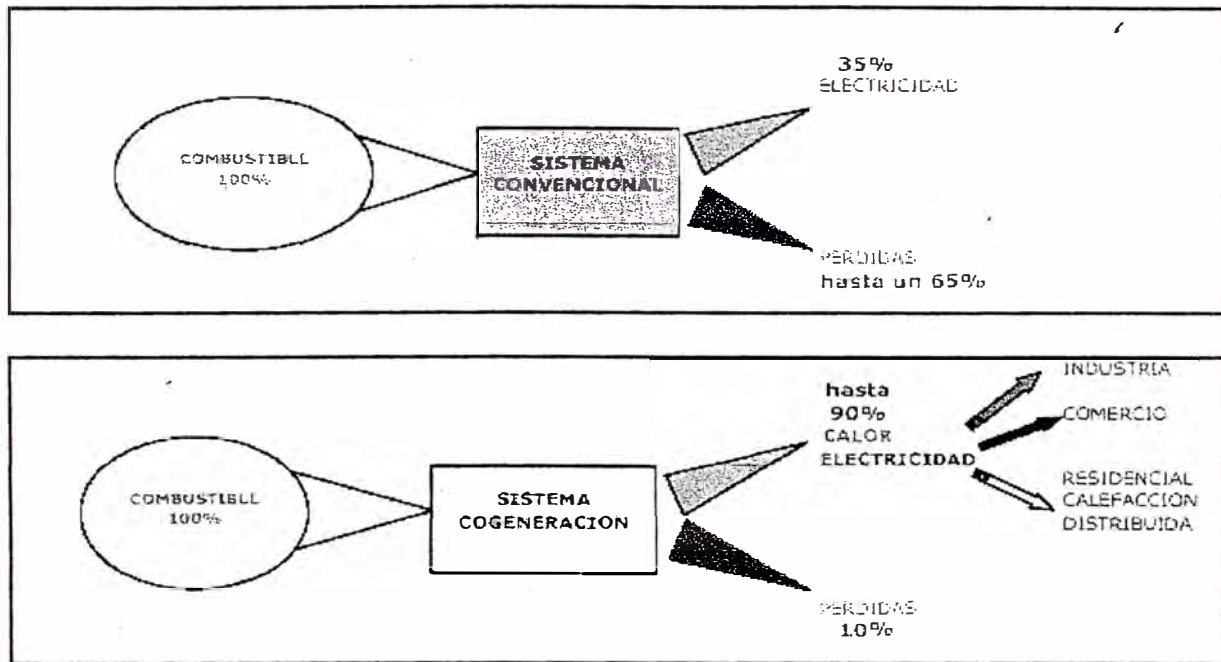


Figura 1.1. Sistema Convencional y de Cogeneración

En una planta de generación termoeléctrica se quema normalmente un combustible fósil para producir vapor a alta temperatura y presión, el cual se hace pasar por una turbina para generar energía eléctrica. En este proceso, aún en las plantas más eficientes, se logra la conversión a electricidad de menos del 40% de la energía disponible como calor en el combustible; el resto se descarga a la atmósfera, mediante los gases producto de la combustión que salen por la chimenea del generador de vapor y en los sistemas de condensación y enfriamiento del ciclo termodinámico. Aunque la cantidad de calor que se desecha a la atmósfera es muy grande, es de baja temperatura relativa, en otras palabras de baja capacidad para realizar un trabajo útil dentro de las plantas generadoras.

La mayoría de los procesos industriales y aplicaciones comerciales, requieren de vapor y calor a baja temperatura. Así ellos pueden combinar la producción de electricidad y calor para los procesos, aprovechando la energía que de otra forma

se desecharía, como ocurre en las centrales termoeléctricas convencionales; a esta forma de aprovechar el calor de desecho se le conoce como cogeneración.

El consumo energético ha pasado a ser un importante dentro del conjunto de gastos de las administraciones públicas. Por ello, el ahorro y la diversificación de la energía encaminada a reducir los gastos de ese capítulo es, actualmente, una de las prioridades de los planes de actuación.

Dentro de los planes de ahorro, se debe considerar la diversificación energética y la posibilidad de contar con diferentes fuentes de suministro que permiten aplicaciones de uso más racional de la energía disponible. La aplicación de la cogeneración, ayuda a conseguir estos fines.

La generación simultánea de electricidad y calor en las plantas de cogeneración permite un incomparable grado de aprovechamiento de la energía del combustible. Los combustibles que normalmente se utilizan son menos contaminantes que los utilizados en sistemas convencionales.

El encarecimiento actual de la energía eléctrica y el abaratamiento de los precios en los combustibles ha incrementado el diferencial de costo entre estos dos tipos de energía, haciendo que la rentabilidad de este sistema sea muy atractiva.

El potencial de ahorro de energía primaria que ofrecen las plantas de cogeneración con motores de gas y Diesel es muy alto al compararlo con la generación separada de electricidad y calor, lo que se traduce en una importante reducción de los costos energéticos para el usuario.

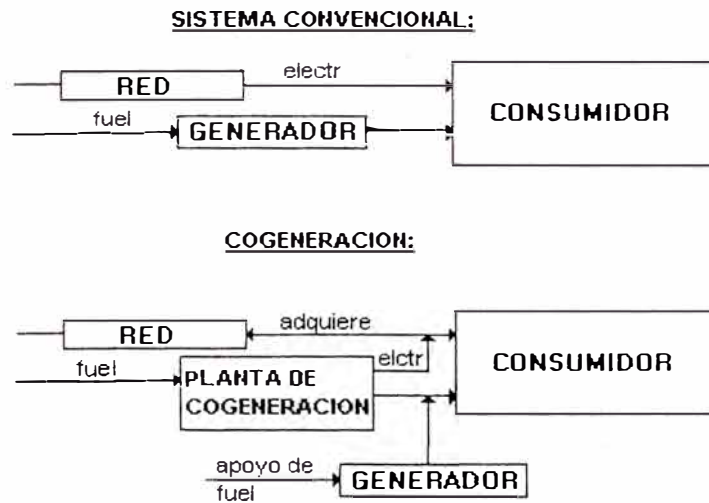


Figura 1.2. Comparación de abastecimiento de energía por sistema convencional y cogeneración.

1.2. Objetivo

Este informe presenta los fundamentos y herramientas de naturaleza teórica que son necesarios para el desarrollo e interpretación del sistema de cogeneración.

Además tiene como objetivo dimensionar un sistema de cogeneración, con el fin de atender las demandas energéticas de una empresa de la industria textil.

Se realiza la instalación de un sistema de cogeneración, con el fin de satisfacer la demanda de energía térmica de su proceso productivo, hasta ahora cubierta con calderas de gas natural convencionales. La decisión de instalar un sistema de cogeneración, ha sido motivado principalmente por dos razones:

- Disminución de costos energéticos, haciendo que la empresa sea mas competitiva en su sector.
- Contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

1.3. Alcance

La cogeneración se puede definir como el uso secuencial de un solo combustible para producir energía eléctrica y energía térmica aplicable (usualmente vapor de alta presión, agua caliente y aire caliente) para proceso, con la que se puede llegar a aprovechar combustibles hasta 40% más eficazmente que con la producción separada.

La clasificación, quizá la más utilizada, para los sistemas de cogeneración, es la que se basa en el motor principal empleado para generar la energía eléctrica. Así tenemos:

- Cogeneración con turbina de vapor
- Cogeneración con turbina de gas
- Cogeneración con ciclo combinado
- Cogeneración con motor alternativo

La tecnología de la cogeneración puede aplicarse a cualquier tipo de instalación. Todo cuanto es necesario para el usuario es tener una demanda alta o media de energía térmica (vapor, agua caliente, refrigeración, etc.) durante prolongados periodos de tiempo (más de 5000 horas/año) o producir un sobrante de combustible o energía térmica en cantidades suficientes.

Los sectores susceptibles a cogenerar son:

Sector Terciario

Los grandes usuarios del sector terciario (centros comerciales, residencias, complejos hoteleros, hospitales...) tienen capacidad cogeneradora.

Sector Industrial

Todas aquellas industrias cuyos procesos demanden energía térmica, se consideran cogeneradoras.

Los sectores industriales en los que existe una mayor facilidad e interés de aplicación de sistemas de cogeneración basados en motores de gas son los siguientes:

1. **Sector cerámico:** aire caliente para secado y prehornos, vapor o agua caliente para preparación y moldeo. En fábricas azulejeras de tamaño medio, aprovechamiento en atomizadores y secaderos.
2. **Sector químico:** secado y, en general, producción combinada de vapor y agua o aire caliente.
3. **Sector textil:** secaderos, producción combinada de vapor y agua caliente, para baños, termofijado.
4. **Sector alimentación:** preparación y limpieza de alimentos, esterilización, envasado. Proceso de secado Producción de frío. Calentamiento de agua en piscifactorías.
5. **Sector maderero:** balsas de cocido, secaderos, vapor para autoclaves.
6. **Sector paplero:** secado y producción de vapor.

1.4. Justificación

La cogeneración tiene implícitos beneficios a nivel país como al sector industrial, desde el punto de vista país, se refleja en un ahorro de la energía primaria, petróleo, gas natural, carbón mineral y biomasa al hacer un uso más eficiente de los energéticos. Asimismo, se reducen las emisiones contaminantes al medio ambiente por quemar menos combustible.

Los beneficios en el sector industrial son la reducción de la facturación energética en los costos de producción y como consecuencia aumenta la competitividad de la empresa; así como, la autosuficiencia, continuidad y calidad del suministro de energía eléctrica, con lo que obtiene confiabilidad en su proceso.

La instalación de un sistema de cogeneración resulta desde un punto de vista económico, rentable, además de dotar a la misma de una autonomía desde el punto de vista eléctrico y de una mayor calidad en seguridad y confort.

Tabla 1.1. Comparación de emisión de CO₂ :Convencional y Cogeneración

| | Convencional CO₂/k Wh(e) | Cogeneración CO₂/k Wh(e) |
|--------------------|--|--|
| Carbón | 1 | 0.5 |
| Fuel-Oil | 0.7 | 0.35 |
| Gas-Natural | 0.5 | 0.25 |

En los sistemas de cogeneración el combustible empleado para generar la energía eléctrica y térmica es mucho menor que el utilizado en los sistemas convencionales de generación de energía eléctrica y térmica por separado, es decir, que del 100% de energía contenida en el combustible, en una termoeléctrica convencional sólo 33% se convierte en energía eléctrica, el resto se pierde a través del condensador, los gases de escape, las pérdidas mecánicas, las pérdidas eléctricas por transmisión y distribución entre otras.

En los sistemas de cogeneración, se aprovecha hasta el 84% de la energía contenida en el combustible para la generación de energía eléctrica y calor a proceso (25-30% eléctrico y 59-54% térmico). Lo anterior se muestra en la figura siguiente:

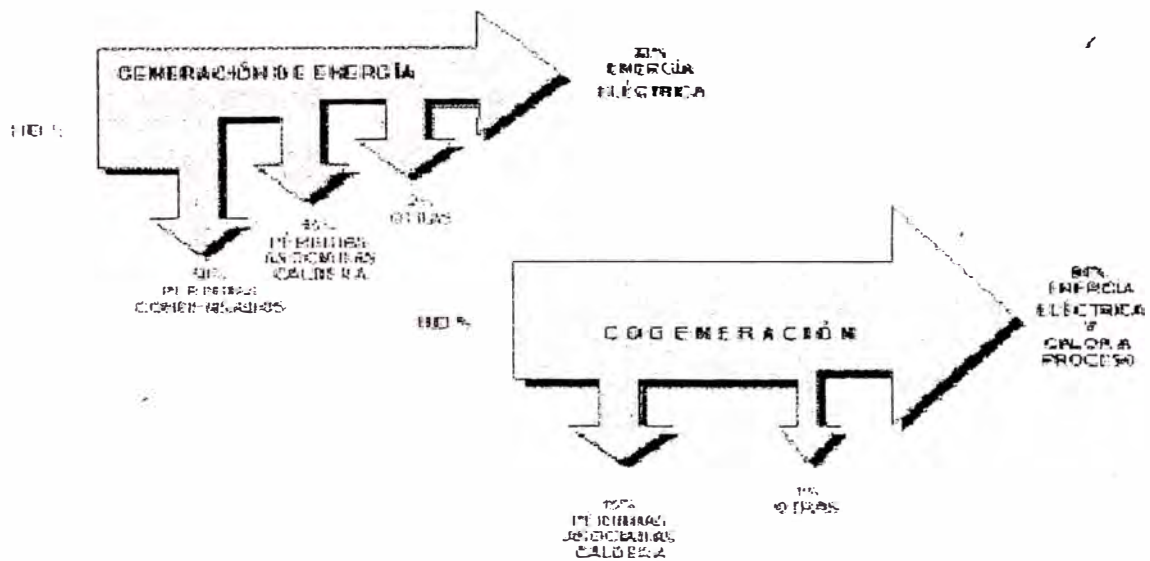


Figura 1.3. Cogeneración vs. Generación de energía eléctrica convencional

La cogeneración no es un proceso nuevo, su aplicación data de los principios del pasado siglo, la encontramos en los ingenios azucareros, en las plantas de papel, siderúrgicas y en otros procesos. Sin embargo, su aplicación no obedecía, como lo es ahora, a la necesidad de ahorrar energía, sino al propósito de asegurar el abasto de la energía eléctrica, que en esos años era insuficiente y no confiable.

Conforme las redes eléctricas se extendieron (subsidiando en no pocas ocasiones el precio de la electricidad) y el suministro de energía eléctrica se hizo más confiable, resultaba más barato abastecerse de este fluido de la red pública, es decir de las grandes centrales de generación. Así, los proyectos de cogeneración poco a poco se fueron abandonando. Más tarde, debido al incremento en el costo de la energía eléctrica, la problemática ambiental y al desarrollo tecnológico de los equipos, la cogeneración vuelve a ser rentable y por ello renace, principalmente, en el ámbito industrial.

Por el lado del desarrollo tecnológico, la cogeneración recibe su impulso tecnológico más importante en los años ochenta, cuando se inicia la aplicación de las turbinas aeroderivadas en la generación de energía eléctrica, es decir, se toman las turbinas utilizadas en la aviación comercial y con pequeñas modificaciones se adaptan a tierra y se acoplan a generadores eléctricos que las transforman, por primera vez, en grupos turbogeneradores industriales.

Al mismo tiempo, se desarrollan nuevos materiales de alta resistencia mecánica para la fabricación de alabes de turbinas y se emplean materiales cerámicos de alta resistencia térmica en la construcción de cámaras de combustión. También se han logrado en los últimos años rendimientos energéticos en las turbinas de gas de hasta 36%, (contra 15-20% obtenido en los años sesenta) y se han mejorado los ciclos termodinámicos tradicionales.

Es importante resaltar que el desarrollo de las calderas de recuperación con presiones múltiples, también contribuyó al desarrollo de los sistemas de cogeneración, así como el inicio de la tecnología de gasificación de combustibles, el desarrollo de la fabricación de sistemas de cogeneración tipo paquete y la introducción de la aplicación del ciclo combinado.

Es necesario recordar que las máquinas alternativas de combustión interna, conocidas como MCI también tuvieron un desarrollo paralelo al de las turbinas de gas, aplicándose cada día más en los procesos de cogeneración, sobretodo gracias a la creciente necesidad de transporte marítimo, el cual ha permitido la disponibilidad de motores altamente eficientes, alcanzando rendimientos térmico/eléctricos del orden del 41%.

La cogeneración tiene beneficios tanto a nivel del país como a sector industrial. Desde el punto de vista país, se refleja en un ahorro de la energía primaria (petróleo, gas natural, carbón mineral,...) al hacer un uso más eficiente de los energéticos. Asimismo, se reducen las emisiones contaminantes al medio ambiente por quemar menos combustible.

Desde el punto de vista de los intereses de la industria se tienen los siguientes beneficios:

- Reducción de los costes de energía
- Al utilizar el calor para la generación de potencia, los costes de la compra de energía disminuyen considerablemente. Se han estimado que la reducción en la facturación energética total puede alcanzar hasta un 50%.
- Más seguridad en el suministro de energía
- Generando su propia energía, en la propia planta, le da más confianza y autosuficiencia a su suministro de energía. Un sistema de Cogeneración conectado en paralelo con la red eléctrica como respaldo garantiza la continuidad en el suministro eléctrico.
- Mejora en la calidad de la energía suministrada
- Se puede corregir inmediatamente cualquier desviación, fuera de lo normal, del voltaje o la frecuencia.

Desde el punto de vista del usuario:

- Reduce gastos en energía del edificio.
- Beneficios medioambientales a causa de la mayor eficiencia en el consumo de combustible.
- Flexible, resulta adecuado para instalaciones.
- Mayor control sobre el suministro.

Desde el punto de vista del medio ambiente:

- La maquinaria de alta eficiencia de la cogeneración resulta beneficiosa para el medio ambiente.
- Las emisiones de CO₂ se reducen, en consonancia con los esfuerzos por detener el efecto del calentamiento global del planeta y, además, las reservas de combustibles son conservadas como resultado del consumo eficiente.

1.5. Limitación

A pesar de las grandes y muchas ventajas que tienen la utilización de la cogeneración, existen una serie de inconvenientes que se necesitan tomar en consideración antes de decidir la realización de un proyecto de estas características.

Las principales dificultades que acarrea este proyecto para una empresa son:

- Los sistemas de cogeneración requieren un inversión sustancial, que muchas compañías no están dispuestas a arriesgarse por tratarse de un proyecto que no incrementa su capacidad de producción, aunque sea altamente favorable.
- Los sistemas de cogeneración pueden llegar a ser complejos en su diseño, instalación y operación, por lo que requieren la utilización de empresas o personas calificadas en esta área.
- En algunos proyectos, su economía puede ser muy sensible a los costos de energía eléctrica y de los combustibles, los cuales son impredecibles, aunque la tendencia normal es hacia la alza, por lo menos a medio plazo.

Para ver entonces si el proyecto resulta factible y rentable para una empresa, se deberán realizar distintos estudios de viabilidad para tener claro el alcance del proyecto según las distintas características de cada industria y sector.

Un parámetro fundamental en la viabilidad económica de una planta de cogeneración es el combustible a utilizar, ya que su precio puede tener un peso específico en el costo de generación. La aplicación del gas natural como carburante, surge ante la necesidad de reemplazar los carburantes líquidos por motivos económicos y medio ambientales y por la necesidad de no depender directamente de los derivados del petróleo.

La cogeneración puede desarrollarse mejor en un mercado liberalizado, sin embargo, la liberalización del mercado de electricidad y gas, también crean otros problemas, al menos debido a:

- Los cambios legales, la incertidumbre hace disuasorio las decisiones de inversión.
- El primer efecto de liberalización es una reducción de precios de la electricidad.

En algunos países el precio está por debajo del costo, con lo cual hace inviable la cogeneración:

- Los costes medioambientales no están incluidos en el precio de la energía.
- Los sistemas adoptados para acceder a la red crean nuevas barreras

En resumen, el principal obstáculo con el que se ha encontrado la cogeneración reside en la incertidumbre jurídica. Por ello, es necesario seguir apostando por un marco legal estable que haga confiar a las instalaciones cogeneradoras y así obtener, un futuro esperanzador en la cogeneración.

CAPITULO 2

GENERALIDADES SOBRE COGENERACION

2.1. Definición de Cogeneración

La definición de cogeneración de acuerdo al material bibliográfico es: "La técnica empleada para la producción secuencial de energía (por lo general eléctrica y térmica) a partir de una sola fuente de energía." Entonces, cogeneración significa la producción simultánea de electricidad (o energía mecánica) y energía calórica útil, a partir de una fuente de energía primaria.

Aunque la palabra Cogeneración fue inventada a finales de la década de 1970, la producción combinada de calor y potencia se remonta varios siglos atrás. Originalmente era utilizado como un dispositivo para economizar esfuerzos, simplemente la reducción del consumo de combustible. Más recientemente los beneficios ambientales derivados de la reducción del consumo de combustibles, han hecho de la Cogeneración un factor representativo en las estrategias globales ambientales.

Otras definiciones:

Es el conjunto de equipos e instalaciones que permiten generar simultáneamente energía eléctrica y térmica, requerida por el proceso industrial y a partir de la misma fuente de energía primaria.

Es la conversión de una energía de calidad media (gas natural) en una energía de calidad superior (energía mecánica o eléctrica) y otra de nivel térmico inferior (vapor de agua).

La cogeneración o la combinación de calor y energía, como también se la conoce, es simplemente la generación simultánea de calor y electricidad (Combined Heat and Power, CHP) ó Sistema de Energía Total.

La generación de electricidad produce una gran cantidad de calor, el cual, usando métodos convencionales es frecuentemente malgastado. La forma más común de aprovechar la energía térmica es la obtención de vapor a alta o baja presión para aprovechamiento en procesos industriales o para acondicionamiento de edificios. La cogeneración recupera este calor "despilfarrado" y lo transforma dándole una utilidad - normalmente en vapor o en agua caliente, que suelen usarse para una gran variedad de procesos, sistemas de calefacción, etc.

A diferencia de un sistema convencional que produce electricidad o energía térmica, la cogeneración consiste en la producción simultánea o secuencial de energía mecánica y térmica a partir de una misma fuente de energía.



Figura 2.1. Diagrama de flujos de energía

En otras palabras, los sistemas de Cogeneración convierten la energía contenida en el combustible en dos tipos de energías utilizables por la industria:

- Energía mecánica y/o eléctrica
- Energía térmica, vapor útil o gases calientes para proceso

El propósito principal de la Cogeneración es lograr un mejor aprovechamiento de los combustibles primarios, razón por la cuál se considera en los programas de ahorro de energía como una alternativa fundamental.

En el siguiente esquema se muestra la definición de Cogeneración:

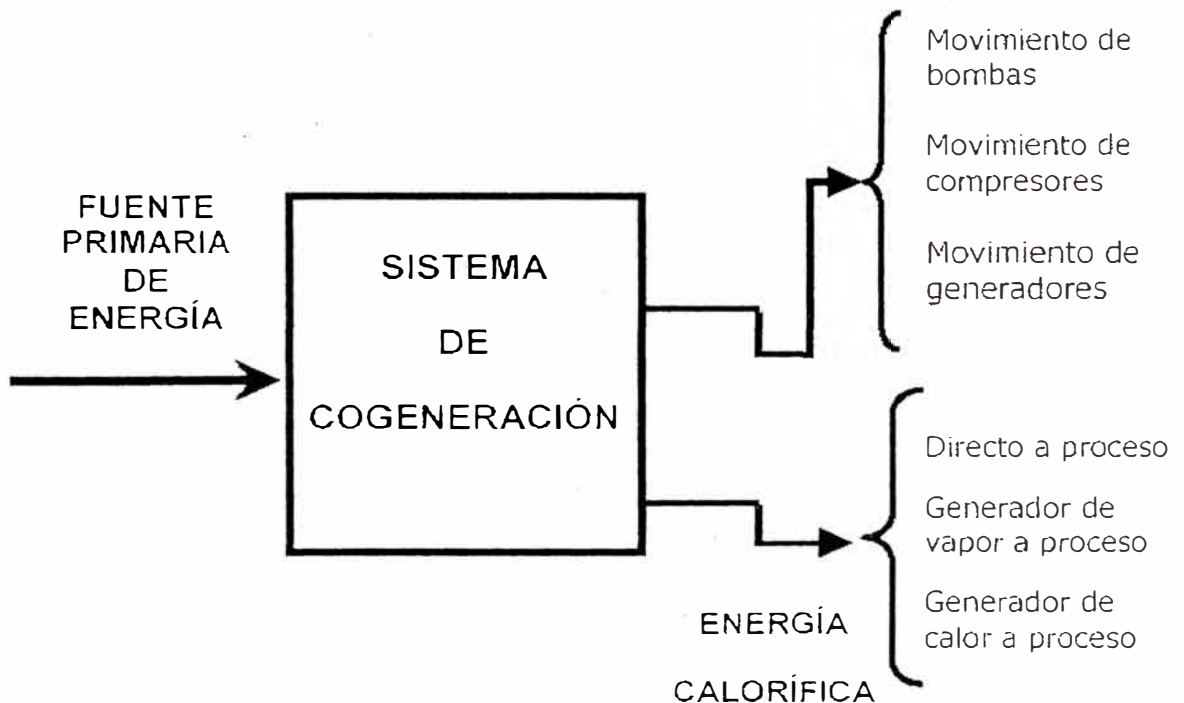


Figura 2.2. Esquema de Planta de Cogeneración

Un sistema de cogeneración es un equipo formado por un motor o una turbina de gas conectado a un alternador eléctrico, cuyo rendimiento es del orden del 96% contra el 35% de las centrales termoeléctricas. La energía eléctrica es producida por el motor al accionar un alternador unido a él, mientras que la generación térmica se produce por aprovechamiento de los calores residuales del motor, tales como el calor extraído de los sistemas de refrigeración o del sistema de escape del motor.

De forma específica, cuando se trata de cogeneración con gas propano, el grupo cogenerador se compone de un motor de combustión interna, un generador de energía eléctrica, un equipo de recuperación de la energía térmica procedente de los gases de escape, del agua caliente de refrigeración, etc., y un sistema de evacuación de los humos residuales.

El rendimiento global de estos equipos puede alcanzar medias de entre el 75 y 90%, dependiendo de la calidad y cantidad de la recuperación térmica obtenida: normalmente agua a 80°C y 90°C. Esta agua caliente es obtenida por el aprovechamiento térmico del agua de refrigeración del motor, del aceite lubricante y por último de los gases de escape que pueden ser evacuados a 90°C a la atmósfera sin que se produzcan condensados.

Las plantas de cogeneración se dimensionan generalmente de acuerdo con la demanda de energía térmica. Para ello, es necesario analizar el desarrollo anual de dicha demanda térmica y determinar los parámetros correspondientes de funcionamiento.

Como reglas generales se tienen las siguientes:

1. La potencia térmica de la planta de cogeneración debe cubrir aproximadamente un 30-50% de la demanda máxima de calor. En este caso, según muestra la experiencia, los módulos de la planta cubren aproximadamente un 50-70% de la necesidad de energía calorífica anual, aportándose el resto mediante calderas adicionales que cubren las puntas de consumo térmico.
2. Cada módulo de cogeneración debe alcanzar un tiempo de servicio de 4.000 horas por año como mínimo.

2.2. Características de la Cogeneración

Analizando lo que antecede podemos señalar las principales características diferenciales de la cogeneración, a saber:

- a) Se aprovechan varios tipos de energía, por lo que tiene un potencial de rendimiento mayor que una central convencional. A su vez este mayor rendimiento da origen a tres de sus mayores ventajas: menor consumo de combustible, coste de producción menor y menor impacto ambiental.
- b) Se produce la energía donde se consume, por lo que hay menores pérdidas por transporte y aumenta la autonomía de las fábricas.

2.3. Ventajas de la Cogeneración

Las ventajas principales de la cogeneración son:

- a) **Rendimientos elevados:** El rendimiento térmico de las grandes plantas modernas de potencia es alrededor del 40%, pero teniendo en cuenta la utilización de plantas antiguas, mas pequeñas y de rendimientos inferiores, se puede considerar que el rendimiento medio de generación eléctrica es

del 30%. Por lo tanto, una gran cantidad de energía se pierde en forma de calor residual. Produciendo electricidad y vapor conjuntamente por cogeneración, el rendimiento medio puede oscilar entre el 50% y el 85%.

- b) **Disminución de la contaminación:** El mejor aprovechamiento de energía en la generación de electricidad supone una disminución de la contaminación, ya que disminuye el consumo de combustibles fósiles. El hecho de no disipar directamente al ambiente grandes cantidades de calor también supone un beneficio medio-ambiental.
- c) **Diversificación energética:** La cogeneración permite aprovechar calores residuales y combustibles derivados de los procesos.
- d) **Ahorro económico:** En primer lugar se reducen los costos de generación y distribución de electricidad respecto de los sistemas convencionales. Por otro lado, los usuarios encuentran en la cogeneración un menor costo de la electricidad autoconsumida y un posible beneficio en el caso de vender el exceso de energía eléctrica producida. Estos ahorros favorecen una rápida amortización de las inversiones.
- e) **Incremento de la garantía de suministro eléctrico:** En caso de fallo de suministro por parte de la compañía, existe una autosuficiencia en el abastecimiento de los procesos propios de la producción.
- f) **Ventajas para la compañía eléctrica:** Posibilidad de reducir la potencia de reserva y utilización más económica de sus medios de producción.
- g) **Legislación favorable:** La legislación de la mayoría de los países industrializados favorece la instalación de plantas cogeneradoras bajo condiciones de rendimientos mínimos y niveles de producción.
- h) **Diseño modular:** Posibilidad de desarrollar una instalación modular progresiva en función de la demanda de energía. Debido a la proliferación

de instaladores e instalaciones de cogeneración. La tendencia actual es el diseño modular y la utilización de componentes prefabricados.

- i) **Mejoras en la red de distribución de gas natural:** El incremento de la demanda de gas natural, por sus buenas cualidades como combustible limpio, ha provocado una mejora en las redes de distribución. El gas natural es un combustible muy utilizado en las instalaciones de cogeneración (turbinas de gas y motores alternativos).

2.4. Aplicaciones de la Cogeneración

La principal razón para la aplicación de la cogeneración en la industria o en el sector servicios es la mayor eficiencia obtenida en producir conjuntamente energía eléctrica y térmica, que en producirlas independientemente. Es decir, a partir de una misma cantidad de energía primaria, el nivel de energía aprovechada es más elevado.

La cogeneración no es una idea nueva. Durante años muchas áreas de la industria y el comercio se han aprovechado de sus enormes beneficios:

- Construcciones comerciales
- Edificaciones industriales
- Edificios públicos

Los alimentos, fármacos o el papel son sólo unos pocos ejemplos de las aplicaciones industriales para la cogeneración, aunque el concepto es igualmente adecuado para centros recreativos, edificios públicos, etc.

Las principales aplicaciones de la cogeneración son las que se enumeran a continuación:

- Producción de vapor (saturado o recalentado)
- Producción de vapor y agua caliente
- Generación de agua caliente
- Producción de fluido térmico y vapor
- Secado
- Hornos a elevada temperatura
- Turbina de vapor en ciclo combinado

En hospitales, la demanda uniforme de energía térmica y el consumo elevado de energía eléctrica presentan las condiciones idóneas para el empleo de plantas de cogeneración, que además pueden ser utilizadas para la generación de energía eléctrica en casos de emergencia.

Los módulos de cogeneración de pequeña potencia son la solución ideal para todos aquellos usuarios que precisen regularmente calor a baja temperatura y con consumos eléctricos bajos. Por tanto, idóneos para piscinas cubiertas que emplean energía calorífica en forma de agua caliente para las duchas, el vaso de la piscina y el calentamiento del aire ambiental del pabellón y vestuarios; y que también necesitan energía eléctrica para las bombas de depuración, la iluminación, la ventilación, etc.

Se puede producir frío mediante compresores convencionales o mediante máquinas de absorción, como se resume en la siguiente tabla:

Tabla 2.1. Sistemas de frío

| SISTEMA | TIPO | TECNOLOGÍA |
|--------------------------|-------------------------------------|--|
| Cogeneración + absorción | Modulares | Motor a gas |
| | Gran potencia | Motor a gas Turbinas de gas |
| Absorción | Modulares | Flama directa |
| | Gran potencia | Flama directa Por vapor Por agua caliente Por gases de escape |
| Compresión | Bomba de calor con motor a gas | |
| | Plantas enfriadoras con motor a gas | |

En el caso de las máquinas de absorción, se puede emplear calor residual procedente de procesos industriales o sistemas de cogeneración en la etapa de calentamiento del ciclo, en lugar de la flama de un quemador, obteniendo las siguientes ventajas:

- Mayor tiempo de funcionamiento del módulo de cogeneración al aprovechar adicionalmente la energía térmica.
- Reducción del consumo de energía eléctrica de la red y con ello del coste de la energía.

Para aplicaciones de cogeneración de 20 a 170 kW, se fabrican y comercializan módulos de cogeneración compactos que se pueden utilizar en lugares donde se necesita "in situ" simultáneamente, como por ejemplo piscinas, hospitales, edificios de administración, la industria y colonias de viviendas con subcentrales térmicas.

Los módulos de cogeneración se pueden utilizar en combinación con plantas de refrigeración por absorción, con lo que se consiguen largos tiempos de funcionamiento también en verano.

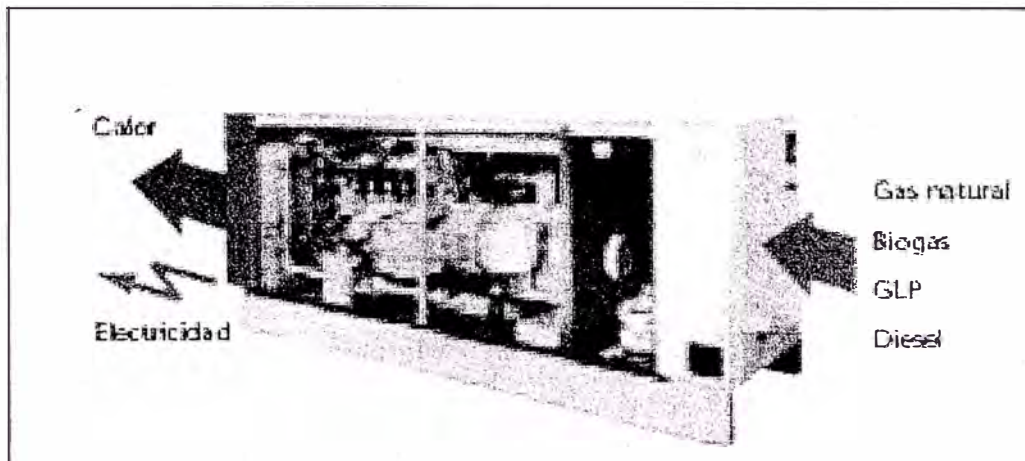


Figura 2.3. Módulo de cogeneración

2.5. Cogeneración vs. Generación Convencional

Habitualmente las industrias satisfacen sus necesidades energéticas comprando la electricidad y los combustibles a las correspondientes compañías suministradoras. Esta modalidad de abastecimiento, cómoda para el industrial, resulta ser, en determinados casos, demasiado cara, y desde el punto de vista de uso racional de la energía, bastante ineficiente.

La cogeneración es un sistema alternativo, de alta eficiencia energética, que permite reducir de forma importante la factura energética de ciertas empresas, sin alterar su proceso productivo.

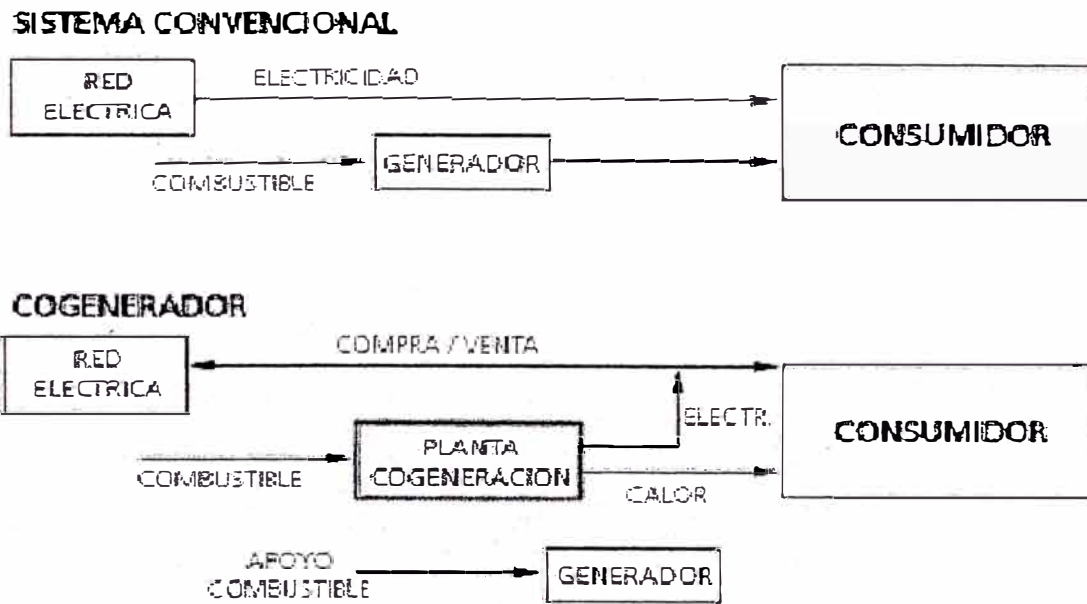


Figura 2.4. Procesos de abastecimiento energético

Este aprovechamiento simultáneo del calor, que conlleva un rendimiento global más elevado, es lo que la distingue de la autogeneración, en la cuál no hay aprovechamiento térmico como efecto útil secundario.

La cogeneración es un sistema conocido que en su aplicación ha experimentado diferentes fluctuaciones, relacionadas en la mayoría de los casos con la oferta energética disponible.

Debido al diferencial de costes existente entre la electricidad y los diferentes combustibles (uno de los mayores de los últimos tiempos), la rentabilidad de este sistema es hoy más elevada que nunca.

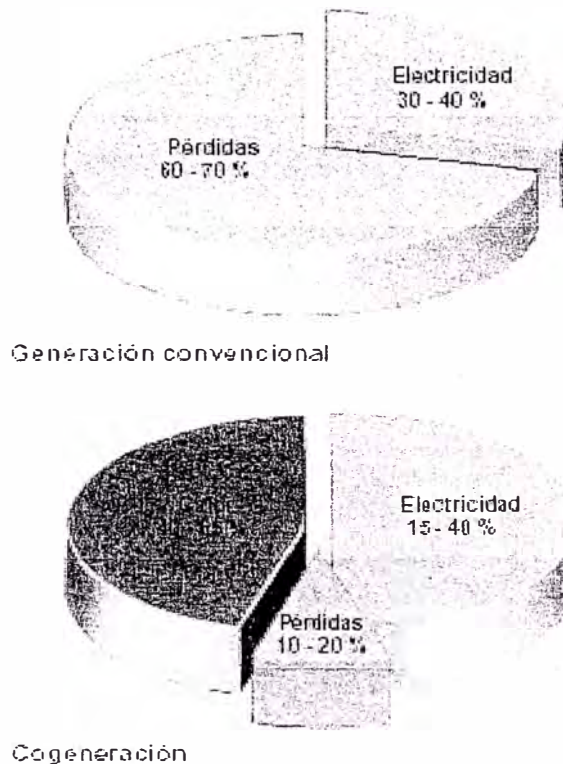


Figura 2.5. Cogeneración comparada con la electricidad convencional

Fuente: Spirax Sarco S. A.

La importante penetración del gas natural ha permitido ampliar el abanico de sistemas de cogeneración, incluyendo, además de los más convencionales, turbinas de vapor y motores diesel ya empleados, las turbinas y motores de gas. El mayor rendimiento eléctrico de estos equipos, su bajo impacto medioambiental, unido a fiabilidad y disponibilidad muy elevadas, han hecho posible un importante desarrollo de estos sistemas de cogeneración.

La industria que cogenera sigue demandando normalmente la misma cantidad de energía (electricidad y calor) que en la situación primitiva, cuando compraba la electricidad a la compañía eléctrica y el combustible a la empresa suministradora. Su ventaja es económica, ya que obtiene la misma cantidad de energía a menor coste. Esto implica obviamente una inversión que ha de amortizarse en un plazo de tiempo razonable.

Lo que en la industria que cogenera es una ventaja económica, a nivel nacional pasa a ser una ventaja energética. Hay un ahorro de energía primaria, debido precisamente al aprovechamiento simultáneo del calor y a la mejora de rendimientos de la instalación frente a una solución convencional.

Los sistemas de cogeneración requieren un consumo adicional de calor por cada kWh producido en el alternador, que oscila entre 1000 y 1500 kCal, frente a unas 2500 - 3000 kCal/kWh de una central térmica convencional. Por tanto, el ahorro de energía primaria para el país variará entre 1000 y 2000 kCal/kWh generado. Este ahorro representa obviamente la totalidad (2500 - 3000 kCal/kWh) en los sistemas que aprovechan energías residuales.

Las pérdidas por transporte de electricidad prácticamente se anulan en algunos casos y en otros disminuyen notablemente, ya que la generación se produce en punto de consumo.

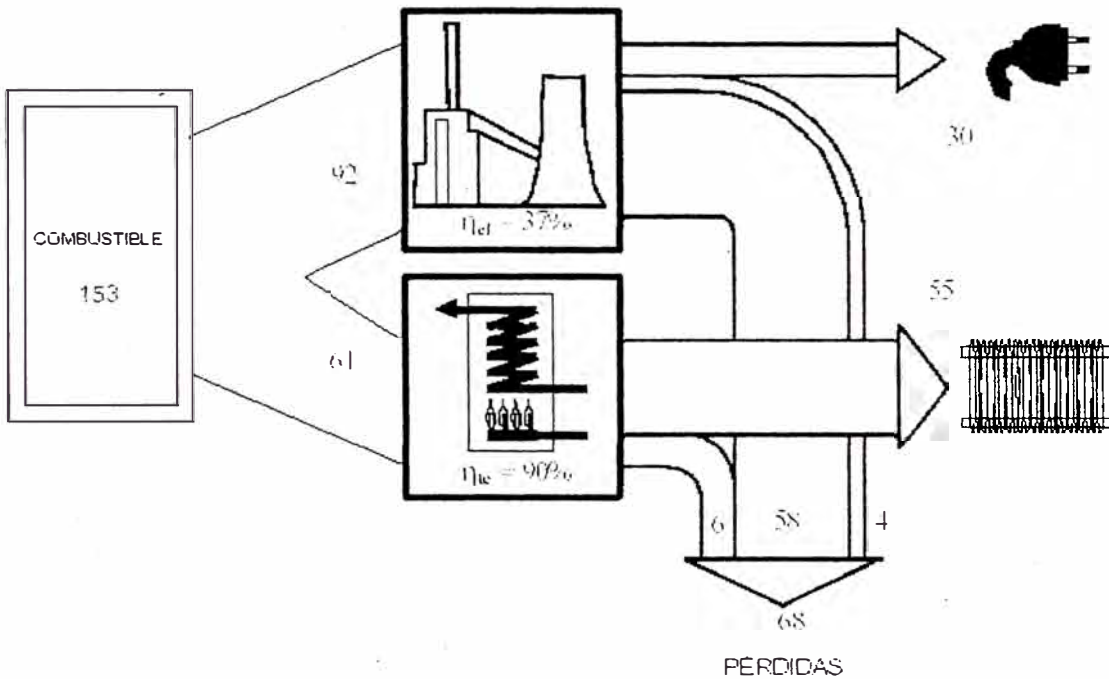
No hay que olvidar tampoco las ventajas que se derivan para la economía nacional, ya que por un lado nuestras industrias mejoran su competitividad al disminuir notablemente costes y por otro, aumenta la carga de trabajo en otros sectores (Ingenierías, Bienes de Equipo, Financieras).

Finalmente, conviene destacar que la cogeneración comporta en la mayoría de los casos la sustitución de combustibles derivados del petróleo por gas natural, carbón o residuos de combustibles, con el importante efecto diversificador y de reducción de la dependencia de derivados de petróleo.

El ejemplo adjunto muestra de una forma gráfica el ahorro de energía primaria en un sistema de cogeneración, frente a un sistema convencional de suministro.

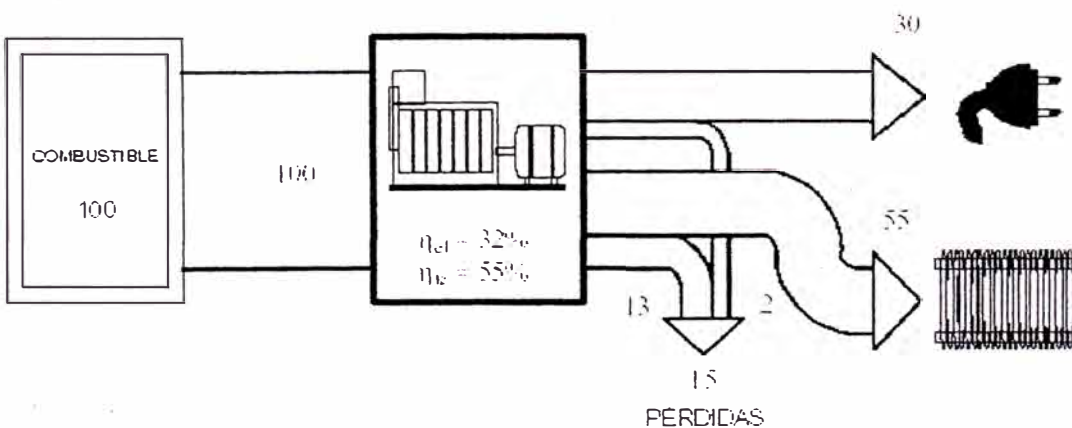
SISTEMA CONVENCIONAL

(Electricidad de Cía. Eléctrica / Calor en la Industria)



SISTEMA DE COGENERACIÓN

(Electricidad y Calor en la Industria)



$$\left(1 - \frac{100}{153}\right) \cdot 100 = 35\% \text{ AHORRO ENERGÍA PRIMARIA}$$

Figura 2.6. Ahorro de energía primaria en un sistema de cogeneración

En los sistemas de cogeneración el combustible empleado para generar la energía eléctrica y térmica es mucho menor que el utilizado en los sistemas convencionales de generación de energía eléctrica y térmica por separado, es decir, que del 100% de energía contenida en el combustible, en una termoeléctrica convencional sólo 33% se convierte en energía eléctrica, el resto se pierde a través del condensador, los gases de escape, las pérdidas mecánicas, las pérdidas eléctricas por transmisión y distribución entre otras.

En los sistemas de cogeneración, se aprovecha hasta el 84% de la energía contenida en el combustible para la generación de energía eléctrica y calor a proceso (25-30% eléctrico y 59-54% térmico).

Tabla 2.2. La cogeneración respecto a los sistemas convencionales de generación energética

| | | |
|-------------------|--------------------------|---|
| Tecnología | Energía Eléctrica | <p>Una central de cogeneración representa, de hecho, disponer de una segunda fuente de energía eléctrica, además de la red, de alta confiabilidad.</p> <p>Contribuye a la estabilización de la tensión en la red (dado que mejora el equilibrio al reducir la intensidad eléctrica circulante desde las subestaciones de distribución hasta los consumidores) y en consecuencia, reduce las pérdidas de energía en la red.</p> <p>Las actuales tecnologías de control permiten asegurar una óptima calidad de la energía eléctrica generada, tanto en tensión como en frecuencia, superando en muchos casos a la de la propia red, inevitablemente influenciadas por armónicas y desequilibrios de carga originadas por industrias vecinas.</p> |
| | Energía Térmica | <p>Normalmente implica una renovación del parque de calderas de la fábrica, que puede eliminar sus equipos más obsoletos y dejar los más nuevos y eficientes para situaciones de emergencia o para complemento de los equipos de la central.</p> |

| | | |
|--|---|---|
| | | <p>Los equipos térmicos de las centrales de cogeneración son, de hecho, muy convencionales. En muchos casos son equipos que no disponen de un proceso de combustión, lo que prácticamente elimina su mantenimiento y permite que su disponibilidad sea muy elevada.</p> |
| | <p>Operación y Mantenimiento</p> | <p>Existe un mantenimiento muy especializado, que es el que debe realizarse en determinadas áreas de los equipos principales: turbina de gas, turbina de vapor y motores recíprocos. Este tipo de mantenimiento debe de ser contratado (en muchas ocasiones al mismo fabricante del equipo), el cual tiene un costo muy elevado.</p> <p>El resto de equipos (calderas, equipos eléctricos, etc.), no requieren de atenciones especiales, sus costos de operación son bajos. Estas centrales son completamente automáticas y requieren de muy poca atención. El mismo personal que lleva las calderas puede ocuparse de ellas. Es conveniente que exista un técnico encargado de la planta que la conozca completamente, que se ocupe de su supervisión y que pueda comunicarse con los fabricantes de los equipos y los encargados de mantenimiento para eventuales intervenciones.</p> |
| | <p>Combustibles Empleados</p> | <p>El gas natural dentro de la gama de combustibles es el más conveniente, el que menos contamina y el que permite disponer de sistemas de generación más modernos y eficientes. Asegura también la viabilidad de su operación al ser un combustible muy limpio.</p> |
| | <p>Seguridad</p> | <p>Las plantas de cogeneración disponen de modernos sistemas de control y seguridad que impiden la aparición de accidentes graves. De todas formas, es conveniente la contratación de seguros de accidentes y de incumplimiento para cubrir estas eventualidades.</p> |
| | <p>Vida del proyecto</p> | <p>Las plantas de cogeneración, adecuadamente mantenidas y operadas pueden estar operativas por periodos de entre 20 y 30 años.</p> |

| | | |
|-------------------------------------|---------------------------|---|
| Economía | Costos Energéticos | En general una planta de cogeneración producirá una energía que será siempre más económica que la obtenida de la red eléctrica. La razón de ello está en que su consumo específico será siempre inferior al de una planta de energía convencional que no pueda sacar provecho de sus efluentes térmicos (es decir, la generada por las grandes centrales termoeléctricas). El mayor o menor ahorro dependerá, en cualquier caso, de políticas de subsidio a las tarifas de la energía eléctrica que pueda tomar el Estado en determinadas circunstancias. |
| Administración de la Energía | Control Operativo | La existencia de una Planta de Servicios Auxiliares implica tener un control operativo detallado de los consumos de energía eléctrica y térmica del proceso industrial. Eso es siempre positivo, pues permite reconocer la aparición de ineficiencias dentro del mismo proceso industrial, que de otra forma posiblemente hubieran pasado desapercibidos. |
| Ecología | Impacto Ambiental | La cogeneración reduce la emisión de contaminantes, debido principalmente a que es menor la cantidad de combustible que consume para producir la misma cantidad de energía útil, además los sistemas de cogeneración utilizan tecnologías más avanzadas y combustibles más limpios como el gas natural. |

2.6. Sistemas de Cogeneración

Los sistemas de cogeneración son sistemas de producción conjunta de electricidad (o energía mecánica) y de energía térmica útil (calor) partiendo de un único combustible. El gas natural es la energía primaria más utilizada para el funcionamiento de las centrales de cogeneración de electricidad - calor, las cuales funcionan con turbinas o motores de gas. No obstante, también se pueden utilizar fuentes de energía renovables y residuos como biomasa o residuos que se incineran.

En un proceso de cogeneración, el calor se presenta en forma de vapor, de agua a alta presión o en forma de agua caliente. Por ejemplo, se puede utilizar el vapor caliente que sale de una turbina de producción de energía eléctrica, para suministrar energía para otros usos. Hasta hace poco lo usual era dejar que el vapor se enfriara, pero con esta técnica, con el calor que le queda al vapor se calienta agua para distintos usos.

En el aprovechamiento del calor residual, los sistemas de cogeneración presentan rendimientos globales del orden del 85%, lo que implica que el aprovechamiento simultáneo de electricidad y calor favorezca la obtención de elevados índices de ahorro energético, así como una disminución importante de la factura energética, sin alterar el proceso productivo, ahorro energético que se incrementa notablemente si se utilizan energías residuales.

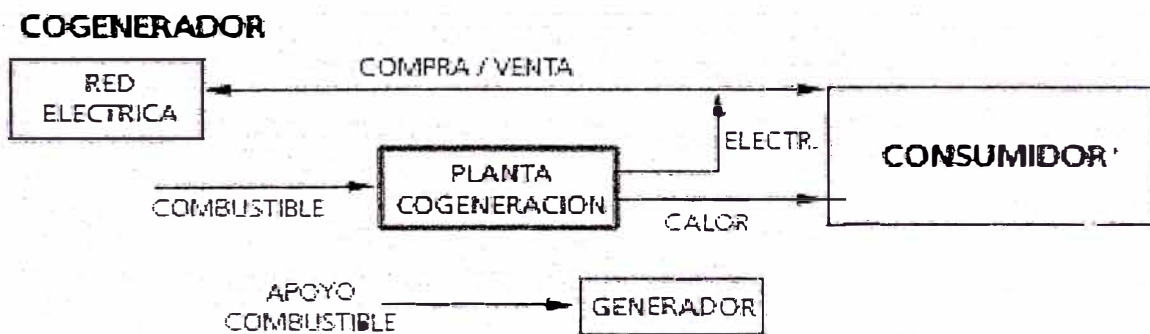


Figura 2.7. Planta de Cogeneración

En una central eléctrica tradicional los humos salen directamente por la chimenea, mientras que en una planta de cogeneración los gases de escape se enfrían transmitiendo su energía a un circuito de agua caliente/vapor. Una vez enfriados los gases de escape pasan a la chimenea.

Las centrales de cogeneración de electricidad-calor pueden alcanzar un rendimiento energético del orden del 90%. El procedimiento es más ecológico, ya que durante la combustión el gas natural libera menos dióxido de carbono (CO_2) y óxido de nitrógeno (NO_x) que el petróleo o el carbón.

2.7. Cogeneradores por todas partes

Mediante la recuperación del calor que producimos con la generación de energía, la eficiencia de la conversión crece sustancialmente. Normalmente, la maquinaria de generación de energía convencional opera a una eficiencia del 36%. Los cogeneradores a un nivel de más del 75%, a veces cuando se mejora un sistema usando cogeneración se conseguirán unos ahorros importantes en combustible y electricidad, gracias al aumento de la eficiencia, incluso del 90%.

Allí donde exista una significativa demanda de electricidad y energía térmica a lo largo de todo el año, la cogeneración es una alternativa rentable. La energía térmica no solo es usada para sistemas de calefacción, sino que incluso puede resultar más apropiado su uso en aplicaciones refrigerantes.

En el corazón de cada sistema de cogeneración encontramos la turbina primaria. Ésta servirá tanto para un pequeño motor Diesel como para una turbina de gas a gran escala. Este motor produce electricidad mediante un generador. También crea, con su funcionamiento, energía calorífica.

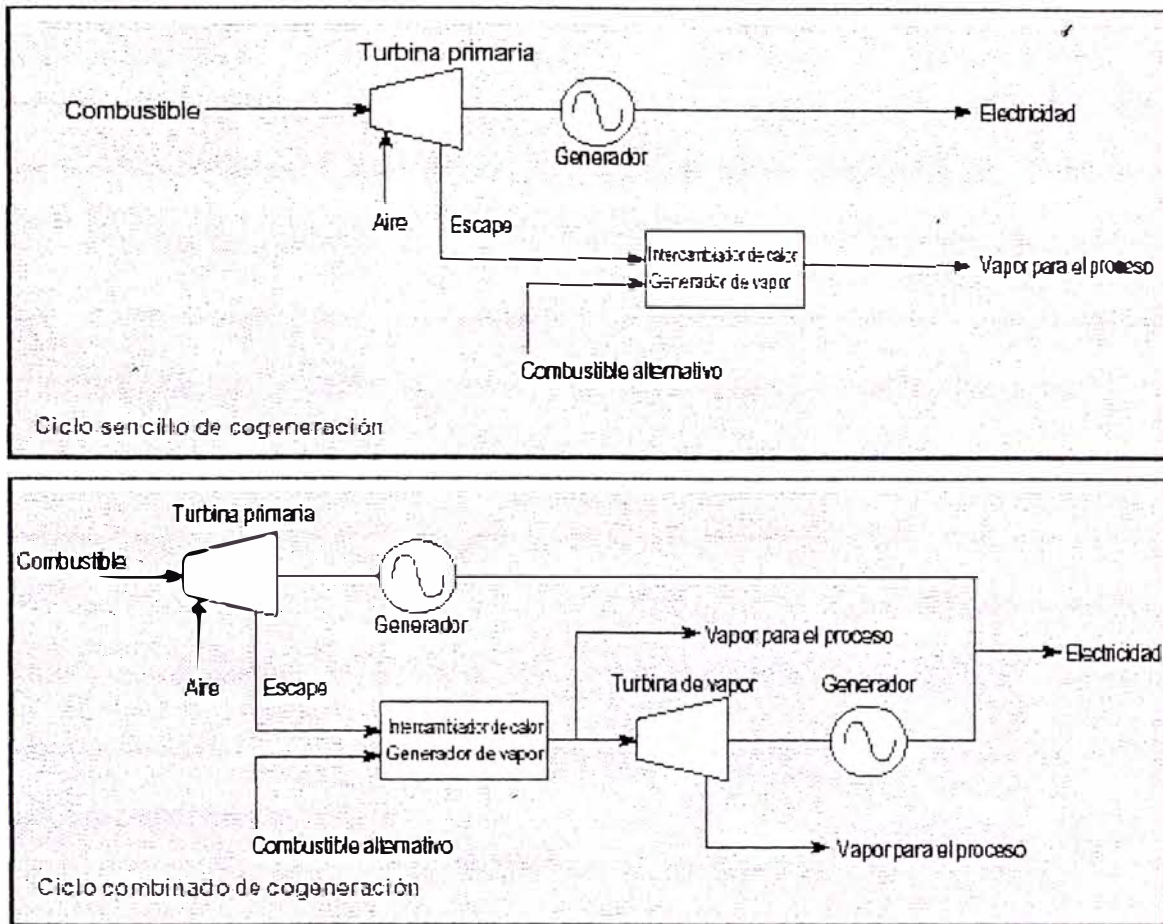


Figura 2.8. Componentes del cogenerador
Fuente: Spirax Sarco S.A.

La alta temperatura que expulsa el escape del motor, normalmente se alimenta en una caldera de residuos donde se genera el vapor o el agua caliente. Si la caldera de residuos convierte el calor en vapor, entonces hablamos de un Intercambiador de Calor Generador de Vapor y su producto podrá ser tratado como vapor convencional para cualquier tipo de instalación (ciclo sencillo).

Para instalaciones más grandes podría resultar económico maximizar la generación de electricidad añadiendo una turbina de vapor con otro generador. El reparto mediante esta turbina proporciona vapor para maquinaria y procesos de baja presión (ciclo combinado).

2.8. El elemento primario: Motor de Gas o Turbina

Cuando se escribe o se habla de cogeneración y sus aplicaciones, ya sea en una instalación concreta o en general, siempre se suele comenzar por el elemento primario; esto es, el motor, la turbina de gas o de vapor. Por el contrario cuando se estudia, cuando se gesta el proyecto, cuando se analizan las diferentes posibilidades, ha de hacerse al revés: debe comenzarse por las necesidades de calor del proceso, tanto en cantidades como en el tipo (nivel de temperatura, fluido caloportador, etc.) para a partir de ahí determinar el tipo de máquinas y su tamaño, que pueden proporcionarnos esta energía térmica. Como resultado tendremos una o varias instalaciones que para esa energía térmica, producen diferentes cantidades de electricidad y con diferente rendimiento y que por tanto tendrán diferente rentabilidad económica.

Es interesante destacar que el análisis de las necesidades de proceso no se debe restringir a la situación actual sino que hay que investigar si hay posibilidades de cambio en el aprovechamiento del calor que permitan la instalación de una planta de cogeneración más eficiente y por ende más rentable. Es importante resaltar nuevamente que la base de la cogeneración es el aprovechamiento del calor.

Una central termoeléctrica tradicional transforma la energía química contenida en un combustible fósil en energía eléctrica. Normalmente se quema un combustible fósil (carbón, petróleo, gas natural) para producir una energía térmica, energía térmica que es convertida en energía mecánica, que mediante un alternador se transforma en energía eléctrica, de alta calidad. Tradicionalmente la energía térmica se transformaba en mecánica mediante un ciclo de vapor o

mediante una turbina de gas (plantas llamadas de punta o de picos, por su facilidad para suministrar energía con rapidez en los momentos de mayor demanda). En las plantas más eficientes de este tipo el rendimiento en la producción de electricidad no supera el 45%; el resto se tira a la atmósfera en forma de gases de escape, a través de chimeneas y en los sistemas de condensación y enfriamiento del ciclo termodinámico.

La principal ventaja de las plantas de cogeneración es que permiten aprovechar el calor que no puede transformarse en energía eléctrica, y que de otro modo se tiraría. Con la cogeneración de electricidad y calor es posible alcanzar rendimiento del 85%.

La proporción de energía química convertida en energía eléctrica es baja porque la mayoría del calor se pierde al ser el calor desechado de baja temperatura, o en otras palabras, tiene poca capacidad para desarrollar un trabajo útil en una central eléctrica (baja exergía).

Recientemente se ha dado un paso muy importante en el aumento del rendimiento de las centrales eléctricas con la introducción del ciclo combinado con gas natural, que consiste en el aprovechamiento del calor en dos niveles, con dos ciclos uno de gas (con turbina de gas) y otro de vapor (con turbina de vapor). El resultado es que el rendimiento eléctrico conjunto llega al 60 %.

Pero la mayoría de los procesos industriales, comerciales o de servicios requieren calor a una temperatura relativamente baja, de forma que estos procesos sí que pueden aprovechar ese calor que de otra forma se desearía: de esta

manera, estos procesos pueden simultanear la producción de electricidad y el aprovechamiento de ese calor residual. Este diferente concepto de aprovechamiento energético es el que realizan las plantas de cogeneración, llegando a un rendimiento global que pueden oscilar entre el 75% y el 90% de la energía química contenida en el combustible.

2.9. Elementos de una Planta de Cogeneración

Los elementos comunes a cualquier planta de cogeneración son los siguientes:

1. **La fuente de energía primaria.** Suele ser gas natural, petróleo.
2. **El elemento motor.** Es el elemento encargado de convertir energía térmica o química en mecánica. Dependiendo del tipo de planta, puede tratarse de turbinas de gas, turbinas de vapor o motores alternativos.
3. **El sistema de aprovechamiento de energía mecánica.** En general suele estar formado por un alternador que la transforma en eléctrica, muy versátil y fácil de aprovechar, pero también puede tratarse de compresores, bombas, etc, donde la energía mecánica se aprovecha directamente.
4. **El sistema de aprovechamiento de calor.** Puede tratarse de calderas recuperadoras de calor de gases de escape, secaderos o intercambiadores de calor, o incluso unidades de absorción que producen frío a partir de este calor de bajo rango.
5. **Sistemas de refrigeración.** Al final, siempre una parte de la energía térmica contenida en el combustible no será aprovechada en la planta y debe ser evacuada. Las torres de refrigeración, los aerocondensadores o los intercambiadores suelen ser elementos habituales de estos sistemas. Un objetivo muy importante del diseño de una planta de cogeneración es

minimizar esta cantidad de calor desaprovechada y evacuada a la atmósfera.

6. **Sistema de tratamiento de agua.** Tanto el sistema de refrigeración como el de aprovechamiento de calor requieren unas especificaciones en las características físico-químicas del fluido que utilizan (generalmente agua) que requiere de una serie de sistemas para su tratamiento y control.
7. **Sistema de control.** Que se encarga del gobierno de las instalaciones, normalmente muy automatizadas.
8. **Sistema eléctrico.** Que permite tanto la alimentación de los equipos auxiliares de la planta, como la exportación/importación de energía eléctrica necesaria para cumplir el balance. La fiabilidad de esta instalación es muy importante, así como la posibilidad de trabajo en isla, lo que permite alimentar la fábrica en situación de deficiencia de la red externa y estar disponible inmediatamente en el momento que se restablezcan las condiciones del servicio.

El componente más importante es el motor primario, el cuál convierte la energía en energía calorífica y eléctrica. Los dispositivos de conversión más ampliamente utilizados son las turbinas de vapor, las turbinas de gas y los motores de combustión interna o alternativa.

Existe una gran variedad de equipos para la recuperación del calor de desperdicio, por lo que la selección adecuada de éste dependerá del uso que se le necesite dar. Éstos pueden ir, desde sistemas de baja presión de distribución de vapor a la salida de las extracciones de las turbinas, hasta calderas de recuperación para extraer la energía de los gases producidos en una turbina de gas.

Los sistemas de control son necesarios para la automatización del motor primario, la operación segura del sistema de recuperación de calor y en general para la operación eficiente del sistema.

2.10. Clasificación de los Sistemas de Cogeneración

2.10.1. Clasificación dependiendo de la maquina motriz

Los sistemas de cogeneración se clasifican normalmente dependiendo de la máquina motriz responsable de la generación eléctrica, es decir el tipo de motor primario empleado para generar la energía eléctrica. Las opciones posibles según este criterio son:

- Cogeneración con turbina de gas
- Cogeneración con turbina de vapor
- Cogeneración en ciclo combinado
- Cogeneración con motor alternativo

Como se ha podido observar, existe una gran variedad de equipos y tecnologías que pueden ser considerados para una aplicación específica de cogeneración. Cada tecnología tiene sus características propias, que deben ser consideradas en el contexto de los requerimientos específicos del lugar.

2.10.1.1. Cogeneración con Turbina de Gas

El esquema general de funcionamiento consiste en la combustión de un combustible en una cámara, introduciéndose en la turbina los gases resultantes, donde se extrae el máximo de su energía, transformándola en energía mecánica. La energía residual, en forma de un caudal de gases calientes a elevada

temperatura (sobre los 500°C) puede ser aprovechada para satisfacer, total o parcialmente, las necesidades térmicas de proceso.

Los gases de escape pueden ser utilizados directamente o bien en calderas de recuperación para generación de vapor a procesos. En ambos casos para poder ajustar la energía térmica proporcionada por el sistema de cogeneración con la demanda de la instalación, existe la posibilidad de incrementar el contenido energético de los gases mediante quemadores de postcombustión.

El esquema siguiente muestra una instalación convencional de cogeneración con turbina de gas, para generación de vapor con caldera de recuperación:

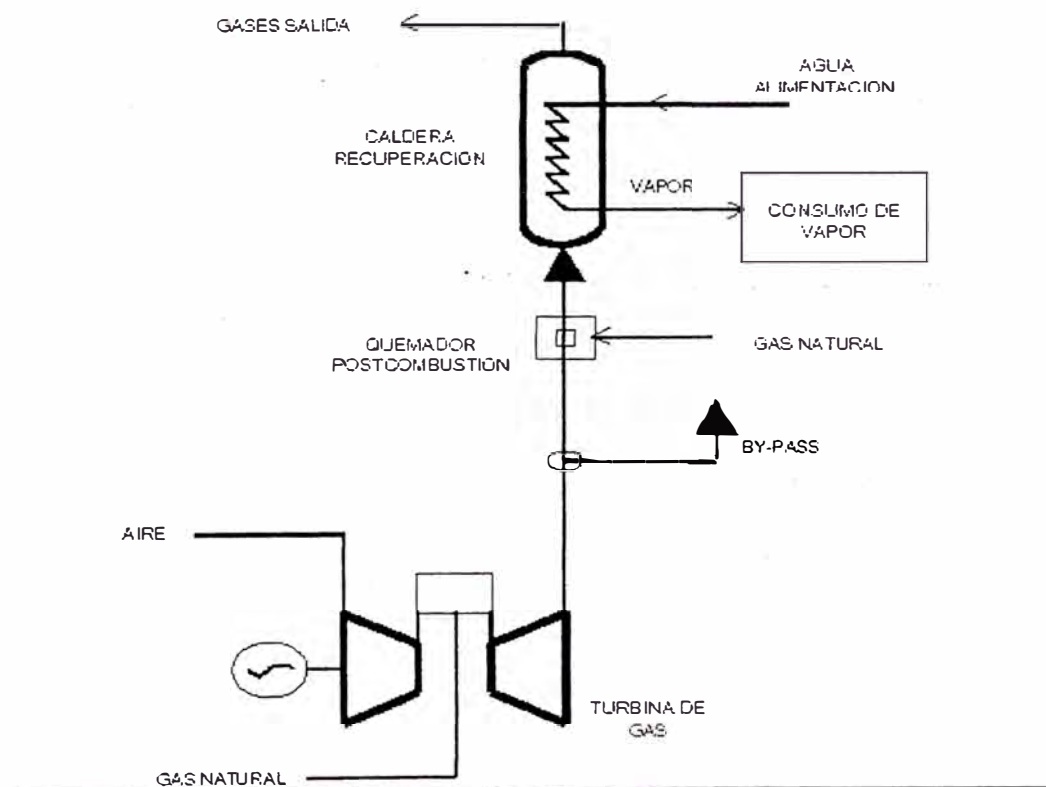


Figura 2.9. Cogeneración con Turbina de Gas

La introducción de enfriadores evaporativos en el aire de entrada y la inyección directa de vapor en la cámara de combustión de la turbina permiten aumentar el rendimiento eléctrico y/o reducir la emisiones de NOx. Señalar por último que las turbinas de gas pueden utilizar como combustible, no solamente gas, sino también combustibles líquidos, principalmente derivados ligeros del petróleo.

En los sistemas con turbina de gas se quema combustible en un turbogenerador, cediendo parte de su energía para producir energía mecánica que se transformará con la ayuda del alternador en energía eléctrica. . Su rendimiento de conversión es inferior al de los motores alternativos, pero presentan la ventaja de que permiten una recuperación fácil del calor, que se encuentra concentrado en su práctica totalidad en sus gases de escape, que está a una temperatura de unos 500°C, idónea para producir vapor en un generador de recuperación.

Cuando se presenta en el denominado ciclo simple, el sistema consta de una turbina de gas y una caldera de recuperación, generándose vapor directamente a la presión de utilización en la planta de proceso asociada a la cogeneración y su aplicación es adecuada cuando los requisitos de vapor son importantes (>10 Ton/h), situación que se encuentra fácilmente en numerosas industrias (alimentación, química, papelera). Son plantas de gran fiabilidad y económicamente rentables cuando están diseñadas para una aplicación determinada.

El diseño del sistema de recuperación de calor es fundamental, pues su economía está directamente ligada al mismo, ya que a diferencia de las plantas con motores alternativos el precio del calor recuperado es esencial en un ciclo simple de turbina de gas.

Características:

- El petróleo es quemado en un cuarto de combustión, para luego este gas ser introducido en una turbina.
- La turbina es donde la energía del gas es convertida en energía mecánica.
- La energía residual producida puede ser aprovechada, total o parcialmente, para la demanda de calor en el proceso.
- De la energía mecánica se puede producir electricidad con un alternador.
- Los gases gastados actúan como líquidos intermedios.
- Producción de vapor mediante caldera de recuperación.

2.10.1.2 Cogeneración con Turbina de Vapor

En estas turbinas, la energía mecánica se produce por expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera convencional. El sistema genera menos energía eléctrica (mecánica) por unidad de combustible que su equivalente con turbina de gas; sin embargo el rendimiento global de la instalación es superior.

Dependiendo de la presión de salida del vapor de la turbina se clasifican en turbinas a contrapresión, en donde esta presión está por encima de la atmosférica, y las turbinas a condensación, en las cuales ésta está por debajo de la atmosférica y han de estar provistas de un condensador. En ambos casos se puede disponer de salidas intermedias, extracciones, haciendo posible la utilización en proceso a diferentes niveles de presión.

Se puede utilizar cualquier tipo de combustible para la generación del vapor de partida. En estos sistemas, la energía mecánica se produce por la expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera convencional.

El uso de esta turbina fue el primero en cogeneración. Actualmente su aplicación ha quedado prácticamente limitada como complemento para ciclos combinados o en instalaciones que utilizan combustibles residuales, como biomasa o subproductos residuales que se incineran en la industria principal a la que está asociada la planta de cogeneración.

Características:

- La energía mecánica es producida por la expansión de vapor de alta presión en un quemador convencional.
- Genera menos energía eléctrica por unidad de petróleo, que en el método anterior, pero la eficiencia total es superior: 85-90%.
- Hay dos clases de turbinas, los dos tipos permiten la extracción de vapor intermedio, haciendo posible obtener vapor en varias condiciones.
- Es posible usar: Gas, petróleo, carbón, residuos, etc.

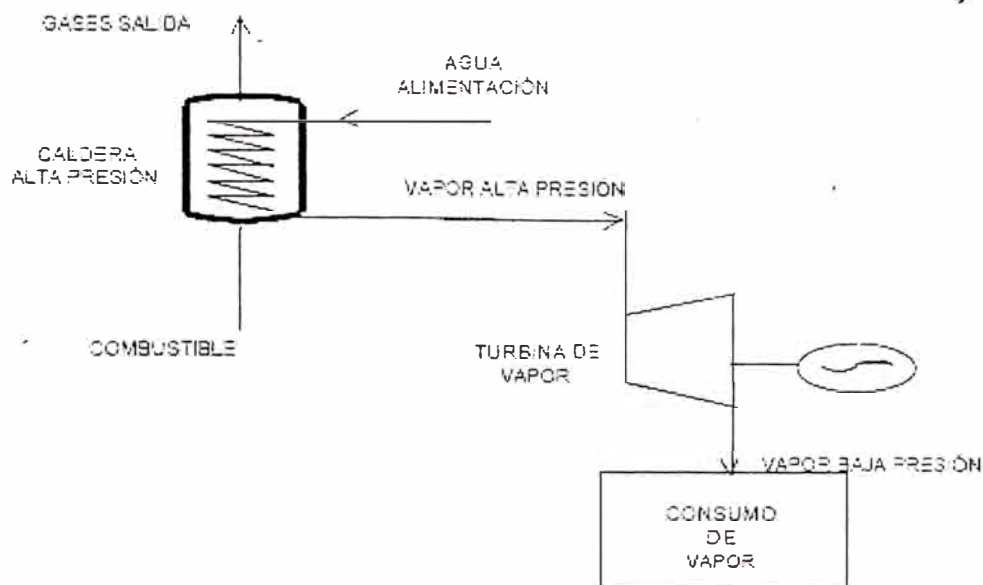


Figura 2.10. Cogeneración con Turbina de Vapor

2.10.1.3. Cogeneración en Ciclo Combinado

Consiste en la aplicación conjunta de una turbina de gas y una de vapor, con todas sus posibles combinaciones en lo referente a tipos de combustibles utilizados, quemadores de postcombustión, salidas de vapor de turbina a contrapresión o condensación, etc. El rendimiento global en la producción de energía eléctrica es mayor que las soluciones anteriores.

Un ciclo combinado ayuda a absorber una parte del vapor generado en el ciclo simple y permite, por ello, mejorar la recuperación térmica, o instalar una turbina de gas de mayor tamaño cuya recuperación térmica no estaría aprovechada si no se utilizara el vapor en una segunda turbina de contrapresión.

En un ciclo combinado con turbina de gas, el proceso de vapor es esencial para lograr la eficiencia del mismo. La selección de la presión y la temperatura del vapor vivo se hace en función de las turbinas de gas y vapor seleccionadas,

selección que debe realizarse con criterios de eficiencia y economía. Por ello se requiere una ingeniería apropiada capaz de crear procesos adaptados al consumo de la planta industrial asociada a la cogeneración, que al mismo tiempo dispongan de gran flexibilidad que posibilite su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño.

Una variante del ciclo combinado expuesto, en el que la turbina de vapor trabaja a contrapresión (esto es, descomprime el vapor entre una presión elevada y una presión inferior, siempre superior a la atmosférica) es el ciclo combinado a condensación, en el que el aprovechamiento del calor se realiza antes de la turbina de vapor, quedando ésta como elemento final del proceso. El vapor de salida se condensa en un condensador que trabaja a presión inferior a la atmosférica, para que el salto térmico sea el mayor posible. Se basa en una gran capacidad de regulación ante demandas de vapor muy variables.

El proceso clásico de regulación de una planta de cogeneración consiste en evacuar gases a través del by-pass cuando la demanda de vapor es menor a la producción y utilizar la post-combustión cuando sucede lo contrario. Bajando sensiblemente su potencia, no se consigue su adaptación a la demanda de vapor, debido a una importante bajada en el rendimiento de recuperación, ya que los gases de escapa mantienen prácticamente su caudal y bajan ostensiblemente su temperatura. Por ellos, las pérdidas de calor se mantienen prácticamente constantes, y la planta deja de cumplir los requisitos de rendimiento.

Por contra, un ciclo de contrapresión y condensación permite aprovechar la totalidad del vapor generado, regulando mediante la condensación del vapor que

no puede usarse en el proceso, produciendo una cantidad adicional de electricidad.

En el gráfico adjunto puede verse que los gases de escape de la turbina pueden tirarse a la atmósfera si no se requiere aprovechamiento térmico, a través del bypass, o pueden atravesar la caldera de recuperación, donde se produce vapor de alta presión. Este vapor puede descomprimirse en una turbina de vapor produciendo una energía eléctrica adicional. La salida de la turbina será vapor de baja presión, que puede aprovecharse como tal o condensarse en un condensador presurizado, produciendo agua caliente o agua sobrecalentada, que será utilizado en la industria asociada. Si la demanda de vapor es mayor que la que pueden proporcionar los gases de escape, puede producirse una cantidad de vapor adicional utilizando un quemador de post combustión, introduciendo una cantidad adicional de combustible (gas natural) directamente a un quemador especial con el que cuenta la caldera. Esto puede hacerse porque los gases de escape son aún suficientemente ricos en oxígeno (en un ciclo combinado con motor alternativo no podría hacerse, ya que los gases de escape son pobres en oxígeno)

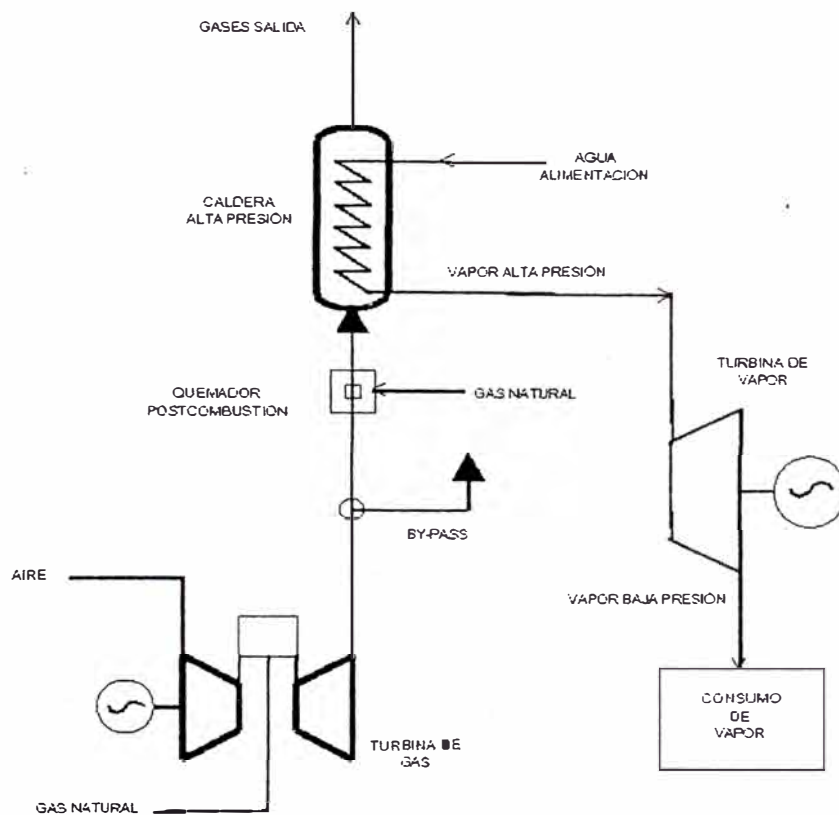


Figura 2.11. Cogeneración en Ciclo Combinado

Características:

- Consiste en la unión de los sistemas de turbina de gas y turbina de baja presión de vapor para la producción de energía eléctrica.
- Los gases gastados en la formación, son usados para producir vapor a gran presión en un quemador.
- Este vapor alimenta la turbina de vapor, produciendo vapor a baja presión para uso directo en el proceso.
- La principal ventaja de este sistema es la gran eficacia de producción de energía eléctrica, es posible la creación de energía eléctrica de 3,5 MW.

2.10.1.4. Cogeneración con Motor Alternativo

Aunque conceptualmente el sistema no difiere mucho del basado en turbinas de gas, existen sin embargo diferencias importantes. Con los motores alternativos se obtienen rendimientos eléctricos más elevados pero, por otra parte, con una mayor dificultad de aprovechamiento de la energía térmica, ya que posee un nivel térmico muy inferior, y además se encuentra más repartida (gases de escape y circuitos de refrigeración del motor).

Estos sistemas presentan una mayor flexibilidad de funcionamiento, lo que permite responder de manera casi inmediata a las variaciones de potencia, sin que ello conlleve un gran incremento en el consumo específico del motor.

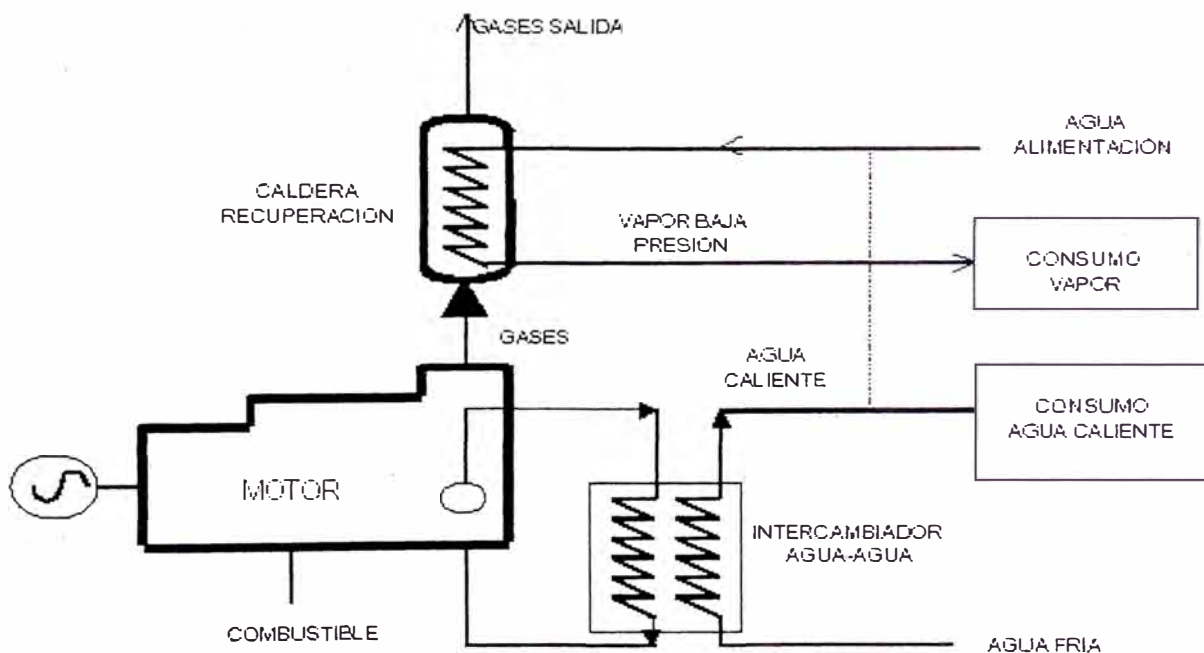


Figura 2.13. Cogeneración con Motor Alternativo

En los sistemas basados en motores alternativos, el elemento motriz es un motor de explosión. El calor recuperable se encuentra en forma de gases calientes y agua caliente (Circuito de Refrigeración).

Utilizan gas o petróleo como combustible. Son muy eficientes eléctricamente, pero son poco eficientes térmicamente. El sistema de recuperación térmica se diseña en función de los requisitos de la industria y en general se basan en la producción de vapor a baja presión (hasta 10 bares), aceite térmico y en el aprovechamiento del circuito de alta temperatura del agua de refrigeración del motor. Son también adecuadas la producción de frío por absorción, bien a través del vapor generado con los gases en máquinas de doble efecto, o utilizando directamente el calor del agua de refrigeración en máquinas de simple efecto.

Este tipo de instalaciones es conveniente para potencias bajas (hasta 15 MW) en las que la generación eléctrica es muy importante en el peso del plan de negocio. Los motores son la máquina térmica que más rendimiento tiene, pues es capaz de convertir actualmente hasta el 45% de la energía química contenida en el combustible en energía eléctrica, y se espera que en los próximos años este rendimiento aumente.

Este sistema arroja la mayor generación eléctrica por unidad de combustible consumido en un rango de 34% a 40% aunque los gases residuales son de baja temperatura: 200 a 250 °C. Sin embargo, en aquellos procesos en los que se puede adaptar, la eficiencia de cogeneración alcanza valores similares a los de las turbinas de gas. Con los gases residuales, se puede producir vapor de baja presión (alrededor de 10 a 15 kg/cm²) o agua caliente de 80 ° C a 100 °C

Las potencias unitarias oscilan entre 1,5 y 10 MW. Por asociación en paralelo de grupos generadores su potencia puede alcanzar tamaños muy superiores, pero a partir de 15 MW probablemente serán más rentables los ciclos con turbinas si se dispone de gas natural.

Las plantas con motores alternativos tienen la gran ventaja de ser muy eficientes eléctricamente y al propio tiempo la desventaja de ser poco eficientes térmicamente.

Características:

- Gran rendimiento eléctrico, pero dificultad para usar el calor que produce.
- Producción de 15-bar de vapor por el calor de los gases.
- Producción de agua caliente
- Recuperación directa de los gases.
- Generación de aire caliente.
- Permite responder casi instantáneamente a las fluctuaciones en la demanda de energía eléctrica sin grandes aumentos en el consumo del motor. Esto permite trabajar continuamente.
- Existe otra posibilidad de recuperar calor, que consiste en la producción de frío industrial o de aire acondicionado usando motores de absorción, que funcionan con vapor o agua caliente.

Tabla 2.3. Ventajas y Desventajas de los Sistemas de Cogeneración

| Tipo | Ventajas | Desventajas |
|-------------------------------------|---|--|
| Turbina de gas | Amplia gama de aplicaciones | Limitación en los combustibles |
| | Muy fiable | |
| | Elevada temperatura de la energía térmica | Tiempo de vida relativamente corto |
| | Rango desde 0,5 a 100 MW | |
| Gases con alto contenido en oxígeno | | |
| Turbina de vapor | Rendimiento global muy alto | Baja relación electricidad/calor |
| | Extremadamente segura | No permite alcanzar altas potencias eléctricas |
| | Posibilidad de emplear todo tipo de combustibles | |
| | Larga vida de servicio | Puesta en marcha lenta |
| | Amplia gama de potencias | |
| | Coste elevado | |
| Motor alternativo | Elevada relación electricidad/calor | Alto coste de mantenimiento |
| | Alto rendimiento eléctrico | |
| | Bajo coste | Energía térmica muy distribuida y a baja temperatura |
| | Tiempo de vida largo | |
| | Capacidad de adaptación a variaciones de la demanda | |

2.10.2. Clasificación según el orden de producción de electricidad y calor

Los sistemas de cogeneración pueden clasificarse de acuerdo con el orden de producción de electricidad y energía térmica (calor) en:

- Sistemas superiores o de “cabeza” (Topping Cycles).
- Sistemas inferiores o de “cola” (Bottoming Cycles).

2.10.2.1. Sistemas Superiores

Los sistemas superiores de cogeneración, que son los más frecuentes, son aquellos en los que una fuente de energía primaria (como el gas natural, Diesel, carbón u otro combustible similar) se utiliza directamente para la generación de energía eléctrica en el primer escalón.

A partir de la energía química del combustible se produce un fluido caliente que se destina para generar la energía mecánica y la energía térmica resultante, el denominado calor residual como vapor o gases calientes, es suministrada a los procesos industriales ya sea para secado, calentamiento, etc., que constituyen el segundo escalón.

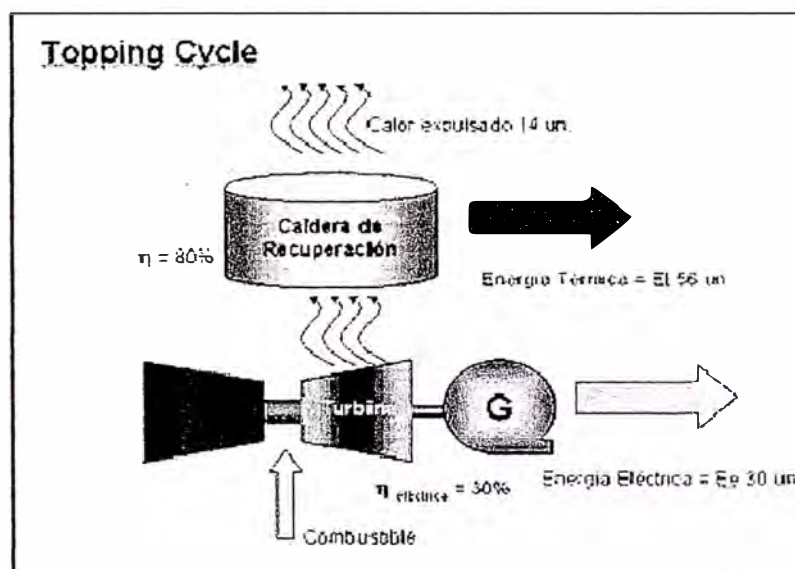
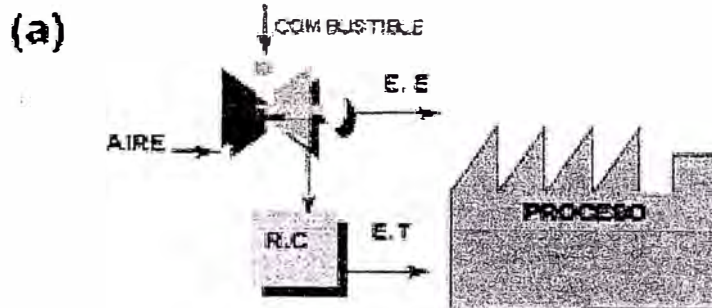


Figura 2.14. Topping Cycle
Fuente: FONAM (Fondo Nacional del Ambiente - Perú)

Los sistemas superiores, se utilizan principalmente en la industria textil, petrolera, celulosa y papel, cervecera, alimenticia, azucarera, entre otras, donde sus requerimientos de calor son moderados o bajos con temperaturas de 250 °C a 600°C

Sistema superior con Turbina de gas



Sistema superior con Turbina de vapor

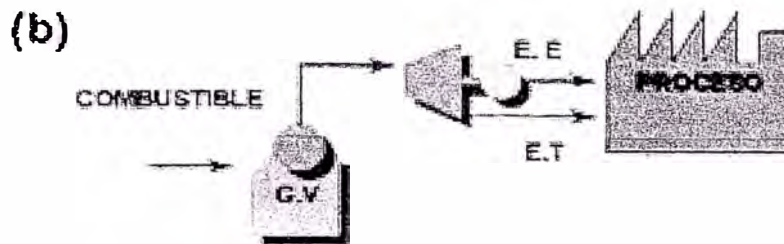


Figura 2.15. Sistemas superiores de cogeneración

2.10.2.2. Sistemas Inferiores

En los sistemas inferiores la energía primaria se utiliza directamente para satisfacer los requerimientos térmicos del proceso en primer escalón y la energía térmica residual o de desecho, se usará para la generación de energía eléctrica en un segundo escalón.

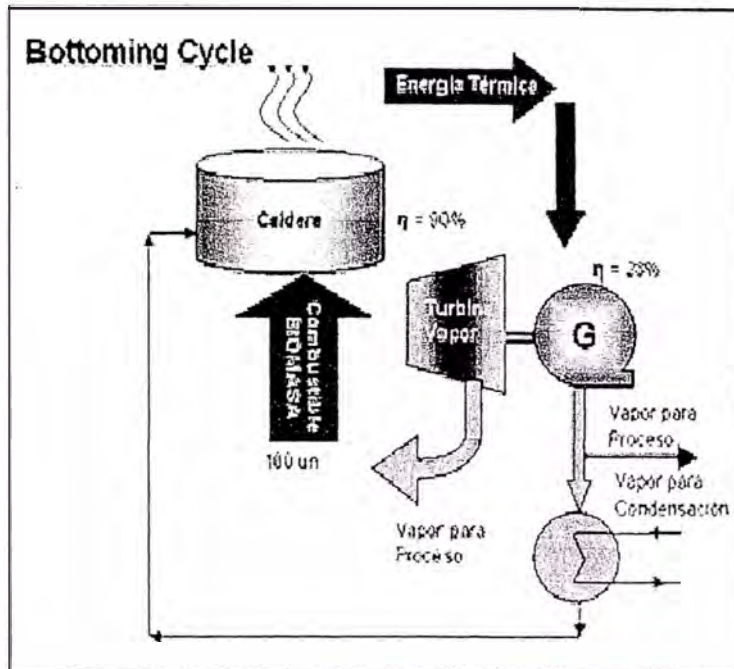


Figura 2.16. Bottoming Cycle
Fuente: FONAM(Fondo Nacional del Ambiente - Perú)

Los ciclos inferiores están asociados con procesos industriales en los que se presentan altas temperaturas como el cemento, la siderúrgica, vidriera y química. En tales procesos resultan calores residuales del orden de 900°C que pueden ser utilizados para la producción de vapor y electricidad.

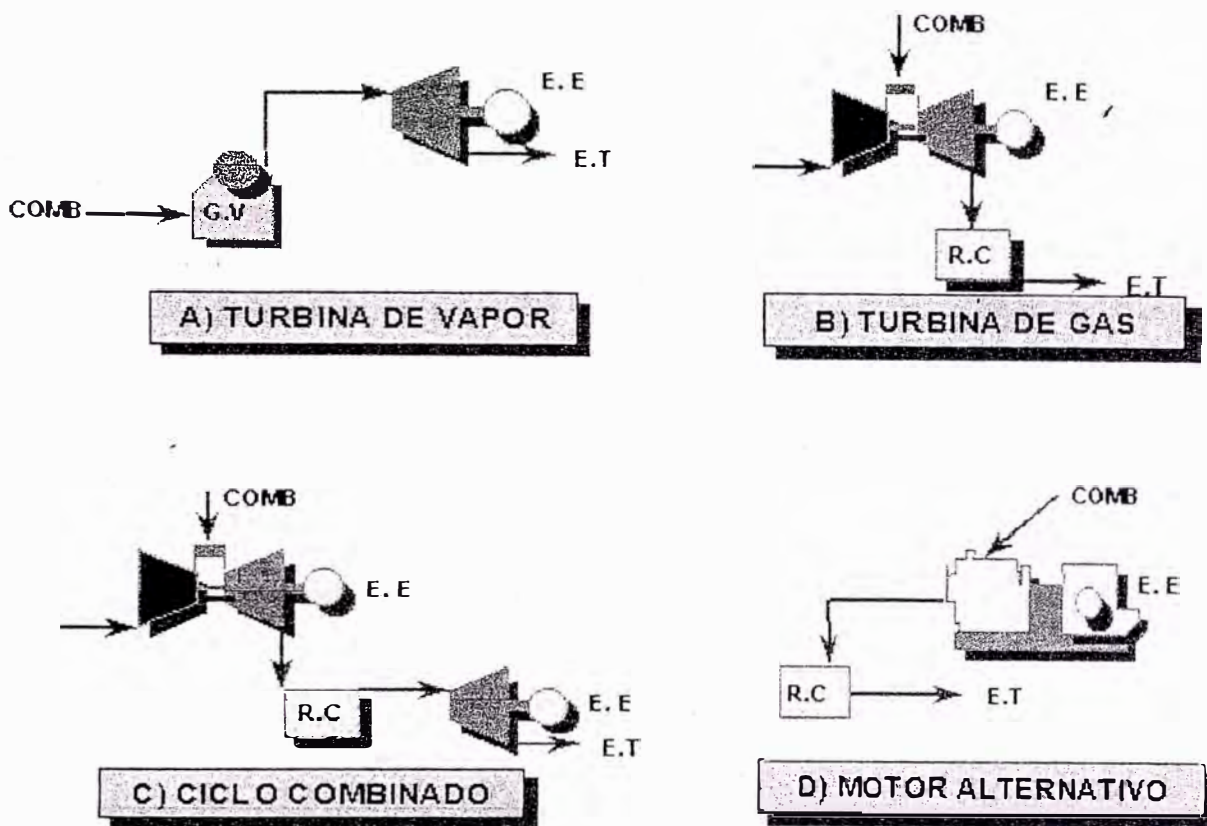


Figura 2.17. Sistemas inferiores de cogeneración

2.11. Barreras a la Cogeneración

2.11.1. Barreras Tecnológicas

Las tecnologías de cogeneración, son tecnologías maduras y conocidas desde hace años, especialmente en los países más desarrollados donde el mercado ha alcanzado una cierta madurez. Pero en el caso de Perú, éste es un mercado incipiente en el que se han detectado barreras de carácter tecnológico que impiden su crecimiento. A continuación se analizan las principales barreras detectadas:

- Falta de proyectistas, instaladores y mantenedores capacitados:

El mercado de la cogeneración en Perú es un mercado poco maduro, lo que hace que la demanda existente de los diferentes servicios asociados a estas plantas, como son servicios de ingeniería, instalación y mantenimiento, sea baja.

Además de la escasez de servicios, también se ha detectado la escasez de proyectistas, instaladores y mantenedores calificados.

Esto genera problemas técnicos en las plantas, que finalmente repercuten en la confianza que el usuario tiene en estas tecnologías. Algunos de estos problemas técnicos son: la falta de conocimiento tecnológico o proyectos mal definidos. Un problema típico asociado a un proyecto mal definido es que a la hora de integrar la planta de cogeneración en las instalaciones ya existentes, no se prevé la preparación de las infraestructuras que permiten la conexión a la red eléctrica o las que suministran el gas natural a la planta; ya que estas infraestructuras no siempre están adecuadas a los requerimientos de la nueva planta de cogeneración.

- Desconocimiento del potencial que las tecnologías de cogeneración pueden ofrecer en Perú:

El último estudio del potencial que ofrecen las tecnologías de cogeneración en Perú fue realizado en el año 2000. Para poder desarrollar un mercado, es necesario conocer cuál es el potencial de ese mercado, para que así, los diferentes actores conozcan las ventajas técnicas y de ahorro, tanto energético como económico, que ofrece la implantación de las tecnologías de cogeneración.

2.11.2. Otras Barreras

- Incertidumbre en el suministro del gas natural:

El gas natural es uno de los combustibles que más se utiliza en instalaciones de cogeneración, por lo que la incertidumbre en el suministro de este combustible supone una barrera muy importante al desarrollo de estas tecnologías. La red que

abastece de gas natural al país no es suficiente para satisfacer la alta demanda existente en el país.

- Regulatorias:

La falta de un marco regulatorio adecuado es otra barrera a tener en cuenta. Aunque Perú, sí dispone desde 2005 de un Reglamento sobre la Cogeneración, éste no está consiguiendo su objetivo de conseguir desarrollar el sector de la cogeneración en el país.

- Económicas:

Los altos costes iniciales de las instalaciones de cogeneración, así como los elevados períodos de amortización, se presentan como una importante barrera al desarrollo de este mercado.

- Educativas e información:

El desconocimiento de la tecnología por parte de los usuarios disminuye la demanda del uso de estos sistemas. En otras ocasiones sucede que los potenciales usuarios conocen la existencia de la tecnología pero no tienen toda la información, por lo que existe una desconfianza a la hora de usar esta tecnología. Si se quiere desarrollar el mercado es necesario que exista un buen conocimiento.

CAPITULO 3

DESCRIPCION GENERAL DE LA INDUSTRIA TEXTIL

3.1. Contexto Socio Económico del Perú

En los últimos años han sido de grandes cambios para nuestro país, y todo parece indicar que este año también lo será. Aunque somos testigos de un importante crecimiento económico, eso no quita que, al mismo tiempo, muchos de los mismos problemas sociales se mantienen a la vez que muchos nuevos problemas aparecen. El trabajo de las organizaciones del sector social se ve inevitablemente afectado por todos estos cambios, y por eso es importante detenerse un momento para evaluar el contexto en el que nos encontramos, y las oportunidades y desafíos que eso genera.

Tabla 3.1. Información sobre Perú

| PERU | 2000 | 2005 | 2007 | 2008 |
|---|---------|---------|---------|---------|
| General Data | | | | |
| Población, (millones) | 26,00 | 27,84 | 28,51 | 28,84 |
| Crecimiento de población (anual %) | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,1 |
| Superficie del país(miles de km ²) | 1.285,2 | 1.285,2 | 1.285,2 | 1.285,2 |
| Energía y Medioambiente | | | | |
| Uso de energía (kg equivalentes de petróleo per capita) | 482 | 498 | .. | .. |
| Emissiones de CO2 (toneladas métricas per capita) | 1,1 | 1,3 | .. | .. |
| Consumo de energía eléctrica (kWh per capita) | 678 | 831 | .. | .. |
| Economía | | | | |
| PIB (billones de US\$ corrientes) | 53,29 | 79,39 | 107,29 | 127,43 |
| Agricultura, valor añadido (% del PIB) | 8 | 7 | 7 | 7 |
| Industria, valor añadido (% del PIB) | 30 | 34 | 37 | 38 |
| Servicios, etc., valor añadido (% del PIB) | 62 | 58 | 56 | 55 |
| Crecimiento anual del PIB (%) | 3,0 | 6,8 | 8,9 | 9,8 |
| Inflación, deflactor del PIB (% anual) | 3,7 | 3,0 | 2,0 | 1,1 |
| Exportación de bienes y servicios (% del PIB) | 16 | 25 | 29 | 29 |
| Importación de bienes y servicios (% del PIB) | 18 | 19 | 22 | 27 |
| Inversiones extranjeras directas, flujos netos (US\$ corrientes) (millones) | 810 | 2.579 | 5.343 | .. |

Fuente: Banco Mundial

3.2. Contexto Energético del Perú

El consumo final de energía en Perú en 2007 fue de 518.982 TJ, superando en 20.861 TJ el consumo de 2006. Los hidrocarburos, con un 56,9% del total, es la fuente de energía que tiene una mayor participación, seguido de la electricidad, la cual tiene una componente muy importante de energía hidráulica:

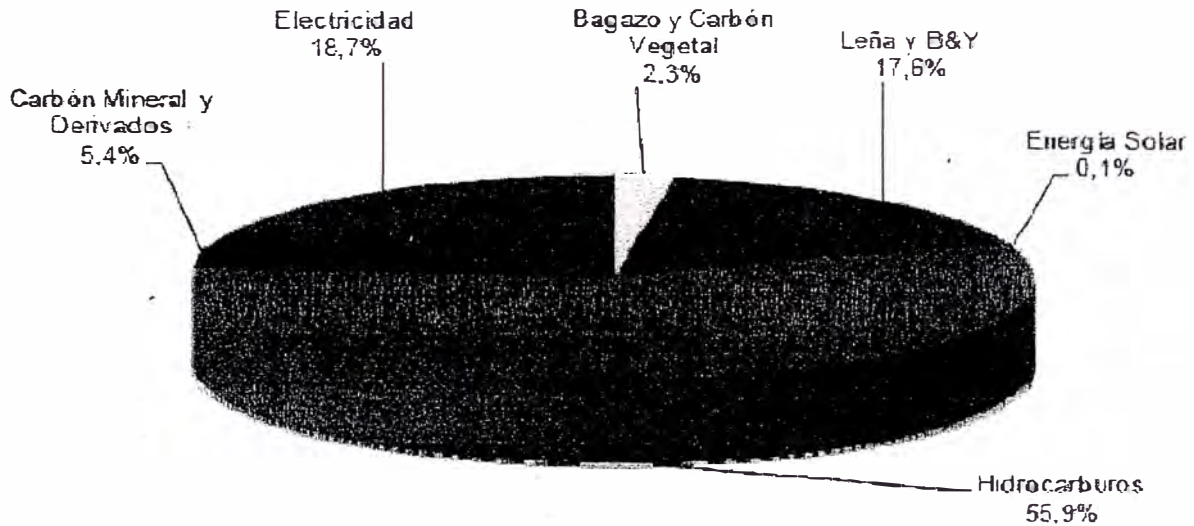


Figura 3.1. Consumo final de energía, año 2007 (Fuente: MEM)

Respecto a la energía eléctrica, la potencia instalada en 2007 alcanzó los 7.059 MW, produciéndose 29.857 GWh de energía. Y efectivamente, la energía hidráulica es la fuente que aporta una mayor contribución a la generación de electricidad en Perú.

Aunque se observa que durante los últimos 5 años, el gas natural ha aumentado muy significativa su participación en la generación de energía eléctrica, tal y como muestra la siguiente figura:

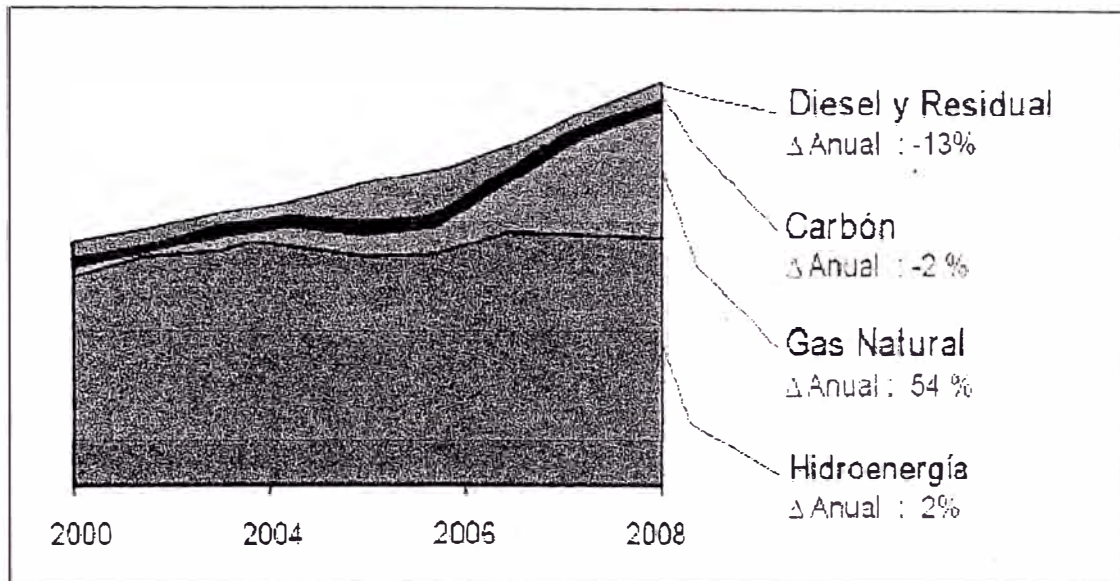


Figura 3.2. Evolución de la fuente energética utilizada para la generación de electricidad (Fuente: MEM)

Este aumento del gas natural en la matriz energética es debido al uso y explotación del gas natural de Camisea, la principal reserva de gas del país.

Por otro lado, la demanda anual de electricidad, de un promedio anual de 8%, es debido entre otros aspectos al intenso desarrollo de la actividad minera y manufacturera en la etapa anterior a la crisis internacional. Aún cuando las condiciones macroeconómicas del país mantienen este nivel de crecimiento y en el último quinquenio las inversiones en electricidad han crecido una tasa promedio anual de 27%, existe la necesidad de acelerar la ejecución de nuevos proyectos para asegurar el abastecimiento de electricidad.

3.3. Política Energética Peruana

La política energética en el Perú se desarrolla según los siguientes lineamientos principales:

- Diversificar la matriz energética para asegurar el abastecimiento confiable y oportuno a la demanda de energía, a fin de garantizar el desarrollo sostenible del país.
- Promover la inversión privada en el sector energético con reglas claras y estables.
- Fomentar y ejecutar las obras de energización en las zonas rurales y aisladas del país para ampliar la cobertura de la demanda y mejorar la calidad de vida de la población.
- Fomentar el uso eficiente de la energía.
- Promover la integración energética regional.

El objetivo del gobierno peruano es pasar de una matriz energética basada fundamentalmente en hidrocarburos a conseguir la siguiente distribución energética, donde la energía renovable, el petróleo y el gas natural participan a partes iguales:

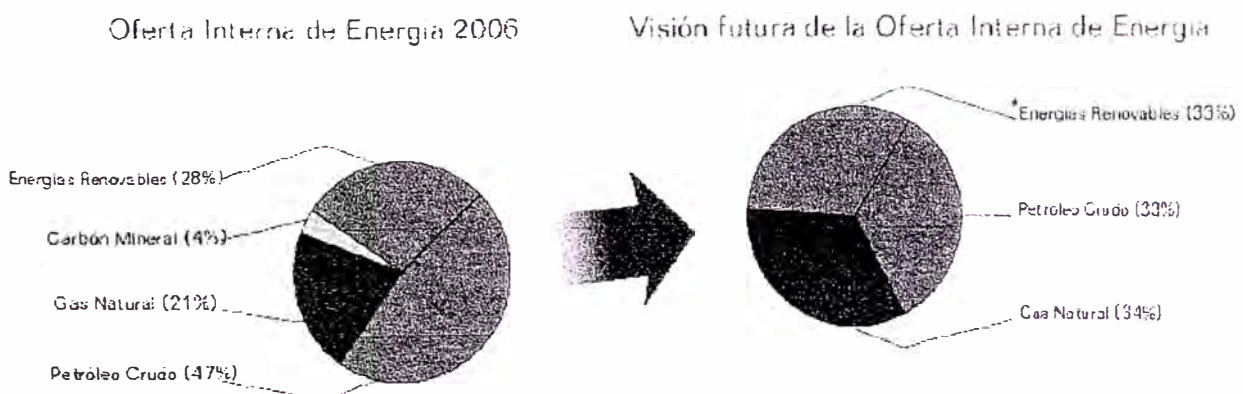


Figura 3.3. Visión futura de la matriz energética (Fuente: MEM)

La aprobación de sendas leyes sobre la promoción para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables y otra sobre el uso eficiente de la energía, muestra la apuesta que el gobierno peruano está llevando a cabo en el sector de las energías renovables y de la eficiencia energética.

3.4. Marco Regulatorio y Legislativo Peruano

El Perú es un país que cuenta con leyes específicas en materia de energías renovables y de eficiencia energética:

- Decreto Legislativo N°1.002, de Mayo del 2008, “Ley para Promover la Generación de Electricidad con Energía Renovables”.
- Ley N° 27.345, de Septiembre del 2000, “Ley de promoción del uso eficiente de la energía”.

Respectivamente, se declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de nueva generación eléctrica mediante el uso de Recursos Energéticos Renovables (RER) y la promoción del uso eficiente de la energía.

El Plan referencial del uso eficiente de la energía 2009 – 2018 promueve la implementación de acciones de eficiencia energética en todos los sectores de consumo a través de las buenas prácticas y el uso de tecnología eficiente.

3.5. Sistema Eléctrico Peruano

El Sistema Eléctrico Nacional posee una cobertura de 80% en el ámbito nacional, con una potencia instalada de 7.059 MW. El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) posee una potencia instalada de 5.983 MW con una producción de 27.709 GWh, con una máxima demanda registrada de 3.966

MW en el año 2007. En la siguiente figura se ilustra el sistema eléctrico nacional y los principales datos para el año 2007:

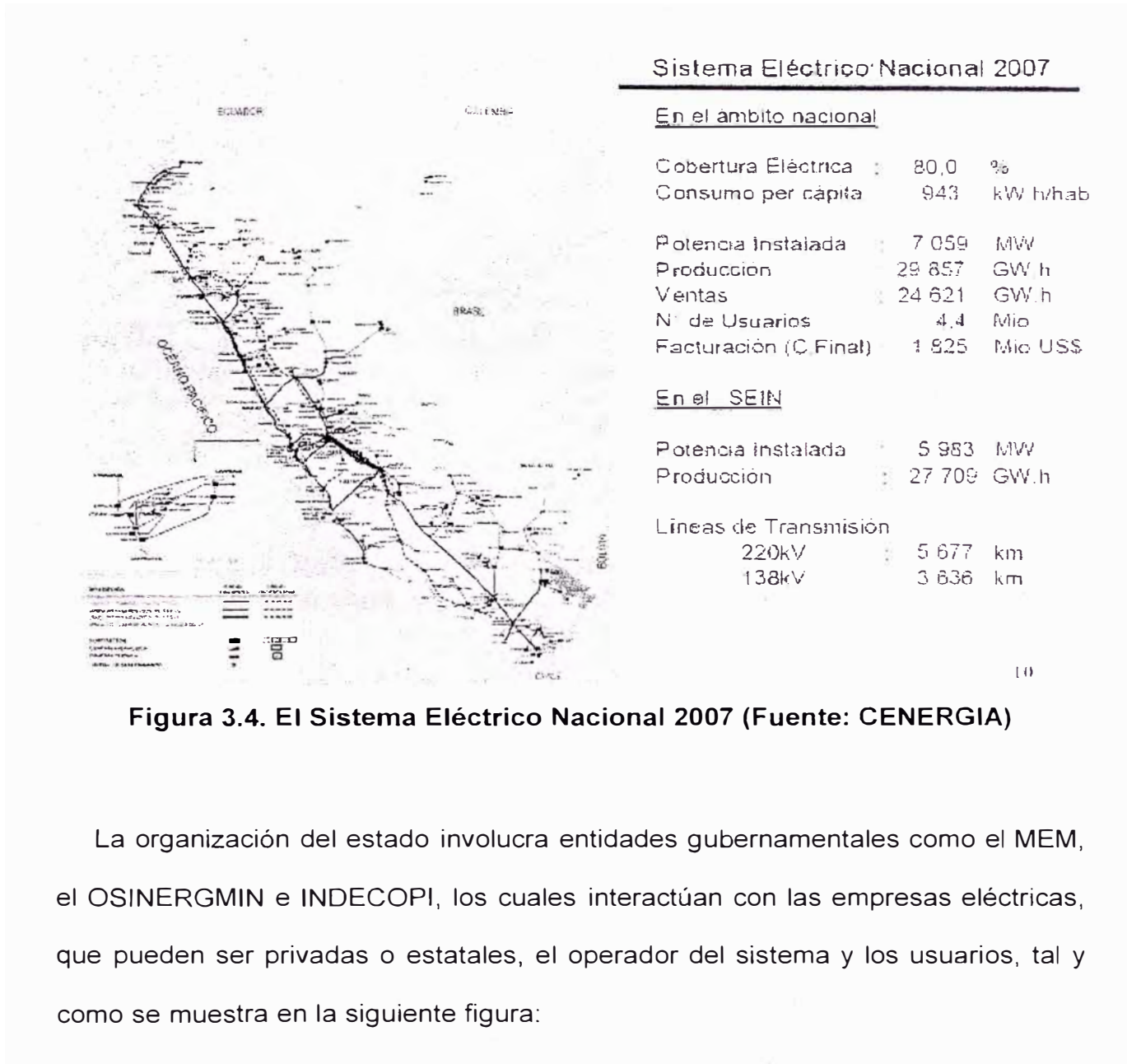


Figura 3.4. El Sistema Eléctrico Nacional 2007 (Fuente: CENERGIA)

La organización del estado involucra entidades gubernamentales como el MEM, el OSINERGMIN e INDECOPI, los cuales interactúan con las empresas eléctricas, que pueden ser privadas o estatales, el operador del sistema y los usuarios, tal y como se muestra en la siguiente figura:

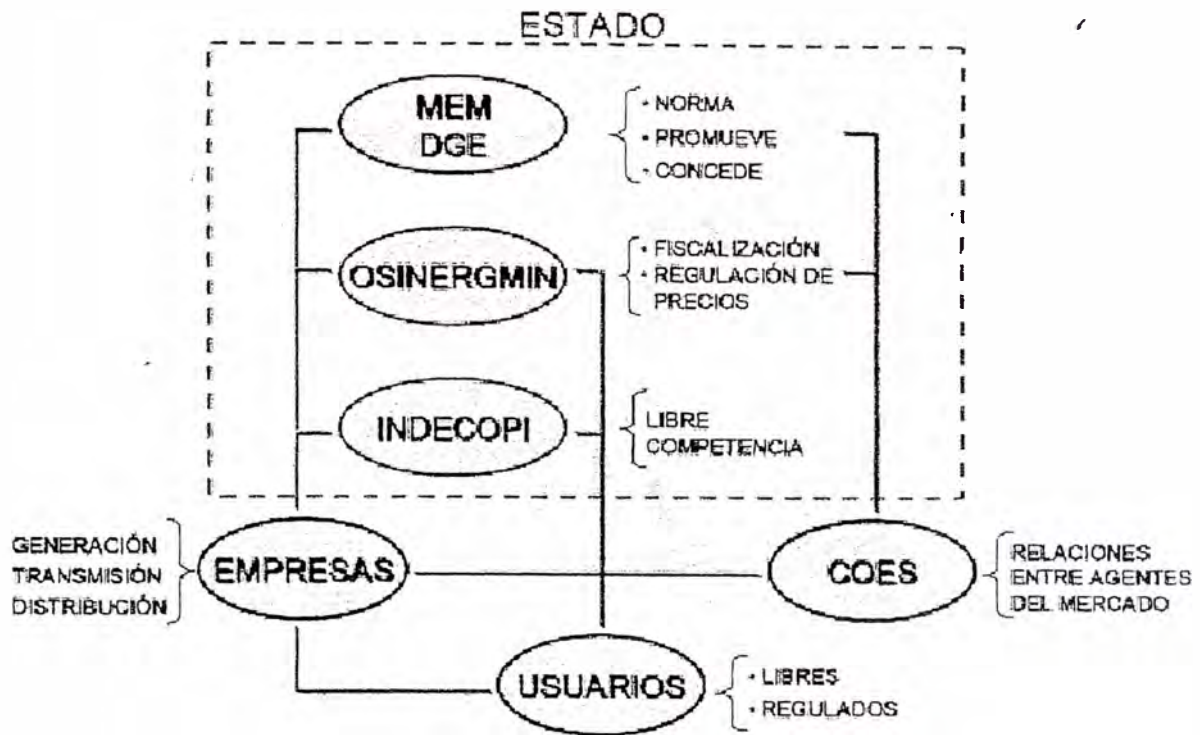


Figura 3.5. Organización del sistema eléctrico (Fuente: CENERGIA)

En cuanto a la potencia efectiva del SEIN, la oferta proyectada al año 2008 es 5.207 MW lo que implicaría una reserva de potencia de 844 MW.

El mercado eléctrico está compuesto de usuarios libres (46%) y regulados (54%), tal como se muestra en la figura siguiente.

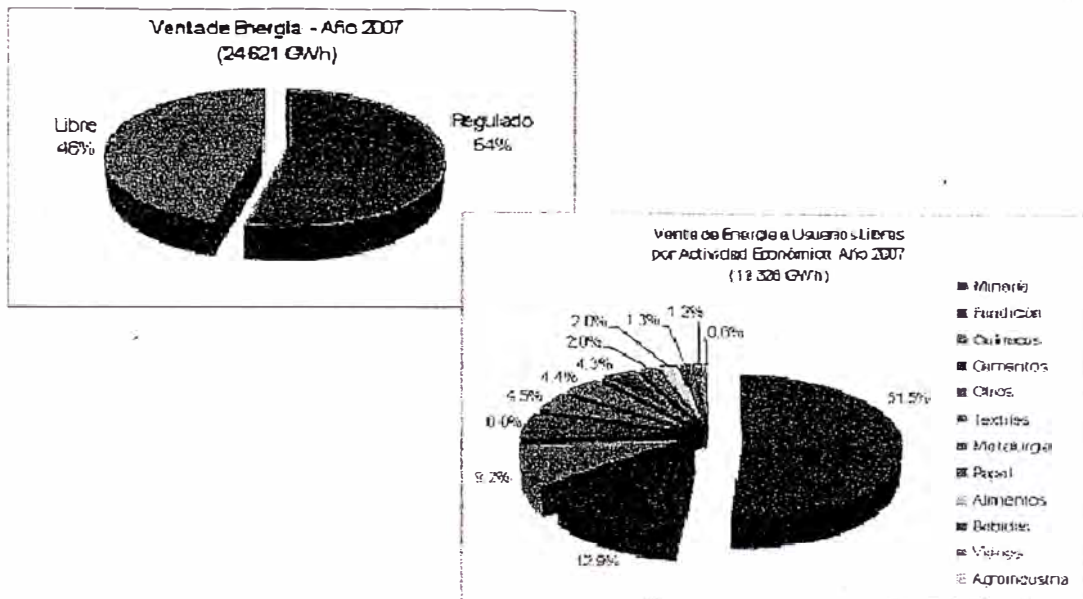


Figura 3.6. Mercado Eléctrico, 2007 (Fuente: CENERGIA)

3.6. Sector Productivo y de Servicios

El Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009-2018 tiene como objetivo la reducción del consumo en un 15% hasta el año 2018 en relación a la demanda base proyectada hasta ese año, sin afectar la producción o servicios de los diversos sectores económicos ni el confort del sector residencial.

En la Tabla 3.2., se puede observar que los ahorros anuales que se pueden obtener en 10 años ascenderían a 5291 millones de dólares, los cuales podrían obtenerse con una inversión de 673 millones (una relación aproximada de 8 a 1). Las emisiones que se evitarían ascenderían 35 millones de toneladas (de las cuales el sector residencial es el que más contribuye). En la Tabla 3.3., se puede observar que es en el segmento de los hidrocarburos, en el que se pueden obtener los mayores ahorros, lo que indica que deberíamos priorizar nuestros esfuerzos en dicho sector. En la Tabla 3.4., podemos ver que se pueden lograr reducciones del orden de 600 MW en la demanda eléctrica, si iniciamos programas de iluminación

eficiente y sustitución de motores convencionales por eficientes. A esto se sumaría la potencia eléctrica que se podría generar con la cogeneración, por lo que su promoción es una de las actividades a la que debemos darle prioridad.

Tabla 3.2. Resumen de Reducción de la Demanda de Energía con Programas de Eficiencia Energética

| SECTORES | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | TOTAL |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1. Reducciones con programas de eficiencia (TJx1000) | | | | | | | | | | | |
| Sector Residencial | 2.76 | 4.84 | 9.57 | 13.96 | 18.92 | 18.92 | 18.92 | 18.92 | 18.92 | 18.92 | 143.63 |
| Sector Productivo y Servicios | 3.77 | 7.67 | 11.56 | 16.46 | 17.95 | 17.95 | 17.95 | 17.95 | 17.95 | 17.95 | 147.14 |
| Sector Público | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.91 |
| Sector Transporte | 1.15 | 2.39 | 3.76 | 5.23 | 6.80 | 8.48 | 10.24 | 12.20 | 14.27 | 16.43 | 80.95 |
| Total | 7.73 | 15.00 | 23.99 | 35.74 | 43.76 | 45.44 | 47.20 | 49.16 | 51.23 | 53.39 | 372.64 |
| 2. Reducción emisiones (X1000 TM CO ₂ /año) | 779 | 1499 | 2362 | 3468 | 4262 | 4381 | 4506 | 4645 | 4791 | 4945 | 35636 |
| 3. Ahorros económicos anuales (x 10 ⁷ USA \$) | 121 | 231 | 347 | 490 | 571 | 612 | 655 | 703 | 754 | 807 | 5291 |
| 4. Ingresos por certificados carbono (x10 ⁵ USA \$) | 8 | 14 | 20 | 27 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 251 |
| 5. Inversiones requeridas (x10 ⁵ USA \$) | 97 | 100 | 124 | 185 | 98 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 673 |

Fuente: Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009-2018 (MINEM)

Tabla 3.3. Ahorro Anual por Energéticos en el Año 2018 (TJx1000)

| Sector | Residencial | | | Productivo y Servicios | | | Público | Transporte | Total | % |
|---------------------------|-------------|-------------|--------------------|------------------------|----------|-------------|--------------|-------------|-------|--------|
| | Cocina | Iluminación | Hábitos de consumo | Motores | Calderas | Iluminación | Cogeneración | Iluminación | | |
| Ahorro de biomasa | 16.53 | | | | | | | | 16.53 | 30.97% |
| Ahorro de hidrocarburos | | | | | 8.75 | | 5.95 | | 16.43 | 58.31% |
| Ahorros energía eléctrica | 0.80 | 1.16 | 0.41 | 1.40 | | 1.84 | | 0.10 | 5.73 | 10.73% |

Fuente: Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009-2018 (MINEM)

Tabla 3.4. Resumen de Reducción de la Demanda Eléctrica por Sectores (MW)

| SECTORES | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1. RESIDENCIAL | | | | | | | | | | |
| Iluminación eficiente | 109 | 113 | 116 | 121 | 121 | 121 | 121 | 121 | 121 | 121 |
| Termas eléctricas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mejora de hábitos de consumo | 20 | 40 | 60 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| 2. PRODUCTIVO Y SERVICIOS | | | | | | | | | | |
| Sustitución motores | 20 | 40 | 60 | 80 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Cogeneración | 20 | 40 | 90 | 160 | 196 | 196 | 196 | 196 | 196 | 196 |
| Iluminación eficiente | 27 | 70 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 |
| 3. PUBLICO | | | | | | | | | | |
| Iluminación eficiente | 3 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| TOTAL | 200 | 309 | 417 | 543 | 602 | 602 | 602 | 602 | 602 | 602 |

Fuente: Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009-2018 (MINEM)

En este sector se promoverá la optimización del consumo de energía con el objeto de mejorar la competitividad de los sectores productivos y de servicios, a fin de enfrentar en mejores condiciones, la competencia que se generará en los próximos años como consecuencia de los tratados de libre comercio y la globalización de la economía mundial.

Con esta finalidad se propone en este capítulo una serie de acciones, habiéndose calculado el impacto que tendrán los proyectos referidos a los programas de sustitución de 30000 motores eléctricos, mejoramiento de operación del 60% de las calderas del país, la dinamización de la utilización de la cogeneración y la utilización de la iluminación eficiente (reemplazo de fluorescentes T12 por T8, balastos electromagnéticos por electrónicos y focos incandescentes por focos ahorradores). También se propone dinamizar la utilización de tecnología de cogeneración, que puede introducir al sistema 196 MW.

En el mediano y largo plazo se deberían desarrollar mecanismos financieros para el logro de los objetivos del presente Plan Referencial.

La siguiente gráfica nos indica las reducciones que se lograrían con los proyectos a implementarse:

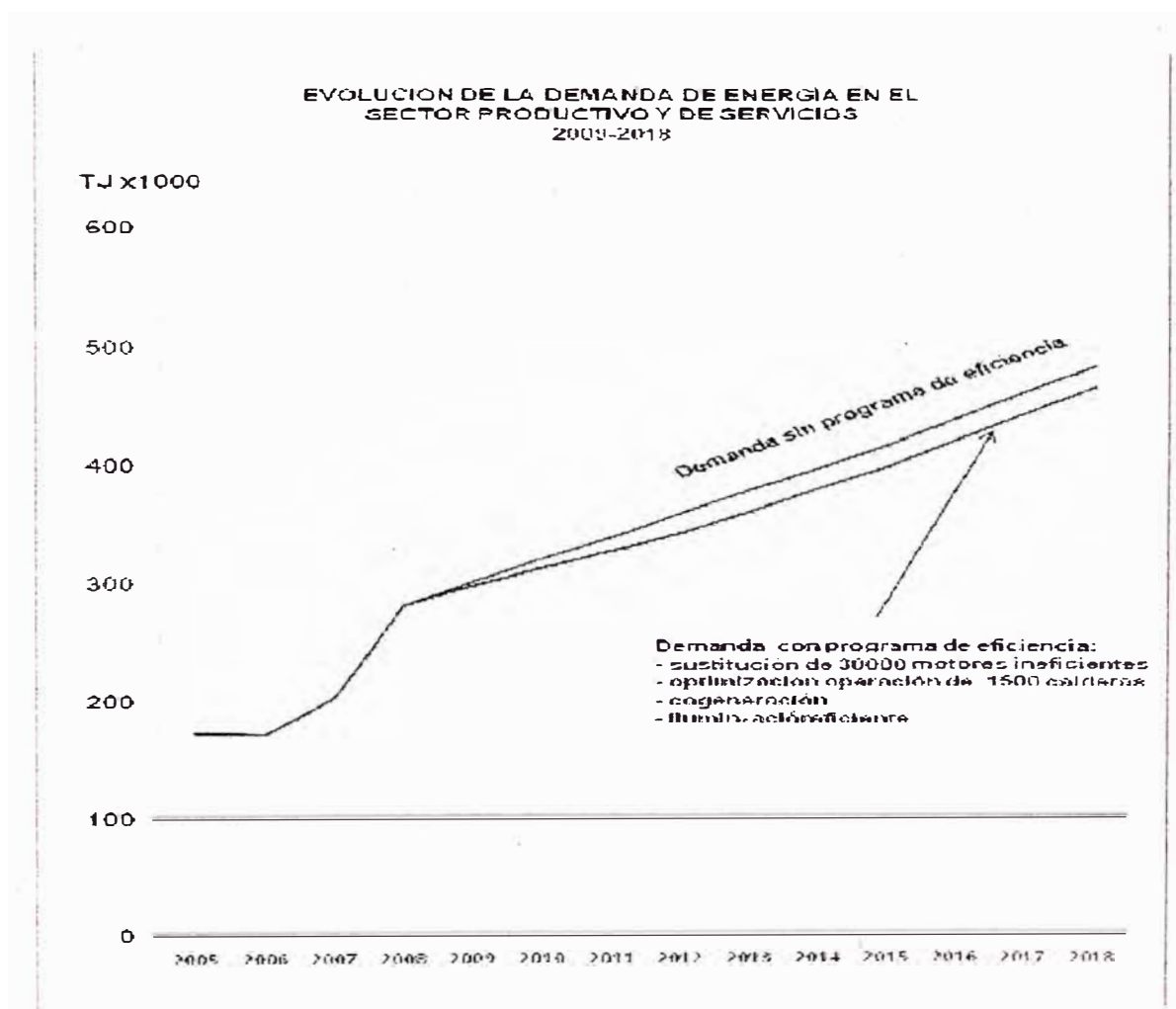


Figura 3.7. Evolución de la Demanda de Energía en el Sector Productivo y de Servicios

Fuente: Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009-2018 (MINEM)

Como se puede observar en el gráfico siguiente, en el período 1995-2007, la intensidad energética total se redujo en 23.5% y del sector productivo bajó en su conjunto en un 5.75% lo que es positivo para el país, toda vez que se consume una menor cantidad de energía para producir una unidad del PBI. Los subsectores anteriormente señalados, que tenían menores eficiencias comenzaron a mejorar, como el minero metalúrgico cuya intensidad disminuyó en 4.7%, el agropecuario, agroindustrial y el pesquero en 66%, mientras que el sector industrial en ese mismo período incrementó su intensidad en 29%, lo que significa que está creciendo el consumo energético pero sin eficiencia.

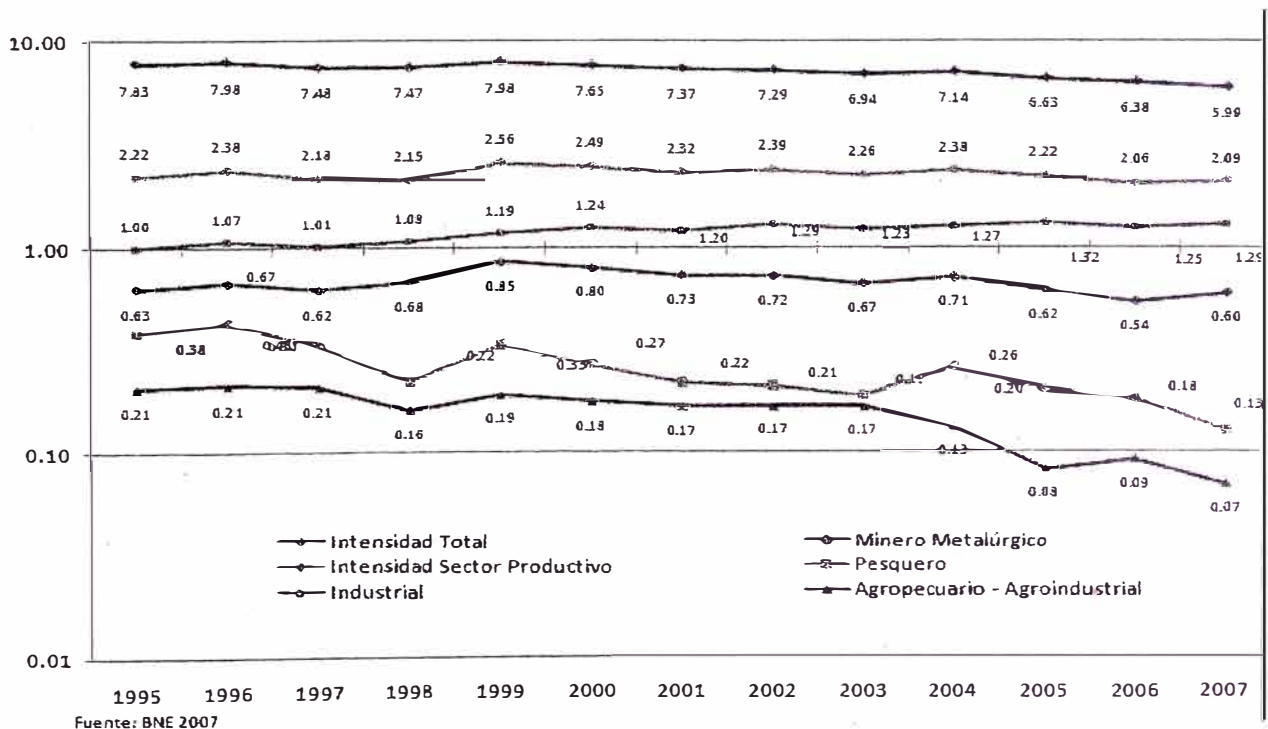


Figura 3.8. Evolución de las Intensidades Energéticas Relativas del Sector Productivo

Fuente: BNE 2007

En la siguiente Tabla 3.10., se puede observar que los segmentos en los cuales podrían obtenerse mayor ahorro serían el minero metalúrgico, el sector industrial y el comercial, por cuanto constituyen el 91.2% de los 202098 TJ que consume el sector anualmente.

Tabla 3.5. Consumo de Energía en el Sector Productivo y de Servicios 2007 (TJ)

| | | |
|-------------------------------|--------|-------|
| INDUSTRIAL | 111923 | 55.4% |
| MINERO METALÚRGICO | 51591 | 25.5% |
| COMERCIAL | 20746 | 10.3% |
| PESQUERO | 11515 | 5.7% |
| AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL | 6324 | 3.1% |
| TOTAL | 202098 | 100% |

Fuente: BNE - 2007

3.7. Sector Textil Peruano

3.7.1. Planta Textil

Existen muy diversas plantas, e incluso unas especializadas en solo hilo o solo tela o solo teñido. Hay plantas donde el ambiente (humedad y temperatura) requiere ser controlado, para lo cual están los equipos humidificadores y aire acondicionado. El vapor de agua se genera a partir de calderas, las hay de full-oil (petróleo), gas o carbón. El aire en algunas plantas requiere que sea sostenible y seco, lo cual hace que se requiera compresores y secadores.

Las plantas que demandan grandes consumos de agua generalmente tienen montado planta de enfriamiento de agua, la cual una vez fría la vuelven a reciclar para enfriar nuevamente, también planta de tratamiento de aguas residuales para dar cumplimiento a control ambiental.

En una planta textil integral podemos encontrar variedad de recursos empleados como energéticos (electricidad, agua, vapor, aire). Una buena planta esta conformada por: 1.-Hilandería 2.- Tintorería 3.-Tejeduría 4.-Acabados 5.-Empaque

1. Hilandería

Está integrada por:

1.1. APERTURA: emplea maquinas cargadoras y abridoras.

1.2. CARDADO: emplea maquinas compuestas por rodillos metálicos de guarnición (especie de serruchos) y rodillos disgregadores y una zona de entrega de la fibra cardada.

1.3. PREPARACION: emplea maquinas llamadas manuales, estiradoras, guías de control o preparaciones, son equipos con unas zonas de alimentación, peinado y llenado. Generalmente una línea de preparación esta compuesta de mínimo tres o cuatro maquinas que son muy parecidas.

1.4. HILATURA: son equipos compuestos por una zona de estirado, otra de torsión y una de envoltura. Generalmente estos equipos vienen conformados por muchos puestos o unidades de hilado a la vez y por lado y lado pueden contener hasta 100 unidades por cada lado.

1.5. ENCONADO: equipos compuestos por una zona de envoltura, una de tensión y purgado, una de alimentación y una de almacenamiento.

1.6. RETORCIDO: son equipos compuestos por una zona de alimentación, otra de torsión y una de llenado. Generalmente estos equipos vienen conformados por muchos puestos o unidades de retorcido a la vez y por lado y lado pueden contener 60 o mas unidades por cada lado.



Figura 3.9. Hilandería
Fuente: Nuevo Mundo S.A.

2. Tintorería

Integrada por:

2.2. LAVANDERIA: equipos compuestos por tinas de hasta 5000 litros, pueden regular la temperatura del agua hasta ebullición. La temperatura la obtienen a partir de la inyección de vapor de agua, al agua. Generalmente tienen rodillos para mantener en movimiento el textil. También están las lavadoras de carga frontal para lavados en seco, con capacidad hasta 300 libras.

2.3. TINTURA: equipos con forma de autoclaves (imaginase como una_s ollas de la cocina a presión pero enormes con capacidades de 300 kilos o mas). Equipos tipo tubos de movimiento constante del textil, con capacidades de 300 kilos o mas. Todos estos emplean: A)bombas de presión para mover el agua y con la posibilidad de alternar el sentido de flujo B)agua aprox. 5000 litros C)vapor de agua para calentamiento del agua máx. 140 °C

2.4. CENTRIFUJADO: son equipo tipo lavadora convencional de alta rotación para exprimir el material teñido, capacidades variadas 200 kilos o más.

2.5. VAPORIZADO: autoclaves para dar termo fijación o volumen a los hilos, emplean vapor de agua para elevar la temperatura y bomba de vacío para crear en la recamara sellado total y así evitar que el vapor se licue. Normalmente en las tintorerías para el movimiento y cargue de los equipos se instalan puentes grúas con capacidades de 5 a 10 toneladas. El enriamiento de los equipos para poder sacar el material tinturado se realiza con agua fría.

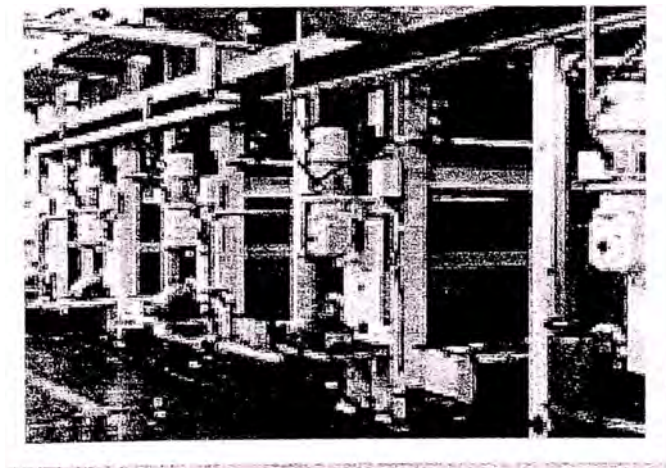


Figura 3.10. Tintorería
Fuente: Nuevo Mundo S.A.

3. Tejeduría

Integrada por:

3.1. URDIDORES: equipos compuestos por una fileta o zona de alimentación, un tambor de enrollado y un sistema de plegado.

3.2. TELARES: estas son de diferentes tamaños y formas, tienen una zona de alimentación, una de enmallado o agujado, una de tejido propiamente dicho y una de enrollado, existen maquinas de inserción por aire, agua o pinza mecánica. En los telares tipo jacquard poseen una maquinilla adicional para el movimiento de las pitas y agujas.

3.3. ENGOMADO: son equipos conformados por una zona de peinado y alimentación, otra zona de encolado por rodillos, otra de secado por tambores calentados en su interior con presión de vapor de agua y una de cruce y plegado.

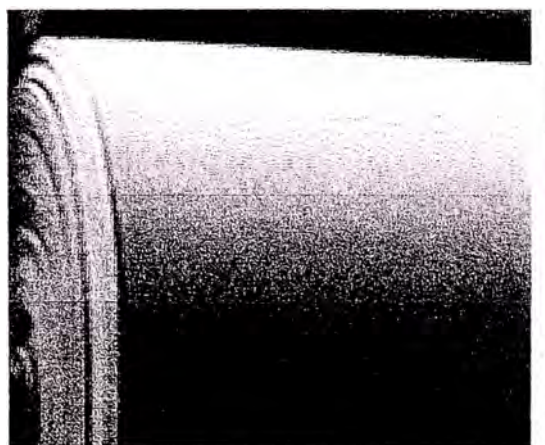


Figura 3.11. Tejeduría
Fuente: Nuevo Mundo S.A.

4. Acabado

Integrado por:

4.1. RAMA TENSORA: equipo de grandes longitudes (50 m o mas de longitud) o de 2 o tres pisos, compuesta por una zona de alisador de genero, foularizado (canoas y rodillos a presión donde se aplican productos en liquido), una zona de corrección de trama y retención, una zona de tensión, una zona de campos de secado (generalmente corrientes de aire caliente, las resistencias son calentadas por aceites térmico o vapor) zona de calandrado (rodillos a presión calentados por resistencias o vapor de agua) y una zona de enrollado y/o plegado.

4.2. ESTAMPADORAS: son equipos para imprimir sobre la tela color, ya sea a través de rodillos entintados, marcos o por transferencia de dibujo de un papel sobre la tela. Las de rodillos pueden ser maquinas de una gran longitud y con una zona de secado. Las de transferencia requieren un cilindro caliente (puede ser por resistencias eléctricas).

4.3. VARIOS: dependiendo del tipo de proceso también pueden encontraren maquinas punzónadoras y maquinas perchadoras .

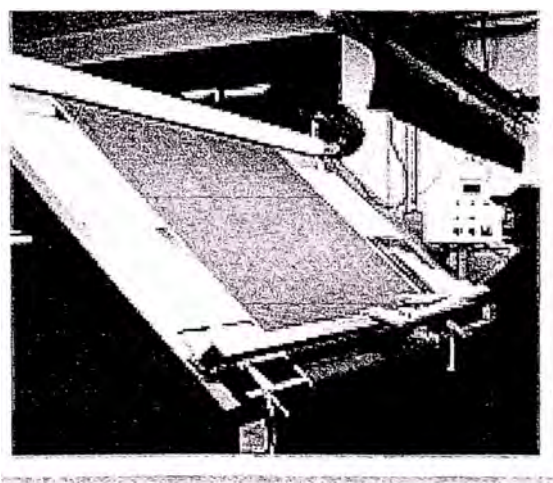


Figura 3.12. Acabado
Fuente: Nuevo Mundo S.A.

Tisaje

En una segunda etapa, los hilos pasan a la "Sala de Telares" en la cual se tejen los hilos de trama con los de urdimbre, obteniéndose la tela "cruda" (los hilos de urdimbre son previamente encolados). El encolado consiste en hacer pasar los hilos de urdimbre a través de un baño que contiene una resina especial, la cual se impregna y seca en cilindros calentados por vapor. En la última parte de esta sección se procede a un control de calidad, antes de pasar a la siguiente sección.

Lavado

Para el lavado, la tela cruda se coloca a contracorriente con el baño de la lavadora, pasando a través de varios cilindros guías en compartimientos dispuestos en serie y con cierto escalonamiento. Cada compartimiento posee un sistema independiente de calefacción con vapor indirecto. Adicionalmente, en cada compartimiento existe una entrada de agua tratada, esta agua antes de ingresar a la máquina es calentada con vapor de la red en un intercambiador de calor. Dicha agua se mezcla con detergente para formar la solución jabonosa por la cual pasará la tela.

Tintorería

El proceso de Teñido está conformado por máquinas de funcionamiento continuo y discontinuo. Las máquinas de funcionamiento discontinuo fijan el colorante a la materia textil, por el paso de la tela a través de un baño.

5. Empaque

5.1. MAQUINAS DOBLADORAS: son maquinas enroladoras y plegadoras de las telas en los tamaños comerciales, emplean muchos rodillos y un sistema de enrollado.

5.2. MAQUINAS EMPAQUETADORAS: reciben los rollos doblados y los recubre con material de empaque, los sella y rotula y los transporta a una zona de descargue

3.7.2. Proceso Productivo

Materia Prima

El proceso se inicia en el almacén de materia prima del cual se extraen los "fardos" conteniendo las diversas fibras (Rayón y Poliéster principalmente).

Mezcla

Estos fardos son luego mezclados en determinados porcentajes de las fibras, con lo cual se logra obtener las características deseadas para el material.

Hilandería

Luego, las mezclas pasan a través de Batanes, Cardas, Manuales y Mecheras, las mismas que formarán una cinta cada vez más delgada, compacta y con una ligera torsión que asegure su forma. Posteriormente en las máquinas "continuas de hilar" se obtendrán los hilos según lo requerido, es decir, con el peso por unidad de longitud deseado. Finalmente, dichos hilos serán bobinados mediante las "Enconadoras" ó "Auto-coneras".

Acabado

Seguidamente las telas son secadas y chamuscadas con la finalidad de eliminar las pequeñas pelusas remanentes de la tela. Luego las telas son impregnadas con resina, secadas, polimerizada, lavada y vueltas a secar, después de la cual se hará una revisión del Acabado, para finalmente ser decatizadas.

Decatizado

Es una operación de tratamiento térmico superficial que consiste en hacer pasar la tela por un vaporizador y luego por un enfriador para darle suavidad. Alternativamente al decatizado las telas son planchadas con lo cual el producto queda listo para su empaque y almacenamiento final.



Fuente: Elaboración propia - CENERGIA, 2008.

Figura N° 3.13. Proceso Productivo –Textil

3.7.3. Industria Nacional

Al tercer trimestre de 2009, la producción sobre la base de hilatura, tejedura y acabados de productos textiles se contrajo si se compara con similar periodo del año previo, debido a la menor demanda interna y por la agresiva competencia de los productos asiáticos. Al respecto, la producción de “frazadas” fue de 327,570.70 UD y la de “hilos e hilados sintéticos artificiales” fue de 3,436.20 TM, creciendo en tan solo 0.42% y cayendo en 3.78%, respectivamente; mientras que los metros de “tejidos de algodón” y “tejidos mixtos”, al tercer trimestre de 2009, resultaron ser de 26, 525,534.80 y 7, 602,483.50, respectivamente; menores a los mostrados al mismo periodo del año 2008. El detalle se puede apreciar en la tabla siguiente.

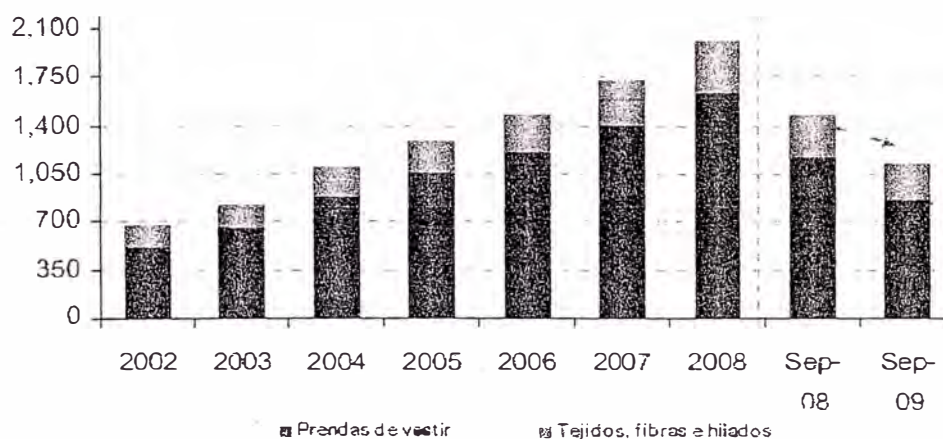
Tabla 3.6. Elaboración de Hilatura, Tejedura y Acabados de Productos Textiles

| Elaboración de Hilatura, Tejedura y Acabados de Productos Textiles | | | | |
|--|--------|---------------|---------------|--------|
| Descripción | Unidad | Al 3T08 | Al 3T09 | Var % |
| Frazadas | UD | 326,200.70 | 327,570.70 | 0.42 |
| Hilos e hilados sintéticos artificiales | TM | 3,571.20 | 3,436.20 | -3.78 |
| Tejidos de algodón | MT | 36,392,994.70 | 26,525,534.80 | -27.11 |
| Tejidos Mixtos | MT | 11,156,231.10 | 7,602,483.50 | -31.85 |
| Hilos e hilados de algodón | TM | 32,069.70 | 24,605.90 | -23.27 |
| Hilos e hilados de pelos de alpaca | TM | 1,881.30 | 1,518.90 | -19.26 |
| Hilos e hilados de algodón y mezclas | TM | 1,095.40 | 722.50 | -34.04 |

Fuente: Produce / Elaboración: PCR

La contracción de la industria textil, al tercer trimestre de 2009, se debió a la menor demanda nacional y extranjera por dichos productos. Debido a ello, la tasa de utilización de la capacidad instalada para el sector textil a septiembre de 2009 fue menor a la registrada en el mismo periodo del año previo, llegando a presentar una tasa de utilización promedio de 38.0% (50.8% a septiembre de 2008).

Respecto al mercado mundial de exportaciones, el Perú califica como un pequeño abastecedor. Durante el año 2008, el sector textil registró exportaciones por US\$ 2,018.07 millones, aproximadamente, valor equivalente al 1% del total mundial.



Fuente: BCRP / Elaboración: PCR

**Figura 3.14. Evolución de las Exportaciones
(En MM US\$)**

Al tercer trimestre de 2009, el total de las exportaciones ascendió a US\$ 1474.42 millones (-24.83% ó -US\$366.09 millones respecto al año anterior), de los cuales US\$ 865.79 millones correspondieron a exportaciones de prendas de vestir y el resto, US\$ 242.54 millones, fueron exportaciones de hilados, tejidos y fibras. Dentro de las exportaciones por rubro, los tejidos fueron los únicos que se dinamizaron respecto al mismo periodo del año previo, creciendo en 4.73% ó US\$ 6.25 millones. Las prendas de vestir representaron el 78.12% del total exportado, manteniéndose prácticamente en similar nivel del mismo periodo del año anterior (80.66%). A septiembre de 2009, la participación de tejidos, fibras e hilados fue de 12.48%, 4.21% y 5.20%, respectivamente (8.95%, 4.88%, y 5.50% a septiembre de 2008).

Tabla 3.7. Tasa (%) de utilización de la capacidad instalada de la industria manufacturera en el sector textil (año base 1994 = 100)

| Tasa (%) de Utilización de la Capacidad Instalada de la Industria Manufacturera en el Sector Textil (año base 1994=100) | | | | |
|---|-----------|------------|------------|-----------|
| Fabricación de Productos Textiles | Enero 08 | Febrero 08 | Marzo 08 | Prom 2008 |
| | 54.8 | 51.8 | 52.4 | 50.8 |
| | Abril 08 | Mayo 08 | Junio 08 | |
| | 47.1 | 55.0 | 50.8 | |
| | Julio | Agosto | Septiembre | |
| | 51.4 | 45.7 | 48.2 | |
| | Enero 09 | Febrero 09 | Marzo 09 | |
| | 37.6 | 34.9 | 36.0 | 38.0 |
| | Abril 009 | Mayo 09 | Junio 09 | |
| | 35.2 | 38.5 | 43.1 | |
| | Júlio | Agosto | Septiembre | |
| | 40.3 | 39.0 | 38.3 | |

Fuente: Produce / Elaboración: PCR

3.7.4. Exportaciones del sector textil

El sector textil ha mostrado un crecimiento sostenido desde el año 2004 hasta el año 2008. Sin embargo, en el año 2009, ha comenzado a mostrar señales claras de desaceleración. De esta manera, al tercer trimestre de 2009, se puede apreciar un fuerte retroceso de las exportaciones y de la producción nacional, debido a la menor demanda mundial producto de la crisis financiera internacional y por los menores precios de venta de los productos finales. Si bien, la coyuntura actual no es auspiciosa para el sector, el futuro del mismo podría mostrar un gran dinamismo debido al crecimiento de la economía nacional y a los beneficios otorgados a través de los tratados de libre comercio firmados con EEUU, Canadá, Singapur, entre otros; siempre y cuando las empresas puedan responder con los niveles de inversión y productividad necesarios para satisfacer la demanda internacional.

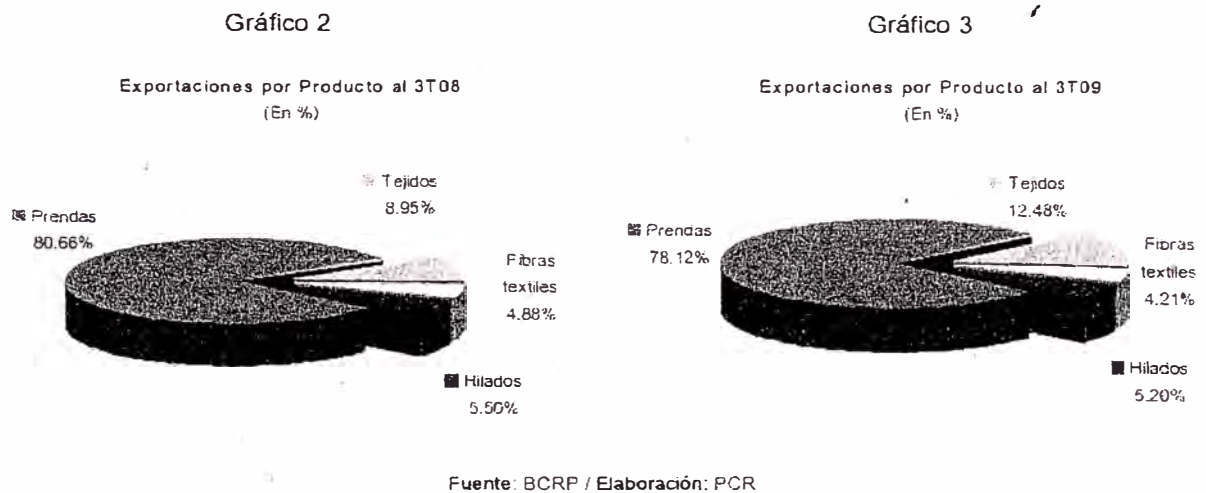


Figura 3.15. Exportación por Producto (en %)

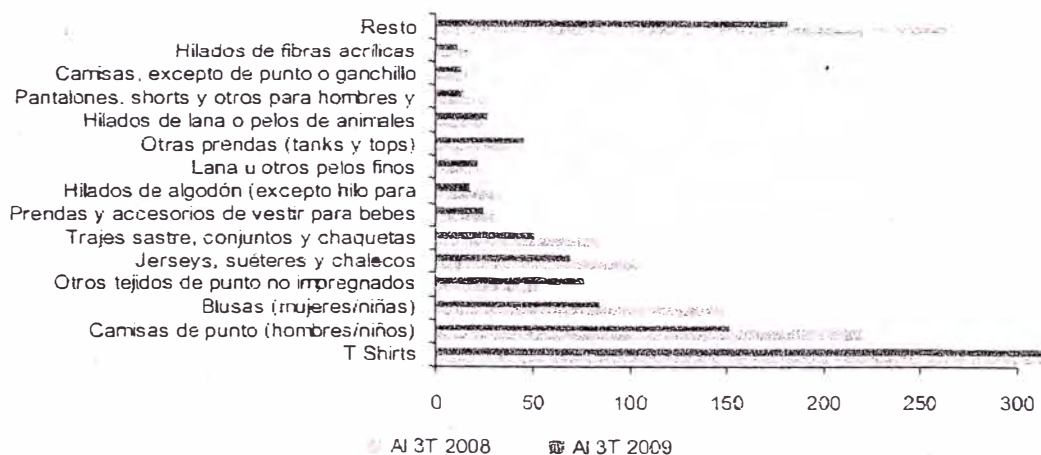
Sobre la contracción de las exportaciones de textiles, al tercer trimestre de 2009, también se pueden apreciar por categoría de producto; es así, que los envíos de *T-Shirts* se contrajeron en 13.7%, respecto al mismo periodo del año anterior, llegando a ser de US\$ 326.80 millones; mientras que en el mismo periodo del año anterior, éstos fueron de US\$ 378.70 millones. La segunda categoría de producto con mayor exportación fueron las camisas de punto, totalizando envíos por US\$ 151.20 millones, 31.12% menor a lo registrado en el mismo periodo del año anterior; asimismo, las exportaciones de blusas de mujeres se contrajeron 43.85%, llegando a ser de US\$ 83.60 millones.

Respecto a la participación de las exportaciones por categoría, los productos que mayores envíos registraron fueron los *T-Shirts* con 29.49%, seguido de las camisas de punto (hombres y niños) con 13.64%, blusas (mujeres y niñas) con 7.54% y en cuarto lugar se encuentra la categoría "Otros tejidos de punto no impregnados" con 6.83% del total exportado.

impregnados con otros en el total exportado.

Gráfico 4

Exportaciones de Textiles por Categoría
(millones de US\$)



Fuente: BCRP / Elaboración: PCR

Figura 3.16. Exportaciones de Textiles por categoría (en millones de US\$)

Sobre los destinos de las exportaciones, al tercer trimestre de 2009, los cinco principales destinos de las exportaciones textiles fueron EEUU, Venezuela, Colombia, Ecuador e Italia con participaciones de 41.30%, 23.62%, 4.42%, 2.98% y 2.43%, respectivamente. Los envíos de textiles a EEUU fueron de US\$ 458 millones, cayendo en un 26.54% respecto al mismo periodo del año anterior (US\$ 623.5 millones). Asimismo, los envíos a Venezuela y Colombia fueron de US\$ 262 millones y US\$ 49 millones, retrocediendo en 38.54% y creciendo en 1.24%, respectivamente. Las exportaciones a Ecuador disminuyeron en 0.90%, alcanzando al tercer trimestre de 2009 un monto de US\$ 33 millones; mientras que los envíos a Italia, cayeron 25.62%, siendo éstos de US\$ 27 millones.

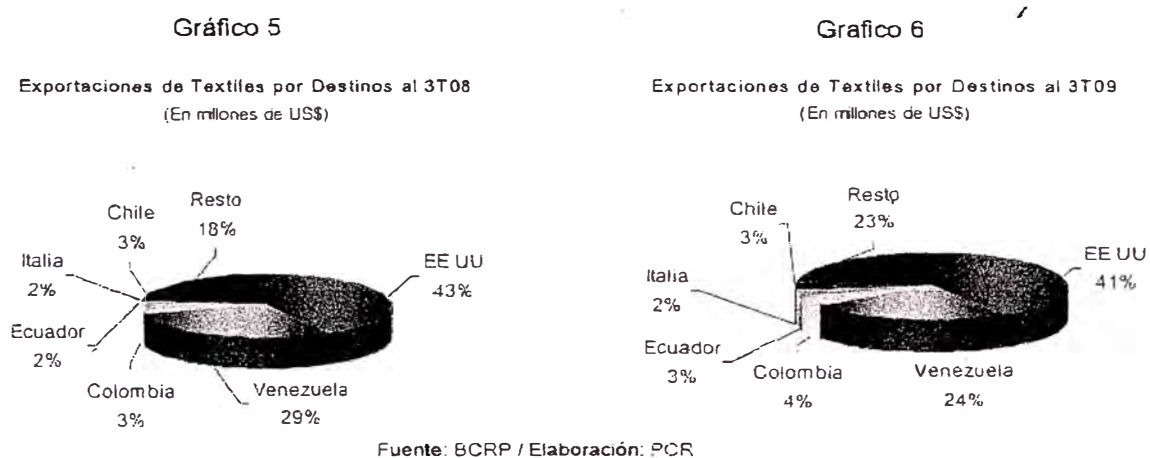


Figura 3.17. Exportaciones de Textiles por destinos (en millones de US\$)

3.7.5. Perspectivas del sector textil

El sector textil peruano ha entrado en una fase de desaceleración a partir del presente año debido a la crisis financiera internacional, que se ha reflejado en una menor demanda internacional por nuestros productos; prueba de ello es la menor tasa de utilización de nuestra capacidad instalada y el menor valor de nuestras exportaciones. Asimismo, se debe añadir que en los últimos meses se ha presentado una tendencia creciente en los costos de producción (hilados de algodón) que encarecen nuestros productos finales y nos restan competitividad frente a los productos asiáticos que se caracterizan por ser más económicos (pero de menor calidad). Sin embargo, en el 2009 se ha presentado un escenario coyuntural, que es el de atender pedidos de textiles con tiempos de entrega reducidos, los cuales no pueden ser atendidos por los mercados asiáticos, lo cual mitigaría en un nivel poco significativo la tendencia a la baja del sector. De esta manera, se espera que el año 2009 cierre con una contracción de las exportaciones y del sector en general.

Sin embargo, a partir de 2010 en adelante se espera que el crecimiento del sector comience a recuperarse debido a la recuperación económica de los principales países demandantes de nuestros productos, dado que ya se estaría superando los efectos de la crisis, y por la entrada en vigencia del TLC con EEUU y con otros países como Canadá, países donde existe una alta demanda por nuestros productos.

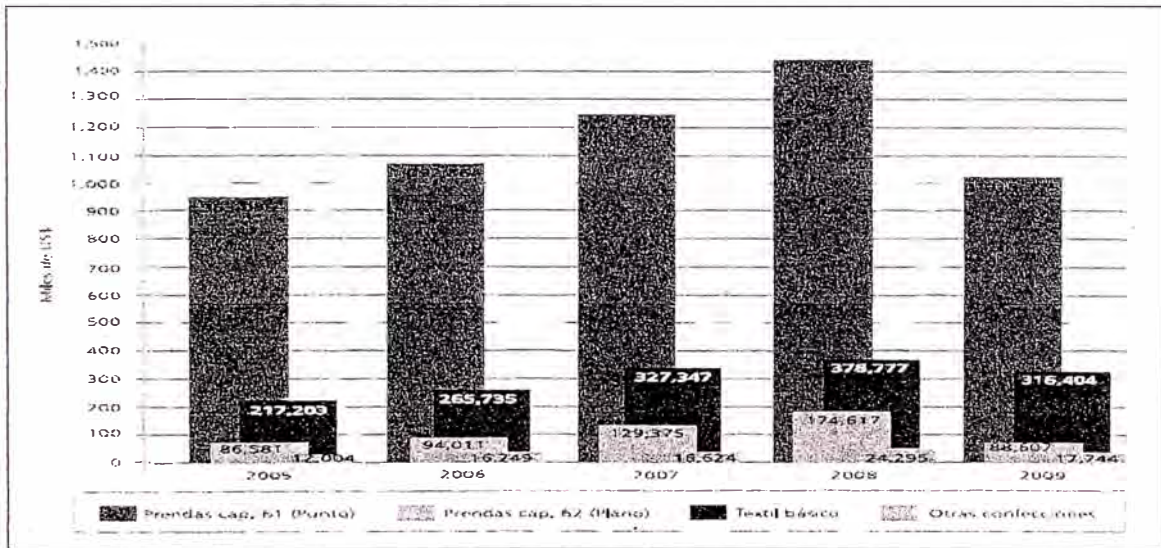


Figura 3.18. Evolución de las Exportaciones Peruanas de Textiles y Confecciones (Valor FOB en miles de US\$)
Fuente: Universal Textil S.A.

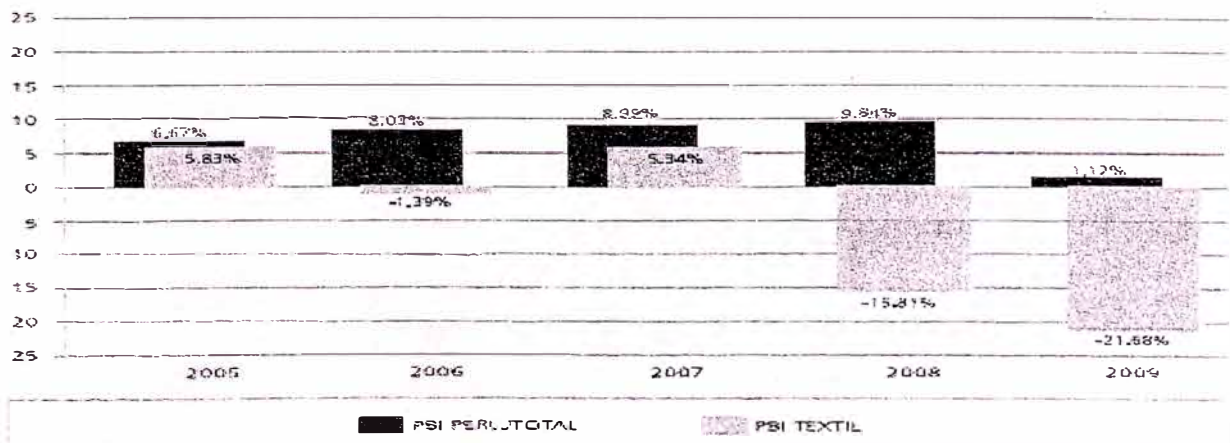


Figura 3.19. PBI Perú total y PBI Textil (en %)
Fuente: Universal Textil S.A.

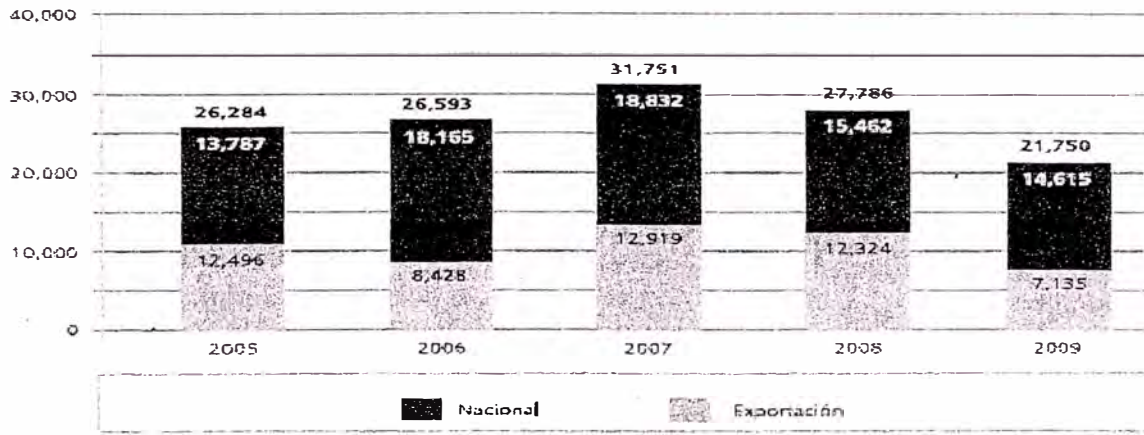


Figura 3.20. Ventas Totales por Mercado (en miles de dólares)
Fuente: Universal Textil S.A.

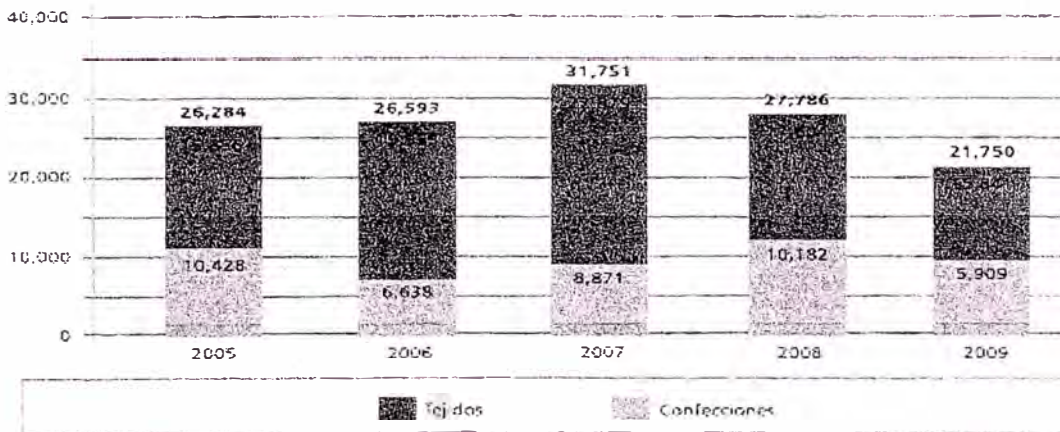


Figura 3.21. Ventas Totales por División (en millones de dólares)
Fuente: Universal Textil S.A.

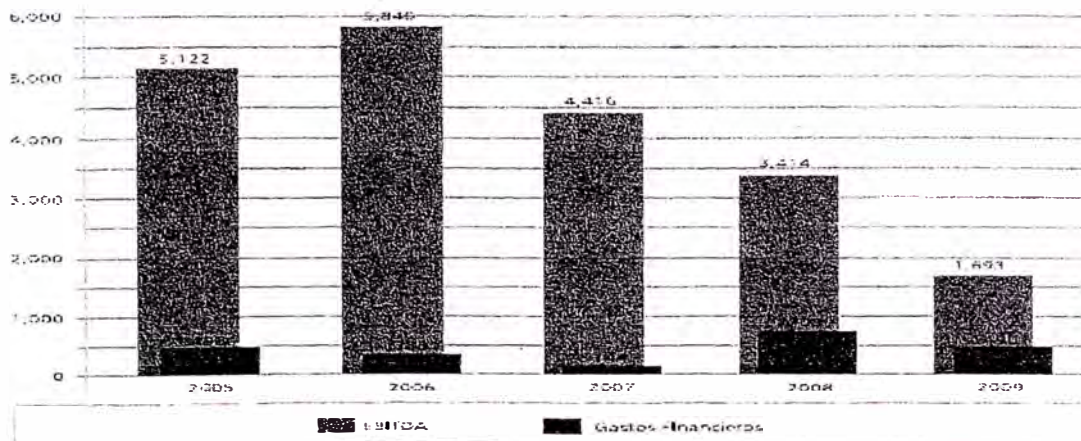


Figura 3.22. EBITDA y Gastos Financieros (en miles de dólares)
Fuente: Universal Textil S.A.

CAPITULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN

4.1. Cogeneración con Gas Natural

Los sistemas de cogeneración son una alternativa eficiente a los sistemas tradicionales de utilización de la red eléctrica. La cogeneración es una tecnología ampliamente desarrollada e introducida en el sector industrial.

Tabla 4.1. Ventajas de cogeneración con gas para el usuario

| | |
|--|---|
| <p>Economía</p> | <p>La muy importante reducción de costos energéticos que consigue el usuario de cogeneración se explica por dos conceptos: Debido a que la energía eléctrica cogenerada es más económica que la suministrada por la compañía eléctrica. La energía térmica producida simultáneamente a la electricidad es recuperada para ser utilizada en el proceso.</p> |
| <p>Independencia, estabilidad y seguridad de suministro</p> | <p>El uso del gas natural como energía primaria en los sistemas de cogeneración proporciona al usuario independencia de la red eléctrica, ya que garantiza la continuidad del suministro eléctrico para equipos y maquinaria. Además en muchos casos, hace innecesaria la presencia de grupos electrógenos de emergencia, evitando la inversión que su adquisición o sustitución pueda suponer.</p> |

| | |
|--|--|
| Sencillez de operación | Para el manejo no se requiere una mayor especialización que la que ya tenga el personal que opere las instalaciones tradicionales. |
| Seguridad y fiabilidad | Los ingenieros, fabricantes e importadores han acumulado una gran experiencia en instalaciones de cogeneración. Esto le permite al usuario tener a su disposición el diseño óptimo de la instalación que precise. |
| Protección del medio ambiente | Produciendo energía eléctrica a través de cogeneración con gas natural se consigue una sensible disminución de las emisiones contaminantes que provocan los sistemas convencionales. |
| Diversificación energética | Modificación de la estructura de consumo energético en la producción de electricidad, al desplazar el gas natural a otros combustibles. |
| Racionalización de la red eléctrica | La utilización de sistemas de cogeneración permite una mejora de la red eléctrica, ya que al aumentar los centros de producción, se evitan costos de transporte. Además, permiten reducir las puntas de demanda de potencia eléctrica. |

4.2. La cogeneración con gas y sus ámbitos de aplicación

Los sistemas de cogeneración se pueden clasificar según el tipo de máquina que se utilice para la generación de energía eléctrica. Según este criterio, los sistemas existentes comercialmente son:

4.2.1. Cogeneración con Turbina de Gas

La diferencia fundamental, aparte de las características técnicas y prestaciones del elemento motriz es el modo de recuperación de la energía térmica residual. En las turbinas existe una sola fuente que aporta calor: los gases de escape; en los motores, a ésta se suma el calor que aporta la refrigeración del motor.

La elección de uno de estos sistemas para una aplicación concreta depende de cuatro factores:

- Horas de funcionamiento
- Rango de potencia
- Nivel térmico del calor necesario
- Estabilidad de la relación calor/ potencia

En el siguiente gráfico podemos observar el rango de potencia eléctrica que pueden generar los diferentes sistemas.

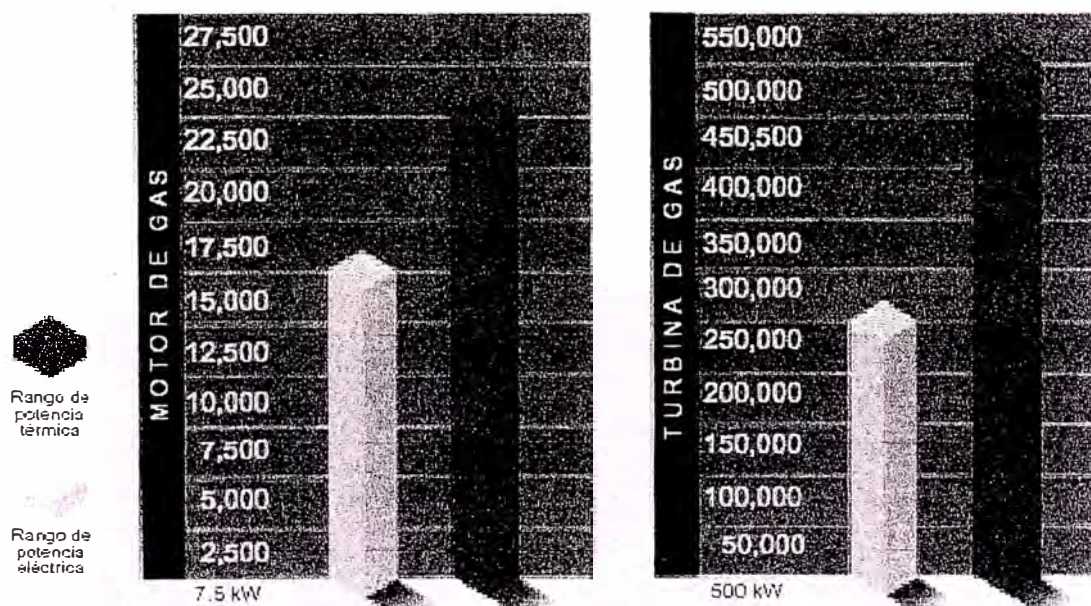


Figura 4.1. Rango de potencia eléctrica y térmica en motores y turbinas

4.2.2. Cogeneración con Motor Alternativo de Gas

Estos sistemas utilizan motores alternativos de combustión interna, generalmente de ciclo OTTO de gas natural. El gas mezclado con aire en la proporción adecuada y a una presión y temperatura establecidas provoca, mediante un foco de ignición una fuerte reacción exotérmica, cuya energía liberada genera una fuerza motriz que acciona un generador eléctrico.

El nivel de temperatura que es posible recuperar del calor residual de los motores los hace particularmente indicados para su aplicación en sistemas de climatización de locales en el sector servicios.

De la combustión de gas natural se recuperan:

- Agua para calefacción: procedente del circuito de refrigeración del motor donde el agua puede alcanzar los 90-95°C.
- Vapor: generado directamente por el aprovechamiento de los gases de escape del motor.
- Agua sobrecalentada o vapor a baja presión, si se combinan los anteriores.
- Eventualmente agua caliente a 45-50°C, recuperada del circuito de refrigeración.

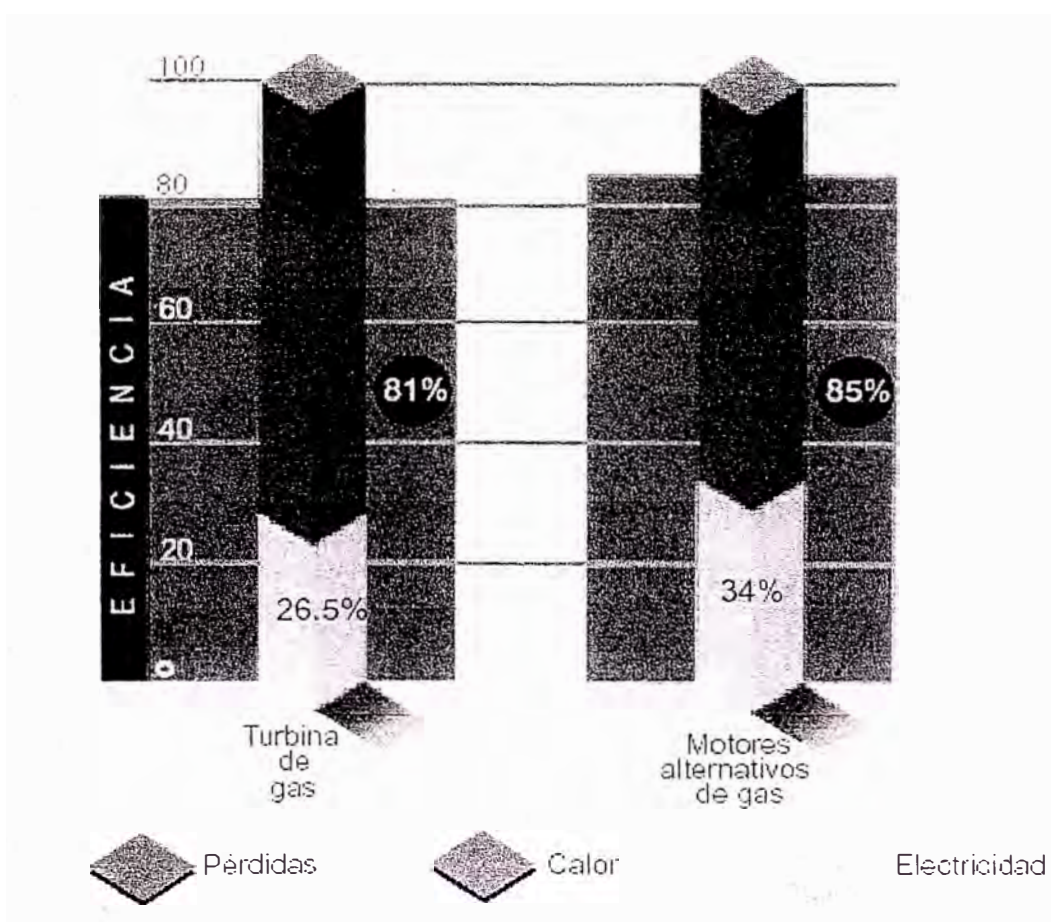


Figura 4.2. Eficiencia Energética de los diferentes sistemas de cogeneración

4.2.3. Comparación entre Motores de Gas y Turbinas de Gas

En comparación con las turbinas de gas, las plantas con motores a gas muestran un rendimiento eléctrico más elevado con unas inversiones considerablemente inferiores, según se refleja en el siguiente gráfico:

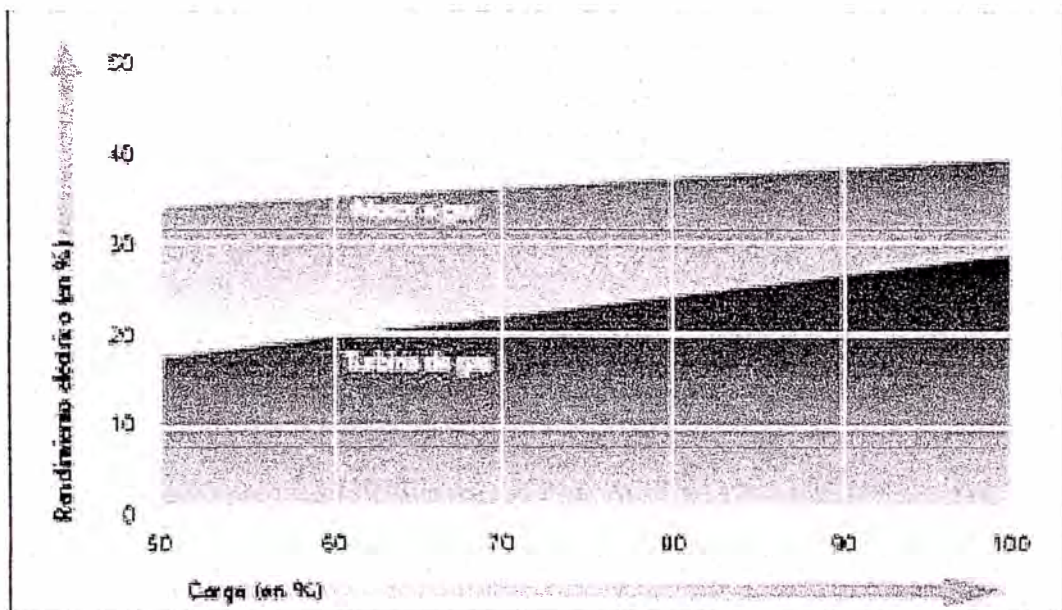


Figura 4.3. Rendimiento eléctrico vs. Carga

Las turbinas son recomendables cuando la demanda de calor con una temperatura superior a los 110 °C es constante o en instalaciones de gran potencia. Ambas tecnologías tienen en común una construcción compacta que ocupa muy poco espacio.

4.3. Diseño y Análisis de un Sistema de Cogeneración

El proceso para diseñar y evaluar un sistema de cogeneración presenta muchos factores a considerar, una lista no limitativa de estos incluye: disponibilidad y seguridad de combustibles, reglamentaciones, economía, tecnología, negociación de contrato y financiamiento.

4.3.1. Consideraciones y definiciones generales

Aún cuando la cogeneración debe ser evaluada como parte de un plan de administración de energía su principal prerequisite es que la planta presente una demanda significativa y concurrente de calor y energía eléctrica, una vez identificado este escenario puede explorarse sistemas de cogeneración aplicables bajo las siguientes circunstancias:

- Desarrollo de nuevas instalaciones.
- Ampliaciones importantes a instalaciones existentes con incremento de demandas de calor y/o de producción de energía remanente de proceso.
- Reemplazo de equipo viejo de proceso o de generación de energía eléctrica y oportunidad de mejorar la eficiencia del sistema de suministro de energía.

Algunos términos y definiciones que generalmente se manejan en las discusiones de sistemas de ciclo combinado:

Planta industrial: la instalación que requiere calor de proceso y energía eléctrica y/o potencia mecánica, puede ser una planta de proceso, una instalación de manufactura, el campus de una universidad, etc.

Calor de proceso: la energía térmica requerida por la planta industrial que puede suministrarse como vapor, agua caliente, aire caliente, etc.

Retorno de proceso: el fluido y calor no utilizado que regresan de la planta industrial de un sistema de cogeneración, cuando el calor se suministra como vapor, el retorno es condensado.

Calor neto a proceso: la diferencia entre la energía térmica suministrada a la planta industrial y la energía que retorna al sistema de cogeneración.

Demanda de potencia de la planta: la potencia o carga eléctrica que demanda la planta industrial incluyendo procesos de manufactura, acondicionamiento de ambiente, iluminación, etc. expresada en kW o MW.

Relación calor / energía eléctrica: relación de calor a energía eléctrica de la planta industrial (demanda) o del ciclo de cogeneración (capacidad).

Ciclo superior: ciclo térmico en que se genera energía eléctrica antes de entregar el calor a la planta industrial, como sucede en el caso de recuperación de calor de un generador diesel eléctrico para producción de vapor o agua caliente.

Ciclo inferior: sistema en que la generación de energía eléctrica es a costa del calor recuperado de un proceso térmico.

Ciclo combinado: la combinación de dos de los ciclos descritos antes, un ciclo superior típico es el de turbogenerador con turbina de gas y recuperación de calor para producir vapor que se expandirá en una turbina de vapor para generar energía eléctrica ó mecánica pudiendo también extraerse vapor para proceso.

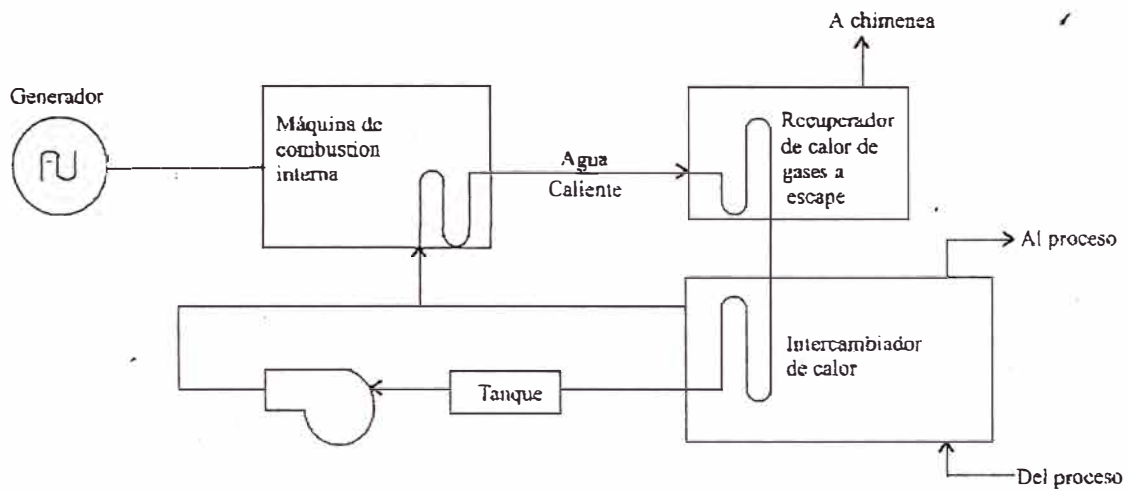


Figura 4.4. Ciclo Superior con Máquina Diesel

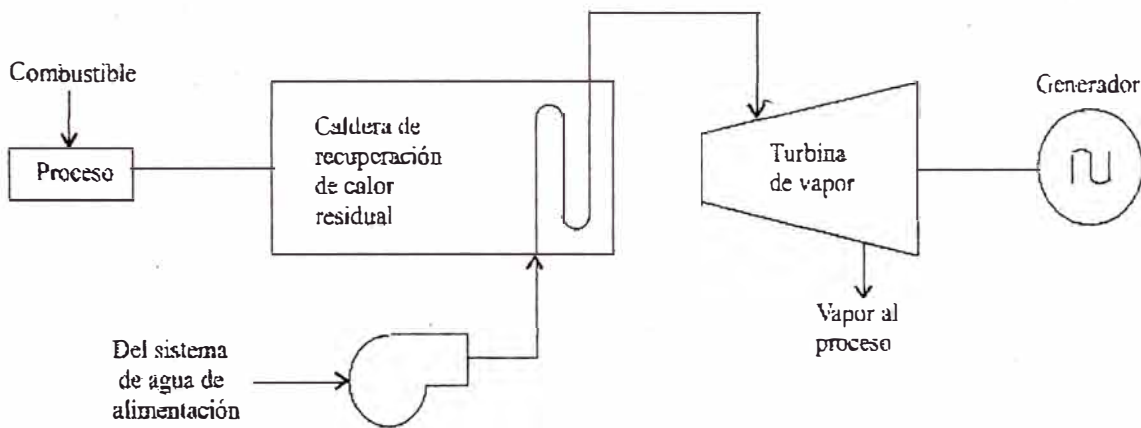


Figura 4.5. Ciclo Inferior con Turbina de Vapor

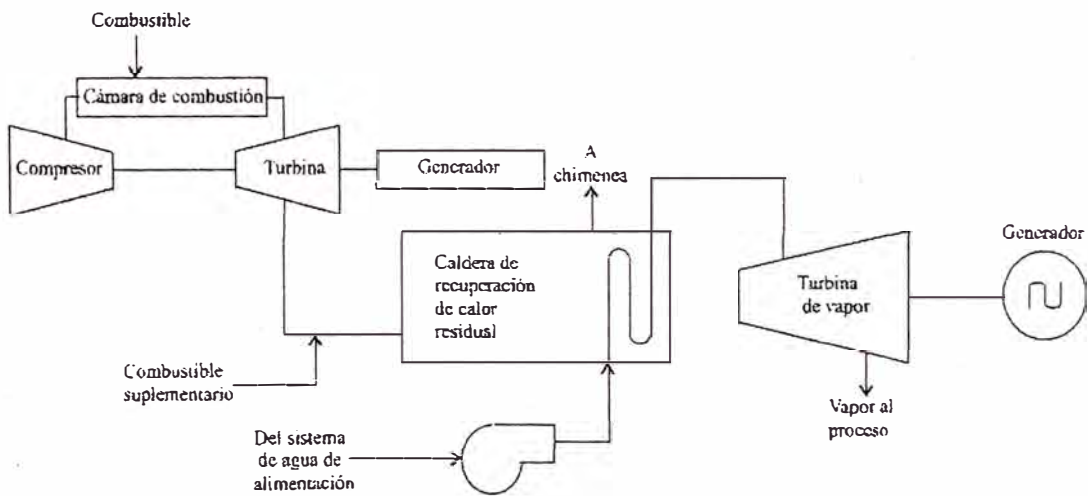


Figura 4.6. Ciclo Combinado con Turbina de Gas

Fuente: Universidad del Atlántico y Universidad Autónoma de Occidente (Colombia)

Máquina primaria o primo motor: unidad en un sistema de ciclo combinado que genera potencia eléctrica o mecánica, típicamente un turbogenerador o un generador con máquina de combustión interna.

Régimen térmico: relación entre la energía total entregada a un sistema de cogeneración y la energía útil entregada por éste. podrá discriminarse parcialmente el régimen térmico en la producción de energías eléctrica o térmica útiles. se expresa en kCal o Btu/kWh.

Consumo específico de vapor: cantidad de vapor requerida en determinadas condiciones de operación para generar un kWh.

Consumo térmico unitario: término empleado para expresar en un ciclo de central termoeléctrica el consumo térmico de aquél para obtener una unidad de energía útil y se expresa en kCal ó Btu/kWh.

4.3.2. Sistemas básicos de cogeneración

La mayoría de los sistemas de cogeneración usan como máquinas primarias: turbinas de vapor, turbinas de gas, máquinas de combustión interna y paquetes de cogeneración.

En la Tabla 4.2. se muestran datos de comportamiento típicos para varios sistemas de cogeneración:

Tabla 4.2. Datos de comportamiento para varios sistemas de cogeneración

| SISTEMAS | CAPACIDAD UNITARIA (kW) | RÉGIMEN TÉRMICO (Btu/kWh) | EFICIENCIA ELÉCTRICA (%) | EFICIENCIA TÉRMICA (%) | EFICIENCIA TOTAL (%) | TEMP. ESCAPE (°F) | GENERACIÓN DE VAPOR lb/h (125 Psig) |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Gas Comb. Interna (pequeña) | 1-500 | 10,000 a 25,000 | 14-34 | 52 | 66-86 | 600-1200 | 0-200 ¹ |
| Gas Comb. Interna (grande) | 500-17,000 | 9,500 a 13,000 | 26-36 | 52 | 78-88 | 600-1200 | 100-10,000 ¹ |
| Máquina Diesel | 100-1,000 | 11,000 a 15,000 | 23-31 | 44 | 67-75 | 700-1500 | 100-400 ¹ |
| Turbina de Gas Industrial | 800-10,000 | 11,000 a 14,000 | 24-31 | 50 | 74-81 | 800-1000 | 3000 a 30,000 |
| Turbina de Gas CTE | 10,000-150,000 | 9,000 a 13,000 | 26-31 | 50 | 76-81 | 700 | 30,000 a 300,000 |
| Ciclos de Vapor | 5,000-100,000 | 10,000 a 30,000 | 7-34 | 28 | 35-62 | 350-1000 | 10,000 a 100,000 |

¹ Puede disponerse de 10 veces este flujo en agua a 250°F.

² El régimen térmico es el calor de entrada al ciclo por kWh de entrega eléctrica. La eficiencia de generación eléctrica en porcentaje de una máquina primaria puede determinarse de su régimen térmico de esta manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{3,413}{\text{Régimen Térmico}} \times 100\%$$

Fuente: Universidad del Atlántico y Universidad Autónoma de Occidente (Colombia)

4.3.3. Elección de la tecnología de cogeneración

La elección de la tecnología más apropiada para cada centro consumidor de energía, depende de una serie de factores como por ejemplo la potencia eléctrica que produce el grupo, la relación entre electricidad/calor, el nivel de temperaturas de la demanda térmica, la disponibilidad de combustibles, las fluctuaciones de la demanda térmica, etc.

La siguiente tabla muestra una comparación entre las posibles tecnologías para cogeneración según diversos factores para la selección de la tecnología más apropiada.

Tabla 4.3. Comparación entre las posibles tecnologías para cogeneración

| | MACI C.DIESEL | MACI C.OTTO | TURBINA DE VAPOR | TURBINA DE GAS | | MICRO- TURBINA | PILA DE COM- BUSTIBLE |
|--|---|---|---|--|--------------------|--|--|
| | | | | CICLO SIMPLE | CICLO COMBINADO | | |
| η eléctrico (PCI) | 30-50% | 25-45% | 30-42% | 25-40% | 40-60% | 20-30% | 40-70% |
| Rango P (MW) | 0,01-30 | 0,15-5 | — | 3-200 | | 0,025-0,25 | 0,2-2 |
| Espacio requerido (m ³ /kW) | 0,02 | 0,02-0,03 | <0,01 | 0,002-0,06 | | 0,014-0,14 | 0,06-0,4 |
| Coste instalación (€/kWe) | 780-1480 | | 780-950 | 670-860 | | 480-1240 | >2850 |
| Coste OM* (€/kWh) | 0,005- 0,008 | 0,007- 0,015 | 0,004 | 0,002-0,008 | | 0,002-0,01 | 0,003- 0,015 |
| Disponi- bilidad | 90-95% | 92-97% | ≈100% | 90-98% | | 90-98% | >95% |
| h entre puertas pto. | Anual | Anual | >50000 | 30000-50000 | | 5000-40000 | 10000- 40000 |
| t arranque | 10s | 10s | 1h-1día | 10min-1h | | 60s | 3h-2días |
| Presión combus- tible (bar) | <0,35 | 0,07-3 | — | 8,5-35 | | 3-7 | 0,04-3 |
| Combus- tible | Gasoil, aceites residuale s | GN, biogás, propano | Todos | GN, biogás, propano, aceites destilados | | GN, biogás, propano, aceites destilados | H ₂ , GN, propano |
| Ruido | Moderado a alto (requiere edificio cerrado) | Moderado a alto (requiere edificio cerrado) | Moderado a alto (requiere edificio cerrado) | Alto (requiere edificio cerrado) | | Moderado (requiere edificio cerrado) | Bajo (no requiere aislamient o) |
| NOx (Kg/MWh) | 1,36-15 | 1-12,7 | 0,82 | 0,14-1,82 | | 0,18-1 | 0,009 |
| Uso para calor recuperado | AC, vapor BP, "district heating" | AC, vapor BP, "district heating" | Vapor BP-AP, "district heating" | Calor directo, AC, vapor BP-AP, "district heating" | | Calor directo, AC, vapor BP | AC, vapor BP |
| Tempera- tura aprove- chable (°C) | 82-480 | 150-260 | — | 260-595 | | 205-345 | 60-370 |

Fuente: Review of Combined Heat and Power Technologies

Todos los factores técnicos se transforman, al fin y al cabo, en económicos. Además de ellos hay que considerar un factor puramente financiero: la inversión. No hay grandes diferencias en la inversión de una planta con motores y turbinas intermedias (10 MW); no obstante, la inversión en plantas pequeñas (0,5-4 MW) es bastante mayor con turbinas de gas que con motores.

En plantas con turbinas el costo por MW aumenta a bastante velocidad por debajo de 5 MW, mientras que en motores se mantiene bastante constante el costo por MW, incluso para 2 o 3 MW.

4.3.4. Selección y análisis del sistema de cogeneración

Existe una gran variedad de equipos y tecnologías que pueden ser considerados para una aplicación específica de cogeneración. Cada tecnología tiene sus características propias, que deben ser consideradas en el contexto de los requerimientos específicos del lugar.

Para establecer un sistema de cogeneración en una planta industrial se requiere considerar los siguientes aspectos:

1. Consumo o requerimiento de energía eléctrica (E) expresado en kilowatts. La empresa industrial que quiera instalar un sistema de cogeneración debe requerir y consumir energía eléctrica.
2. Consumo o requerimiento de energía primaria (Qs) expresado en metros cúbicos, kilogramos, o directamente en kilowatts térmicos. La empresa industrial que quiera instalar un sistema de cogeneración debe requerir y consumir energía primaria para generar energía térmica útil. Normalmente ésta la provee un combustible como el gas natural, combustóleo o diesel, entre otros.
3. Consumo o requerimiento de energía térmica útil (Q) expresado generalmente en términos de kW térmicos. La empresa industrial que quiera instalar un sistema de cogeneración debe requerir y consumir energía térmica útil para la elaboración de sus productos bienes o servicios, por lo

regular en forma de un fluido caliente, ya sea vapor o gases calientes. Esta energía térmica útil es autogenerada por las empresas industriales en el seno de su empresa a través de equipos de combustión (calderas o calentadores a fuego directo).

4.3.4.1. Relación Q/E

La relación de la demanda eléctrica (E) a la térmica (Q) permite visualizar la simultaneidad con que ocurren las demandas, pudiendo mostrar los siguientes dos posibles tipos de comportamiento.

1. Uniformidad.
2. Variaciones y valores máximos y mínimos.

Si $Q/E > 0.5$, se trata de empresas o usuarios consumidores de energía eléctrica, tales como grandes talleres electromecánicos, comerciales y de servicios.

Si $Q/E < 0.1$, se trata de empresas o usuarios consumidores de calor como fábricas de cemento, cales, cerámicas, etc.

Cuando esta relación tenga un valor unitario o cercano a la unidad, se trata de empresas o industrias de consumo equilibrado, como fábricas de papel, industria química, petroquímica, alimentaria y textil.

En la siguiente tabla, se presenta el tipo de tecnología o sistema de cogeneración, la relación Q/E, y la temperatura del fluido caliente correspondiente que se puede generar por el mismo sistema. Lo cual da una primera aproximación de la tecnología que se puede aplicar en un caso específico.

Tabla 4.4. Relación Q/E para distintas tecnologías

| Sistema de cogeneración | Relación (Q/E) | Temperatura de fluido caliente |
|-----------------------------|------------------|--------------------------------|
| Motor de combustión interna | De 0.8 a 2 | De 120 a 400°C |
| Turbina de vapor | De 2 a 30 | De 120 a mayores de 400°C |
| Turbina de gas | De 1.2 a 4 | De 80 a 150°C |

En cuanto a la eficiencia del sistema de cogeneración que se puede alcanzar y la relación Q/E, se observa que estas se encuentran íntimamente relacionadas con el sistema de cogeneración utilizado, tal como se muestra en la gráfica de mas abajo.

Eficiencia del sistema de cogeneración (%)

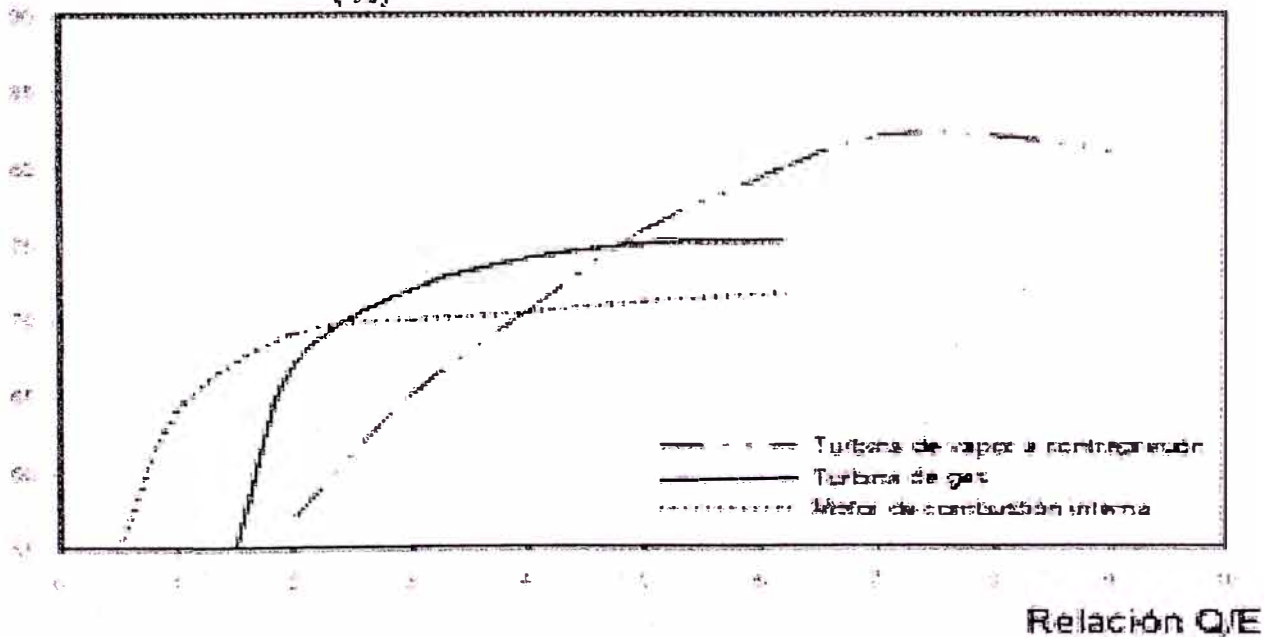


Figura 4.7. Relación Q/E para distintas tecnologías

Dependiendo de esto es que un sistema de cogeneración puede diseñarse para satisfacer cualquiera de las cinco condiciones siguientes:

- Satisfacción al 100% de requerimientos eléctricos
- Satisfacción parcial de requerimientos eléctricos
- Satisfacción al 100% de requerimientos térmicos
- Satisfacción parcial de requerimientos térmicos
- Satisfacción al 100% de requerimiento eléctricos y térmicos

Dependiendo del análisis realizado se determinará cuál de las alternativas es la más rentable o conveniente bajo las condiciones económicas y financieras de un proyecto específico. De la operación del sistema se determinará si se contará con excedentes eléctricos tanto en potencia como en energía; los cuales, de acuerdo al actual marco normativo, en caso de contar con ellos se podrán vender a la red; en el caso contrario, se podrá seguir adquiriendo el fluido eléctrico.

Para el caso térmico, o de proveer la energía térmica, se tendrá que evaluar si el sistema de cogeneración satisface al 100% los requerimientos o si se tendrá necesidad de los equipos de combustión de las calderas actuales de la empresa para satisfacer la demanda térmica restante.

4.3.4.2. Efecto de la relación de energía térmica/eléctrica en la selección de equipos

Los factores más importantes que afectarán la selección del ciclo de cogeneración para su evaluación preliminar son:

- La relación Q/E, ya que existen diferentes tecnologías y que cada una es adecuada para una relación dada.
- La calidad del calor requerido, por ejemplo la temperatura y presión con que se debe de suministrar el vapor.
- Los costos de los equipos que dependen de la tecnología seleccionada. Para un estudio de previabilidad se considera aceptable los costos del equipo dentro de un rango de $\pm 25\%$, lo que es consistente con tomar valores promedio de cargas.
- El tipo de combustible a utilizar por su costo y su disponibilidad.
- El tamaño del sistema ya que algunas tecnologías se vuelven competitivas solamente en capacidades mayores de un MW.

Por otro lado, si la cogeneración es parte de un proyecto nuevo no se tienen restricciones de espacio para la selección del sistema más adecuado. Si por el contrario es resultado de una adaptación en una planta ya operando es necesario considerar la disponibilidad de espacio, el equipo existente que podría aprovecharse y la capacidad de la red pública externa para, en su caso, exportar excedentes de energía.

Mientras más se acerque el sistema de cogeneración al promedio de la razón Q/E de una aplicación, el sistema será financieramente más atractivo. En el dimensionamiento de los sistemas, uno debe seleccionar entre satisfacer la potencia eléctrica o la demanda térmica como base de operación del sistema y una tecnología adecuada para que siga de cerca la relación Q/E en la planta o en el proceso.

Idealmente, los requerimientos térmicos y eléctricos deberían de ser simultáneos para un sistema particular, pero esto nunca sucede. Por esta razón el planificador debe decidir entre usar un generador de vapor auxiliar o tener excedentes de electricidad, o por otro lado entre tener exceso de vapor o comprar electricidad, de acuerdo con el mapa energético de la industria en particular.

4.3.4.3. Mapa energético del centro consumidor

Se define como centro consumidor a la industria o empresa que tiene una demanda eléctrica y térmica para realizar su producción y que es apta para un estudio de previabilidad de cogeneración. Se caracteriza por tener dos tipos de demanda energéticas globales: un consumo eléctrico y una demanda de calor útil, ambos para satisfacer las necesidades de producción.

Significado del mapa energético

Con base a la Figura 4.8, donde se tiene representado la situación del centro consumidor en un punto en el cual se informa de la necesidad de energía eléctrica y de calor útil para el proceso productivo.

Este mapa energético incluye dos rectas que contienen los puntos indicados como A y D, y como B y C. Estas dos rectas corresponden a dos tecnologías de cogeneración con relación E/C (relación de energía eléctrica y calor útil), mayor y menor que el centro consumidor respectivamente.

Los puntos anteriormente citados pueden resultar puntos de funcionamiento de la planta de cogeneración. Con base a la Figura 4.8., se analizan cuatro casos:

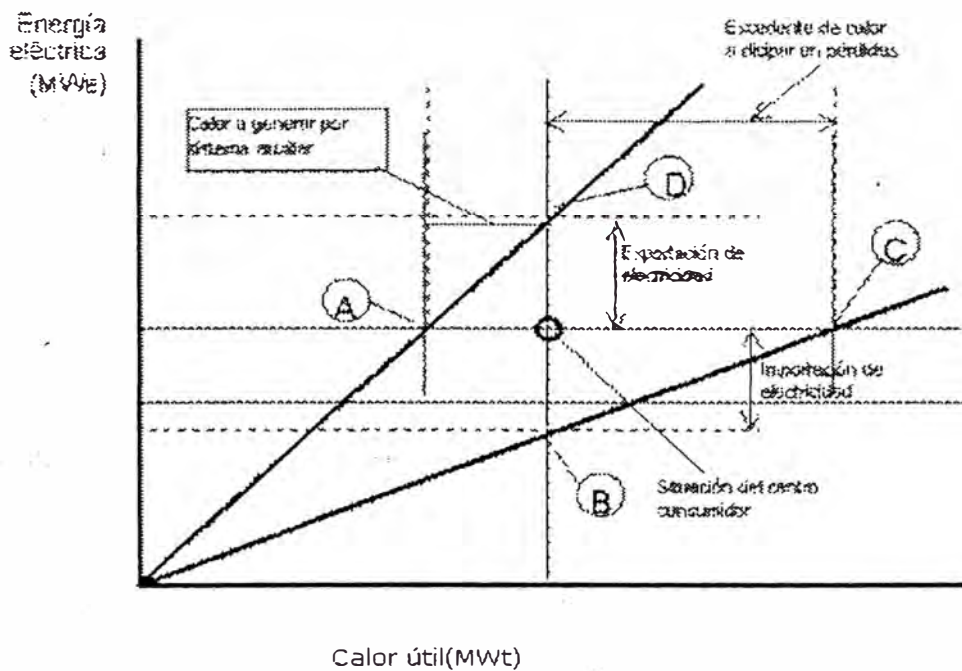


Figura 4.8. Mapa energético para un centro consumidor

Punto A: Requerimiento de sistema auxiliar de generación de calor útil

El sistema de cogeneración satisface la demanda eléctrica del centro, pero no llega a producir la energía térmica requerida, con lo que se precisa obtener la diferencia mediante un sistema auxiliar.

Los sistemas auxiliares más comunes son:

Realizar un consumo extra de combustible aprovechando el contenido de oxígeno de los gases procedentes de la combustión, para así elevar la temperatura de éstos y poder tener un potencial energético mayor, para la producción de calor útil.

O bien, producir la energía necesaria mediante un sistema convencional de producción como puede ser una caldera.

Punto B: Importación de electricidad

Situación de la planta de cogeneración en la que se satisface la demanda térmica del centro pero se necesita comprar electricidad de la red, ya que el sistema implementado no produce la suficiente.

Punto C: Desperdicio de energía térmica

Es el caso más indeseable ya que, aunque la demanda eléctrica esta completa, se produce mayor calor útil que lo que el centro consumidor demanda, por lo que resulta que, si no se vende esta energía térmica (situación actualmente inviable), resulta una pérdida de energía.

Punto D: Exportación de electricidad

Este es el caso en que se obtiene el calor útil o energía térmica necesaria para el centro consumidor, pero se produce una cantidad de electricidad mayor a la demandada, con lo que se puede vender electricidad a la red.

El análisis de estos cuatro puntos permite conocer la información que nos proporciona el mapa energético ya que, por ejemplo, se podría tener un esquema cogenerativo en la recta de relación E/C mayor que la del centro representado en la Figura 4.8., siendo el punto de funcionamiento un punto entre A y D perteneciente a dicha recta. Resultaría que se satisface la demanda eléctrica, habiendo un exceso de producción que se puede verter a la red, pero en cambio no se produciría el suficiente calor útil, con lo que sería necesario un sistema auxiliar que lo proporcionase.

En este punto de la explicación ya se tiene uno de los criterios de dimensionamiento de la configuración o sistema de la tecnología de cogeneración elegida: se dimensionará teniendo en cuenta de no elegir un punto de funcionamiento en el que se sobrepase la demanda de calor útil por parte del centro consumidor. Siendo este criterio la base para el dimensionamiento según cada uno de los dos criterios que se presentan.

De todos los casos excepto el C, son viables pudiendo obtenerse puntos de funcionamiento del sistema de cogeneración de la zona izquierda del valor de demanda de calor útil del centro.

Relación Q/E baja

Para una relación Q/E baja, el ciclo superior debe tener mayor énfasis en la eficiencia de conversión de potencia. Aquí, un motor reciprocante o un motor grande de turbina de gas debe ser indicado como motor primario. Con esta configuración, el rango general de la razón debe esperarse entre 3.2 a 6.4 GJ de calor de proceso por MW de salida eléctrica (una razón Q/E de 1 a 1.7).

Esta razón puede ser usada en instalaciones donde la recuperación de calor de desperdicio se usa totalmente para una máxima generación de vapor, con quemadores suplementarios para el balance de vapor requerido.

Los motores grandes de diesel se han vuelto populares recientemente para la generación de potencia en varias industrias, y presentan oportunidades atractivas para cogeneración a través del uso del proceso de vapor a baja presión.

Los motores de gasolina, disponibles en tamaños más pequeños, pueden optimizar las conversiones de energía en aplicaciones comerciales ya sea en carga térmica para una cocina o lavandería o carga de enfriamiento con equipos de absorción para aire acondicionado. También se pueden tomar ventajas de esta relación Q/E baja, del motor recíprocante, utilizando la potencia de la flecha para operar enfriadores centrífugos y usar el calor de desperdicio para los enfriadores de absorción y lograr una eficiencia de conversión de energía muy grande para los requerimientos de las grandes centrales de aire acondicionado.

Relación Q/E media

Para esta razón, las pequeñas turbinas de gas con quemadores suplementarios, son usadas como motores primarios con la recuperación del calor de desperdicio de los calentadores para la producción de vapor. Sin embargo estas turbinas son motores de baja eficiencia (las turbinas más pequeñas normalmente solo tienen entre 18 y 25 por ciento de eficiencia), por lo que existe un calor de desperdicio considerable disponible en la corriente de salida. Con las configuraciones del ciclo superior descritas anteriormente, se tiene un rango general de salida térmica de 8.4 a 12.6 GJ de calor de proceso por MW de salida eléctrica, por lo se puede esperar una razón de Q/E de 2 a 4.

Las turbinas de gas, con configuración del calentador de calor directo o de recuperación de calor, encuentran requerimientos de calor en cantidades adecuadas para muchos procesos en el sector industrial. En climas más cálidos, pueden proveer el balance correcto de calor para sistemas de aire acondicionado medianos y grandes, especialmente para los hospitales, hoteles y aeropuertos, donde el servicio se requiere las 24 horas básicamente durante todo el año.

Relación Q/E alta

Para cargas de calor muy grandes en relación con los requerimientos de potencia, o una relación Q/E alta, una turbina de vapor alimentada con vapor a baja, media o alta presión de los calentadores y uso de extracción a contrapresión o turbinas de extracción/condensación proveen las relaciones más flexibles. Esto es porque las condiciones de la entrada de vapor y la eficiencia de la turbina pueden variar para obtener la combinación más económica para la carga de vapor deseada.

Con una turbina de vapor de baja presión a contrapresión con un consumo específico de vapor de 55 kg/kWh, se requieren de 45.4 toneladas de vapor/h (aproximadamente 105 GJ/h) para producir 1 MW de electricidad. En el caso de una turbina de alta presión extracción/condensación con un consumo específico de vapor de 3.6 kg/kWh, se necesita de 3,628 kg/h de vapor para generar 1 MW de electricidad. Sin embargo solo la parte de vapor tomada en el puerto de extracción debe ser aplicada a satisfacer los requerimientos de calor del proceso. Las razones Q/E varían en un rango muy amplio, desde, tan bajas como 2 hasta tan altas como 40.

4.4. Sistema de Cogeneración en una Empresa Textil

4.4.1. Sudamericana de Fibras (SdF)

Sudamericana de Fibras fue fundada el año 1969, la razón social en ese entonces era Bayer Industrial.

Inició sus actividades de producción en 1972 con una línea de producción de Tow de fibra acrílica con una capacidad de 9000 Tons/año.

En 1972 instalan una pequeña turbina de vapor de 1 MW de capacidad. La producción de vapor se hacía en dos calderas que usaban como combustible el petróleo residual.

En 1974 SdF amplía su capacidad de producción a 18000 Tons/año instalando una segunda línea de producción dual de Tow y fibra cortada.

En 1982 SdF amplía su capacidad de producción a 27000 Tons/año instalando una tercera línea de producción de Tow y se instala una turbina de cogeneración a vapor con una capacidad de 2, 2 MW. Se adquirió entonces una tercera caldera que también operaba con petróleo residual.

En 1995 SdF adquiere una caldera Babcock Wilcox de 40 bar de presión diseñada para trabajar con petróleo residual o gas natural. Paralelamente se adquiere una nueva turbina de cogeneración a vapor con una capacidad de 5,4 MW la cual se utiliza actualmente a un 65% de carga.

En 2004 SdF convierte su caldera Babcock Wilcox a gas natural y fue la primera empresa peruana en consumir gas natural para fines industriales.

En 2009 se inaugura la nueva planta de cogeneración de SdF con una producción de productos de fibra acrílica hilada en seco con una capacidad de producción de 36000 Tons por año. Se dispone de 31 MW para satisfacer la demanda de la comunidad del Callao y de Lima. Con los 31 MW se puede abastecer a unos 85000 hogares (10,6 GJ/año/hogar)

Esta industria, desde sus inicios, cuenta en sus instalaciones con sistema de cogeneración, y la capacidad de generación de energía eléctrica se ha venido incrementando a medida que se ampliaba la capacidad de producción de la planta.

Sudamericana de Fibras es una industria dedicada a la fabricación de fibras acrílicas: Drytex, para ello cuenta con las siguientes áreas de producción:

- Polimerización
- Hilandería
- Acabados

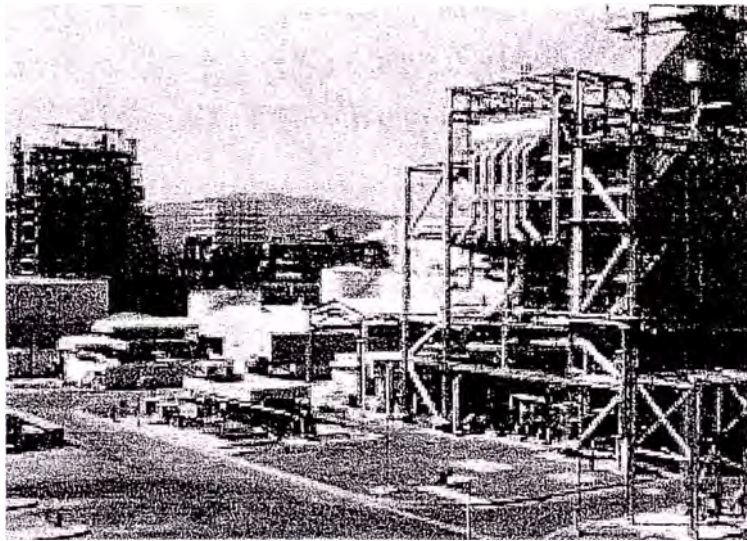


Figura 4.9. Planta de Sudamericana de Fibras (SdF)

La cogeneración es un proceso tecnológico mediante el cual a partir de un combustible podemos obtener calor y electricidad simultáneamente para satisfacer nuestras necesidades. En una industria por ejemplo, requerimos de energía térmica para secar, para cocinar o producir una reacción química en una línea de manufactura de un producto, para ello quemamos el combustible y obtenemos el calor necesario. Y también requerimos de electricidad para alimentar motores y maquinas que trabajan en la línea de manufactura mencionada. Así compramos el combustible y la electricidad separadamente en la generación convencional, tal como se ve en la izquierda de la figura siguiente:

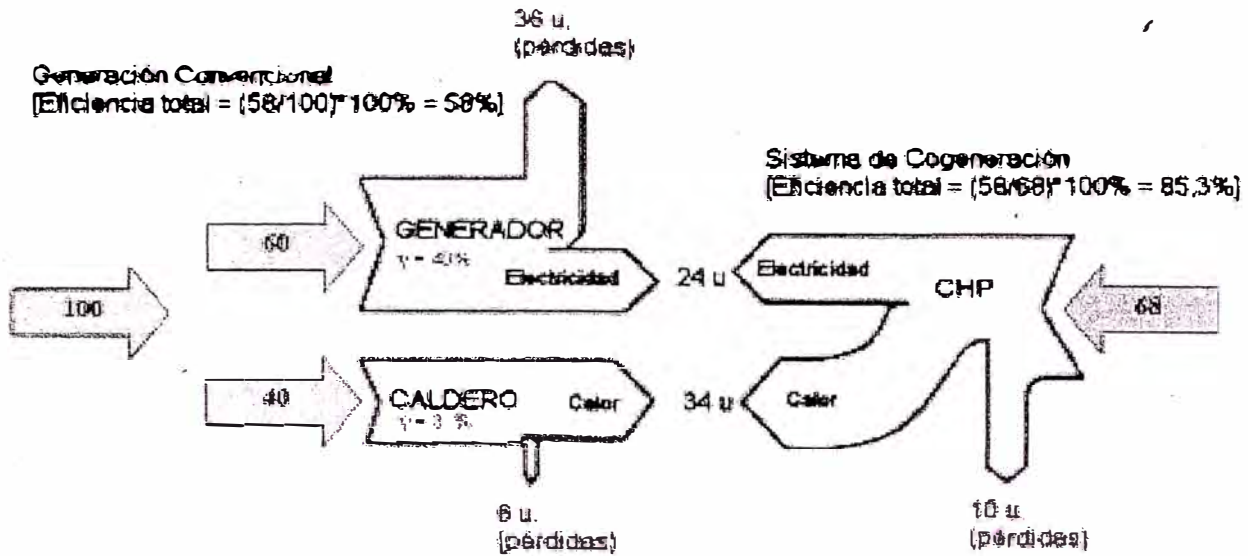


Figura 4.10. Generación convencional y Cogeneración (SdF)

Y al quemar el combustible en la caldera obtenemos 34 unidades de calor y nos han vendido 24 unidades de electricidad, observemos que para ello se ha utilizado 100 unidades de combustible (40 unidades usadas en el caldero de nuestra planta y 60 unidades en la planta de generación eléctrica), por ello la eficiencia global del proceso es 58%.

En la cogeneración en cambio, observen la derecha de la misma figura anterior, se producen las mismas cantidades de calor y electricidad, requiriéndose solamente 68 unidades de combustible y con ello una eficiencia global del proceso del 85,3%, usándose más eficientemente el combustible, que tratándose de un recurso no renovable y esencial, da importancia al uso de la cogeneración en la industria o en cualquier actividad que requiera de calor y electricidad.

Sudamericana de Fibras es una empresa con experiencia en el uso de la cogeneración desde los 90s, cuando instala un sistema de cogeneración que requería de 3 400 m³/h de gas natural para un caldero que alimentaba a una turbina

de vapor, produciendo 40 TM/h de vapor y 3 MW de electricidad para el proceso, sin embargo tenia que comprar al distribuidor de electricidad 1,5 MW para completar los requerimientos de electricidad de la planta.

Situación Actual

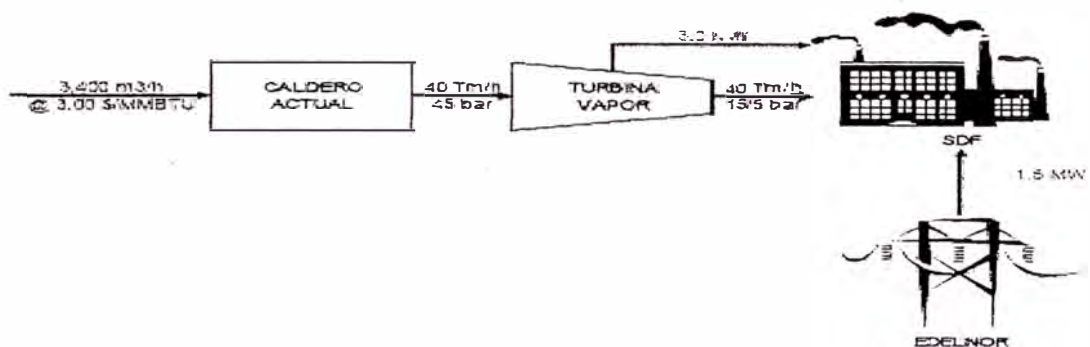


Figura 4.11. Situación Actual (SdF)

El esquema de cogeneración actual de SdF es mostrado con fondo amarillo en la figura, aquí puede verse que se compran 7 500 m³/h de gas natural y se "queman" en la Turbina 1, obteniéndose 28 MW de electricidad y el calor producido se usa en el caldero de recuperación HRSG para obtener 40 TM/h de vapor para la turbina de vapor y el proceso industrial. se debe observar que se obtienen los 1,5 MW de electricidad y las 40 TM/h de vapor requeridos por la planta de SdF para su operación normal; así como 26,5 MW de electricidad para su venta a otros usuarios. Si se desea tener una idea de la electricidad producida, este excedente podría alimentar aproximadamente 10 veces la demanda de electricidad de la universidad o 5 instalaciones industriales cuya demanda sea similar a la de Sudamericana de Fibras.

Cogeneración

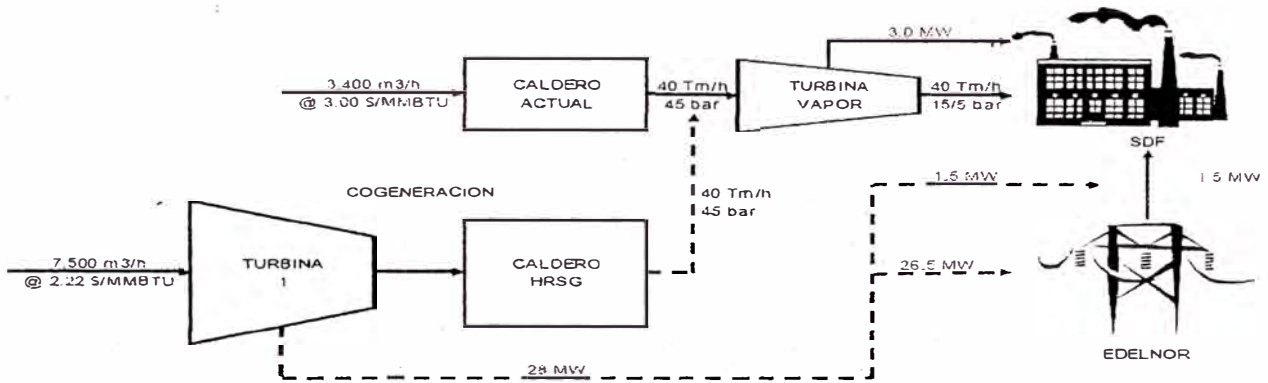


Figura 4.12. Cogeneración (SdF)

Se inauguro la nueva planta de cogeneración de sudamericana de fibras, se instala una Turbina 2 de gas produciendo 28 MW de electricidad y un caldero de recuperación que satisfacerían los requerimientos de energía eléctrica y de vapor de la planta de Sudamericana de Fibras (SdF); así como la venta de energía eléctrica excedente al sistema de distribución incorporándose al mercado eléctrico. La empresa ingresará oficialmente al negocio de producción eléctrica, dicha operación producirá electricidad a partir de gas natural y aprovechará los vapores (producidos al quemar el gas) en los calderos industriales de la textilera, ubicada en el Callao.

Cogeneración + Generación

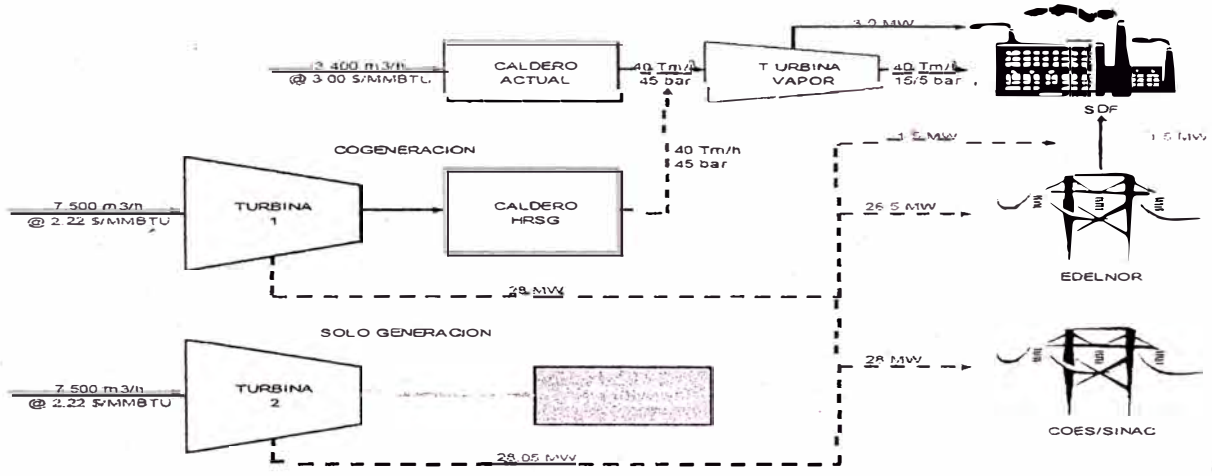


Figura 4.13. Cogeneración + Generación (SdF)

4.4.2. Datos Técnicos para el Diseño del Sistema de Cogeneración

- Caldera Babcock Wilcox de 46 bar con gas natural

Consumo de gas natural: 5362 m³/h

GN

densidad = 0,60 kg/m³

PCI = 39 900 kJ/kg

PCS = 44 000 kJ/kg

- EDELNOR

Consumo de energía eléctrica : 4764 kW

Tabla 4.5. Mediciones térmicas en puntos del sistema de cogeneración

| Punto del Sistema | Presión (bar) | Temperatura (°C) | Flujo másico (Ton/h) |
|---------------------------|---------------|------------------|----------------------|
| Ingreso a caldera | 46 | 100 | 38,4 |
| Salida de caldera | 46 | 425 | 38,4 |
| Salida de VRP | 26 | 330 | 1,4 |
| Ingreso a TV | 43 | 420 | 37 |
| Extracción de vapor en TV | 14,8 | 285 | 9 |
| Salida de TV | 5,4 | 210 | 28 |

4.4.3. Selección de la Tecnología

Relación Q/E

- Q: demanda térmica
- E : demanda eléctrica
- $Q/E = 6,36$
- De la Tabla 4.4. se selecciona el uso de una turbina de vapor

Tabla 4.6. Estado y entalpía de puntos del Sistema de Cogeneración

| Punto del Sistema | Estado del agua | Entalpía (kJ/kg) |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Ingreso a caldera | L.C. | 422,421 |
| Salida de caldera | V.Sc. | 3262,355 |
| Salida de VRP | V.Sc. | 3077,115 |
| Ingreso a TV | V.Sc. | 3255,385 |
| Extracción de vapor en TV | V.Sc. | 3004,453 |
| Salida de TV | V.Sc. | 2874,550 |

CAPITULO 5

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

5.1. Análisis del Sector de Cogeneración

De forma simplificada podemos decir que la cogeneración es la producción simultánea, en un mismo proceso, de electricidad y calor útil. La Directiva Europea 2004/08 define el calor útil como “el calor producido en un proceso de cogeneración para satisfacer una demanda económicamente justificable de calor o refrigeración”.

Y se trata precisamente de eso: de aprovechar la energía térmica generada en distintos procesos de generación eléctrica evitando que esa energía térmica simplemente se pierda en la atmósfera.

Aunque la cogeneración es una tecnología que se conoce desde hace décadas, con un alto grado de madurez y una elevada eficiencia (rendimientos globales por encima del 80% en algunos casos), apenas se ha aprovechado su gran potencial en la región de América Latina.

Comparadas con las tecnologías de generación convencional, las tecnologías de cogeneración suponen un mejor aprovechamiento de la energía contenida en los combustibles y por tanto un ahorro de energía primaria que se traduce en ahorro económico y en reducción de emisiones de gases de efecto invernadero,

principalmente CO₂. Pero además al tratarse de generación distribuida, ubicada próxima a los lugares de consumo, la cogeneración reduce costes y facilita la gestión en el transporte y distribución de la electricidad. También, en aquellas zonas con dificultades en continuidad y calidad de suministro eléctrico, la cogeneración ofrece la seguridad que a veces las redes eléctricas no alcanzan a garantizar.

El rango de potencias de las instalaciones de cogeneración es muy amplio y puede variar desde unos pocos kilovatios a más de 100 megavatios. De hecho la potencia, al igual que otras características técnicas, dependen del tipo de tecnología escogido. El siguiente cuadro muestra para los principales equipos de cogeneración, los diferentes parámetros técnicos:

Tabla 5.1. Rendimiento energético y potencia de equipos de cogeneración

| Rendimiento energético equipos cogeneración | | | | |
|--|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------|
| | Rendimiento Eléctrico | Rendimiento Global | Relación Electricidad Cator | Potencia |
| Turbina de gas en ciclo simple | 30-40 | 75-80 | 0,6-1 | 5-50 MW |
| Turbina de gas en ciclo combinado | 35-50 | 80 | 0,8-1,6 | 7-60 MW |
| Turbina de vapor contrapresión | 7-20 | 75-90 | 0,04-0,16 | 1-20 MW |
| Motores alternativos de combustión | 35-45 | 75 | 1,1-1,5 | 1-25 MW |
| Micromotores | 25-35 | 75 | 0,5-0,9 | 10-400 kW |
| Microturbinas | 25-30 | 75 | 0,5-0,67 | 30-200 kW |

Fuente: IDEA

Este rango tan amplio de potencias permite que la tecnología tenga múltiples aplicaciones dentro de los diferentes sectores económicos:

Tabla 5.2. Aplicaciones de la cogeneración por sectores económicos

| Edificación | Sector servicios |
|--|---|
| Edificios de viviendas. | Hoteles. |
| Hospitales. | Complejos deportivos. |
| Complejos penitenciarios. | Piscinas públicas. |
| Estaciones de policía. | Centros de ocio. |
| Colegios, Universidades y Residencias estudiantiles. | Centros comerciales. |
| Redes de climatización de distrito. | Restaurantes. |
| Edificios de oficinas. | Aeropuertos. |
| | Lavanderías industriales. |
| | Tratamiento residuos urbanos. |
| Sector agropecuario y agricultura | Sector Industrial |
| Horticultura e invernaderos. | Procesos destilación e industria alimentaria. |
| Secaderos de cosechas y Madera. | Cerámica, azulejos, yesos y cemento. |
| Instalaciones para animales y zoológicos. | Producción textil. |
| Uso de residuos agropecuarios y biogas. | Minería y Metalurgia. |
| | Industria maderera. |
| | Refinería. |
| | Industria química. |
| | Automoción. |
| | Papel y pasta. |
| | Vidrio. |

Fuente: IDEA

5.2. Situación Actual de la Cogeneración en el Perú

Considerando la coyuntura de rápido crecimiento de la demanda de energía eléctrica que ha experimentado el país en los últimos años, es posible que se desarrollen proyectos de cogeneración, en el contexto de generación distribuida, principalmente con sistemas de motores alternativos y turbinas de gas operando con gas natural.

Aunque no se han realizado estudios formales de potencial de cogeneración desde el año 2000, se estima que el potencial técnico está en torno a 500 MW, mientras que el potencial económicamente viable podría estar sobre los 200 MW. De los diferentes sectores, el sector industrial es el sector que presenta el mayor potencial, seguido por las empresas de refino, luego minero-metalúrgico y por último el sector servicios, con un 4,7 % de potencial tecnológico. En la siguiente tabla se muestran los porcentajes correspondientes a los sectores económicos:

Tabla 5.3. Potencial tecnológico y efectivo de la cogeneración en los sectores económicos

| SECTOR | POTENCIAL TECNOLÓGICO | | | POTENCIAL EFECTIVO | | |
|---------------------------------|-----------------------|--------------|------------------------------------|--------------------|--------------|------------------------------------|
| | MW | % | INVERSION REQUERIDA Mio US\$ | MW | % | INVERSION REQUERIDA Mio US\$ |
| Industrial ¹ | 302.8 | 70.8 | 318.5 | 126.4 | 64.3 | 138.5 |
| Refinero ² | 65.4 | 15.3 | 96.0 | 50.9 | 25.9 | 60.5 |
| Minero-Metalúrgico ³ | 39.2 | 9.2 | 25.6 | 15.6 | 7.9 | 10.2 |
| Servicios ⁴ | 20.2 | 4.7 | 15.0 | 3.8 | 1.9 | 3.4 |
| TOTAL | 427.6 | 100.0 | 455.1 | 196.7 | 100.0 | 212.6 |

Fuente: CENERGIA

Los costos de inversión relacionados con sistemas de cogeneración en el país se estiman entre 1.000 a 1.500 US\$ por kW instalado, mientras que los costos de operación y mantenimiento, utilizando gas natural, serían alrededor de 0,06 a 0,08 US\$ por kWh generado.

De momento, no existen redes de comercialización propiamente dichas, puesto que sólo se ha implementado un proyecto de cogeneración bajo el nuevo régimen de promoción establecido. Se presume que los clientes potenciales establecerán contacto directo con posibles suministradores internacionales a fin de solicitar cotizaciones a nivel de proyecto llave en mano. En algunos casos, algunas firmas de ingeniería locales podrían actuar de soporte local.

Se establecen 3 restricciones o REGLAS DE ORO DE LA COGENERACION EN EL PERU:

- LIMITE MINIMO de horas de operación anual de la empresa es 4000 horas/año.
- VALOR MINIMO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE de 500 TEP/año para el Sector Industrial y 200 TEP/año para el Sector de Servicios.

- NIVEL MINIMO DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA , para el sector industrial 2000 Mwh/año con una máxima demanda de 500 KW y para el sector de servicios de 1000 MWh/año con una máxima demanda de 250 MW.

Entre 1994-1995 CENERGIA –AECI-ICI evaluaron el Potencial de Cogeneración en los Sectores Mineros, Metalúrgicos, Pesqueros, Textiles, Cementeros, Refinerías, estimándose un Potencial efectivo de 133 MW. Con periodos de retorno de la inversión de 2.4 años para la Industria y 3.1 Años para las Empresas de Servicios.

En 1999 CENERGIA dentro del Programa ALURE , auspiciado por el MINEM y AECI elaboran el trabajo denominado “Potencial de la Cogeneración en el Perú usando Gas Natural”, bajo los criterios tecnológicos y económicos.

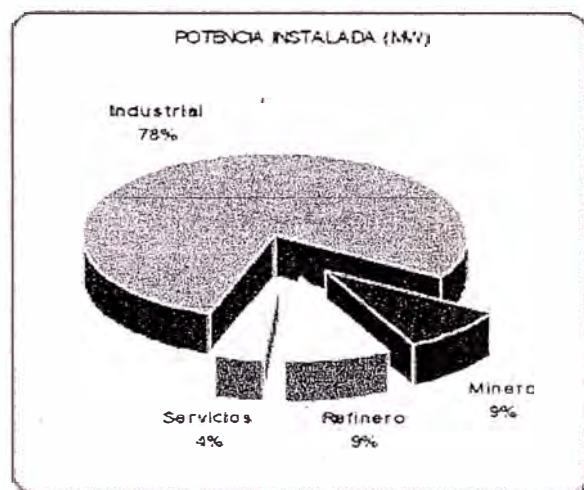
En un estudio a 119 Instalaciones, estimados un Potencial Tecnológico de 427.6 MW y un Potencial Efectivo de 196.7 MW con periodos de retorno de la Inversión de 2.4 años.

Entre 2008-2009 WADE realizo una evaluación actualizada del Potencial de Cogeneración , teniendo en cuenta los criterios de calificación.

Tabla 5.4. Potencial Tecnológico Nacional-Estudios y Proyecciones (I)

La Cogeneración en Perú tiene un Potencial Tecnológico de 547 MW, proyectado a junio de 2008:

| SECTOR | ACTIVIDAD | POTENCIA INSTALADA (MW) |
|---------------|----------------------|-------------------------|
| Industrial | <i>Alimentos</i> | 45.04 |
| | <i>Bebidas</i> | 26.02 |
| | <i>Cementos</i> | 52.75 |
| | <i>Cerámicos</i> | 14.57 |
| | <i>Metalúrgica</i> | 27.24 |
| | <i>Papel</i> | 45.00 |
| | <i>Pasquería</i> | 42.68 |
| | <i>Químicos</i> | 39.61 |
| | <i>Textiles</i> | 77.71 |
| | <i>Otros</i> | 21.32 |
| | | 425.15 |
| Minero | <i>Minería</i> | 49.84 |
| Refinero | <i>Hidrocarburos</i> | 49.14 |
| Servicios | <i>Salud</i> | 22.90 |
| TOTAL GENERAL | | 547,04 |



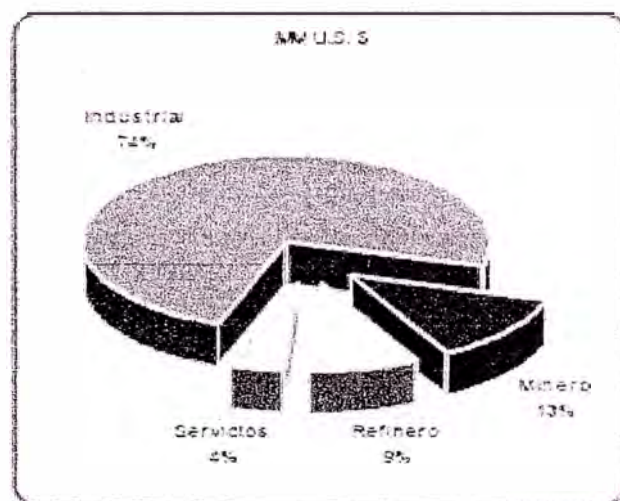
Fuente: propia (WADE Perú)

WADE

Tabla 5.5. Potencial Tecnológico Nacional-Estudios y Proyecciones (II)

La Cogeneración en Perú tiene un Costo de Inversión de U.S. \$ 973,15 Millones, proyectado a junio de 2008 (*):

| SECTOR | ACTIVIDAD | MM U.S. \$ |
|---------------|----------------------|------------|
| Industrial | <i>Alimentos</i> | 58.48 |
| | <i>Bebidas</i> | 45.62 |
| | <i>Cementos</i> | 55.55 |
| | <i>Cerámicos</i> | 27.27 |
| | <i>Metalúrgica</i> | 45.74 |
| | <i>Papel</i> | 57.44 |
| | <i>Pasquería</i> | 53.89 |
| | <i>Químicos</i> | 65.21 |
| | <i>Textiles</i> | 139.76 |
| | <i>Otros</i> | 39.90 |
| | | 719.08 |
| Minero | <i>Minería</i> | 123.20 |
| Refinero | <i>Hidrocarburos</i> | 59.02 |
| Servicios | <i>Salud</i> | 42.88 |
| TOTAL GENERAL | | 973.15 |



Fuente: propia (WADE Perú)

OPORTUNIDAD DE NEGOCIO: para los BANCOS, PROVEEDORES, CONSULTORES, EMSEs y ESCOs.

WADE

La aplicación de la cogeneración en el Perú es:

- Empresas de Fabricación de Azúcar : Casagrande, Pomalca , San Jacinto , Cartavio, Paramonga , Laredo , Tuman , etc.
- Refinería La Pampilla.-10 MW
- Sudamericana de Fibras (Central de Oquendo –30 MW GN)
- Central de Cogeneración de Paramonga-23 MW(Bagazo)

5.3. Ahorros con el Programa de Cogeneración

Los ahorros estimados por la implementación de un programa de cogeneración de 196 MW son tan importantes, que las inversiones se pagan antes de los 6 años como se puede ver en la Tabla 5.6. si la mejora se realizar sin cambiar de combustible, trayendo beneficios por el ahorro de la energía primaria y la generación de energía eléctrica que aliviaría la demanda.

La mencionada Tabla 5.6. se construyó considerando que los equipos se convierten a cogeneradores funcionando con residual 500, sin considerar el potencial cambio a gas natural, que reduciría sustancialmente el costo de la adquisición de combustible y los ingresos por la venta de bonos de carbono serían mayores (ya que emitiría menos) y las inversiones se recuperarían en un tiempo menor. En el estudio del Proyecto ALURE-MEM se calculó que si se utilizará gas natural el repago se produciría en 2.3 años en promedio en el sector industrial y 3.7 años en el sector minero metalúrgico. Para el presente estudio se ha considerado que sólo el 50% de los proyectos logran demostrar.

Es necesario señalar, que en los 10 complejos azucareros del país, también existe un potencial adicional de cogeneración que puede exportar 55 MW eléctricos al sistema nacional y que pueden implementarse en un plazo de 3 a 4 años. Con ambos proyectos se podría alcanzar 250 MW eléctricos.

Tabla 5.6. Ahorros con el Programa de Cogeneración

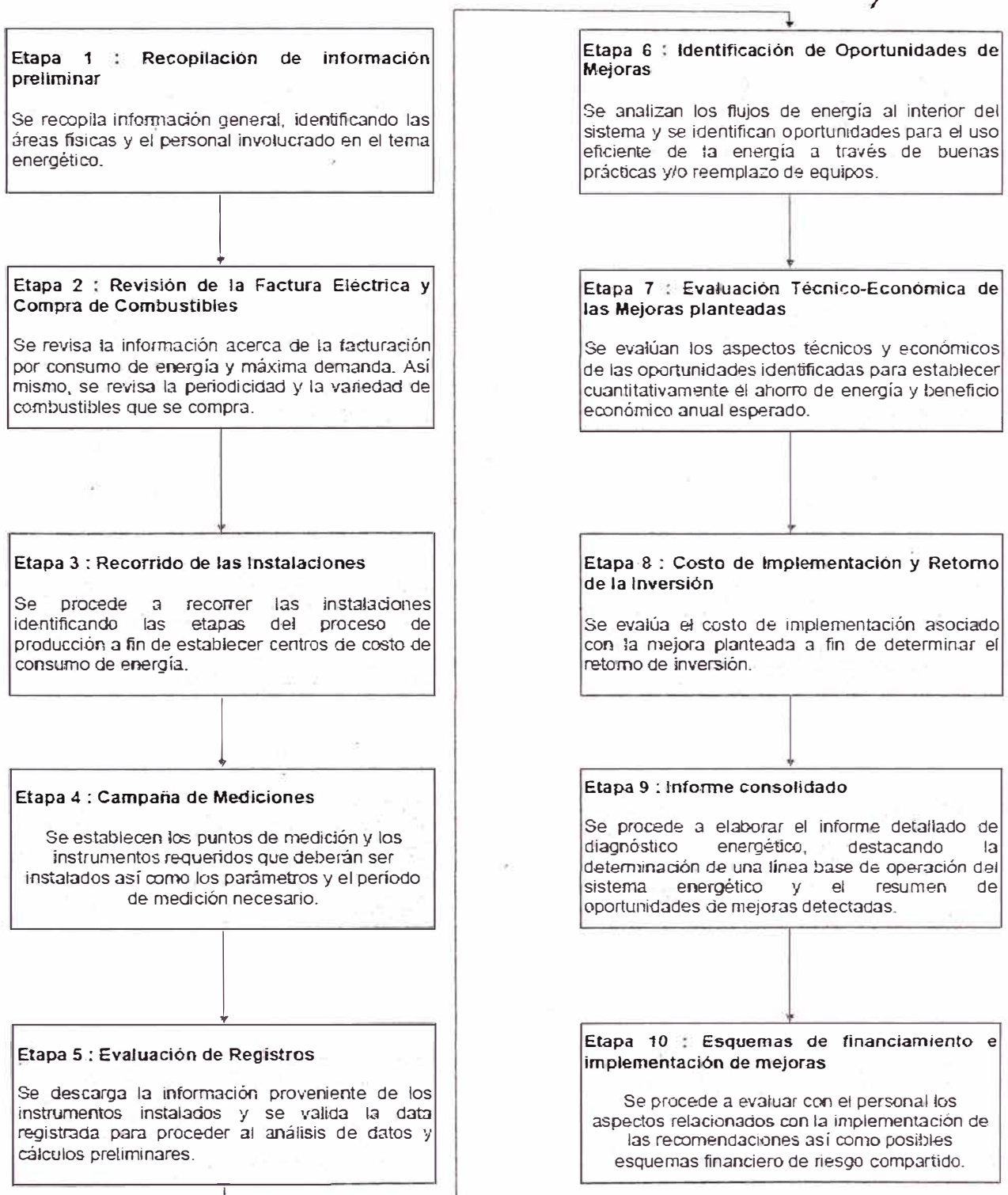
Proyecto de desarrollo de la cogeneración en el país (1)

| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1. Reducción de la demanda (MW) | 20 | 40 | 60 | 100 | 106 | 126 | 196 | 126 | 106 | 126 |
| 2. Ahorros de energía (GWh/año) | 169 | 337 | 675 | 1349 | 1653 | 1653 | 1653 | 1653 | 1653 | 1653 |
| 3. Ahorro energía (TJ/año) | 607 | 1214 | 2429 | 4858 | 5950 | 5951 | 5951 | 5951 | 5951 | 5951 |
| 4. Ahorros en combustibles (x 10 ⁶ USA \$) | 8 | 15 | 30 | 60 | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 |
| 5. Ingresos por venta electricidad (x 10 ⁶ USA \$) | 6 | 12 | 24 | 48 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| 6. Ahorros e ingresos por ser cogenerador (x 10 ⁶ USA \$) | 14 | 27 | 54 | 108 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 |
| 7. Reducción emisiones (TM CO ₂ /año) | 46906 | 93823 | 157088 | 375971 | 450585 | 480592 | 450592 | 480592 | 480592 | 460592 |
| 8. Ingresos venta bonos carbono (x 10 ⁶ USA \$) | 0.35 | 0.70 | 1.41 | 2.82 | 3.45 | 3.45 | 3.45 | 3.45 | 3.45 | 3.45 |
| 9. Inversiones requeridas (x 10 ⁶ USA \$) | 30 | 30 | 60 | 120 | 54 | | | | | |

(1) Estimaciones basadas en el Estudio Potencial Nacional de Cogeneración Utilizando Gas Natural. Programa Alure. MINEM. 1999

5.4. Análisis y diagnóstico energético de la Industria textil

El diagnóstico energético tiene por objetivo principal identificar oportunidades de uso eficiente de la energía y establecer una línea base contra la cual se deberán evaluar los beneficios obtenidos como resultado de la implementación de las mejoras y recomendaciones asociadas con las oportunidades identificadas. Existen diagnósticos de diferente profundidad que están en función del tamaño de la industria textil y a la disponibilidad de recursos para su ejecución. En la Figura 5.1., se presenta un diagrama de flujo referencial del Análisis y Diagnóstico energético.



Fuente: CENERGIA, elaboración propia.

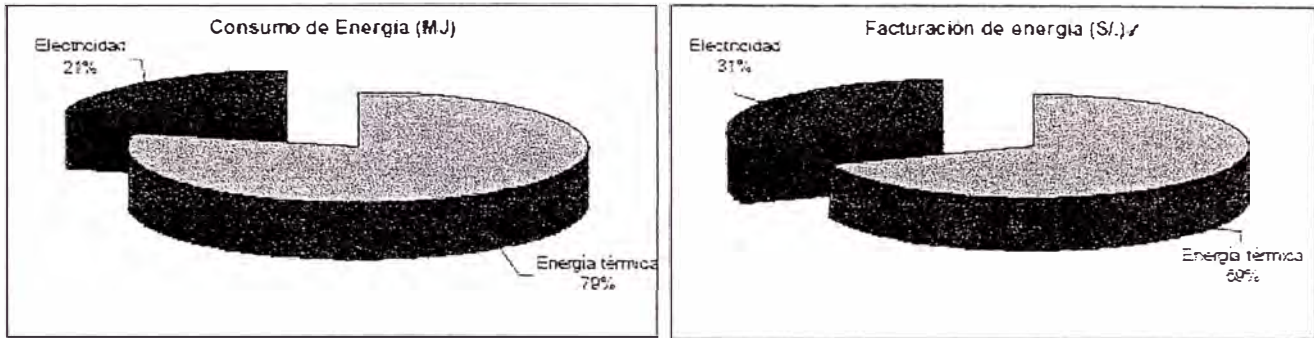
Figura 5.1. Diagnóstico energético en 10 pasos

El análisis y diagnóstico energético de línea base captura y describe el estado del sistema energético en el momento de su desarrollo. Es importante anotar que existen sistemas con características dinámicas que pueden producir variaciones en el diagnóstico dependiendo del momento de su elaboración. Lo importante es que el diagnóstico establezca una línea base contra la cual se deberán evaluar los efectos e impactos de posibles mejoras a proponer e implementar.

El establecimiento de la línea de base permite evaluar el impacto de las recomendaciones asociadas con buenas prácticas de mínima inversión y mejoras tecnológicas con grado de inversión orientadas a reducir costos de operación y mejorar la productividad.

La línea base deberá estar expresada en forma cuantitativa y ser consistente con la situación real del sistema energético a efectos de comparación en un período determinado. Esto resulta de particular importancia para análisis relacionados con protocolos de medición y verificación en proyectos de uso eficiente de la energía que son financiados a través de mecanismos de contrato por desempeño.

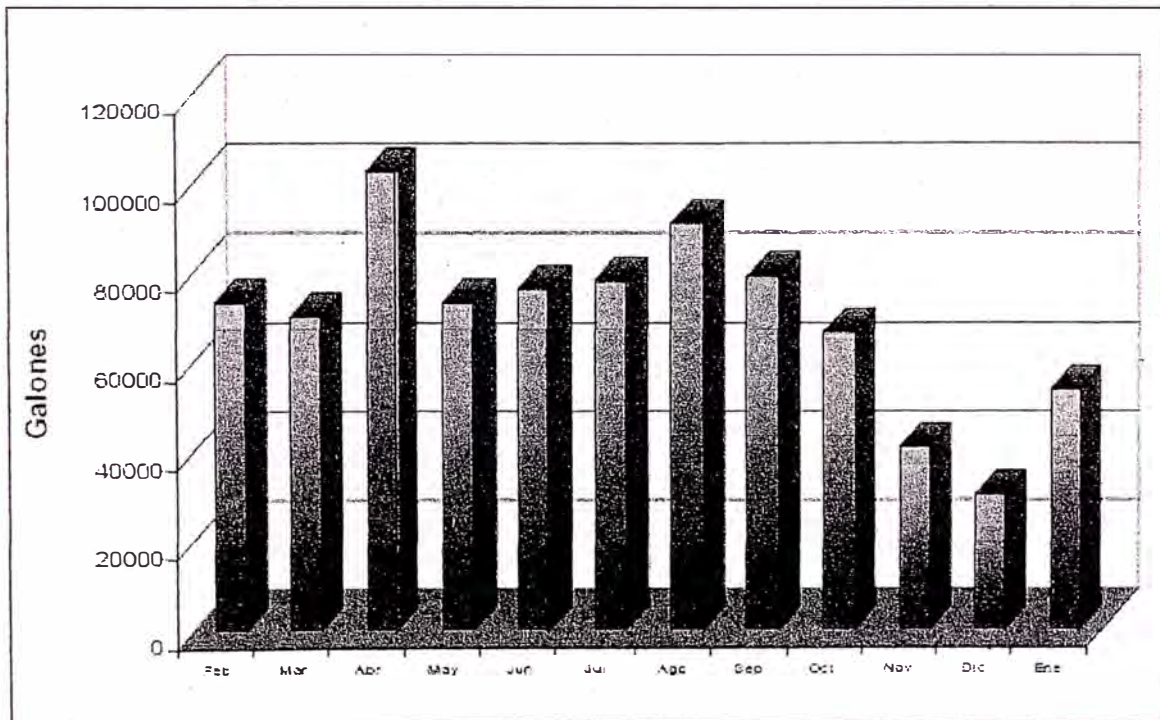
En la Figura 5.2, se muestra el consumo y facturación anual de energía en una industria textil. En términos de energía, se consume 21% en electricidad y 79% en combustible. Sin embargo, en términos de facturación, la electricidad representa el 31% y el combustible representa el 69%.



Fuente: Adaptación de Estudio de Textilera, CENERGIA, 2007.

Figura 5.2. Consumo vs. Facturación de Energía

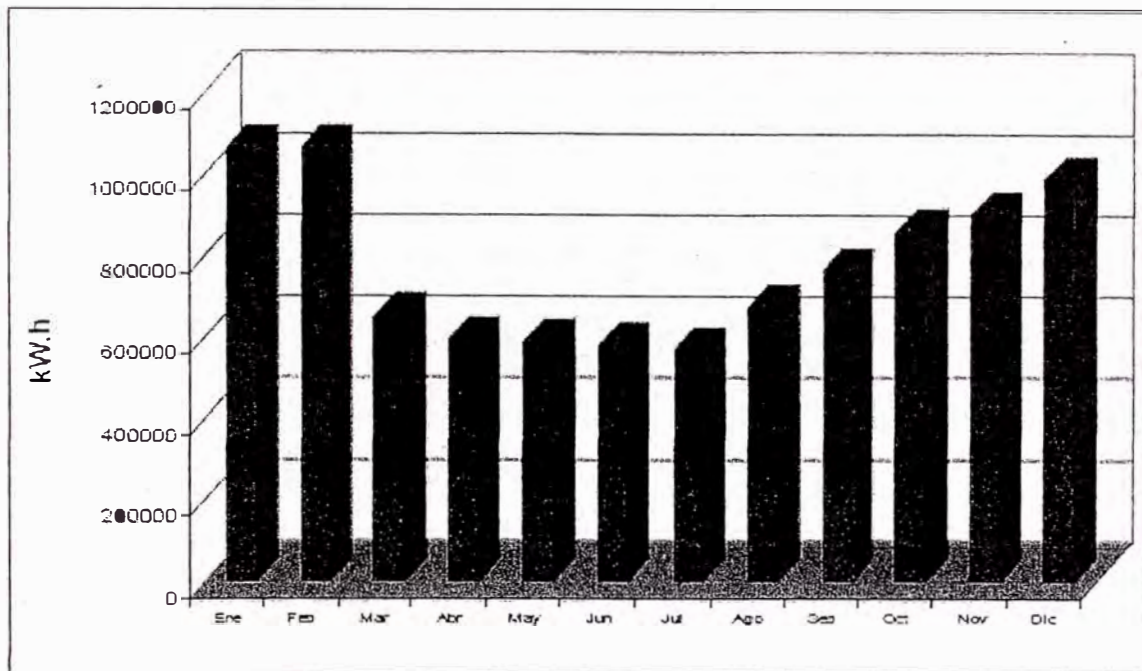
El consumo de energía tanto térmica como eléctrica varía a lo largo de los meses, tal como se muestra en la Figura 5.3 y Figura 5.4. Estas variaciones se deben a diversos factores, en particular al volumen de producción, aspectos de control y operación de los equipos y condiciones ambientales (aire acondicionado).



Fuente: Adaptación de Estudio de Textilera, CENERGIA, 2007.

Figura 5.3. Variación Mensual del Consumo de Energía Térmica

En este caso ilustrativo, la energía térmica utilizada en una industria textil proviene del petróleo. Se observan variaciones mensuales que alcanzan valores cercanos a los 100 mil galones de petróleo.



Fuente: Adaptación de Estudio de Textilera, CENERGIA, 2007.

Figura 5.4. Variación Mensual del Consumo de Energía Eléctrica

El consumo de energía eléctrica también presenta variaciones a lo largo del año, registrando valores cercanos a los 1 200 000 kWh.

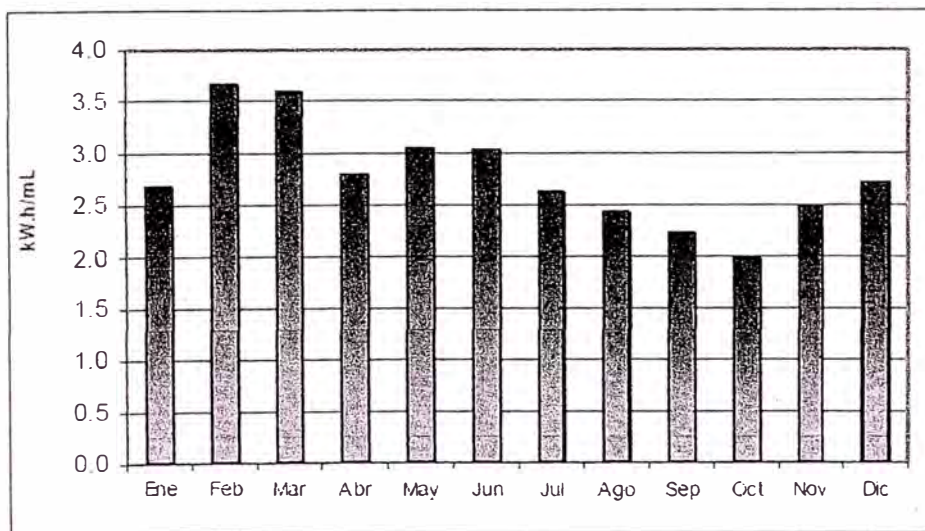
A modo de ilustración, en la Tabla 5.7. se muestra la variación del consumo específico de energía en función al metro lineal de tela.

Tabla 5.7. Línea base de Consumo Específico

| MES | ELECTRICIDAD (kW.h) | Tela (m lineales) | I.E. (kW.h/mL) |
|-----------------|------------------------|----------------------|-------------------|
| Ene | 1062000 | 395600 | 2.7 |
| Feb | 1063000 | 290700 | 3.7 |
| Mar | 652000 | 181600 | 3.6 |
| Abr | 596000 | 212800 | 2.8 |
| May | 588000 | 193400 | 3.0 |
| Jun | 580000 | 191100 | 3.0 |
| Jul | 568000 | 216600 | 2.6 |
| Ago | 673300 | 277500 | 2.4 |
| Sep | 762000 | 343700 | 2.2 |
| Oct | 860160 | 434900 | 2.0 |
| Nov | 903000 | 363900 | 2.5 |
| Dic | 988000 | 363900 | 2.7 |
| MAXIMO | | | 3.7 |
| MINIMO | | | 2.0 |
| PROMEDIO | | | 2.8 |

Fuente: Adaptación de Estudio de Textilera, CENERGIA, 2007.

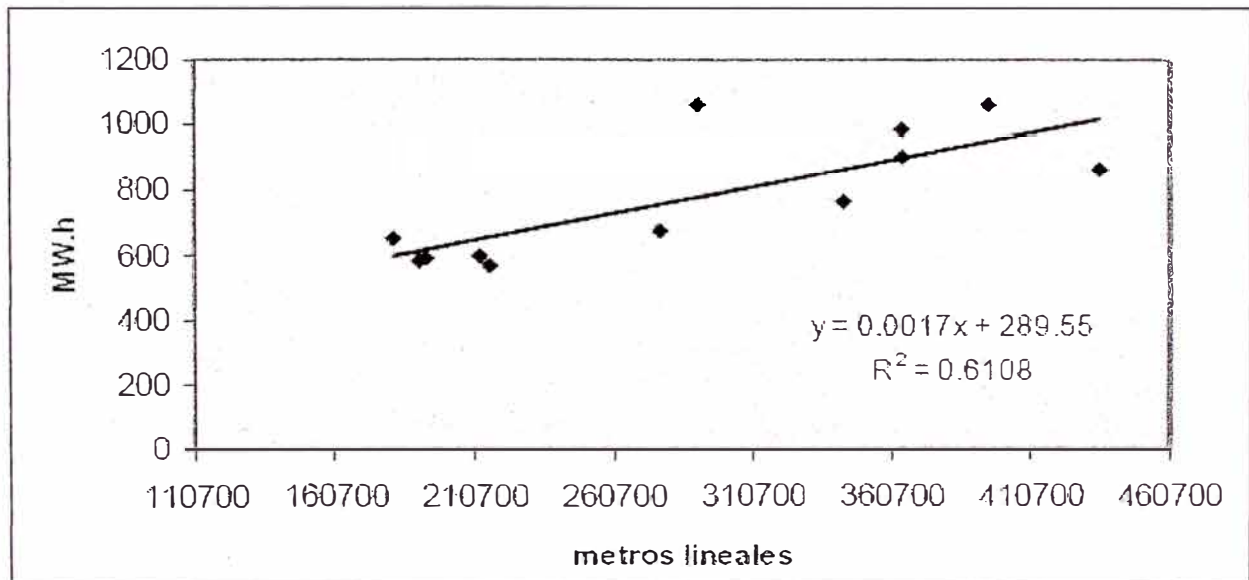
Por otro lado, el indicador energético sufre variaciones a través de los meses. En la Figura 5.5. se nota la variación del indicador.



Fuente: Adaptación de Estudio de Textilera, CENERGIA, 2007.

Figura 5.5. Variación Anual del Indicador Energético

El consumo de energía varía de acuerdo a los metros lineales de tela. Por lo general una tendencia que permite identificar puntos de operación, por debajo y por encima del promedio esperado, como se muestra en la Figura 5.6. La meta será replicar lo ocurrido en aquellos casos con puntos de operación que se encuentran por debajo de la tendencia promedio y evitar que se repitan los puntos de operación por encima de dicha tendencia.



Fuente: Adaptación de Estudio de Textilera, CENERGIA, 2007.

Figura 5.6. Variación del Consumo de Energía vs. Metros lineales

5.5. Análisis Energética del Sistema de Cogeneración

5.5.1. Cálculos Térmicos para el Sistema de Cogeneración

- **Calor suministrado como combustible al sistema de cogeneración**

$$Q_s = mc \times P.C. \text{ (kW)}$$

donde:

mc : flujo másico de combustible – GN (kg/s)

P.C. : Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

$$\Rightarrow Q_s = 35\,657,3 \text{ kW}$$

- **Calor útil proporcionado por el sistema de cogeneración**

$$Q = mv \times (h_v - h_a) \text{ (kW)}$$

donde:

mv : flujo másico de vapor – agua (kg/s)

h_v : entalpía del vapor a la salida de la caldera (kJ/kg)

h_a : entalpía del agua a la entrada de la caldera (kJ/kg)

$$\Rightarrow Q = 30\,293,576 \text{ kW}$$

- **Eficiencia de generación en la caldera**

$$\eta_c = Q / Q_s \text{ (\%)}$$

$$\Rightarrow \eta_c = 84,96\%$$

- **Potencia de la turbina de vapor**

$$W_T = \sum m_i x h_i - \sum m_s x h_s \text{ (kW)}$$

donde:

m_i y h_i : flujo másico y entalpía al ingreso de la turbina

m_s y h_s : flujo másico y entalpía a la salida de la turbina

$$\Rightarrow W_T = 3\,589,465 \text{ kW} \cong 3,6 \text{ MW}$$

- **Potencia eléctrica en el generador**

$$W_e = \eta_G \times \eta_m \times W_T \text{ (kW)}$$

donde:

η_G : eficiencia en el generador (%)

η_m : eficiencia mecánica (%)

$$\Rightarrow W_e = 3\,204 \text{ kW}$$

- Consumo específico de combustible

$$\text{c.e.c.} = mc / We \text{ (kg/kW-h)}$$

$$\Rightarrow \text{c.e.c.} = 1,005 \text{ kg/kW-h}$$

- Consumo específico de vapor

$$\text{c.e.v.} = mv / We \text{ (kg/kW-h)}$$

$$\Rightarrow \text{c.e.v.} = 11,985 \text{ kg/kW-h}$$

Tabla 5.8. Resultados de la Evaluación Energética

| | |
|--|-----------------------------|
| Calor suministrado como combustible al sistema de cogeneración | 35 657,3 kW |
| Calor útil proporcionado por el sistema de cogeneración | 30 293,576 kW |
| Eficiencia de generación en la caldera | 84,96 % |
| Potencia de la turbina de vapor | 3 589,465 kW \approx 4 MW |
| Potencia eléctrica en el generador | 3 204 kW |
| Consumo específico de combustible | 1,005 kg / kW-h |
| Consumo específico de vapor | 11,985 kg / kW-h |

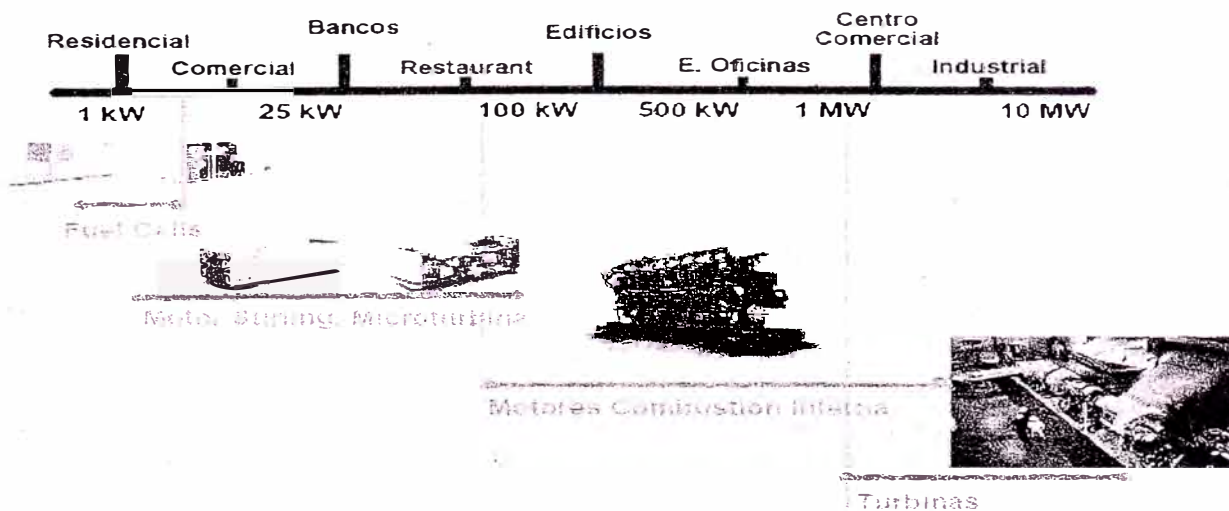


Figura 5.7. Rangos de Aplicación Equipos de Cogeneración
Fuente: GAMMA INGENIEROS S.A.

5.5.2. Eficiencia del Sistema de Cogeneración

De la grafica con $Q/E = 6,36$ se obtiene una eficiencia de cogeneración de 81% para un sistema de cogeneración con turbina de vapor a contrapresión.

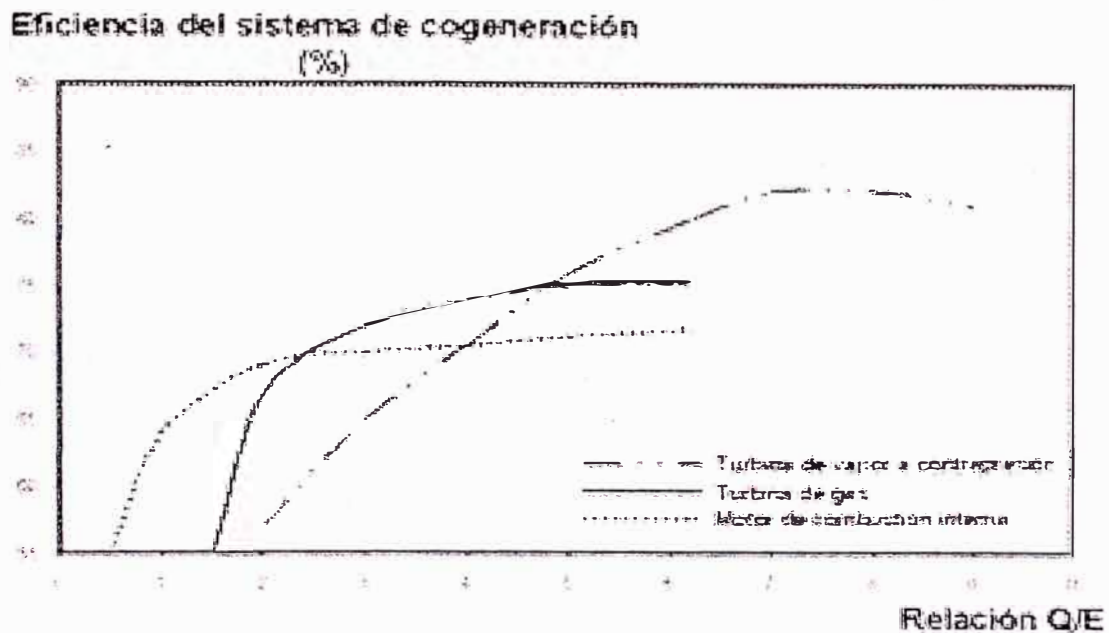


Figura 5.8. Eficiencia del Sistema de Cogeneración vs. Relación Q/E

5.5.3. Rendimiento Eléctrico Equivalente

Es una normativa para instalaciones de cogeneración.

$$REE = E / Q_s - (Q / 0,95) (\%)$$

donde:

E: energía eléctrica producida (kW)

Q_s : consumo de combustible (kW)

Q: calor útil recuperado (kW)

⇒ REE = 85%

CAPITULO 6

ESTRUCTURA DE COSTOS

6.1. Rentabilidad de un Sistema de Cogeneración

La energía eléctrica generada se puede aprovechar para cubrir el consumo interno o exportar a la red eléctrica. En el primer caso, se pueden reducir también los costos por potencia eléctrica instalada. La rentabilidad de la instalación depende por un lado de la inversión necesaria. En este sentido las inversiones necesarias para potencias inferiores a 500 kW, con todo el equipamiento que conlleva, intercambiadores, torres, recuperadores, etc., son muy elevadas en relación \$/ / kW instalado. Por otra parte, los precios de la electricidad y del combustible utilizado serán dos parámetros fundamentales a la hora de establecer la rentabilidad de una inversión de este tipo.

Existen equipos de cogeneración de gas que pueden sustituir a los grupos electrógenos de emergencia y, en general, su instalación no requiere una inversión mayor a un suministro complementario tradicional y, en cambio, el ahorro es considerable respecto a éstos. En esta última circunstancia el interés económico es claro y además la instalación de cogeneración aumenta la fiabilidad del grupo de emergencia.

La Gerencia de Energía, puede significar diferentes cosas a diferentes personas, pero su filosofía actual se centra en el uso juicioso y efectivo de la energía para maximizar rendimientos energéticos y minimizar costos económicos. Cuando se estudian los recursos energéticos se consideran dos aspectos: uno, el enfocado a la conservación de los mismos y el ahorro económico que se pueda obtener de su uso, y el otro, dirigido al ambiente, en lo referente a su uso racional y la disminución de efluentes térmicos y/o tóxicos.

Los costos de inversión relacionados con sistemas de cogeneración en el país se estima entre 1000 a 1500 US\$ por kW instalado.

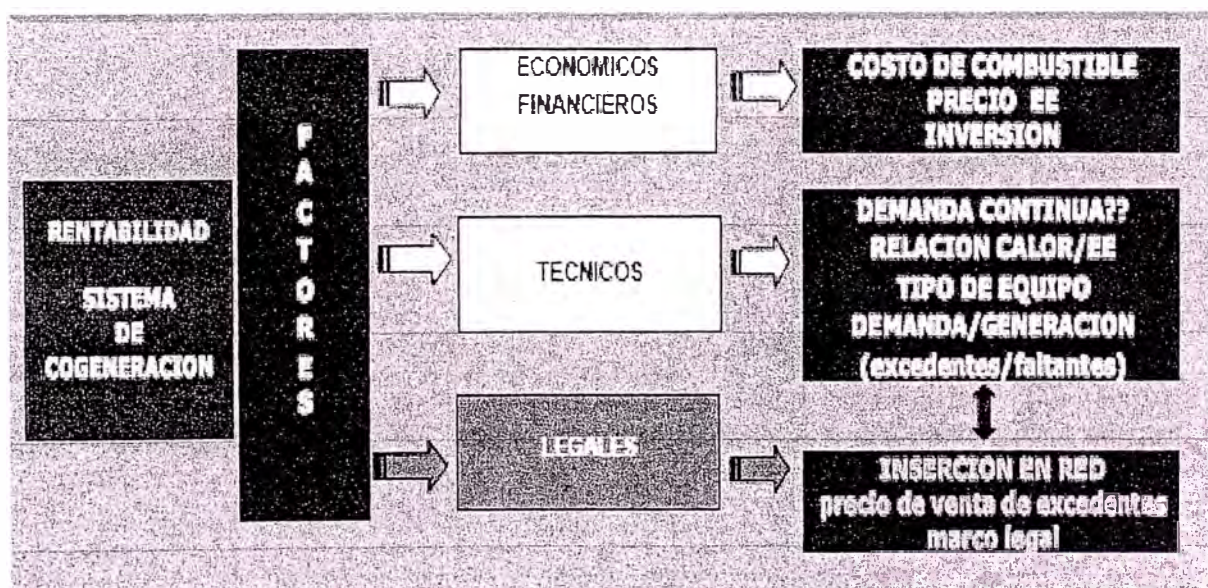


Figura 6.1. Rentabilidad de un Sistema de cogeneración
**Fuente: FoDAMI (Foro Docente del Área de Mecánica de las Ingenierías-
 Universidad Nacional del Sur- Argentina)**

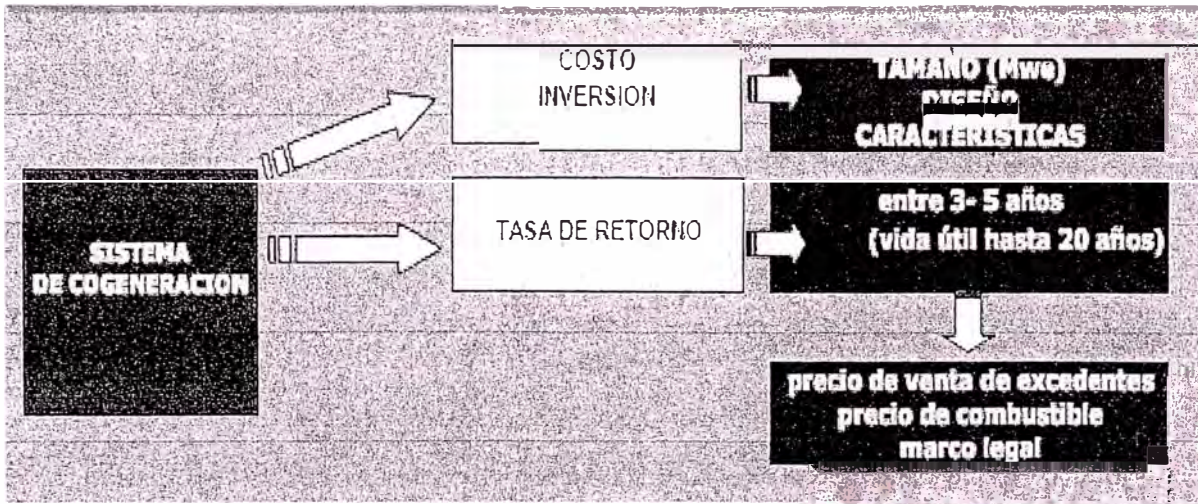


Figura 6.2. Rentabilidad de un Sistema de cogeneración
**Fuente: FoDAMI (Foro Docente del Área de Mecánica de las Ingenierías-
 Universidad Nacional del Sur- Argentina)**

Una planta de cogeneración no deja de ser una inversión económica, y como tal, los promotores buscan maximizar la rentabilidad de la misma, y conseguir periodos de amortización razonables.

El siguiente gráfico muestra una estimación de la inversión inicial a realizar, según el tamaño de la planta:

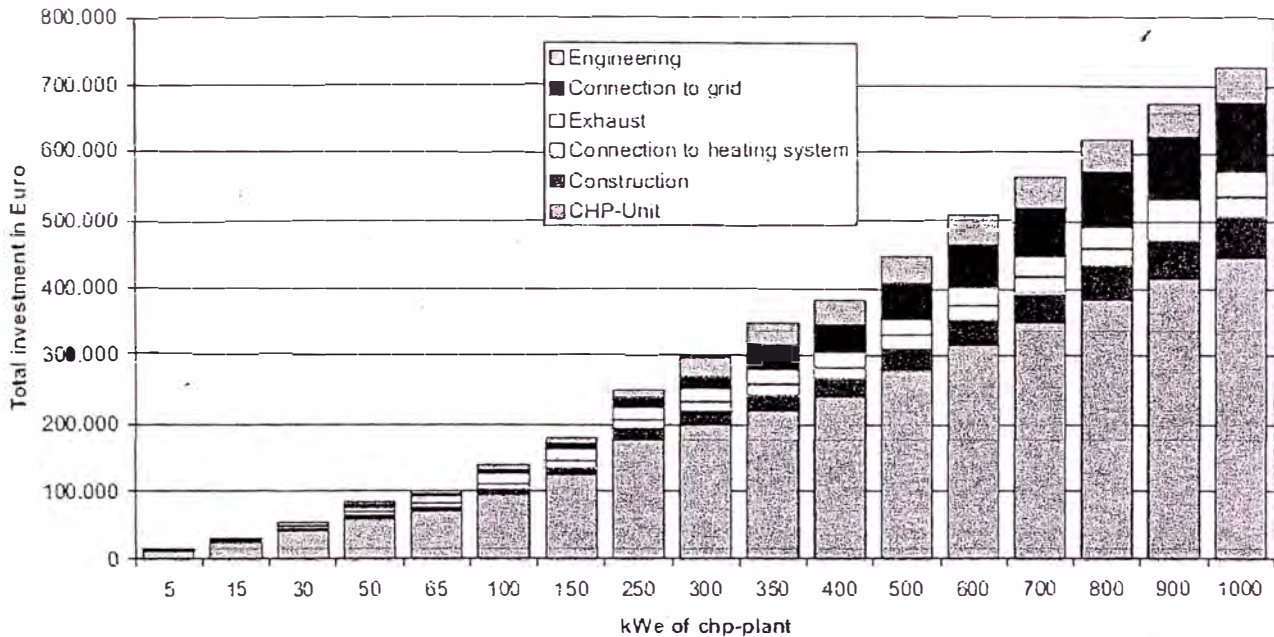


Figura 6.3. Costes iniciales en una inversión de cogeneración
Fuente: ASUE 2005

Los altos precios del gas y la moderación en la subida del precio eléctrico han hecho que muchos proyectos que se desarrollaron en su día como proyectos muy atractivos hayan perdido todo el interés por su escasa rentabilidad, o porque directamente habían entrado en pérdidas.

La rentabilidad de este tipo de instalaciones depende hoy en día de dos factores:

- El aprovechamiento térmico de la instalación. Sólo es posible la rentabilidad si hay un aprovechamiento térmico adecuado, es decir, si la instalación industrial a la que está asociada es capaz de utilizar de forma rentable toda la energía térmica que produce la planta de cogeneración.
- La prima eléctrica. En algunas ocasiones, con los precios del mercado, incluso en el caso de un buen aprovechamiento térmico, se necesitará de un incentivo, una prima, sobre el precio de venta de la electricidad que garantice una tasa de retorno de la inversión razonable, o una rentabilidad atractiva, en los casos en los que la planta ya esté amortizada.

Otro factor no menos importante que influye en la rentabilidad de una planta de cogeneración son los gastos de explotación de la planta:

- Contrato de Mantenimiento Grupo Motogenerador.
- Contrato de mantenimiento instalaciones auxiliares.
- Seguros
- Gastos de lubricante, refrigerante, agua tratada, etc
- Gastos de gestión de la planta.

Por estos factores, es difícil competir con el precio y la comodidad de la electricidad de la red, ya que la cogeneración implica asumir riesgos, como la inversión, el costo adicional del equipo, y de la gestión de la planta y sus distintos contratos.

Por ello, y por las ventajas globales que tiene la cogeneración para la sociedad, se debe garantizar al cogenerador la compra de la electricidad y la aplicación de primas a la producción de electricidad. Es necesaria una reglamentación adecuada, para regular y resolver los numerosos puntos conflictivos que pueden presentarse en las relaciones cogenerador-compañía eléctrica. Es decir, garantizarle una rentabilidad y un periodo de amortización de la inversión conveniente.

Se observa claramente como el marco normativo evoluciona progresivamente para facilitar la rentabilidad económica de este tipo de plantas y promover de esta forma la construcción de nuevas plantas. Las nuevas normativas, de carácter nacional y supranacional, no sólo intentan garantizar la rentabilidad de las plantas, sino ofrecer un marco estable a largo plazo, ajeno a los vaivenes de la política y de las oscilaciones del precio de los productores energéticos en el mercado internacional. Gracias a estas nuevas normativas, la cogeneración es una inversión de alta rentabilidad con apenas riesgo asociado.

6.3. Impacto de la relación energía térmica/electricidad, en la rentabilidad de sistemas de cogeneración

Se analiza la importancia que tiene sobre la rentabilidad de un proyecto de cogeneración, la relación entre el consumo de vapor u otras energías térmicas y la demanda de energía eléctrica en una planta operativa o empresa de servicios.

En los términos más sencillos, la cogeneración consiste en la generación de dos o más tipos de energía, generalmente eléctrica y térmica, ya sea en forma subsecuente o simultánea. En algunos casos se utiliza la energía térmica para la generación de electricidad y en otros se generan al mismo tiempo la electricidad y la energía térmica. Como ejemplo del primer caso tenemos la generación eléctrica a partir de bagazo de caña o de calor excedente en una planta petroquímica. Como ejemplo del segundo caso tenemos la generación eléctrica por medio de una turbina o motogenerador con aprovechamiento del calor desprendido por la combustión del energético primario.

Los equipos de cogeneración simultánea, ya sean turbinas o motogeneradores a base de gas natural, tienen una relación de generación entre electricidad y calor que es fija para cada tipo de equipo. Por otra parte, cada planta o empresa tiene unas necesidades específicas de consumo de electricidad y calor para el tipo de operación o servicio y que por regla general no coinciden con la proporción de generación térmica y eléctrica de los equipos, como se señala en la Figura 6.4.

En el caso de las barras de la izquierda se tiene una mayor necesidad de energía eléctrica que térmica, proporcionalmente a la capacidad de generación del equipo, mientras que la parte de la derecha indica una mayor necesidad de energía térmica que eléctrica.

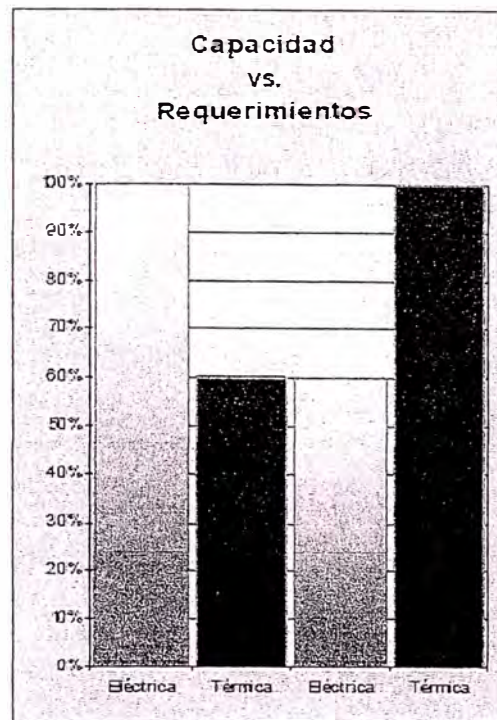


Figura 6.4. Capacidad vs. Requerimientos
Fuente: Ing. Enrique García Corona
Sistemas de Cogeneración

Además de esta primera discrepancia, generalmente también existe una segunda discrepancia entre la generación térmica en motogeneradores y las necesidades térmicas de la empresa. Los equipos tienen una relación de generación térmica en forma de vapor, agua caliente y refrigeración que no necesariamente coinciden con las necesidades específicas de la empresa.

La Figura 6.5. muestra el caso cuando existe un mayor requerimiento eléctrico que térmico. La parte izquierda indica cuando se genera la energía eléctrica requerida. El excedente de energía térmica generada sobre las necesidades de la empresa se desperdicia. Al lado derecho se muestra cuando se genera solamente la energía térmica requerida. El faltante de electricidad se debe comprar a la compañía suministradora.

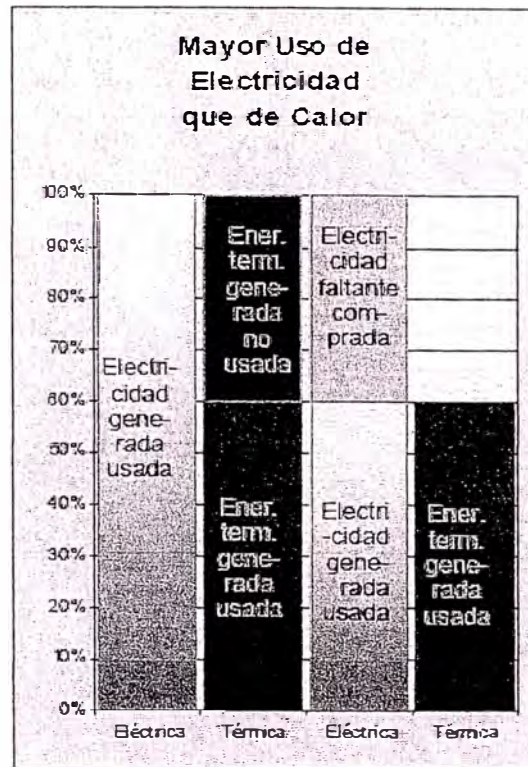


Figura 6.5. Mayor Uso de Electricidad que de Calor
Fuente: Ing. Enrique García Corona
Sistemas de Cogeneración

En contraste, la Figura 6.6. muestra cuando se tiene un mayor requerimiento térmico que eléctrico. La parte izquierda indica cuando se genera la energía térmica requerida. El excedente de energía eléctrica generada sobre las necesidades de la empresa se vende a la compañía suministradora o a otros socios de la empresa. Al lado derecho se muestra cuando se genera solamente la electricidad requerida. La energía térmica faltante debe generarse en forma independiente.

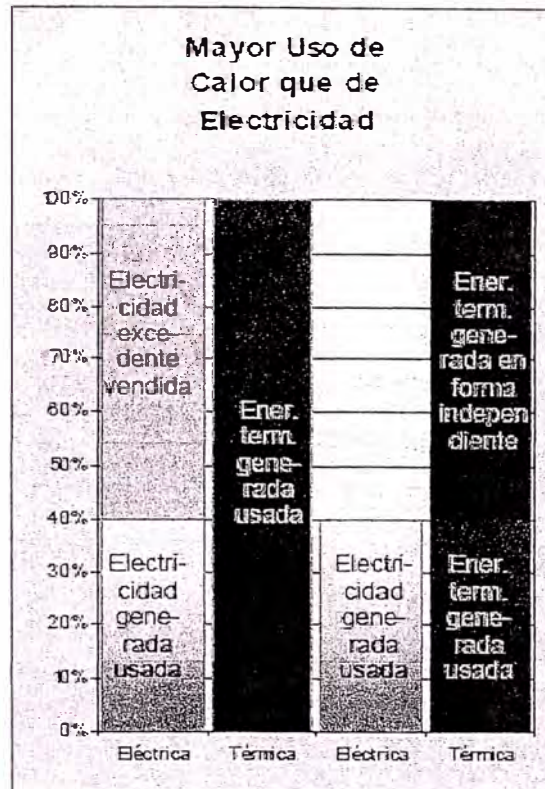


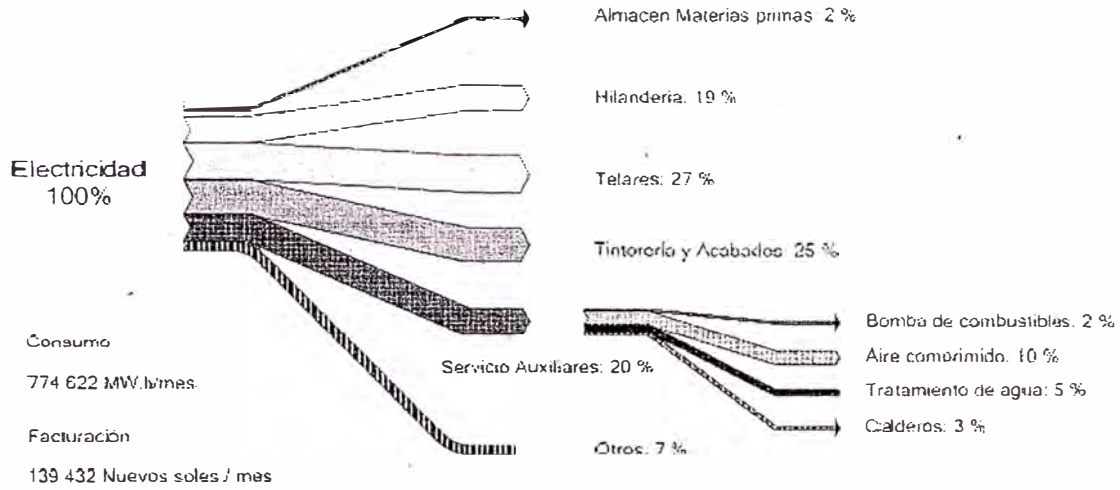
Figura 6.6. Mayor Uso de Calor que de Electricidad
Fuente: Ing. Enrique García Corona
Sistemas de Cogeneración

6.4. Fuentes y costos de energías en una industria textil

En una industria textil se utiliza electricidad y combustible como fuentes de energía para su adecuado funcionamiento y prestación de servicios. Generalmente, se usa petróleo como fuente de energía térmica.

Sobre la base de las áreas de producción y administrativas así como otras complementarias, se procede a identificar los principales equipos consumidores de energía.

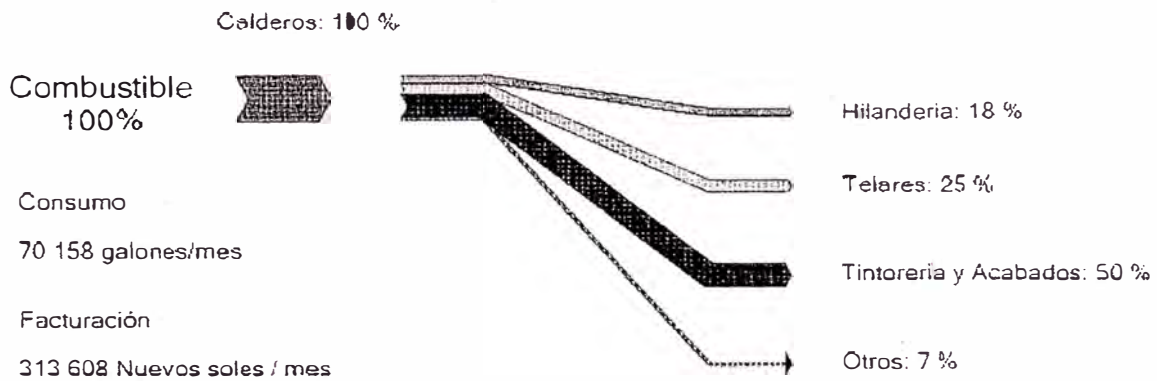
En la Figura 6.7., se presenta a modo de ilustración, una relación de equipos típicamente encontrados en una industria textil distribuidos porcentualmente de acuerdo al consumo total de energía eléctrica.



Fuente: Adaptación de Estudio de Textilera, CENERGIA, 2007.

Figura 6.7. Consumo de Energía Eléctrica por Equipos

En la Figura 6.8., se presenta a modo de ilustración, una relación de equipos típicamente encontrados en un Industria textil distribuidos porcentualmente de acuerdo al consumo total de energía térmica.



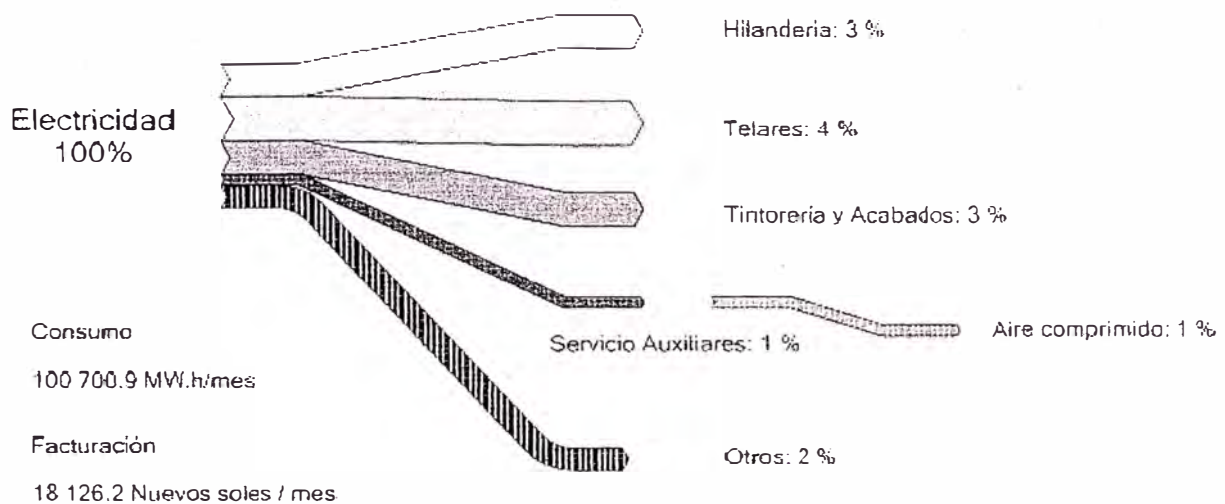
Fuente: Adaptación de Estudio de Textilera, CENERGIA, 2007.

Figura 6.8. Consumo de Energía Térmica por Equipos

6.5. Oportunidades de mejoramiento en una industria textil

En términos de oportunidades de mejoramiento existen por un lado las buenas prácticas que requieren mínima inversión y, por otro, el reemplazo de equipos que requieren un determinado grado de inversión.

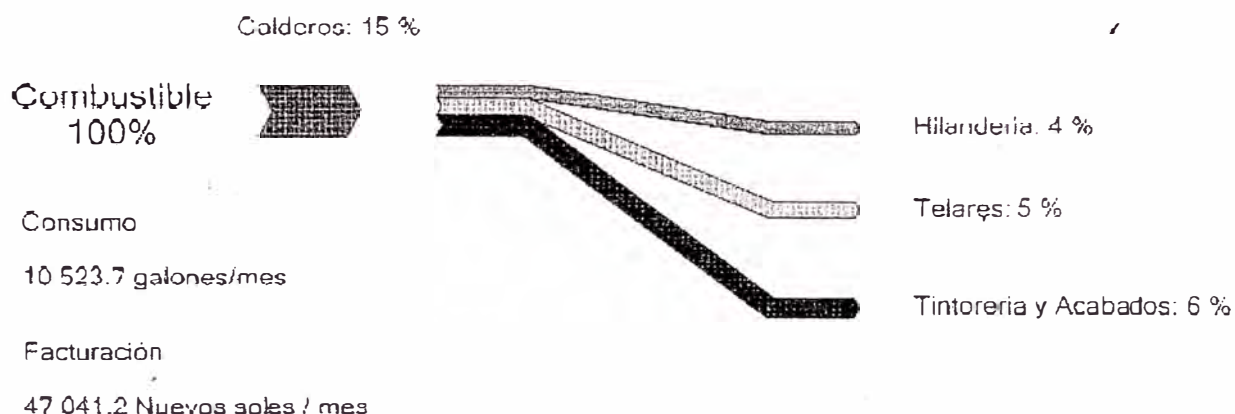
En la Figura 6.9. y Figura 6.10., se presenta a modo de ilustración, porcentajes de ahorros potenciales tanto en energía eléctrica como en energía térmica.



Fuente: Adaptación de Estudio de Textilera, CENERGIA, 2007.

Figura 6.9. Ahorros Potenciales en Energía Eléctrica

En el caso de la electricidad, el acumulado de ahorros potenciales es 13% que representa en este caso 18 126 Nuevos Soles mensuales.



Fuente: Adaptación de Estudio de Textilera, CENERGIA, 2007.

Figura 6.10. Ahorros Potenciales en Energía Térmica

En el caso del combustible, el acumulado de ahorros potenciales es 15% que representa en este caso 47 041 Nuevos Soles mensuales.

6.6. Costos del Sistema de Cogeneración

La planta de cogeneración de SdF producirá 30 MW, dos de los cuales aprovechará la propia empresa. El resto se venderá al sistema eléctrico. La inversión es de US\$23 millones.

En seis meses SdF Energía instalará otra planta de generación térmica (también de 30 MW) en Paita, donde invertirá US\$13 millones, utilizando el gas natural que produce la petrolera Olympic.

La cogeneración de energía eléctrica con gas natural en Lima cuenta con un potencial de 300 MW. SdF Energía invertirá en plantas de cogeneración con otras industrias ampliando así este negocio

Los costos de inversión son también superiores a los de las plantas de cogeneración a base de motores o turbinas a gas (de 2000 a 3000 US\$/kW).

Para una turbina de vapor tenemos:

Costo Instalado: US \$850 – 1200 / kW

Operación y mantenimiento: US \$0.006

6.7. Ahorro de Consumo de Energía Eléctrica

Con el sistema de cogeneración se están generando 3,204 MW y a continuación se indica los consumos de energía de Sudamericana de Fibras:

Energía Cogenerada por Sudamericana de Fibras : 25 166 MWh/año

Energía Activa comprada a Red Publica : 25 411 MWh/año

6.8. Ahorro en Costo de Generación

Los costos específicos de generación de energía eléctrica disminuye mientras mayor sea la potencia a cogenerar. Esto significa que los sistemas de cogeneración son mas eficientes a medida que sea mayor la potencia de cogeneración.

Como se menciona anteriormente, la energía activa cogenerada, es decir, dejada de comprar a la Red Publica por Sudamericana de Fibras es de 25 166 MWh/año, y considerando los costos de generación y compra de energía, se tiene el siguiente ahorro:

Costo de Energía Cogenerada : 0,022 USS/kWh

Costo de Energía Comprada a la Red Publica : 0,073 USS/kWh

Ahorro Energético y Económico: 0,051 USS/kWh

CONCLUSIONES

1. La cogeneración supone la producción simultánea de energía mecánica (generalmente para generación eléctrica) y de energía térmica (energía calorífica útil), partiendo de un combustible (fuente primaria de energía). Esta tecnología produce en forma secuencial energía eléctrica y térmica, donde esta última es útil a los procesos productivos en forma de un fluido caliente (vapor, agua, gases), obteniendo eficiencias globales del sistema de cogeneración de más del 80% respecto a la energía primaria suministrada.

2. Es un sistema altamente eficiente que nos permite producir al mismo tiempo electricidad y calor. Además, presenta numerosas ventajas en cuanto a ahorro económico, rendimiento energético y respeto del medio ambiente:

- Elevado rendimiento energético global (70% - 90%).
- Se consigue 60% menos de emisiones de CO₂
- Mantenimiento cada 4000 horas
- Reducción del consumo de energía en mas de una tercera parte.
- Por cada unidad eléctrica producida son solamente necesarias 1,5 unidades, frente a las 3 necesarias en la generación térmica convencional

- La contaminación se reduce entonces al 50%
- Mayores oportunidades de aprovechamiento de combustibles alternos
- Reporta beneficios económicos por reducción de factura energética.
- Aporta ingresos adicionales, por venta de excedentes eléctricos.
- Disminuye las pérdidas de la red eléctrica, especialmente porque las centrales de cogeneración se suelen situar próximas a los lugares de consumo.
- Menores emisiones de gases de efecto invernadero, menores pérdidas de energía en las líneas, etc.

3. La cogeneración, como medida para el empleo racional de la energía, produce importantes economías en la energía primaria y un menor grado de contaminación a la atmósfera, como se observa a continuación:

- Central Convencional: 600-700 kJ
- Instalación de Cogeneración: 250-350 kJ
- Ahorro de Energía primaria: 250-500 kJ

4. Las plantas de cogeneración se dimensionan generalmente de acuerdo con la demanda de energía térmica. Para ello, es necesario analizar el desarrollo anual de dicha demanda térmica y determinar los parámetros correspondientes de funcionamiento. Como reglas generales se tienen las siguientes:

- La potencia térmica de la planta de cogeneración debe cubrir aproximadamente un 30-50% de la demanda máxima de calor. En este caso, según muestra la experiencia, los módulos de la planta cubren aproximadamente un 50-70% de la necesidad de energía calorífica anual, aportándose el resto mediante calderas adicionales que cubren las puntas de consumo térmico.

- Cada módulo de cogeneración debe alcanzar un tiempo de servicio de 4.000 horas por año como mínimo.

5. Para hacer un estudio previo de viabilidad de un sistema de cogeneración, necesitamos conocer:

- Horas anuales de funcionamiento de los equipos consumidores de calor y frío.
- Descripción de la demanda térmica actual
- Consumo máximo estimado y promedio de vapor.
- Calderas existentes (potencia térmica de c/u)
- Consumo de gas de los últimos 12 meses
- Consumo de electricidad de los últimos 12 meses

6. Las calderas que queman combustible o biomasa tienen eficiencias entre 70 a 80%. La eficiencia de las calderas recuperadoras varían aprox. entre 60% y 80%, dependiendo de la temperatura del calor residual y de su composición.

7. En la cogeneración con turbina de vapor, la energía mecánica se produce por la expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera convencional en una turbina de vapor. En esta configuración la energía mecánica es producida en una turbina, acoplada a un generador eléctrico, mediante la expansión de vapor de alta presión generado en una caldera convencional. En este sistema la eficiencia global es del orden del 85% al 90% y la eléctrica del 20 % al 25 %. Estos sistemas se aplican principalmente en aquellas instalaciones en las que la necesidad de energía térmica respecto a la eléctrica es de 4 a 1 o mayor.

8. Las turbinas de vapor entregan en el eje entre un 45 y 80% de la energía del salto entálpico isentrópico que experimenta el vapor al expandirse en la turbina. El valor mínimo corresponde a turbinas de una etapa y el máximo a turbinas multietapas.

9. La presión del vapor a la entrada de la turbina queda determinada por el valor al que lo genera la caldera, a mayor presión es mayor el potencial para la generación de potencia. Sin embargo también los costos de la caldera y de la turbina se incrementan al aumentar la presión del vapor generado, por lo que debe de establecerse un valor de operación que sea rentable. Para un análisis preliminar la ASME recomienda los siguientes valores:

- Una presión de 4 MPa y una temperatura de 673 K cuando el promedio de la carga de vapor esta por debajo de las 30 Ton/h.
- Una presión de 6 MPa y una temperatura de 723 K para cargas promedio de vapor superiores a las 30 Ton/h.

10. La eficiencia eléctrica del sistema depende de la presión del vapor de baja presión. Para una presión de vapor de 8 bar la eficiencia eléctrica puede variar entre 10 y 15%.

11. Debido a que el transporte de la electricidad es mas barato y fácil que el transporte del calor, las plantas de cogeneración deben estar lo mas cerca posible de los consumidores de calor. En el caso ideal la turbina se diseña para producir el calor que la planta (o el usuario) demanda, entonces se produce mayor cantidad de electricidad, la cual puede enviar a la red.

12. La operación y mantenimiento del sistema de cogeneración no requiere personal adicional al existente en planta.

13. La cogeneración es un sistema alternativo de alta eficiencia energética, que permite reducir de forma importante la factura energética de un 20-30%, sin alterar su demanda energética, con periodos de aporte de devolución de 2-3 años, dándonos una idea la gran inversión que significa un sistema de cogeneración.

14. En toda industria cuyos requerimientos de calor y energía eléctrica sean considerables, es posible la implementación de un sistema de cogeneración como alternativa de ahorro.

15. El costo de generación de energía eléctrica con un sistema de cogeneración es menor que el costo de la energía eléctrica comprada a la empresa eléctrica.

16. Los costos de los equipos que dependen de la tecnología seleccionada. Para un estudio de previabilidad se considera aceptable los costos del equipo dentro de un rango de $\pm 25\%$, lo que es consistente con tomar valores promedio de cargas.

17. La cogeneración no disminuye la demanda de energía directa de un proceso, sino la cantidad de energía primaria para satisfacerla, por su elevado rendimiento energético global. El usuario que opta por la instalación de un sistema de cogeneración requerirá continuamente la misma cantidad de energía. La cogeneración modifica la estructura de costos energéticos del proceso productivo.

18. Puesto que la cogeneración es una forma muy eficiente de generación de energía, la mayor rentabilidad se presenta en los sectores intensivos en energía. Otra ventaja importante de la implantación de cogeneración es que mejora la fiabilidad del suministro eléctrico. El requisito para la implantación de cogeneración es que exista un consumo de calor y/o frío.

19. Para que una instalación de cogeneración sea rentable en términos de explotación es necesario:

- Que la demanda térmica y la eléctrica sean simultáneas, o la primera acumulable.
- Que ambas demandas sean proporcionales a las producidas por el motor térmico (sea motor o turbina).
- Que el excedente sea mínimo o no repercuta negativamente en la rentabilidad.

20. El futuro de la cogeneración está asegurado en un marco competitivo, si las plantas tienen $REE > 0,60 - 0,65$

RECOMENDACIONES

A continuación se presenta recomendaciones para las instalaciones de sistemas de cogeneración:

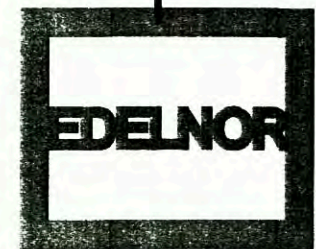
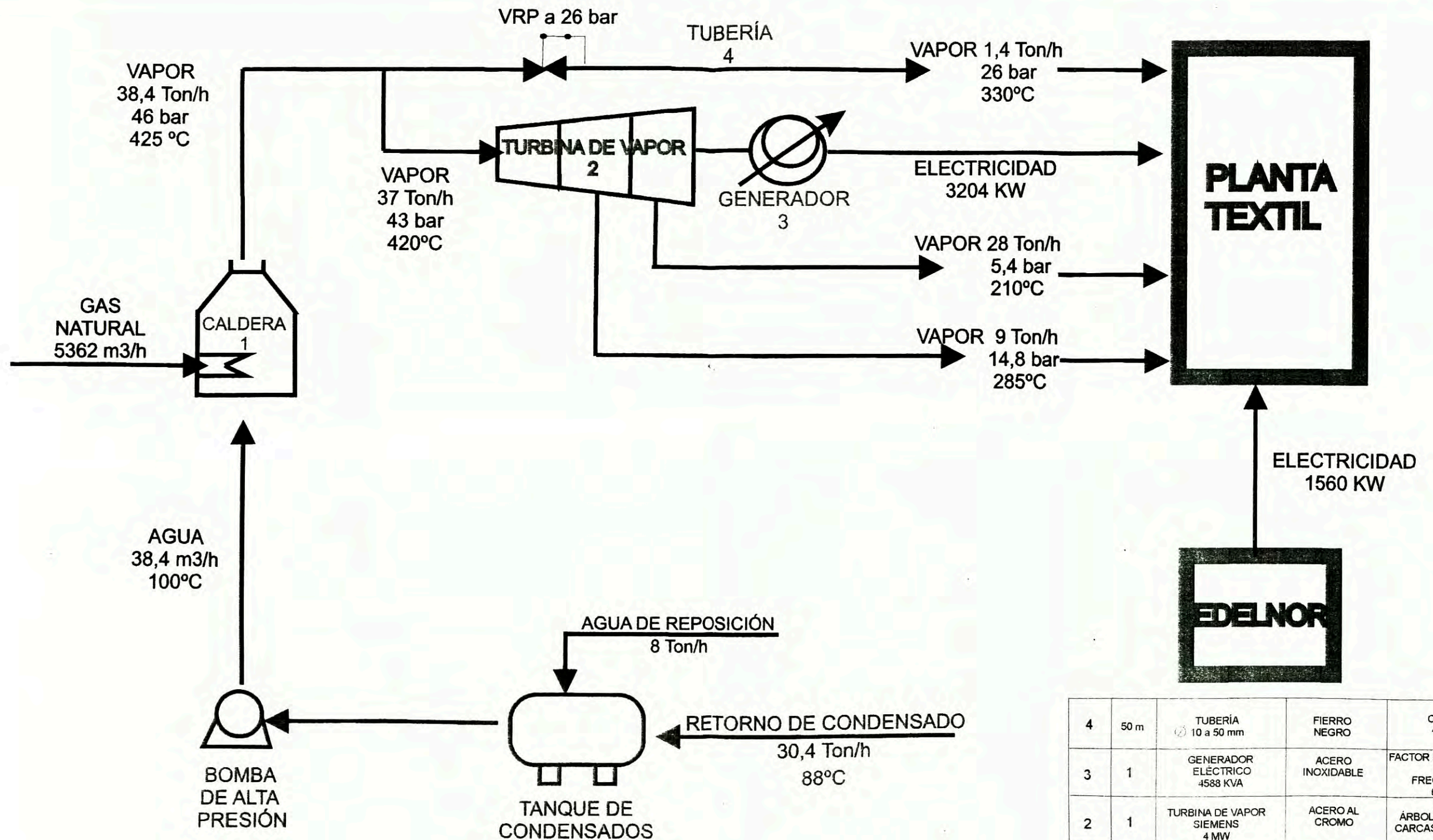
1. Un mal diseño de la instalación puede ocasionar no sólo pérdidas en cuanto a energía sino que podría, como ya ha ocurrido, que los posibles inversores decidan acometer otras instalaciones.
2. Elegir bien la fuente de energía también es fundamental, ya que puede ocasionar que a la larga un sistema rentable, se convierta en un sistema no rentable.
3. Habría, además, que estudiar la rentabilidad de las instalaciones de cogeneración si se instalan paralelamente a paneles de energía solar térmica. La instalación de paneles solares térmicos hace que se reduzca la demanda térmica, y peligran la viabilidad de la inversión de cogeneración.

4. Hay que asegurar a los inversores un sistema de primas conveniente y estable, que les permita acometer la inversión con un mínimo de seguridad. Además de un marco legal favorable a la instalación de cogeneración.
5. Permitir un sistema de ayudas de tipo de préstamos ya que la inversión inicial es elevada. De este modo, la Financiación Por Terceros presenta, entre otras, las siguientes ventajas para el usuario:
 - a) Reducción inmediata de costes sin necesidad de realizar la inversión.
 - b) Renovación de los equipos sin riesgo técnico ni financiero (al final de la operación, el empresario es propietario de los equipos sin haber realizado la inversión).
 - c) Disponibilidad de recursos financieros para otros proyectos.
6. Realizar programas de información en los sectores susceptibles a cogenerar, para que aquellas personas que se encarguen de tomar las decisiones energéticas, puedan apreciar las ventajas de este tipo de sistemas
7. Implantar sistemas de cogeneración pilotos, que puedan dedicarse luego a mostrar la conveniencia de estos sistemas frente a otros sistemas convencionales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Análisis del Potencial de Cogeneración de Alta Eficiencia en España 2010-2015-2020- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. (IDAE 2008) www.idae.es
2. Centro de Conservación de Energía y del Ambiente (CENERGIA) www.cenergia.org.pe
3. Cia. Industrial Nuevo Mundo S. A. www.nuevomundosa.com
4. Cia. Universal Textil S. A. www.universaltextil.com.pe
5. COGEN Europe. www.cogen-europe.eu.
6. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) de México. www.conuee.gob.mx
7. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) de México. www.conae.gob.mx
8. Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético en Sector Textil - Ministerio de Energía y Minas del Perú. www.minem.gob.pe
9. Formación Tecnológica en Turbinas a Gas, Turbinas a Vapor, Motores a Gas, Calderos y Plantas de Cogeneración. www.renovetec.com
10. International Energy Agency. www.iea.org.

11. La Cogeneración en Perú - Proyecto TECH4CDM. www.tech4cdm.com
12. Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009 – 2018 - Ministerio de Energía y Minas del Perú. www.minem.gob.pe
13. Proyectos de Eficiencia Energética – Aplicaciones de Cogeneración por David Herrera - CENERGIA. dherrera@cenergia.org.pe
14. Sudamericana de Fibras. www.sdef.com
15. Taller sobre la Aplicación de la Cogeneración en el Perú - Proyecto Tech 4 CDM. www.Tech4cdm.com
16. Turbinas de Vapor Industriales. www.siemens.com/energy



| 4 | 50 m | TUBERÍA 10 a 50 mm | FIERRO NEGRO | CÉDULA 40 u 80 |
|----|-------|--|------------------------|---|
| 3 | 1 | GENERADOR ELÉCTRICO 4588 KVA | ACERO INOXIDABLE | FACTOR DE POTENCIA 0,80 FRECUENCIA 60 Hz |
| 2 | 1 | TURBINA DE VAPOR SIEMENS 4 MW | ACERO AL CROMO | ÁRBOL 9 al 12% Cr CARCASA 1 a 2% Cr |
| 1 | 1 | CALDERA ACUOTUBULAR BABCOCK WILCOX 46 bar y 40 Ton/h | ACERO DULCE FORJADO | USA GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE |
| Nº | CANT. | DESIGNACIÓN | MATERIAL | OBSERVACIÓN |

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA - UNI

DESIGNACIÓN ESCALA

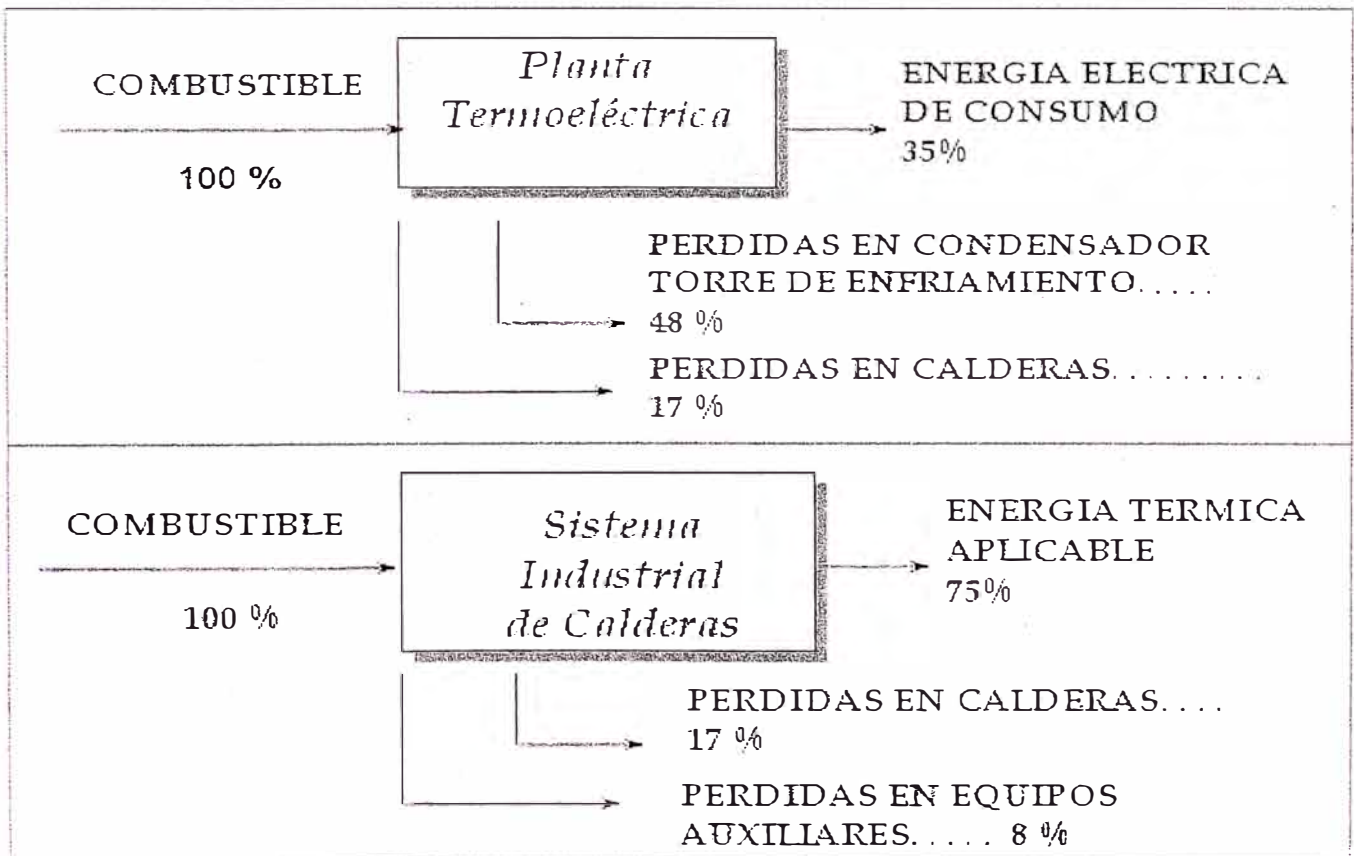
SISTEMA DE COGENERACION CON GAS NATURAL 1 : 1

FECHA DIBUJADO POR REVISADO POR NUMERO

17/05/2011 JOSÉ ASCENCIÓN 1

ANEXOS

Sistema convencional de energía



Comparación de la generación convencional con la cogeneración

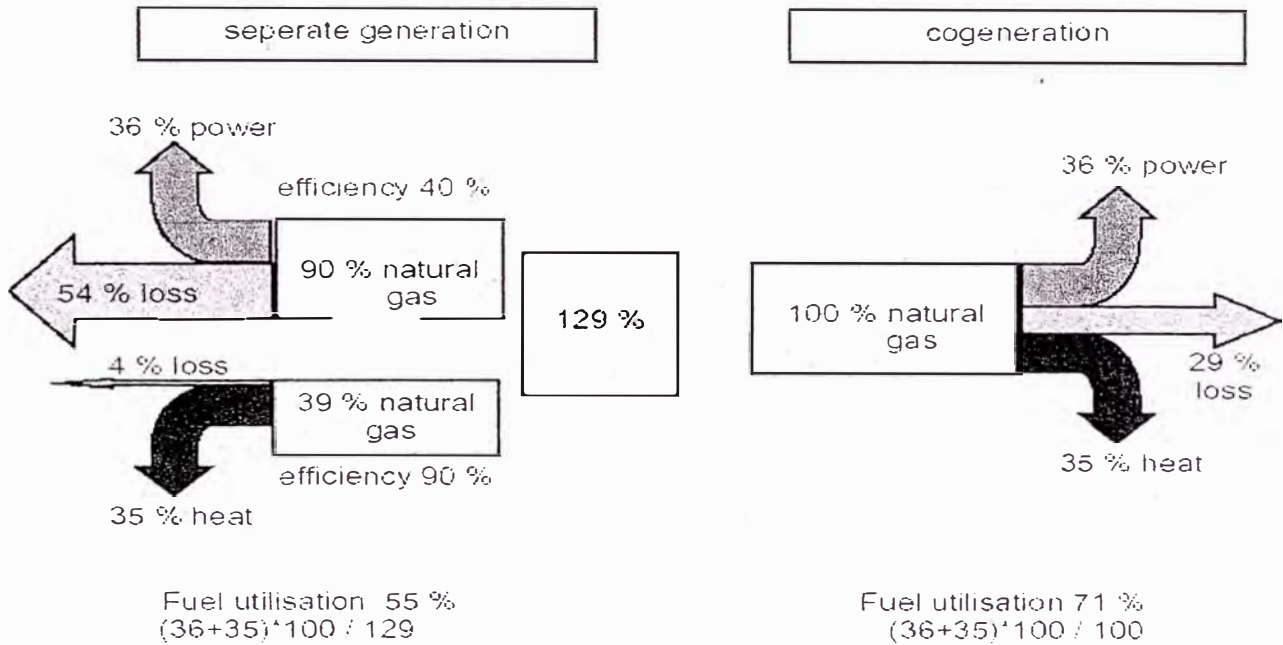
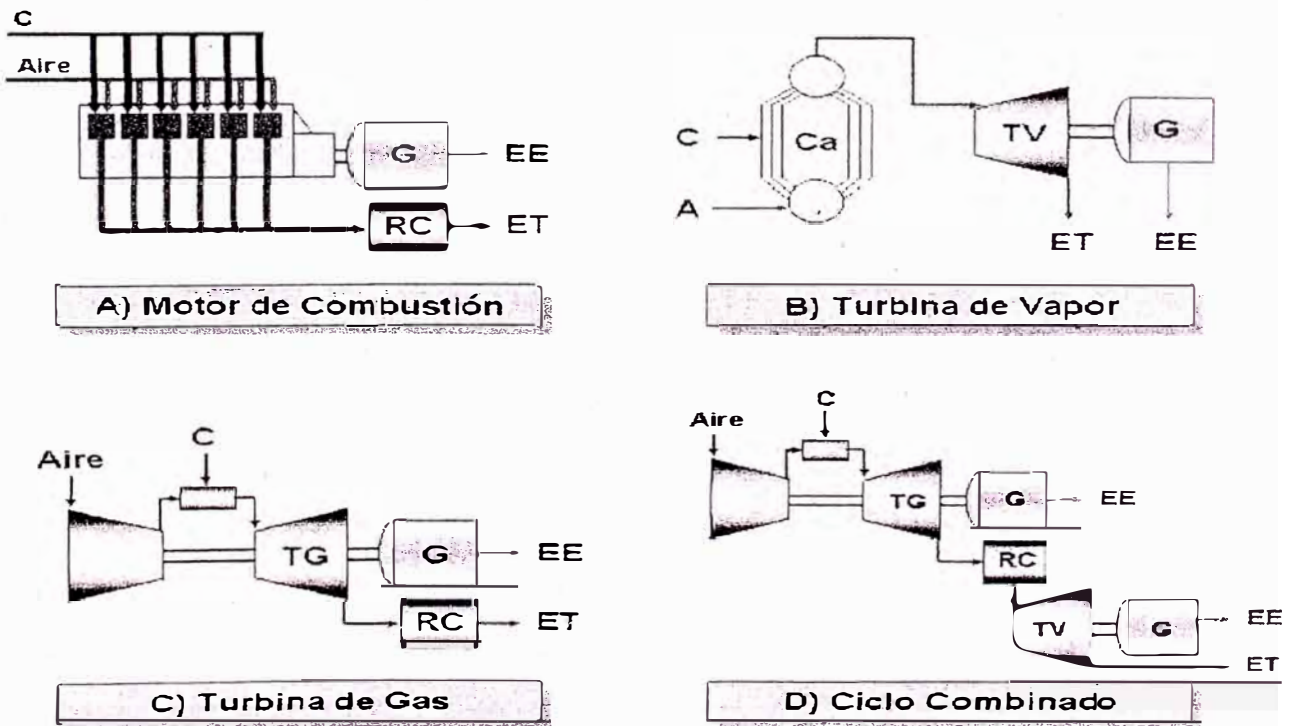


Diagrama de Sankey

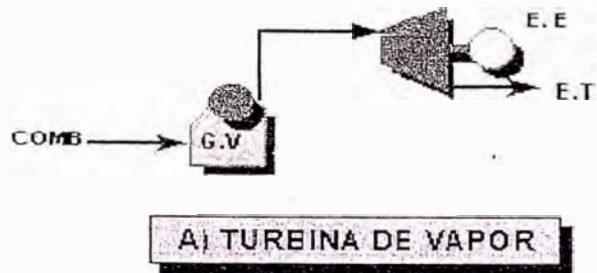
Sistemas de Cogeneración



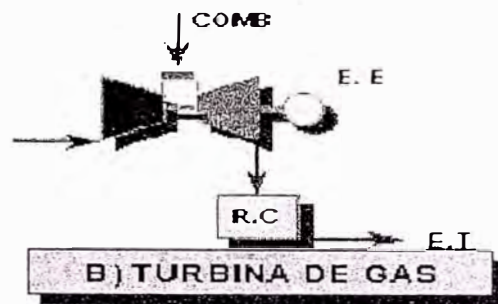
Fuente: FONAM (Fondo Nacional de Ambiente – Perú)

Plantas de Cogeneración

- Proyectos con diversas opciones de equipamiento.

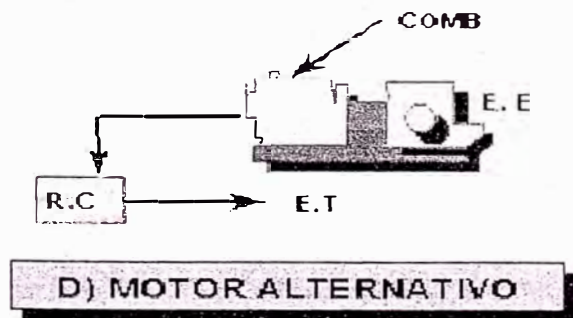
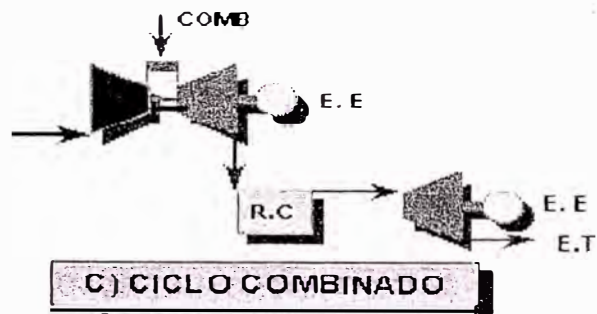


- Incluye el diseño modular que facilita ampliaciones.



Aplicaciones Industriales

- Textil
- Alimenticia
- Refinerías
- Químicas
- Petroquímica
- Aceiteras
- Papeleras
- Cerveceras
- Farmacéuticas
- Otras



Relación Q/E por tipo de sistema

| TIPO | CALOR DISPONIBLE A PROCESO | RAZÓN TÉRMICA-ELÉCTRICA | COMBUSTIBLES COMUNES |
|--------------------|----------------------------|-------------------------|--|
| TURBINA DE VAPOR | 393.15 K a 673.15 K | 2 a 30 | destilados, gaseosos, residuales, residuos de madera |
| TURBINA DE GAS | 393.15 K a 773.15 K | 1.2 a 4 | residuales, gaseosos y destilados |
| MOTOR RECIPROCANTE | 353.15 K a 393.15 K | 0.8 a 2: | residuales, gaseosos y destilados |

Fuente: FONAM (Fondo Nacional de Ambiente – Perú)

Eficiencia Eléctrica y Térmica para distintas tecnologías

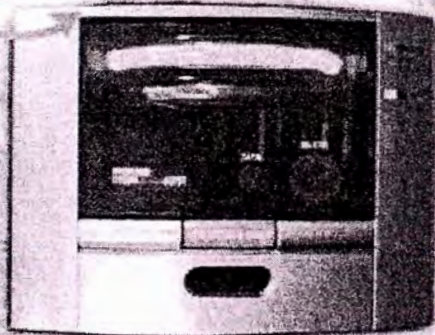
| Tecnología de Cogeneración | Eficiencia Eléctrica (%) | Eficiencia Térmica (%) |
|--|--------------------------|------------------------|
| Turbina de Vapor | 33 | 52 |
| Turbina de Gas sin post-combustión | 38 | 47 |
| Turbina de Gas con post-combustión | 38 | 42 |
| Ciclo Combinado | 57 | 33 |
| Motor Reciprocante (aprovechando el calor de los gases de combustión y el calor del sistema de enfriamiento) | 40 | 30 |
| Microturbina | 30 | 50 |

Fuente: Universidad de Vigo

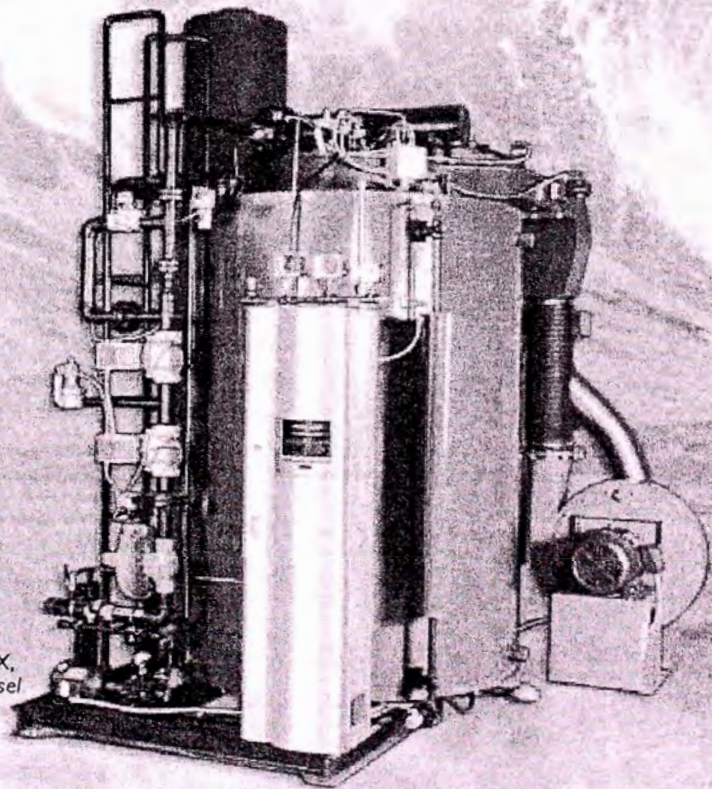
MIURA

SERIE EX DE MIURA
CALDERAS
DE VAPOR
AHORRE EN COSTOS
DE GAS/DIESEL Y
RECURSOS NATURALES

NUEVO



*El nuevo Microcontrolador BL,
Sistema de Control de la Caldera*



*Calderas Miura Serie EX,
Quemador dual Gas/Diesel*

Caldera de Vapor de Alta Presión
Serie EX Gas/Diesel de MIURA

Descubra las Ventajas de la Serie EX...

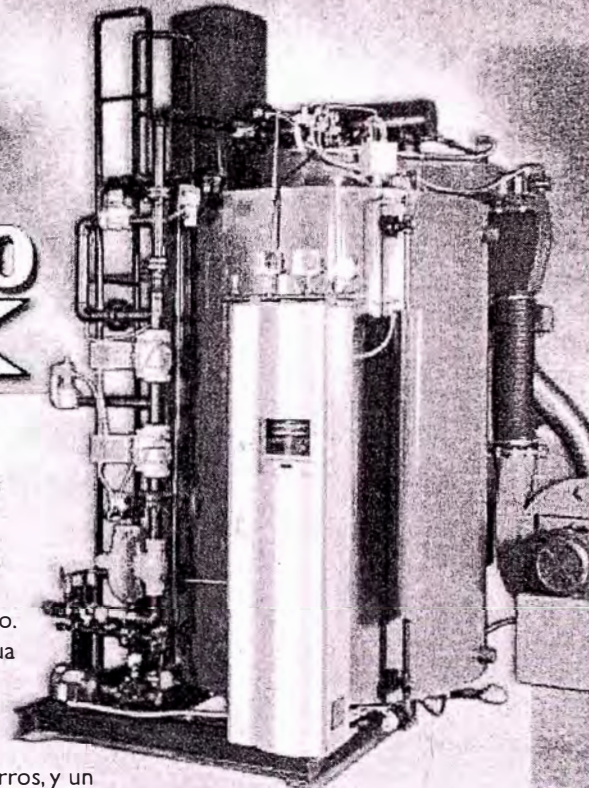
CALDERAS MIURA SERIE EX, QUEMADOR DUAL DE GAS/DIESEL AHORRE 20%* EN COSTOS DE COMBUSTIBLE Y CONSERVE RECURSOS.

*en promedio

MODELO EX

Miura es reconocida mundialmente por su compromiso de proteger el medio ambiente y por sus diseños innovadores y eficientes de calderas.

La Caldera de Vapor a Alta Presión de la Serie EX Gas / Diesel es la caldera de vapor industrial más versátil en el mundo. El diseño EX minimiza el arrastre de agua y produce vapor seco 99% saturado en 5 minutos a partir de un arranque en frío. Un arranque más rápido significa menos combustible usado, mayores ahorros, y un uso más responsable de los recursos naturales.



- *Combustible Dual: Gas Natural / LP ó Diesel*
- *Disponible en opciones de alta presión (300 PSI - [21 kg./cm²], 250 PSI - [17.6 kg./cm²], 170 PSI - [11.95 kg./cm²])*
- *Calderas de agua caliente disponibles dependiendo de los modelos (consulte el catálogo de calderas de agua caliente para más detalles)*
- *Emisiones de NOx está disponible en valores tan bajos como 30ppm dependiendo del modelo*

BENEFICIOS ADICIONALES

De Agua a Vapor en 5 minutos

Las Calderas Miura producen vapor en 5 minutos usando su diseño exclusivo de cabezal flotante, un adelanto revolucionario que resulta en un uso substancialmente menor de gas y combustible para nuestros clientes. En promedio, nuestros clientes ahorran 20% de sus costos en combustible.

Como el costo del combustible y gas se vuelve una preocupación que aumenta cada día, las compañías previsoras reconocen el valor e importancia de poseer una Caldera Miura.

GANANCIAS

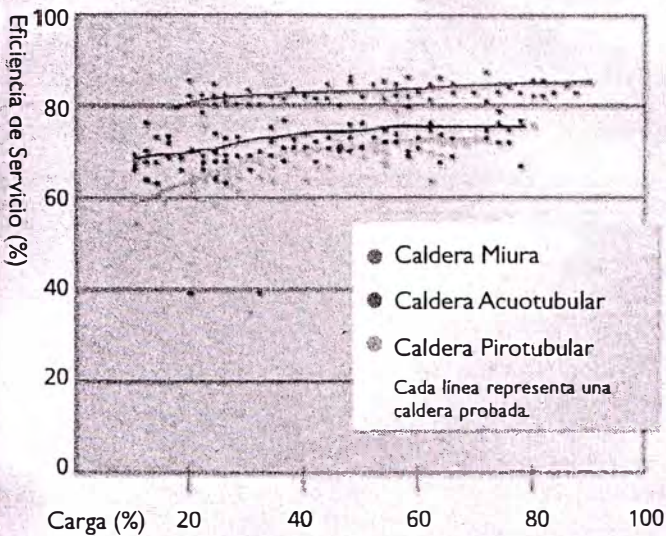
Costo de GAS
20%

En Instalaciones Múltiple las unidades pueden ser encendidas/apagadas según sea necesario

Los clientes de Calderas Miura cuyas necesidades requieren un sistema de instalación múltiple (MI), también gozan ahorrando dinero mientras salvan al planeta, ya que las calderas Miura pueden ser encendidas/apagadas según se requiera. Esta ventaja única permite a los usuarios cumplir con las horas pico de demanda, mientras se opera con mayor eficiencia a lo largo del día y se reduce el desgaste.



AHORROS SUPERIORES EN COMBUSTIBLE



Las Mayores Eficiencias de Servicio en la industria de calderas industriales.

Basándose en los costos actuales del combustible, el ahorro mensual en dólares que los clientes de Miura tienen en la producción de vapor es de aproximadamente 20% en promedio sobre otros diseños de calderas. Con un ahorro de 10% a 40% en combustible, Miura puede ahorrar alrededor de \$200,000 por año en combustible para un sistema de vapor típico de 600 BHP (C.C.).

La gráfica, (izquierda) compara las eficiencias de servicio de las calderas Miura con las de las calderas pirotubulares y acuotubulares. El diseño de Miura resulta en una transferencia óptima de superficie de calor con contenido mínimo de agua para eficiencias combustible a vapor de 85%. Aún cuando los diseños típicos pirotubulares pueden alcanzar hasta 83% de combustible a vapor, estudios que comparan las eficiencias reales muestran que Miura promedia de 10% a 40% en ahorro de combustible por encima de los diseños pirotubulares estándar.

ALTA EFICIENCIA DE SERVICIO

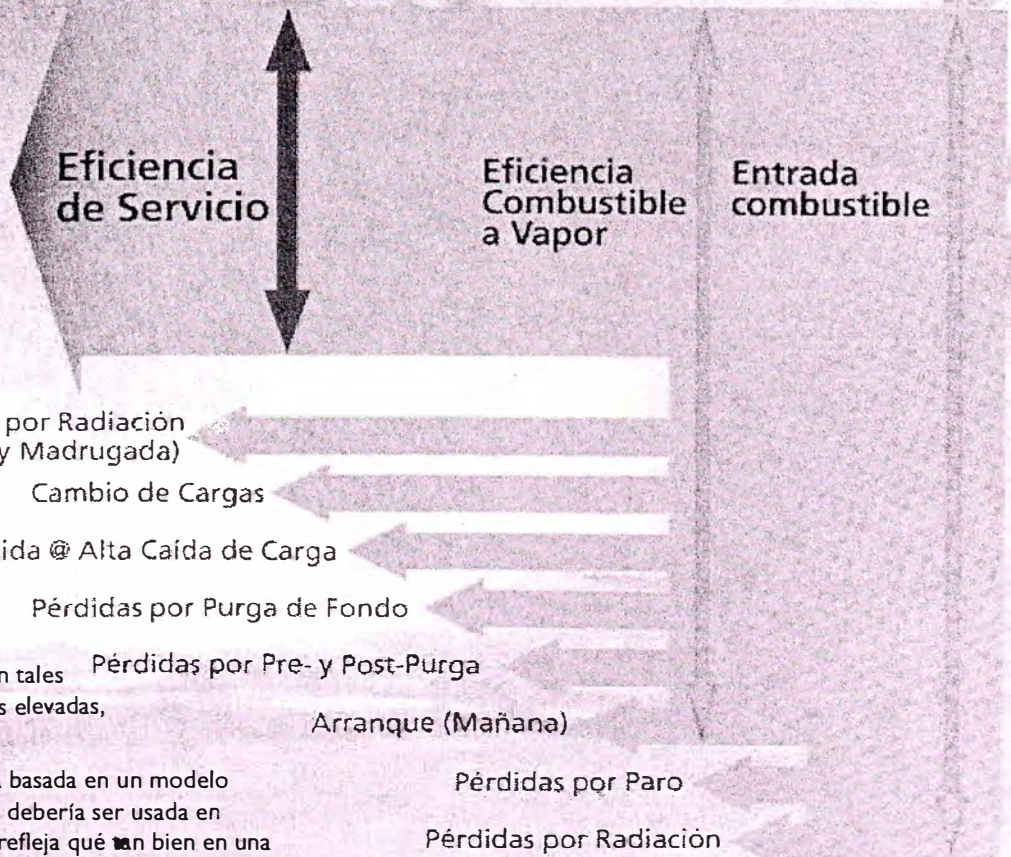
Una Norma de Excelencia que distingue a Miura de otros fabricantes de Calderas de Generación de Vapor

La Eficiencia de Servicio es una medida de desempeño general, sin importar su perfil de carga. La Alta Eficiencia de Servicio es un nivel de desempeño que todo cliente de Calderas Miura puede esperar. Esta norma de excelencia ha sido establecida basándose en tomar en cuenta todos los factores de la operación de la caldera (ver gráfica).

Para una explicación más detallada, revisemos las Definiciones comunes de Eficiencia en relación con la Caldera...

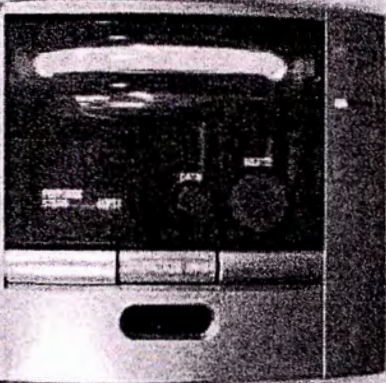
Miura ha desarrollado el término "Eficiencia de Servicio" para describir • Eficiencia de Combustión • Eficiencia Térmica • Eficiencia Combustible a Vapor y la define así: La eficiencia resultante de una caldera cuando se considera el total de ciclos de operación tales como día, noche, fines de semana, cargas elevadas, cargas bajas y cargas en espera.

Esta es una eficiencia completa que está basada en un modelo operativo y es la eficiencia "real", la cual debería ser usada en cualquier comparación de caldera. Esta refleja qué tan bien en una caldera en específico maneja un modelo operativo particular.



SISTEMA DE CONTROL DE CALDERA POR MICROCONTROLADOR BL

NUEVO



El nuevo Sistema de Control de la Caldera por Microcontrolador BL (izquierda) ofrece avances significativos que incluyen muchos puntos nuevos de monitoreo individual; un incremento de más de 60% en comparación con nuestro controlador popular XJI.

El Controlador BL es la respuesta inteligente al análisis y solución de problemas. Trabaja para usted y con usted, identificando problemas y sugiriendo soluciones en un inglés simple y descriptivo en una pantalla fácil de leer. Al presentar una programación y operación simple e intuitiva, el Controlador BL es tan fácil de instalar y programar como de operar. El programa de capacitación de Miura y la interface intuitiva y fácil de usar son su garantía de una caldera inteligente que trabaja de acuerdo a sus necesidades.

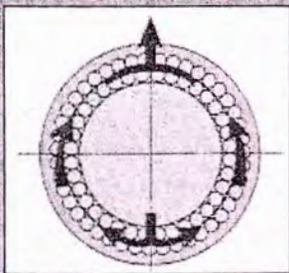
Operaciones Detalladas de la Caldera

El Sistema de Control de Caldera por Microcontrolador BL mide el desempeño de su caldera en un formato fácil de leer y de fácil manejo:

- Presión de Vapor
- Temperatura de Gases de la Combustión
- Temperatura de Agua de Alimentación
- Temperatura de Monitoreo de Incrustación
- Temperatura de Monitoreo de Sobre Calentamiento
- Corriente de Flama Detectada por la Fococelda
- Tiempo Programado para Purga de Fondo
- Válvula Automática para Purga de Superficie (Encendido / Apagado)
- Conductividad de Agua Dentro de la Caldera
- Datos de Operación de la Caldera de 11 Puntos
- ... Y muchos más

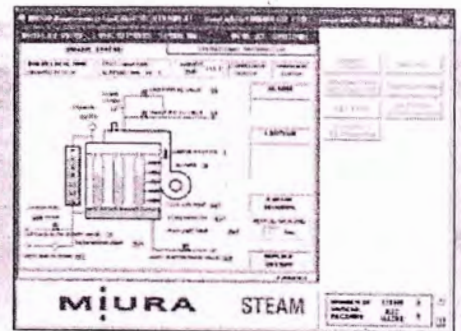
- Mayor control sobre la configuración de presión de vapor para una presión de vapor más estable.
- Permite un ajuste compensado de la configuración del termopar de incrustación para fuego alto y bajo.
- Permite un ajuste compensado de purga automática basado en Sólidos Disueltos Totales (SDT).
- Se interconecta fácilmente con la unidad de "Colormetry" de Miura para minimizar la formación de incrustaciones debido a una falla del suavizador de agua.

Flujo de Gases de la Combustión



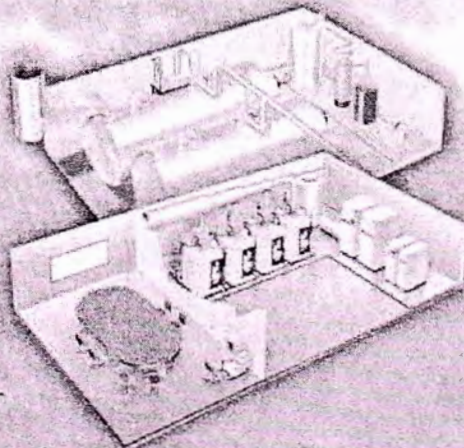
Combustible Dual Gas/Diesel

La serie EX de Miura ofrece ventajas únicas para usuarios de más de un combustible, sea gas o diesel. Ahora puede tomar ventaja de la flexibilidad de intercambiar el combustible sin la necesidad de un quemador adicional, cosa que no se evita con calderas convencionales. La tecnología Miura significa innovación avanzada y facilidad de uso.



Nuestras Calderas Requieren Menos Espacio

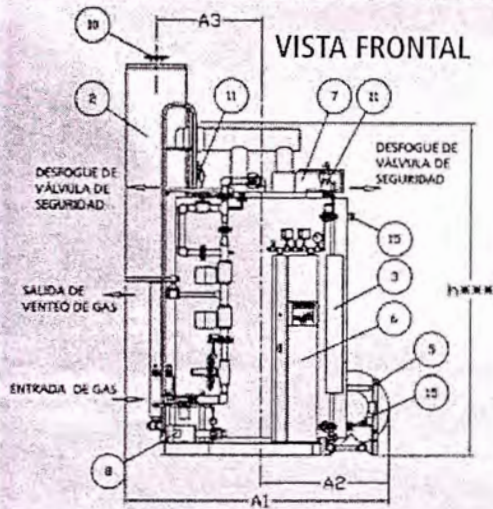
La tecnología de diseño exclusivo de cabezal flotante de las Calderas Miura produce potencia en BHP (C.C.) comparable con unidades mucho más grandes, pero con mucho menos agua, y un espacio más compacto. Esto reduce los costos de nuevas construcciones y/o utiliza mejor el espacio disponible.



Sin Problemas Sistema de Mantenimiento En Línea

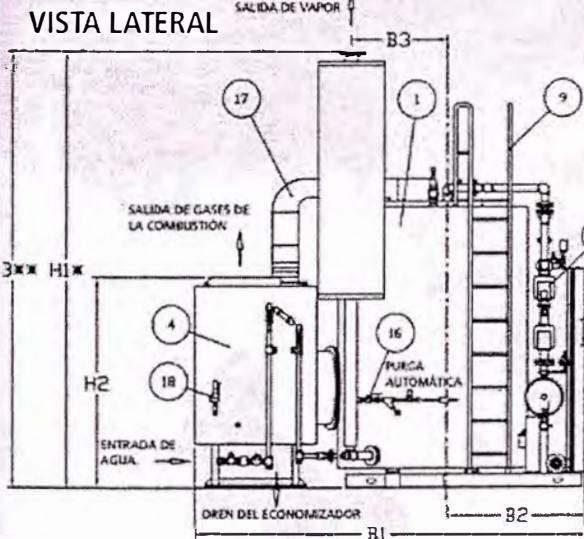
La eficiencia también se mide en desempeño sin problemas y confiable, y el sistema de mantenimiento en línea de las Calderas Miura con el display del Micro controlador BL realmente registra una alarma o advertencia cuatro segundos antes que esta ocurra, a fin de que pueda ser diagnosticada y corregida más rápido. Esta característica importante es una de las muchas ventajas de las calderas Miura.

ESPECIFICACIONES SERIE EX

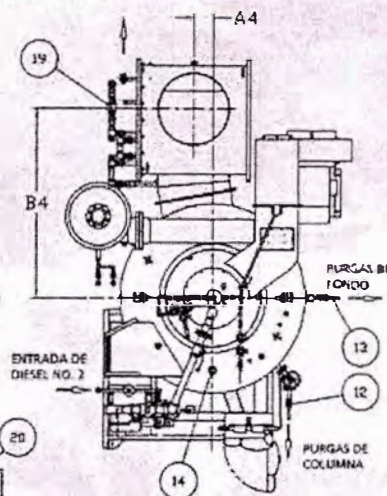


| | A1 | A2 | A3 | A4 | B1 | B2 | B3 | B4 | H1* | H2 | H3** | h |
|--------------|---------|--------|--------|-------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|
| EX-100 SGO | 81 1/2 | 38 | 28 1/2 | 8 1/2 | 108 1/2 | 41 | 12 | 55 1/2 | 99 | 69 1/2 | 96 | 87 1/2 |
| EX-150 SGO | 90 | 48 1/2 | 32 | 6 1/2 | 130 | 52 1/2 | 30 | 65 | 120 | 78 | 117 1/2 | 103 |
| EX-200 SGO | 90 | 48 1/2 | 32 | 6 1/2 | 130 | 52 1/2 | 30 | 65 | 120 | 78 | 117 1/2 | 103 |
| EX-250 SGO | 94 | 50 | 32 | 6 1/2 | 135 1/2 | 52 1/2 | 32 | 68 | 145 1/2 | 74 | 145 1/2 | 119 1/2 |
| EX-300 SGO | 105 1/2 | 51 1/2 | 42 | 7 1/2 | 142 | 55 1/2 | 29 1/2 | 68 | 156 1/2 | 75 1/2 | 156 1/2 | 130 1/2 |
| EX-300 SGO F | 114 | 59 1/2 | 42 | 7 1/2 | 140 1/2 | 55 | 29 1/2 | 68 | 156 1/2 | 87 | 156 1/2 | 130 1/2 |

(Pulgadas)

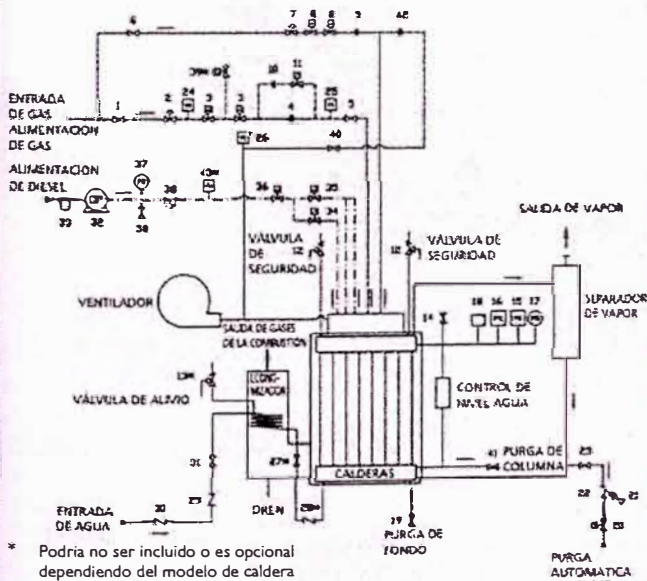


VISTA SUPERIOR



| Num. | NOMBRE de PIEZA |
|------|---------------------------------------|
| 1 | CUERPO de la CALDERA |
| 2 | SEPARADOR de VAPOR |
| 3 | CONTROL de VOLUMEN de LIQUIDOS (LVC) |
| 4 | ECONOMIZADOR |
| 5 | VENTILADOR |
| 6 | CAJA de AIRE / VENTILADOR |
| 7 | CAJA de VIENTO / VENTILADOR |
| 8 | BOMBA de DIESEL* |
| 9 | BRIDA de SALIDA de VAPOR |
| 10 | BRIDA de SALIDA de VAPOR |
| 11 | VALVULAS de SEGURIDAD |
| 12 | PURGA de FONDO |
| 13 | PURGA de FONDO |
| 14 | ORIFICIO de INSPECCION INFERIOR |
| 15 | ORIFICIO de INSPECCION LATERAL |
| 16 | PURGA AUTOMÁTICA |
| 17 | DUCTO de AIRE |
| 18 | VALVULA de SEGURIDAD del ECONOMIZADOR |
| 19 | TUBERIA de AGUA de ALIMENTACION |
| 20 | TREN PRINCIPAL de GAS |

DIAGRAMA DE FLUJO



| Num. | NOMBRE de PIEZA | Num. | NOMBRE de PIEZA |
|------|---|------|-----------------------------------|
| 1 | VALVULA PRINCIPAL de GAS | 23 | VALVULA para MUESTRA de AGUA |
| 2 | REGULADOR PRINCIPAL de GAS | 24 | INTERRUPTOR de PRESION de GAS |
| 3 | ORIFICIO FUEGO (BAJO) | 25 | INTERRUPTOR de PRESION de GAS |
| 4 | VALVULA para GAS | 26 | INTERRUPTOR de PRESION de AIRE |
| 5 | VALVULA de GAS a PILOTO | 27 | VALVULA de AGUA* |
| 6 | VALVULA de CONTROL de GAS | 28 | VALVULA de RETENCION* |
| 7 | VALVULA SOLENOIDE de PILOTO de GAS | 29 | VALVULA de RETENCION |
| 8 | VALVULA de CONTROL de PILOTO de GAS | 30 | VALVULA de RETENCION |
| 9 | ORIFICIO de AIRE para PILOTO | 31 | VALVULA de AGUA de ALIMENTACION |
| 10 | VALVULA SOLENOIDE para FUEGO ALTO | 32 | BOMBA de DIESEL |
| 11 | VALVULA de CONTROL ALTO-BAJO | 33 | FILTRO de DIESEL |
| 12 | VALVULAS de SEGURIDAD | 34 | VALVULA de CONTROL de DIESEL |
| 13 | VALVULA de DESFOGUE* | 35 | VALVULA de CONTROL de DIESEL |
| 14 | VALVULA de VENTEO de AIRE | 36 | VALVULA de CONTROL de DIESEL |
| 15 | INTERRUPTOR de PRESION de VAPOR | 37 | VALVULA de DIESEL |
| 16 | INTERRUPTOR de PRESION de VAPOR | 38 | VALVULA de VENTEO de DIESEL |
| 17 | MANOMETRO de PRESION | 39 | VALVULA de VENTEO de GAS* |
| 18 | SENSOR de PRESION | 40 | VALVULA de PURGA de COLUMNA |
| 19 | VALVULA de PURGA de FONDO de la CALDERA | 41 | VALVULA de PURGA del LVC |
| 20 | VALVULA de PURGAS AUTOMÁTICAS | 42 | ORIFICIO de AIRE del PILOTO |
| 21 | VALVULA para MUESTRA de AGUA | 43 | INTERRUPTOR de PRESION DE DIESEL* |
| 22 | FILTRO de PURGA | | |

* Podria no ser incluido o es opcional dependiendo del modelo de caldera

** Varias opciones son disponibles bajo petición

ESPECIFICACIONES SERIE EX

| ARTICULO | EX-100 SGO | EX-150 SGO | EX-200 SGO | EX-250 SGO | EX-300 SGO(*9, *10) |
|--|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Capacidad de la Caldera | 100HP | 150HP | 200HP | 250HP | 300HP |
| Presión de Diseño (*1) | 170 PSIG MAWP, 150 PSIG Operación Máxima de Trabajo | | | | |
| Producción Equivalente (*2) | 3,450 LB/HR | 5,175 LB/HR | 6,900 LB/HR | 8,625 LB/HR | 10,350 LB/HR |
| Producción Calorífica | 3,348,000 BTU/HR | 5,022,000 BTU/HR | 6,695,000 BTU/HR | 8,369,000 BTU/HR | 10,050,000 BTU/HR |
| Eficiencia (combustible a vapor) (*3) | 85% (80% sin Economizador) | | | | |
| Área de superficie de calefacción | 193 FT ² | 323 FT ² | 323 FT ² | 407 FT ² | 468 FT ² |
| Peso de Operación | 7,250 LBS | 11,500 LBS | 11,500 LBS | 17,850 LBS | 18,000 LBS |
| Peso de Embarque | 6,750 LBS | 10,650 LBS | 10,650 LBS | 16,600 LBS | 17,100 LBS |
| Dimensiones son Aproximados | | | | | |
| Ancho | 81.5" | 90" | 90" | 94 in. | 105.5" |
| Largo | 108.5" | 130" | 130" | 135.5" | 142" |
| Alto | 102.5" | 127" | 127" | 157" | 157" |
| Sistema de Combustión | Propietario Aire Forcado, Modulación Atlo-Bajo-Apagado | | | | |
| Sistema de Encendido | Ignición de Chispa Eléctrico, Piloto de Gas Interrumpido | | | | |
| Alimentación Eléctrica | 208, 230, 460, or 575 V, 3 PHASE, 60 HZ | | | | |
| Consumo Eléctrico Máx. | 13.35 KVA (14.2 para aceite) | 24.5 KVA (25.4 para aceite) | 27.5 KVA (28.5 para aceite) | 32.3 KVA (34.3 para aceite) | 35.4 KVA (37.3 para aceite) |
| Tipo de Combustible (*4) | Gas Natural o Gas LPG (3-5 PSIG), diesel #2 | | | | |
| Consumo de Gas (*5) | 3,920 SCFH | 5,880 SCFH | 7,850 SCFH | 9,810 SCFH | 11,780 SCFH |
| Diesel No. 2 | 28.1 GAL/Hr | 42.2 GAL/Hr | 56.3 GAL/Hr | 68.7 GAL/Hr | 84.5 GAL/Hr |
| Presión del Suministro de Combustible | 3-5 PSIG Gas (Natural o LP) | | | | |
| Salida Principal de Vapor | 2" | 3" | 3" | 4" | 4" |
| Salida de la Válvula de Seguridad (*1) | Uno 2" | Uno 2 1/2" | Uno 2 1/2" | Dos 2" | Dos 2 1/2" |
| Entrada Principal de Agua | 1" | 1" | 1" | 1 1/4" | 1 1/4" |
| Entrada de Gas | 2" | 2" | 2" | 2 1/2" | 2 1/2" |
| En | 3/4" | | | | |
| Purga Automática de superficie | Uno 3/8" | Uno 3/8" | Uno 3/8" | Dos 3/8" | Dos 3/8" |
| Purga Manual de "Fondo" | Dos 1" | Dos 1" | Dos 1" | Dos 1" | Dos 1" |
| Diámetro de la Chimenea | 14" | 20" | 20" | 20" | 26" |
| Detector de Flama | Sensor de Flama Ultravioleta | | | | |
| Control de Presión | Transductor de Presión (Ajustable) | | | | |
| Control de Nivel de Agua | Tipo Conductividad Eléctrico | | | | |
| Protección de Sobrecalentamiento | Protección de Baja Agua y Thermocouple | | | | |

- Nota: *1 Opcional Serie EXH-SGO de 250 PSIG Presión Máxima de Trabajo y de operación de 225PSIG.
 *2 El Rendimiento Equivalente se calcula a partir del agua de alimentación a 212°F (100°C) y vapor a 212°F (100°C).
 *3 La eficiencia térmica se basa en los altos valores de calentamiento de los combustibles y el agua de alimentación a 68°F (20°C).
 *4 Aprobado de UL para gas natural, LPG, y diesel #2.
 *5 El consumo de gas se basa en el gas natural con un valor calorífico alto de 1,004 Btu/SCF.
 *6 Todas las calderas Miura son totalmente ensambladas y probadas en Fábrica.
 *7 Construidas para cumplir o exceder con las normas UL & ASME en los EEUU; normas c-UL & B-51 en Canadá.
 *8 La recirculación del Gas de Combustión es opcional sólo con el Economizador.
 *9 Opción de bajo contenido de agua disponible en capacidades tan bajas como 284 Litros para cumplir con el reglamento de volumen hidráulico.
 *10 Modelo de Baja Emisión de NOx disponible para cumplir con 30ppm NOx.
 *11 La medida de la salida de la válvula de seguridad puede cambiar dependiendo del ajuste de presión.

- "S" - Economizador
 "G" - Caldera a base de Gas Natural o Gas Propano
 "O" - Caldera a base de Diesel

Oficinas de Ventas y Servicio al Cliente Norte Americanas

Toronto, Canada
 4120 Ridgeway Drive
 Unit 26
 Mississauga ON, L5L 5S9
 tel: 905-564-0836
 fax: 905-564-9504
 toronto@miuraboiler.com

New York
 120 Sylvan Ave.
 Suite 204
 Englewood Cliffs, NJ 07632
 tel: 201-592-1260
 fax: 201-592-1262
 newyork@miuraboiler.com

Atlanta
 1900 The Exchange
 Suite 330
 Atlanta, GA 30339
 tel: 770-916-1695
 fax: 770-916-1858
 atlanta@miuraboiler.com

Chicago
 5420 Newport Drive
 Suite 59
 Rolling Meadows, IL 60008
 tel: 847-465-0001
 fax: 847-465-0011
 chicago@miuraboiler.com

Los Angeles
 1945 South Myrtle Ave.
 Monrovia, CA 91016-4854
 tel: 626-305-6622
 fax: 626-305-6624
 LA@miuraboiler.com

Dallas
 14330 Midway Road
 Suite 211
 Dallas, TX 75244
 tel: 972-386-7848
 fax: 972-386-8192
 dallas@miuraboiler.com

de corporativa principal • Japón: +81-89-979-7123 www.miuraz.co.jp Sucursales localizadas en China • Korea • Taiwan

Plantas Manufactureras de Norte America

Miura Boiler Co., Ltd
 8 Copemicus Blvd.
 Brantford, Ontario
 N6P 1Y4 Canada
 tel: 519-758-8111
 fax: 519-758-5294

Miura Manufacturing America Co., Ltd
 2200 Steven B Smith Blvd.
 Rockmart, GA 30153
 tel: 678-685-0929
 fax: 678-685-0930

Miura North America - México

Oficina de Enlace
 Av. Presidente Masaryk No.111 piso 1 Oficina 122
 Col. Chapultepec Morales, CP 11560
 Del. Miguel Hidalgo, Mexico D.F.
 tel: +52 (55) 33005886
 mexicodf@miuraboiler.com

Miura

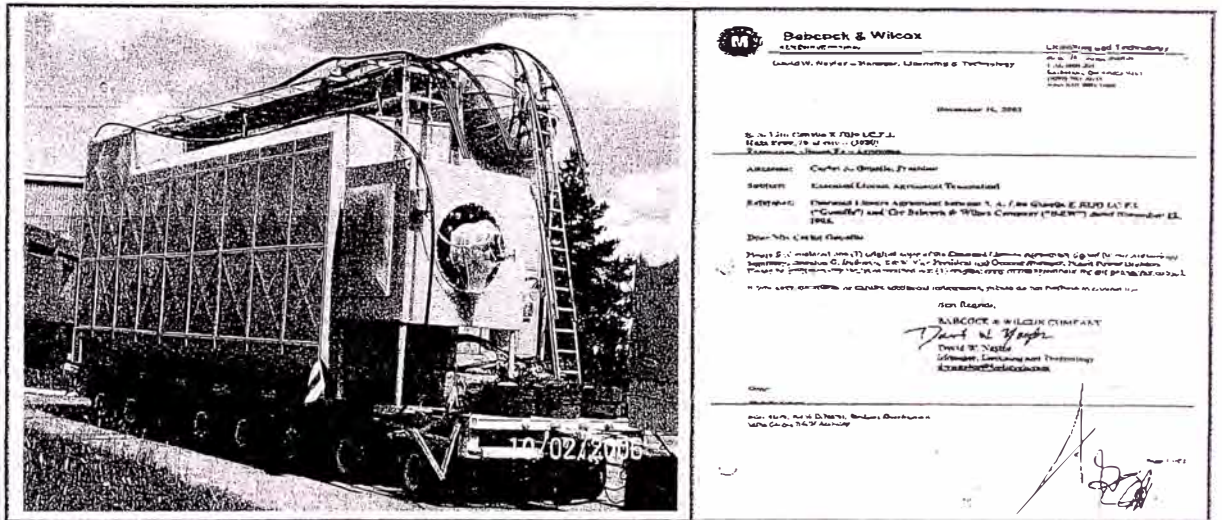
La Caldera Miura es Fabricada para una Mayor Eficiencia, y costos Mas Bajos.



5.1 CALDERAS BOILERS

a. Con licencia BABCOCK & WILCOX (U.S.A) License by BABCOCK & WILCOX (U.S.A.)

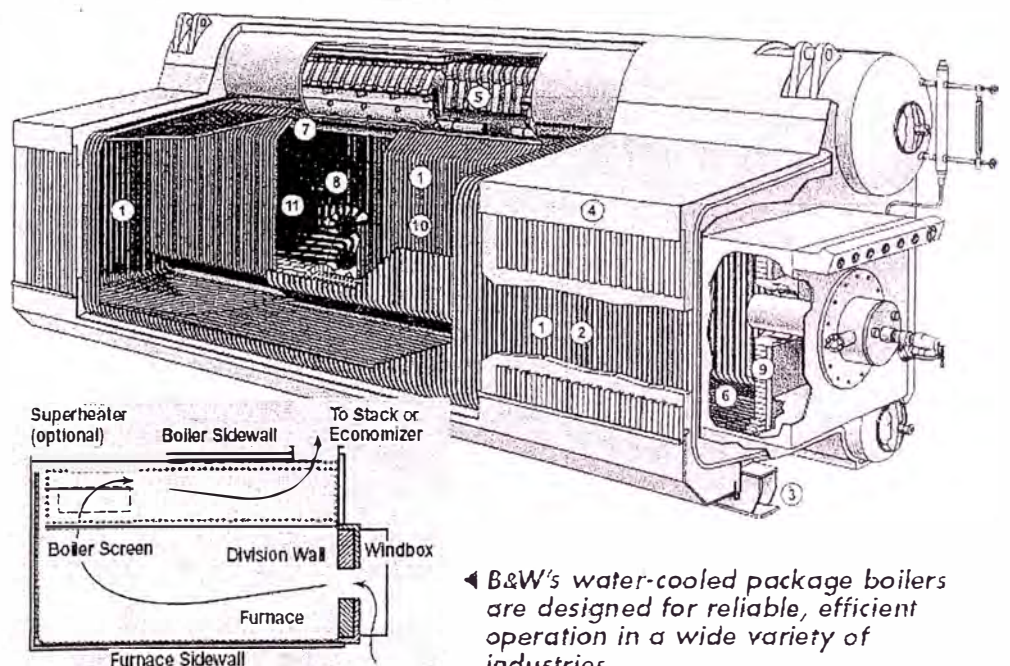
Proveedor aprobado por B&W para venta de calderas con estampa ASME "S" a U.S.A. GONELLA is approved supplier of B&W to supply boilers ASME "S" stamped to U.S.A.



Código ASME (B&PVC) Sección I

Calderas Acuotubulares (hasta 130 tn/h vapor)

Watertubes Boilers (until 130 tn/h steam)

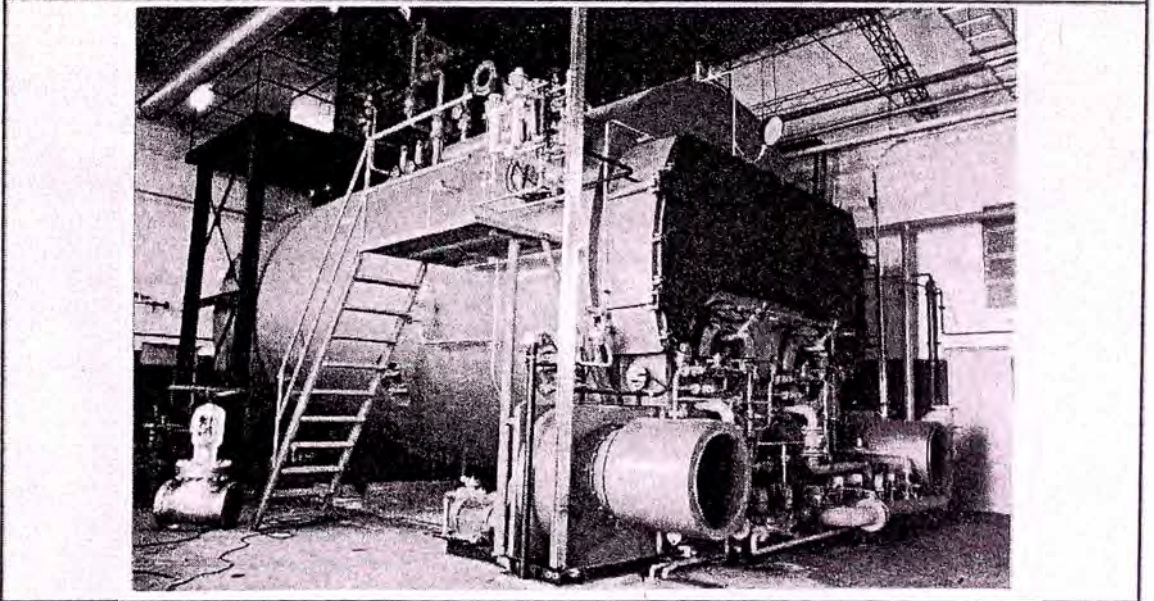
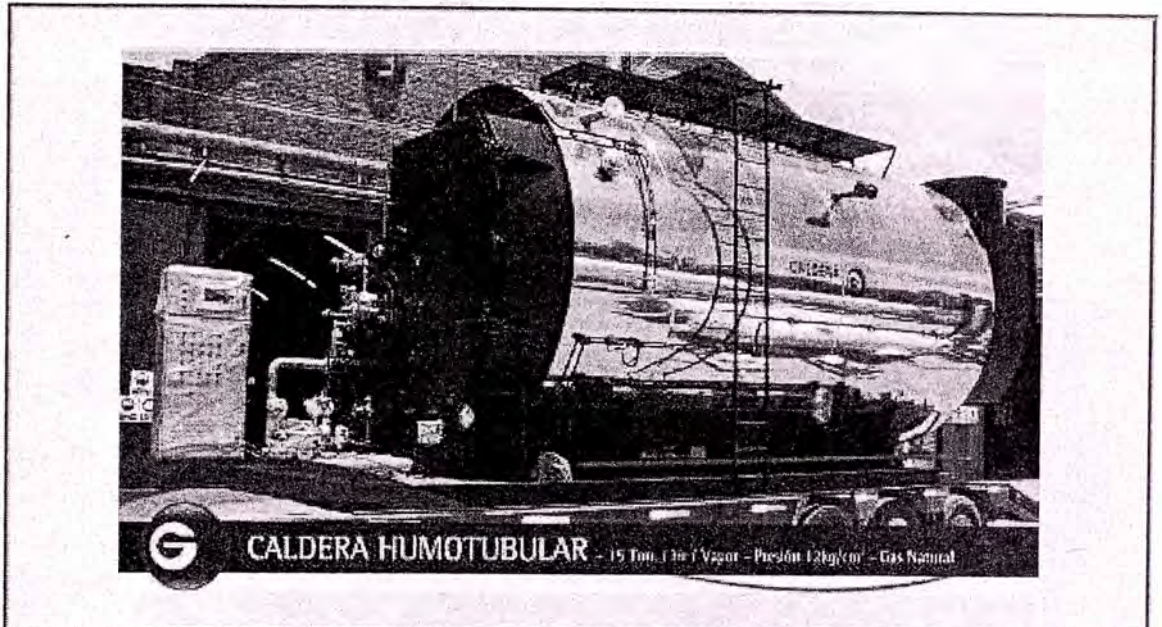


B&W's water-cooled package boilers are designed for reliable, efficient operation in a wide variety of industries.

Caldera Paquete B&W, acuotubular, diseñada para una operación confiable y eficiente en una amplia variedad de industrias.

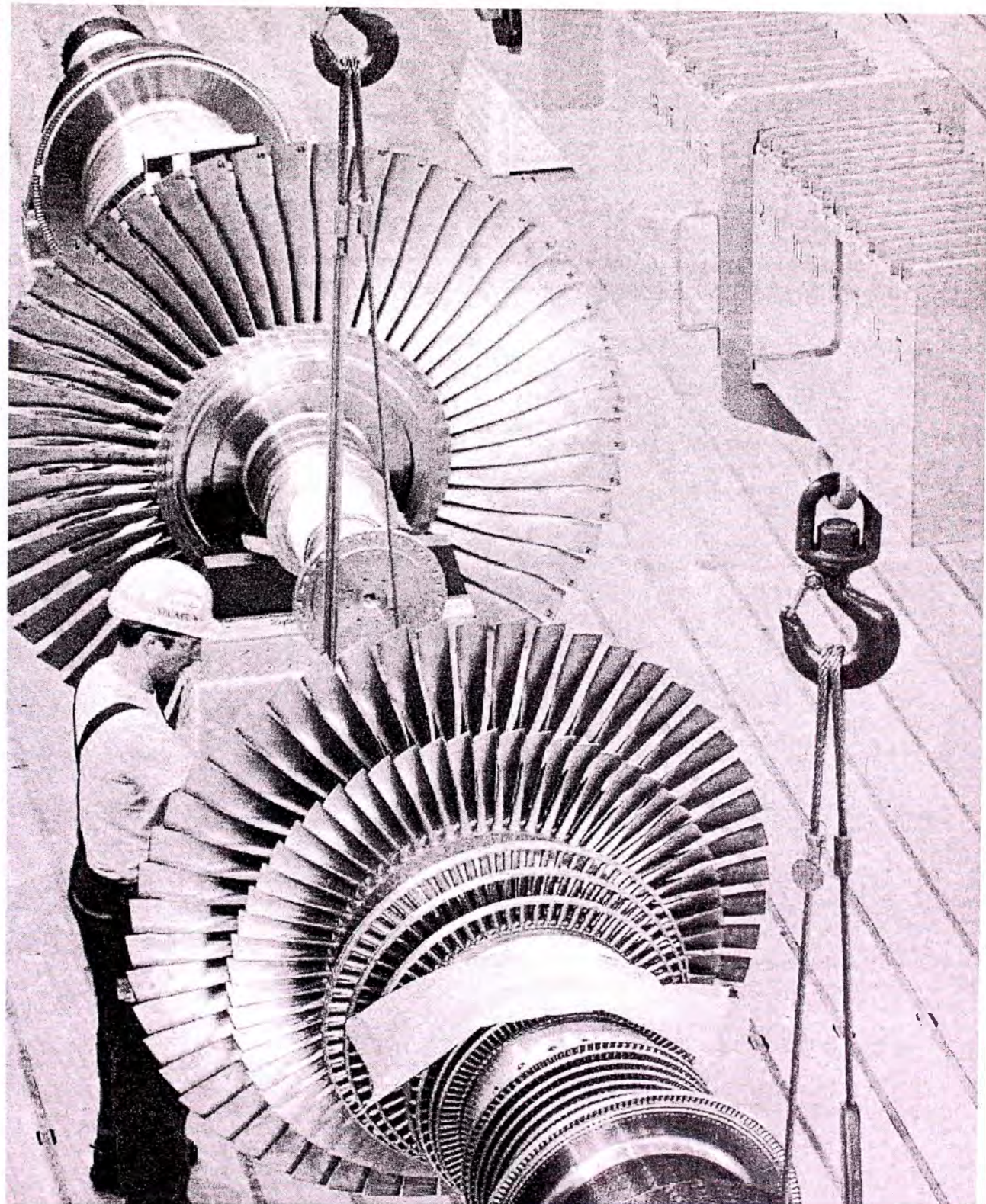


b. Ingeniería GONELLA
GONELLA Engineering



Código ASME (B&PVC) Sección I

| | |
|--|--|
| <p>Calderas Humotubulares (hasta 20 tn/h vapor)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 3 Pasos fondo húmedo (1-2 hogares) ✓ 2 Pasos ✓ Gas, Fuel Oil, Duales | <p><i>Fumetubes Boilers (until 20 tn/h steam)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 3 steps, wet bottom (1-2 furnaces) ✓ 2 steps ✓ Gas, Fuel Oil, Dual |
| <p>Calderas Especiales (hasta 20 tn/h vapor)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Para combustibles sólidos (Leña, chips, desperdicios celulósicos de aserraderos o industrias afines, carozo de coco, cáscara de girasol, de algodón, arroz, etc.) | <p><i>Special Boilers (until 20 tn/h steam)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ For solid fuel (firewood, chips, cellulose wastes from sawmills or similar industries, cocoonut cob, husk sunflower, cotton, rice, etc.) |



Turbinas de vapor industriales

La gama integral de productos de 2 a 250 MW

Answers for energy.

SIEMENS

Flexibles, fiables y robustas: Turbinas de vapor industriales Siemens

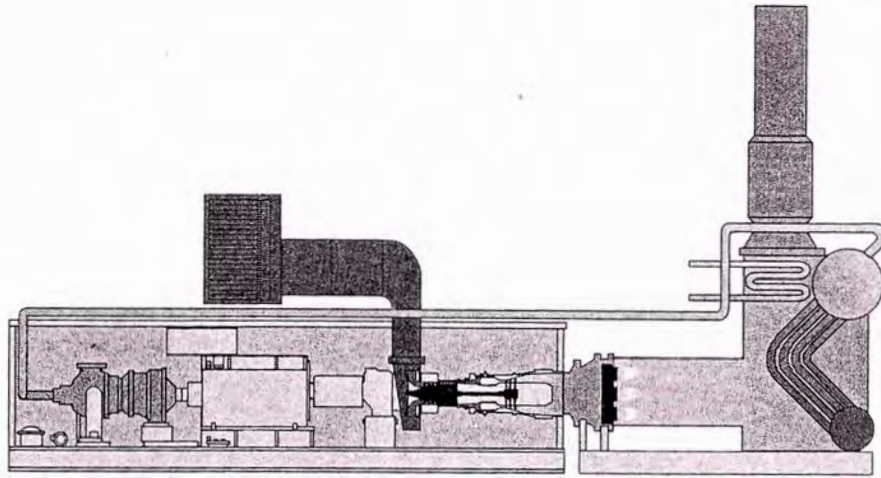
Somos líderes del mercado mundial de turbinas de vapor industriales, ofrecemos una gama de productos completa de turbinas de vapor versátiles. Con más de 100 años de experiencia en fabricación de turbinas y una flota de más de 2.000 máquinas instaladas, somos un proveedor en cuya tecnología se puede confiar.

Siemens ofrece una gama completa de turbinas de vapor industriales de 45 kW a 2.000 MW con la flexibilidad de cumplir los requisitos específicos para cada aplicación. Ofrecemos catálogos de productos separados para nuestra gama de turbinas de vapor prediseñadas con una potencia de 45 kW a 10 MW, y para grandes turbinas de vapor de 250 a 1.200 MW.

Nuestras turbinas de vapor industriales, cumplen los requisitos del cliente en cuanto a instalación y operación más económicas, suministrando una excelente flexibilidad en procesos industriales complejos. De modo que si requiere un accionamiento de generador para generación de energía o un accionamiento mecánico para compresores, sopladores o bombas, hable con nosotros, y juntos seleccionaremos la turbina o el turboset óptimos para satisfacer sus necesidades.

Por supuesto, nos apegamos estrictamente a las directivas de las normativas de calidad ISO 9001 e ISO 14001. No sólo las turbinas de vapor, sino también los productos asociados, acreditados y de alta tecnología están disponibles en la gama de Siemens, incluyendo generadores e instrumentación y control, así como todos los sistemas auxiliares y accesorios.

| Modelo | Parámetros de vapor (hasta máx.) | Potencia (MW) | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------------------------------|--|----|----|----|-----|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|--|--|--|
| | | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 250 | | | |
| SST-100 | 65 bar, 430 °C | | | | | | | | | | | | | |
| SST-150 | 105 bar, 505 °C | | | | | | | | | | | | | |
| SST-200 | 110 bar, 520 °C | | | | | | | | | | | | | |
| SST-300 | 120 bar, 520 °C | | | | | | | | | | | | | |
| SST-400 | 140 bar, 540 °C | | | | | | | | | | | | | |
| SST-500 | 50 bar, 400 °C | Doble flujo | | | | | | | | | | | | |
| SST-600 | 140 bar, 540 °C | | | | | | | | | | | | | |
| SST-700 | 165 bar, 585 °C | Carcasa dual / con o sin recalentamiento | | | | | | | | | | | | |
| SST-800 | 140 bar, 540 °C | Admisión central | | | | | | | | | | | | |
| SST-900 | 165 bar, 585 °C | Carcasa simple / sin recalentamiento | | | | | Carcasa dual / con recalentamiento | | | | | | | |



DSSSTAC-005

Sistema flexible y altamente eficaz para cargas eléctricas y de vapor variables

- Sistema estandarizado con componentes y tecnología de eficacia probada en la industria
- Múltiples configuraciones para adaptarse a las condiciones específicas del emplazamiento
- Capacidad para bajas emisiones secas (SoLoNOx™)
- Equipo modularizado para facilitar su instalación
- Proveedores de componentes a nivel internacional: Se ofrece suministro local
- Bajos costos de instalación gracias a la estructura modular del equipo
- Alta disponibilidad gracias a un equipo fiable y estándar en la industria
- Alta flexibilidad que permite un suministro de vapor de proceso o una generación de energía eléctrica variable

Características estándar del sistema

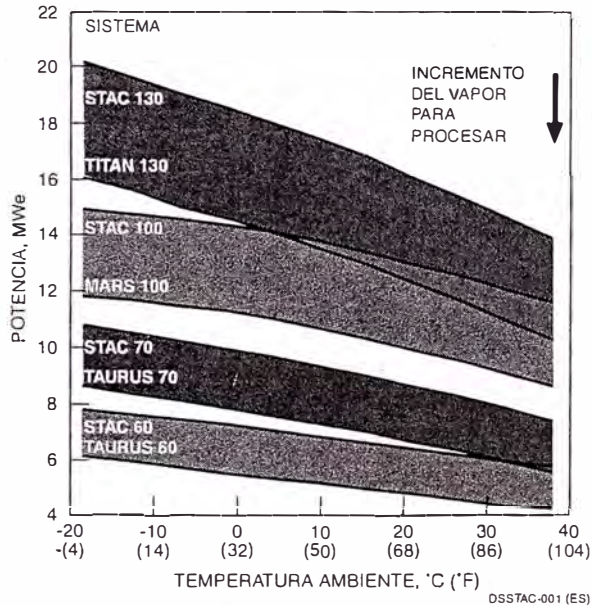
- Diseño modular integrado
- Equipo industrial estándar
- Conjunto de turbomaquinaria con turbina de vapor
- Generador de doble impulsión
- Conjunto turbogenerador Solar® estandarizado
- Generador de vapor con recuperador de calor (HRSG)
- Sistema de control integrado

Comparación de los sistemas estándar

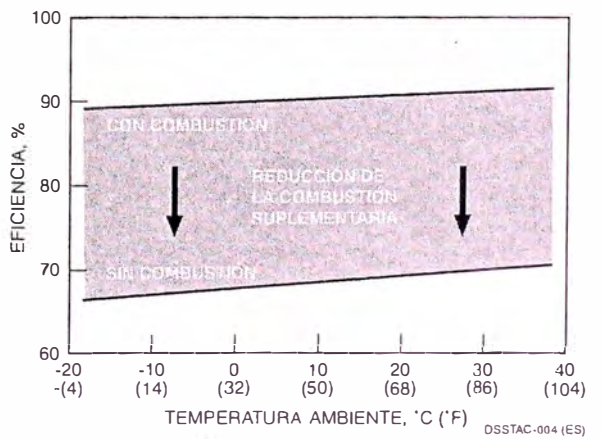
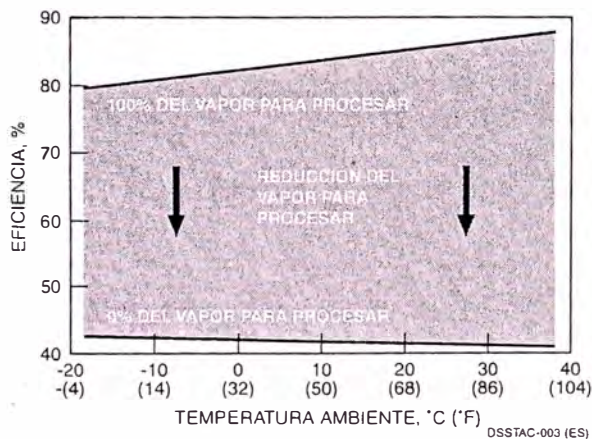
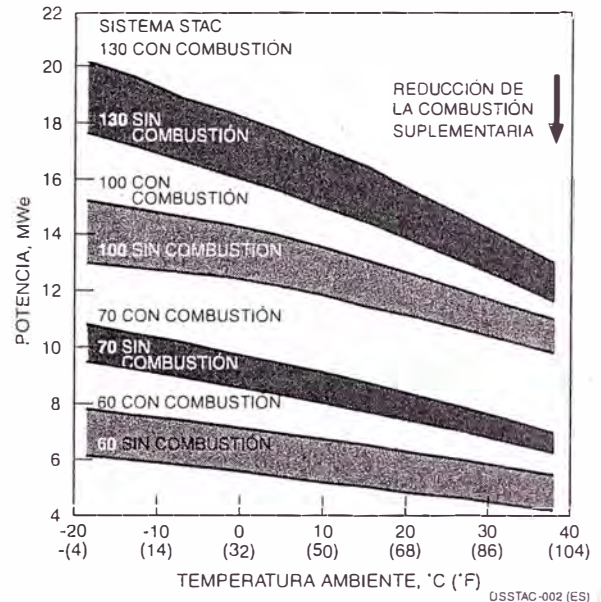
| | | |
|--|---------------|----------------|
| • Conjunto de turbomaquinaria con turbina de vapor | STAC I | STAC II |
| • Eficacia del sistema | Condensación | Contrapresión |
| • Flexibilidad eléctrica/térmica | Alta | Más alta |
| • Costos de capital | Más alta | Alta |
| • Costos de agua | Bajo | Más bajo |
| | Más bajo | Bajo |

Rendimiento previsto

STAC I - TURBINA DE VAPOR DE CONDENSACIÓN (SIN COMBUSTIÓN SUPLEMENTARIA)



STAC II - TURBINA DE VAPOR DE CONTRAPRESIÓN (CON COMBUSTIÓN SUPLEMENTARIA)



STAC I - Generador de vapor con recuperador de calor sin combustión complementaria y de condensación

STAC II - Generador de vapor con recuperador de calor con combustión complementaria y de contrapresión

| Sistema STAC | 60 | 70 | 100 | 130 | 60 | 70 | 100 | 130 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Potencia, MWe | 6,6 | 9,1 | 13,4 | 16,8 | 6,5 | 8,8 | 13,1 | 16,4 |
| Vapor disponible*, toneladas/h | 12,0 | 15,5 | 22,7 | 28,3 | 26,3 | 32,3 | 49,5 | 52,5 |
| (miles de lb/hr) | (26,5) | (34,0) | (50,0) | (62,2) | (57,8) | (71,0) | (109,0) | (115,5) |

* Presión del vapor = 1.034 kPa (manométrica) (150 psig); Calidad del vapor = Saturado

Solar Turbines Incorporated
P.O. Box 85376
San Diego, CA 92186-5376 (EE.UU.)

Caterpillar es una marca registrada de Caterpillar Inc.
Solar, Taurus, Mars, Titan y SoLoNox son marcas registradas de Solar Turbines Incorporated.
Las especificaciones están sujetas a modificaciones sin previo aviso. Impreso en EE.UU.
© 2000 Solar Turbines Incorporated. Todos los derechos reservados.
DSSTAC-es/1299/2M

PARA OBTENER MÁS INFORMACIÓN

Teléfono: (+1) 619-544-5352
Telefax: (+1) 619-544-2633
Internet: www.solarturbines.com



Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones

| Presión bar | Temp. °C | Volumen específico m ³ / kg | | Energía interna kJ / kg | | Entalpía kJ / kg | | | Entropía kJ / kg , K | |
|----------------|-------------|---|---------------|----------------------------|---------------|---------------------|-------------------|---------------|-------------------------|---------------|
| | | Líquido sat, | Vapor sat, | Líquido sat, | Vapor sat, | Líquido sat, | Vapor vaporiz, | Vapor sat, | Líquido sat, | Vapor sat, |
| | | $v_f \times 10^3$ | v_g | u_f | u_g | h_f | h_{fg} | h_g | s_f | s_g |
| 0,04 | 28,96 | 1,0040 | 34,800 | 121,45 | 2415,2 | 121,46 | 2432,9 | 2554,4 | 0,4226 | 8,4746 |
| 0,06 | 36,16 | 1,0064 | 23,739 | 151,53 | 2425,0 | 151,53 | 2415,9 | 2567,4 | 0,5210 | 8,3304 |
| 0,08 | 41,51 | 1,0084 | 18,103 | 173,87 | 2432,2 | 173,88 | 2403,1 | 2577,0 | 0,5926 | 8,2287 |
| 0,10 | 45,81 | 1,0102 | 14,674 | 191,82 | 2437,9 | 191,83 | 2392,8 | 2584,7 | 0,6493 | 8,1502 |
| 0,20 | 60,06 | 1,0172 | 7,649 | 251,38 | 2456,7 | 251,40 | 2358,3 | 2609,7 | 0,8320 | 7,9085 |
| 0,30 | 69,10 | 1,0223 | 5,229 | 289,20 | 2468,4 | 289,23 | 2336,1 | 2625,3 | 0,9439 | 7,7686 |
| 0,40 | 75,87 | 1,0265 | 3,993 | 317,53 | 2477,0 | 317,58 | 2319,2 | 2636,8 | 1,0259 | 7,6700 |
| 0,50 | 81,33 | 1,0300 | 3,240 | 340,44 | 2483,9 | 340,49 | 2305,4 | 2645,9 | 1,0910 | 7,5939 |
| 0,60 | 85,94 | 1,0331 | 2,732 | 359,79 | 2489,6 | 359,86 | 2293,6 | 2653,5 | 1,1453 | 7,5320 |
| 0,70 | 89,95 | 1,0360 | 2,365 | 376,63 | 2494,5 | 376,70 | 2283,3 | 2660,0 | 1,1919 | 7,4797 |
| 0,80 | 93,50 | 1,0380 | 2,087 | 391,58 | 2498,8 | 391,66 | 2274,1 | 2665,8 | 1,2329 | 7,4346 |
| 0,90 | 96,71 | 1,0410 | 1,869 | 405,06 | 2502,6 | 405,15 | 2265,7 | 2670,9 | 1,2695 | 7,3949 |
| 1,00 | 99,63 | 1,0432 | 1,694 | 417,36 | 2506,1 | 417,46 | 2258,0 | 2675,5 | 1,3026 | 7,3594 |
| 1,50 | 111,4 | 1,0528 | 1,159 | 466,94 | 2519,7 | 467,11 | 2226,5 | 2693,6 | 1,4336 | 7,2233 |
| 2,00 | 120,2 | 1,0605 | 0,8857 | 504,49 | 2529,5 | 504,70 | 2201,9 | 2706,7 | 1,5301 | 7,1271 |
| 2,50 | 127,4 | 1,0672 | 0,7187 | 535,10 | 2537,2 | 535,37 | 2181,5 | 2716,9 | 1,6072 | 7,0527 |
| 3,00 | 133,6 | 1,0732 | 0,6058 | 561,15 | 2543,6 | 561,47 | 2163,8 | 2725,3 | 1,6718 | 6,9919 |
| 3,50 | 138,9 | 1,0786 | 0,5243 | 583,95 | 2546,9 | 584,33 | 2148,1 | 2732,4 | 1,7275 | 6,9405 |
| 4,00 | 143,6 | 1,0836 | 0,4625 | 604,31 | 2553,6 | 604,74 | 2133,8 | 2738,6 | 1,7766 | 6,8959 |
| 4,50 | 147,9 | 1,0882 | 0,4140 | 622,25 | 2557,6 | 623,25 | 2120,7 | 2743,9 | 1,8207 | 6,8565 |
| 5,00 | 151,9 | 1,0926 | 0,3749 | 639,68 | 2561,2 | 640,23 | 2108,5 | 2748,7 | 1,8607 | 6,8212 |
| 6,00 | 158,9 | 1,1006 | 0,3157 | 669,90 | 2567,4 | 670,56 | 2086,3 | 2756,8 | 1,9312 | 6,7600 |
| 7,00 | 165,0 | 1,1080 | 0,2729 | 696,44 | 2572,5 | 697,22 | 2066,3 | 2763,5 | 1,9922 | 6,7080 |
| 8,00 | 170,4 | 1,1148 | 0,2404 | 720,22 | 2576,8 | 721,11 | 2048,0 | 2769,1 | 2,0462 | 6,6628 |
| 9,00 | 175,4 | 1,1212 | 0,2150 | 741,83 | 2580,5 | 742,83 | 2031,1 | 2773,9 | 2,0946 | 6,6226 |
| 10,0 | 179,9 | 1,1273 | 0,1944 | 761,68 | 2583,6 | 762,81 | 2015,3 | 2778,1 | 2,1387 | 6,5863 |
| 15,0 | 198,3 | 1,1539 | 0,1318 | 843,16 | 2594,5 | 844,84 | 1947,3 | 2792,2 | 2,3150 | 6,4448 |
| 20,0 | 212,4 | 1,1767 | 0,09963 | 906,44 | 2600,3 | 908,79 | 1890,7 | 2799,5 | 2,4474 | 6,3409 |
| 25,0 | 224,0 | 1,1973 | 0,07998 | 959,11 | 2603,1 | 962,11 | 1841,0 | 2803,1 | 2,5547 | 6,2575 |
| 30,0 | 233,9 | 1,2165 | 0,06668 | 1004,8 | 2604,1 | 1008,4 | 1795,7 | 2804,2 | 2,6457 | 6,1869 |
| 35,0 | 242,6 | 1,2347 | 0,05707 | 1045,4 | 2603,7 | 1049,8 | 1753,7 | 2803,4 | 2,7253 | 6,1253 |
| 40,0 | 250,4 | 1,2522 | 0,04978 | 1082,3 | 2602,3 | 1087,3 | 1714,1 | 2801,4 | 2,7964 | 6,0701 |
| 45,0 | 257,5 | 1,2692 | 0,04406 | 1116,2 | 2600,1 | 1121,9 | 1676,4 | 2798,3 | 2,8610 | 6,0199 |
| 50,0 | 264,0 | 1,2859 | 0,03944 | 1147,8 | 2597,1 | 1154,2 | 1640,1 | 2794,3 | 2,9202 | 5,9734 |
| 60,0 | 275,6 | 1,3187 | 0,03244 | 1205,4 | 2589,7 | 1213,4 | 1571,0 | 2784,3 | 3,0267 | 5,8892 |
| 70,0 | 285,9 | 1,3513 | 0,02737 | 1257,6 | 2580,5 | 1267,0 | 1505,1 | 2772,1 | 3,1211 | 5,8133 |
| 80,0 | 295,1 | 1,3842 | 0,02352 | 1305,6 | 2569,8 | 1316,6 | 1441,3 | 2758,0 | 3,2068 | 5,7432 |
| 90,0 | 303,4 | 1,4178 | 0,02048 | 1350,5 | 2557,8 | 1363,3 | 1378,9 | 2742,1 | 3,2858 | 5,6772 |
| 100 | 311,1 | 1,4524 | 0,01803 | 1393,0 | 2544,4 | 1407,6 | 1317,1 | 2724,7 | 3,3596 | 5,6141 |
| 110 | 318,2 | 1,4886 | 0,01599 | 1433,7 | 2529,8 | 1450,1 | 1255,5 | 2705,6 | 3,4295 | 5,5527 |
| 120 | 324,8 | 1,5267 | 0,01426 | 1473,0 | 2513,7 | 1491,3 | 1193,6 | 2684,9 | 3,4962 | 5,4924 |
| 130 | 330,9 | 1,5671 | 0,01278 | 1511,1 | 2496,1 | 1531,5 | 1130,7 | 2662,2 | 3,5606 | 5,4323 |
| 140 | 336,8 | 1,6107 | 0,01149 | 1548,6 | 2476,8 | 1571,1 | 1066,5 | 2637,6 | 3,6232 | 5,3717 |
| 150 | 342,2 | 1,6581 | 0,01034 | 1585,6 | 2455,5 | 1610,5 | 1000,0 | 2610,5 | 3,6848 | 5,3098 |
| 160 | 347,4 | 1,7107 | 0,009306 | 1622,7 | 2431,7 | 1650,1 | 930,6 | 2580,6 | 3,7461 | 5,2455 |
| 170 | 352,4 | 1,7702 | 0,008364 | 1660,2 | 2405,0 | 1690,3 | 856,9 | 2547,2 | 3,8079 | 5,1777 |
| 180 | 357,1 | 1,8397 | 0,007489 | 1698,9 | 2374,3 | 1732,0 | 777,1 | 2509,1 | 3,8715 | 5,1044 |
| 190 | 361,5 | 1,9243 | 0,006657 | 1739,9 | 2338,1 | 1776,5 | 688,0 | 2464,5 | 3,9388 | 5,0228 |
| 200 | 365,8 | 2,036 | 0,005834 | 1785,6 | 2293,0 | 1826,3 | 583,4 | 2409,7 | 4,0139 | 4,9269 |
| 220,9 | 374,1 | 3,155 | 0,003155 | 2029,6 | 2029,6 | 2099,3 | 0 | 2099,3 | 4,4298 | 4,4298 |

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas

| Temp. °C | Presión bar | Volumen específico m ³ /kg | | Energía interna kJ/kg | | Entalpía kJ/kg | | | Entropía kJ/kg·K | |
|-------------|----------------|--|---------------|--------------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------------|---------------|
| | | Líquido sat, | Vapor sat, | Líquido sat, | Vapor sat, | Líquido sat, | Vapor vaporiz, | Vapor sat, | Líquido sat, | Vapor sat, |
| | | $v_f \times 10^3$ | v_g | u_f | u_g | h_f | h_{fg} | h_g | s_f | s_g |
| .01 | 0,00611 | 1,0002 | 206,136 | 0,00 | 2375,3 | 0,01 | 2501,3 | 2501,4 | 0,0000 | 9,1562 |
| 4 | 0,00813 | 1,0001 | 157,232 | 16,77 | 2380,9 | 16,78 | 2491,9 | 2508,7 | 0,0610 | 9,0514 |
| 5 | 0,00872 | 1,0001 | 147,120 | 20,97 | 2382,3 | 20,98 | 2489,6 | 2510,6 | 0,0761 | 9,0257 |
| 6 | 0,00935 | 1,0001 | 137,734 | 25,19 | 2383,6 | 25,20 | 2487,2 | 2512,4 | 0,0912 | 9,0003 |
| 8 | 0,01072 | 1,0002 | 120,917 | 33,59 | 2386,4 | 33,60 | 2482,5 | 2516,1 | 0,1212 | 8,9501 |
| 10 | 0,01228 | 1,0004 | 106,379 | 42,00 | 2389,2 | 42,01 | 2477,7 | 2519,8 | 0,1510 | 8,9008 |
| 11 | 0,01312 | 1,0004 | 99,857 | 46,20 | 2390,5 | 46,20 | 2475,4 | 2521,6 | 0,1658 | 8,8765 |
| 12 | 0,01402 | 1,0005 | 93,784 | 50,41 | 2391,9 | 50,41 | 2473,0 | 2523,4 | 0,1806 | 8,8524 |
| 13 | 0,01497 | 1,0007 | 88,124 | 54,60 | 2393,3 | 54,60 | 2470,7 | 2525,3 | 0,1953 | 8,8285 |
| 14 | 0,01598 | 1,0008 | 82,848 | 58,79 | 2394,7 | 58,80 | 2468,3 | 2527,1 | 0,2099 | 8,8048 |
| 15 | 0,01705 | 1,0009 | 77,926 | 62,99 | 2396,1 | 62,99 | 2465,9 | 2528,9 | 0,2245 | 8,7814 |
| 16 | 0,01818 | 1,0011 | 73,333 | 67,18 | 2397,4 | 67,19 | 2463,6 | 2530,8 | 0,2390 | 8,7582 |
| 17 | 0,01938 | 1,0012 | 69,044 | 71,38 | 2398,8 | 71,38 | 2461,2 | 2532,6 | 0,2535 | 8,7351 |
| 18 | 0,02064 | 1,0014 | 65,038 | 75,57 | 2400,2 | 75,58 | 2458,8 | 2534,4 | 0,2679 | 8,7123 |
| 19 | 0,02198 | 1,0016 | 61,293 | 79,76 | 2401,6 | 79,77 | 2456,5 | 2536,2 | 0,2823 | 8,6897 |
| 20 | 0,02339 | 1,0018 | 57,791 | 83,95 | 2402,9 | 83,96 | 2454,1 | 2538,1 | 0,2966 | 8,6672 |
| 21 | 0,02487 | 1,0020 | 54,514 | 88,14 | 2404,3 | 88,14 | 2451,8 | 2539,9 | 0,3109 | 8,6450 |
| 22 | 0,02645 | 1,0022 | 51,447 | 92,32 | 2405,7 | 92,33 | 2449,4 | 2541,7 | 0,3251 | 8,6229 |
| 23 | 0,02810 | 1,0024 | 48,574 | 96,51 | 2407,0 | 96,52 | 2447,0 | 2543,5 | 0,3393 | 8,6011 |
| 24 | 0,02985 | 1,0027 | 45,883 | 100,70 | 2408,4 | 100,70 | 2444,7 | 2545,4 | 0,3534 | 8,5794 |
| 25 | 0,03169 | 1,0029 | 43,360 | 104,88 | 2409,8 | 104,89 | 2442,3 | 2547,2 | 0,3674 | 8,5580 |
| 26 | 0,03363 | 1,0032 | 40,994 | 109,06 | 2411,1 | 109,07 | 2439,9 | 2549,0 | 0,3814 | 8,5367 |
| 27 | 0,03567 | 1,0035 | 38,774 | 113,25 | 2412,5 | 113,25 | 2437,6 | 2550,8 | 0,3954 | 8,5156 |
| 28 | 0,03782 | 1,0037 | 36,690 | 117,42 | 2413,9 | 117,43 | 2435,2 | 2552,6 | 0,4093 | 8,4946 |
| 29 | 0,04008 | 1,0040 | 34,733 | 121,60 | 2415,2 | 121,61 | 2432,8 | 2554,5 | 0,4231 | 8,4739 |
| 30 | 0,04246 | 1,0043 | 32,894 | 125,78 | 2416,6 | 125,79 | 2430,5 | 2556,3 | 0,4369 | 8,4533 |
| 31 | 0,04496 | 1,0046 | 31,165 | 129,96 | 2418,0 | 129,97 | 2428,1 | 2558,1 | 0,4507 | 8,4329 |
| 32 | 0,04759 | 1,0050 | 29,540 | 134,14 | 2419,3 | 134,15 | 2425,7 | 2559,9 | 0,4644 | 8,4127 |
| 33 | 0,05034 | 1,0053 | 28,011 | 138,32 | 2420,7 | 138,33 | 2423,4 | 2561,7 | 0,4781 | 8,3927 |
| 34 | 0,05324 | 1,0056 | 26,571 | 142,50 | 2422,0 | 142,50 | 2421,0 | 2563,5 | 0,4917 | 8,3728 |
| 35 | 0,05628 | 1,0060 | 25,216 | 146,67 | 2423,4 | 146,68 | 2418,6 | 2565,3 | 0,5053 | 8,3531 |
| 36 | 0,05947 | 1,0063 | 23,940 | 150,85 | 2424,7 | 150,86 | 2416,2 | 2567,1 | 0,5188 | 8,3336 |
| 38 | 0,06632 | 1,0071 | 21,602 | 159,20 | 2427,4 | 159,21 | 2411,5 | 2570,7 | 0,5458 | 8,2950 |
| 40 | 0,07384 | 1,0078 | 19,523 | 167,56 | 2430,1 | 167,57 | 2406,7 | 2574,3 | 0,5725 | 8,2570 |
| 45 | 0,09593 | 1,0099 | 15,258 | 188,44 | 2436,8 | 188,45 | 2394,8 | 2583,2 | 0,6387 | 8,1648 |
| 50 | 0,1235 | 1,0121 | 12,032 | 209,32 | 2443,5 | 209,33 | 2382,7 | 2592,1 | 0,7038 | 8,0763 |
| 55 | 0,1576 | 1,0146 | 9,568 | 230,21 | 2450,1 | 230,23 | 2370,7 | 2600,9 | 0,7679 | 7,9913 |
| 60 | 0,1994 | 1,0172 | 7,671 | 251,11 | 2456,6 | 251,13 | 2358,5 | 2609,6 | 0,8312 | 7,9096 |
| 65 | 0,2503 | 1,0199 | 6,197 | 272,02 | 2463,1 | 272,06 | 2346,2 | 2618,3 | 0,8935 | 7,8310 |
| 70 | 0,3119 | 1,0228 | 5,042 | 292,95 | 2469,6 | 292,98 | 2333,8 | 2626,8 | 0,9549 | 7,7553 |
| 75 | 0,3858 | 1,0259 | 4,131 | 313,90 | 2475,9 | 313,93 | 2321,4 | 2635,3 | 1,0155 | 7,6824 |
| 80 | 0,4739 | 1,0291 | 3,407 | 334,86 | 2482,2 | 334,91 | 2308,8 | 2643,7 | 1,0753 | 7,6122 |
| 85 | 0,5783 | 1,0325 | 2,828 | 355,84 | 2488,4 | 355,90 | 2296,0 | 2651,9 | 1,1343 | 7,5445 |
| 90 | 0,7014 | 1,0360 | 2,361 | 376,85 | 2494,5 | 376,92 | 2283,2 | 2660,1 | 1,1925 | 7,4791 |
| 95 | 0,8455 | 1,0397 | 1,982 | 397,88 | 2500,6 | 397,96 | 2270,2 | 2668,1 | 1,2500 | 7,4159 |
| 100 | 1,014 | 1,0435 | 1,673 | 418,94 | 2506,5 | 419,04 | 2257,0 | 2676,1 | 1,3069 | 7,3549 |
| 110 | 1,433 | 1,0516 | 1,210 | 461,14 | 2518,1 | 461,30 | 2230,2 | 2691,5 | 1,4185 | 7,2387 |
| 120 | 1,985 | 1,0603 | 0,8919 | 503,50 | 2529,3 | 503,71 | 2202,6 | 2706,3 | 1,5276 | 7,1296 |
| 130 | 2,701 | 1,0697 | 0,6685 | 546,02 | 2539,9 | 546,31 | 2174,2 | 2720,5 | 1,6344 | 7,0269 |
| 140 | 3,613 | 1,0797 | 0,5089 | 588,74 | 2550,0 | 589,13 | 2144,7 | 2733,9 | 1,7391 | 6,9299 |
| 150 | 4,758 | 1,0905 | 0,3928 | 631,68 | 2559,5 | 632,20 | 2114,3 | 2746,5 | 1,8418 | 6,8379 |
| 160 | 6,178 | 1,1020 | 0,3071 | 674,86 | 2568,4 | 675,55 | 2082,6 | 2758,1 | 1,9427 | 6,7502 |
| 170 | 7,917 | 1,1143 | 0,2428 | 718,33 | 2576,5 | 719,21 | 2049,5 | 2768,7 | 2,0419 | 6,6663 |
| 180 | 10,02 | 1,1274 | 0,1941 | 762,09 | 2583,7 | 763,22 | 2015,0 | 2778,2 | 2,1396 | 6,5857 |
| 190 | 12,54 | 1,1414 | 0,1565 | 806,19 | 2590,0 | 807,62 | 1978,8 | 2786,4 | 2,2359 | 6,5079 |
| 200 | 15,54 | 1,1565 | 0,1274 | 850,65 | 2595,3 | 852,45 | 1940,7 | 2793,2 | 2,3309 | 6,4323 |
| 210 | 19,06 | 1,1726 | 0,1044 | 895,53 | 2599,5 | 897,76 | 1900,7 | 2798,5 | 2,4248 | 6,3585 |
| 220 | 23,18 | 1,1900 | 0,08619 | 940,87 | 2602,4 | 943,62 | 1858,5 | 2802,1 | 2,5178 | 6,2861 |
| 230 | 27,95 | 1,2088 | 0,07158 | 986,74 | 2603,9 | 990,12 | 1813,8 | 2804,0 | 2,6099 | 6,2146 |
| 240 | 33,44 | 1,2291 | 0,05976 | 1033,2 | 2604,0 | 1037,3 | 1766,5 | 2803,8 | 2,7015 | 6,1437 |
| 250 | 39,73 | 1,2512 | 0,05013 | 1080,4 | 2602,4 | 1085,4 | 1716,2 | 2801,5 | 2,7927 | 6,0730 |
| 260 | 46,88 | 1,2755 | 0,04221 | 1128,4 | 2599,0 | 1134,4 | 1662,5 | 2796,6 | 2,8838 | 6,0019 |
| 270 | 54,99 | 1,3023 | 0,03564 | 1177,4 | 2593,7 | 1184,5 | 1605,2 | 2789,7 | 2,9751 | 5,9301 |
| 280 | 64,12 | 1,3321 | 0,03017 | 1227,5 | 2586,1 | 1236,0 | 1543,6 | 2779,6 | 3,0668 | 5,8571 |
| 290 | 74,36 | 1,3656 | 0,02557 | 1278,9 | 2576,0 | 1289,1 | 1477,1 | 2766,2 | 3,1594 | 5,7821 |
| 300 | 85,81 | 1,4036 | 0,02167 | 1332,0 | 2563,0 | 1344,0 | 1404,9 | 2749,0 | 3,2534 | 5,7045 |
| 320 | 112,7 | 1,4988 | 0,01549 | 1444,6 | 2525,5 | 1461,5 | 1238,6 | 2700,1 | 3,4480 | 5,5362 |
| 340 | 145,9 | 1,6379 | 0,01080 | 1570,3 | 2464,6 | 1594,2 | 1027,9 | 2622,0 | 3,6594 | 5,3357 |

| Temp, °C | Presión bar | Volumen específico m ³ /kg | | Energía interna kJ/kg | | Entalpia kJ/kg | | | Entropía kJ/kg, K | |
|-------------|----------------|--|----------|--------------------------|--------|-------------------|----------|----------|----------------------|--------|
| | | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | Vaporiz. | Líquido | Vapor |
| | | sat, | sat, | sat, | sat, | sat, | vaporiz, | sat, | sat, | sat, |
| | | $v_f \times 10^3$ | v_g | u_f | u_g | h_f | h_{fg} | h_g | s_f | s_g |
| 360 | 186,5 | 1,8925 | 0,006945 | 1725,2 | 2351,5 | 1760,5 | 720,5 | 2481,0 | 3,9147 | 5,0526 |
| 374,14 | 220,9 | 3,155 | 0,003155 | 2029,6 | 2029,6 | 2099,3 | 0 | 2099,3 | 4,4298 | 4,4298 |

Propiedades del agua, líquido sobrecalentado

| T °C | v m ³ /kg | u kJ/kg | h kJ/kg | s kJ/kg K |
|---------|-------------------------|------------|------------|--------------|
|---------|-------------------------|------------|------------|--------------|

| v m ³ /kg | u kJ/kg | h kJ/kg | s kJ/kg K |
|-------------------------|------------|------------|--------------|
|-------------------------|------------|------------|--------------|

| P = 0,06 bar = 0,006 MPa (T _{sat} = 36,16°C) | | | | |
|--|--------|--------|--------|---------|
| Sat, | 23,739 | 2425,0 | 2567,4 | 8,3304 |
| 80 | 27,132 | 2487,3 | 2650,1 | 8,5804 |
| 120 | 30,219 | 2544,7 | 2726,0 | 8,7840 |
| 160 | 33,302 | 2602,7 | 2802,5 | 8,9693 |
| 200 | 36,383 | 2661,4 | 2879,7 | 9,1398 |
| 240 | 39,462 | 2721,0 | 2957,8 | 9,2982 |
| 280 | 42,540 | 2781,5 | 3036,8 | 9,4464 |
| 320 | 45,618 | 2843,0 | 3116,7 | 9,5859 |
| 360 | 48,696 | 2905,5 | 3197,7 | 9,7180 |
| 400 | 51,774 | 2969,0 | 3279,6 | 9,8435 |
| 440 | 54,851 | 3033,5 | 3362,6 | 9,9633 |
| 500 | 59,467 | 3132,3 | 3489,1 | 10,1336 |

| p = 0,35 bar = 0,035 MPa (T _{sat} = 72,69°C) | | | |
|--|--------|--------|--------|
| 4,526 | 2473,0 | 2631,4 | 7,7158 |
| 4,625 | 2483,7 | 2645,6 | 7,7564 |
| 5,163 | 2542,4 | 2723,1 | 7,9644 |
| 5,696 | 2601,2 | 2800,6 | 8,1519 |
| 6,228 | 2660,4 | 2878,4 | 8,3237 |
| 6,758 | 2720,3 | 2956,8 | 8,4828 |
| 7,287 | 2780,9 | 3036,0 | 8,6314 |
| 7,815 | 2842,5 | 3116,1 | 8,7712 |
| 8,344 | 2905,1 | 3197,1 | 8,9034 |
| 8,872 | 2968,6 | 3279,2 | 9,0291 |
| 9,400 | 3033,2 | 3362,2 | 9,1490 |
| 10,192 | 3132,1 | 3488,8 | 9,3194 |

| p = 0,70 bar = 0,07 MPa (T _{sat} = 89,95°C) | | | | |
|---|-------|--------|--------|--------|
| Sat | 2,365 | 2494,5 | 2660,0 | 7,4797 |
| 100 | 2,434 | 2509,7 | 2680,0 | 7,5341 |
| 120 | 2,571 | 2539,7 | 2719,6 | 7,6375 |
| 160 | 2,841 | 2599,4 | 2798,2 | 7,8279 |
| 200 | 3,108 | 2659,1 | 2876,7 | 8,0012 |
| 240 | 3,374 | 2719,3 | 2955,5 | 8,1611 |
| 280 | 3,640 | 2780,2 | 3035,0 | 8,3162 |
| 320 | 3,905 | 2842,0 | 3115,3 | 8,4504 |
| 360 | 4,170 | 2904,6 | 3196,5 | 8,5828 |
| 400 | 4,434 | 2968,2 | 3278,6 | 8,7086 |
| 440 | 4,698 | 3032,9 | 3361,8 | 8,8286 |
| 500 | 5,095 | 3131,8 | 3488,5 | 8,9991 |

| p = 1,0 bar = 0,10 MPa (T _{sat} = 99,63°C) | | | |
|--|--------|--------|--------|
| 1,694 | 2506,1 | 2675,5 | 7,3594 |
| 1,696 | 2506,7 | 2676,2 | 7,3614 |
| 1,793 | 2537,3 | 2716,6 | 7,4668 |
| 1,984 | 2597,8 | 2796,2 | 7,6597 |
| 2,172 | 2658,1 | 2875,3 | 7,8343 |
| 2,359 | 2718,5 | 2954,5 | 7,9949 |
| 2,546 | 2779,6 | 3034,2 | 8,1445 |
| 2,732 | 2841,5 | 3114,6 | 8,2849 |
| 2,917 | 2904,2 | 3195,9 | 8,4175 |
| 3,103 | 2967,9 | 3278,2 | 8,5435 |
| 3,288 | 3032,6 | 3361,4 | 8,6636 |
| 3,565 | 3131,6 | 3488,1 | 8,8342 |

| p = 1,5 bar = 0,15 MPa (T _{sat} = 111,37°C) | | | | |
|---|-------|--------|--------|--------|
| Sat, | 1,159 | 2519,7 | 2693,6 | 7,2233 |
| 120 | 1,188 | 2533,3 | 2711,4 | 7,2693 |
| 160 | 1,317 | 2595,2 | 2792,8 | 7,4665 |
| 200 | 1,444 | 2656,2 | 2872,9 | 7,6433 |
| 240 | 1,570 | 2717,2 | 2952,7 | 7,8052 |
| 280 | 1,695 | 2778,6 | 3032,8 | 7,9555 |
| 320 | 1,819 | 2840,6 | 3113,5 | 8,0964 |
| 360 | 1,943 | 2903,5 | 3195,0 | 8,2293 |
| 400 | 2,067 | 2967,3 | 3277,4 | 8,3555 |
| 440 | 2,191 | 3032,1 | 3360,7 | 8,4757 |
| 500 | 2,376 | 3131,2 | 3487,6 | 8,6466 |
| 600 | 2,685 | 3301,7 | 3704,3 | 8,9101 |

| p = 3,0 bar = 0,30 MPa (T _{sat} = 133,55°C) | | | |
|---|--------|--------|--------|
| 0,606 | 2543,6 | 2725,3 | 6,9919 |
| 0,651 | 2587,1 | 2782,3 | 7,1276 |
| 0,716 | 2650,7 | 2865,5 | 7,3115 |
| 0,781 | 2713,1 | 2947,3 | 7,4774 |
| 0,844 | 2775,4 | 3028,6 | 7,6299 |
| 0,907 | 2838,1 | 3110,1 | 7,7722 |
| 0,969 | 2901,4 | 3192,2 | 7,9061 |
| 1,032 | 2965,6 | 3275,0 | 8,0330 |
| 1,094 | 3030,6 | 3358,7 | 8,1538 |
| 1,187 | 3130,0 | 3486,0 | 8,3251 |
| 1,341 | 3300,8 | 3703,2 | 8,5892 |

| P = 5,0 bar = 0,50 MPa (T _{sat} = 151,86°C) | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Sat | 0,3749 | 2561,2 | 2748,7 | 6,8213 |
| 180 | 0,4045 | 2609,7 | 2812,0 | 6,9656 |
| 200 | 0,4249 | 2642,9 | 2855,4 | 7,0592 |
| 240 | 0,4646 | 2707,6 | 2939,9 | 7,2307 |
| 280 | 0,5034 | 2771,2 | 3022,9 | 7,3865 |
| 320 | 0,5416 | 2834,7 | 3105,6 | 7,5308 |
| 360 | 0,5796 | 2898,7 | 3188,4 | 7,6660 |
| 400 | 0,6173 | 2963,2 | 3271,9 | 7,7938 |
| 440 | 0,6548 | 3028,6 | 3356,0 | 7,9152 |
| 500 | 0,7109 | 3128,4 | 3483,9 | 8,0873 |
| 600 | 0,8041 | 3299,6 | 3701,7 | 8,3522 |
| 700 | 0,8969 | 3477,5 | 3925,9 | 8,5952 |

| p = 7,0 bar = 0,70 MPa (T _{sat} = 164,97°C) | | | |
|---|--------|--------|--------|
| 0,2729 | 2572,S | 2763,S | 6,7080 |
| 0,2847 | 2599,8 | 2799,1 | 6,7880 |
| 0,2999 | 2634,8 | 2844,8 | 6,8865 |
| 0,3292 | 2701,8 | 2932,2 | 7,0641 |
| 0,3574 | 2766,9 | 3017,1 | 7,2233 |
| 0,3852 | 2831,3 | 3100,9 | 7,3697 |
| 0,4126 | 2895,8 | 3184,7 | 7,5063 |
| 0,4397 | 2960,9 | 3268,7 | 7,6350 |
| 0,4667 | 3026,6 | 3353,3 | 7,7571 |
| 0,5070 | 3126,8 | 3481,7 | 7,9299 |
| 0,5738 | 3298,5 | 3700,2 | 8,1956 |
| 0,6403 | 3476,6 | 3924,8 | 8,4391 |

| T | v | u | h | s |
|----|--------------------|-------|-------|---------|
| °C | m ³ /kg | kJ/kg | kJ/kg | kJ/kg K |

| v | u | h | s |
|--------------------|-------|-------|---------|
| m ³ /kg | kJ/kg | kJ/kg | kJ/kg K |

| $\rho = 10,0 \text{ bar} = 1,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 179,91 \text{ }^\circ\text{C}$) | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Sat | 0,1944 | 2583,6 | 2778,1 | 6,5865 |
| 200 | 0,2060 | 2621,9 | 2827,9 | 6,6940 |
| 240 | 0,2275 | 2692,9 | 2920,4 | 6,8817 |
| 280 | 0,2480 | 2760,2 | 3008,2 | 7,0465 |
| 320 | 0,2678 | 2826,1 | 3093,9 | 7,1962 |
| 360 | 0,2873 | 2891,6 | 3178,9 | 7,3349 |
| 400 | 0,3066 | 2957,3 | 3263,9 | 7,4651 |
| 440 | 0,3257 | 3023,6 | 3349,3 | 7,5883 |
| 500 | 0,3541 | 3124,4 | 3478,5 | 7,7622 |
| 540 | 0,3729 | 3192,6 | 3565,6 | 7,8720 |
| 600 | 0,4011 | 3296,8 | 3697,9 | 8,0290 |
| 640 | 0,4198 | 3367,4 | 3787,2 | 8,1290 |

| $\rho = 15,0 \text{ bar} = 1,5 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 198,32 \text{ }^\circ\text{C}$) | | | |
|---|--------|--------|--------|
| 0,1318 | 2594,5 | 2792,2 | 6,4448 |
| 0,1325 | 2598,1 | 2796,8 | 6,4546 |
| 0,1483 | 2676,9 | 2899,3 | 6,6628 |
| 0,1627 | 2748,6 | 2992,7 | 6,8381 |
| 0,1765 | 2817,1 | 3081,9 | 6,9938 |
| 0,1899 | 2884,4 | 3169,2 | 7,1363 |
| 0,2030 | 2951,3 | 3255,8 | 7,2690 |
| 0,2160 | 3018,5 | 3342,5 | 7,3940 |
| 0,2352 | 3120,3 | 3473,1 | 7,5698 |
| 0,2478 | 3189,1 | 3560,9 | 7,6805 |
| 0,2668 | 3293,9 | 3694,0 | 7,8385 |
| 0,2793 | 3364,8 | 3783,8 | 7,9391 |

| $\rho = 20,0 \text{ bar} = 2,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 212,42 \text{ }^\circ\text{C}$) | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Sat | 0,0996 | 2600,3 | 2799,5 | 6,3409 |
| 240 | 0,1085 | 2659,6 | 2876,5 | 6,4952 |
| 280 | 0,1200 | 2736,4 | 2976,4 | 6,6828 |
| 320 | 0,1308 | 2807,9 | 3069,5 | 6,8452 |
| 360 | 0,1411 | 2877,0 | 3159,3 | 6,9917 |
| 400 | 0,1512 | 2945,2 | 3247,6 | 7,1271 |
| 440 | 0,1611 | 3013,4 | 3335,5 | 7,2540 |
| 500 | 0,1757 | 3116,2 | 3467,6 | 7,4317 |
| 540 | 0,1853 | 3185,6 | 3556,1 | 7,5434 |
| 600 | 0,1996 | 3290,9 | 3690,1 | 7,7024 |
| 640 | 0,2091 | 3362,2 | 3780,4 | 7,8035 |
| 700 | 0,2232 | 3470,9 | 3917,4 | 7,9487 |

| $\rho = 30,0 \text{ bar} = 3,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 233,90 \text{ }^\circ\text{C}$) | | | |
|---|--------|--------|--------|
| 0,0667 | 2604,1 | 2804,2 | 6,1869 |
| 0,0682 | 2619,7 | 2824,3 | 6,2265 |
| 0,0771 | 2709,9 | 2941,3 | 6,4462 |
| 0,0850 | 2788,4 | 3043,4 | 6,6245 |
| 0,0923 | 2861,7 | 3138,7 | 6,7801 |
| 0,0994 | 2932,8 | 3230,9 | 6,9212 |
| 0,1062 | 3002,9 | 3321,5 | 7,0520 |
| 0,1162 | 3108,0 | 3456,5 | 7,2338 |
| 0,1227 | 3178,4 | 3546,6 | 7,3474 |
| 0,1324 | 3285,0 | 3682,3 | 7,5085 |
| 0,1388 | 3357,0 | 3773,5 | 7,6106 |
| 0,1484 | 3466,5 | 3911,7 | 7,7571 |

| $\rho = 40 \text{ bar} = 4,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 250,4 \text{ }^\circ\text{C}$) | | | | |
|--|---------|--------|--------|--------|
| Sat | 0,04978 | 2602,3 | 2801,4 | 6,0701 |
| 280 | 0,05546 | 2680,0 | 2901,8 | 6,2568 |
| 320 | 0,06199 | 2767,4 | 3015,4 | 6,4553 |
| 360 | 0,06788 | 2845,7 | 3117,2 | 6,6215 |
| 400 | 0,07341 | 2919,9 | 3213,6 | 6,7690 |
| 440 | 0,07872 | 2992,2 | 3307,1 | 6,9041 |
| 500 | 0,08643 | 3099,5 | 3445,3 | 7,0901 |
| 540 | 0,09145 | 3171,1 | 3536,9 | 7,2056 |
| 600 | 0,09885 | 3279,1 | 3674,4 | 7,3688 |
| 640 | 0,1037 | 3351,8 | 3766,6 | 7,4720 |
| 700 | 0,1110 | 3462,1 | 3905,9 | 7,6198 |
| 740 | 0,1157 | 3536,6 | 3999,6 | 7,7141 |

| $\rho = 60 \text{ bar} = 6,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 257,64 \text{ }^\circ\text{C}$) | | | |
|---|--------|--------|--------|
| 0,03244 | 2589,7 | 2784,3 | 5,8892 |
| 0,03317 | 2605,2 | 2804,2 | 5,9252 |
| 0,03876 | 2720,0 | 2952,6 | 6,1846 |
| 0,04331 | 2811,2 | 3071,1 | 6,3782 |
| 0,04739 | 2892,9 | 3177,2 | 6,5408 |
| 0,05122 | 2970,0 | 3277,3 | 6,6853 |
| 0,05665 | 3082,2 | 3422,2 | 6,8803 |
| 0,06015 | 3156,1 | 3517,0 | 6,9999 |
| 0,06525 | 3266,9 | 3658,4 | 7,1677 |
| 0,06859 | 3341,0 | 3752,6 | 7,2731 |
| 0,07352 | 3453,1 | 3894,1 | 7,4234 |
| 0,07677 | 3528,3 | 3989,2 | 7,5190 |

| $\rho = 80 \text{ bar} = 8,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 295,06 \text{ }^\circ\text{C}$) | | | | |
|---|---------|--------|--------|--------|
| Sat | 0,02352 | 2569,8 | 2758,0 | 5,7432 |
| 320 | 0,02682 | 2662,7 | 2877,2 | 5,9489 |
| 360 | 0,03089 | 2772,7 | 3019,8 | 6,1819 |
| 400 | 0,03432 | 2863,8 | 3138,3 | 6,3634 |
| 440 | 0,03742 | 2946,7 | 3246,1 | 6,5190 |
| 480 | 0,04034 | 3025,7 | 3348,4 | 6,6586 |
| 520 | 0,04313 | 3102,7 | 3447,7 | 6,7871 |
| 560 | 0,04582 | 3178,7 | 3545,3 | 6,9072 |
| 600 | 0,04845 | 3254,4 | 3642,0 | 7,0206 |
| 640 | 0,05102 | 3330,1 | 3738,3 | 7,1283 |
| 700 | 0,05481 | 3443,9 | 3882,4 | 7,2812 |
| 740 | 0,05729 | 3520,4 | 3978,7 | 7,3782 |

| $\rho = 100 \text{ bar} = 10,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 311,06 \text{ }^\circ\text{C}$) | | | |
|---|--------|--------|--------|
| 0,01803 | 2544,4 | 2724,7 | 5,6141 |
| 0,01925 | 2588,8 | 2781,3 | 5,7103 |
| 0,02331 | 2729,1 | 2962,1 | 6,0060 |
| 0,02641 | 2832,4 | 3096,5 | 6,2120 |
| 0,02911 | 2922,1 | 3213,2 | 6,3805 |
| 0,03160 | 3005,4 | 3321,4 | 6,5282 |
| 0,03394 | 3085,6 | 3425,1 | 6,6622 |
| 0,03619 | 3164,1 | 3526,0 | 6,7864 |
| 0,03837 | 3241,7 | 3625,3 | 6,9029 |
| 0,04048 | 3318,9 | 3723,7 | 7,0131 |
| 0,04358 | 3434,7 | 3870,5 | 7,1687 |
| 0,04560 | 3512,1 | 3968,1 | 7,2670 |

| $\rho = 120 \text{ bar} = 12,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 324,75 \text{ }^\circ\text{C}$) | | | | |
|---|---------|--------|--------|--------|
| Sat | 0,01426 | 2513,7 | 2684,9 | 5,4924 |
| 360 | 0,01811 | 2678,4 | 2895,7 | 5,8361 |
| 400 | 0,02108 | 2798,3 | 3051,3 | 6,0747 |
| 440 | 0,02355 | 2896,1 | 3178,7 | 6,2586 |
| 480 | 0,02576 | 2984,4 | 3293,5 | 6,4154 |
| 520 | 0,02781 | 3068,0 | 3401,8 | 6,5555 |
| 560 | 0,02977 | 3149,0 | 3506,2 | 6,6840 |
| 600 | 0,03164 | 3228,7 | 3608,3 | 6,8037 |
| 640 | 0,03345 | 3307,5 | 3709,0 | 6,9164 |
| 700 | 0,03610 | 3425,2 | 3858,4 | 7,0749 |
| 740 | 0,03781 | 3503,7 | 3957,4 | 7,1746 |

| $\rho = 140 \text{ bar} = 14,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 336,75 \text{ }^\circ\text{C}$) | | | |
|---|--------|--------|--------|
| 0,01149 | 2476,8 | 2637,6 | 5,3717 |
| 0,01422 | 2617,4 | 2816,5 | 5,6602 |
| 0,01722 | 2760,9 | 3001,9 | 5,9448 |
| 0,01954 | 2868,6 | 3142,2 | 6,1474 |
| 0,02157 | 2962,5 | 3264,5 | 6,3143 |
| 0,02343 | 3049,8 | 3377,8 | 6,4610 |
| 0,02517 | 3133,6 | 3486,0 | 6,5941 |
| 0,02683 | 3215,4 | 3591,1 | 6,7172 |
| 0,02843 | 3296,0 | 3694,1 | 6,8326 |
| 0,03075 | 3415,7 | 3846,2 | 6,9939 |
| 0,03225 | 3495,2 | 3946,7 | 7,0952 |

| T | v | u | h | s |
|--------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| $^{\circ}\text{C}$ | m^3/kg | kJ/kg | kJ/kg | $\text{kJ}/\text{kg K}$ |

| $P = 160 \text{ bar} = 16,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 347,44^{\circ}\text{C}$) | | | | |
|---|---------|--------|--------|--------|
| Sat | 0,00931 | 2431,7 | 2580,6 | 5,2455 |
| 360 | 0,01105 | 2539,0 | 2715,8 | 5,4614 |
| 400 | 0,01426 | 2719,4 | 2947,6 | 5,8175 |
| 440 | 0,01652 | 2839,4 | 3103,7 | 6,0429 |
| 480 | 0,01842 | 2939,7 | 3234,4 | 6,2215 |
| 520 | 0,02013 | 3031,1 | 3353,3 | 6,3752 |
| 560 | 0,02172 | 3117,8 | 3465,4 | 6,5132 |
| 600 | 0,02323 | 3201,8 | 3573,5 | 6,6399 |
| 640 | 0,02467 | 3284,2 | 3678,9 | 6,7580 |
| 700 | 0,02674 | 3406,0 | 3833,9 | 6,9224 |
| 740 | 0,02808 | 3486,7 | 3935,9 | 7,0251 |

| $\rho = 200 \text{ bar} = 20,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 365,81^{\circ}\text{C}$) | | | | |
|--|---------|--------|--------|--------|
| Sato | 0,00583 | 2293,0 | 2409,7 | 4,9269 |
| 400 | 0,00994 | 2619,3 | 2818,1 | 5,5540 |
| 440 | 0,01222 | 2774,9 | 3019,4 | 5,8450 |
| 480 | 0,01399 | 2891,2 | 3170,8 | 6,0518 |
| 520 | 0,01551 | 2992,0 | 3302,2 | 6,2218 |
| 560 | 0,01689 | 3085,2 | 3423,0 | 6,3705 |
| 600 | 0,01818 | 3174,0 | 3537,6 | 6,5048 |
| 640 | 0,01940 | 3260,2 | 3648,1 | 6,6286 |
| 700 | 0,02113 | 3386,4 | 3809,0 | 6,7993 |
| 740 | 0,02224 | 3469,3 | 3914,1 | 6,9052 |

| $\rho = 280 \text{ bar} = 28,0 \text{ MPa}$ | | | | |
|---|---------|--------|--------|--------|
| 400 | 0,00383 | 2223,5 | 2330,7 | 4,7494 |
| 440 | 0,00712 | 2613,2 | 2812,6 | 5,4494 |
| 480 | 0,00885 | 2780,8 | 3028,5 | 5,7446 |
| 520 | 0,01020 | 2906,8 | 3192,3 | 5,9566 |
| 560 | 0,01136 | 3015,7 | 3333,7 | 6,1307 |
| 600 | 0,01241 | 3115,6 | 3463,0 | 6,2823 |
| 640 | 0,01338 | 3210,3 | 3584,8 | 6,4187 |
| 700 | 0,01473 | 3346,1 | 3758,4 | 6,6029 |
| 740 | 0,01558 | 3433,9 | 3870,0 | 6,7153 |
| 800 | 0,01680 | 3563,1 | 4033,4 | 6,8720 |
| 900 | 0,01873 | 3774,3 | 4298,8 | 7,1084 |

| v | u | h | s |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| m^3/kg | kJ/kg | kJ/kg | $\text{kJ}/\text{kg K}$ |

| $\rho = 180 \text{ bar} = 18,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 357,06^{\circ}\text{C}$) | | | |
|--|--------|--------|--------|
| 0,00749 | 2374,3 | 2509,1 | 5,1044 |
| 0,00809 | 2418,9 | 2564,5 | 5,1922 |
| 0,01190 | 2672,8 | 2887,0 | 5,6887 |
| 0,01414 | 2808,2 | 3062,8 | 5,9428 |
| 0,01596 | 2915,9 | 3203,2 | 6,1345 |
| 0,01757 | 3011,8 | 3378,0 | 6,2960 |
| 0,01904 | 3101,7 | 3444,4 | 6,4392 |
| 0,02042 | 3188,0 | 3555,6 | 6,5696 |
| 0,02174 | 3272,3 | 3663,6 | 6,6905 |
| 0,02362 | 3396,3 | 3821,5 | 6,8580 |
| 0,02483 | 3478,0 | 3925,0 | 6,9623 |

| $\rho = 240 \text{ bar} = 24,0 \text{ MPa}$ | | | |
|---|--------|--------|--------|
| 0,00673 | 2477,8 | 2639,4 | 5,2393 |
| 0,00929 | 2700,6 | 2923,4 | 5,6506 |
| 0,01100 | 2838,3 | 3102,3 | 5,8950 |
| 0,01241 | 2950,5 | 3248,5 | 6,0842 |
| 0,01366 | 3051,1 | 3379,0 | 6,2448 |
| 0,01481 | 3145,2 | 3500,7 | 6,3875 |
| 0,01588 | 3235,5 | 3616,7 | 6,5174 |
| 0,01739 | 3366,4 | 3783,8 | 6,6947 |
| 0,01835 | 3451,7 | 3892,1 | 6,8038 |

| $\rho = 320 \text{ bar} = 32,0 \text{ MPa}$ | | | |
|---|--------|--------|--------|
| 0,00236 | 1980,4 | 2055,9 | 4,3239 |
| 0,00544 | 2509,0 | 2683,0 | 5,2327 |
| 0,00722 | 2718,1 | 2949,2 | 5,5968 |
| 0,00853 | 2860,7 | 3133,7 | 5,8357 |
| 0,00963 | 2979,0 | 3287,2 | 6,0246 |
| 0,01061 | 3085,3 | 3424,6 | 6,1858 |
| 0,01150 | 3184,5 | 3552,5 | 6,3290 |
| 0,01273 | 3325,4 | 3732,8 | 6,5203 |
| 0,01350 | 3415,9 | 3847,8 | 6,6361 |
| 0,01460 | 3548,0 | 4015,1 | 6,7966 |
| 0,01633 | 3762,7 | 4285,1 | 7,0372 |

Propiedades del agua, líquido subenfriado

| $P = 25 \text{ bar} = 2,5 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 233,99^{\circ}\text{C}$) | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| 20 | 1,0006 | 83,80 | 86,30 | ,2961 |
| 40 | 1,0067 | 167,25 | 169,77 | ,5715 |
| 80 | 1,0280 | 334,29 | 336,86 | 1,0737 |
| 100 | 1,0423 | 418,24 | 420,85 | 1,3050 |
| 140 | 1,0784 | 587,82 | 590,52 | 1,7369 |
| 180 | 1,1261 | 761,16 | 763,97 | 2,1375 |
| 200 | 1,1555 | 849,9 | 852,8 | 2,3294 |
| 220 | 1,1898 | 940,7 | 943,7 | 2,5174 |
| Sat | 1,1973 | 959,1 | 962,1 | 2,5546 |

| $\rho = 50 \text{ bar} = 5,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 263,99^{\circ}\text{C}$) | | | |
|--|--------|--------|--------|
| ,9995 | 83,65 | 88,65 | ,2956 |
| 1,0056 | 166,95 | 171,97 | ,5705 |
| 1,0268 | 333,72 | 338,85 | 1,0720 |
| 1,0410 | 417,52 | 422,72 | 1,3030 |
| 1,0768 | 586,76 | 592,15 | 1,7343 |
| 1,1240 | 759,63 | 765,25 | 2,1341 |
| 1,1530 | 848,1 | 853,9 | 2,3255 |
| 1,1866 | 938,4 | 944,4 | 2,5128 |
| 1,2859 | 1147,8 | 1154,2 | 2,9202 |

| $\rho = 75 \text{ bar} = 7,5 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 290,59^{\circ}\text{C}$) | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|
| 20 | ,9984 | 83,50 | 90,99 | ,2950 |
| 40 | 1,0045 | 166,64 | 174,18 | ,5696 |
| 80 | 1,0256 | 333,15 | 340,84 | 1,0704 |
| 100 | 1,0397 | 416,81 | 424,62 | 1,3011 |
| 140 | 1,0752 | 585,72 | 593,78 | 1,7317 |
| 180 | 1,1219 | 758,13 | 766,55 | 2,1308 |
| 220 | 1,1835 | 936,2 | 945,1 | 2,5083 |
| 260 | 1,2696 | 1124,4 | 1134,0 | 2,8763 |
| Sato | 1,3677 | 1282,0 | 1292,2 | 3,1649 |

| $\rho = 100 \text{ bar} = 10,0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 311,06^{\circ}\text{C}$) | | | |
|--|--------|--------|--------|
| ,9972 | 83,36 | 93,33 | ,2945 |
| 1,0034 | 166,35 | 176,38 | ,5686 |
| 1,0245 | 332,59 | 342,83 | 1,0688 |
| 1,0385 | 416,12 | 426,50 | 1,2992 |
| 1,0737 | 584,68 | 595,42 | 1,7292 |
| 1,1199 | 756,65 | 767,84 | 2,1275 |
| 1,1805 | 934,1 | 945,9 | 2,5039 |
| 1,2645 | 1121,1 | 1133,7 | 2,8699 |
| 1,4524 | 1393,0 | 1407,6 | 3,3596 |