

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.5.4
22 de junio de 1961

ORIGINAL: ESPAÑOL

CATALOGADO

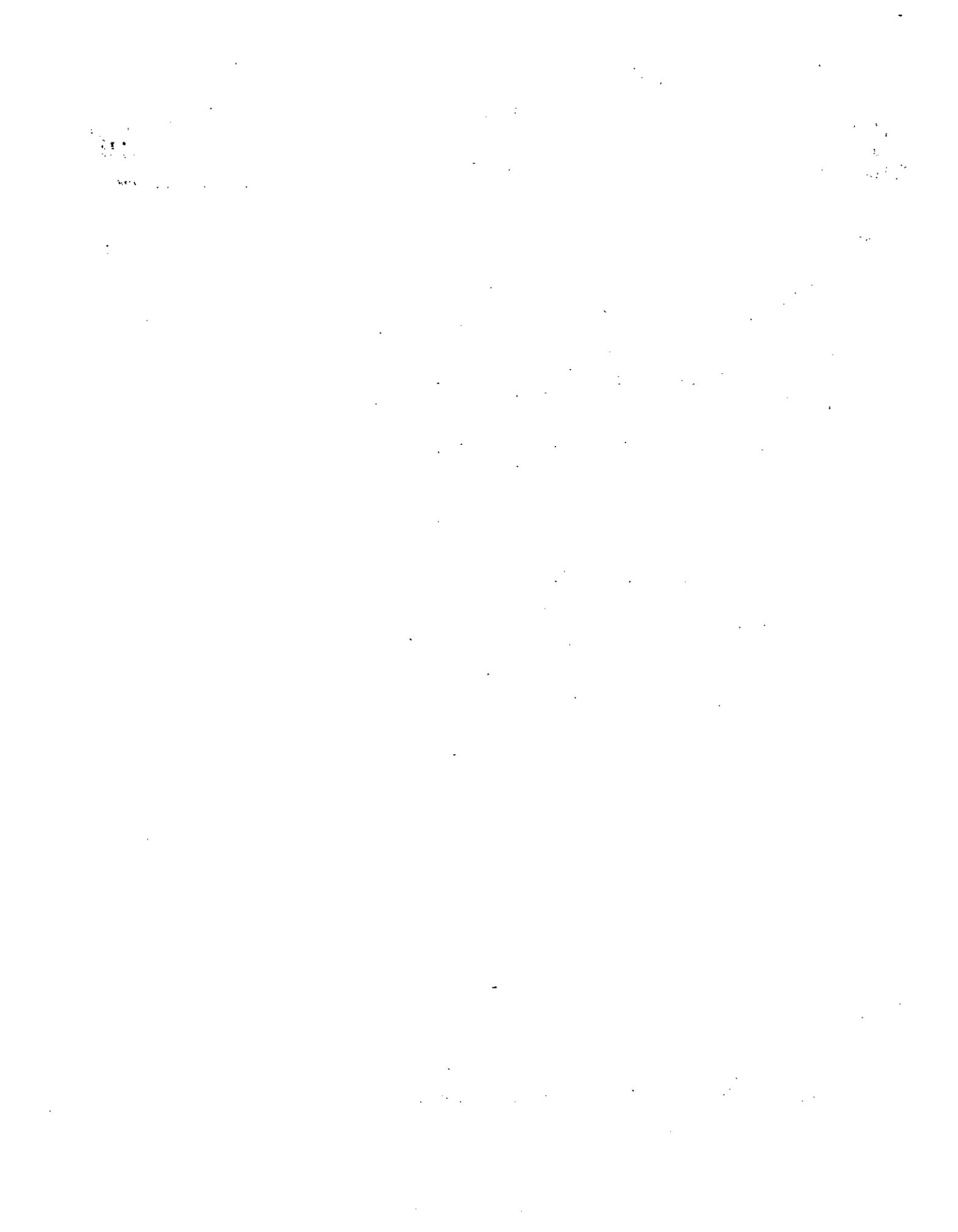
SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

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

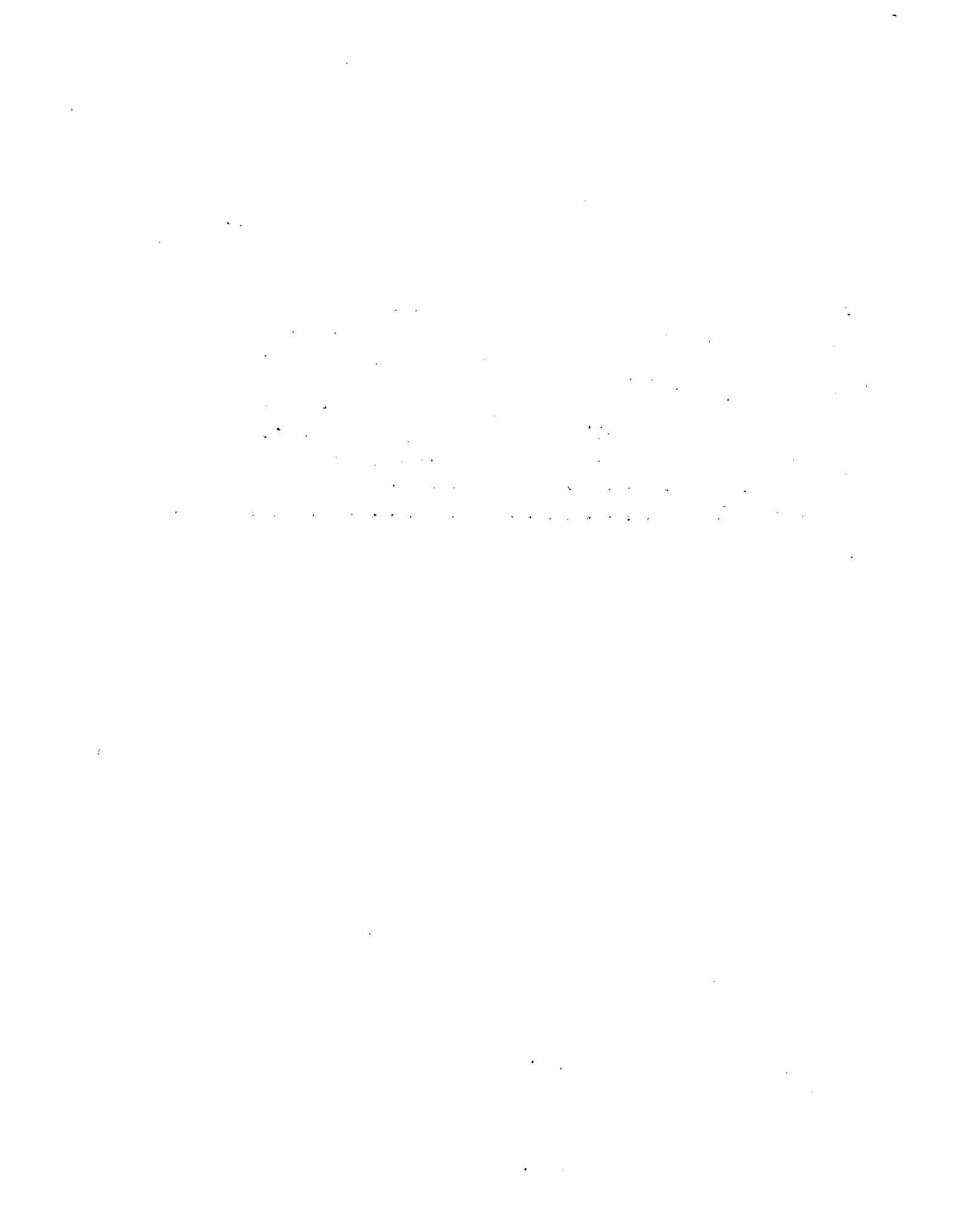
**UTILIZACION DE LOS GASES DE ESCAPE DE LAS
TURBINAS A GAS EN LA INDUSTRIA**
por Eduardo de Mária y Campos

NOTA: Este texto será revisado editorialmente.



INDICE

	<u>Páginas</u>
1. La turbina a gas en la actualidad	3
2. Conveniencia de la utilización de los gases de escape en la industria	3
3. Mejoría del rendimiento de los turbogrupos a gas con la utilización de los gases de escape	5
4. Límite de la utilización de los gases de escape	6
5. Ejemplos de utilización de gases de escape de turbinas a gas	7
6. Conclusión	11



1. La turbina a gas en la actualidad

Hace ya más de veinte años que la primera turbina a gas entró en operación, dándose así el primer paso con marcado éxito a la producción de energía eléctrica y a la aplicación en otros usos industriales de este novedoso tipo de motor primario, que entre ciertos rangos de potencia o condiciones especiales compete ventajosamente con turbinas a vapor y máquinas de movimiento alternativo.

La mayoría de las turbinas a gas son de ciclo abierto debido a su simplicidad, seguro funcionamiento, dimensiones y peso reducido, habiendo sido diseñada para un servicio pesado o para cubrir cargas pico, pudiendo ser arrancada consecutivamente, siempre en un tiempo menor a 20 minutos.

Los fabricantes de turbinas a gas se han preocupado ya desde hace bastante tiempo, de la utilización de los gases de escape de la turbina, con el objeto de aumentar el rendimiento termodinámico del grupo (cambiadores de calor) como para la producción de vapor para usos industriales, recuperando así una parte muy importante de los millones de kcal que se desperdician en los gases de escape.

La recuperación del calor de escape de las máquinas térmicas, que presentan múltiples aspectos, plantean numerosos problemas que deben ser considerados meticulosamente y que obligan en muchos casos a soluciones especiales, tanto desde el punto de vista técnico como el económico.

2. Conveniencia de la utilización de los gases de escape en la industria

La industria por sus necesidades propias necesita disminuir hasta el máximo posible, el costo de la energía que emplea y en este terreno se distingue aquella en la que se obtienen gases combustibles como sub-producto, y que pueden ser quemados en la cámara de combustión de una turbina a gas, reduciéndose así el costo de la energía de un modo muy considerable, como es el caso de la industria siderúrgica. Otras industrias sin embargo, han buscado la reducción del costo de la energía eléctrica que requieren para sus usos

/particulares, expandiendo

particulares, expandiendo vapor de proceso en una turbina desde una temperatura y presión apropiadas, hasta la presión requerida en la Fábrica. Este sistema muy ampliamente utilizado reporta grandes beneficios.

La turbina a gas proporciona energía en los gases de escape que pueden ser utilizados también en la industria, recuperándose una gran parte de ésta, con el objeto de disminuir costos de producción, o el costo de la energía eléctrica que consume.

La mayoría de las turbinas a gas operan a baja temperatura y producen un volumen de gases de escape muy considerable y constante, cuya temperatura varía de acuerdo con el porcentaje de carga al que trabaja el turbogruppo. Si bien ésta es del orden de 350°C debido a la baja temperatura de éstos a la entrada a la turbina (normalmente 650°C), así como al elevado rendimiento politrópico que se ha alcanzado en las mencionadas turbinas durante la expansión de los gases, en cambio el volumen de gases de que se dispone a la salida es tan considerable, que convenientemente utilizados resultan de gran valor para la industria.

A continuación se da una idea de la cantidad de gases disponibles en distintos tipos de turbinas.

Potencia de la turbina (kW)	Volumen de gases de escape a la presión atmosférica (m ³ /hora)	Equivalente aproximado en combustible (kg/hora) a/	Temperatura de los gases (°C)
4 000	187 000	1 640	320
6 200	245 000	2 280	350
11 000	486 000	3 770	310
22 000	486 000	3 700	300

a/ Como comparación se ha tomado un combustible con poder calorífico de 10'000 kcal/kg.

Estos volúmenes son especialmente valiosos en calderas de recuperación y pueden ser utilizados los gases de dos modos:

/a) En la

- a) En la generación directa de vapor de baja presión y saturado, que tiene una infinidad de aplicaciones en la industria como vapor de proceso (industria textil del papel, alimentos, etc.)
- b) Como gases de combustión para calderas de gran capacidad y hornos en los que se requiere gran volumen de aire de combustión.
- c) En cambiadores de calor, ya sea para precalentar aire u otros gases, o bien procesos de deshidratación o deshumidificación.

Para el primer caso y debido a que en una turbina dada, la temperatura de los gases de escape disminuye con la potencia, si se requiere una producción de vapor constante, la presión y temperatura de éste no deberá sobrepasar un valor determinado y que será limitado por la potencia mínima requerida en la turbina. Si las condiciones del vapor requerido son elevadas y no deban depender de la carga variable de la turbina, se requiere entonces la adición de quemadores en la caldera de recuperación y el consumo extra de combustible para compensar la eventual disminución de la temperatura de los gases de escape.

3. Mejoría del rendimiento de los turbogrupos a gas con la utilización de los gases de escape

Cuando se compara la turbina a gas con otros motores primarios tales como la turbina de vapor y el motor diesel, se encuentra que dentro de cierta escala de capacidad los supera en los aspectos muy importantes de más bajo costo de adquisición, montaje, gastos de operación y mantenimiento (corto tiempo de arranque desde frío hasta plena carga), quedando únicamente abajo en lo que respecta al rendimiento. En ciertos usos sin embargo, la turbina a gas resulta insustituible y es en aquellos en que el agua escasea o no se puede disponer de ella en lo absoluto, no teniendo entonces la eficiencia una importancia primordial.

Se ha logrado incrementar la eficiencia de la turbina a gas por medio de la utilización de los gases de escape ya sea por medio de un inter-cambiador de calor o recuperador, ahorrándose por este medio una considerable cantidad de combustible al elevarse la temperatura del aire que sale del compresor, sin embargo este procedimiento es sólo aconsejable en aquellos lugares donde el combustible es caro, ya que el inter-cambiador de calor alcanza un valor muy considerable.

/La eficiencia

La eficiencia puede también aumentarse, produciendo vapor por medio de una caldera de recuperación, vapor que es expandido en una turbina de condensación alcanzándose entonces rendimientos termodinámicos hasta de 38 por ciento (proceso normal sobrecargado), contra el de aproximadamente 24 por ciento que se obtiene sin la utilización de los gases de escape en el ciclo abierto. Esto considerando para los gases de escape una temperatura no mayor de 370°C.

4. Límite de la utilización de los gases de escape

Los combustibles más ampliamente utilizados para las turbinas a gas estacionarias son principalmente derivados del petróleo, gas de alto horno y gas natural. Como derivados prácticos se quema el petróleo residual y el diesel oil. Estos dos combustibles líquidos son fácilmente atomizables en una cámara de combustión y el único requisito importante para ello es que deben tener una viscosidad apropiada.

El precio bajo del petróleo residual lo hace especialmente atractivo, pero normalmente requiere un cuidadoso control para no exceder los límites de contenido de pentóxido de vanadio (2 000 partes por millón en cenizas), el contenido de sodio en donde se prefiere menos de 10 partes por millón, que el contenido total de cenizas no exceder 300 partes por millón y como máximo contenido de azufre 3.5 por ciento.

De los combustibles gaseosos tienen particular importancia el gas natural por su elevado poder calorífico en comparación del que se obtiene con el del gas de alto horno. Ambos gases tienen mejor eficiencia de combustión que los combustibles líquidos.

De los combustibles mencionados una vez que han sido utilizados en la turbina para transformar parte de la energía térmica en mecánica, se obtiene como gases de escape una mezcla de bióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), cenizas y bióxido de azufre (SO_2), el cual en combinación con el vapor de agua forma ácido sulfúrico.

En combustibles conteniendo 3.5 por ciento de azufre que es el máximo permitido para turbinas a gas, el punto de rocío ácido de los gases es de aproximadamente 140°C, o sea que esta temperatura limita el enfriamiento de los gases que se pretenden utilizar en un equipo de recuperación. Una menor

/temperatura en

temperatura en los gases acarrearía serios problemas y aumentaría muy considerablemente los gastos de mantenimiento.

Por lo que toca a los combustibles gaseosos tales como el gas natural y gas de alto horno, la temperatura mínima puede ser menor especialmente en lo que toca al gas natural, el cual está exento de componentes corrosivos y no contiene azufre. El valor comercial de los gases de escape aumenta entonces al poderse extraer mayor cantidad de calor.

La utilización de los gases de escape estará ligada en última instancia a la opinión y experiencia de las casas constructoras de cambiadores de calor, calderas de recuperación y cualquier otro tipo de equipo en el que se puedan emplear gases de escape.

Resumiendo los conceptos anteriores y previo análisis particular de cada combustible por emplearse, el límite inferior de la temperatura de los gases de escape es función de sus componentes. Para combustibles conteniendo hasta 3.5 por ciento de azufre y que van a ser quemados en la cámara de combustión de una turbina a gas podrán enfriarse hasta una temperatura de aproximadamente 160°C, para combustibles gaseosos limpios, exentos de azufre podrán ser enfriados a temperaturas inferiores dependiendo esto de las condiciones de la instalación.

5. Ejemplos de utilización de gases de escape de turbinas a gas

La creciente demanda de energía eléctrica para la industria, obliga tanto al industrial como a las casas constructoras de turbogrupos a gas a poner especial atención en las numerosas alternativas que se pueden presentar en el empleo de los gases de escape de estas máquinas, en aquellos casos en que se justifique el empleo de las mismas, siendo entonces necesario hacer un análisis particular de cada caso así como de las condiciones y límites de utilización de los gases, como ya se ha apuntado en los párrafos anteriores.

Desde el punto de vista económico, deben considerarse

- a) Tipos de combustible disponibles
- b) Costo del combustible
- c) Costos de instalación
- d) Costos de mantenimiento y operación
- e) Condiciones en que va a operar la planta

/Para el

Para el industrial es de particular importancia obtener los mayores beneficios con el mínimo de inversión y en muchos casos se puede encontrar la mejor solución de los problemas de generación de energía eléctrica y producción de vapor a bajo costo, con inversión inicial pequeña empleando la turbina a gas y calderas de recuperación, debiéndose considerar entonces los puntos de vista económicos arriba mencionados.

Por lo que respecta al punto a), los tipos de combustible ya mencionados en el párrafo 4, en México ocupa el primer lugar desde el punto de vista de combustión el gas natural, después el diesel oil y por último el petróleo residual; por lo tanto en todas las regiones del país donde se puede obtener gas natural es factible utilizar la turbina a gas en forma ventajosa sobre cualquier otro tipo de máquina térmica, debido al bajo costo de combustible y a las particulares condiciones de limpieza y elevado poder calorífico. Los gases de escape tienen un mayor rango de utilización que con el petróleo residual.

Considerando ahora los puntos c) y d), como ya se dijo, la turbina a gas se distingue por sus menores costos de instalación con respecto a otras máquinas térmicas y con la utilización de los gases de escape, esos costos no aumentan en forma antieconómica, estando este aumento en función del ciclo de recuperación por instalarse, el cual puede consistir desde la sencilla caldera instalada directamente en la chimenea de la turbina para producir vapor saturado de baja presión y que representa apenas el 15 por ciento del costo del turbogrupa a gas, hasta los complicados ciclos como la Planta de Korneuburg, Austria, para generación de energía eléctrica, o la producción de vapor para calefacción de edificios como la planta de Vahr en Bremen, o la utilización de gases de escape de la turbina para fábricas de cemento y al mismo tiempo los gases del horno rotatorio en la turbina a gas.

Para el primer caso o sea produciendo vapor de baja presión saturado, por medio de caldera instalada directamente en la chimenea de la turbina, ésta puede generar 0,063 kg vapor/kg gas/segundo (vapor saturado de 3,8 kg/cm² abs). En estas condiciones con los gases de escape una turbina a gas de 3 000 kW (potencia nominal a 20°C de temperatura ambiente y 1 ata en la aspiración) puede suministrar 9 100 kg de vapor/hora a una fábrica de papel. Este caso, que puede tomarse como uno de los ejemplos más sencillos de la utilización de los gases de escape, encuentra múltiples aplicaciones en aquellas industrias

/que requieren

que requieren vapor de calefacción a baja presión y que cuentan como combustible el gas natural a bajo precio. En un análisis general de este ejemplo, puede verse que se obtienen costos para el kWh muy convenientes para algunas industrias, debido a las ventajas particulares que presenta una instalación de turbina a gas como son: bajos costos de instalación, mantenimiento y operación, espacio reducido para el turbo-grupo y la caldera de recuperación (que se instala directamente sobre la chimenea), con lo cual el sistema turbina a gas-caldera de recuperación compite favorablemente.

En el segundo caso -planta de Korneuburg- tenemos que en una turbina a gas generando 30 MW (a 0°C de temperatura ambiente y 1 ata en la aspiración), en la cual se obtienen 175 Kg de gases de combustión a 310°C, éstos pueden emplearse en dos calderas de recuperación las cuales queman combustible adicional para generar 100 toneladas de vapor de 14 ata y 440°C que al ser expandido en una turbina de vapor hasta un vacío de 0.02 ata puede generar 27.72 MW.

En el tercer ejemplo -planta de Vahr- se tiene primero el precalentamiento del agua por medio del interenfriador de los compresores (utilizando en este caso una turbina de dos flechas, con dos cámaras de combustión), un cambiador de calor en el cual los gases de escape entran a 293°C y salen a 180°C (133 Nm³/seg). En este cambiador de calor la temperatura del agua se eleva de 60°C a 130°C. Debido a las variaciones de carga, la temperatura de los gases desciende y siendo necesario mantener el agua para la calefacción de edificios a 130°C, se emplean cinco calderas adicionales que funcionan en circuito cerrado; tres de ellas tienen quemadores de petróleo y dos son eléctricas. Este circuito cerrado cede su calor en los cambiadores.

A continuación se indican las características del cambiador de calor y de las calderas adicionales.

Cambiador de calor

Capacidad	17.2 Gcal/hora
Cantidad de agua	310 t/hora
Volumen de gases utilizados	133 Nm ³ /segundo
Temperatura de los gases de entrada	293°C
Temperatura de los gases de salida	180°C

/Calderas adicionales

Calderas adicionales

Presión de servicio	8 kg/cm ² (hombre)
Evaporación normal (cada caldera)	5.4×10^6 kcal/hora
Evaporación máxima	6.1×10^6 kcal/hora
Combustible empleado	Bunker C
Poder calorífico del combustible	9 600 kcal/kg

En el último ejemplo citado - utilización de los gases de escape en la industria del cemento - se puede obtener una importante doble recuperación de calor por parte del horno rotatorio y de los gases de escape de la turbina.

Los gases calientes provenientes del horno, abandonan éste a una temperatura de 750°C, pasando enseguida a un separador de polvo, y de allí continúan a un cambiador de calor en donde su temperatura se abate de 650°C hasta 250°C teniéndose para esto que instalar un ventilador de tiro inducido para vencer las pérdidas de presión del gas al pasar por el cambiador de calor.

En el ciclo de la turbina a gas propiamente dicho, se admite aire a la presión atmosférica en un compresor rotativo de flujo axial, obteniéndose una temperatura final para el aire de aproximadamente 190°C. Este aire pasa al cambiador de calor, incrementando su temperatura desde 190°C hasta 550°C, utilizando así el calor que proviene de los gases del horno rotatorio. Enseguida el aire es llevado a la cámara de combustión, donde el aire alcanza una temperatura de 650°C. De aquí continúan ahora los gases como en el ciclo normal abierto a la turbina a gas, donde son expandidos hasta la presión atmosférica, o la contrapresión de utilización que resulta al ser utilizados como aire de combustión en el horno rotatorio.

Las ventajas inmediatas que reporta la utilización de los gases del horno rotatorio para precalentar el aire antes de la cámara de combustión, estriba en reducir el consumo de combustible de ésta a 35 por ciento del consumo a plena carga. La turbina a su vez es capaz de ahorrar 12.2×10^6 kcal/hr al proceso del horno rotatorio. Se encuentra como desventaja la construcción del cambiador de calor para la utilización de los gases del horno, debido al alto contenido de polvo de éstos; sin embargo a este respecto se han hecho ya notables progresos con sistemas sencillos de eliminación de polvo.

/6. Conclusión

6. Conclusión

Otras muchas aplicaciones pueden encontrarse para el aprovechamiento de los gases de escape de las turbinas a gas. En algunos casos se buscará mejorar el rendimiento termodinámico de la turbina cuando se tenga un elevado costo de combustible; en otros se buscará disminuir el costo de la energía eléctrica, generada por medio de la producción de vapor como subproducto; en algunos más, por medio de cambiadores de calor se cederá energía para gran diversidad de industrias, o se utilizarán los gases de escape en los procesos de combustión de hornos, calderas, etc.

En síntesis, el campo para la utilización de los gases de escape, es todavía muy amplio y prometedor.

