

MÁQUINAS TÉRMICAS

Las Máquinas

Prof. Miguel Asuaje

Marzo 2012

Contenido

- ❑ Introducción General
 - Energía y Unidades
 - Historia
 - Clasificación
- ❑ Maquinas de Procesos
- ❑ Turbo cargadores
- ❑ Turbina a Gas (TAG)
- ❑ Turbina a Vapor (TAV)
- ❑ Parámetros de Modelaje y selección.
- ❑ Esquema General de Diseño.

¿Qué es la Energía?

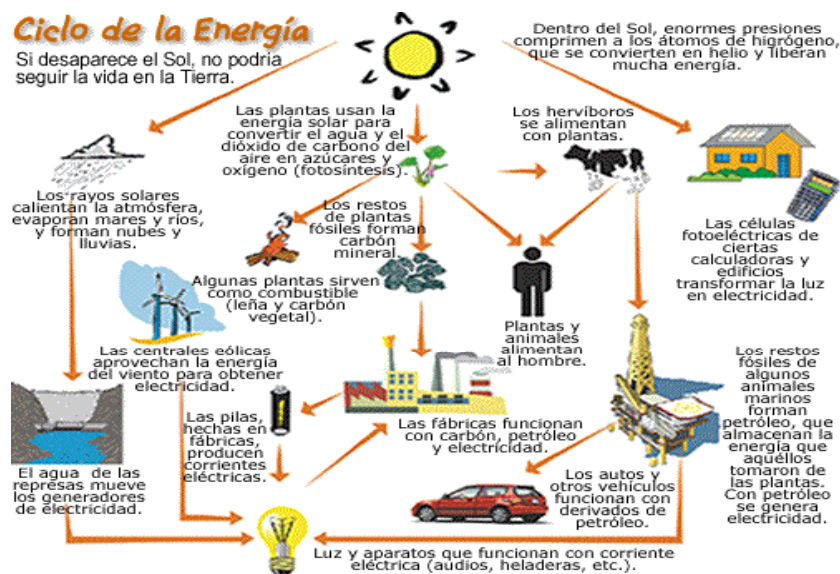
¿La fuerza vital de nuestra sociedad?



Ciclo de la energía

Ciclo de la Energía

Si desaparece el Sol, no podría seguir la vida en la Tierra.

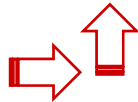


Conversión de Unidades Energéticas

Unidad de Energía	Caloria	BTU	KWH	Joule	BPE
Caloria	1	0.00396	1.16 mm	4.187	0.000651 mm
BTU	252	1	0.000293	1055	0.164 mm
KWH	0.86 MM	3413	1	3.6 MM	0.00056
Joule	0.239	0.00095	0.27 mm	1	0.000155
BPE	1537.2	6.1	1787.28	6435.5 MM	1

MM = millones

mm = millonésima



<http://www.convertworld.com/es/>

Ej: 1cal=0.00396BTU

Otras unidades de energía

1 therm = 10^4 BTU

1 Quadrillon = 1 Peta = 10^{15}

(K) Kilo = 10^3

(M) Mega = 10^6

(G) Giga = 10^9

(T) Tera = 10^{12}

(P) Peta = 10^{15}

(E) Exa = 10^{18}

(Z) Zeta = 10^{21}

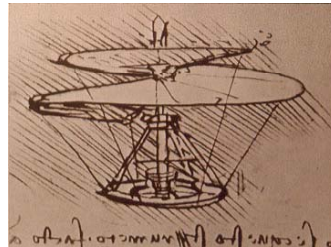
(Y) Yeta = 10^{24}

Ingles	Español
1 billion	= 1 millardo = 1 Giga
1 trillion	= 1 billón = 1 Tera

http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/append_a.html

Máquinas

Una **máquina** es un conjunto de elementos móviles y fijos, cuyo funcionamiento permite aprovechar, dirigir, regular o transformar energía o realizar un trabajo.



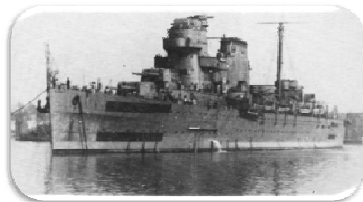
Se Clasifican en:

- Máquinas manuales o de sangre
- Máquinas eléctricas
- Máquinas hidráulicas
- Máquinas térmicas

Historia de las máquinas



Luego de la segunda guerra mundial existía una increíble motivación para estudiar aerodinámica, numerosos estudios desde esta época han desarrollado métodos numéricos que ayuden en el análisis de estos sistemas, entre estos se pueden mencionar:



En el paper de **S.F. Smith** (1965) manifiesta la gran importancia del análisis dimensional para obtener un diseño eficiente, y revela como la forma de los alabes y los triángulos de velocidades están ligados entre sí.

- **Axial Flow Turbines Horlock** (1958, 1966) . Horlock estudió las pérdidas en las rejillas.
- **Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery. Dixon** (1975)
- **Cascade Aerodynamics. Gostelow** (1984). Gostelow, ingeniero Mecánico de la Universidad de Liverpool. Hizo trabajos de investigación diseño y desarrollo de los Turbo Fan
- **Compresores aerodynamics. Cumpsty** (1989) . Cumpsty, ingeniero mecánico de la universidad Imperial de Londres. Hizo investigaciones en el campo del análisis 3-D del flujo turbulento.
- **Turbomachinery Performance analysis. Lewis** (1991).

Clasificación de las Máquinas de Fluido

Según Principio de Funcionamiento

Volumétricas
transferencia de energía por cambio de volumen

Turbomáquinas
transferencia de energía por cambio de cantidad de mov. angular

Según su Forma

Rotativos

Reciprocantes

Máquinas que Producen Trabajo

Motores

Máquinas que Requieren trabajo

Bombas
Compresores

Axiales

Radiales

Turbinas

Bombas
Compresores



Turbomáquinas



Turbo ó Turbinis
Latín, «giro, remolino»

Un rotor varía la **entalpía de estancamiento** de un fluido.

Una **turbomáquina** es máquina de fluido en donde la transformación de energía se realiza por medio de la variación del momento cinético angular del fluido que la atraviesa



Clasificación de las Turbomáquinas

Según: Recorrido del flujo a través de los álabes:

Axiales:

Paralelo al eje de rotación

Radiales:

El fluido entra en dirección axial y sale girado 90° o en dirección radial

Mixtas:

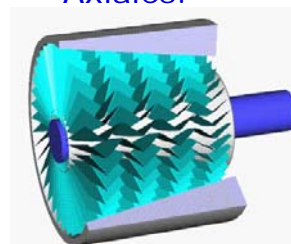
El fluido entra en dirección axial y sale girado en un ángulo < 90°



Clasificación de las Turbomaquinas

Axiales:

- Radio aprox. Ctte $\rightarrow U_{Entrada} = U_{Salida}$
- El trabajo depende de los cambios en los ángulos del flujo.
- Grandes caudales



Radiales:



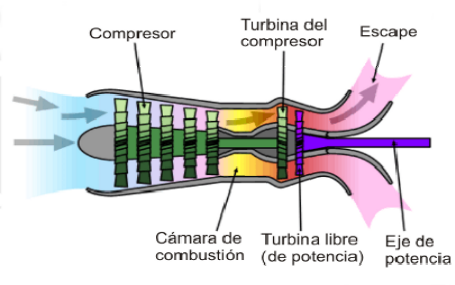
- Trabajo producido { Cambio de Radio
Cambios de Ángulos
- Mayor presión de descarga
- Mayor estabilidad en funcionamiento
- Mayores relaciones de presión

Clasificación de las Turbomáquinas

Se clasifican en:

**Turbomáquinas
Hidráulicas**

$\rho = \text{ctte.}$

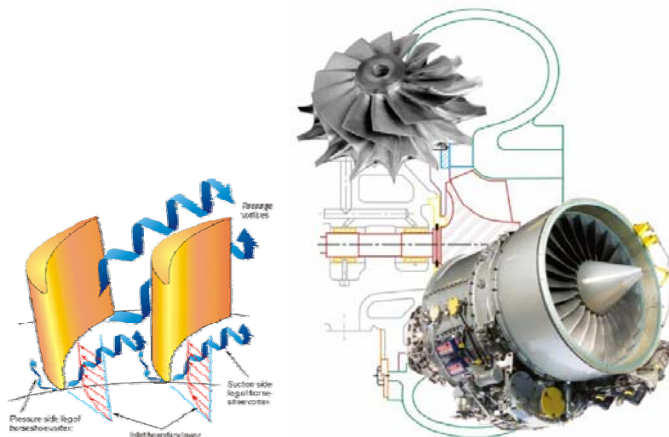


$\rho \neq \text{ctte.}$

**Turbomáquinas
Térmicas**

13

¿Por qué es importante el estudio de las Turbomáquinas Térmicas?



¿Por qué es importante el estudio de las Turbomáquinas Térmicas?

- ~ 2/3 energía eléctrica mundial es generada c/Centrales Termoeléctricas a base de combustibles fósiles (~ **12,7** trillion kWh @ EIA-2007)

Centro-Sur-América (~ **0,3** trillion kWh @ EIA-2007)

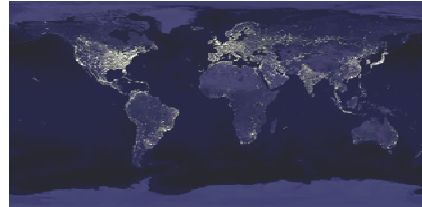
- Centro-Sur-América, gen. eléctrica: 68% Hidro vs. 30% Fósil vs. 2% Otros (@ EIA-2007)

- Combustibles fósiles/gen. eléctrica:

Carbón, Metano y Fuel Oil

- Centrales Termoeléctricas/Fósiles:

Turbinas a Vapor, Turbinas a Gas, Ciclo Combinado ⇒ **Máquinas Térmicas!**



Turbinas a Gas



http://www.stahl-info.de/medieninformationen/Archiv_2008/pm_stahl_im_maschinenbau.asp

Turbinas a Gas

Turbinas a Gas: máquina que esta compuesta de un compresor, una cámara de combustión y una turbina la cual quema generalmente gas natural transformando energía química en energía mecánica y es ampliamente utilizada para la generación de electricidad. En el año 2000, mas de 4000 unidades fueron ordenadas y vendidas.

Ventajas:

- *Comparativamente bajos costos de instalación por MW de salida*
- *La posibilidad de ubicar e instalar unidades de 1.7 a 40 MW (o mas grandes) en semanas o meses, no años.*

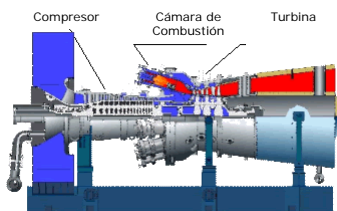


Las Turbinas a Gas

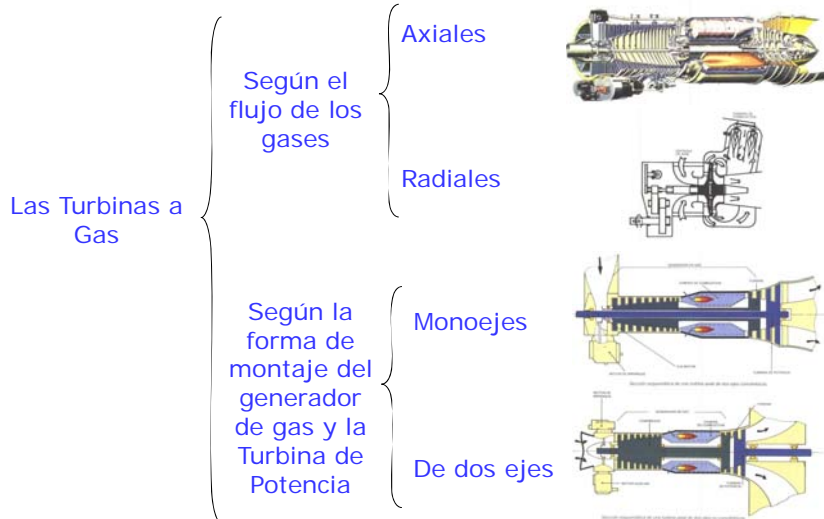
Es un motor diseñado para convertir la energía de un combustible en energía mecánica útil en un eje y/o en impulso en un chorro

Sus componentes principales:

- Compresor
- Cámara de Combustión
- Turbina

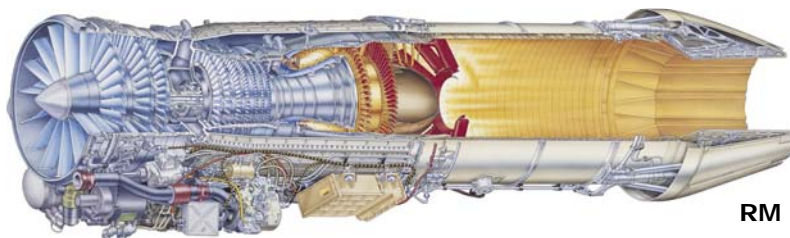


Clasificación



Aplicaciones de las TAG

Generación de Electricidad
Accionamiento de Bombas, Compresores
Procesos de Cogeneración
Abastecimiento de Calor
+
Eléctricidad
Propulsión: Aérea y Naval
Turbocompresores



RM 12

Turbinas a Gas



Turbina a GAS Siemens
La MAS grande actualmente

Peso Aprox. 444 Toneladas

Potencia 370 MW



X 800.000

Hasta 540 MW combinado con una Turbina de Vapor
Una Turbina Francis de Gurí puede producir hasta 740 MW

Turbinas a Gas

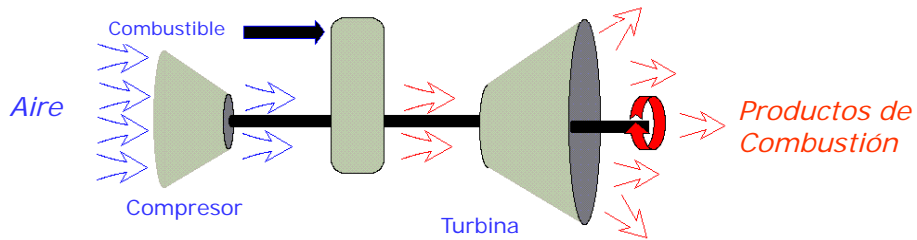


La turbina a GAS mas Pequeña
Velocidad de Giro hasta 600.000 rpm
Potencia 5 KW (energía necesaria para alimentar 2 casas)
Temp: 1200K



Usadas como medio de generación
para robots autónomos

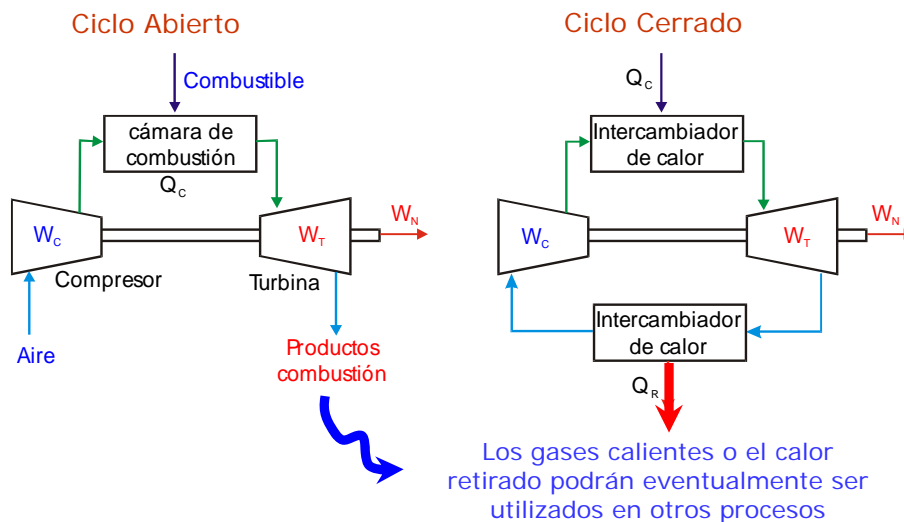
Los fluidos dentro de la Turbina



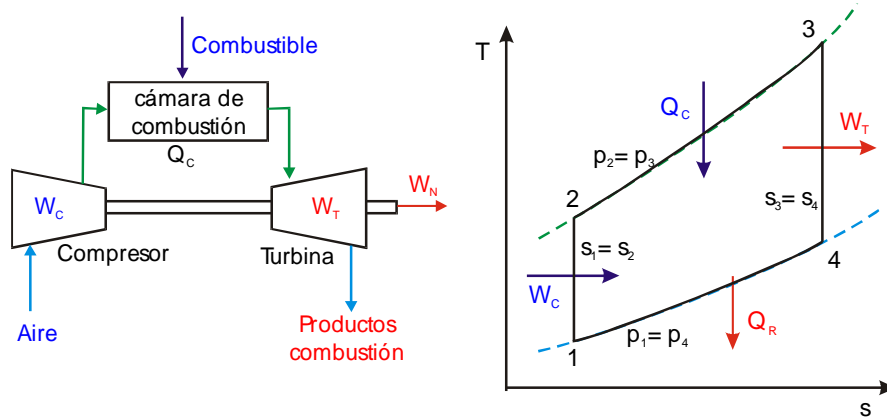
El aire ingresa al compresor siguiendo sucesivamente a la Cámara de Combustión dónde se mezclara en las proporciones adecuadas con el combustible. Los gases productos de la combustión (calientes y a alta presión) serán expandidos en la turbina, para la producción de trabajo

*Es decir:
Las TAG operan
bajo el ciclo
Termodinámico
conocido como
Brayton*

Ciclo Brayton

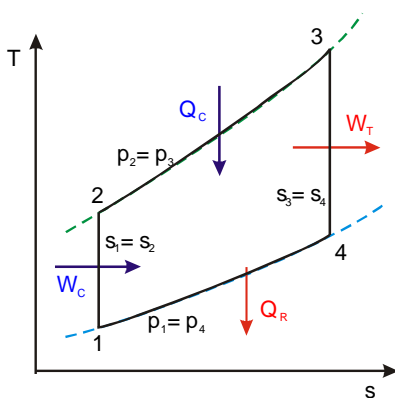


Ciclo Brayton ideal



Ciclo Brayton

Definición de rendimiento



Trabajo realizado por la turbina

$$W_T = h_3 - h_4 \quad (\text{J/kg})$$

Trabajo consumido por el compresor

$$-W_C = h_2 - h_1 \quad (\text{J/kg})$$

Calor suministrado

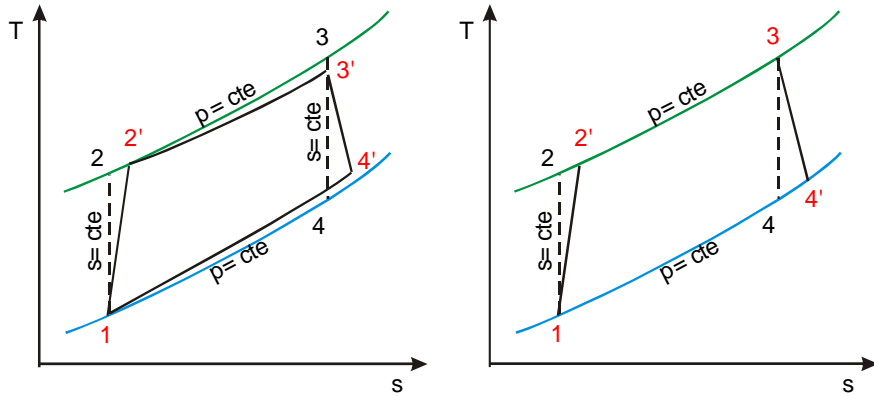
$$Q_C = h_3 - h_2 \quad (\text{J/kg})$$

El rendimiento

$$\eta = \frac{W_T - (-W_C)}{Q_C}$$

$$\eta = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)}$$

Ciclo Brayton Real. Irreversibilidades y Pérdidas



Rendimiento del Compresor

Rendimiento de la Turbina

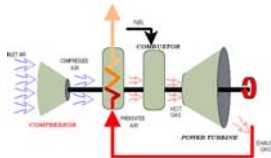
$$\eta_c = \frac{(-W_C)_s}{(-W_C)} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2'} - h_1}$$

$$\eta_T = \frac{W_T}{(W_T)_s} = \frac{h_3 - h_{4'}}{h_3 - h_4}$$

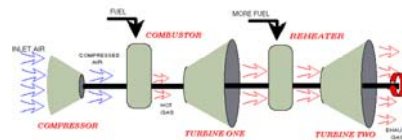
Ciclo Brayton Modificado

Se busca aumentar el trabajo neto del ciclo, procurando el mayor aprovechamiento energético y/o mejorando la condición de operación de los equipos

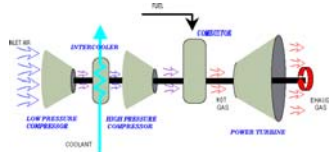
Regeneración



Recalentamiento



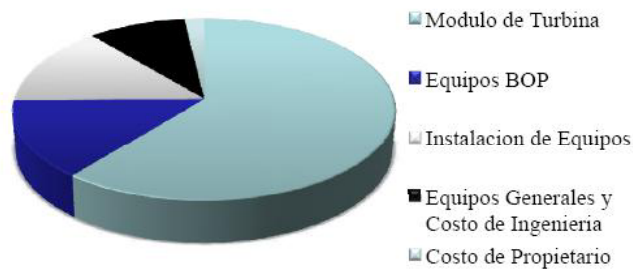
Enfriamiento



¿Cuánto cuesta un Kilovatio?

Costo total instalado US\$ 985/kW

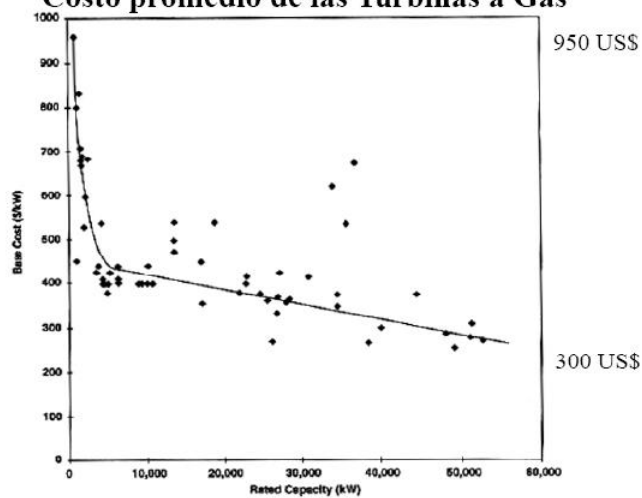
Costo Total Instalado (US\$/kW)



BOP: condensadores, intercambiadores, bombas,...

¿Cuánto cuesta un Kilovatio?

Costo promedio de las Turbinas a Gas



Fabricantes principales TAG

- Siemens (Max 340MW, 540MW pre generación, Alemania)
- Mitsubishi Power Systems (Máximo 460MW, J-series 2011)
- Kawasaki Gas Turbines (650 KW -18MW)
- General Electric Power Systems
- Roll Roice (<64 MW)
- IHI, Tokio, Japón (5-50MW)
- Pratt and Whitney (50-20 MW)
- Vericor Power Systems (0.5-50 MW)
- Solar Turbines (<15 MW)



31

Las Turbinas a Gas y La Industria Aeronáutica

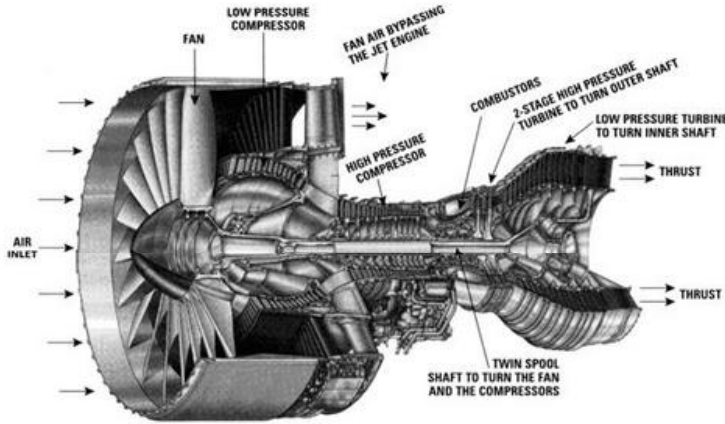


Pratt & Whitney 4804
Boeing 777 jets

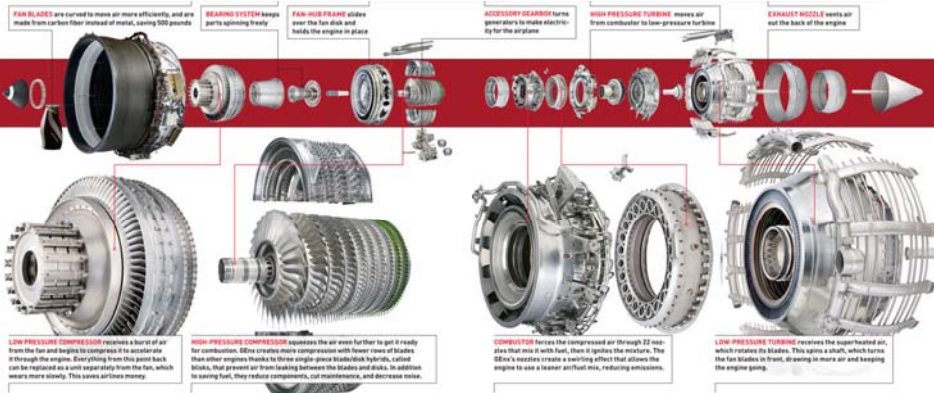


GenX
*Boeing 787
Airbus A350*

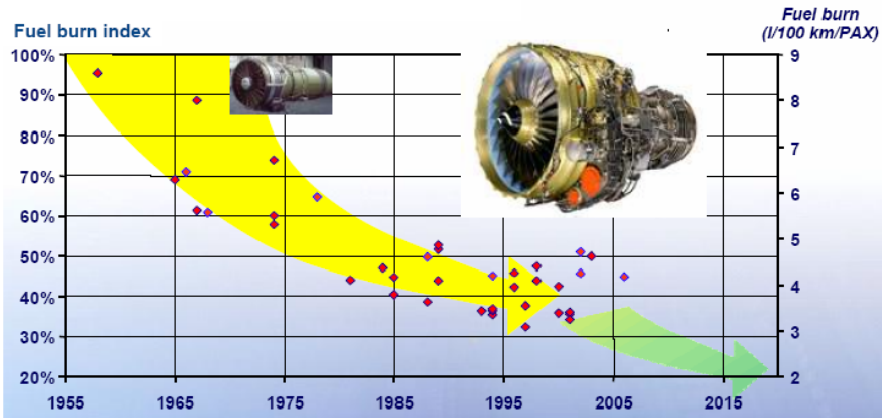
Pratt & Whitney 4804



GenX

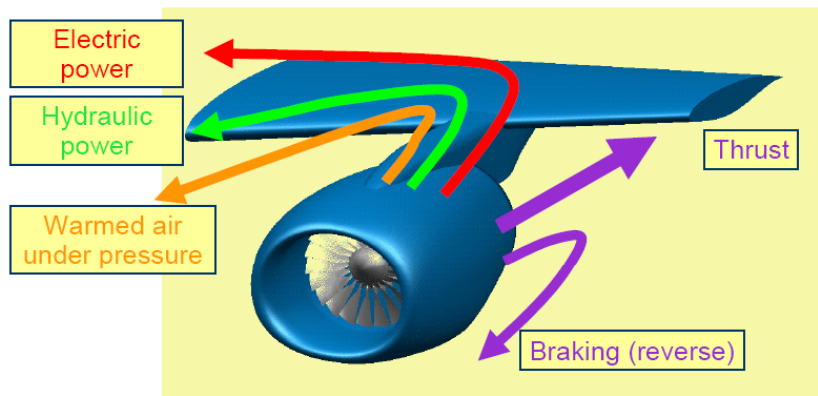


El combustible se ha reducido principalmente por el diseño de la TAG

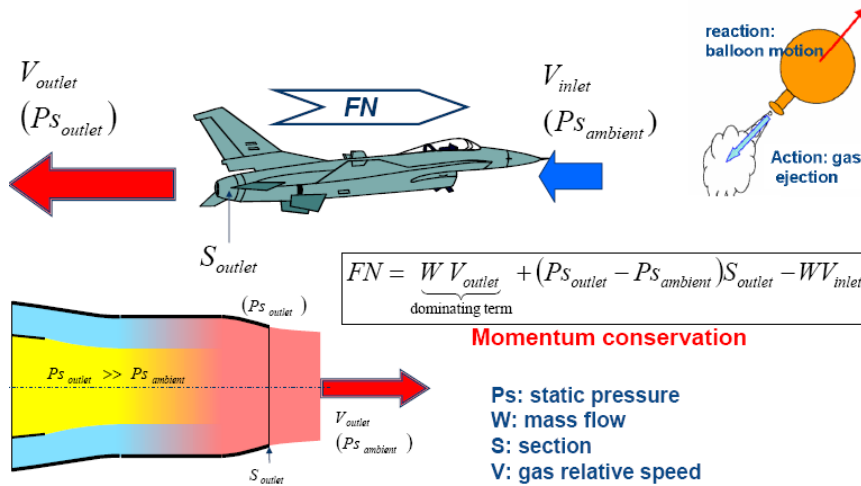


PAX: Pasajero

Principales Funciones de la TAG

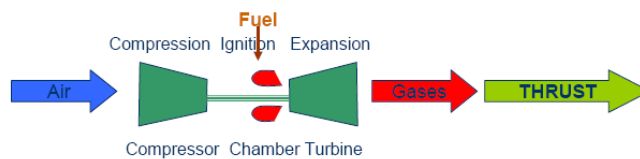


Como es generado el empuje...

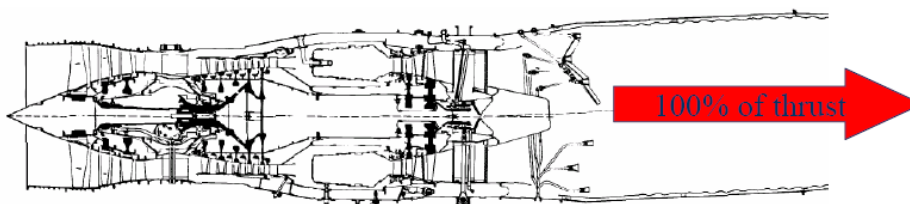


Arquitecturas Típicas

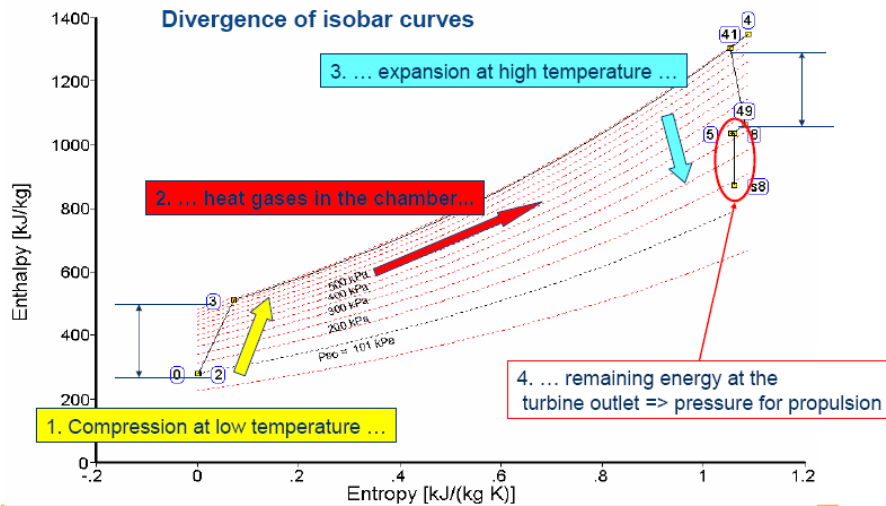
- Turbojet: Gases de escape proveen el empuje



- Eje Simple, « flujo simple »

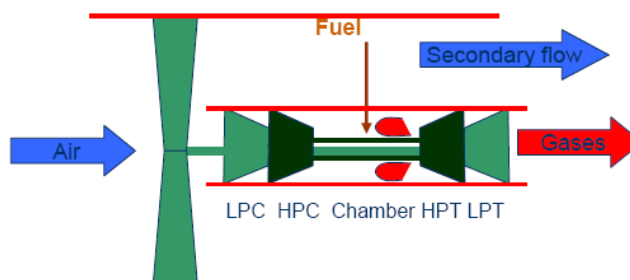


Turbojet, Ciclo Termodinámico

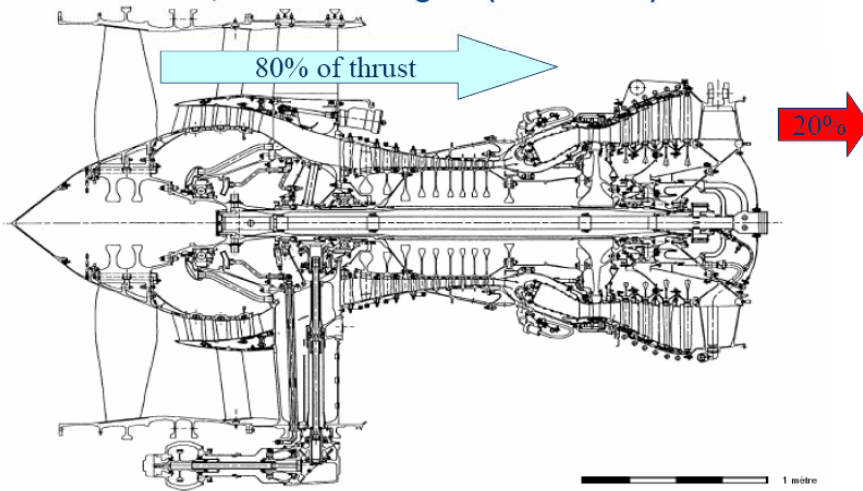


Arquitectura doble eje, doble flujo

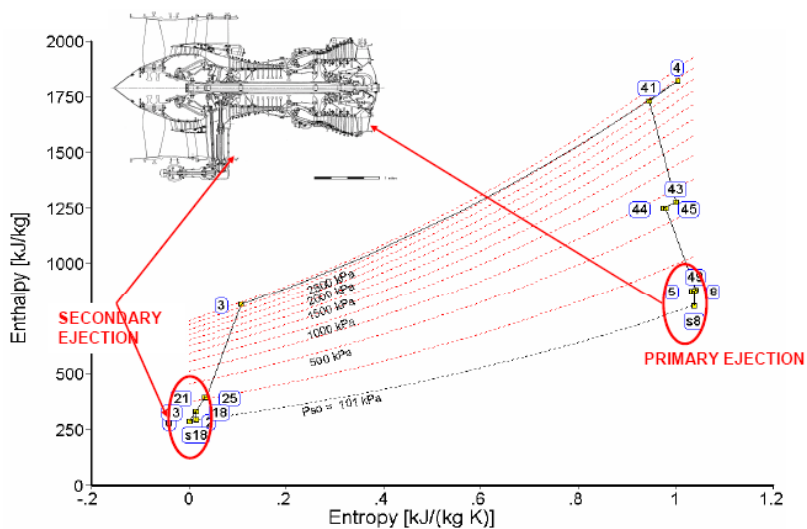
- ❑ Este es el principio de los actuales turbo-reactores civiles (el par del eje del LP se utiliza para alimentar el FAN)
- ❑ La relación de derivación es la relación entre el flujo secundario y el primario (que cruzan el generador de gases)
- ❑ Aplicación civil: CFM56: 5, GE90: 9, GenX: 12, etc...



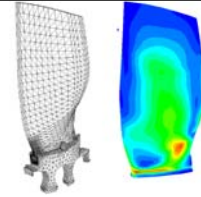
Doble eje, doble flujo: CFM56



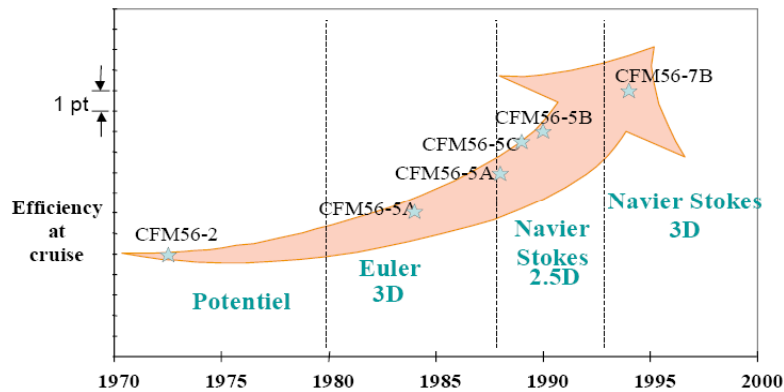
Doble eje, doble flujo: CFM56 Ciclo Termodinámico



Eficiencia

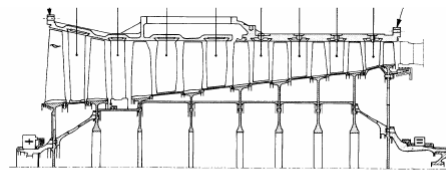


La evolución de códigos computacionales a repercutido significativamente en mejoramiento del desempeño.

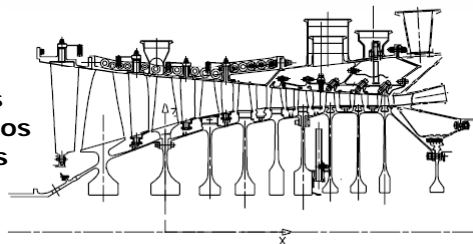


Impacto en la tecnología de compresores

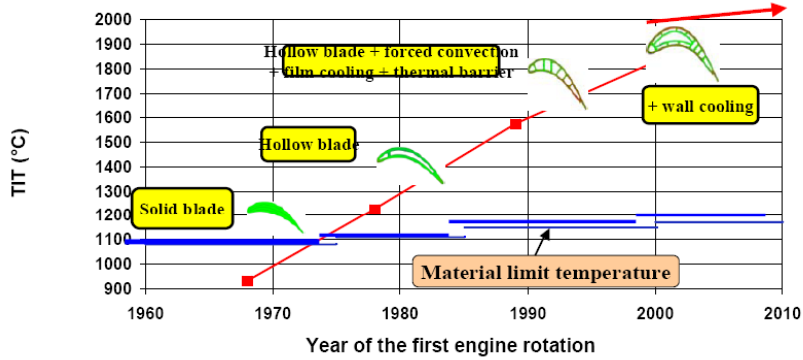
- Antiguamente:
 - 2D Platos delgados
 - Baja relación de compresión
 - Geometrías de disco simples



- Ahora:
 - Álabes 3D
 - Altas relación de compresión
 - 4 etapas de estatores variables
 - Intersticios en punta controlados
 - Mayores esfuerzos sobre discos
 - Apriete mejorado de álabes
 - ...

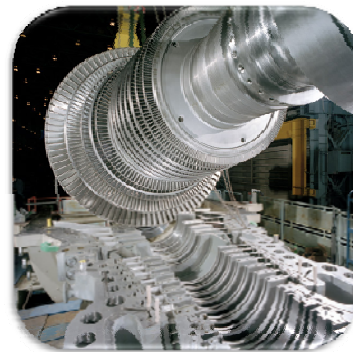
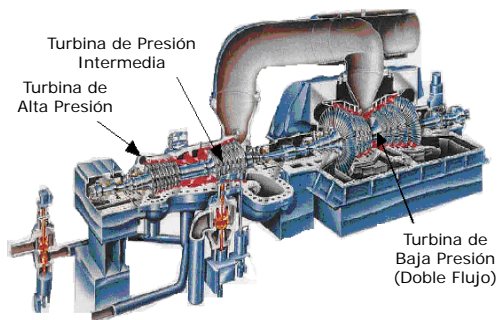


Impacto de temperatura de entrada a turbina



Las Turbinas a Vapor

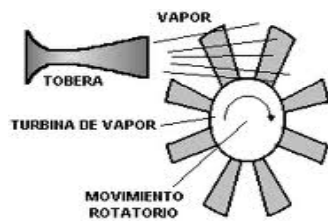
Elemento motora cuyo accionamiento es debido a la expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera. Esta máquina está directamente asociado con el ciclo Rankine.



General Electric LMS100, 100MW

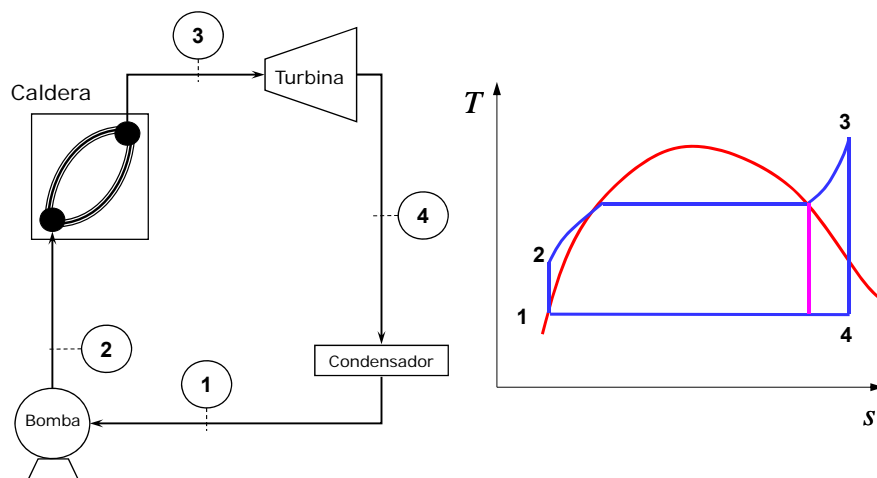
Las Turbinas a Vapor

Turbina a vapor: Una turbina de vapor es una *turbomáquina motora*, que transforma la energía de un flujo de vapor en energía mecánica a través de un intercambio de cantidad de movimiento entre el *fluido de trabajo* (entiéndase el vapor) y el rodete, órgano principal de la turbina, que cuenta con palas o álabes los cuales tienen una forma particular para poder realizar el intercambio energético



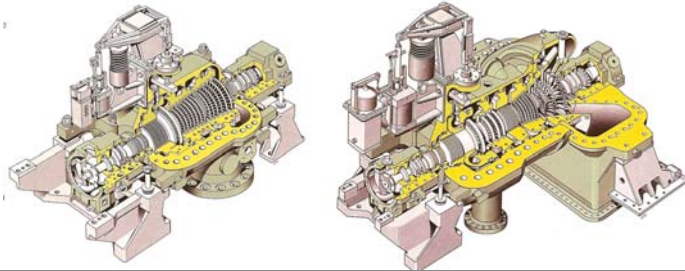
Turbina a vapor, sistema antiguo

El Ciclo Rankine



Aplicaciones de las TAV

- Para generación de energía (plantas térmicas)
- Para propulsión naval
- Para generación de bajas potencias (microturbinas)
- Para procesos de cogeneración



Los Compresores

Máquina que eleva la presión reduciendo su volumen de un gas, vapor... cualquier fluido de trabajo

Volumétricos



Alternativos Rotativos



Rotodinámicos



Axiales Radiales

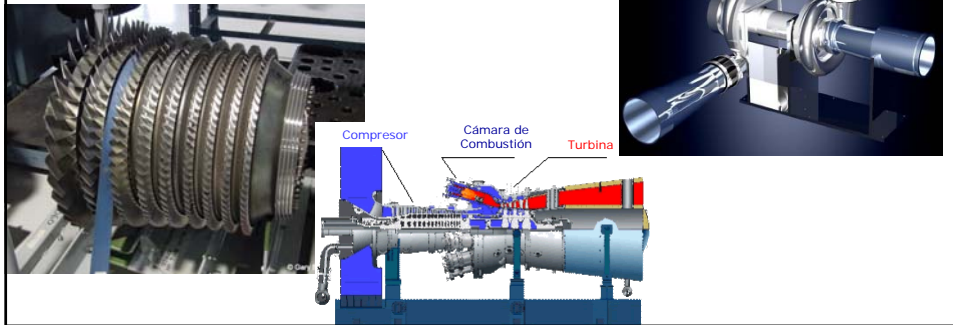


Aplicaciones de los Compresores

Compresión en muchas aplicaciones

... **Accionados con Turbina:**

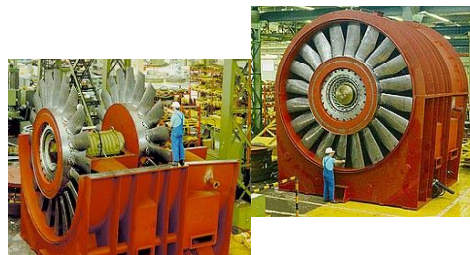
- Generación de Electricidad
- Propulsión
- Motores de Combustión Interna →



Compresores en Procesos Industriales



Compresor de Gas
 $p_{\max} = 12.5 \text{ bar}$
 Caudal = 1,500 - 200,000 m³/h



Ventilado Axial
 Potencia Requerida = 13,5 MW
 Caudal = 360.000m³/h

Usado:

- Petroquímicas
- Refinerías
- Metalúrgicas



El caudal máx. es equivalente a 144 piscinas olímpicas en una hora

13,5 KW equivalen



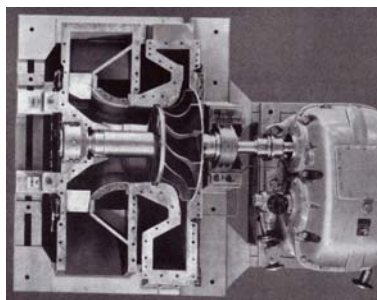
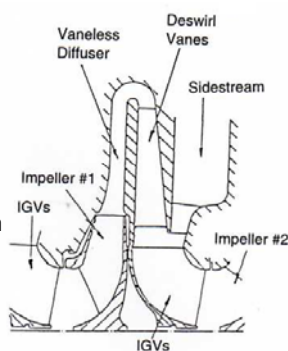
X 180

Compresores en Procesos Industriales

- Los más usados en procesos industriales.



Soplador alta presión

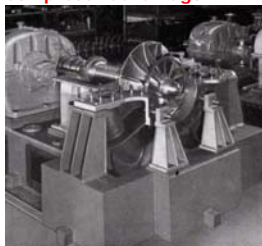


Compresores centrífugos

Componentes principales de una etapa radial.

Compresores en Procesos Industriales

Compresor Centrifugo

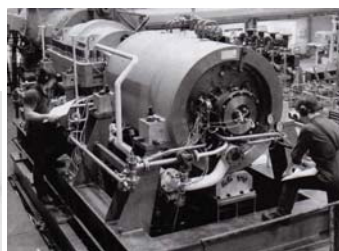
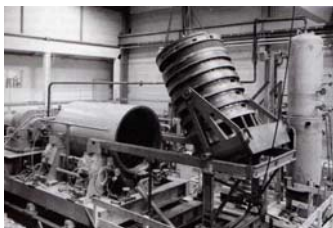


Compresor de barril forjado – Altas presiones

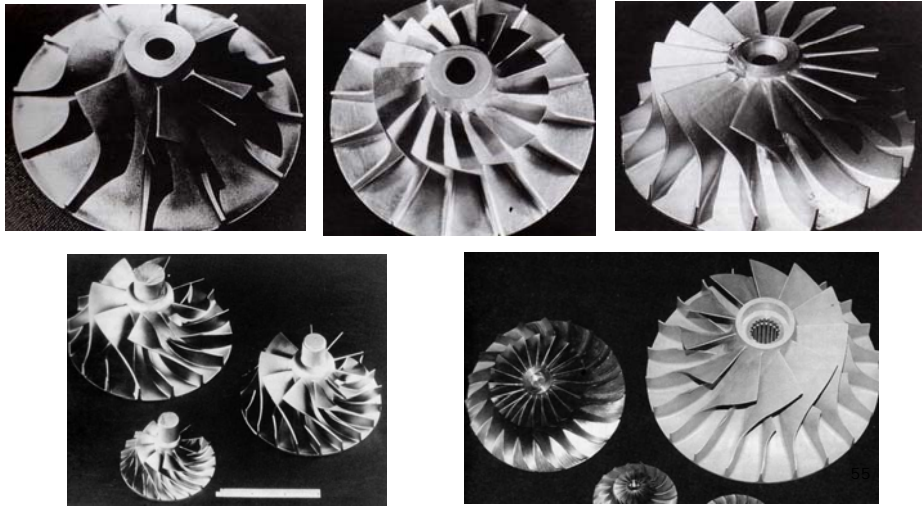
Compresor Centrifugo 8 etapas "back-to-back" refrigeración amoniaco



Compresor carcasa partida + barril forjado gas lift



Evolución rotores del compresor



Turbocargadores

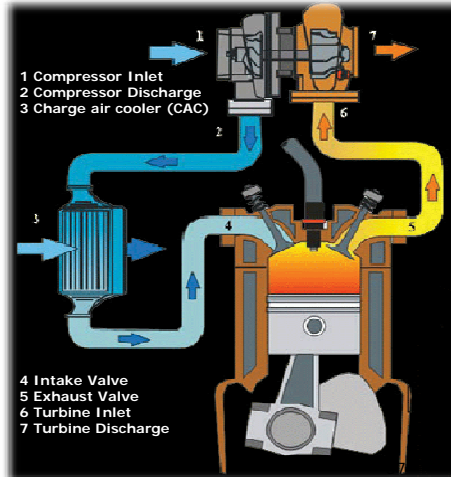
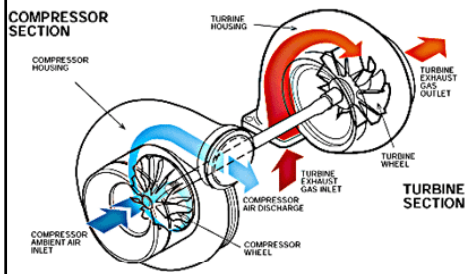


El sistema aprovecha la energía proveniente de los gases de escape para aumentar la densidad del aire suministrado al motor obteniéndose así mayores rendimientos.

Sistema de inducción forzada ampliamente usada en motores de combustión interna.



Turbocargadores/Funcionamiento



- Mejora el desempeño en un (30-80)%
- Aumenta el desgaste de los motores
- Entre 20 y 30 millones manufacturados cada año

<http://static.howstuffworks.com/gif/turbo-parts.gif>

http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/images/tech_center/Tech101_enlarged.gif

Turbocargadores/Partes Principales

