

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.5.3
10 de enero de 1961

ESPAÑOL
ORIGINAL: INGLES

SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

Auspiciado por la Comisión Económica para América Latina, la Dirección de Operaciones de Asistencia Técnica y la Subdirección de Recursos y Economía de los Transportes de las Naciones Unidas, conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos

México, 31 de julio a 12 de agosto de 1961

CIERTOS TIPOS DE CENTRALES TERMOELECTRICAS Y SUS APLICACIONES
A LAS CONDICIONES REINANTES EN AMERICA LATINA

por

J.M. Saunders

Nota: Este texto será revisado editorialmente

INDICE

	<u>Pág.</u>
CIERTOS TIPOS DE USINAS TERMOELECTRICAS Y SUS APLICACIONES A LAS CONDICIONES REINANTES EN AMERICA LATINA	1
EL MOTOR DIESEL	2
PLANTA DE GENERACION A VAPOR	6
<u>Aumento de la temperatura inicial del vapor</u>	9
<u>Aumento de presión inicial</u>	9
<u>Mayor velocidad</u>	10
<u>Enfriamiento de alternadores por medio de hidrógeno</u>	10
<u>Disponibilidad de Caldera</u>	11
<u>Unidad Caldera y Turbina</u>	12
<u>Estandarización</u>	13
<u>General</u>	13
LA TURBINA A GAS	13
<u>Rendimiento</u>	13
<u>Regeneración</u>	14
<u>Disposición de dos ejes con turbina generadora separada</u>	15
<u>Compoundaje</u>	15
<u>Interenfriamiento</u>	15
<u>Turbina de ciclo cerrado</u>	15
<u>Ventajas de turbina a gas y sus limitaciones</u>	16
<u>Progreso logrado</u>	17
FACTORES QUE DETERMINAN LA ELECCION DEL TIPO DE PLANTA TERMOELECTRICA	18
<u>Planta a Diesel</u>	18
<u>Generación conjunta térmica e hidroeléctrica</u>	20
<u>Sistema de enfriamiento en seco para planta a vapor</u>	22
<u>Disposición de sistema</u>	22
<u>Enfriadores</u>	23
<u>Aplicaciones</u>	23
<u>La turbina a gas</u>	24
<u>Operación con combustibles residuales</u>	26
CONCLUSION	27
RECONOCIMIENTOS	27



CIERTOS TIPOS DE USINAS TERMOELECTRICAS Y SUS APLICACIONES
A LAS CONDICIONES REINANTES EN AMERICA LATINA

Parte de la riqueza natural de un país consiste en los recursos hidroeléctricos, y siempre serán considerados como fuente potencial económica de fuerza motriz. Naturalmente su utilización eficaz forma la base de planificación para cualquier proyecto para el desarrollo de energía eléctrica, particularmente en aquellos países que carecen de suministros propios de combustibles tales como carbón y petróleo.

Por consiguiente, al considerar ciertos tipos de usinas termoeléctricas y su aplicación, el autor ha preferido tratarlos más bien como complemento a energía hidráulica y no como alternativas.

Lógicamente se tienen presentes los factores bien conocidos que determinan la economía comparativa y la disponibilidad de fuerza hidroeléctrica con relación a otros sistemas.

1. El alto costo inicial de construcción hidroeléctrica que para resultar económico deberá encararse en una escala mayor de la que requiere la demanda de carga en las primeras etapas del desarrollo.
2. El período mayor que se requiere para la construcción hidroeléctrica.
3. La distancia de los centros de carga que introduce el costo de transmisión.
4. Los costos relativos de energía eléctrica generada por usinas térmicas e hidroeléctricas reflejados en el costo de combustible, ya sea importado o de producción nacional.
5. Con combustible importado que representa un continuo desembolso de divisas mientras que el agua se considera como una fuente siempre reemplazable.
6. El deseo de reducir la dependencia sobre combustible importado para energía eléctrica.

Hoy en día, para enfrentar la demanda inmediata de cargas reducidas, comunmente se contempla el desarrollo mediante energía generada a Diesel, seguido por hidroeléctrica, pero frecuentemente se encuentra Diesel, luego a vapor y finalmente, hidroeléctrica.

Antes de examinar los factores que determinan la elección de los varios tipos de maquinaria termoeléctrica, se propone estudiar primeramente las características y el desarrollo actual de los tipos principales y convencionales de la maquinaria disponible, a saber:

/El motor

El motor Diesel

Maquinaria a vapor

Turbina a gas

La consideración de la economía y las perspectivas actuales de la energía nuclear se excluyen a propósito, puesto que este aspecto merece un estudio completo por separado. Lógicamente, la fuerza nuclear es una alternativa tanto de energía hidroeléctrica como de otros tipos de maquinaria térmica, siendo objeto de mayor consideración como fuente principal de energía en el futuro.

EL MOTOR DIESEL

El motor Diesel cubre un campo extenso de aplicaciones, desde el motor marino de velocidad lenta de aproximadamente 25 000 HP o aún más, a la unidad de potencia reducida de alta velocidad utilizada en camiones. Dentro de tal alcance de potencia, se encuentran para generación de energía eléctrica, unidades con una capacidad desde unos 100 a 3 000 HP, aproximadamente.

La diversidad de motores disponibles se clasifica en dos tipos, en lo que se refiere al ciclo de operación, es decir, de cuatro y de dos tiempos, y a su vez dos clasificaciones principales de velocidad, a saber:

Velocidad lenta y mediana desde 300/500 RPM.

Velocidad mediana desde 600 a 1 000 RPM.

Generalizando, la tendencia del desarrollo del motor diesel se ha concentrado naturalmente en los siguientes puntos:

1. Reducir el costo por HP.
2. Aumentar el rendimiento y por consiguiente la economía de combustible. Probablemente el motor Diesel ya es el medio más eficaz para convertir energía térmica a energía eléctrica disponible. Se ha obtenido en motores de gran potencia un rendimiento hasta aproximadamente 37 por ciento.
3. El aumento de capacidad disponible y reduciendo la relación entre peso y potencia.
4. Con mantenimiento correcto y con el motor disponible y al mismo tiempo aumentando tanto los períodos entre acondicionamiento y la vida de las piezas sujetas a desgaste.

/Se ha

Se ha adoptado universalmente la utilización de la turbina alimentadora de escape, y esto, juntamente con la tendencia a aumentar las velocidades, han sido los factores principales en la disminución del costo por HP y la relación entre peso y capacidad. Se encuentra un aumento de 50 por ciento de la potencia disponible sobre los motores sin turbina alimentadora con presiones efectivas promedio a razón de 10.5 kilos/cm². La tendencia continua en aumentar las presiones efectivas promedio con el correspondiente aumento en la potencia disponible del motor y la reducción de la relación entre peso y capacidad. Con el aumento de presión a raíz de sobrealimentación, el aire llegará a los cilindros del motor a una mayor temperatura, y se alcanza a un punto cuando se recomienda una refrigeración posterior. Se han desarrollado equipos adecuados para el enfriamiento del aire de peso y tamaño reducidos, los cuales requieren agua de enfriamiento a aproximadamente 25°C. Al enfriarse el aire, se aumentará la densidad y permite que llegue un peso mayor de aire a los cilindros del motor, facilitando así el consumo de una mayor cantidad de combustible con el consecuente aumento proporcional de potencia de salida.

Las velocidades para una determinada potencia han sido aumentadas, y se encuentran normalmente velocidades de 600/1 000 RPM en motores de hasta aproximadamente 2 500 HP de salida. El resultado ha sido que se obtienen unidades de gran potencia con dos clasificaciones principales de velocidad, es decir, velocidad lenta y mediana desde 300/500 RPM y velocidad mediana desde 600/1 000 RPM.

Para cumplir con las exigencias de tracción eléctrica, se ha desarrollado el motor diesel en formato en V, con su correspondiente relación reducida entre peso y potencia, y ha sido agregado al grupo de unidades de potencia mediana disponible para la generación de energía eléctrica. Con el motor en formato en V se obtiene el doble de fuerza de los 12 o 16 cilindros comparándolo con el motor vertical correspondiente de 6 a 8 cilindros ocupando el mismo espacio. Se han desarrollado otros sistemas, pero, dentro del alcance de potencia mediana, ha resultado más favorecido el motor de formato en V.

/A pesar

A pesar de que el motor de dos tiempos ha sido adoptado mayormente para máquinas de gran potencia de uso marino y de velocidad lenta, particularmente el tipo de accionamiento doble y pistones opuestos, el motor de cuatro tiempos con velocidad y potencia mediana es el que se utiliza con más frecuencia. Teóricamente, el ciclo de dos tiempos goza de ventajas inherentes en lo que se refiere a la potencia de salida, pero esta ventaja no ha sido mantenida debido a que el progreso obtenido con sobrealimentación sobre motores de ciclo de dos tiempos de potencia mediana ha sido más lento, lo que se debe en parte a los problemas asociados con el barrido.

Una forma avanzada del motor de dos tiempos que difiere del tipo convencional vertical y formato en V, es el modelo "Deltic" fabricado por Napier. Este motor es del tipo con pistones opuestos con los cilindros colocados en tres etapas para formar una sección triangular equilátera e invertido con tres cigüeñales, uno en cada ángulo del triángulo. Cada cigüeñal lleva dos pistones. Los tres cigüeñales son acoplados mediante engranajes a ajuste de fase en el extremo de transmisión del motor a un solo eje de salida.

A continuación se indican las características principales del motor "DELTAIC" de 18 cilindros, con sobrealimentación para generación de energía eléctrica:

Potencia de salida	2 230 CV métrica continua 1 537 kW aproximadamente
Potencia en freno	7.1 kg/cm ²
Velocidad del cigüeñal	1 600 r.p.m.
Velocidad del eje de transmisión	1 500 ó 1 800 r.p.m. (para la generación de energía eléctrica)
Peso aproximado	5 490 kg
Relación entre peso y potencia	2.46 kg/CV
Calibre de cilindros	130.17 mm.
Recorrido	184.15 mm.x 2
Consumo de combustible	164.6 gramos/CV/hora

Esta máquina es del tipo de alta velocidad, y por consiguiente, es de construcción diferente a las dos máquinas cuyas velocidades son reducidas y son utilizadas normalmente para la generación de energía eléctrica.

Se notará que este motor se encuentra dentro del régimen de altas revoluciones comparado con las dos categorías de bajas revoluciones en discusión.

/Con la

Con la elevación de las presiones máximas obtenidas por las potencias aumentadas, sobrealimentación, etc., han sido reforzadas aquellas piezas del motor afectadas por las cargas de gas en los cilindros. Donde se requieren cargas superiores en los soportes que excedan el valor de la fatiga del metal blanco, se ha desarrollado una nueva técnica para la construcción de los soportes.

Con el aumento de la carga térmica, se ha dedicado atención especial a los pistones y el forro, desde el punto de vista de la dispersión de calor, lubricación y desgaste.

La inyección sólida o directa del combustible ha reemplazado la inyección mediante chorro de aire.

¿Cuáles han sido los resultados de tal progreso? Claramente, las tres ventajas más importantes que se han registrado han sido la disminución de la relación entre peso y potencia de salida, el costo por HP, y la mejora en consumo de combustible. Uno de los aspectos resultantes de la disminución en la relación entre peso y potencia de salida consiste en el ahorro adicional obtenido con respecto a las obras de construcción y de cimientos. Por otra parte, es lógico esperar una tendencia a elevar el desgaste, reflejada en los costos de mantenimiento. Aparentemente no existe información conclusiva que indique que los costos de mantenimiento son aumentados en el caso de motores modernos de velocidad más alta. Aún si se requiere el reemplazo más frecuente de piezas sujetas a desgaste, las piezas son más livianas y por consiguiente más económicas, y los costos de mano de obra son reducidos por el peso y tamaño menor de las piezas a maniobrase.

Al examinar los costos de operación obtenidos recientemente de una usina a diesel funcionando en el Medio Oriente, con motores modernos de velocidad de 750 RPM con un total de 7 MW instalado, juntamente con una potencia de 5 MW de motores de velocidad inferior que han prestado servicio durante 10 a 20 años, los costos de mantenimiento de los motores de velocidad más alta durante un año de servicio resultaron ser aproximadamente 75 por ciento de los costos correspondientes a motores de velocidad inferior. Al mismo tiempo, se concuerda que los resultados de operación obtenidos en una usina durante un año no pueden tomarse como finales.

/Un ejemplo

La maquinaria indicada cubre la mayor parte de los requerimientos para operación en 50 ciclos por segundo, pero existen unidades turboalternadoras con recalentamiento de potencia mayor desde 200 MW hasta 550 MW operando a 3 000 RPM, que están en servicio o bajo fabricación, para redes extensas de distribución.

Será interesante volver a unos 20, 30 ó 40 años atrás y examinar algunas instalaciones típicas de la época. En 1914 Westinghouse construyó una máquina de una potencia de 70 MW y en 1926 General Electric de Estados Unidos instaló otra máquina de 208 MW del tipo con tres ejes. La primera turbina con recalentamiento fue fabricada en Gran Bretaña por Metropolitan Vickers en 1917, con una potencia de 20 MW a 33 kg/cm^2 , 340° C , con recalentamiento a 260° C . Durante este período era común la alta velocidad y en 1929, English Electric instaló en la usina de West Ham, Londres, una unidad con una potencia de 30 MW con una velocidad de 3 000 RPM, y otra unidad similar, de fabricación Brown Boveri, pero de 36 MW, fue puesta en marcha en Los Países Bajos, y ambas máquinas todavía están en servicio. La primera máquina a operar a 540° C fue construida en Gran Bretaña por la B.T.H. para Detroit Edison Company, con una potencia de 10 MW, y de una velocidad de 3 600 RPM.

Con referencia a presión, una unidad de turbina superpuesta de 2.5 MW a 64 kg por cm^2 fue puesta en marcha por English Electric en la ciudad de Bradford, en 1930, y en 1938, una turbina superpuesta de potencia de 54 MW operando a 33 kg por cm^2 y 500° C fue fabricada por Metropolitan Vickers. La unidad más grande en Europa hasta 1939 fue una turboalternadora de una potencia de 105 MW instalada en la Usina de Battersea, Londres.

Examinando superficialmente esta comparación, parecería que las normas modernas no constituyen un progreso espectacular, ya sea en potencia, presión o temperatura. Las instalaciones referidas sirvieron de base para investigaciones y las normas utilizadas actualmente incorporan en gran parte la experiencia de tales desarrollos y el progreso gradual en metalurgia, particularmente con respecto al comportamiento de aleación de aceros en temperaturas elevadas, que permite el aumento del nivel de las condiciones de vapor.

Durante un período de 30 años, el rendimiento de las aletas ha aumentado únicamente en 5 - 8 por ciento, pero sin embargo, el rendimiento térmico de usinas ha aumentado desde aproximadamente 17 por ciento en 1922 a más de 30 por ciento en las usinas modernas instaladas recientemente, aunque un 31.5 por ciento fue logrado en una usina, en el año 1936.

/El progreso

El progreso en el mejoramiento de rendimiento térmico se ha obtenido principalmente mediante la elevación del ciclo de rendimiento de maquinaria generadora, y tal progreso se calcula según los siguientes valores:

Temperatura	315 - 565°C	13 - 17 por ciento
Presión	14 - 105 Kg/cm ²	12 - 14 " "
Alimentación de calor		6 - 12 " "
Recalentamiento (donde sea utilizado)		2 - 6 " "

De estas cifras se puede observar que el aumento de las condiciones iniciales de presión y temperatura han sido los factores contribuyentes principales. Existe un límite del alcance a que pueden llegar dichas mejoras, dependiente de la capacidad del sistema de energía, y por consiguiente, la capacidad óptima de las unidades generadoras en cualquier etapa del desarrollo, por razón de que las temperaturas y presiones que pueden ser adoptadas económicamente aumentan con la potencia de la unidad turbina-alternadora. Por ejemplo, en 1939, antes de la Segunda Guerra Mundial, teniendo presente las condiciones reinantes en Gran Bretaña, la unidad generadora de una potencia de 30 MW a 43 kg/cm² y 450°C fue considerada como la unidad más económica de gran potencia para centrales principales de generación, pero en el programa de desarrollo comenzado después de 1945, se llegó a la unidad generadora de una potencia de 60 MW a 64 kg/cm² y 480°C y más tarde, se exigió la unidad de 120 MW, y unidades de aún más potencia en la actualidad. Sin embargo, la unidad de 30 MW con las correspondientes condiciones de vapor están todavía de acuerdo con las Normas Internacionales Aceptadas, según se detalla en el cuadro I, y por consiguiente, son aptas para cualquier sistema de generación de energía eléctrica requiriendo maquinaria de tal potencia.

Para elegir, del punto de vista económico, las condiciones alternativas de 64 kg/cm² y 485/500°C ó 43 kg/cm² y 450°C, dependen del costo del combustible, su poder calorífico, factor de carga y el interés a cobrarse sobre el capital invertido. Un alto costo de combustible o factor de carga elevado favorecerá la elección de las condiciones de vapor más altas así como más económico.

Asimismo, dependiente del costo de combustible, factor de carga, etc., las condiciones normales recomendadas para una unidad de una potencia de 10 MW será de 43 kg/cm² 450°C ó 33 kg/cm² 425°C. Lógicamente 43 kg/cm²

/constituye cierto

constituye cierto progreso de lo que fue ofrecido hace 20 años, pero sin embargo es inferior a los niveles de las condiciones de vapor considerados como económicos en unidades de mayor potencia construidas en la actualidad.

A través de los últimos 15 años los factores principales que han contribuido al progreso general en la evolución de la planta de vapor moderna, son los siguientes:

Aumento de la temperatura inicial del vapor

Temperaturas máximas de vapor han aumentado desde aproximadamente 480°C a un máximo normal utilizado comúnmente en la actualidad de 565°C y esto se ha logrado a raíz de un mejor entendimiento del comportamiento de aceros a temperaturas elevadas e investigación metalúrgica que a su vez produce materiales más adecuados en la forma de aceros ferríticos y austeníticos. En las máquinas no sujetas a recalentamiento el progreso correspondiente en presión es limitado, por la necesidad de mantener el contenido de humedad en el vapor en las últimas etapas de presión reducida dentro de aproximadamente 12 por ciento para evitar erosión de las aletas.

Aumento de presión inicial

El aumento de presión también ha contribuido a elevar el calor disponible en el vapor, y por consiguiente, mejora en el ciclo de rendimiento, pero sólo se podrá lograr progreso en las presiones con respecto a las unidades modernas de gran potencia, mediante la utilización de recalentamiento del vapor después de la expansión a través de parte de la turbina, y asimismo a raíz de la limitación de humedad en las etapas de baja presión. El recalentamiento resulta en un mayor rendimiento debido en parte a la disminución en la humedad en el vapor en las últimas etapas y otras ventajas como ser la reducción en el flujo de vapor, superficie del condensador, cantidad de agua de enfriamiento, etc. Por otra parte, esto complica la operación y control, introduciendo tubería adicional y además aumento en el costo de la planta de calderas. La técnica británica en la actualidad considera que no se justifican económicamente las complicaciones adicionales o mejoras en rendimiento obtenidos para unidades de potencia menor de 120 MW, aunque la reintroducción de recalentamiento como práctica durante los últimos años comenzó con unidades de 60 MW a 86.5 kg/cm², 440°C, con recalentamiento 450/C. Es interesante notar que con tales condiciones de vapor, fue posible obtener un consumo de calor

/equivalente a

equivalente a aquel logrado con una unidad de la misma potencia sin recalentamiento a una temperatura de 510°C, permitiendo así el empleo de materiales de menor costo en las partes de la caldera y turbina sujetas a alta temperatura.

Mayor velocidad

Se acepta como norma una velocidad de 3 000 RPM (3 600 RPM para 60 ciclos por segundo) para las turbinas-alternadoras de la potencia máxima fabricadas actualmente o proyectadas. En 1939 se llegó a una potencia de 60 MW pero el progreso en esta instancia fue limitado por el tamaño del alternador con enfriamiento convencional de aire. A una velocidad de 3 000 RPM, comparado con 1 500 RPM, se reduce el diámetro del rotor de la turbina así aumentando la altura de las aletas utilizadas en las etapas de alta presión contribuyendo así a un aumento en el rendimiento interno de la turbina mediante la reducción de la proporción de pérdida por los intersticios. Una mayor reducción del calor en la turbina se logra mediante un aumento proporcional en las etapas de expansión. Se llega así a un punto donde por consideraciones de rendimiento y razones mecánicas correspondientes, se recomienda el aumento del número de cilindros de uno a dos, o de dos a tres, según el caso.

Para una determinada reducción de calor, el número de etapas de expansión requerido varían inversamente con la velocidad, y por consiguiente, a una velocidad de 3 600 RPM, el número de etapas es menor y se reduce el largo de la máquina.

Enfriamiento de alternadores por medio de hidrógeno

La introducción de enfriamiento mediante hidrógeno de maquinaria operando a una velocidad de 3 000 RPM, y de una potencia de aproximadamente 60 MW ha modificado la situación y ha hecho posible un progreso acelerado en la potencia específica de salida de alternadores. Esto se debe a las mejores propiedades de enfriamiento por hidrógeno con respecto a la conductividad térmica y el coeficiente de transferencia de calor. Otra ventaja de enfriamiento mediante hidrógeno es la disminución de las pérdidas en los enrollados debido a su baja densidad. Por esta razón en los Estados Unidos de Norteamérica se utiliza enfriamiento mediante hidrógeno en alternadores operando a una velocidad de 3 600 RPM, desde aproximadamente una potencia de 20 MW.

/Disponibilidad de

Disponibilidad de Caldera

La historia del desarrollo del diseño de calderas desde el punto de vista de disponibilidad y el progreso durante los últimos 20 años para mejorar la disponibilidad, es extensa y compleja, y el tema ha sido tratado ampliamente ante instituciones técnicas. Brevemente, parecería que mientras la importancia de la disponibilidad de caldera siempre se ha tenido presente, en tiempos pasados a medida que las potencias de las unidades aumentaban y las condiciones de vapor progresaban, la tendencia natural era la de reducir las inversiones iniciales adoptando altos valores en las cámaras de combustión y las superficies de transferencia de calor. Hasta cierto punto el efecto sobre la disponibilidad fue cegado por el hecho de contar con capacidad de reserva y frecuentemente por lo menos dos calderas por turbina fueron utilizadas. Más tarde, con el desarrollo de sistemas más extensos e interconectados, las consideraciones sobre la capacidad de reserva obligaron a prestar más atención sobre las diferencias entre la disponibilidad de caldera y turbina a vapor. Además, un alto valor de disponibilidad es exigido por la disposición de la unidad moderna.

En este sentido, durante los últimos 20 años se ha logrado un gran adelanto en la disponibilidad de caldera y en base al servicio continuo y el cierre anual para inspección y mantenimiento, el valor de la caldera se acerca a aquel de la turbina a vapor.

El problema más grave con la caldera a vapor nace de suciedad y corrosión causados por los productos de combustión del combustible, siendo el carbón el peor. El diseño para obtener alta disponibilidad se concentra alrededor de la cámara de combustión y el proceso de combustión, y su fin primordial es el de suprimir la volatilización de los componentes en el combustible con características corrosivas y formación de depósitos: disminuir la formación de depósitos sobre las superficies de calentamiento; y la posibilidad de limpiarse fácilmente mientras la caldera está bajo carga.

Pueda controlarse la volatilización de los componentes mediante el sistema de encendido, siendo las condiciones con cargador esparcidor, combustible pulverizado y hornos ciclónicos más favorables que aquéllas provistas con alimentación a cadena o con rejilla movable.

/El problema

El problema de depósitos ha sido resuelto mediante el cambio de las superficies de calor. La cámara de combustión ha sido aumentada en volumen y provista con superficies para absorber el calor radiante en la forma de paredes de agua, a fin de disminuir la temperatura del gas de salida a un valor menor de la fusión y de la temperatura de ablandamiento de la ceniza, con la correspondiente reducción en la superficie de convección. La superficie del tubo de convección y de sobrecalentamiento ha sido colocado a través del flujo de gas para evitar obstrucciones causadas por depósitos. En la actualidad, la superficie de calentamiento mediante convección ha sido eliminada de los diseños modernos de caldera para potencias de aproximadamente 60 MW y superiores.

Las observaciones que preceden se refieren particularmente a las condiciones obtenidas del encendido mediante carbón, pero las calderas encendidas a petróleo tampoco pueden desprenderse de estos problemas, ya que deberá tomarse en cuenta la posible existencia de vanadio, un contenido relativamente alto de sulfuro y otros componentes dañinos. En general, sin embargo, se logra un valor calorífico de salida de las cámaras de combustión más alto utilizando calderas encendidas a petróleo y a carbón.

La demanda de un alto valor de disponibilidad de caldera se logra mediante un diseño más amplio pero a un costo inicial superior.

Unidad Caldera y Turbina

En la actualidad se acepta la disposición de la unidad caldera y turbina para las capacidades más grandes. Su costo inicial es inferior, ya que involucra menor cantidad de calderas pero de capacidad mayor, y se obtiene un ahorro en tubería y válvulas. La disposición de la unidad hace más fácil su operación, pero se calcula que la disponibilidad de la caldera será equivalente a aquella de la planta de turbina.

En sistemas extensos alimentados por varias usinas de generación, la capacidad de reserva se contiene dentro del sistema, pero para sistemas reducidos dependientes de una sola usina, se prefiere una disposición totalmente interconectada para asegurar una flexibilidad adecuada de operación durante acondicionamiento de una caldera o bajo condiciones de emergencia, y con tal disposición, puede operarse conjuntamente cualquier combinación de turbinas, calderas y bombas de alimentación de caldera.

Estandarización

Se ha promovido una mayor estandarización en las potencias de las unidades generadoras y condiciones de vapor que por razones aparentes, beneficiará tanto al operador como al fabricante.

General

Para capacidades de unidades generadoras menos de 60 MW parecería ser que se han registrado pocos cambios en el desarrollo. El nivel término medio de condiciones de vapor tiende a aumentar hacia el nivel económico adecuado según la potencia de la unidad, como así también la temperatura del agua de alimentación que se aumenta por el empleo de calentamiento de agua de alimentación por el sistema regenerativo o extracción de vapor.

LA TURBINA A GAS

En las diversas aplicaciones y con referencia a los costos reducidos de mantenimiento y de instalación, la turbina a gas ha sido establecida como unidad generadora aceptada.

Desgraciadamente, en su forma más simple como máquina de ciclo abierto compuesta de un compresor, cámara de combustión, y turbina, el rendimiento del ciclo es todavía relativamente bajo en comparación con Diesel o planta a vapor con condiciones a vapor avanzadas, y para operación continua, la máquina de ciclo abierto depende de la utilización de un combustible limpio.

Se obtienen ciclos más desarrollados, de los cuales existe un gran número de variantes, utilizando regeneración, recuperación del calor de escape, compoundaje, interenfriamiento, recalentamiento, etc., y de esta manera, se han logrado rendimientos hasta aproximadamente 34 por ciento, y por consiguiente, se comparan con Diesel o planta a vapor. Sin embargo, la ventaja de sencillez, ahorro en espacio y bajo costo inicial, desaparecen cuando se trata de ciclo abierto simple. La Figura 1.2 ilustra diagramáticamente s de los ciclos más sencillez.

Rendimiento

La cantidad de calor que se puede convertir a potencia útil de salida, y por consiguiente, el rendimiento de ciclo, se determina fundamentalmente por la variación de temperatura del combustible entre la entrada a la turbina y la temperatura de los gases de escape a la salida. El límite superior de /temperatura, que

temperatura, que a veces se denomina "T. Max." depende de la disponibilidad de aceros adecuados que pueden someterse a un esfuerzo a temperaturas altas evitando deslizamiento excesivo. El diseño para obtener el máximo varía de acuerdo con las condiciones de operación a enfrentarse, y la vida de operación requerida antes de ser necesario el reemplazo de las aletas, depende del factor tiempo del deslizamiento del acero a temperaturas altas. El "T. Max." permitido también depende del diseño detallado de una máquina determinada, y de las facilidades provistas para enfriamiento interno. La escala normal de "T. Max.", que varía según las condiciones afectando la elección de temperatura para el diseño, es de 600° a 800°C, para turbinas de "vida larga" requerida para la generación de energía eléctrica. El escape o límite inferior de temperatura del ciclo simple abierto se fija por las condiciones atmosféricas y porcentaje de carga.

En la actualidad el rendimiento total máximo recomendado en una máquina de ciclo simple abierto es de aproximadamente 22 por ciento. Aunque frecuentemente se efectúan comparaciones desfavorables con planta a vapor, debe recordarse que este nivel de rendimiento es aproximadamente similar a aquél encontrado con plantas a vapor de potencia reducida, aún de diseño moderno, especialmente donde las temperaturas del agua de enfriamiento son relativamente altas.

Aunque el calor disponible para conversión a energía se limita por las condiciones de temperatura, la razón principal del rendimiento reducido de turbina a gas comparado con vapor o Diesel es la alta proporción de calor disponible que se requiere para compresión. El progreso acelerado de la turbina a gas, en los últimos años, se debe en gran parte a las mejoras en el diseño y rendimiento de compresores, juntamente con la disponibilidad de materiales adecuados resistentes a altas temperaturas.

Regeneración

A fin de reducir aún más la temperatura de escape es posible devolver al ciclo una parte del calor del escape que normalmente se rechaza, resultando en una mejora del rendimiento térmico. Esto se efectúa mediante un cambiador de calor que transfiere el calor del escape al aire de combustión después de compresor, siendo este proceso conocido como regeneración o recuperación.

/Este es

Este constituye la primera etapa hacia la consecución de un ciclo más complejo, pero de mejor rendimiento. El rendimiento máximo que se ha obtenido en un ciclo regenerativo ha sido del orden de 27/28 por ciento.

Disposición de dos ejes con turbina generadora separada

El alternador es accionado por una turbina generadora separada, a una velocidad constante. La turbina compresora puede operarse a velocidades variables según la carga, y por consiguiente, se obtiene una mejora en rendimiento bajo cargas parciales. Esta disposición asimismo permite la elección de velocidad del compresor, de acuerdo a la ilustración en figura No. 20.

Compoundaje

El rendimiento también depende de la relación de presión de compresión, pero por razones mecánicas y aerodinámicas, cuando dicha relación de aproximadamente 6:1 es excedida, es necesario tener el compresor en compound. El compoundaje solo puede ser económico con unidades de potencias mayores operando con factores altos de carga.

Interenfriamiento

Con compresión compuesta, el enfriamiento del aire mediante enfriador de agua entre la primera y segunda etapa de compresor reduce el volumen del aire a ser comprimido en la segunda etapa y por consiguiente, reduce la energía requerida para compresión. Alternativamente, permite un mayor flujo de aire, que con la combustión de combustible adicional, logra una mayor potencia con un ahorro en costos iniciales. Ver figura No. 21.

Turbina de ciclo cerrado

La turbina a gas de ciclo cerrado, en su forma más sencilla, consiste en un calentador de aire en el cual el calor de combustión se transfiere al aire que se utiliza como combustible circulando en un sistema cerrado por el compresor, calentador de aire y turbina. Esta máquina ha sido desarrollada para utilizar combustibles tales como carbón pulverizado, turba y vestigios agrícolas que podrían ensuciar la turbina en un sistema de ciclo abierto.

/Ventajas de

Ventajas de turbina a gas y sus limitaciones

Las ventajas principales de la turbina a gas son las siguientes:

Mecanicamente sencilla.

Simplicidad de proyecto, particularmente en el caso de máquinas de ciclo abierto con o sin regeneración.

Superficie reducida por KW de salida, con el correspondiente ahorro en los costos de construcción.

Cimientos relativamente sencillos.

Bajo costo inicial de la instalación completa.

Las exigencias del personal operador son considerablemente menores que para una planta a vapor, y aún menos en potencias mayores que para una instalación a Diesel. Arranque rápido de frío. La unidad turbina a gas puede arrancarse y ponerse bajo carga dentro de 15/30 minutos, de acuerdo con la potencia.

Mantenimiento sencillo y de bajo costo. De la experiencia obtenida en operación se ha establecido que los costos de mantenimiento son más bajos que para una planta a vapor y más aún, comparados con los de una planta a Diesel. El período fuera de servicio para mantenimiento planeado es de resultado reducido, con la correspondiente alta disponibilidad.

Se puede elegir el ciclo de operación de manera que no se necesitará agua de enfriamiento. En los casos donde se adopta el pre-enfriamiento del aire o en ciclos compuestos con interenfriamiento, los requerimientos de agua son relativamente bajos.

No se requiere mayor energía auxiliar, siendo del orden de 1 por ciento comparado con 5 por ciento o más para planta a vapor.

Las limitaciones de la aplicación de la turbina a gas en el desarrollo actual son regidas por las siguientes consideraciones:

Rendimiento y consumo específico de combustible. El consumo de combustible es más alto que para una máquina a Diesel, pero con un ciclo simple de recuperación, el consumo no diferirá mayormente de aquél obtenido en una planta a vapor de menor rendimiento.

Exceptuando circunstancias especiales, donde combustibles pesados de menor costo pueden ser tratados con aditivos, o es posible establecer una limpieza interna rutinaria, la operación de la turbina a gas se limita a combustibles líquidos de alta pureza o de gas.

/La cantidad

La cantidad de aire que puede pasar por el compresor es proporcional a la densidad del aire. Por consiguiente, la potencia de la turbina a gas de ciclo abierto deberá ser reducida cuando la altura sobre el nivel del mar es aumentada así como también para temperaturas altas de ambiente. Uno de los efectos normales como resultado de la reducción en potencia es aumentar el costo por KW. Bajo condiciones climáticas donde existe una demanda mayor de energía eléctrica en épocas de frío, la limitación de potencia impuesta por temperaturas altas, tal vez será de menor importancia.

Progreso logrado

En 1954 fue registrado que más de 100 turbinas a gas estuvieron en servicio o bajo construcción por fabricantes en los Estados Unidos, Suiza y Gran Bretaña. Se ha logrado considerable progreso desde aquella fecha y se conoce que varios fabricantes en dichos países han construido más de 100 turbinas a gas cada uno. A través de los últimos 20 años muchos miles de horas de experiencia en operación han sido acumuladas. La mayoría de las máquinas en servicio o proyectadas son del tipo de ciclo simple abierto, con o sin regeneración. Una cierta cantidad de unidades de ciclo abierto para operación con carbón pulverizado u otros combustibles sólidos han sido construidos o están bajo pedido.

Una máquina típica, de fabricación británica, por ejemplo, es de ciclo abierto simple, con una potencia de aproximadamente 2 000 KW, operando en un ciclo simple a 15°C. Es el tipo de dos ejes con turbina generadora separada, con cambiador de calor para operación en el ciclo regenerativo.

Las unidades más grandes fabricadas por la misma compañía son dos plantas de 20 MW cada una. Estas máquinas son del tipo compuesto de ciclo abierto, de cuatro ejes, con interenfriamiento, pero sin regeneración. Su fin primordial es de suministrar energía a frecuencia variable para accionar sopladores en un túnel de viento en el Royal Aircraft Establishment, Bedford, Inglaterra. Cuando no se requieren para este fin, estas turbinas a gas están disponibles para servicio en el sistema de suministro de energía eléctrica para abastecer la demanda de pico.

/FACTORES QUE

FACTORES QUE DETERMINAN LA ELECCION DEL TIPO DE PLANTA TERMoeLECTRICA

Teniendo presente las varias faces y características de algunos de los tipos de unidades generadoras térmicas de diseño moderno sobre los cuales se ha tratado precedentemente, su adaptabilidad o limitación con respecto a ciertas aplicaciones ya se sobreentienden, no habiendo necesidad de ampliar la información al respecto. Por consiguiente, sólo resta referirse brevemente a ciertos factores que podrían determinar el tipo de equipo apropiado que reúna las condiciones exigidas por una determinada circunstancia.

Planta a Diesel

Por demandas de carga de energía eléctrica hasta 10 MW el Diesel cuenta con ciertas ventajas especiales, cuando se trata de las primeras etapas de desarrollo. Se puede poner en marcha más rápidamente que con una planta a vapor, y dentro de su grado de capacidad, el costo inicial es más bajo que una usina a vapor equivalente, como así también, cuenta con un rendimiento térmico más alto. Para comparar los costos de planta instalada, estos serían del orden de 140/170 dólares americanos para unidades a Diesel, y 190/220 dólares americanos para máquinas a vapor.

En los casos donde el desarrollo ha comenzado con planta a Diesel, la experiencia ha indicado que el punto óptimo para cambiar a maquinaria a vapor es cuando se justifica económicamente la utilización de unidades a vapor de una potencia mínima de aproximadamente 10 MW., como así también cuando el desarrollo inicial indica que la demanda será de aproximadamente 10 MW. Lo que precede se indica como guía general, aunque existen ejemplos donde el desarrollo con máquinas a vapor comenzando con una potencia de 5 MW, han sido justificables económicamente.

Una ventaja adicional de unidades modernas a Diesel para tales desarrollos iniciales se debe a su movilidad por razón de su relación reducida entre peso y potencia, que facilita su transferencia a otras regiones bajo desarrollo. Para resolver los requerimientos de tales regiones se utilizan unidades móviles especiales que se pueden montar sobre acoplado o sobre una base rígida del tipo patín. Las unidades de potencia hasta aproximadamente 1 000 KW son generalmente totalmente armadas y completas con equipo de arranque, enfriador del tipo radiador a chorro de aire y paneles de control. Tales equipos de generación de energía requieren únicamente cimientos del tipo balsa de

/hormigón liviano,

hormigón liviano, tierra muy firme o bien, lecho duro de pedregullo, y un tipo sencillo de edificio prefabricado de peso liviano. Con frecuencia se retiene la planta a Diesel en reserva para casos de emergencia o para abastecer la energía requerida por la demanda de pico, aún cuando se dispone de potencias mayores obtenidas del desarrollo con planta a vapor o hidro-eléctrica.

Se destaca claramente que existe un campo donde la utilización de la máquina a Diesel es la más indicada. Su rendimiento térmico es efectuado en bajo grado por su potencia y velocidad, dentro de la escala considerada apta para generación de energía eléctrica, y es comparable con aquel valor de rendimiento conseguido con planta a vapor moderna, y en muchos casos es más alto que el valor término medio. Por consiguiente, en las primeras etapas de desarrollo se hace posible la producción de energía eléctrica a tarifas que comparan favorablemente con las fuentes más baratas de suministro de energía.

Con la tendencia en la actualidad hacia la planificación de energía mediante organizaciones nacionales u otras grandes empresas, se espera que no se repetirá la instalación sin discriminación de plantas a Diesel de la potencia reducida por un sinnúmero de organizaciones pequeñas, lo que ha sido una característica del pasado. En la actualidad, estas organizaciones pequeñas representan un problema, cuando se requiere un desarrollo mayor, debido a la falta de estandarización, la impracticabilidad de retenerse, y el costo de eliminar unidades que todavía poseen un alto porcentaje de vida útil.

En una usina eléctrica instalada en Bangkok, Tailandia, se usan 10 grupos electrógenos de 12 cilindros, con sobrealimentación, enfriamiento en aire, de formato en V, operando a una velocidad de 750 RPM, siendo la potencia total instalada de 10.6 MW.

/Generación conjunta

Generación conjunta térmica e hidroeléctrica

En aquellos países que poseen tanto fuentes hidroeléctricas como combustibles propios tales como carbón y petróleo, aunque el desarrollo de fuentes hidroeléctricas formarán la base de los proyectos, la magnitud, la forma y la evolución de tales desarrollos son relacionados económicamente con el costo de generación térmica, con los efectos de las condiciones particulares sobre el costo total y con el mejor aprovechamiento de las fuentes de inversión. Se puede decir que ningún país, a pesar de tener una gran potencia hidroeléctrica complementada por fuentes propias de combustible, ha desarrollado la potencia hidroeléctrica sin el desarrollo térmico. Aun en Suiza donde predomina la fuerza hidráulica, aproximadamente 6 por ciento de la potencia es suministrada por plantas térmicas con combustible importado. Las épocas de sequía o de frío intenso que no son previstas por las estadísticas, pueden perjudicar la dependencia sobre energía hidroeléctrica.

En vista de las diferentes características de los dos tipos de generación, la planta térmica puede cumplir hasta cierto punto una función complementaria del desarrollo y operación de energía hidroeléctrica, y se detallan a continuación algunas de las ventajas de un sistema combinado:

Un aumento en la dependencia del sistema total. La disponibilidad de planta térmica interconectada asegura hasta cierto punto contra la inclemencia de la naturaleza y la vulnerabilidad de líneas extensas de transmisión. Economía del sistema combinado mediante el mejoramiento del rendimiento en operación de la planta térmica, y la reducción en las pérdidas de transmisión. La planta térmica puede instalarse cerca de las regiones de carga, lo que no es normalmente posible con planta hidroeléctrica. En algunos casos podría ser económico proyectar una planta térmica para operar sobre la demanda de pico a fin de reducir la inversión en las líneas de transmisión, debido a consideraciones de factor de carga que no resultan económicos.

Juntamente con una planta de bajo costo utilizando el recorrido del río, la planta térmica puede abastecer la diferencia entre la disponibilidad de energía hidráulica y la demanda de carga, permitiendo así la utilización máxima de agua y aumentando la potencia de salida del sistema. De esta manera la planta térmica cumple una función análoga a la planta de almacenaje.

/Un ahorro

Un ahorro total en inversión, particularmente limitando el desarrollo de energía térmica.

Cuando se utiliza planta a vapor en un sistema combinado, por razones de economía máxima, la planta se opera sobre una carga básica a un alto factor de carga bajo condiciones de carga constantes. Deberá apreciarse que la planta a vapor no es indicada para operar sobre carga de pico, cuya característica es de factor de carga bajo, como así también, por las pérdidas registradas para mantener las calderas encendidas listo para operación.

Sobre sistemas reducidos o en caso donde la potencia térmica requerida a un determinado punto es de aproximadamente 10 MW o menos, es preferible utilizar planta a diesel ya que es más flexible y apto para absorber la carga de pico por razones de mayor rendimiento y de arranque rápido.

Bajo condiciones donde la planta térmica se requiere solamente para la carga de pico o de emergencia, la turbina a gas de ciclo simple se destaca como la más apta, debido a las ventajas ya enumeradas. Con un factor bajo de utilización cuando se aplica a carga de pico o servicio de emergencia, las desventajas principales del consumo de combustible disminuyen en importancia.

Un ejemplo interesante es la usina de Port Mann de la British Columbia Electric Co. que se considera como la usina a turbina a gas más grande del mundo, y es de una potencia de 100 MW compuesta de 4 unidades de ciclo abierto simple, de una potencia de 25 MW cada una. La planta normal del sistema es exclusivamente hidroeléctrica con usinas diseminadas y con líneas extensas de transmisión. Se eligió una planta de turbina a gas debido a su costo de inversión, el número reducido de personal operador, y el ciclo simple que facilita el control a distancia desde el centro de despacho de carga (dentro de 30 minutos). Con un bajo factor de utilización, el rendimiento fue considerado de menor importancia. El combustible utilizado es gas natural con facilidades de operación con petróleo.

El diseño y proyecto de operación de un sistema térmico-hidroeléctrico combinado es complejo, si se quieren lograr resultados óptimos, hecho que es apreciado por los ingenieros que se han ocupado con tales desarrollos.

/Sistema de

Sistema de enfriamiento en seco para planta a vapor

Un nuevo desarrollo en torres de enfriamiento ha hecho posible extender la aplicación de planta a vapor a regiones donde antes no se pudo realizar debido a la falta de agua y aún más, ni se ha podido suministrar un pequeño porcentaje de alimentación requerida por la torre de enfriamiento del tipo evaporador, o donde la escasez impone una limitación en la expansión de planta existente.

El tipo enfriado en aire o (como es conocido en Inglaterra) sistema de condensación en seco, fue puesto en práctica por primera vez por el Prof.L. Heller y por el Sr. L.Forgo, de Budapest, y fue expuesto por estos señores en la Conferencia Mundial de Energía en 1956, que se llevó a cabo en Viena.

Disposición de sistema

Los aspectos principales del sistema pueden resumirse en los siguientes puntos. El vapor de escape de turbina es condensado en contacto directo o mediante condensador a chorro por el agua de circulación luego de haber sido enfriado en los enfriadores en aire. La mezcla de agua de enfriamiento y condensado son extraídos del condensador por la bomba de extracción de agua de circulación al punto de descarga, de donde se obtiene el agua de alimentación de la caldera. El agua de circulación pasa por el circuito de enfriamiento, y luego al aereador del condensador. El sistema es totalmente cerrado y por consiguiente no se requiere agua adicional de alimentación como es el caso con la torre de enfriamiento del tipo evaporador convencional.

Es importante notar que en dicho sistema no debe existir escape de aire al sistema cerrado, debido a su efecto sobre el vacío y el problema de descubrir los escapes. Dicha exigencia se cumple mediante la operación del sistema para mantener la presión sobre toda la instalación, después de la bomba de extracción de la circulación de agua, levemente arriba de la presión atmosférica.

Utilizando una turbina a agua acoplada a la bomba de agua de circulación, para absorber la presión adicional antes del aereador, se establece el equilibrio de la presión arriba indicada con aquél del condensador.

/Enfriadores

Enfriadores

El enfriador del tipo Heller - cuyo diseño está bajo patente - es de interés especial porque de esta unidad depende el éxito logrado con el desarrollo de la torre de enfriamiento en seco. El enfriador se fabrica enteramente de aluminio, es de construcción sencilla y económica, es eficaz y consiste de componentes normalizados.

Las aletas de enfriamiento correspondientes a estos equipos son diseñadas especialmente, y construidas para asegurar un alto factor de transferencia de calor. Las aletas se construyen en forma de cintas de aluminio ranurado y el objeto de dichas cintas es el de evitar la formación de una capa espesa de aire que podría ocurrir a raíz del paso continuo de aire sobre una superficie plana. De esta manera, se mejora la transferencia del calor sin causar una disminución excesiva de presión del aire.

En este tipo de enfriador la marca Helberg, nº 5 el paso de aire es inducido mediante el tiro natural por las columnas de los enfriadores colocadas alrededor de la base de una torre del tipo chimenea convencional. Alternativamente, la torre puede ser del tipo de tiro inducido mecánico con un ventilador en la salida del dispersor. Los factores principales que determinan la elección económica entre tiro natural o mecánico son la potencia del equipo, tipo de interés bancario sobre las inversiones, y el costo de combustible. Para la manutención y como una seguridad contra temperaturas bajas, los enfriadores son divididos en secciones, cada una de las cuales puede ser purgada por gravedad, a un tanque situado en la base de la torre de enfriamiento. Con la torre con tiro mecánico, el ventilador se puede accionar mediante motor de velocidad variable, y se puede accionar a velocidades reducidas durante períodos de cargas parciales, de baja temperatura de ambiente.

Aplicaciones

El sistema de enfriamiento del condensador en seco, se adapta especialmente a aquellas circunstancias donde existe el problema de disponibilidad de una fuente adecuada de agua de enfriamiento, o que el costo de dicho suministro

/no resulta

no resulta económico. Se facilita también la instalación de la usina eligiendo únicamente el sitio más económico con relación al abastecimiento de combustibles y los centros de carga que requiere el servicio. Su actuación es completamente independiente de la humedad atmosférica, mientras que el enfriador del tipo evaporador aumenta en dimensiones y en coste con altos valores de humedad, y por consiguiente, es de importancia, cuando se trata de climas tropicales. Las razones para instalar una torre de enfriamiento en seco, o adoptar otro sistema son principalmente del orden de economía. La British Central Electricity Generating Authority, reconociendo la potencialidad del proyecto, ha investigado el problema y ha colocado una orden por una unidad turbina alternadora de una potencia de 120 MW, utilizando el sistema, con el fin de obtener experiencia sobre una instalación de características standard actuales, en relación a las condiciones de potencia y vapor estipuladas. Esta unidad generadora, que está conectada a una torre de tiro natural, se está instalando al costado de 4 unidades con la misma potencia y condiciones de vapor, pero cada una de ellas conectada a una torre de tiro natural, del tipo evaporador, convencional.

La turbina a gas

La turbina a gas se está estableciendo rápidamente en tres campos principales de aplicación donde sus ventajas sobrepasan las consideraciones de rendimiento térmico. Las ventajas son las siguientes:

Donde se dispone de combustibles sin impurezas y económicos.

Los más comunes de tales combustibles son gas natural, gas residual de refinerías de petróleo, y gas cloacal. Los campos petrolíferos del Medio Oriente y Venezuela y las fuentes de gas natural en Canadá son ejemplos de las zonas donde se han instalado para varios fines un gran número de turbinas a gas, de ciclo abierto. Aparte del uso normal para generación de energía eléctrica, se utilizan las turbinas a gas para accionamiento directo para bombeo, en oleoductos y gasoductos. En zonas desiertas, uno de los factores principales que determina la elección de la turbina a gas ha sido el hecho de que puede prescindir del suministro de agua.

Servicio de emergencia y carga de pico sobre sistemas de energía eléctrica.

Una instalación típica de este tipo existe en British Columbia, como ya se ha mencionado anteriormente. El valor de la turbina a gas para este servicio se reconoce cada vez más en los Estados Unidos de Norte América. El rendimiento, aún con combustibles costosos, es de menor importancia debido al factor bajo de utilización.

Integración con procesos industriales.

Existen grandes posibilidades para la integración económica de la turbina a gas de ciclo abierto con varios procesos industriales, particularmente en las industrias siderúrgicas y químicas, como así también en destilerías de petróleo. La turbina a gas utiliza los gases de escape y al mismo tiempo es capaz de suministrar, donde sea necesario, el calor útil del escape para el proceso de manufactura, para aire comprimido y para fuerza mecánica. De esta manera, se obtiene un alto rendimiento, lo que hace la utilización de una turbina a gas una inversión atractiva.

Ya se han puesto en marcha varias instalaciones integrales con turbina a gas en la industria siderúrgica, principalmente en Francia. La turbina es accionada por los gases provenientes de los altos hornos, y está provista con regeneración. Además el aire proveniente del compresor de la turbina puede suministrar los sopladores de los altos hornos.

Asimismo, existe una instalación en obras cloacales de la Northern Outfall Works de la Municipalidad de Londres. Las turbinas son operadas con gas cloacal de un contenido de aproximadamente 70 por ciento de metano. Tres de las unidades, cada una de una potencia de 750 KW, son utilizadas para generación de energía eléctrica, y las cinco restantes, cada una de 960 BHP, accionan a los sopladores para suministrar el aire para la activación del barro cloacal. Las turbinas a gas son de ciclo abierto, de dos ejes y son provistas con regeneración. El calor del escape se utiliza para el suministro de agua caliente para los tanques de barro cloacal. Se estima que la recuperación del calor del escape mejora el rendimiento térmico de la planta hasta aproximadamente 50 por ciento.

/Operación con

Operación con combustibles residuales

Hasta la fecha no existe una solución terminante del problema de quemar combustibles residuales económicos, problema éste que nace del sedimento y propiedades corrosivas de vanadio, sodio y otras sales a temperaturas arriba de 650°C. Arriba de esta temperatura, se forman costras duras que no se pueden eliminar por medio de lavaje y el pentóxido de vanadio producido es la causa de la corrosión. A temperaturas menores de 600/650°C., la corrosión por vanadio no ocurre normalmente y los sedimentos se disuelven fácilmente con agua.

Existen algunas instalaciones diseñadas o bajo operación utilizando combustibles residuales, pero son relativamente pocas. En algunas instalaciones se agregan aditivos al combustible, y el más común de tales aditivos es el sulfato de magnesio, y estos tienen el poder de modificar la reacción de las sales de vanadio y de sodio, dejándolos inocuos.

El empleo de combustibles residuales con aditivos requiere un proceso adicional a proveerse con la planta para la preparación y tratamiento del combustible. Este proceso involucra equipo adicional como son tanques de almacenaje para combustible crudo y tratado, intercambiadores de calor, centrifugas, tanques asentadores, etc. Queda por comprobarse de la experiencia en servicio hasta que punto resulta económica la utilización de aditivos. En otros casos donde se utilizan combustibles residuales sin aditivos, existen condiciones especiales que hacen posible su empleo, por ejemplo:

Operación a un "T. Max." reducido, donde el rendimiento disminuido resultante puede aceptarse.

Disponibilidad de combustibles residuales o crudos con un bajo contenido de ceniza y vanadio.

Donde el programa de operación de la planta es tal que las máquinas pueden quedar fuera de servicio para su limpieza interna rutinaria o donde el lavaje con agua es factible durante operación.

/CONCLUSION

CONCLUSION

Como alternativa o como complemento a la energía hidroeléctrica, la planta térmica siempre desempeñará un papel importante en cualquier proyecto de desarrollo de energía eléctrica. La posición histórica del vapor y su adaptabilidad a la generación de energía en gran escala es bien conocida y no hace falta extenderse en este punto. Por consiguiente, el Autor ha tratado de guiar la atención hacia algunos campos marginales, en los cuales el motor Diesel, particularmente en las primeras etapas de un proyecto, y la turbina a gas, poseen ventajas inherentes que merecen consideración especial.

Mientras que la tendencia del rendimiento térmico total se inclina hacia 40 por ciento para las unidades a vapor de las capacidades más grandes, ya entrando en servicio o proyectadas, utilizando temperaturas y presiones altas de vapor y con recalentamiento, no se puede esperar un progreso tan espectacular con plantas a vapor de potencia reducida. Los rendimientos térmicos totales obtenibles económicamente con los ciclos regenerativos convencionales continuarán siendo limitados por las condiciones de vapor más moderadas, de acuerdo con la potencia de la unidad.

La turbina a gas sin duda progresará en muchos campos de aplicación en el futuro. Lo que está sucediendo en el desarrollo de turbina a gas y su correspondiente aplicación en la actualidad es tal vez análogo a aquél de la planta a vapor en épocas entre 40 y 20 años atrás.

Se espera que este breve informe general sobre la etapa de desarrollo actual del motor Diesel, unidad generadora a vapor y la turbina a gas, resulte de utilidad para recomendar su adaptabilidad a sus correspondientes campos de aplicación.

RECONOCIMIENTOS

El Autor agradece a The English Electric Co. Ltd. el permiso concedido para presentar este informe.

Nota: Las fotografías y dibujos que originalmente contenía este informe no han podido reproducirse por dificultades técnicas, pero se encuentran a disposición de los participantes en la Secretaría.

