

8082139
Sistemas de Generación Distribuida

TEMA 2.2

Turbinas de Combustión

Prof. Francisco M. Gonzalez-Longatt

fglongatt@ieee.org

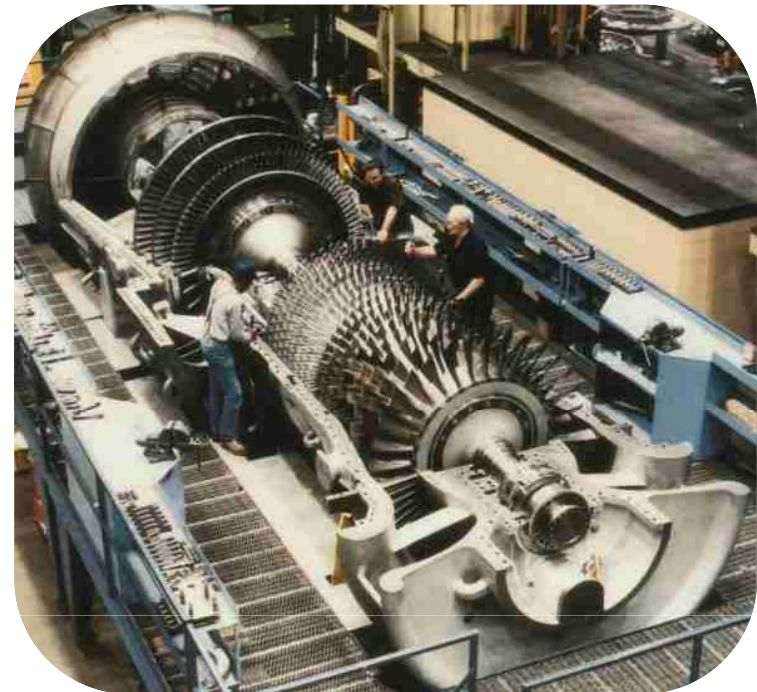
<http://www.giaelec.org/fglongatt/SistGD.html>

8082139
Sistemas de Generación Distribuida

Turbinas de Combustión

Introducción

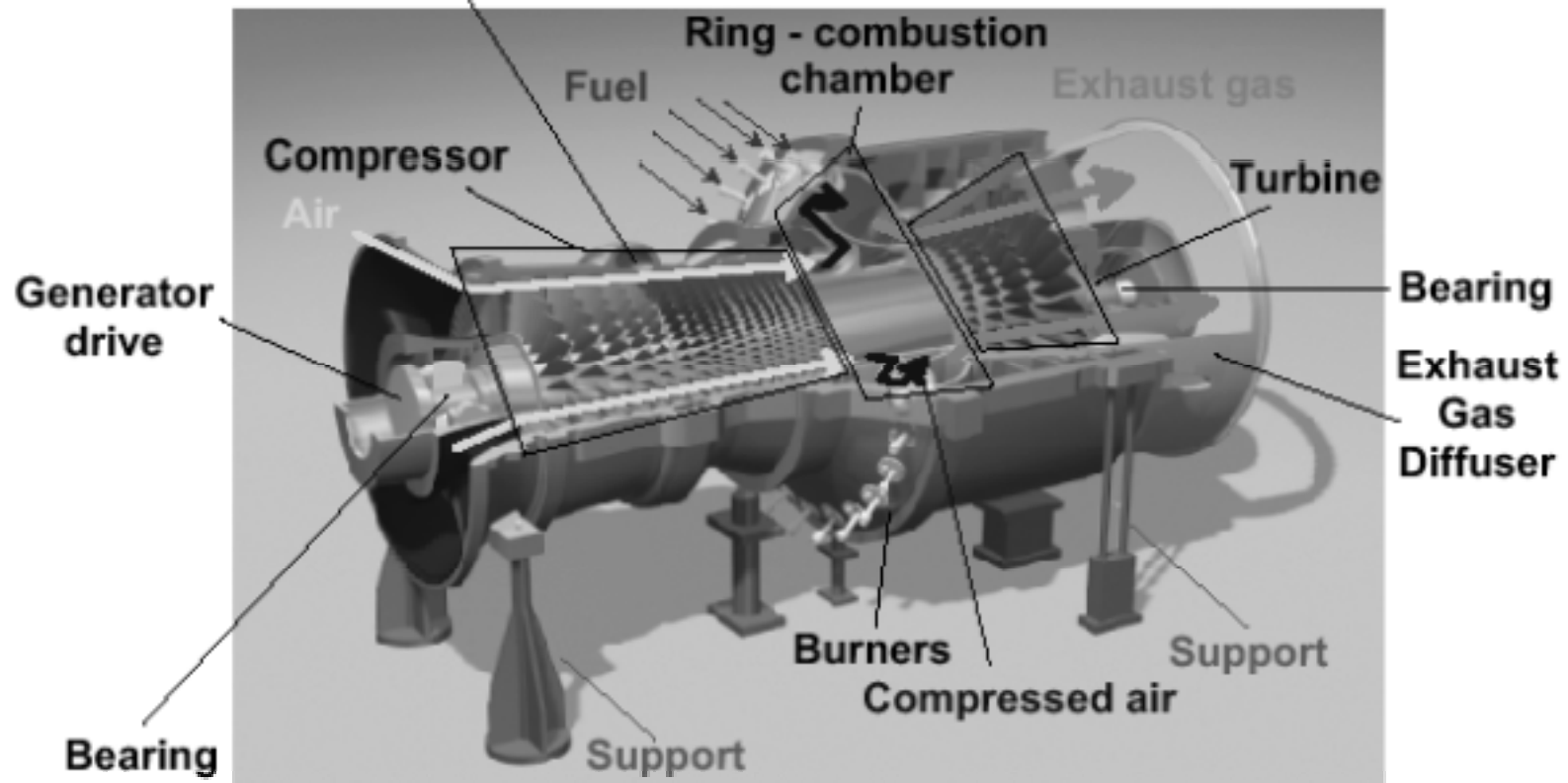
- Turbinas de combustión que queman gas natural son las *ampliamente adoptadas campo fuente primaria para la generación de electricidad.*
- En el año 2000, mas de 4000 unidades fueron ordenas y vendidas.



Ciclo Brayton

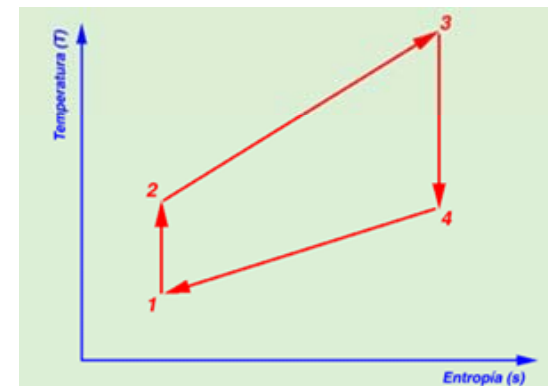
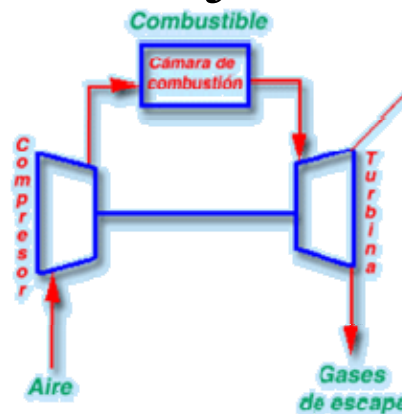
- Estructura de una turbina a gas

Annular space for connection
to blow-off line.



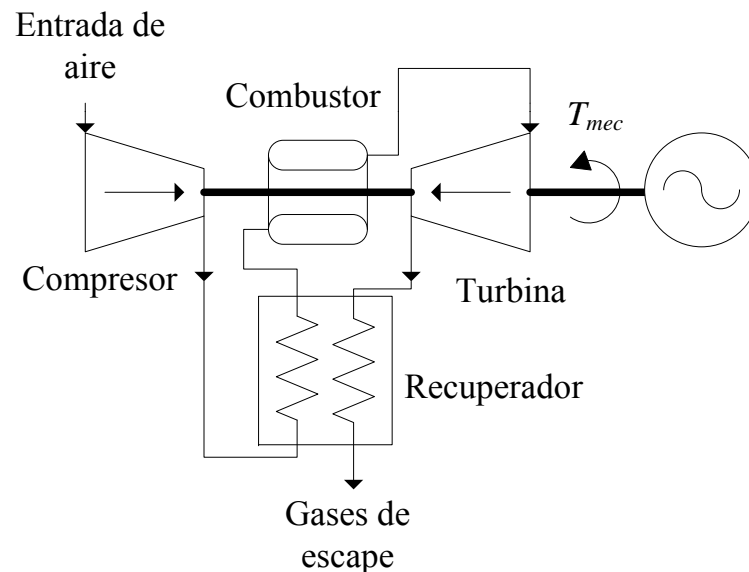
Ciclo Clásico

- La turbina de combustión, también denominada turbina de gas (GT), es un motor que utiliza el flujo de un gas como medio de trabajo, para *convertir energía térmica en energía mecánica*.
- El gas se produce en el motor como resultado de la *combustión de determinadas sustancias*.
- El funcionamiento es bajo el denominado *Ciclo Brayton*.



Turbina a Gas

- Una turbina de combustión de *ciclo simple*, incluye *un compresor que bombea aire comprimido a la cámara de combustión.*



- Las máquinas grandes emplean compresores y turbinas de flujo axial con varias etapas.

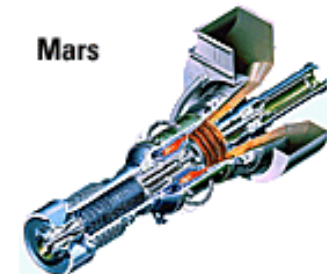
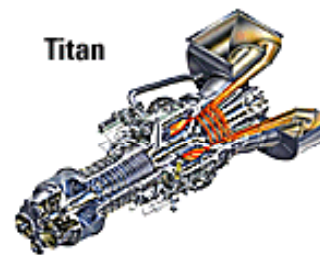
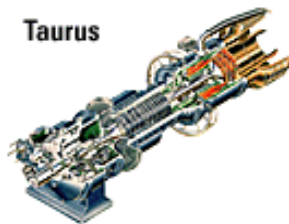
Beneficio de la Turbina a Gas

- *Comparativamente bajos costos de instalación por MW de salida.*
- Incrementa la disponibilidad de gas natural como contratos de bajo precio fijo.
- *Incremento en la demanda para aplicación de capacidad pico en mercados combinados.*
- *La mas alta eficiencia en turbinas aeroregenartivas.*
- La posibilidad de ubicar e instalar unidades de 1.7 a 40 MW (o mas grandes) e semanas o meses, no anos.

Compresión

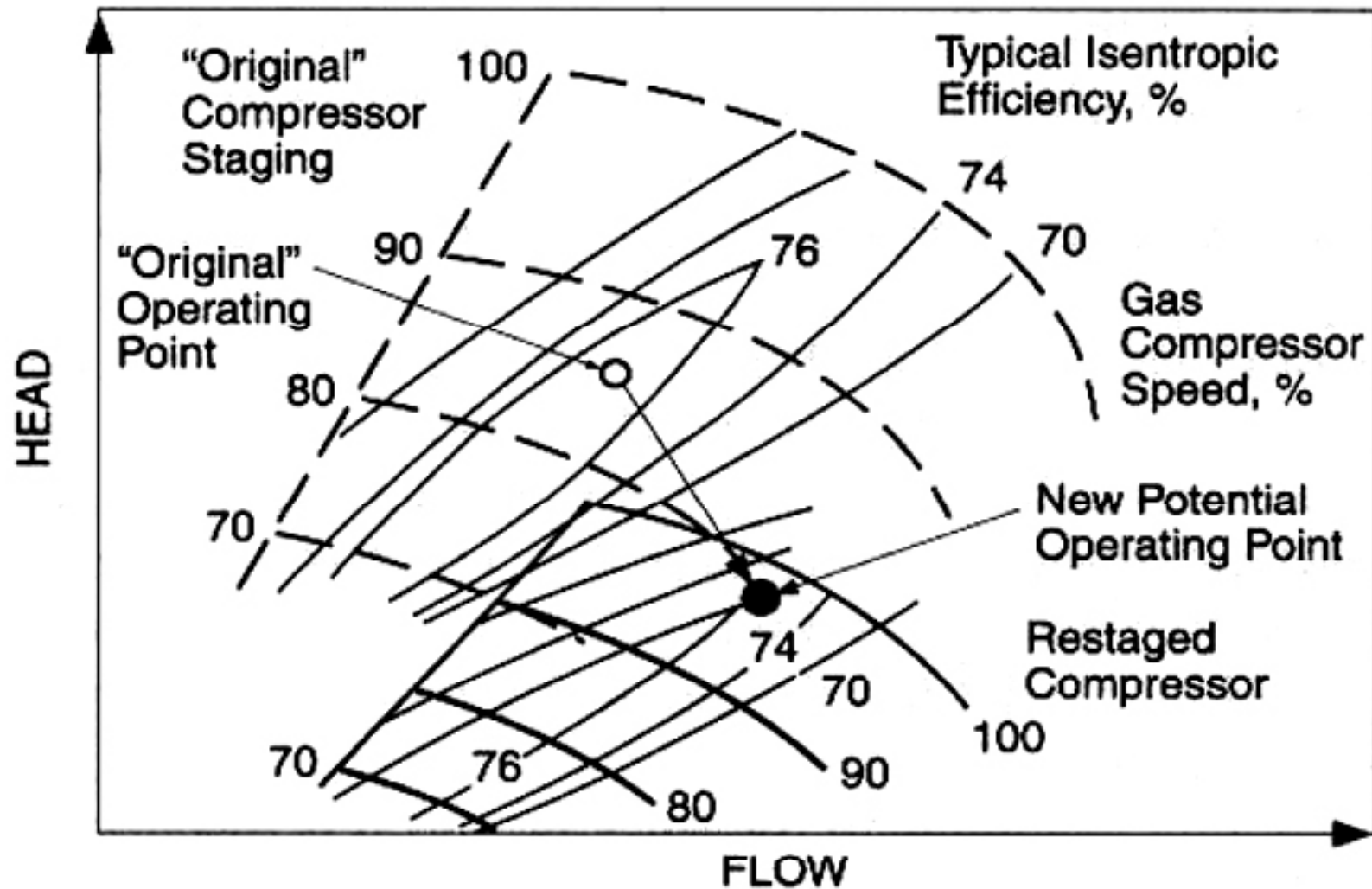
- Aunque algunos diseños de compresores están disponibles, la mayoría de las GT utilizan diseño *multi-etapas axiales*.
- Producen *mas alta relación de compresión, que los diseños centrífugos*.

Turbinas a gas de la Marca Solar: Taurus (5-8 MW), Mars (9 a 11 MW), Titan (14.5 MW)

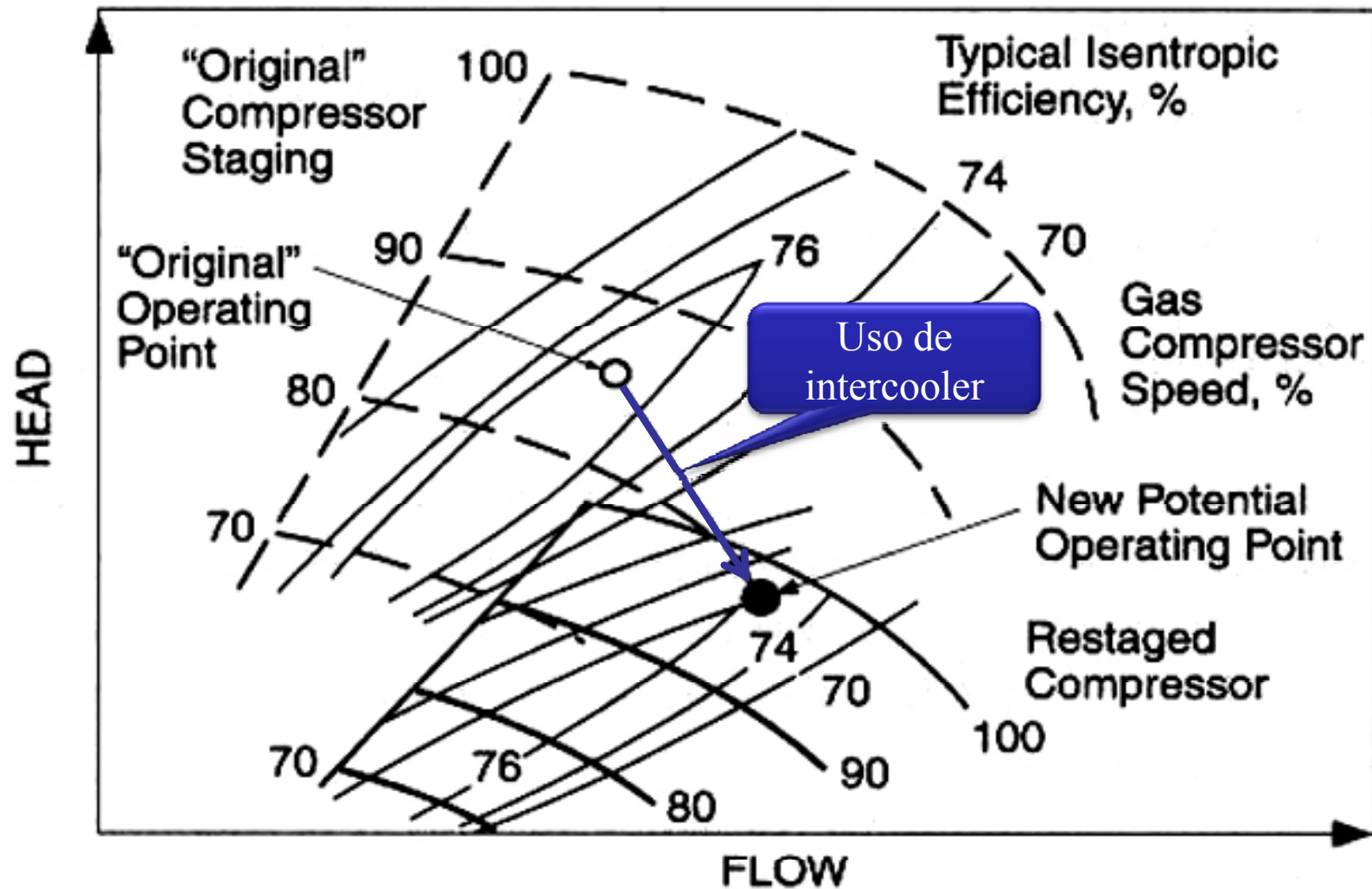


http://www.cat.com/products/solar_turbines

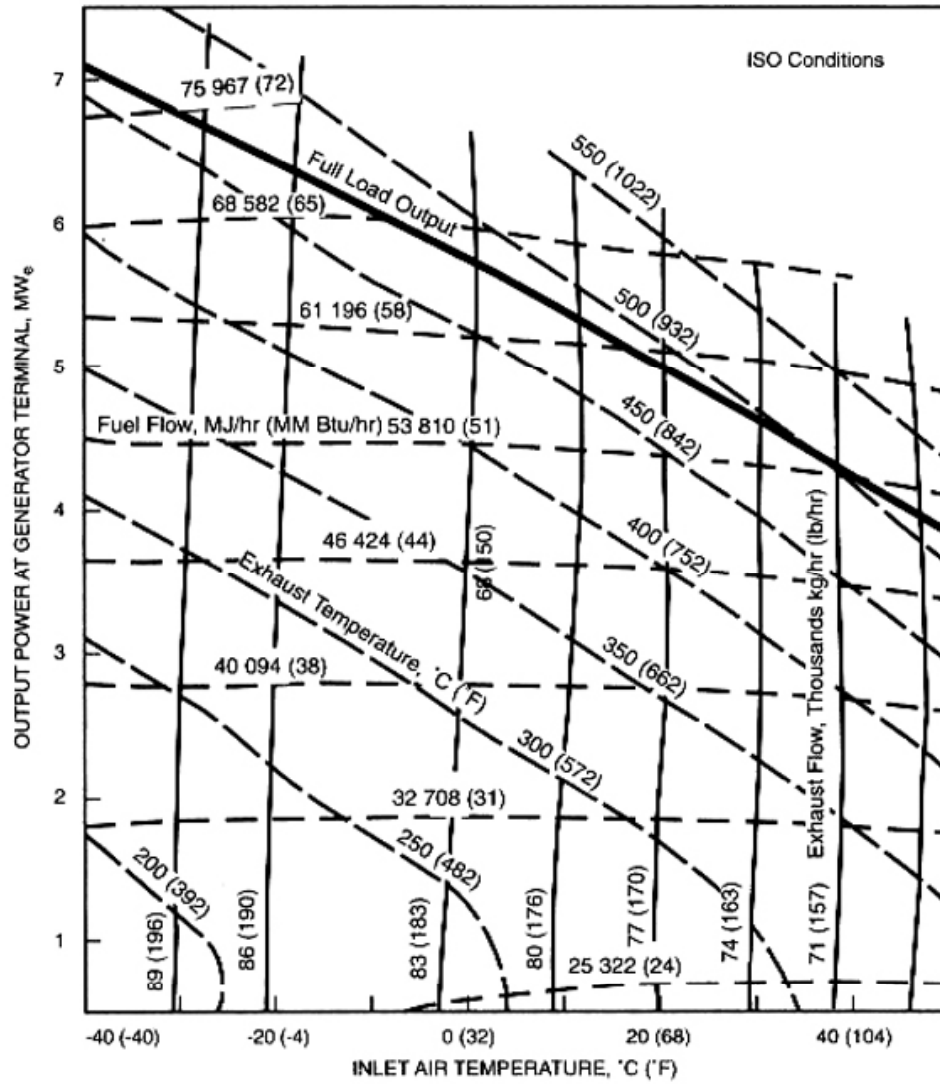
Eficiencia de un Compresor a Gas



Eficiencia de un Compresor a Gas



Producción de Potencia



Mapa de Eficiencia para turbina a gas industrial

Ciclo Brayton Recuperado

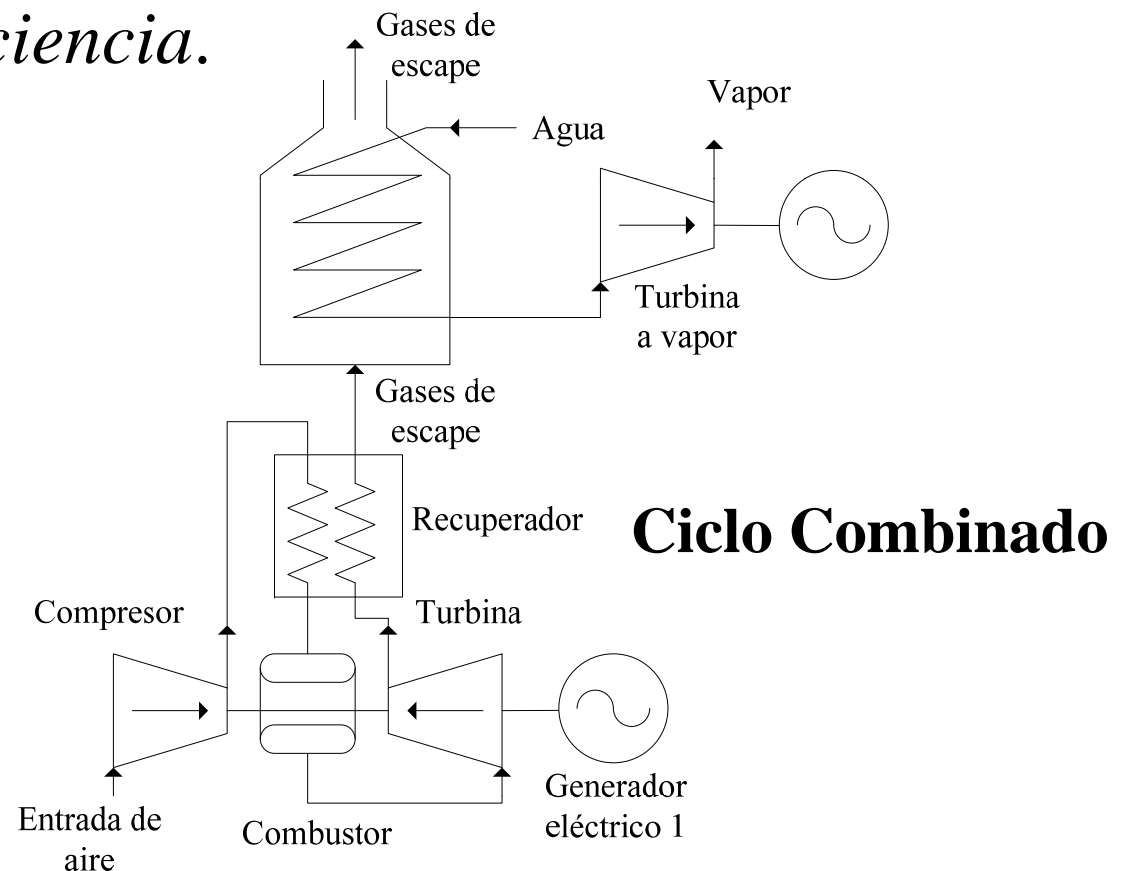
- *El recuperador, aumenta la eficiencia* de las turbinas de combustión, al utilizar el calor de los gases de escape para precalentar el aire comprimido antes de que éste entre a la cámara de combustión.
- El principal obstáculo en el uso de turbinas recuperadas, está en *el tamaño y en el costo del recuperador*.

Ciclo Brayton Recuperado

- Los recuperadores contribuyen a las pérdidas de presión (relación más baja de presión a la entrada de la turbina),
- Un recuperador de 90% de eficiencia puede causar tan sólo una pérdida de presión del 2% en la entrada y hasta un 4% en los gases de salida

Ciclo de GT Modificado

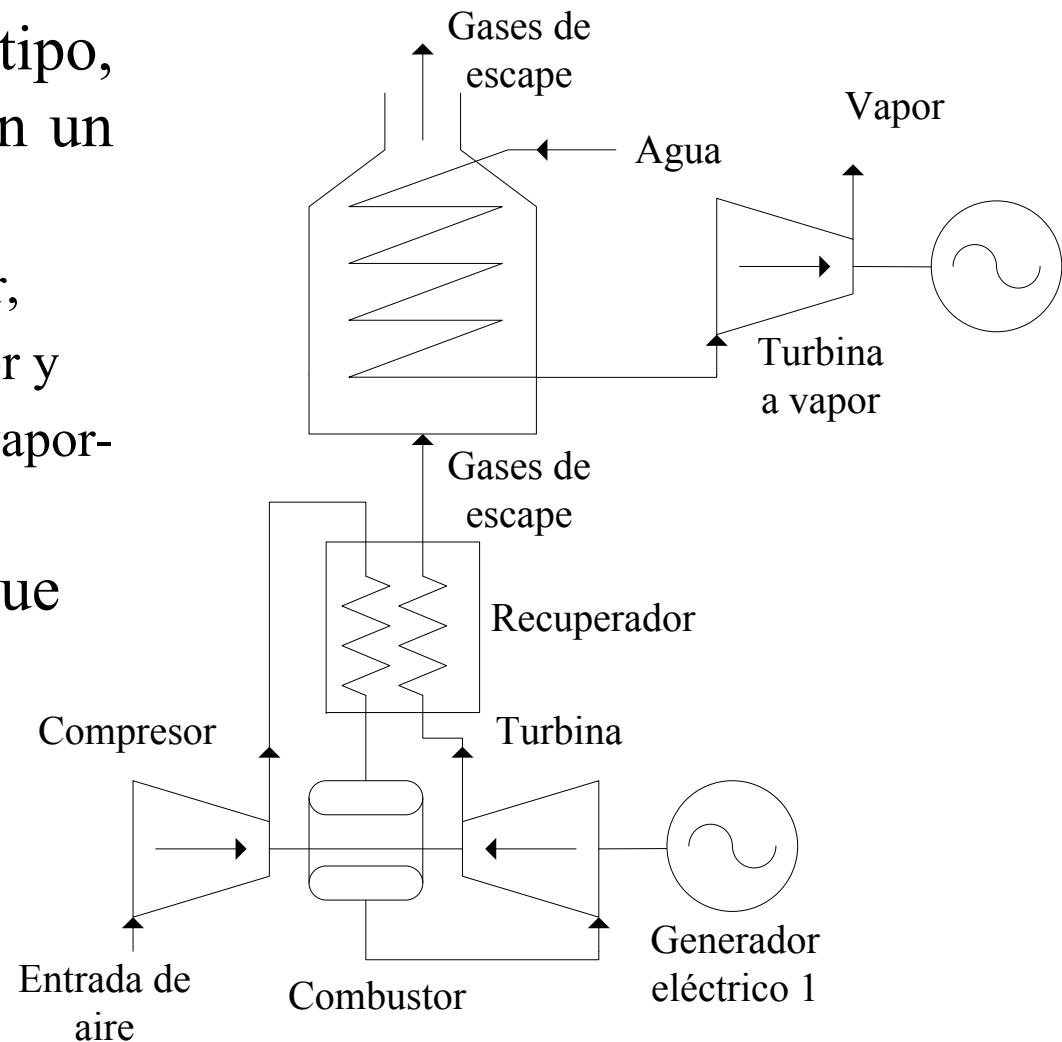
- En tiempo reciente, se ha incrementado la popularidad de las turbinas a gas de *Ciclo Combinado* debido a su *alta eficiencia*.



Ciclo Combinado

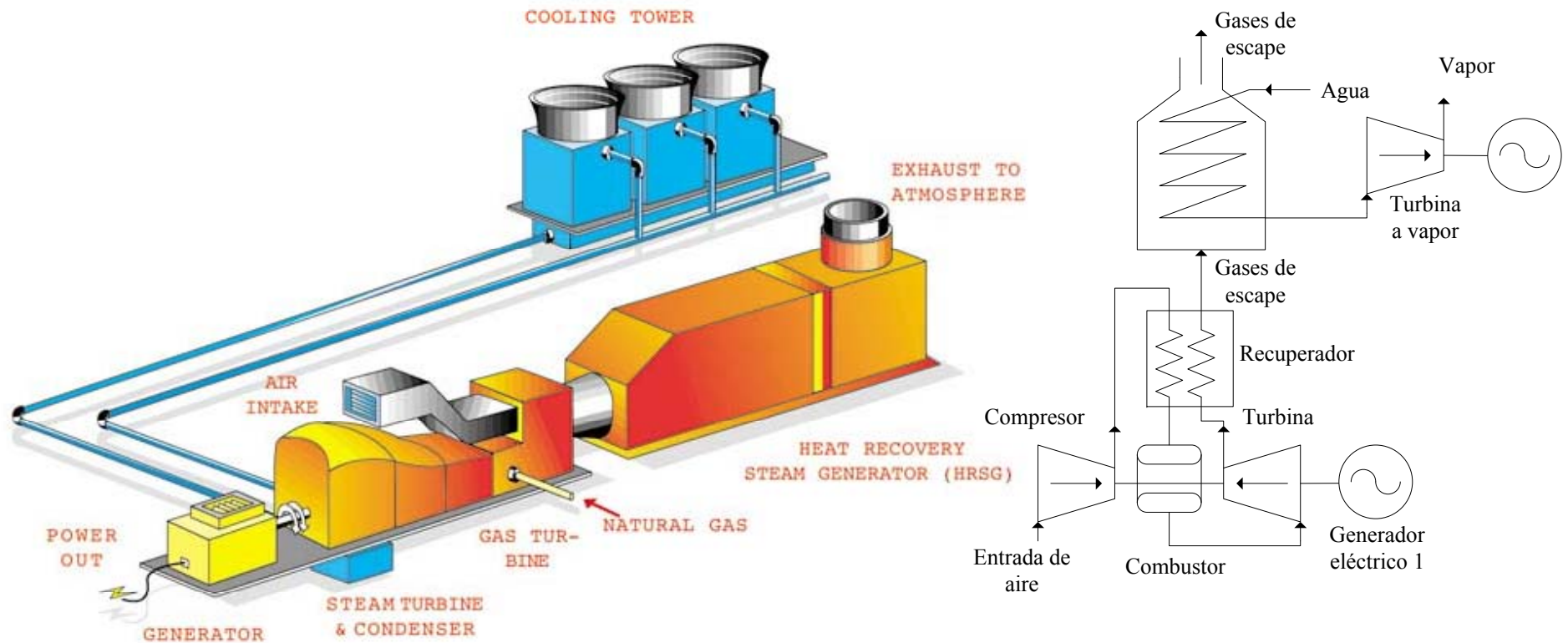
- Una turbina de este tipo, consiste básicamente en un conjunto:
 - Turbina a gas-generator,
 - Un Recuperador de calor y
 - Un conjunto turbina a vapor-generator
- Formando un sistema que permite producir electricidad

Ciclo Combinado



Ciclo Combinado

- Ciclo combinado es un ciclo de potencia que se basa en el *acoplamiento de dos o mas ciclos de producción de potencia.*



Ciclo Combinado

- El rendimiento de las centrales de ciclo combinado *alcanzan valores aproximados de un 55%*
- Esto *se logra cuando la central genera a máxima capacidad*, pues se sabe que las turbinas térmicas bajan su rendimiento al bajar la potencia de trabajo.
- Instalaciones de turbina a gas *por debajo de 10 MW no son empleadas en Ciclo Combinado*, debido a la elevada ineficiencia de la turbina a vapor.

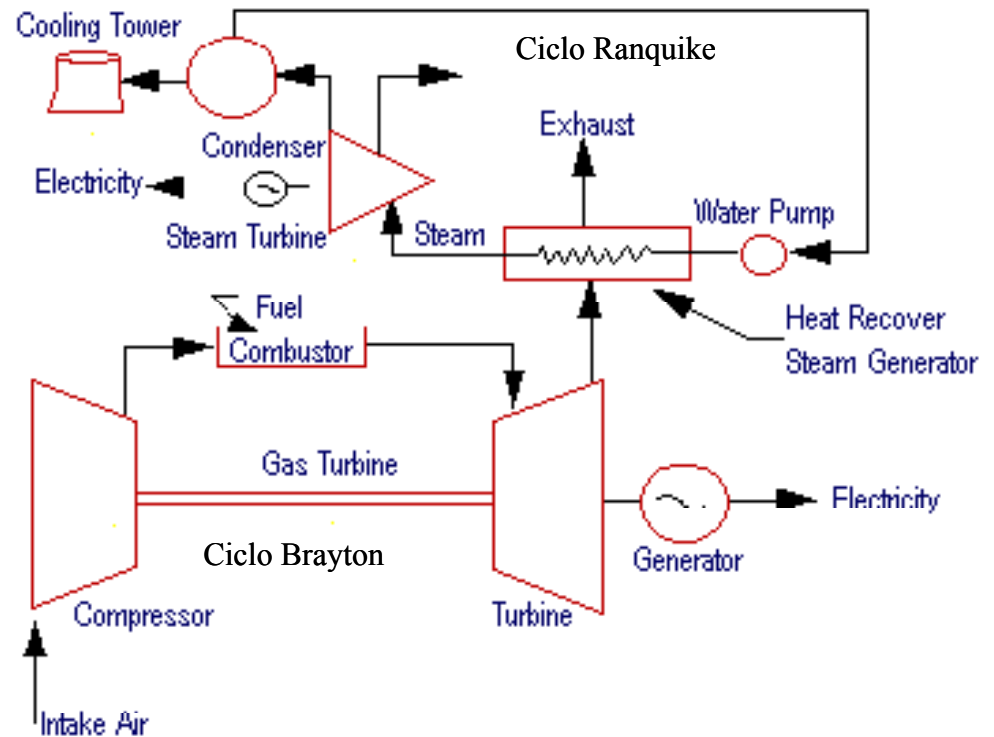
Ciclo Combinado

- El ciclo combinado combina el *ciclo Rankine* (steam turbine) y el *ciclo Brayton* (turbina a gas)

165MW



170MW



Ciclo Combinado

- *El calor no empleado por un ciclo es empleado para el otro.*
- El calor recuperado de los gases de escapa de una turbina a gas se usa para producir vapor, que alimenta una turbina de vapor asociada.
- *El rendimiento combinado es un 50% mayor que el de la turbina de gas por sí sola.*



320MW

Ghom, Combined cycle power plant



Ciclo Combinado

- Es posible obtener una *potencia por unidad superior a los 200 MW*, y la potencia de una turbina de ciclo combinado puede superar los 300 MW.
- El costo de capital de una planta de turbina a gas puede variar entre *35.000 y 950\$/kW*.
- Para *ciclo combinado mayor a 500 MW*, el costo llega a menos de *550\$/kW*, con alta eficiencia terminal.



Turbinas A Vapor de Alta Eficiencia

- Para pequeñas potencia en ciclo combinado se usan las *Turbinas a Vapor de Alta Eficiencia (HPST: High-Efficiency Steam Turbine)*.
- HEST *son complejas*.
- HEST, requieren: condensadores, bombas de vacío, enfriadores de agua, plantas de tratamiento de agua.
- *La cantidad de supervisión requerida en las HEST es desproporcionalmente alta.*

Controles

- Los *dispositivos de control y seguridad* representan una alta proporción de los costos totales.
- El control es requerido para la *operación a velocidad constante y la conexión a la red* del generador.
- El control es típicamente logrado con un *Programmable Logic Controller (PLC)*

Controles

- Las funciones típicas son:
 - Secuencia de arranque y parada y protección.
 - Monitoreo de vibraciones.
 - Gobernador de combustible o vapor.
 - Control de transitorios.
 - Anuncio de alarmas
 - Monitoreo de fuego o gas.
 - Conversión DC o rectificación.

Controles

- Algunos sistemas de arranque están disponibles para GT son:
 - Motor eléctrico alimentado desde baterías.
 - Sistema de compresión de gas o aire.
 - Pequeños motores reciprocantes (alimentados con diesel líquido o gas).
- En generadores grandes es común arrancar la turbina por el uso del generador como motor de arranque.

Combustibles

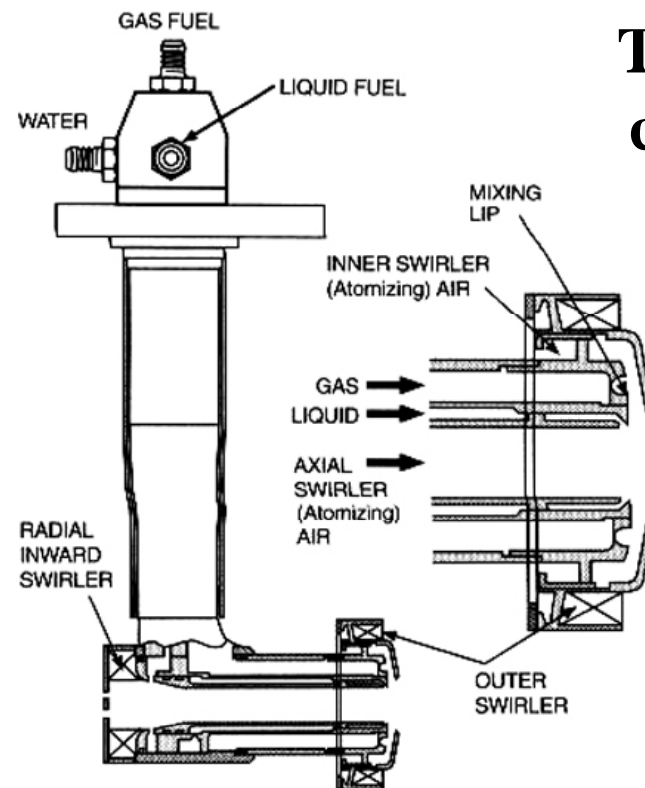
- *Combustibles líquidos* para GT están en el rango entre kerosene y diesel:
 - JP-5
 - Kerosene
 - Diesel No 1
 - Fuel Oil Grado 1 y 2.
 - Diesel No 2.
- Una alternativa es el *uso de combustibles de alta temperatura de vapor y baja viscosidad.*

Combustibles

- Una alternativa es el uso de combustibles de alta temperatura de vapor y baja viscosidad; donde son disponibles por tubería a la presión necesaria:
 - Natural Gas Liquid (NGL).
 - Liquefied Petroleum Gas (LGP)
 - Gasolina
 - Nafta
- Una válvula es usada para controlar la presión del flujo.

Combustibles

- El desarrollo de inyectores duales de combustible con combustores secos y bajos NO_x, ha sido un factor de la versatilidad en la combustión.



Típico inyector de combustible dual

Combustibles

- Sistemas combustible a gas Estándar pueden manejar combustibles con poderes caloríficos tan bajos como $23.6\text{MJ}/\text{nm}^3$ (600 BTU/scf).
- Usando múltiples controles de combustible se puede llegar hasta $11.8\text{MJ}/\text{nm}^3$ (300 BTU/scf).
- Un sistema dual de gas puede involucrar grandes variaciones en el *heat rate*:
 - $19.7\text{ MJ}/\text{nm}^3$ (500 BTU/scf) para un gas de BTU medios,
 - $354\text{ MJ}/\text{nm}^3$ (900 BTU/scf) para una gas de altos BTU.

Aumentar Eficiencia Ciclo Simple

- Alternativas para aumentar la eficiencia del ciclo simple incluyen:
 - *Intercooling* del aire luego de la compresión.
 - Recalentamiento de los gases de escape luego de la combustión.
 - Recuperar parte de la energía perdida en los gases de escape.
- Con un intercambiador de calor se recaptura alguna energía de los gases de escape, precalentando el aire que entra en el combustor.

Eficiencia de la Turbina

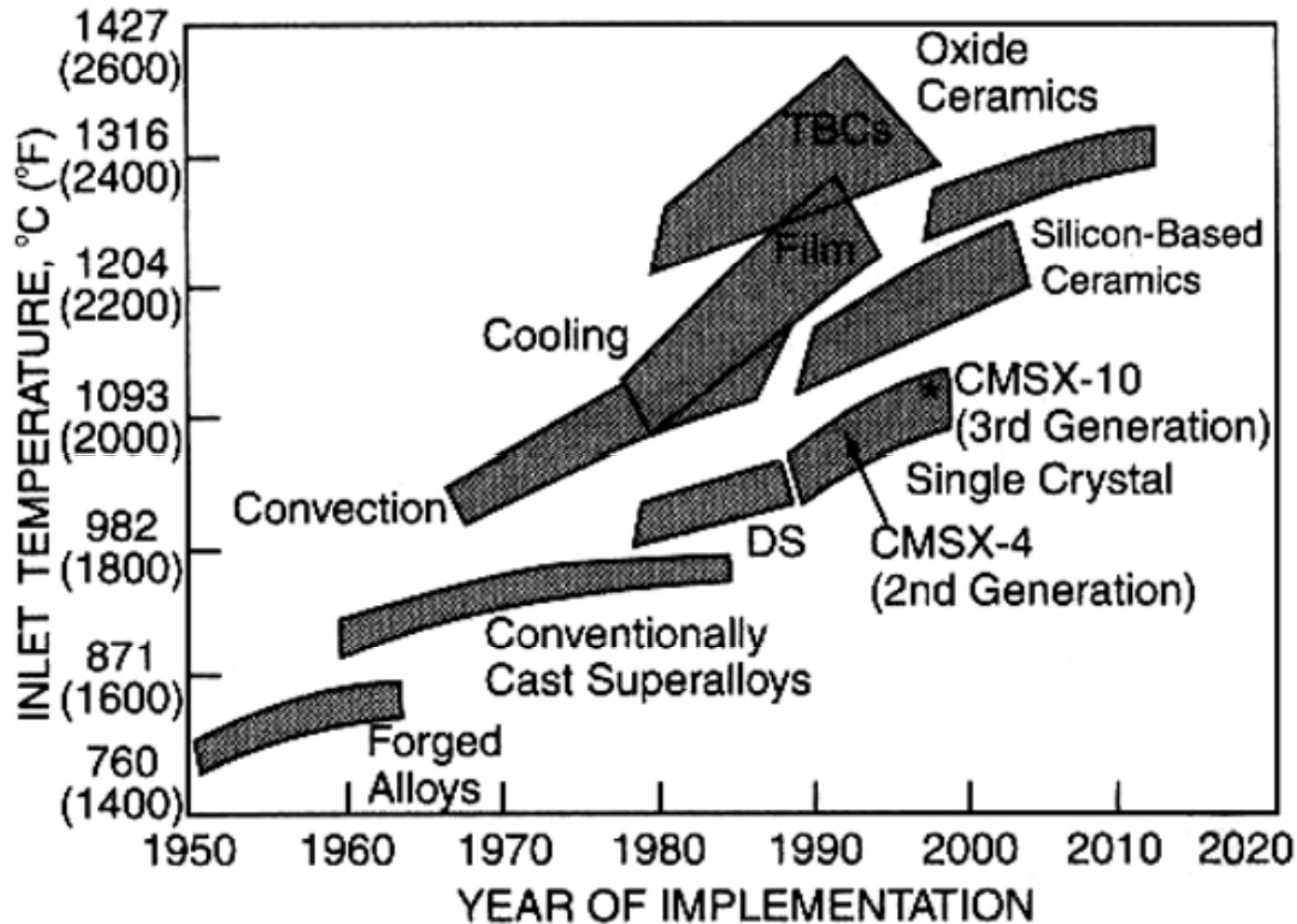
- Factores que afectan la eficiencia de una turbina son:
 - Temperatura de operación en la entrada compresor y la turbina.
 - Relación de compresión.
 - Eficiencia aerodinámica de la sección de compresor y turbina.
- *Grandes, mayores a 30 MW sin recuperación de calor: <40%.*
- *Rango de 5 MW: cercano a 35%.*
- *Rango de 25 a 100 kW, no recuperada: 15 a 17%.*

Eficiencia de la Turbina

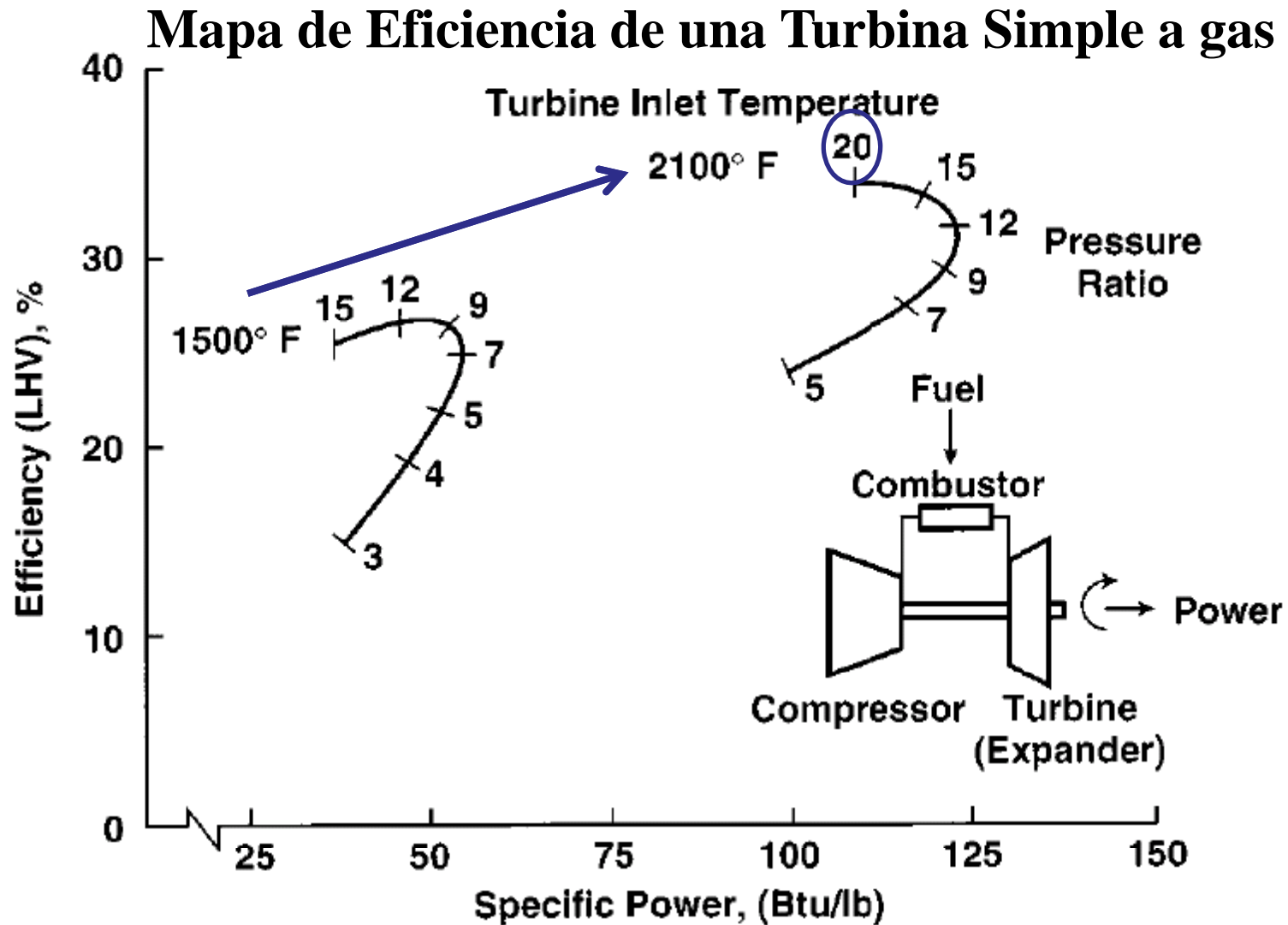
- *La temperatura de entrada y la relación de presiones define el valor de energía que puede ser extraído de un gas caliente que deja la cámara de combustión.*
- *El cambio en las ciencias de los materiales han permitido alabes que soportan mayores temperaturas y con ello se ha permitido diseños con mayores temperaturas de entrada.*

Eficiencia de la Turbina

Evolución del Cooling y los materiales en los combustores de GT

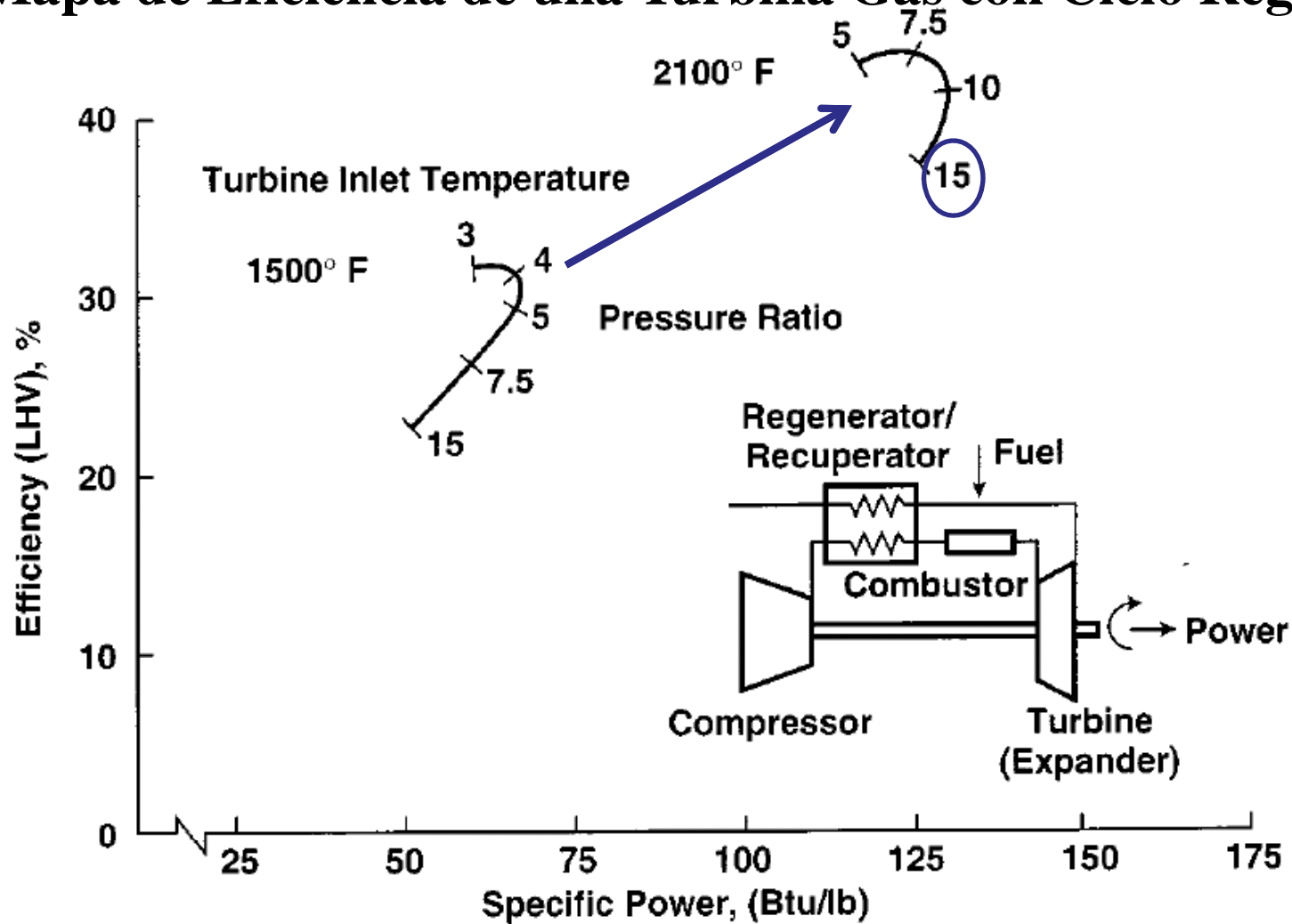


Eficiencia



Eficiencia

Mapa de Eficiencia de una Turbina Gas con Ciclo Regenerativa



Eficiencia de la Turbina

- Los *perdidas de presión debe ser minimizadas* debido a los efectos sobre el desempeño del ciclo.
- Es necesario *algo de perdidas para promover la turbulencia en el combustible/aire requerida para la combustión eficiente.*
- El sistema debe *proveer una combustión estable, rápida, e ignición estable, libre de depósitos de carbón minimizando el smoke, Nox, CO, SOx, y los hidrocarburos no quemados.*

Eficiencia de la Turbina

- *La relación de presión que puede ser alcanzada en el compresor es proporcional al cuadrado de la velocidad de punta del rotor.*
- Velocidades de punta de 800 pies/seg, son fácilmente alcanzadas en rotores de gran tamaño.
- *Para pequeñas maquinas es común el uso de múltiples etapas de compresión.*
- *Múltiples etapas de compresores radiales son mas económico que múltiples etapas axiales.*

Eficiencia de la Turbina

- *La eficiencia aerodinámica es limitada por las pérdidas de la fricción del gas turbulento en la punta de los alabes.*
- Por encima de 1 MW, los rango de eficiencia de los compresores es de 85% a 95%.

Eficiencia de la Turbina

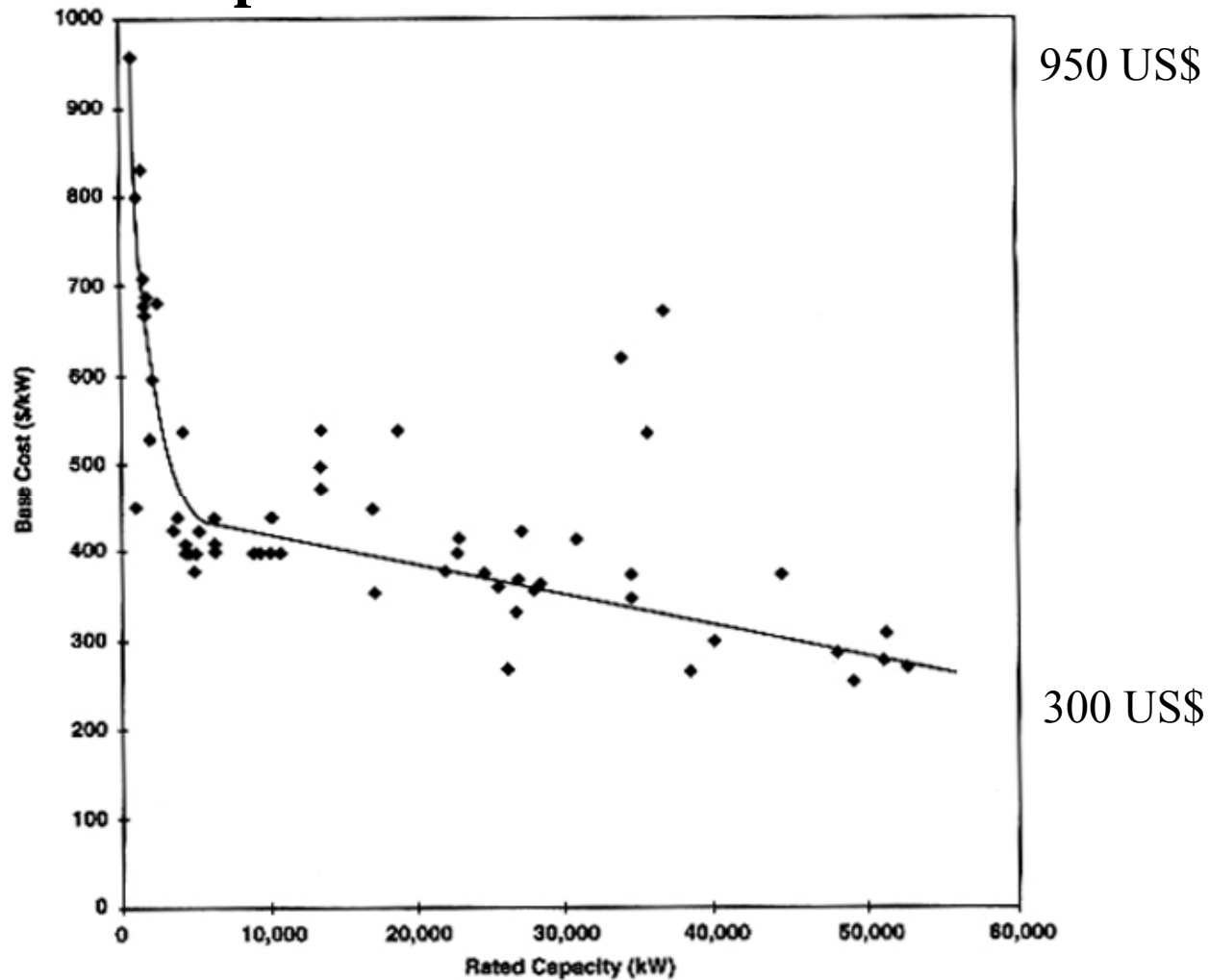
- *Perdidas no recuperables* son debida primariamente al *incremento en las distancias en turbina y compresor y a los cambios en la superficie terminada y contornos del camino del aire.*
- El deterioro de la potencia de salida a las 25.000 horas es una turbina típica, puede variar de 3 a 5% del *heat rate* dentro de 1% de la nueva situación.

Costos

- Los costos de capital de las GT son finalmente determinados por los fabricantes en respuesta a las especificaciones dadas por los ingenieros.
- Para propósitos de planificación, proyectos pasados pueden servir de guía.
- *Gas Turbine World Handbook*, muestra una lista de precios sugeridos.

Costos

Costo promedio de las Turbinas a Gas



Precios son
anualizados
para 1995

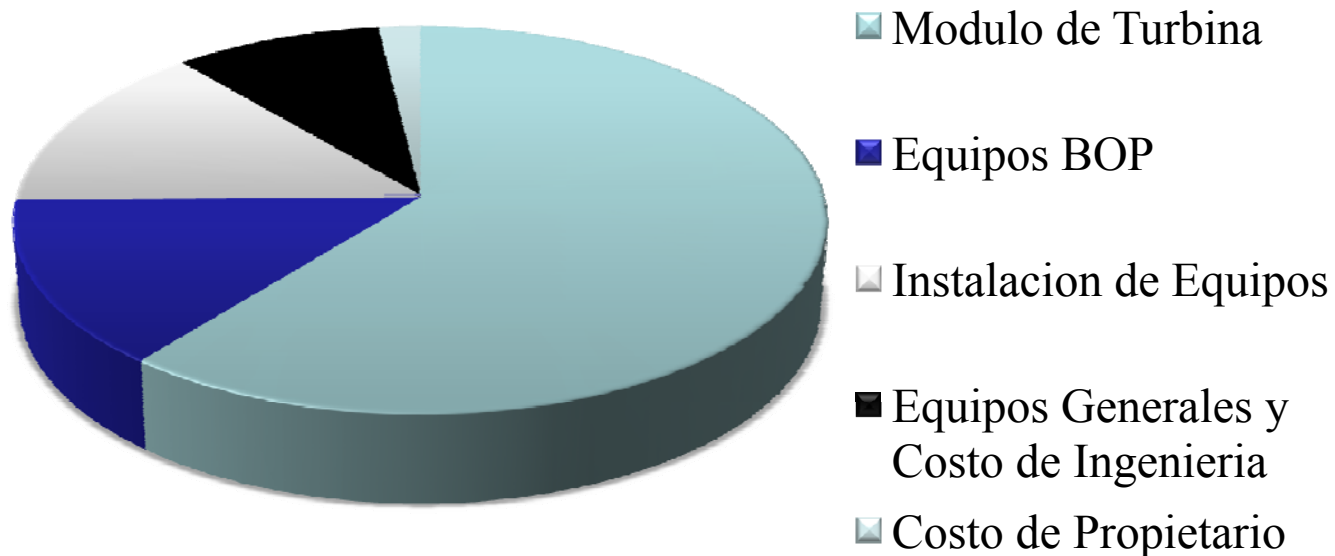
Costos

- Costos iniciales típicamente pueden ir de 700 a 1110 US\$/kW.
- Hay costos externos que aumentan el precio de la turbina de un 30-50%.
- Mantenimiento: cada 5000-8000 h de funcionamiento (\approx MCI)

Costo Total Instalado

Costo total instalado US\$ 985/kW

Costo Total Instalado (US\$/kW)



BOP: condensadores, intercambiadores, bombas,...

Ventajas y Desventajas

Ventajas:

- Aprovechamiento de calor residual
- Red de servicio y mantenimiento
- Gran relación peso/potencia
- Fiables
- Bajo nivel de emisiones
- Pueden aprovechar combustibles residuales
- Tiempos de arranque: de 2 a 5 minutos

Ventajas y Desventajas

Inconvenientes:

- Poca eficiencia a cargas parciales (puede reducirse el rendimiento un 25% a $\frac{1}{2}$ carga). El rendimiento exclusivamente eléctrico es bajo
- Sensible a condiciones ambientales (altas temperaturas y altitud)
- A menor potencia peores prestaciones
- Ruido ($> 60\text{dB}$)

Fabricantes

- General Electric Power Systems.
- IHI, Tokio, Japon (5-50 MW).
- Kawasaki Gas Turbines-Americas (650kW-18MW).
- Pratt & Whitney (20 - 50 MW).
- Rolls-Royce (2.2).
- Solar (propiedad de Caterpillar) (<15 MW).
- Vericor Power Systems (0.5 MW-50 MW).



www.pw.utc.com



www.rolls-royce.com



mysolar.cat.com



www.kawasakigasturbines.com/



www.vericor.com/

a product of
ecomagination®

cleaner coal
reinventing a natural resource



GE
Energy

www.gepower.com

www.ihico.jp/index-e.html

IHI

Desarrollos Futuros

- Recientes desarrollos tecnológicos han concentrado primordialmente en lograr *mas altas eficiencias a carga base y el control* de los generadores eléctricos.
- Esfuerzos han permitido el *uso de costos materiales cerámicos, para alcanzar temperaturas de operación mas elevadas* en turbinas no enfriadas.
- Otros esfuerzos han apuntado al uso de *metales mas avanzados y sistemas de enfriamiento que enfatizan la eficiencia del ciclo combinado*.

Desarrollos Futuros

- Reducir los requerimientos de refrigeración del aire, el uso de la cerámica en el camino del gas caliente de la GT, mejora tanto la salida y la eficiencia debido a que el aire extraído por el cooler no produce potencia.
- El uso de los materiales cerámicos ha permitió turbinas de hasta 200 MW