

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



“ALTERNATIVAS Y SELECCION DE EQUIPO DE PROCESO PARA UNA PLANTA DE COGENERACION DE ENERGIA”

TRABAJO ESCRITO VIA CURSOS
DE EDUCACION CONTINUA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
OCTAVIO FLORES DURAN

MEXICO, D. F.

2002



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

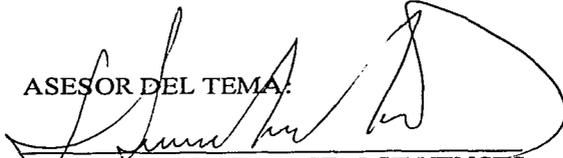
PRESIDENTE: LEÓN C. CORONADO MENDOZA
VOCAL: HUGO NORBERTO CICERI SILVENSES
SECRETARIO: JOSÉ FERNANDO BARRAGÁN AROCHE
1ER SUP. NAPOLEÓN SERNA SOLÍS
2DO SUP. SARA EL VIA MEZA GALINDO

SITIO DE DESARROLLO DEL TEMA:
EDUCACIÓN CONTÍNUA. SEDE CU. EDIFICIO D.
FACULTAD DE QUÍMICA.

SUSTENTANTE:


OCTAVIO FLORES DURÁN:

ASESOR DEL TEMA:


HUGO NORBERTO CICERI SILVENSES

A DIOS

Gracias por darme la vida y sus abundantes bendiciones.

A MI MADRE

Por todo su apoyo y esfuerzo, con todo mi cariño y admiración.

A MIS AMIGOS

Que me han apoyado desinteresadamente para lograr mis metas.

A LA UNIVERSIDAD

Por su gran aportación en mi formación y conocimientos.

Indice:

| | |
|--|----|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 2. Alternativas y selección de equipo..... | 2 |
| Panorama internacional..... | 2 |
| Panorama Nacional..... | 4 |
| Sistemas de generación de energía..... | 5 |
| Desarrollo de nuevas tecnologías..... | 7 |
| Calderas..... | 8 |
| Turbinas de vapor..... | 12 |
| Turbinas de gas..... | 13 |
| Generadores..... | 14 |
| Bombas de alimentación a calderas..... | 15 |
| Equipos paquete..... | 17 |
| 3. Discusión..... | 18 |
| 4. Conclusiones..... | 20 |
| 5. Bibliografía..... | 22 |

1.- Introducción.

El objetivo de este trabajo es dar a conocer el proceso de la cogeneración de electricidad y presentar algunas alternativas para ahorrar energía en instalaciones industriales, así cómo tener un mejor aprovechamiento a partir de los efluentes.

La cogeneración se define como la producción secuencial de energía eléctrica, mecánica y térmica aprovechable en los procesos industriales a partir de una misma fuente de energía primaria.

La cogeneración es un proceso en el cual se genera tanto energía eléctrica como energía térmica, empleando vapor de una misma fuente.

El hombre ha dedicado grandes esfuerzos para obtener energía y adecuarla para su uso final en los centros consumidores. El principal problema energético es la capacidad tecnológica para convertir una forma de energía en otra. Las formas de energía más deseadas, que son las más fáciles de usar, son escasas como es el caso de la energía eléctrica. El hombre ha tenido que obtener estas formas de energía muy utilizadas a partir de otras más formas que son menos útiles.

En el proceso de generación de energía parte de la energía primaria, tal como se encuentra en la naturaleza, es convertida en forma secundaria, acorde a las necesidades del usuario. La energía sufre una conversión cuantitativa y cualitativa en este proceso.

El proceso energético, en el cual la energía primaria se transforma hasta su utilización en una aplicación, está sujeta a los principios de termodinámica. La energía útil que llega a la aplicación es menor que la extraída de la naturaleza. El propósito de la cogeneración es obtener el máximo de energía útil a partir de una fuente primaria.

La cogeneración es una alternativa como método de conservación de energía para la industria, acorde con las políticas de globalización económica.

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 se logra una conversión a electricidad menor del 40 % de la energía disponible, descargando el resto a la atmósfera mediante los gases producto de la combustión y en los sistemas de condensación y enfriamiento del ciclo termodinámico. La cantidad de calor que se desecha a la atmósfera, pese a ser de gran

magnitud, es de baja temperatura y de baja capacidad para realizar un trabajo útil dentro de las plantas generadoras.(Ver lámina 1)

La mayoría de los procesos industriales requieren de vapor y calor a baja temperatura. La cogeneración busca aprovechar el calor de desecho para otros procesos industriales.

El consumo mundial de electricidad tendrá un incremento promedio anual de 2.7 por ciento en el intervalo de 1999 a 2020. El mayor incremento en el consumo de electricidad se pronostica para los países en desarrollo, principalmente en el lejano oriente.

De forma similar, se esperan tasas elevadas de crecimiento económico en Latinoamérica y una mejora en niveles de bienestar, que se traducen en un mayor consumo de electricidad para hogares, comercios e industria. La tasa de crecimiento en el consumo de electricidad en Latinoamérica es de un 3.9 % en el intervalo de 1999 a 2020.

Para el mundo industrializado, se espera un modesto crecimiento en el consumo de un 1.9 % anual para el intervalo de 1999 a 2020, bastante menor al que se tuvo en el pasado. Esto se debe a que se reducirá el crecimiento en población y la actividad económica, así como de una mayor eficiencia de consumo en los electrodomésticos.

Existen dos importantes modificaciones en el sector eléctrico que afectarán el desarrollo de la industria eléctrica en el futuro: 1) Una mayor participación de la inversión extranjera directa en países en desarrollo y 2) Implementación de una reforma eléctrica.

2.- Alternativas y selección de equipo

Panorama internacional.

Para la generación de electricidad se utilizan diferentes fuentes de energía, dependiendo de los recursos y condiciones geográficas de cada nación.

Las fuentes de energía utilizadas para generar electricidad han cambiado significativamente en los últimos 30 años. El carbón se mantiene como la fuente de energía más usada en este periodo. La energía nuclear tuvo un incremento en la década de los setentas, pero declinó su uso a mediados de los ochentas. La generación por gas natural ha tenido un incremento rápido en los últimos 20 años.

Se pronostica un incremento espectacular en el uso de gas natural en la generación de electricidad a nivel mundial. El carbón seguirá teniendo la mayor participación como

fuelle de energía, a pesar de registrarse una disminución en su uso. Por otro lado, habrá una reducción en la generación por energía nuclear, cumpliéndose el tiempo de vida útil de muchas plantas y habiendo pocos proyectos de construcción de nuevas plantas nucleares. Se tendrá un incremento en el número de plantas hidroeléctricas así como de otras fuentes alternativas como la energía eólica y por energía solar.

En el futuro, la generación de electricidad por gas natural será la que tendrá un mayor incremento. Esta tendencia se dará a nivel mundial. En los países industrializados utilizan turbinas de gas de ciclo combinado, las cuales serán mas económicas en su fabricación, así como más eficientes para su operación que otras tecnologías. Una gran ventaja del gas natural es que se trata de un combustible limpio. Se pronostica que el consumo de gas natural se duplicará en un periodo de 20 años. Actualmente se cuentan con amplias reservas de gas natural en el mundo. Se ha desarrollado intensamente la tecnología aplicada a la generación de electricidad por gas natural.

En el caso particular de Latinoamérica, donde se depende en gran medida de la hidroelectricidad, se pretende usar en mayor escala el gas natural, debido a que en época de sequías se enfrenta a apagones y racionamiento del fluido eléctrico.

También se espera un incremento en la generación de electricidad por gas natural tanto en Norteamérica como en Europa occidental, esto viene acompañado de una reducción en el uso de la energía nuclear. También se espera que la electricidad generada por gas natural sea el doble en Europa para los próximos 20 años.

A pesar de que el carbón es un combustible barato para la producción de electricidad, el gas natural tiene más bondades en el aspecto ambiental. En el futuro se espera que el gas natural sea más competitivo en precio, teniendo una mayor participación en el mercado. Se espera una reducción de la participación del carbón como fuente de energía en otras regiones del mundo. Por muchos años, existió un importante subsidio estatal para la extracción de carbón en Europa occidental y oriental. Actualmente ha disminuido la dependencia del carbón como fuente de energía, conforme se ha reducido el subsidio por parte del estado en esta región.

El empleo de la energía nuclear en el mundo está a la baja debido a aspectos de seguridad, problemas de eliminación de desechos, tratamiento de aguas y motivos económicos. En Latinoamérica la generación de electricidad por energía nuclear es

insignificante. Al contrario de lo que ocurre en el resto del mundo, se espera un crecimiento del empleo de la energía nuclear en los países del lejano oriente.

El uso de petróleo como fuente de energía tiende a la baja desde la crisis energética de los años setentas. La mayoría de las naciones redujeron el uso de petróleo para generación de electricidad, tanto por consideraciones ambientales como por cuestiones de seguridad nacional.

Panorama Nacional

En México la generación de electricidad está controlada totalmente por el estado a través de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

La generación de energía eléctrica se realiza por medio de las tecnologías disponibles en la actualidad.

Al cierre del mes de diciembre de 2001 la CFE contaba con una capacidad efectiva de 38,186.44 MW como a continuación se indica:

Tabla 1

CAPACIDAD EFECTIVA INSTALADA DE GENERACIÓN ⁽⁶⁾

| TIPO | CAPACIDAD(MW) | PORCENTAJE |
|--------------------|---------------|------------|
| Hidroeléctricas | 9,389.82 | 24.59 |
| Termoeléctricas | 23,991.66 | 62.83 |
| Carboeléctrica | 2,600.00 | 6.81 |
| Geotermoeléctricas | 837.90 | 2.19 |
| Nucleoeléctricas | 1,364.88 | 3.57 |
| Eoleoeléctricas | 2.18 | 0.01 |

Tabla 2

GENERACIÓN POR FUENTE ⁽⁶⁾

| TIPO | PORCENTAJE |
|---------------|------------|
| Hidráulica | 14.27 |
| Hidrocarburos | 68.87 |
| Carbón | 9.52 |
| Geotermia | 2.86 |
| Nuclear | 4.48 |
| Eólica | 0.003 |

A través de los años, ha aumentado la generación para atender todas las necesidades de energía eléctrica, siendo éste el objetivo fundamental de la CFE.

Tabla 3
VENTAS AL PÚBLICO POR SECTOR ⁽⁶⁾

| SECTOR | PORCENTAJE |
|------------|------------|
| Industrial | 59.37 |
| Doméstico | 24.98 |
| Servicios | 3.20 |
| Agrícola | 5.78 |
| Comercial | 6.67 |

Las ventas totales de electricidad en México fueron de 157,204 GW-h. Los principales estados consumidores son: el Estado de México con 15,009 GW-h, Nuevo León con 13,978 GW-h, Distrito Federal con 13,639 GW-h, Veracruz con 8,798 GW-h y Coahuila con 8,698 GW-h.

La mayoría de la electricidad generada en México es a partir de plantas termoeléctricas, utilizando como principal fuente de energía, los combustibles fósiles, dado que se cuenta con una significativa producción de petróleo. Sin embargo, la tendencia será construir en el futuro mayor número plantas generadoras de electricidad a partir de gas natural.

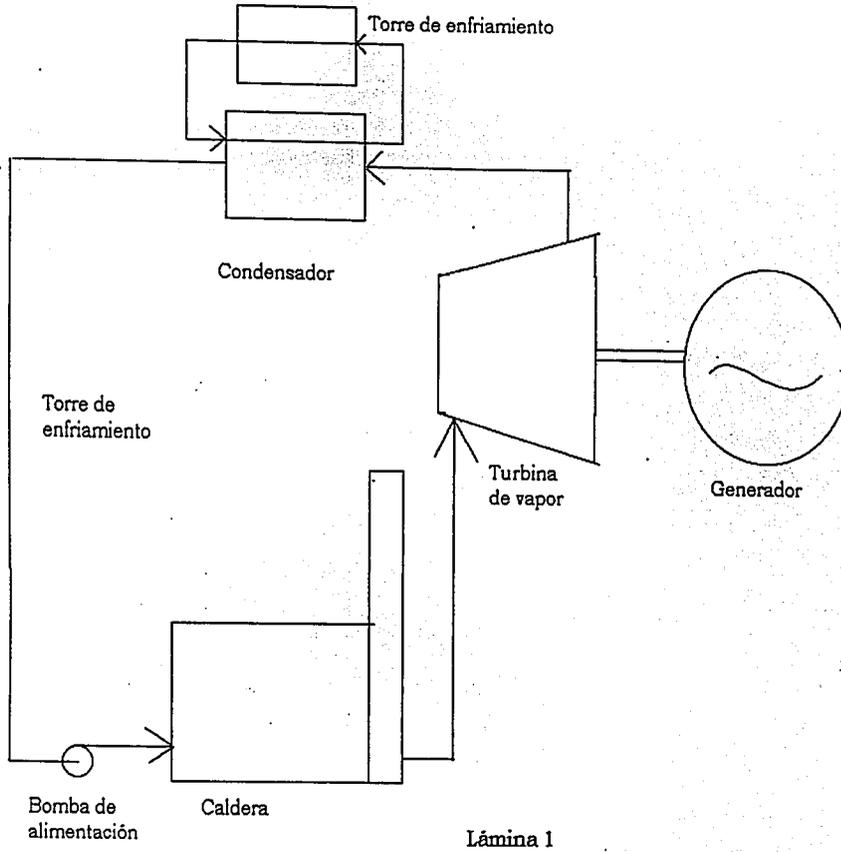
Sistemas de Generación de Energía

En un ciclo simple (Ver lámina 1) de generación de energía eléctrica, 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 %.

Una planta de ciclo simple está constituida principalmente por los siguientes elementos:

- Unidad de tratamiento de agua
- Precalentador
- Bomba de alimentación a caldera
- Caldera
- Turbina de vapor
- Condensador
- Torre de enfriamiento

Ciclo simple



Ciclo de gas

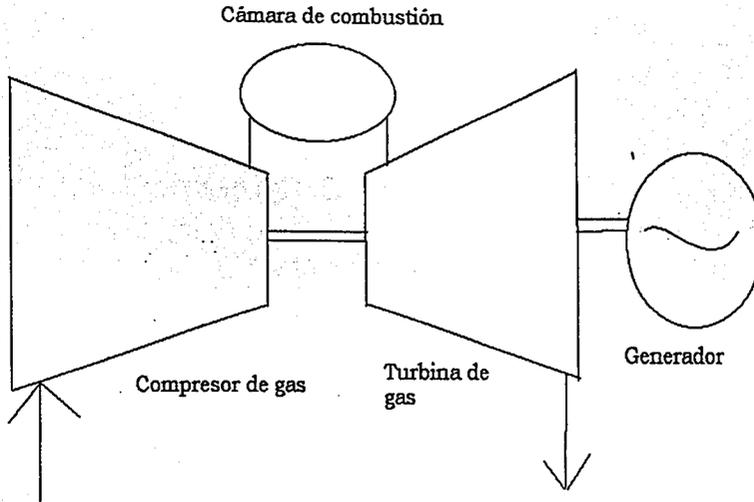


Lámina 2

- Generador eléctrico
- Equipos complementarios

El agua que se va a alimentar a la caldera deberá ser tratada previamente a través de una unidad, a fin de eliminar su dureza, es decir quitarle sales que pudieran depositarse en las tuberías de las calderas, ya que dichas sales precipitan a altas temperaturas.

La bomba de alimentación a calderas, como su nombre lo indica, suministra agua previamente tratada a la caldera. El vapor que sale de la caldera ingresa a una turbina de vapor haciéndola operar. El vapor, al salir de la turbina, pasa por un condensador donde intercambia calor con agua de servicio. Finalmente regresa al punto de partida completando el ciclo. La caldera produce el calor como resultado de la combustión de un combustible fósil. La turbina de vapor acciona al generador eléctrico, produciendo la corriente eléctrica.

Una planta nuclear se diferencia de una planta generadora convencional, en el hecho de que el calor se genera por un reactor nuclear, en lugar de una caldera.

En una planta hidroeléctrica, el generador eléctrico es impulsado por una turbina hidráulica, la cual aprovecha la fuerza ejercida por el caudal de un río.

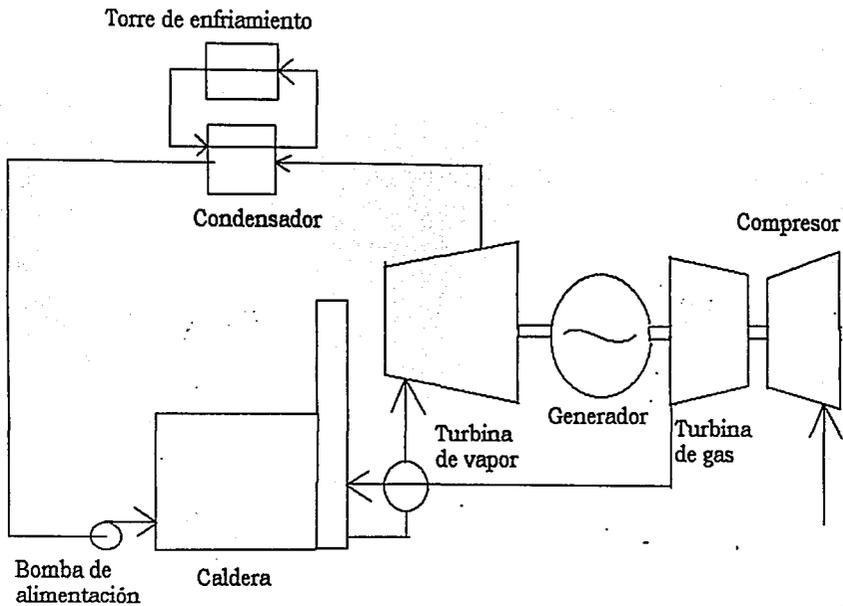
Una planta de generación por gas de ciclo simple consta principalmente de:

- Compresor centrífugo
- Cámara de combustión
- Turbina de gas
- Generador eléctrico

En este caso, el compresor centrífugo alimenta aire a alta presión a una cámara de combustión en la que entra gas, al quemarse genera gases a alta temperatura. Los gases de combustión entran a la turbina de gas haciéndola girar. La turbina de gas impulsa al generador eléctrico.

Una planta eléctrica de generación de ciclo combinado es una integración de un ciclo de generación por vapor y de un ciclo de generación por gas, parte de la potencia transmitida al generador proviene de una turbina de gas, y la otra parte, proviene de una turbina de vapor (Ver lámina 3). Los equipos que componen una planta de ciclo combinado son los que se requieren en los ciclos simples de vapor y de gas.

Ciclo combinado



Desarrollo de nuevas tecnologías.

De cada 1000 plantas generadoras de electricidad que se proyectan construir en Estados Unidos, 900 utilizarán gas natural.

Las turbinas de gas se usaban únicamente para aplicaciones en la aviación, pero su uso se extendió a otros campos de la industria por tratarse de un medio muy versátil. Los sistemas de generación por gas son adecuados cuando se tienen grandes variaciones entre cargas pico y cargas promedio de electricidad.

Las turbinas de gas tienen las siguientes ventajas: son compactas, ligeras, fáciles de operar y cubren un amplio intervalo de capacidades desde cientos de kW a cientos de MW.

Las turbinas de gas producen un flujo gaseoso a alta temperatura y alta presión, mediante una combustión, provocando una rotación de la flecha causado por el empuje de gas sobre una serie de álabes especialmente diseñados.

La rotación de la flecha impulsa a un generador eléctrico y a un compresor, el cual alimenta de aire a la turbina de gas. Diferentes turbinas también utilizan un cambiador de calor, llamado recuperador, el cual transfiere calor del escape de la turbina a la mezcla de combustión aire-gas.

El Departamento de Energía de los Estados Unidos, ha apoyado el desarrollo de nuevas tecnologías que incrementan la eficiencia y el desempeño ambiental en turbinas. Las empresas General Electric y Siemens han participado activamente en este programa. Este desarrollo tecnológico busca alcanzar un 60 por ciento de eficiencia a través de un ciclo combinado, reducir las emisiones de NOx a menos de 9 partes por millón y una reducción de un 10 % en costos de electricidad.

La compañía General Electric (GE) enfocó sus esfuerzos a las turbinas de la serie "H". Para manejar elevadas temperaturas de entrada, GE emplea un novedoso sistema de enfriamiento y una serie de álabes fabricados en nuevos materiales, que proporcionan una mayor resistencia a la condiciones corrosivas a altas temperaturas.

La compañía Siemens está utilizando la turbina 501G. La simulación por computadora ha permitido reducir los costos críticos así como la mejora en la eficiencia. Estas mejoras incluyen el desarrollo un quemador de anillo que da lugar a un diseño multietapa que lleva a una menor emisión de contaminantes y a una operación más estable. Siemens ha trabajado en desarrollar mejores sellos a fin de reducir las fugas internas así

como de recubrimientos de alta temperatura para los álabes. Estas mejoras se han incorporado en la turbina modelo 501G.

El programa de Sistemas avanzados de turbinas (ATS), por sus siglas en inglés; ha trabajado en este desarrollo tecnológico, el cual incluye mejora en los materiales, en los sistemas de enfriamiento, en la instrumentación, y en las necesidades de operación a altas temperaturas. Por otro lado ha hecho estudios especializados en transferencia de calor y en aerodinámica.

El Laboratorio Nacional de Tecnología en Energía (NETL), por sus siglas en inglés, realiza investigaciones en colaboración con universidades e industrias, dirigidas a obtener bajas emisiones contaminantes y bajo consumo de energía, en instalaciones. Estas investigaciones también trabajan en el desarrollo de la instrumentación y control.

Existe otro programa denominado “Programa de Turbinas de Siguiete Generación” (NGTS), por sus siglas en inglés, con los siguientes objetivos:

- Desarrollar una nueva generación de turbinas de gas que proporcione beneficios públicos y que satisfaga las necesidades del mercado.
- Enfocarse al uso del gas natural, pero tomando en cuenta como alternativas, otras fuentes de energía.
- Considerar la posibilidad de adaptar la unidad a otras condiciones de operación.
- Proporcionar módulos de generación de energía.

El programa NGTS proporciona significativos beneficios a la comunidad al tener mayor seguridad en su funcionamiento, reducir costos y una baja en las emisiones contaminantes. Además este programa permite una eficiente generación de electricidad a partir de otros combustibles.

La compañía Siemens ofrece una línea completa de turbinas de gas de 50 y 60 Hz en un rango entre 67 y 265 MW. También ofrece varios paquetes de generación de energía, tanto en ciclos simples como en ciclos combinados.

Calderas

Los principales datos a especificar para seleccionar una caldera son los siguientes:

- Tipo de caldera
- Marca

- Combustible
- Número de quemadores
- Presión nominal en domo
- Flujo de agua de alimentación
- Temperatura de agua de alimentación

Los principales equipos complementarios que se suministran con las calderas son los siguientes:

- Espreas
- Calentadores de recirculación y de tubos de aire
- Sistemas de instrumentación y control
- Quemadores de bajo nivel de residuos NOx
- Compuertas de acceso y de observación
- Revestimiento de protección
- Precalentadores y recalentadores
- Tubería y conexiones
- Parrillas
- Ventiladores
- Bombas
- Economizadores
- Domo de vapor e internos
- Atemperadores
- Materiales cerámicos
- Dispositivos de encendido
- Sopladores
- Carcaza
- Humidificadores
- Motores
- Válvulas
- Ductos
- Juntas de expansión

La selección de equipo para la construcción de plantas generadoras es compleja, dado que involucra una cantidad considerable de componentes, requiriendo un soporte de ingeniería para integrar todas las partes que la conforman.

En muchos casos los fabricantes de calderas proporcionan el apoyo en ingeniería para la construcción de una planta generadora de electricidad, el cual consta de:

- Administración de proyecto
- Estudios sobre sitio y combustible
- Planeación del proyecto
- Estudios de optimización económica
- Diseño conceptual
- Ingeniería de detalle
- Administración de la construcción
- Arranque y pruebas de operación
- Operación, entrenamiento y documentación
- Operación y mantenimiento
- Asistencia financiera

Los fabricantes de calderas, proporcionan asistencia técnica en campo, orientada a obtener un desempeño al máximo nivel de eficiencia.

El servicio de mejora de desempeño consiste de los siguientes puntos:

- Consultoría
- Prueba y calibración de sistemas
- Estudios de ingeniería
- Análisis de fisuras en tuberías
- Estudios de seguridad
- Evaluaciones de eficiencia
- Incremento en eficiencia
- Simulación de flujos de gas y aire
- Inspección de calentamiento de aire

Antes de dar de baja, o sustituir una caldera usada, se debe verificar si existen nuevos desarrollos tecnológicos y nuevos materiales que permitan mejorar la eficiencia. A través

de un estudio de ingeniería, se pueden identificar las áreas susceptibles de mejorar. En muchos casos se puede mejorar la capacidad sin sacrificar la confiabilidad del equipo.

La causa más común de caída de presión en las calderas son fallas en partes sujetas a alta presión. Normalmente es causada por fisuras en los tubos de la sección caliente. También es ocasionado por fisuras en cabezales, en el domo, en tubos de la sección fría. Una vez que se identifique la raíz del problema de fisuras, se toman acciones correctivas para evitar que se repita el problema.

Para garantizar la seguridad de una caldera se efectúan las siguientes acciones:

- Evaluación de la presión del recipiente, a través de pruebas no destructivas de tubos y cabezales.
- Examen de la operación del equipo de manejo de combustible.
- Evaluación de los mecanismos de mezcla de aire y combustible.
- Examen del tratamiento de agua de alimentación.
- Inspección de válvulas de seguridad.

Es fácil que la eficiencia de una caldera decline y difícil de recuperar, debido a que la mayoría de las pérdidas se dan en corrientes colaterales a través del sistema.

Las principales causas de pérdidas de eficiencia en las calderas son: una combustión incompleta, pérdidas en el sistema de ignición, pérdidas de gas seco, pérdidas de humedad, una alta temperatura en el gas de escape y pérdidas en el vapor.

Una excesiva caída de presión, flujo estratificado, turbulencia y una pobre distribución son causas de un pobre desempeño en las calderas. Una vez que se ha identificado el problema, se realiza una simulación por computadora para lograr una adecuada distribución de deflectores y mamparas. Una mejor distribución de estos elementos da lugar a una reducción de bolsas de aire, una mejora en la combustión, una disminución en la corrosión y un flujo más estable. Lo anterior se traduce en un menor consumo de aire.

El calentador de aire, que transfiere calor de los gases de escape al aire fresco, es un importante elemento para intercambio de calor en la caldera. Por estar expuesto a condiciones críticas de calor y a altas presiones, sufre una elevada corrosión. Su mantenimiento es de gran importancia y sólo se puede realizar cuando la caldera está fuera de operación.

Turbinas de Vapor

Las turbinas de vapor se clasifican en: turbinas a contrapresión y de condensación. En las primeras la presión de salida del vapor es mayor que la atmosférica y en las segundas, es de vacío.

Los fabricantes, como la compañía Siemens, han desarrollado una gama completa de turbinas de vapor, tanto para plantas generadoras de vapor como para plantas de ciclo combinado para cubrir variaciones en la demanda de los clientes. Para la generación de electricidad de alta eficiencia se han desarrollado turbinas de vapor que cubren el intervalo de 50 a 1200 MW.

Para condiciones variables, donde se requiere flexibilidad, se han desarrollado turbinas que abarcan un intervalo de 1 a 150 MW.

Para seleccionar una turbina de vapor se requiere especificar los siguientes datos:

- Tipo de turbina
- Marca
- Potencia requerida
- Velocidad
- Presión de vapor a la entrada
- Temperatura de vapor a la entrada
- Temperatura de vapor a la salida

En base a los datos anteriores se calcula el consumo de vapor en lb/HP-h y la eficiencia.

La empresa Siemens ofrece turbinas de vapor para plantas de generación de vapor:

Tabla 4

(7)

TURBINAS DE VAPOR

| INTERVALO DE POTENCIA (MW) | CONFIGURACIÓN | MÁXIMA PRESIÓN DE ENTRADA (PSI)/atm | MÁXIMA TEMP. DE ENTRADA (°F)/(°C) | MÁXIMA PRESIÓN DE SALIDA (PSI)/(atm) |
|----------------------------|---------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 200-1200 | HMN | 4350/296 | 1100/593 | 1150/78 |
| 100- 450 | KN | 2470/168 | 1050/565 | 1050/71 |

Para plantas de ciclo combinado ofrece las siguientes turbinas de vapor:

Tabla 5

(7)
TURBINAS DE VAPOR

| INTERVALO DE POTENCIA (MW) | CONFIGURACIÓN | MÁXIMA PRESIÓN DE ENTRADA (PSI)/(atm) | DE | MÁXIMA TEMP. DE ENTRADA (°F)/(°C) | MÁXIMA PRESIÓN DE SALIDA (PSI)/(°C) |
|----------------------------|---------------|---------------------------------------|----|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 200-500 | HMN | 2470/168 | | 1050/565 | 1050/71 |
| 100-350 | KN | 2470/168 | | 1050/565 | 1050/71 |
| 50-300 | HE | 2470/168 | | 1050/565 | 1050/71 |
| 100-300 | DN | 1160/79 | | 1050/565 | |
| 50-300 | E | 1160/79 | | 1000/537 | |

Turbinas de gas

En los arreglos de turbinas de gas, un compresor alimenta de aire a la cámara de combustión donde también entra gas combustible y se quema, accionando una turbina de gas, y generando energía mecánica que se transforma en energía eléctrica por medio de un generador acoplado a la flecha de una turbina.

Los gases de escape tienen una temperatura que va de 500 a 650 °C. Los gases de escape son relativamente limpios y se pueden aplicar directamente a procesos de secado, o pueden ser aprovechados para procesos de combustión posteriores. Los gases de escape pueden ser utilizados también para producir vapor que se utiliza en los procesos industriales.

La tecnología de las turbinas de gas se enfocan principalmente en una operación económica con las siguientes características: eficiencia, confiabilidad, facilidad de mantenimiento y una larga vida útil.

Las turbinas de gas fabricadas por la compañía Siemens abarcan un intervalo de 67 a 265 MW, como a continuación se indica:

Tabla 6

(7)
TURBINAS DE GAS

A 60 Hz:

| MODELO | POTENCIA (MW) | EFICIENCIA(%) |
|----------|---------------|---------------|
| W501.G | 253 | 39 |
| W501.F | 187 | 37.4 |
| W501.D5A | 121 | 34.7 |
| V64.3* | 67 | 34.7 |

Tabla 7

(7)
TURBINAS DE GAS

A 50 Hz:

| MODELO | POTENCIA (MW) | EFICIENCIA(%) |
|---------|---------------|---------------|
| V94.3 A | 265 | 38.5 |
| V94.2 A | 190 | 35.2 |
| V94.2 | 157 | 34.4 |
| V64.3* | 67 | 34.7 |

Generadores

Los fabricantes ofrecen una gama amplia de generadores, que cubren un amplio rango, de 25 a 2,000 MVA, disponibles tanto a 50 Hz como a 60Hz. Se manejan tres sistemas de enfriamiento: por aire, por hidrógeno y la combinación hidrógeno/agua.

Para seleccionar un generador eléctrico se deben especificar principalmente los siguientes datos:

- Tipo de generador
- Marca
- Capacidad nominal
- Tensión nominal
- Factor de potencia
- Frecuencia

La empresa Siemens maneja los siguientes tipos de generadores:

Tabla 8

(7)
GENERADORES

| MÉTODO DE ENFRIAMIENTO | INTERVALO DE POTENCIA | APLICACIÓN |
|------------------------|-----------------------|-----------------|
| AIRE | 25-325 | CICLO COMBINADO |
| | | CICLO SIMPLE |
| | | CICLO VAPOR |
| HIDRÓGENO | 200-100 | CICLO COMBINADO |
| | | CICLO SIMPLE |
| | | CICLO VAPOR |
| HIDRÓGENO/AGUA | 450-2000 | CICLO COMBINADO |
| | | CICLO VAPOR |

Bombas de alimentación a calderas

Las bombas de alimentación a calderas constan de un barril y una cubierta externa cilíndrica de acero forjado, con una junta circular que encierra una voluta de acero. La bomba consta de 4 subensambles básicos: el barril exterior y cubierta, la voluta, el elemento rotativo y las chumaceras.

Para seleccionar una bomba de alimentación a calderas se deben especificar principalmente los siguientes datos:

- Tipo de bomba
- Marca
- Modelo
- Carga
- Capacidad
- NPSH del sistema
- Temperatura del fluido
- Eficiencia
- Potencia
- Velocidad en RPM

Se selecciona en la curva de la bomba, aquel modelo que se adapte mejor con las condiciones de operación de la bomba a una mayor eficiencia. Se debe cuidar que el NPSH del sistema sea mayor que el NPSH requerido por la bomba. Los accesorios y materiales de la bombas deberán cumplir con las condiciones de operación.

Para calcular la potencia de la bomba se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{POTENCIA(HP)} = \frac{\text{CARGA(FT)} * \text{CAPACIDAD(GPM)} * \text{GRAVEDAD ESPECÍFICA}}{3960 * \text{EFICIENCIA}}$$

La eficiencia se obtiene en la curva de la bomba a partir de los valores de carga y de capacidad. La gravedad específica del agua, la cual varía con la temperatura, se obtiene a través de tablas.

La mayoría de las bombas de barril tienen un impulsor de doble succión en el primer paso, el cual reduce las velocidades de entrada y permite la operación segura a bajas cargas netas positivas de succión.

Tanto el barril como la cubierta de descarga, fabricados en acero forjado, están expuestos a la presión total de la descarga. Este diseño permite una operación segura para operar bajo cualquier presión.

El espacio entre el barril externo y la voluta interna se encuentra lleno con el líquido bombeado a la presión total de descarga.

Las boquillas principales de la succión y de la descarga pueden colocarse en la parte superior, o en la parte inferior para adaptarse mejor a la colocación de tubería. La tubería principal se puede soldar directamente a las boquillas de la bomba o puede ser bridada. Las partes internas de la bomba pueden retirarse del barril con facilidad sin desconectar la tubería principal y sin interferir con la posición del accionador.

El barril y la cubierta exteriores son de acero forjado al bajo carbón, teniendo una junta circular para el sellado a alta presión.

Las conexiones de la descarga y de la succión pueden localizarse en la parte superior o inferior del barril. Normalmente son de acero forjado, soldadas al barril exterior.

Los diseños del sello de la flecha se seleccionan para manejar lo mejor posible los requerimientos del usuario. Los tipos de sellado más usados son: estoperos convencionales con empaquetaduras, con enfriado de agua mediante prensaestopas bipartido; sellos mecánicos, especialmente desarrollados para servicio de alimentación de calderas; y buje de estrangulamiento con inyección de condensado frío.

La voluta interna está dividida longitudinalmente en dos mitades idénticas. El diseño de doble voluta asegura el balanceo radial de la bomba para todas las capacidades e igual distribución de temperatura en el barril exterior. Todos los conductos de agua son probados hidrostáticamente a la presión requerida para asegurar que la pieza esté libre de fugas. Todos los ajustes están maquinados con precisión para un perfecto alineamiento.

El elemento rotativo consta de la flecha, impulsores y partes de desgaste rotativas y fijas. Un elemento rotativo completo de una bomba puede quitarse o ensamblarse como una unidad. La alineación correcta de las partes rotativas, las chumaceras y los sellos de la flecha es básico para la vida prolongada de una bomba.

La flecha de la bomba está hecha de una forja de acero al cromo tratada térmicamente, maquinada y rectificada en toda su extensión.

Los impulsores en las bombas de alimentación a calderas son de tipo cerrado, fundidos en acero al cromo-níquel y maquinados totalmente. Los impulsores están balanceados estáticamente y dinámicamente con todo cuidado. Además están cuidadosamente diseñados y fabricados para proporcionar un alto grado de eficiencia hidráulica en un amplio intervalo de la curva carga-capacidad.

Equipos paquete

Diversas compañías como Siemens ofrecen paquetes modulares de generación de energía eléctrica como el "Econopac", el cual es un sistema de generación de energía que se utiliza tanto para ciclos simples como en aplicaciones de recuperación de calor. Este paquete tiene las ventajas de tener un bajo costo de inversión, fácil de instalar, y de adaptarse a condiciones variables de operación. Se puede usar para servicio intermitente o para servicio continuo.

Los fabricantes como Siemens proporcionan plantas paquetes de ciclo combinado, las cuales se caracterizan por tener una alta eficiencia en la generación de energía eléctrica. Estos paquetes son muy versátiles, ya que se adaptan a condiciones muy variables de operación, así como a diferentes requerimientos del usuario. Se manejan diseños de ciclo combinado en arreglos de una sola flecha o con varias flechas.

Los paquetes de ciclo combinado son el resultado de integrar una turbina de vapor y una turbina de gas, aprovechando las ventajas de ambos. Permiten generar una gran cantidad de energía eléctrica en corto tiempo y a un bajo consumo de calor.

Otro concepto manejado es la fabricación en serie de plantas paquete en serie, en aquellas capacidades más demandadas por los usuarios, lo cual permite ofrecer a los clientes paquetes a un precio más bajo. La compañía Siemens desarrollo este concepto con el nombre de Varioplant, el cual ofrece las siguientes ventajas:

- Operar en condiciones variables de cargas
- Adaptabilidad a diferentes arreglos en redes eléctricas
- Integración de trenes de cambiadores de calor que saque un mayor provecho de los diferentes efluentes

Los principales paquetes Varioplant que ofrece la Compañía Siemens son los siguientes:

Tabla 9

(7)
PAQUETES VARIOPLANT

| | MODELO | INTERVALO DE CAPACIDAD | |
|--|----------------|------------------------|--|
| | VARIOPLANT 300 | 300-500 MW | |
| | VARIOPLANT 700 | 500-700 MW | |
| | VARIOPLANT 900 | 700-1000 MW | |

3.- Discusión

Para los próximos 20 años se espera un incremento en la demanda de electricidad en México, lo que crea la necesidad de construir nuevas centrales eléctricas para satisfacer dicha demanda. El Estado, quien controla la generación y distribución de energía eléctrica, no cuenta con los suficientes recursos para la construcción de la infraestructura necesaria para cumplir con los futuros requerimientos de fluido eléctrico.

En México, por la amplia producción de petróleo, la mayor parte de la electricidad se genera a partir de combustibles fósiles. Por lo anterior se proyecta construir mas centrales electricas que utilicen gas natural como combustible primario. Se prefiere el gas natural ante otras alternativas como la energía nuclear, la hidroelectricidad u otros combustibles fósiles, además de sus bondades ecológicas, por ser de alta eficiencia y por representar un bajo costo de inversión. El costo del gas natural tiende a la baja por un aumento en su consumo a nivel mundial, además de existir amplias reservas del mismo. Mucho del desarrollo tecnológico de los equipos de gas están dirigidos a mejorar su eficiencia, por lo que tanto el consumo de combustible tenderá a bajar. Se espera que los fabricantes lancen al mercado equipos y paquetes con costos más reucidos.

En México se recurre mucho a la generación de electricidad por ciclos simples, lo cual representa un desperdicio de energía. Muchos de los gases de combustión se arrojan a la atmósfera sin obtener un provecho adicional. Por otro lado, el vapor residual que sale de una turbina de vapor se envía a un condensador sin ser utilizado para otros fines donde tendría aplicación.

En numerosas plantas industriales se genera vapor para sus procesos internos y el vapor residual se tira a la atmósfera, mientras por otro lado consume electricidad externa. Otro caso que se presenta en plantas industriales es que manejan procesos de producción

que liberan mucho calor, utilizando agua de enfriamiento que se transforma en un flujo de vapor que no se aprovecha.

Se recomienda el uso de ciclos combinados de generación de energía eléctrica, debido a que en éstos se tiene un mayor aprovechamiento de la energía de los diferentes efluentes, además se adaptarse mejor a altas y bajas en la demanda.

Actualmente la planta eléctrica del Complejo Petroquímico Pajaritos, la cual se encuentra en el interior de este centro de trabajo, cuenta con tres turbogeneradores de gas TG-Q, TG-2 y TG-3, con una capacidad instalada total de 58.5 MW. La demanda actual de energía eléctrica es de 20 MW, lo que permite una operación continua de a baja carga de dos turbogeneradores, estando uno disponible.

Para lograr los objetivos de eficiencia, se requiere de altas temperaturas de entrada en las turbinas. Para conseguir estas altas temperaturas se requieren mejoras en los materiales empleados, en los sistemas de enfriamiento y en las técnicas de combustión.

El diseño de las plantas industriales deberá incorporar la generación interna de electricidad a sus procesos, tal que el vapor residual y los gases de combustión derivados de la generación eléctrica, se utilicen en otros procesos de producción. También deberá utilizar una serie intercambiadores de calor para llevar a cabo una transferencia de calor de corrientes a alta temperatura, que se desee enfriar, con corrientes a baja temperatura que se desee calentar.

En el caso particular de la planta generadora del Complejo Petroquímico Pajaritos, se propone instalar un sistema de cogeneración con el objeto de aprovechar la energía térmica de los gases de combustión. La cogeneración surge como un concepto de ingeniería que incluye la producción tanto de vapor como de electricidad a través de una sola operación. La realización de este proyecto forma parte de un esquema que permite a la industria autogenerar energía eléctrica, con la opción de transferir los excedentes a la red de la Comisión Federal de Electricidad.

En muchas plantas que están en operación desde hace mucho tiempo existe un derroche de energía, debido a que cuando se diseñaron, no se consideró el concepto de cogeneración, donde el vapor generado se aprovecha tanto para generación de energía eléctrica como para los procesos internos. En estos casos se recomienda rediseñar la planta

con el propósito de aprovechar mejor el vapor producido, tanto para la generación de electricidad, como para los procesos de producción.

Las calderas son un equipo crítico en la cogeneración, por lo que una mejora en la eficiencia de una caldera tiene mucho impacto en la eficiencia del sistema.

Los fabricantes de calderas, como Babcock & Wilcox, dan asesoría dirigida a la identificación de problemas en calderas. La evaluación de las condiciones de equipos en operación consiste de: pruebas de eficiencia, inspecciones externas, inspecciones de estructura, detección de fugas en válvulas, ajuste de combustión, medición de flujo de gas y aire, simulación de flujo por computadora, calibración de flujo de aire y ajuste de control de combustión.

Una vez que se ha identificado el problema, es importante dar seguimiento a las acciones correctivas. Diversos factores afectan a la eficiencia global, por lo que es necesario aislarlos y analizarlos por separado. Entre los problemas que se presentan están: calibración de control de combustión, fallas en elementos de calibración y fugas.

Para mejorar la eficiencia, es importante tomar en cuenta en que se va a utilizar el vapor generado. Al rediseñar una caldera, se aplicaría el concepto de cogeneración, en este caso, se da entrada los gases de desperdicio a la caldera como un medio para mejorar la eficiencia de ésta. Una caída importante en la temperatura del vapor en línea (50°F), significa una gran pérdida de eficiencia en la turbina de vapor. Se recomienda la integración de una turbina de gas a un sistema, la cual incrementaría la eficiencia global de la planta.

4.- Conclusiones.

La cogeneración es el proceso de producción de energía eléctrica y de energía térmica para procesos industriales a partir de una misma fuente.

La cogeneración tiene por objeto aprovechar el calor de desecho para otros procesos industriales.

La proyección para los próximos 20 años es un incremento en la demanda de electricidad a tanto a nivel mundial como para México.

En México, no se cuenta con los recursos suficientes para invertir en plantas de generación de electricidad, para satisfacer la demanda futura.

La mayor parte de la generación de electricidad en México es a partir de plantas termoeléctricas.

La tendencia a nivel mundial es un mayor consumo de gas natural, debido a que es un combustible limpio y eficiente, por lo anterior se recomienda su uso.

En México se desperdicia mucha energía debido a que se desaprovecha mucho del vapor residual derivado de la generación de electricidad en un ciclo simple, mientras que por otro lado se produce mucho vapor para los procesos de producción de las industrias. Para evitar este dispendio de energía se propone, para una planta determinada, integrar el proceso de producción con el de generación de electricidad a través de la cogeneración, ya que de esta manera se aprovecha de forma conjunta el vapor producido tanto para la generación de electricidad como para los procesos de producción.

Para optimizar un proceso, se sugiere instalar intercambiadores de calor en puntos críticos de tal manera que se encuentren corrientes de alta temperatura, que se deseen enfriar, con corrientes de baja temperatura, que se deseen calentar. También se propone el empleo de miniturbinas de vapor, las cuales trabajan con vapor residual, y pueden accionar un equipo pequeño, como podría ser una bomba o un ventilador.

La actual reglamentación permite a la industria autogenerar energía eléctrica y transferir los excedentes a la red de la Comisión Federal de Electricidad.

5.- Bibliografía.

- 1) **Peters, Max s. & Timerhaus, Klaus D.**
Plant Design & Economics for Chemical Engineers.
Mc Graw Hill Book Company(1981). 3th Edition. Singapore.

- 2) **Thomas Velázquez, Fernando.**
Electrificación Rural por Medio de Energía Solar
Unidad de Comunicación Social (1994)
Comisión Federal de Electricidad

- 3) **Department of Energy. R&D Projects.** [www. energy.gov](http://www.energy.gov)
Tomorrow turbines. International Energy Outlook
2002.

- 4) **World Energy Organization.** [www. worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)

- 5) **Comisión Nacional de Ahorro de Energía** [www. conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx)
Cogeneración.

- 6) **Comisión Fedral de Electricidad. Capacidad de** [www. cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)
generación.

- 7) **Siemens. Power generation. Combined cycle.** [www. siemens.com](http://www.siemens.com)

- 8) **Babcock & Wilcox. Electric Power. Products** [www. babcock-Wilcox.com](http://www.babcock-Wilcox.com)
services. Field Engineering Services.

- 9) **Cerrey. Productos y servicios. Tecnología.** [www. cerrey.com.mx](http://www.cerrey.com.mx)
Manufactura

- 10) **IMIQ. Evaluación económica de un proyecto de** [www. imiq.org.mx](http://www.imiq.org.mx)
cogeneración.