

8082139

Sistemas de Generación Distribuida

TEMA 2.1

Maquinas Térmica

Prof. Francisco M. Gonzalez-Longatt

fglongatt@ieee.org

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

8082139
Sistemas de Generación Distribuida

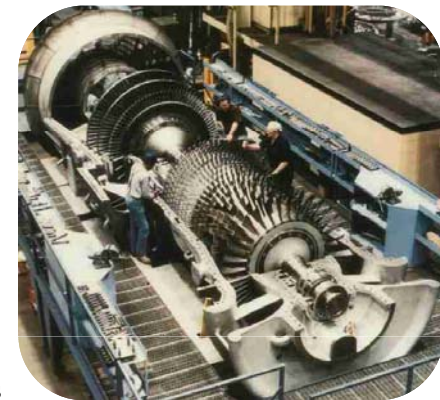
Maquina Térmica

Maquinas Térmicas

- Las *máquinas térmicas* a todos aquellos sistemas que funcionando periódicamente sean susceptibles de *transformar calor en trabajo*.
- El calor puede proceder, en la mayoría de los casos, de una *reacción química (combustión)*, siendo absorbido por el fluido o agente motor, encargado de poner en movimiento los mecanismos que ejercen las fuerzas sobre el medio exterior.



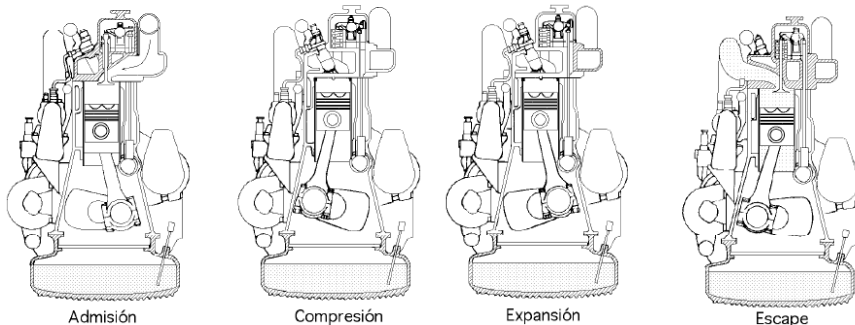
Motores Diesel



Turbina a Gas

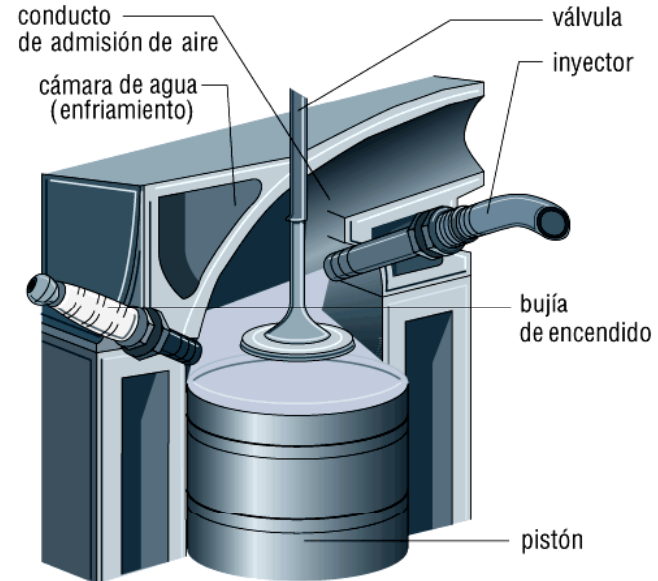
Maquinas Térmicas

- La combustión se puede realizar:
 - Fuera de la máquina térmica, (*motores de combustión externa*):
 - *De movimiento alternativo, como las máquinas de vapor de émbolo*
 - *De movimiento rotativo, como las turbinas de vapor*
 - Dentro del mismo cilindro de trabajo (*motores de combustión interna*):
 - *De movimiento alternativo, como los motores de explosión*
 - *De movimiento rotativo, como las turbinas de gas*



Maquinas Térmicas

- Los principios que gobiernan la operación de éstas máquinas son los denominados *ciclos termodinámicos*.
- En función de ellos, los motores de combustión interna, recaen en cuatro tipos:
 - *Motor cíclico Otto,*
 - *Motor diesel,*
 - *Motor rotatorio y*
 - *Turbina de combustión.*



Generador con Maquinas de Combustión Interna

- Generadores empleando Motores Diesel-

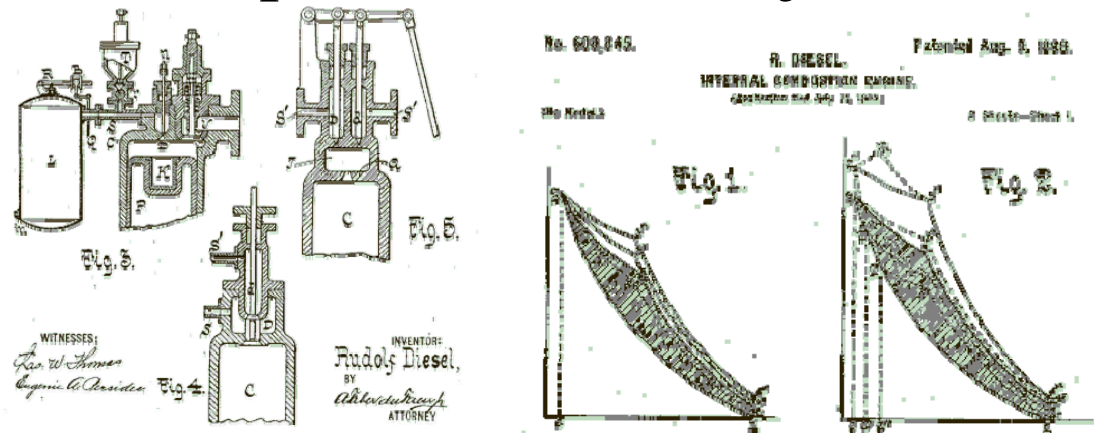
Introducción

- Dominan el mercado cuya capacidad se encuentra por debajo de 1 MW.
- Representa el 5% (146 GW) de la capacidad de generación instalada a nivel mundial (3000 GW).
- En EE.UU: 52 GW (7%) de los 780 GW de capacidad instalados son motores recíprocos, 300.000.
- Holanda, China e Indonesia, las del 25% de la capacidad instalada son MR.

Clasificación

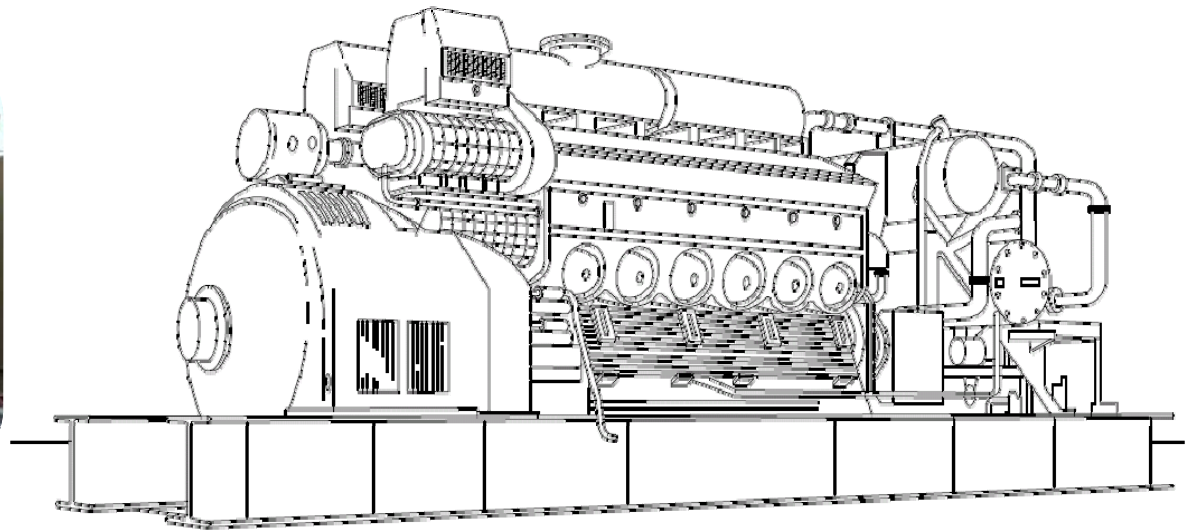
Maquina térmica de combustión Interna:

- *Motores de ignición por chispa (SI: spark-ignited)*, típicamente emplean la gasolina o el gas natural como combustible
- *Motores de ignición por compresión (CI: compression ignited)*, típicamente trabajan con combustible diesel.



Clasificación

- Todos los *motores operan a cuatro ciclos*: admisión, compresión, explosión (*power*) y escape.
- Motores ignición chispa, *no son empleados en generadores del tipo diesel*.
- Motores empleando ignición por compresión, es típico de generadores diesel.



Clasificación

- Los motores reciprocantes, o a pistón, son la *más común y técnicamente madura* de las tecnologías empleadas en las fuentes de generación distribuida.
- Los motores de combustión interna pueden ser clasificados:
 - Alta velocidad
 - Media y
 - Baja velocidad.

Clasificación

- *Unidades de alta velocidad:* motores de camiones y operan a *1200-3600 rpm*. Bajo costo de capital, baja eficiencia
- *Unidades de velocidad media:* locomotoras y pequeños motores marinos, *275 y 1000 rpm*, alto costo de capital pero una la mas alta eficiencia.
- *Unidades de baja velocidad:* barcos, *58 y 275 rpm*, son diseñados para quemar combustibles de baja calidad

Clasificación

- Motor usualmente directamente acoplado al generador y opera a velocidad sincrónica

• *Generadores pequeños*: 3600 rpm (60 Hz), 3000 rpm (50 Hz) – 2 polos.

• *Generadores medianos*: 1800 rpm (60 Hz), 1500 rpm (50 Hz) – 4 polos.

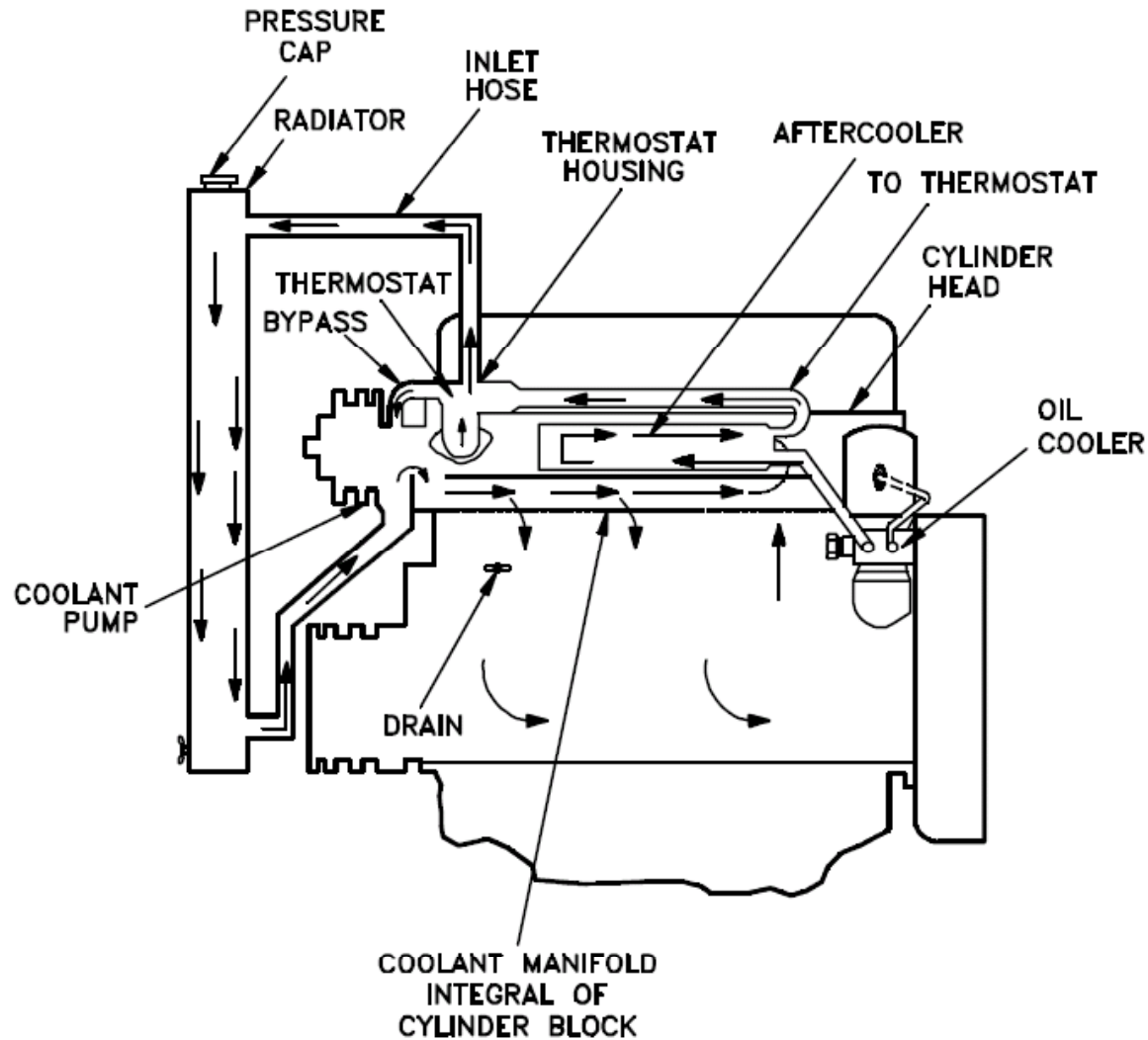
• *Generadores grandes*: 1200 rpm (60 Hz), 750 rpm (50 Hz) – 6 u 8 polos.

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{RPM} \times \text{Numero de Polos}}{120}$$

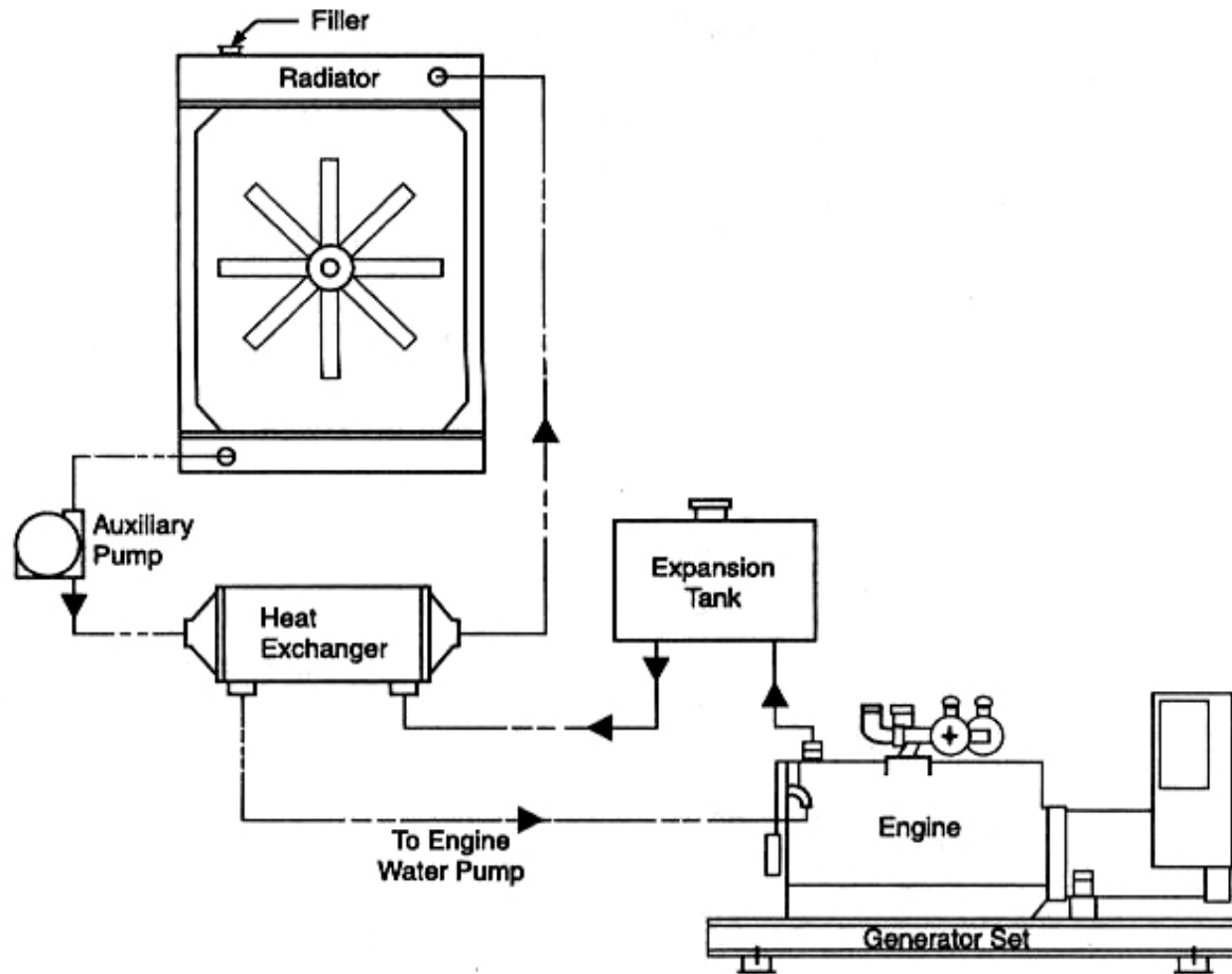
Sistema de Refrigeración

- Sistema de refrigeración: (1) *Aire*, (2) *Líquidos*.
- *Aire* se emplea en generadores de *pequeño y mediano tamaño*.
- Refrigerado por aire tienen a ser *mas ruidosos*.
- El sistema de refrigeración por *liquido* se usan en *maquinas grandes*, y pueden *incluir refrigeración del aceite*.
- El radiador puede estar ubicado en un sitio diferente, *y resultan menos ruidoso*.

Sistema de Refrigeración

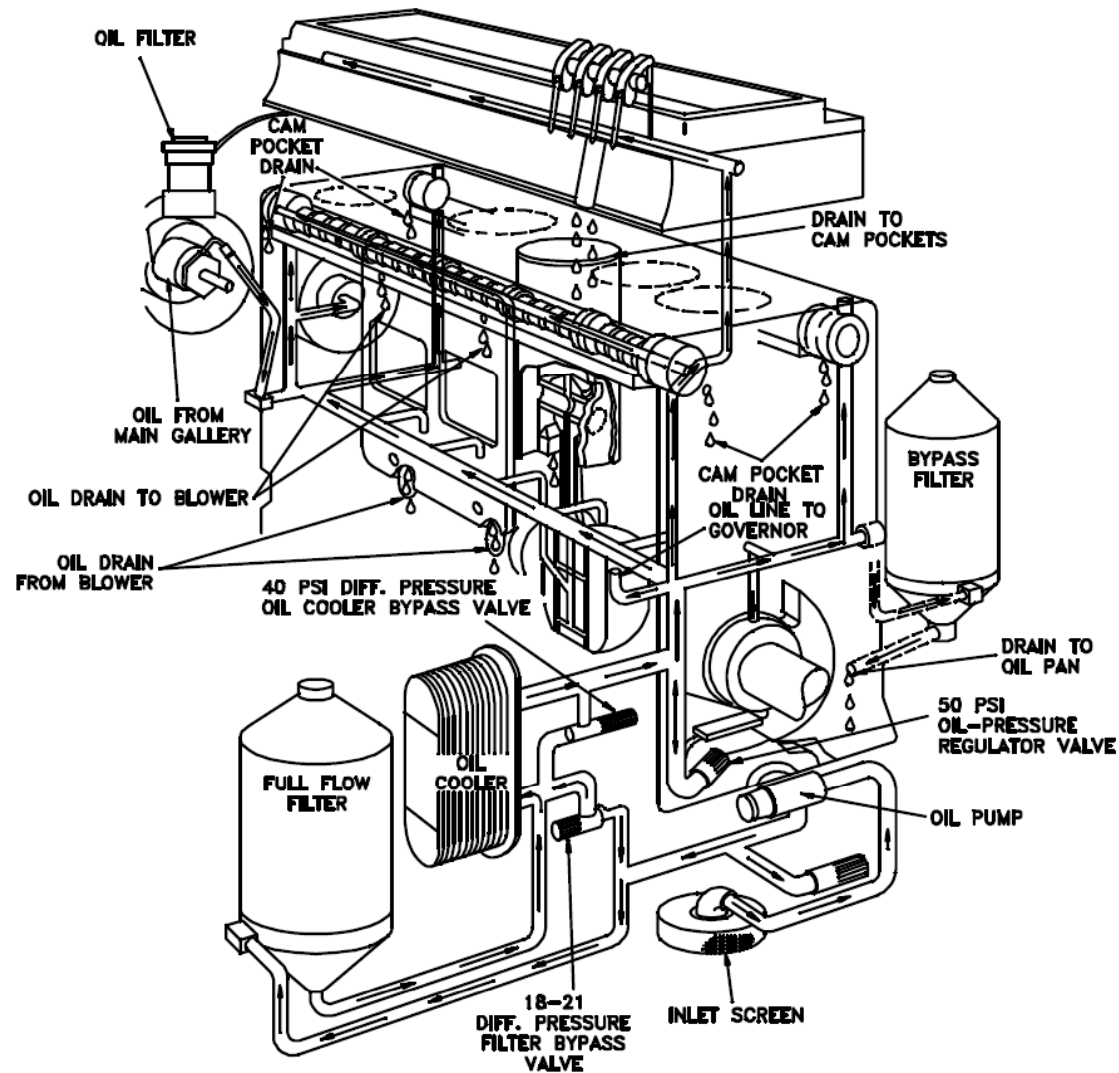


Sistema de Refrigeración



Remote Radiator Installation

Sistema de Lubricación

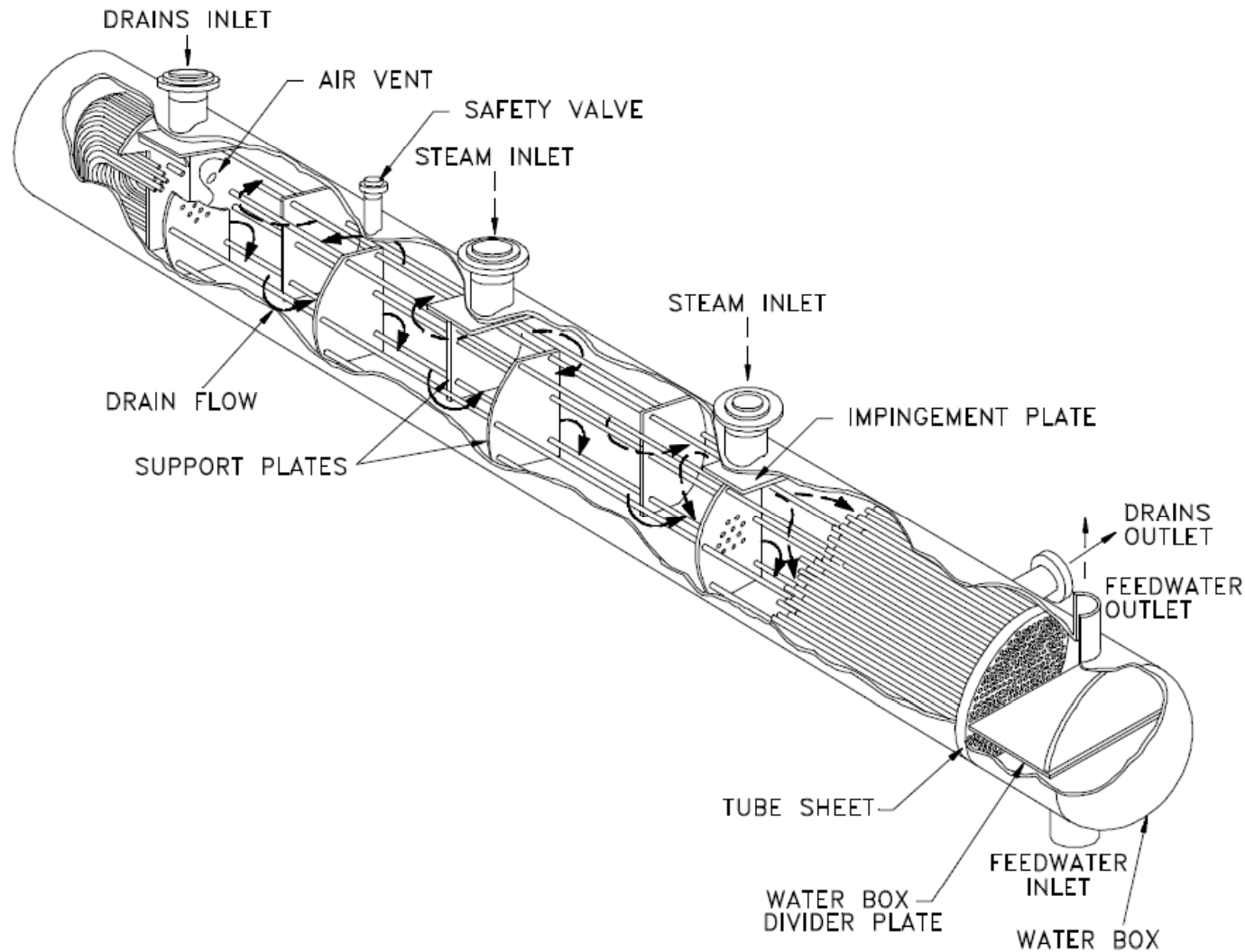


Aplicación

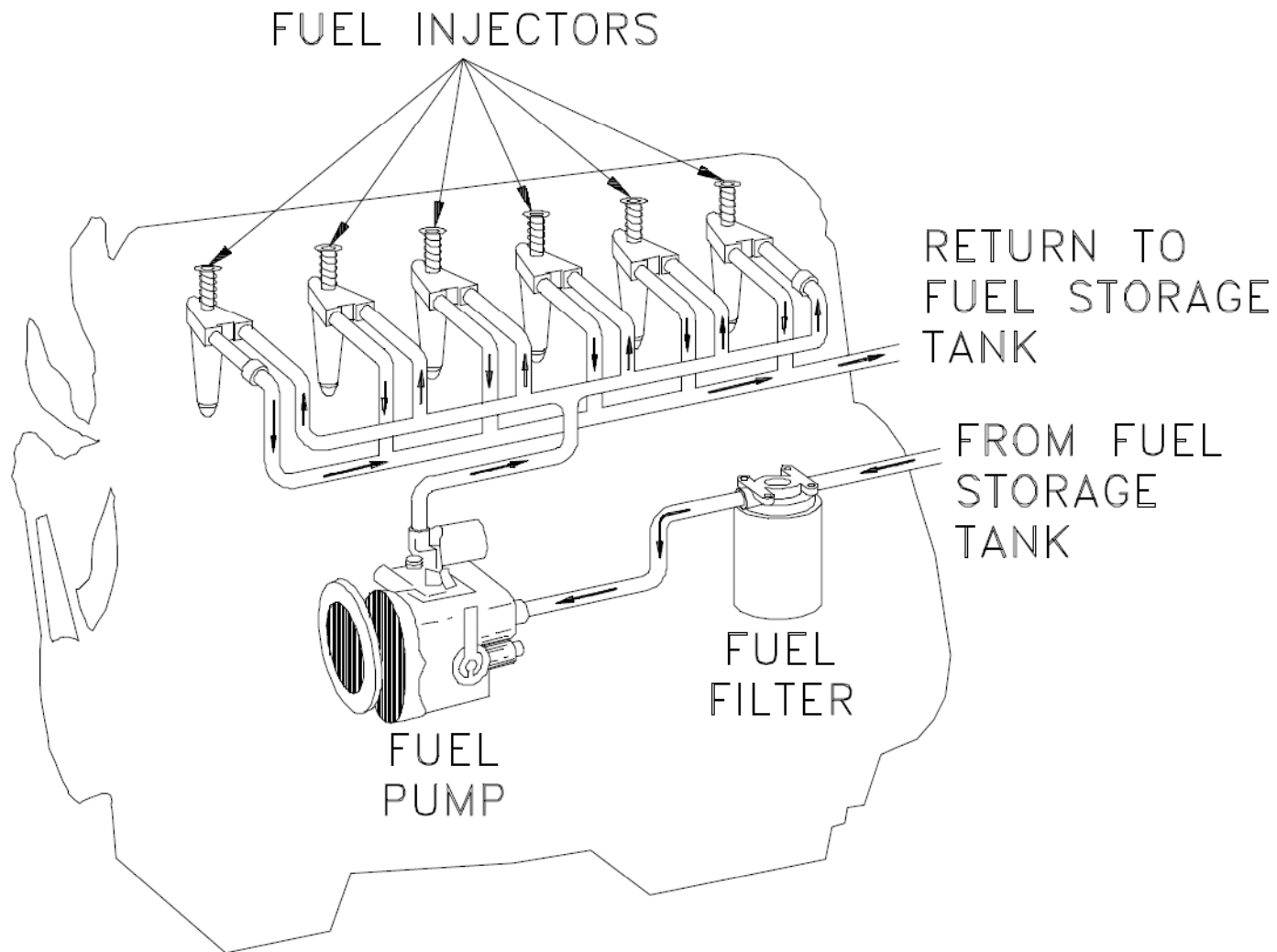
- *Gensets*, tamaños que van desde menos de *5kW hasta mas de 7 MW*.
- Se emplean en *generación de respaldo (bak-up power)*.
- Usados *en combinación con un UPS de 1-5 minutos (Uninterruptible Power Supply)*, el sistema es capaz de suplir si problemas durante una salida del sistema.
- Grandes motogeneradores pueden ser usados para *carga base (base-load), soporte de malla, o aplanado de demanda (peak shaving)*.



Intercambiador de Calor



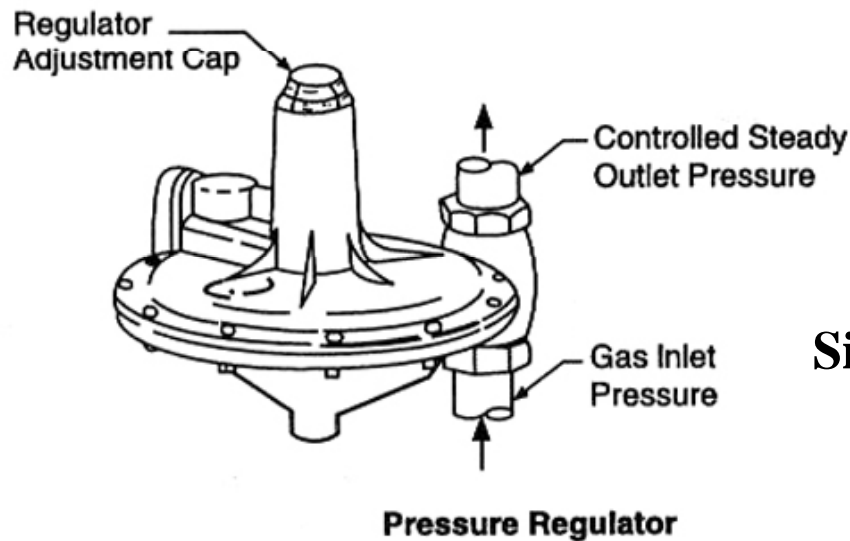
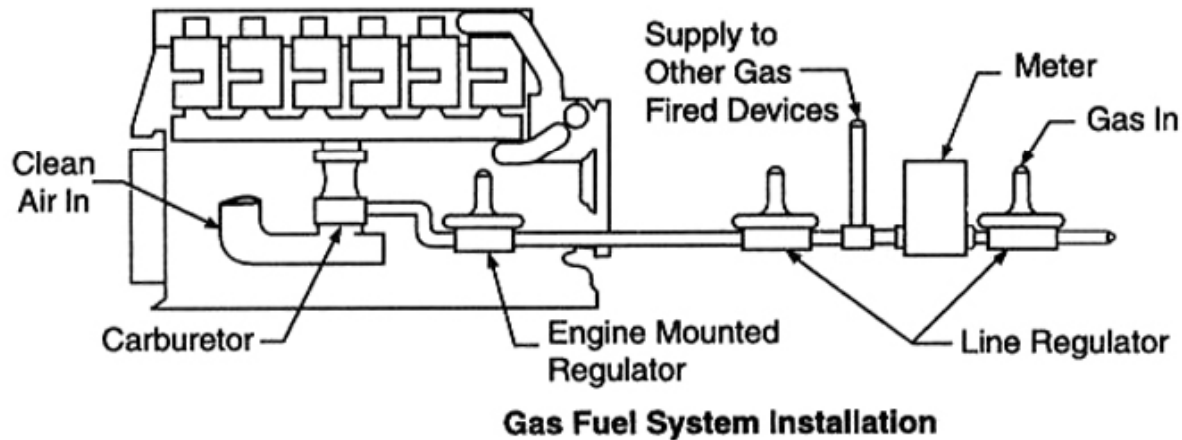
Sistema de Combustible



Combustibles

- Cuando se comparan eficiencias de los motores, se debe *tomar en cuenta los BTU/kWh*.
- La diferencia entre motores diesel y a gas se centra en *la forma en que entra el combustible a la cámara de combustión*.
- En el *motor diesel el combustible es introducido a alta presión en la cámara*.
- En el *motor a gas de baja presión es necesario una serie de reguladores*.

Combustibles



**Sistema de Combustible a gas,
con detalle del regulador**

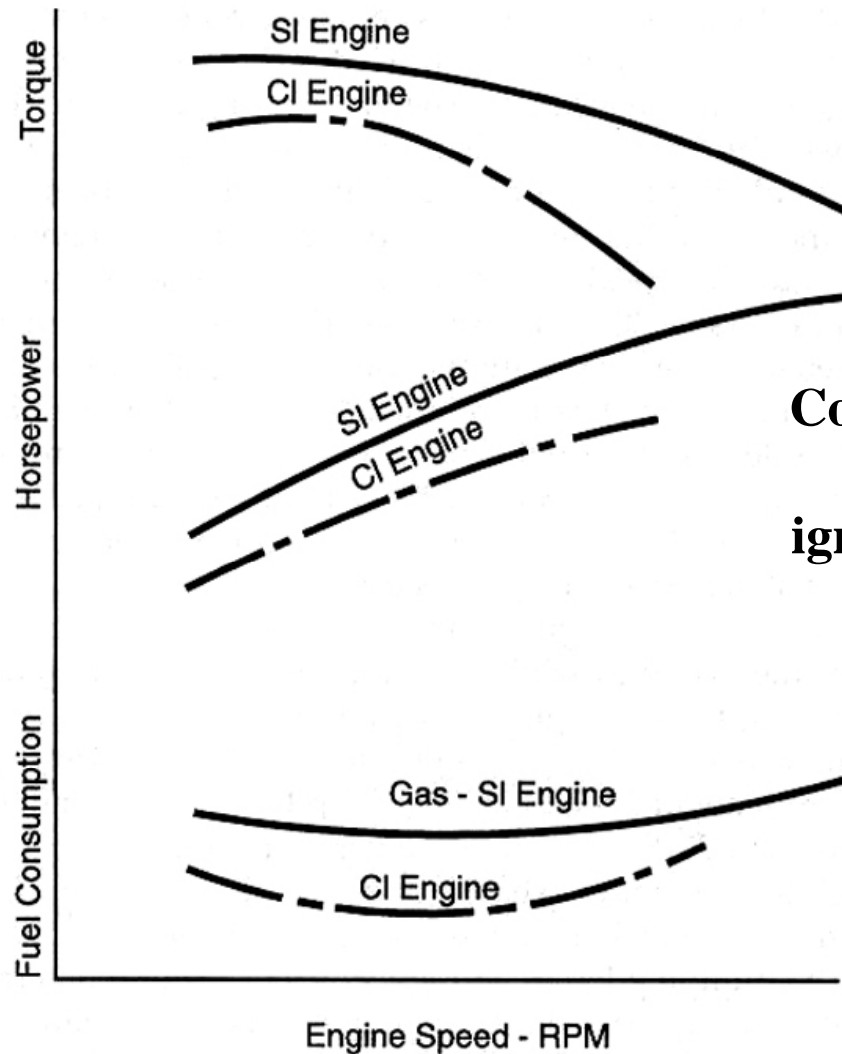
Combustibles

- *Motores a gas* operan a una relación de compresión de 10:1.
- *Motores diesel* operan a una relación de compresión entre 13:1 a 22:1.
- Al aumentar la compresión aumenta la salida de potencia.
- *Motor diesel* tiende a ocupar menos espacio debido a su mayor densidad de potencia.
- *Motor diesel* responden mas lento a los cambios en la carga pero operan mejores a cargas constantes.

Combustible

- Para una misma potencia de salida, *el motor diesel es mas barato que el motor a gas.*
- El *combustible diesel es mas costoso* que el combustible de gas natural (para el mismo contenido calórico, BTU).
- Si la maquina operara un numero grande de tiempo, es recomendable el uso del gas natural.
- El gas natural no es disponible en todo lugar, y el combustible diesel debe ser transportado.

Combustible



Comparación entre los motores con ignición por chispa (SI) e ignición por compresión (CI) con el mismo desplazamiento en pulgadas cubicas

Eficiencia

- La regla general es que *1/3 de la energía contenida en el combustible es trabajo útil.*
- *La eficiencia de las maquinas ha crecido en el tiempo; la actual se aproxima al 40%.*
- *Al eficiencia, varia con el punto de operación de la maquina.*
- *Fuera de la carga y velocidad de diseño (off design load), la eficiencia cae.*

Eficiencia

- Los motores de tamaño grandes pueden durar 20-30 años mientras *motores más pequeños (<1MW)* *tienden a tener vidas útiles cortas*
- *Eficiencias en un rango entre 25 a 45%.*
- *Son mas eficientes que los motores a gas natural, operan a mayor relación de compresión.*

Eficiencia

- El futuro se busca mas bajo consumo de combustible y una *eficiencia en eje mas alta, 50 a 55% en motores grandes (> 1MW) para el año 2010.*
- Las emisiones descontroladas de NOx (especialmente motores diesel) *son las mas altas de todas las tecnologías GFD.*

Emisiones Contaminantes

Niveles de Emisión de Motores Reciprocantes Típicos

	Gas Natural	Diesel
	Gas de salida, ppmv @ 15% O ₂	Gas de salida, ppmv @ 15% O ₂
NOx descontrolada	45-200	450-1,600
NOx con sistema control emisiones	4-20	45-160
CO descontrolada	140-700	40-140
CO con catalizador de oxidación	10-70	3-13

Características

- *El tiempo de arranque es de 0.5 a 15 minutos.*
- *Alta tolerancia para arranques y paradas.*
- *Menor cantidad de calor remanente puede ser recuperado que las turbinas.*
- Partes del motor construidas para 8000 horas de operación.
- Los cambios regulares de aceite y filtro son requeridos a 700 – 1000 horas de operación.
- *El rendimiento del ciclo Diesel aumenta cuando aumenta la relación de compresión*



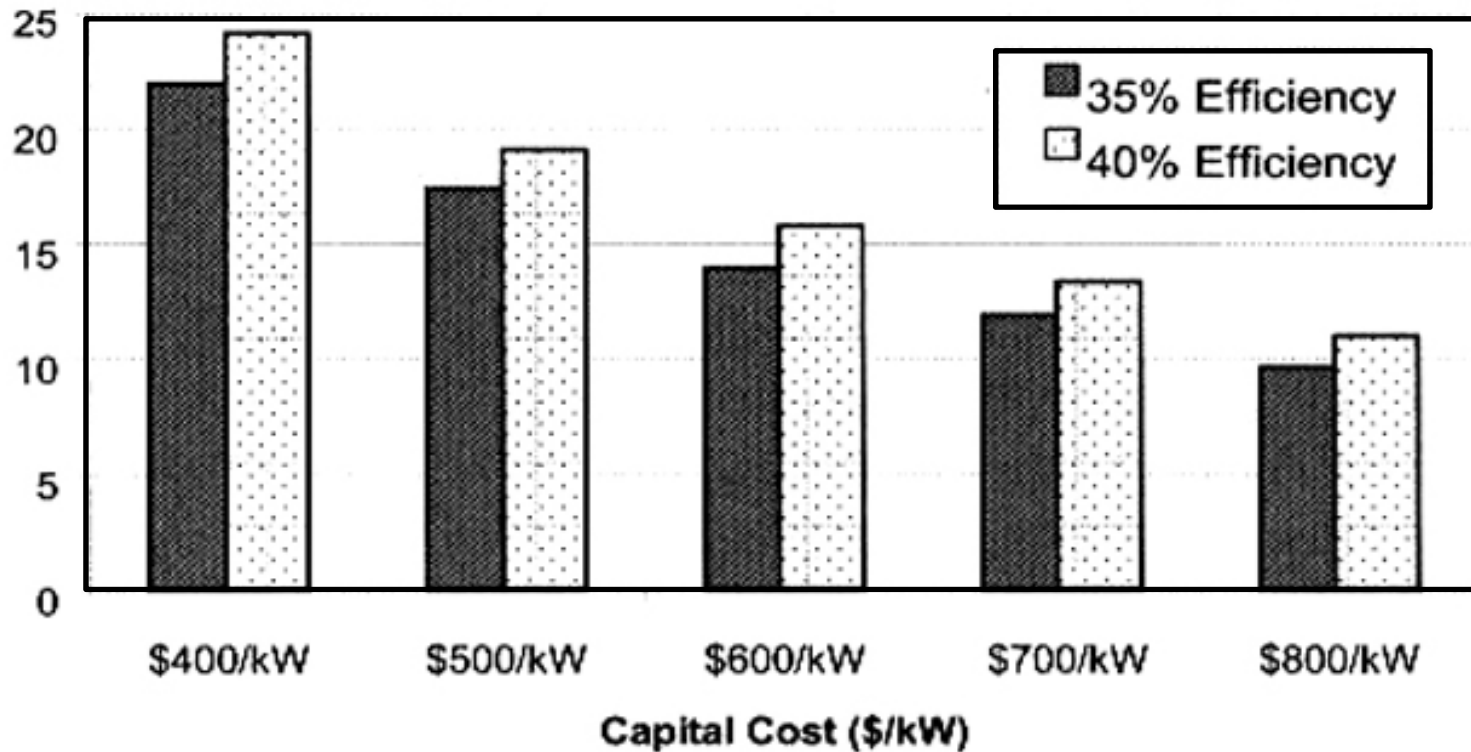
Costos

- *El mas bajo costo inicial de todas las tecnologías FGD.*
- El costo de capital de un conjunto de un generador que usa gas como combustible (*genset*) tiene un paquete que varia en un rango desde los *300US\$/kW* a los *900US\$/kW*.
- El costo total de instalación puede ser 50-100% más que el costo del motor mismo.



Tasa Interna de Retorno

Internal Rate of Return (%)



Maquinas empleadas en *peak shaving*
3200 horas/año

Incremento a Velocidad

- *Un sustancial aumento en la potencia de salida son logrados con un incremento en la velocidad de operación.*
- *El incremento de potencia de salida posee un efecto inverso en el costo instalado por unidad.*
- *Un modesto incremento en costo puede ser encontrado debido a los requerimientos de fortaleza en los motores de mas alta velocidad*

Incremento a Velocidad

Descenso del costo de capital con incremento en velocidad de la maquina

<i>Velocidad</i>	<i>Potencia</i>	<i>Costo</i>
900 → 1200 rpm		
900 rpm	365 kW	300 US\$/kW
1200 rpm	480 kW	300 US\$/kW
1200 → 1800 rpm		
1200 rpm	480 kW	300 US\$/kW
1800 rpm	725 kW	300 US\$/kW

Costos Operativos y de Capital

Costo de capital y mantenimiento de diferentes tamaños y combustible

<i>(kW)</i>	<i>Combustible</i>	<i>Costo capital (US\$/kW)</i>	<i>Operacion y Mantenimiento (US\$/kW)</i>
50	Gasolina	475	55
250	Diesel	590	22
1000	Diesel	475	1.89
1100	Gas Nat.	590	2.7

Costos

- *Costo total instalado* (puede suponer entre un 50-100% de aumento respecto al precio del motor, i.e de 700 a 1200\$/kW)
- *Mantenimiento* cada 700-1000 h de uso (0.005-0.01\$/kWh), siendo más baratos los que utilizan gas natural

Fabricantes

- DTE energy technologies
- Power Plus Technologies GmbH
- Cummins
- Generac Power Systems
- Honda Power Equipment
- Kohler Generators



www.cummins.com



www.generac.com



www.ddcmtupowergeneration.com



www.guascor.com



www.kohlerpower.com



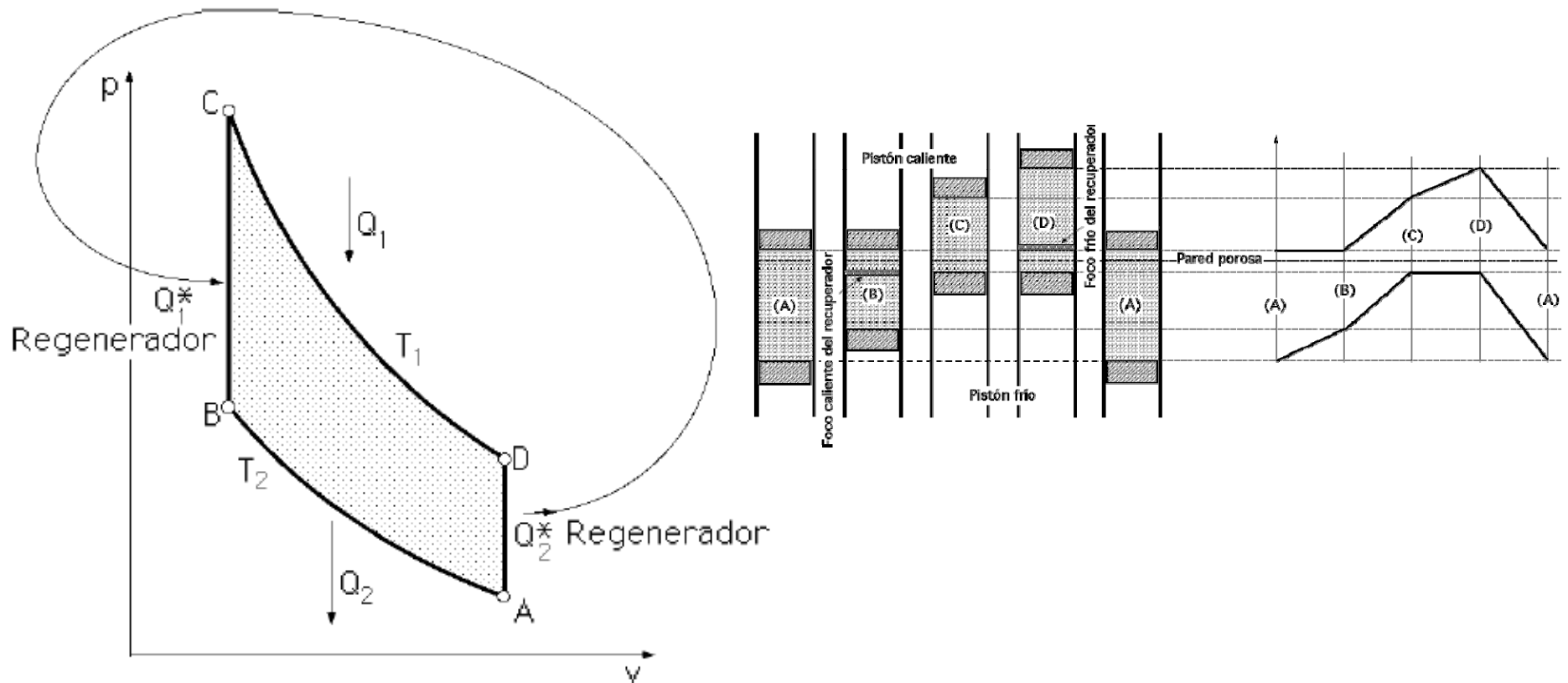
www.hondapowerequipment.com

Generador con Maquinas de Combustión Externa

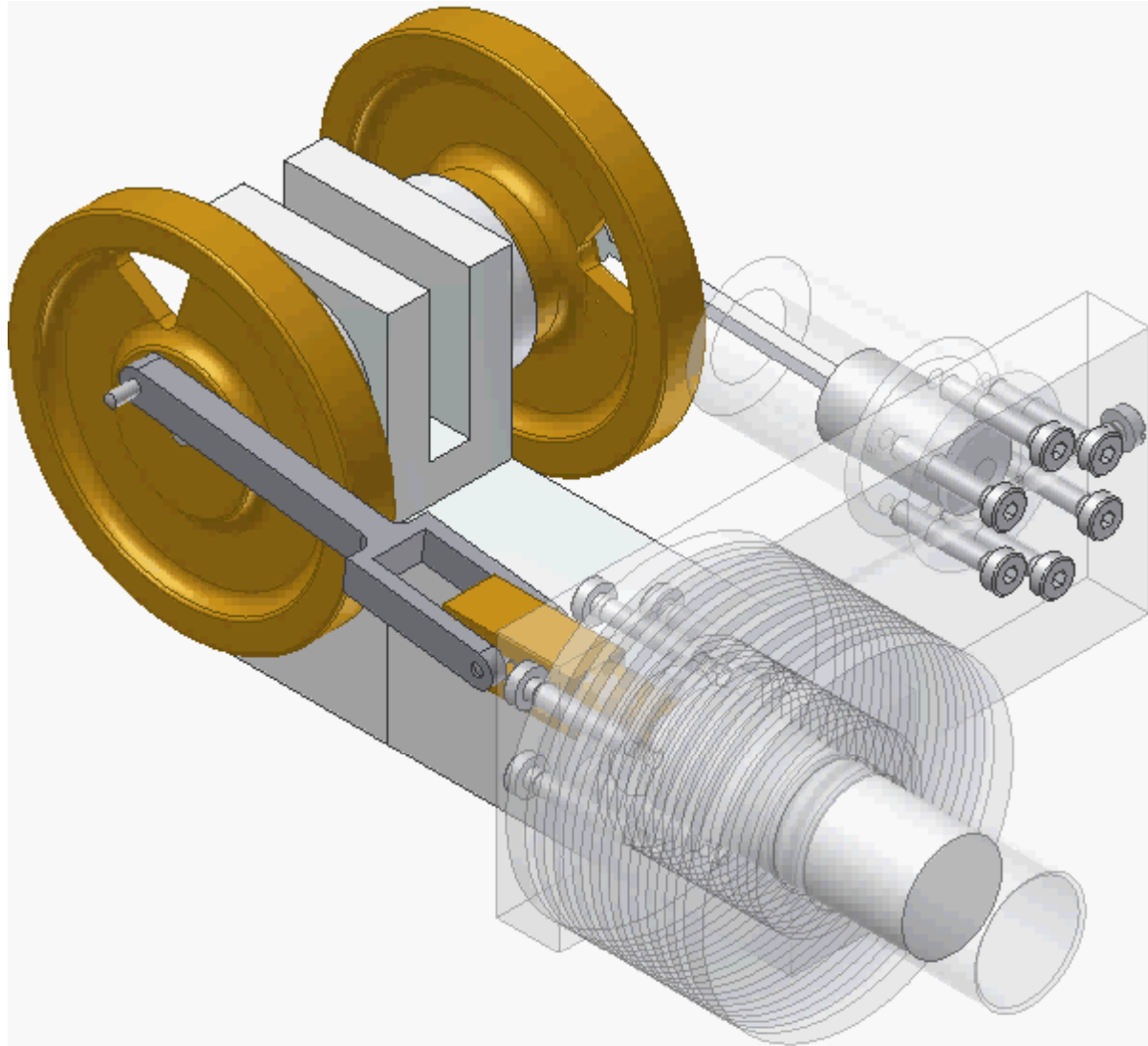
- Generadores empleando Motores Stirling-

Ciclo Stirling

- Ciclo Stirling de un Motor de Aire Caliente



Ciclo Stirling



Ciclo Stirling

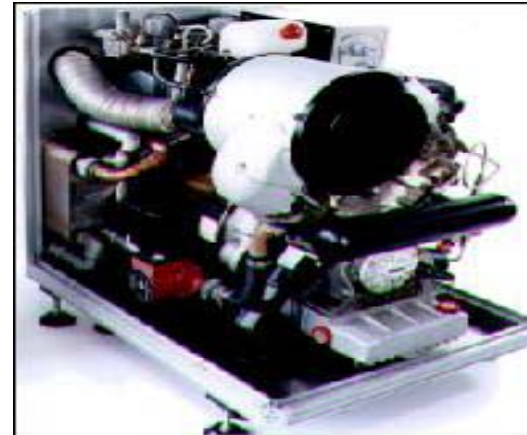
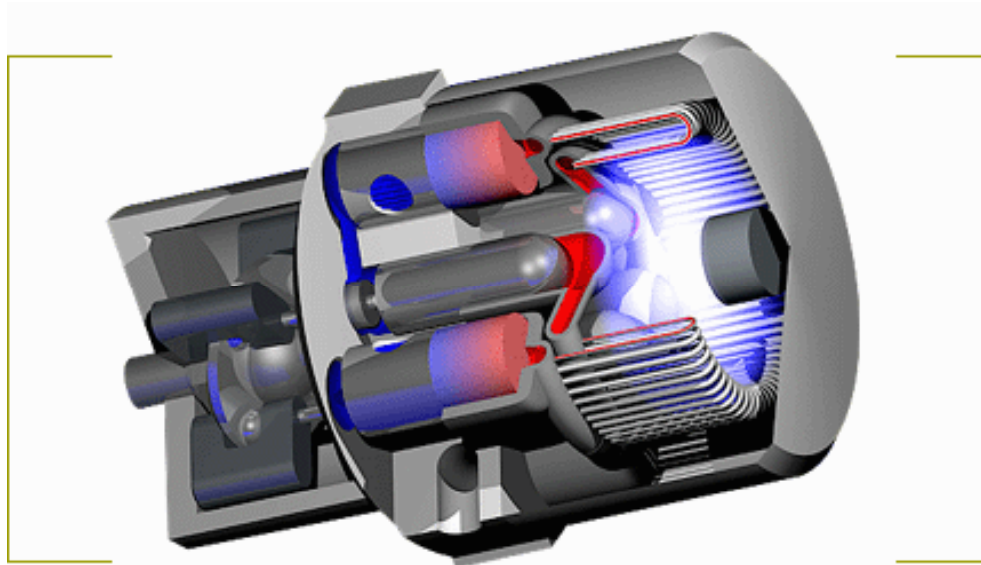
- Generalmente *encontrados en pequeños tamaños (1-25kW)*
- *Capacidad de producir unos 200 a 400 kWh al mes equipos de 1 a 2 kW de potencia aproximadamente.*
- *Motor Stirling es el único capaz de aproximarse (teóricamente lo alcanza) al rendimiento máximo teórico conocido como rendimiento de Carnot.*
- *En lo que a rendimiento de motores térmicos se refiere, es la mejor opción.*

Motor Stirling

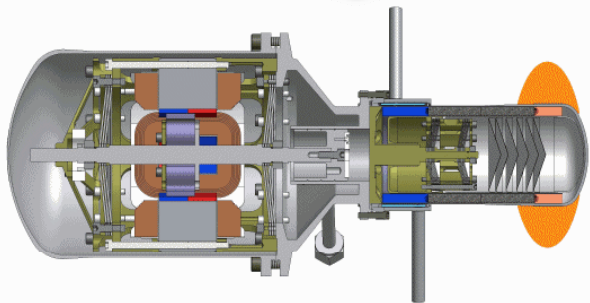
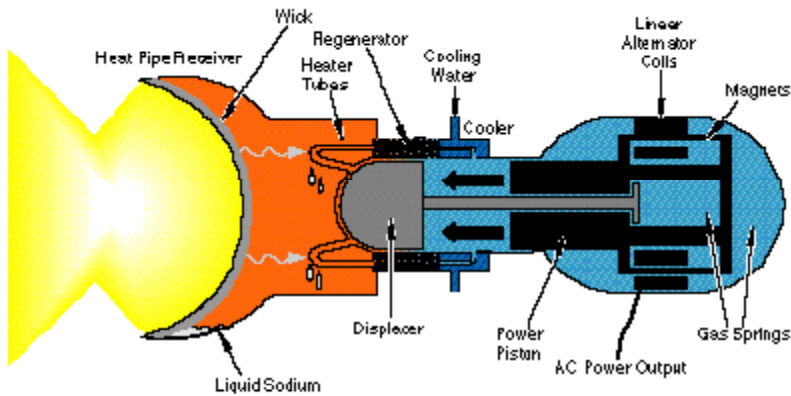
- Los datos de rendimiento sobre motores Stirling *son difíciles de obtener.*
- La energía de un motor Stirling térmico (*STM: Striling Termal Motor*) posee una unidad de 25 kW con una real eficacia eléctrica de *aproximadamente el 30 %*,
- Se estima que *aumente esta eficacia al 34 %*

Motor Stirling

- *Los costos de capital (2.000- 50.000 US\$/kW) son relativamente altos, y **no son actualmente competitivos.***
- **No hay aun experiencia acumulada.**



Discos Solares



La continua expansión y refrigeración del fluido de trabajo causa el movimiento del pisto crea un efecto de refrigeración. Estos tipos de sistemas son llamados refrigerantes Stirling o (cryocoolers) y pueden mantener la temperatura tan bajo como 10 Kelvin (-263°C , y -442°F)

Fabricantes

- Kockums (<http://www.kockums.se/>) 25kW
- Stirling Energy Systems, Inc
(<http://www.stirlingenergy.com>) 25kW
- Stirling Technology Company
(<http://www.stirlingtech.com>) 55 a 3.000 watts.
- Stirling Technology, Inc. (<http://www.stirlingtech.com>) 5 HP
- Sunpower, Inc. (<http://www.sunpower.com>)
- WhisperTech Ltd (<http://www.whispergen.com>) 5-6kW