INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

"Escuela Superior De Ingeniería Mecánica y Eléctrica"
Unidad Culhuacan

INGENIERIA MECANICA

ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE MOTORES DE DOS TIEMPO EN PLANTAS DE POTENCIA

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO

PRESENTAN:

ARNULFO ALVAREZ RAMIREZ
RAUL ELIZALDE SANCHEZ

ASESORES:

DR. MIGUEL TOLEDO VELÁZQUEZ
ING. VICTORIA ESQUIVEL LARA

MÉXICO, D. F. MAYO DE 2007.

INDICE ANALITICO

OBJETIVO…….....6

INTRODUCCION…….....6

CAPITULO I ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE LOS MOTORES DE DOS TIEMPOS

1.1 Motor Otto…….....8
1.2 Motor Diesel…….....8
1.3 Comparación entre el motor de gasolina y diesel…….....9
1.4 Ciclo diesel teórico…….....18
1.5 Motor de dos tiempos…….....22
1.6 Combustible……26

CAPITULO II ASPECTOS DE DESARROLLO COMBUSTIVO

2.1 Características de la inyección……..28
2.2 Sistemas de inyección en motores diesel……..30
2.3 Bujías de incandescencia……..32
2.4 Condición de la inyección de los motores Diesel…….32
2.5 Bomba de inyección……...……...33
2.6 Aumento de potencias. Curvas características……36
2.7 Diferentes tipos de compresores……...37

CAPITULO III ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE COMBUSTIÓN

3.1 Factores que influyen en la combustión.....…….44
3.2 Bombas…….49
3.3 Policarburante.....……..61

CAPITULO IV APLICACIONES

4.1 Aplicaciones del motor diesel de dos tiempos……63
4.2 Análisis de fallas del motor diesel……...67
4.3 Análisis de falla en el sistema de admisión…….68
4.4 Análisis de fallas del sistema de escape……...73
4.5 Análisis de fallas del sistema de enfriamiento……75
4.6 Análisis de fallas del sistema de lubricación……...76
4.7 Defectos……...79

Conclusiones.....…….87

Bibliografía……..90

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE LOS MOTORES DE DOS TIEMPOS

1.1 Motor Ecopower de Saab de ciclo Otto……..8
1.2 Motor Diesel……...9
1.3 Comparación del rendimiento de un motor de gasolina y el de un motor diesel…..10
1.4. Diagrama ciclo Diesel……...19
1.5 Comparaciones entre ciclos Diesel ……..20
1.6 Motor diesel de dos tiempos…….22
1.7 El pistón sube del PMI al PMS…….24
1.8 Inicio de la compresión…….25

CAPITULO II ASPECTOS DE DESARROLLO COMBUSTIVO

2.1 Pistón para motor diesel con el postizo en la cabeza……...29
2.2 Toberas de inyector para motores de inyección directa……..31
2.3 Tipos de cámaras de inyección indirecta…….32
2.4 Curvas características……..36
2.5 Curvas características……..36
2.6 Diferentes tipos de compresores…….37
2.7 Compresor Volumétrico……..38
2.8 Funcionamiento de tallado de los lóbulos……39
2.9 Recorrido del aire a través de los lóbulos del comprensor…….39
2.10 Máquinas turbosplantes... …….40
2.11 Primera fase del turbosplantes……..41
2.12 Segunda fase del turbosplantes……42
2.13 Tercera fase del turbosplantes……43

CAPITULO III ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE COMBUSTIÓN

3.1 Inyector de tipo de tobera abierta seccionado……45
3.2 Disposiciones diversas de los inyectores cerrados…….46
3.3 Inyector de tobera abierta refrigerado……47
3.4 Tobera preparada para llevar circuito de refrigeración……...48
3.5 Diferencia de ángulos en los asientos cónicos……48
3.6 Bomba rotativa DPA de CAV……49
3.7 Bomba rotativa PRS de SIGMA……50
3.8 Vista seccionada de la bomba inyectora rotativa DPA……..51
3.9 Vista seccionada de la bomba rotativa PRS SIGMA…….52
3.10 Bomba rotativa EP/VA de BOSCH……53
3.11 Bomba americana ROOSA MASTER……...54
3.12 Esquema de funcionamiento de la bomba rotativa BOSCH……..55
3.13 Sección de la bomba en línea IESA individual……..56
3.14 Sección de la bomba múltiple IESA……..57
3.15 Sección de la bomba SIGMA……58
3.16 Vista seccionada de la bomba SIGMA…….59
3.17 Vista en sección de la bomba CAV de Condiesel……60
3.18 Forma de regulación de las bombas normales……..61
3.19 Marcha Dual –Fuel o Diesel-Gas……..62

CAPITULO IV APLICACIONES

4.1 Motor de dos tiempos……..63
4.2 Alimentación de diesel al motor……..64
4.3 En el primer ciclo los gases son expulsados por el múltiple de escape……...65
4.4 Salida de los gases de escape……...65
4.5 Planta de 43 MW ubicada en La Paz, Baja California……66

INDICE DE TABLAS

CAPITULO IV APLICACIONES

4.1 El motor no arranca o arranca con dificultad……...79
4.2 Compresión demasiado débil……..79
4.3 Inyectores defectuosos……...80
4.4 La bomba de inyección no comprime, o bien la presión es demasiado baja…….81
4.5 Las bujías calefactores permanecen frías……...81
4.6 El motor golpea……..82
4.7 Causas que provengan de la distribución de combustible……...82
4.8 El motor gira irregularmente…….83
4.9 La velocidad de rotación de la bomba a pleno gasto es excesiva……..83
4.10 Pérdida de potencia……84
4.11 Pérdida de potencia……84
4.12 Humos azules en el escape…….85
4.13 Humos blancos en el escape…….85
4.14 El motor se calienta demasiado……...86

ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE MOTORES DE DOS TIEMPOS EN PLANTAS DE POTENCIA

OBJETIVO

El propósito de este trabajo es el de realizar un estudio del funcionamiento de las plantas de potencia de dos tiempos, y conocer cada uno de los componentes que la integran para poder hacer un análisis correcto en cuanto a su desempeño.

También presentamos un análisis del comportamiento que tiene el ciclo al implementarse su uso en algunas Plantas de Potencia como es la Planta de potencia Diesel modelo MAN B&W Diesel 12 K80MC-S que se localiza en La paz, Baja California.

INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica actual, según reporta la Comisión Federal de Electricidad, asciende a 95 mil GWh aproximadamente, la cual se obtiene a partir de una capacidad efectiva instalada de 46 000 MW.

Puesto que nuestro propósito es presentar las bondades que ofrece el ciclo Diesel, comparado con el ciclo Otto cuando se aplican a plantas de potencia, iniciamos este estudio presentando la evolución que han tenido estos motores.

El inventor inglés Thomas Newcomen construyó a principios del siglo XVIII una máquina de vapor con pistones y cilindros que resultó muy eficiente, posteriormente el ingeniero escocés James Watt construyó una máquina de vapor con mayor eficiencia que la de Newcomen. En la segunda mitad del siglo XIX, el ingeniero franco-belga Etienne Lenoir hace un prototipo de un motor de combustión interna que fue el primero que tuvo éxito y constaba de un proceso de admisión de la mezcla de aire y combustible a presión constante, explosión de 2 a 3 a volumen constante sin una compresión previa, expansión adiabática y salida de los gases quemados a volumen constante; en 1877 el alemán Nikolaus Otto construyó un motor de cuatro tiempos, el cual ya incluía un proceso de compresión de la mezcla.

El ingeniero inglés Charles Parsons diseñó el primer generador electrónico de turbina a vapor y en 1892 el alemán Rudolf Diesel inventó un motor que funciona con un combustible que se prende a elevada presión. En la práctica el motor resulta ser mucho más eficiente que los motores de combustión interna existentes en aquel momento. Para 1970 nos encontramos con el motor a reacción con turborreactor que es el de uso más frecuente hoy en día en los aviones, sustituyendo a los antiguos motores de cuatro tiempos con hélices.

Al referirnos a los motores de combustión interna los podemos definir como todo tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión.

Es importante conocer el funcionamiento y los avances en cuanto a diseño y eficiencia de los motores Otto y Diesel, Contenido:

En el CAPITULO I presentamos las características de cada uno de ellos y las ventajas que presenta el motor diesel sobre el motor de gasolina.

En el CAPITULO II hablamos de los aspectos de desarrollo constructivo termodinámico del motor Diesel.

En el CAPITULO III hablamos de un análisis termodinámico de combustión de los motores Diesel.

En el capitulo IV presentamos las fallas mas comunes que se presentan en estos motores haciendo un análisis de las causas que las originan y las posibles soluciones.

Esperando que este trabajo, sea de gran utilidad y sirva a los lectores y próximas generaciones interesadas en el tema.

CAPITULO 1

ANALISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE LOS MOTORES DE DOS TIEMPOS

1.1 MOTORES OTTO

El motor convencional del tipo Otto es de cuatro tiempos, es decir, el ciclo completo del pistón tiene cuatro fases, dos hacia el cabezal cerrado del cilindro y dos hacia atrás. Durante la primera fase del ciclo el pistón se mueve hacia atrás mientras se abre la válvula de admisión. El movimiento del pistón durante esta fase aspira hacia dentro de la cámara la cantidad necesaria de la mezcla de combustible y aire (admisión). Durante la siguiente fase, el pistón se mueve hacia la cabeza del cilindro y comprime la mezcla de combustible contenida en la cámara (compresión). Cuando el pistón llega hasta el final de esta fase y el volumen de la cámara de combustión es mínimo, la bujía se activa y la mezcla arde, expandiéndose y creando dentro del cilindro la presión que hace que el pistón se aleje; ésta es la tercera fase (explosión). En la fase final, se abre la válvula de escape y el pistón se mueve hacia la cabeza del cilindro para expulsar los gases, quedando preparado para empezar un nuevo ciclo (escape).

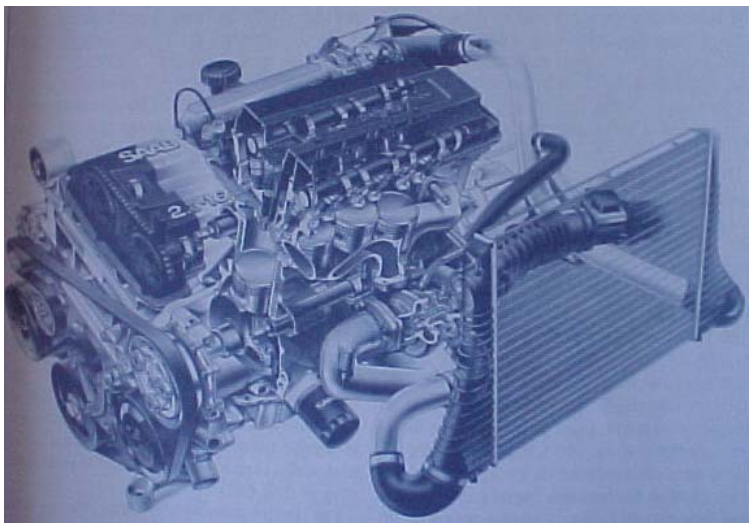


Fig. 1.1 Motor Ecopower de Saab de ciclo Otto

1.2 MOTORES DIESEL

En teoría, el ciclo diesel difiere del ciclo Otto en que la combustión tiene lugar a un volumen constante en lugar de a una presión constante. La mayoría de los motores diesel tienen también cuatro tiempos, si bien las fases son diferentes de las de los motores de gasolina. En la primera fase se absorbe solamente aire hacia la cámara de combustión. En la segunda fase (la de compresión) el aire se comprime a una fracción mínima de su volumen original y se calienta hasta unos 440 ºC a causa de la compresión. Al final de la fase de compresión el combustible vaporizado se inyecta dentro de la cámara de combustión y arde inmediatamente a causa de la alta

temperatura del aire. Algunos motores diesel utilizan un sistema auxiliar de ignición para encender el combustible para arrancar el motor y mientras alcanza la temperatura adecuada. La combustión empuja el pistón hacia atrás en la tercera fase, la de potencia. La cuarta fase es, al igual que en los motores Otto, la fase de expulsión.

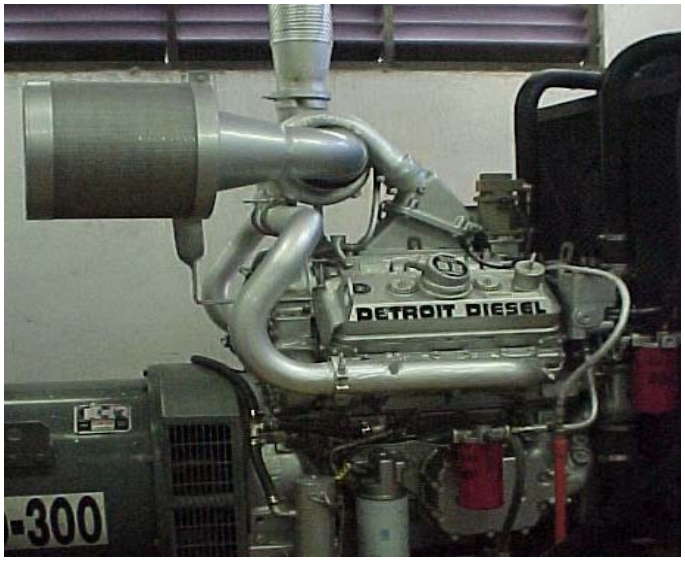


Fig. 1.2 Motor Diesel

1.3 COMPARACIÓN ENTRE EL MOTOR DE GASOLINA Y EL MOTOR DIESEL

1.3.1 Combustible

En el motor de 2 tiempos el combustible es el "diesel". Cuyo precio normal se sitúa alrededor de la mitad del precio de la gasolina. En el motor de 4 tiempos de gasolina el carburante es la gasolina y desde hace algún tiempo también el gas licuado (L.P.).

1.3.2 Relación de compresión del motor diesel

La compresión puede ser aumentada arbitrariamente puesto que el aire es incombustible. Sin embargo es suficiente una relación de compresión de 15:20 para alcanzar una presión final de 30 bar lo que provoca un aumento en la temperatura de 500 °C a 600 °C. Como esta temperatura es mucho más alta que el punto de ignición de la mezcla aire-combustible en la mayoría de los motores diesel el arranque se puede hacer en frío.

1.3.3 Relación de compresión del motor de gasolina

Esta relación no puede pasar de 6 a 10:1 en función del índice de octano de la gasolina. Dado que en la mezcla aire-gasolina la compresión final no puede ser

demasiado alta, el rendimiento no será más que alrededor de un 25 %. El consumo de carburante es de aproximadamente 400g/KWh.

1.3.4 Encendido

En el motor diesel inmediatamente después de que la bomba ha inyectado combustible se produce una combustión espontánea de la mezcla gaseosa. Por el contrario en el de gasolina se efectúa por medio de una instalación eléctrica en la que son frecuentes las averías.

1.3.5 Rendimiento

En el motor diesel puede ser convertida una gran parte de calor en trabajo. El consumo medio de combustible es aproximadamente de 270 g/KWh, en muchos motores el consumo mínimo es de 240 g/KWh.

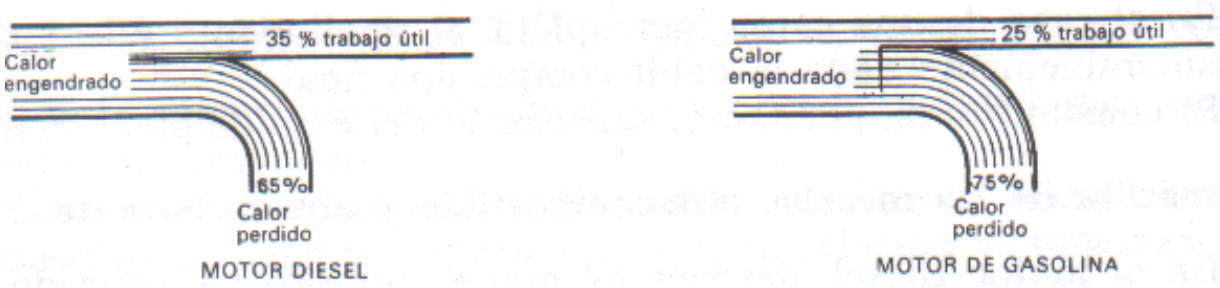


Fig. 1.3 Comparación entre el rendimiento de un motor de gasolina y el de un motor diesel

1.3.6 Toxicidad

Los gases de escape de un motor diesel casi no contienen CO y prácticamente nunca son tóxicos. Los de un motor de gasolina contienen CO y son muy peligrosos.

1.3.7 Desventajas de un motor diesel.

1. Construcción más voluminosa
2. Mayor costo de adquisición (bombas de inyección e inyectores de precio más elevado y construcción mecánica mucho más precisa de los elementos principales.).
3. La bomba de inyección y los inyectores requieren un mantenimiento regular y cuidadoso.
4. Gastos de mantenimiento o conservación más elevados.
5. Debido a sus fuertes vibraciones generalmente se utilizan en vehículos pesados, aunque algunos coches están equipados con diesel.

6. Como los gastos de inversión son bastantes elevados, un vehículo equipado con motor diesel solo será rentable cuando se prevea un recorrido de muchos kilómetros por año.

1.3.8 Ventajas del motor diesel

1. Mejor rendimiento.
2. Combustible más barato.
3. Mayor par motor, particularmente con pocas revoluciones.
4. Ausencia de equipo eléctrico de encendido
5. Peligro de incendio reducido.
6. Gases de escape inofensivos

1.3.9 Ciclo termodinámico

En los motores de combustión interna, para conseguir el par motor que, transmitido a las ruedas, produzca la propulsión del vehículo, se efectúa una serie de transformaciones termodinámicas en el seno de un fluido, llamado fluido operante (gasolina, diesel, gas L.P). El conjunto de transformaciones termodinámicas que deben efectuarse en el fluido operante para obtener el par motor se denomina ciclo termodinámico del motor.

En los motores diesel al inicio del ciclo, el fluido operante es solo aire; a este aire se le inyecta el combustible ala mitad del ciclo. En las últimas transformaciones, al final del ciclo, el fluido operante es una mezcla de gases que son el producto que realizara la combustión.

1.3.10 Ecuaciones de eficiencia para los dos ciclos.

CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL CICLO OTTO POR MEDIO DE CALORES CONSTANTES

A) CICLO OTTO IDEAL, TEORICO

Diagrama P- V

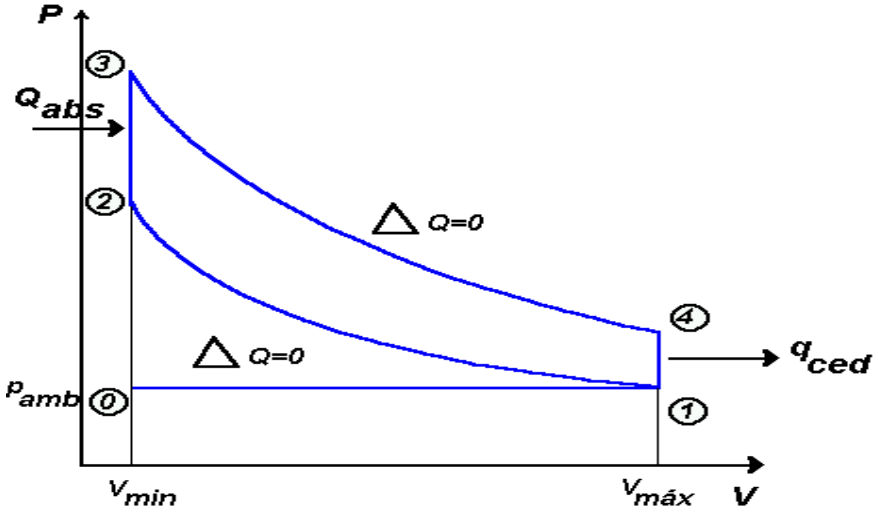
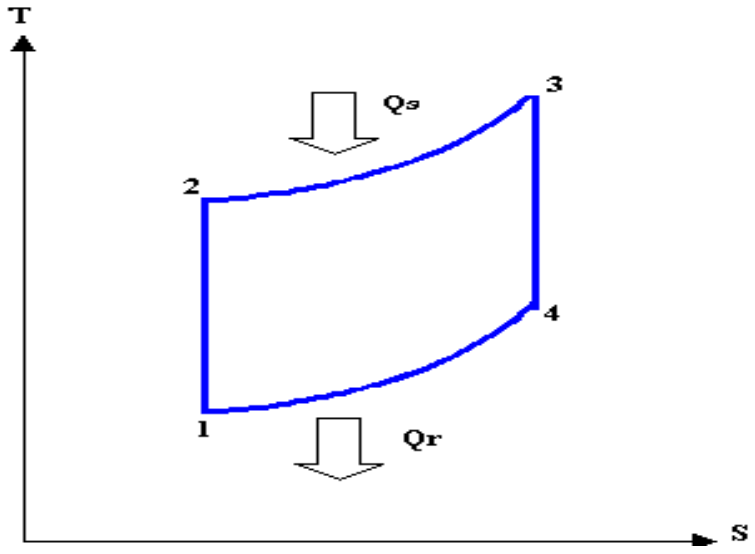


Diagrama T- S



El ciclo teórico tiene las siguientes particularidades:

Proceso:

- La evolución *(0-1)* (admisión) y (*1-0)* (expulsión de gases) son teóricamente ambas a presión atmosférica. Como se recorren en sentidos opuestos, se anulan.
- La combustión *(2-3)* y la apertura válvula de escape *(4-1)* se suponen ambas como evoluciones isócoras (a volumen constante).
- La compresión *(1-2)* y la expansión o carrera de trabajo *(3-4)* se suponen adiabáticas sin roce. Es decir $\Delta Q_{12} = 0$ y $\Delta Q_{34} = 0$.

Calor suministrado:

$Q_S = m\ C_v\ (T_3 - T_2)$

Calor rechazado:

$Q_R = m\ C_v\ (T_4 - T_1)$

Trabajo útil:

$W_{util} = Q_S - Q_R$

Eficiencia:

$$\eta_{OTTO} = \frac{\text{salida deseada}}{\text{entrada requerida}}$$

$$\eta_{OTTO} = \frac{Q_S - Q_R}{Q_S}$$

$$\eta_{OTTO} = 1 - \frac{Q_R}{Q_S}$$

$$\eta_{OTTO} = 1 - \frac{m\ C_v\ (T_4 - T_1)}{m\ C_v\ (T_3 - T_2)}$$

$$\eta_{OTTO} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Esta es la expresión de la eficiencia en función de las cuatro temperaturas.

Para representarla en función de la relación de compresión y del exponente adiabático se parte de:

Relación de compresión

$$r = \frac{V_1}{V_2}$$

$$r = \frac{V_4}{V_3}$$

Eficiencia:

$$\eta_{OTTO} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\eta_{OTTO} = 1 - \frac{T_1 (T_4/T_1 - 1)}{T_2 (T_3/T_2 - 1)}$$

De los procesos adiabáticos:

$$\frac{T_!}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{K-1|}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{K-1|}$$

$$\frac{T_!}{T_2} = \frac{T_4}{T_3} \Rightarrow \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

$$\eta_{OTTO} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{K-1|} \frac{(T_4/T_1 - 1)}{(T_3/T_2 - 1)}$$

$$\eta_{OTTO} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{K-1|}$$

Finalmente:

$$\eta_{OTTO} = 1 - r^{k-1}$$

B) CICLO DIESEL IDEAL TEORICO

CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL CICLO DIESEL POR MEDIO DE CALORES CONSTANTES

Diagrama P- V

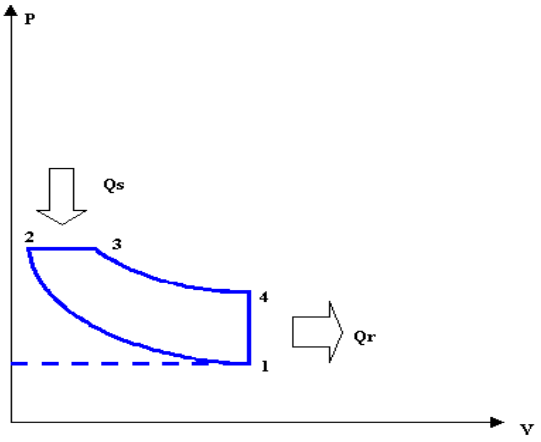
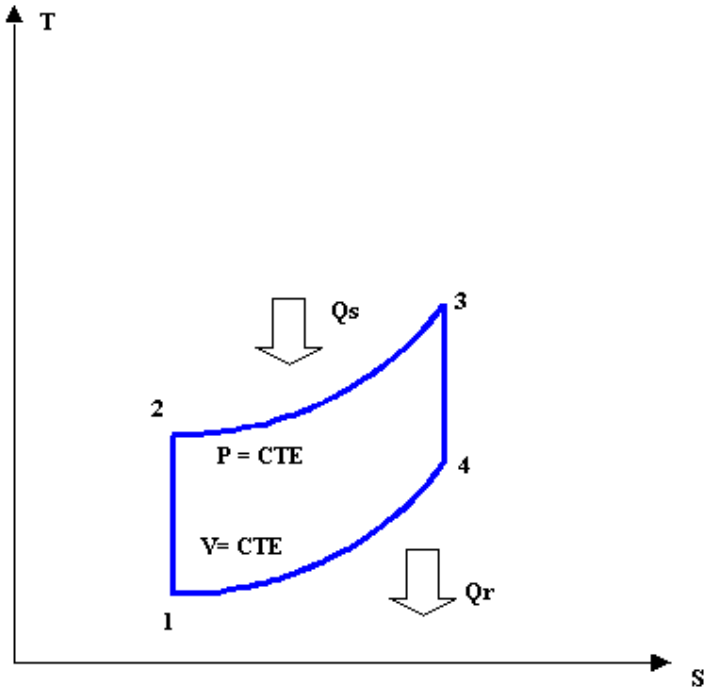


Diagrama T- S



El ciclo teórico tiene las siguientes particularidades:

Procesos:

0-1 Admisión de aire proceso isobárico
1-2 Compresión adiabática reversible
2-3 Combustión progresiva a presión constante suministro de calor
3-4 Expansión adiabática reversible
4-1 Salida de los gases quemados a volumen constante. Rechazo de calor

Relación de compresión:

$$r = \frac{V_!}{V_2}$$

Relación de combustión:

$$r_c = \frac{V_3}{V_2}$$

Calor suministrado:

$$Q_S = m\, C_p\, (T_3 - T_2)$$

Calor rechazado:

$$Q_R = m\, C_v\, (T_4 - T_1)$$

Trabajo útil:

$$W_{util} = Q_S - Q_R$$

Eficiencia:

$$\eta_{DIESEL} = \frac{\text{salida deseada}}{\text{entrada requerida}}$$

$$\eta_{DIESEL} = \frac{Q_S - Q_R}{Q_S}$$

$$\eta_{DIESEL} = 1 - \frac{Q_R}{Q_S}$$

$$\eta_{DIESEL} = 1 - \frac{\cancel{m}\, C_v\, (T_4 - T_1)}{\cancel{m}\, C_P\, (T_3 - T_2)}$$

$$\eta_{DIESEL} = 1 - \frac{1}{K}\,\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\eta_{DIESEL} = 1 - \frac{1}{K}\,\frac{T_1\,(T_4/T_1 - 1)}{T_2\,(T_3/T_2 - 1)}$$

DEL PROCESO A PRESION CONSTANTE:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2}$$

DEL PROCESO ADIABATICO 1 - 2:

$$T_1 = T_2 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{K-1}$$

DEL PROCESO ADIABATICO 3 - 4:

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{K-1}$$

SABIENDO QUE:

$V_1 = V_4$

SE TIENE:

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{K-1}}{T_2\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{K-1}} = \frac{V_3}{V_2}\left(\frac{V_3}{V_2}\right)^{K-1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{K}$$

SUSTITUYENDO ESTOS VALORES EN LA ECUACIÓN DE LA EFICIENCIA:

$$\eta_{DIESEL} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{K-1}\,\frac{(V_3/V_2)^K - 1}{K[(V_3/V_2) - 1]}$$

$$\eta_{DIESEL} = 1 - \frac{1}{r^{\,k-1}}\,\frac{(r_c)^K - 1}{k(r_c - 1)}$$

Esta ecuación representa la eficiencia del ciclo en función de la relación de compresión y el exponente adiabático.

1.4 CICLO DIESEL TEÓRICO

En este ciclo, en la carrera de admisión se introduce sólo aire al cilindro; el combustible es inyectado posteriormente por medio de inyectores diseñados con pequeñas toberas que atomizan el combustible, el cual se va incendiando conforme se pone en contacto con el aire caliente.

En un motor de cuatro tiempos las carreras del pistón son:

Admisión, compresión, explosión y escape.

El ciclo teórico de un motor se inicia en la carrera de admisión, con el pistón situado en el punto muerto superior (PMS), para reestablecer las condiciones iniciales del fluido operante. En esta carrera, las válvulas de admisión del cilindro esta abierta y el pistón se desplazan desde el PMS hasta el punto muerto inferior (PMI). Conforme se desplaza deja un volumen vació en el interior del cilindro que es ocupado por el fluido operante nuevo. Durante la carrera de admisión no se produce ninguna transformación en el fluido operante y la presión en el interior del cilindro permanece constante e igual a la presión atmosférica como se muestra en la figura 1.4.

Después de la carrera de admisión se produce la carrera de compresión en la que el pistón esta en el PMI y el fluido operante ha llenado el cilindro, se cierra la válvula de admisión y el fluido operante es comprimido por la cabeza del pistón contra el techo de la cámara de combustión o en el interior de la cámara de turbulencia.

En esta carrera se produce una transformación adiabática en el fluido operante. Para efectuar esta transformación el pistón realiza una carrera hacia el PMS y disminuye el volumen ocupado por el fluido. En consecuencia, aumenta su presión y temperatura tal como se muestra en la figura 1.4. Se han anotado, para cada posición del pistón y durante la carrera de compresión, los valores de la presión dentro del cilindro. Esta transformación queda representada por la curva 2-3 de la figura 1.4.

Al final de la carrera de compresión los motores de ciclo diesel se produce la explosión del fluido operante, pues en este momento se introduce el combustible finamente pulverizado en la cámara de combustión y el combustible explota al entrar en contacto con el aire comprimido cuya temperatura supera los 600°C debido a la transformación termodinámica que ha sufrido durante la compresión.

En los motores de ciclo diesel la explosión del fluido operante transcurre dentro del cilindro a presión constante y se representa en al grafica con la recta horizontal 3-4 del diagrama a de la fig. 1.4; durante esta transformación el combustible libera su energía calorífica. Aunque la explosión aumenta la temperatura del fluido operante, la energía calorífica se va liberando mientras el pistón se desplaza hacia el PMI y aumenta el volumen del fluido operante; por este motivo no aumenta su presión, la cual se mantiene constante, pero la energía liberada es suficiente para empujar el pistón hasta el PMI aportando un trabajo útil.

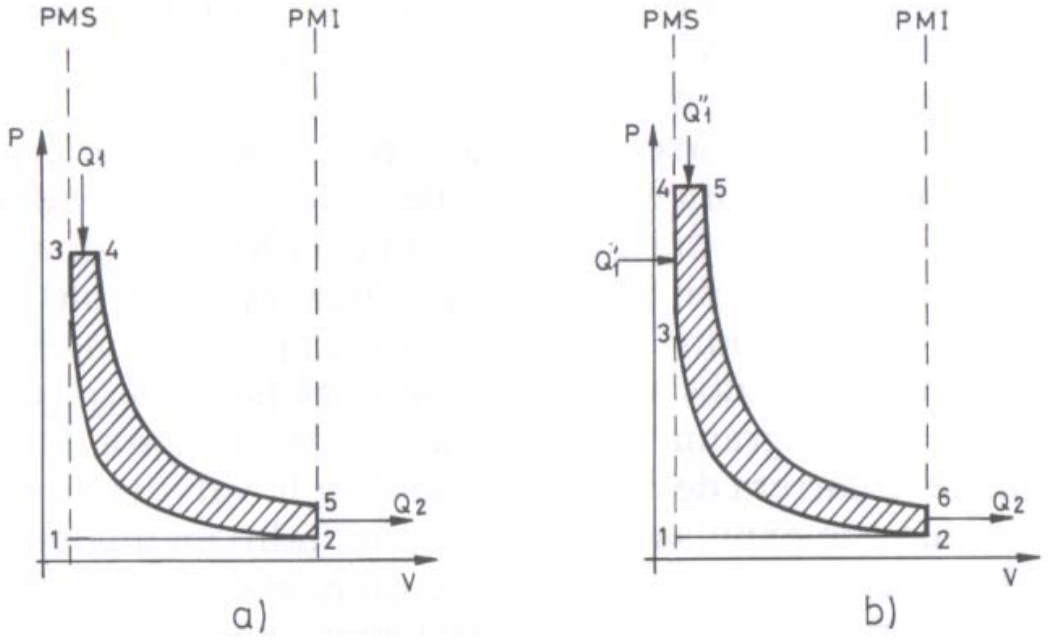


Fig. 1.4. a) Diagrama ciclo Diesel. B) Diagrama ciclo Dual ó mixto de sabathé

Estas diferencias están en la forma en que el combustible desarrolla su energía calorífica durante la explosión: en el ciclo Diesel ocurre en una transformación isobárica; en el siclo mixto ocurren dos transformaciones: una isócora y otra isobárica.

Al final de la carrera de expansión se abre la válvula de escape y los gases quemados con expulsados fuera del cilindro en una nueva carrera del pistón hacia el PMS, denominada de escape.

1.4.1 Ciclo real y ciclo corregido

El ciclo real de un motor difiere bastante del teórico, debido a las condiciones de funcionamiento que ofrecen los cilindros de los motores. En el siguiente diagrama (fig. 1.5) se muestran las pérdidas en el rendimiento del motor y se detallan a continuación.

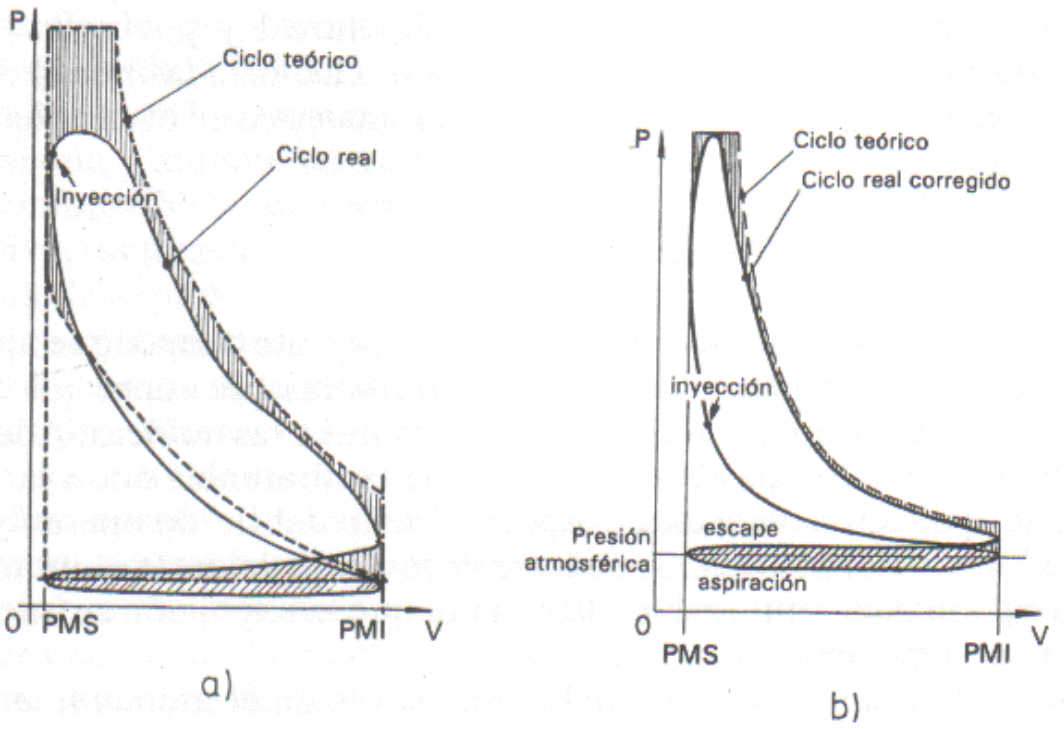


Fig. 1.5 Comparaciones entre ciclos Diesel: a) Ciclo teórico/ciclo real.
b) Ciclo teórico/ciclo real corregido. En ambas figuras la superficie rayada representa las pérdidas en rendimiento del motor.

a) Pérdidas en la admisión.

En el ciclo real, cuando el pistón se desplaza dentro del cilindro hacia el PMI en la carrera de admisión, se crea dentro del cilindro un vació debido a la resistencia que el filtro de aire, las rugosidades de los conductos de admisión y la cabeza de la válvula de admisión oponen al paso del fluido operante. En consecuencia, en la carrera de admisión, dentro del cilindro la presión es inferior a la atmosférica y llenar el cilindro cuesta un cierto trabajo, que se debe contabilizar como pérdidas.

b) Pérdidas en la compresión

En la fase o carrera de compresión, como el motor no tiene aislamiento térmico, el contacto del fluido operante con las paredes del recipiente que lo encierra- las paredes del cilindro, la cabeza del pistón y el techo de la cámara de combustión-genera un intercambio de calor entre ambos y la transformación no resulta adiabática. Sino politrópica.

En consecuencia, la presión y temperatura alcanzadas por el fluido operante son valores menores que los valores supuestos en el ciclo teórico.

c) Pérdidas en la explosión

Las transformaciones que sufre el fluido operante no se ajustan a la teoría en el momento de la explosión y las presiones máximas alcanzadas en el interior del cilindro son inferiores a las teóricas.

Si se realizara la inyección del combustible en el momento en que el pistón pasa por el PMS, tal como se indica el ciclo teórico, en vez de mantenerse la presión dentro del cilindro, ésta menguaría rápidamente y, cuando la explosión desarrollase el máximo de energía, el pistón estaría cerca del PMI y apenas se aprovecharía la fuerza de empuje de los gases quemados, obteniendo un rendimiento pésimo.

d) Pérdidas en el escape

Cuando se abre la válvula de escape el fluido operante es expulsado sin sufrir ninguna transformación, simplemente se le expulsa con el siguiente gasto de energía necesario para vencer las resistencias de los conductos de escape que afectan al rendimiento del ciclo.

Para disminuir las pérdidas del ciclo real respecto del ciclo teórico, se modifica el momento de apertura y cierre de las válvulas de admisión y de escape, además se adelanta el momento de la inyección del combustible, consiguiéndose el ciclo corregido cuyas pérdidas son menores que las del ciclo real respecto al ciclo teórico (Fig. 1.5b).

1.4.2 Condiciones en el ciclo diesel.

En los motores de encendido por chispa o de gasolina, el combustible se mezcla con el aire en el carburador o en los motores de inyección electrónica, frente a la válvula de admisión y durante las carreras de admisión y de comprensión, el aire y el combustible van formando una mezcla gaseosa homogénea y explosiva, de manera que una chispa eléctrica de baja energía es capaz de iniciar la explosión.

En la carrera de admisión, los motores Diesel o de encendido por compresión sólo aspiran aire para llenar los cilindros del motor; este aire, en la carrera de compresión, es comprimido a presiones más elevadas que en los motores de gasolina para que pueda alcanzar hacia el final de la compresión temperaturas comprendidas entre los 600 y 800 °C.

Gracias a la temperatura alcanzada en el aire comprimido por el pistón dentro de la cámara de combustión, cuando el combustible se introduce en el interior de la cámara este se inflama al ponerse al contacto con el aire calentando. Esta inflamación inicia la explosión, la cual se completa al inflamarse la última gota de combustible inyectada dentro de la cámara de combustión.

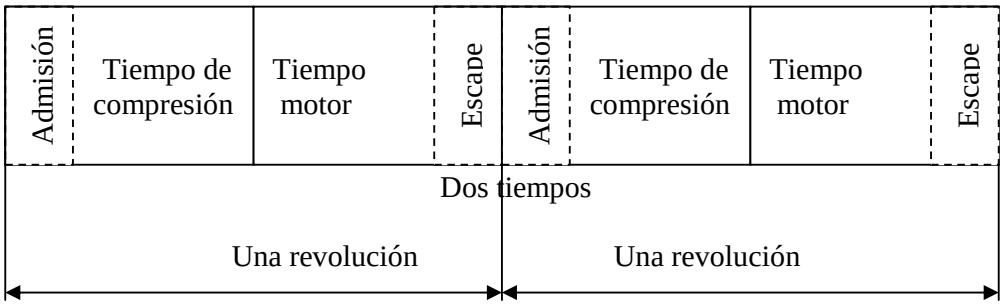
La mezcla explosiva debe formarse momentos antes de que se realice la explosión mientras dure la misma.

En los motores Diesel el proceso de ignición, resulta, de gran complejidad: el combustible se introduce a presión en una masa de aire comprimido y a expensas del calor del mismo, las finísimas gotas de combustible deben calentarse hasta alcanzar su temperatura de inflamación.

Los procesos de mezcla y explosión, que ocurren de manera casi simultánea en los motores Diesel son la causa de que el tiempo necesario para consumir todo el combustible inyectado sea muy superior al que se necesita en motor de ciclo Otto. Este es el motivo de que los motores Diesel sean mas lentos que los de gasolina, alcanzando un régimen máximo de giro comprendido entre las 4000 y las 5000 revoluciones por minuto.

1.5 MOTOR DE DOS TIEMPOS

Este motor realiza el ciclo completo en dos carreras del pistón, o sea una vuelta del cigüeñal. Es correcto que en lugar de válvulas de admisión y escape lleven lumbreras, construcción que suele ser más sencilla y económica.



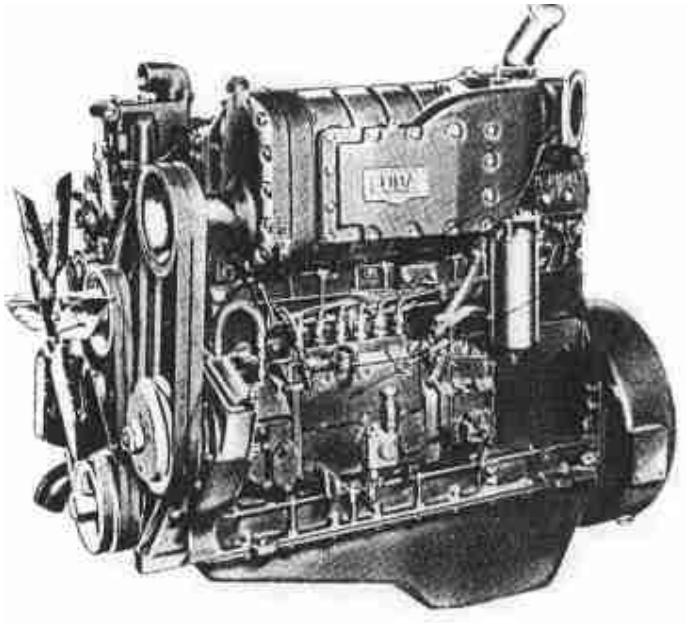


Fig. 1.6 Motor diesel de 2 tiempos

1.5.1 Aspiración-compresión

El pistón sube del PMI al PMS, como se ve en la figura 1.7. Al principio están abiertas las lumbreras de admisión y las de escape, *a* y *e,* y en el momento en que el embolo cierra las lumbreras *a,* termina la admisión y comienza una pequeña perdida de aire que escapa por *e* hasta que también se cierra, pero que garantiza un buen barrido de los gases de escape de la combustión anterior. En la fig.1.8 vemos el inicio de la compresión.

Para entender el funcionamiento de un motor a dos tiempos, será necesario explicar primero como funciona el de cuatro tiempos.

En un motor de cuatro tiempos son necesarias cuatro carreras del émbolo para completar un ciclo, estas son: admisión, compresión, expansión y expulsión.

Admisión: El émbolo está en la parte superior del cilindro o punto muerto y en disposición de admitir una carga de aire. La válvula de admisión está abierta, y las otras están cerradas. El émbolo desciende en el cilindro, produciéndose una absorción de aire fresco que llenará el cilindro. Cuando el émbolo ha descendido hasta el fondo en su carrera (punto muerto inferior) se cierra la válvula de admisión.

Compresión: En este momento todas las válvulas están cerradas y el volumen de aire no puede escaparse, siendo comprimido en un espacio reducido. Este incremento de presión y temperatura (entre 500 y 600º) llega al máximo cuando el pistón está en la cima de su carrera.

Expansión: El aire está tan caliente que automáticamente se enciende el combustible que se ha inyectado en el interior del cilindro. Este proceso del encendido produce aún más calor, aumentando la mezcla más su temperatura, con lo que el volumen de gases resultantes encontrándose en un espacio reducido entre el émbolo y la culata del cilindro hará que la presión suba más todavía. Esta presión que es ejercida sobre la parte superior del émbolo lo empujará hacia abajo en este tiempo de expansión o potencial. El combustible inyectado habrá terminado de quemarse. Los gases de combustión ocupan un amplio espacio y se habrán *expansionado*. Continúa el descenso del émbolo empujado por los gases calientes, pero esta expansión va perdiendo presión de un modo gradual y los gases se van enfriando. Poco antes de llegar el émbolo al fondo, la válvula de escape se abre automáticamente y expulsa a los gases que ya han perdido mucha de su presión y su temperatura.

Escape o expulsión: Al abrirse la válvula de escape, los gases son evacuados, mientras la presión en el interior del cilindro es superior a la exterior, por lo que el cilindro continuará conteniendo parte de los gases inertes y que deben ser expulsados para permitir la entrada de una nueva cantidad de aire fresco. Esta acción es realizada por el motor en el tiempo siguiente cuando el émbolo se eleva con la válvula de escape abierta. Al llegar el émbolo a la cima, la totalidad de los gases será ya expulsada del cilindro, con lo que el tiempo de expulsión habrá quedado terminado a la vez que terminará el ciclo.

a) Como funciona un diesel de dos tiempos.

En los motores de dos tiempos diesel es preciso que en la compresión y la expansión se logren estos dos tiempos. Los otros tiempos que se precisaban en los de cuatro deben ser eliminados, es decir, desaparecen la admisión y la expulsión. Durante estos dos tiempos el émbolo en un motor de cuatro tiempos actúa en realidad como una bomba de aire aspirante. La manera de eliminar las emboladas de aspiración en un motor de dos tiempos es utilizando una bomba de aire independiente, la cual tomará el aire de la atmósfera, lo comprimirá ligeramente y lo introducirá en el cilindro. Esta bomba independiente en un motor de dos tiempos es a veces un insuflador rotativo de aire.

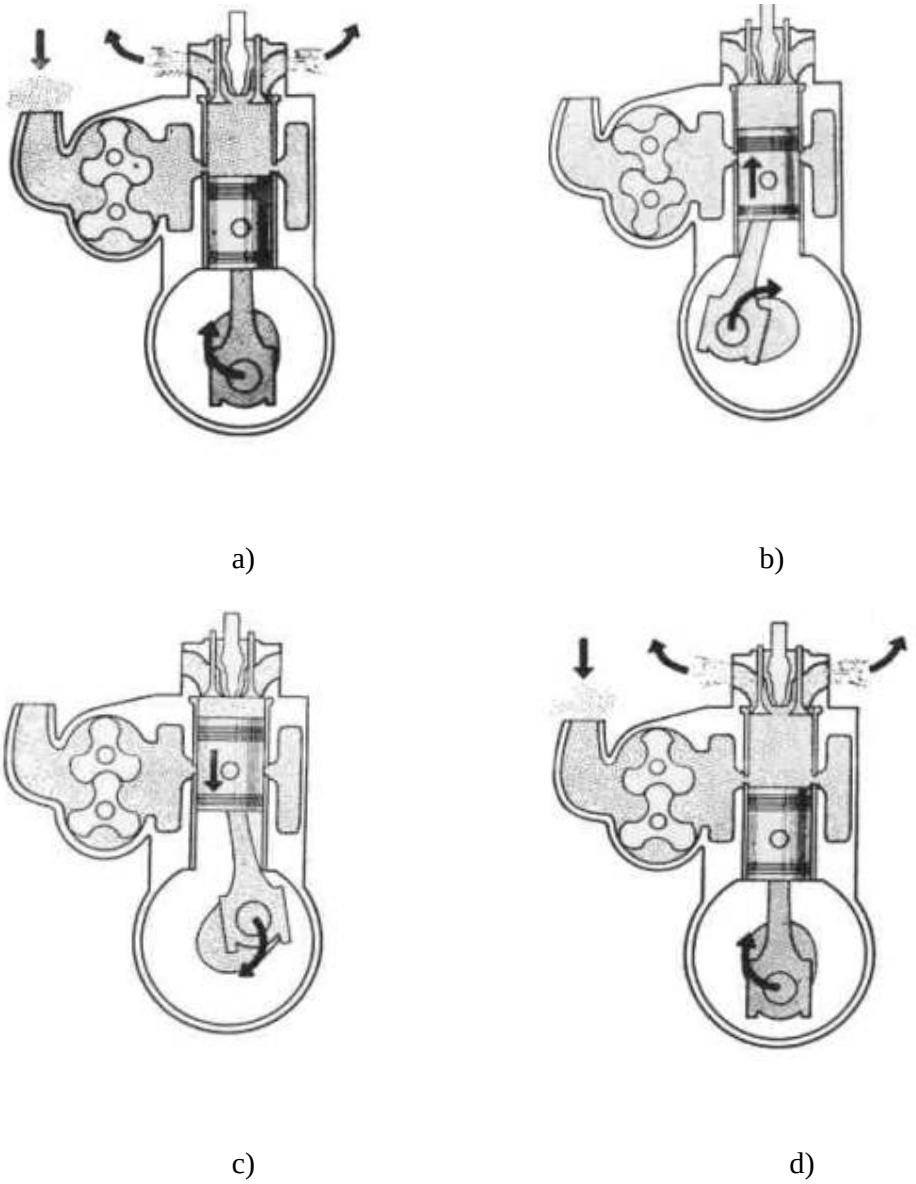


Fig. 1.7 El pistón sube del PMI al PMS

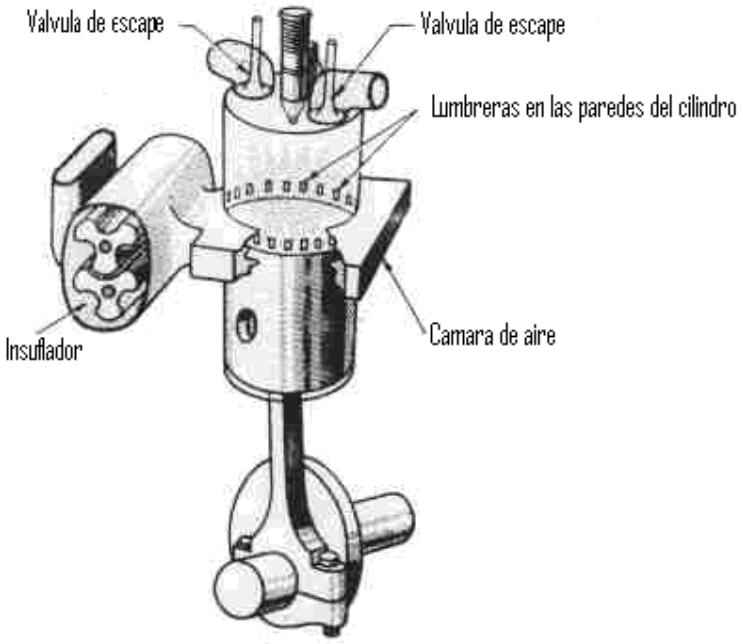


Fig.1.8 Inicio de la compresión.

b) Ciclo Teórico.

En el cilindro no existen válvulas, sino que son reemplazadas por dos lumbreras para el barrido y escape, respectivamente.

Cuando el pistón va en su carrera ascendente, al pasar por la posición P tiene delante de sí una mezcla de aire y gases o vapores combustibles ala presión atmosférica y ocupando un volumen V_1. A medida que el pistón avanza, la presión se eleva hasta que en el punto muerto alto se alcanza la presión de compresión.

La combustión y expansión se verifican exactamente igual que en el sistema de cuatro tiempos; antes de llegar el pistón a su punto muerto bajo, quedan abiertas las dos lumbreras. La pequeña presión que aún conservan los gases hace salir a éstos por aquellas lumbreras y la presión desciende. Nueva mezcla combustible entra por una de las lumbreras impulsada por la bomba de barrido, penetra en el cilindro y escapa por la otra lumbrera arrastrando consigo los gases que aún quedaban en aquél. Esto ocurre hasta que el pistón, en su carrera ascendente, tapa ambas lumbreras y vuelve a comenzarse el ciclo.

c) Aplicaciones de motores diesel de dos tiempos.

- Propulsión marina
- Centrales eléctricas.
- Aplicaciones de co-generación.

d) Aplicaciones del motor Diesel.

- Para servicios fijos o estacionarios: Los motores diesel se acoplan a generadores eléctricos para producir suministro eléctrico continuo. Un ejemplo típico está en las plantas de producción de electricidad en una fábrica
- Motores diesel para servicios ferroviarios, las locomotoras se construyen para trabajar con motores Diesel.
- Fabricación de motocicletas

e) Ventajas

- Dado que en un motor de dos tiempos para una misma velocidad que la de un motor de cuatro tiempos, será necesario que se doblen los tiempos de expansión, de este modo se obtiene más potencia con el mismo tamaño de cilindro o conseguir la misma potencia con motores más pequeños.
- Debido a la mejor repartición de las explosiones, en el motor de dos tiempos se consigue mayor regularidad en el par motor, pues un motor de dos tiempos y de dos cilindros da un par tan regular como uno de cuatro tiempos y de cuatro cilindros.

f) Desventajas.

- Los motores de dos tiempos tienen un rendimiento inferior a los de cuatro tiempos, esto se debe a que por muchas que sean las precauciones, resulta casi imposible evitar que una parte del aire en el cilindro salga por el orificio de escape antes de haber producido trabajo.
- Una dificultad importante es la considerable carga térmica a que se encuentran sometidos los émbolos, las culatas y las bujías, que sufren un fuego de explosión doble que el de un motor de cuatro tiempos.
- Al ser un motor de combustión interna, es más difícil controlar las emisiones que genera.

1.5.2 Expansión-escape-admisión

Cerca del PMS se produce la inyección del combustible en la cámara por el inyector J y los gases empujan al embolo hacia la carrera de expansión como vemos en la fig. 1.7 *c* en que se descubren las lumbreras de escape *e,* pasando los gases al silenciador y a la atmósfera, y pronto se descubren las lumbreras de admisión *a* por donde penetra el aire nuevo que primero barre y acaba de expulsar los gases de escape y después llena de nuevo la cilindrada, como se ve en la fase *d*.

1.6 COMBUSTIBLE

Los motores lentos admiten muchas clases y gran variación de características del combustible por que disponen de tiempo suficiente para la combustión. Suelen ser los grandes motores marinos o estacionarios. Si el combustible es muy viscoso basta calentarlo en circuito cerrado para llenar su viscosidad hacia los 1.5 °E (grados Engler)

convenientes. Si es muy ligero engrasa mal los elementos de inyección que deben llevar artificios adicionales de engrase.

Los motores que giran a más de 1500 rpm exigen unas características mas precisas y no pueden quemar combustibles o aceites espesos.

Como combustible se suele emplear una fracción de la dilatación del petróleo bruto. Es un aceite ligero que destila entre los 150 y 370 °C y se suele llamar gasóleo.

Veamos las características a reunir:

1.6.1 Número o índice de cetano

Define la facilidad de encendido pero sin producir golpeteo o explosiones en la cámara de combustión. Se mide en motores normalizados y preparados para ello. Ha de quemar siempre por encima de 55.

1.6.2 Índice diesel

Debido a la dificultad que presenta la comprobación del Cetano, se suele recurrir cada vez al Índice Diesel que obedece a esta ecuación sencilla:

$$\text{Índice Diesel} = \text{Punto de Anilina} \times \text{Densidad API \%}$$

Donde:

El punto de anilina es la temperatura en °C a que la anilina y el combustible son totalmente miscibles, o sea que se mezclen homogéneamente.

La densidad API es una escala del AMERICAN INSTITUT OF PETROLEUM se da en kg/dm^3 x 10.

Por lo tanto conviene que el índice Diesel pase siempre de 50.

1.6.3 Viscosidad

Un combustible con una viscosidad cuanto mayor sea es más difícil de hacerlo circular y además, cuando llega a los orificios de introducción en la cámara cuanto más viscoso sea menos se pulveriza, mas penetra hacia las paredes, donde se condensa, y mas humo puede producir en el escape. En cambio si el combustible tiene una viscosidad demasiada baja acelera el desgaste de la bomba de inyección y aumenta las pérdidas a causa de las fugas.

El valor exigible en las tuberías de circulación es de 2 a 6 centistokes (cST) o lo que es lo mismo 1.1 a 1.5 °E (grados Engler) o también 32 a 45 SSU (segundo Saybolt universal), siendo preferible los valores bajos.

CAPITULO 2

ASPECTOS TERMODINÁMICOS EN EL DESARROLLO CONSTRUCTIVO

2.1 CARACTERISTICAS DE LA INYECCION

Con el transcurso del tiempo se ha ido mejorando el sistema combustivo de los motores de dos tiempos, lo cual lo ha hecho un motor con una mayor eficiencia como lo mostramos más adelante, un factor muy importante para mejorar la eficiencia es la sobrealimentación. Hoy en día nos podemos encontrar con motores con un solo turbo y en algunos otros hasta con dos turbos.

Es muy importante conocer los elementos que nos ayudan a mejorar la combustión de nuestro motor, para que el ingeniero pueda aprovechar al máximo el rendimiento del motor, y comprender que factores intervienen para tener una correcta combustión.

2.1.1 Retardo de la explosión.

El combustible es introducido dentro de la cámara de combustión por un inyector. Las gotas al mezclarse con el aire se calientan, se evaporan y, finalmente explotan. La explosión de las primeras gotas de combustible ocurre antes de que cese la inyección, por consiguiente mientras esto ocurre siguen entrando en la cámara de combustión más gotas de combustible que seguirán el mismo proceso.

El inyector sigue introduciendo combustible en la cámara de combustión hasta que completa el caudal que la bomba ha determinado suministrar en función de las revoluciones del motor y de la posición del pedal acelerador y esta últimas gotas encuentran mayor dificultad para mezclarse con el aire de admisión, pues buena parte del él se ha consumido en la explosión de las gotas precedentes.

El tiempo transcurrido entre el inicio de la inyección y el momento en que explota la primera gota inyectada en la cámara de combustión en el seno del aire comprimido se llama *tiempo de retardo* de la explosión.

2.1.2 Efectos del tiempo de retardo de la explosión

Se procura que el tiempo de retardo sea el menor posible.

El tiempo de retardo depende de varios factores: a) De las características del combustible; b) De la turbulencia del aire en el interior de la cámara de combustible; c) de la forma del chorro del combustible inyectado; d) De la relación de compresión.

a) Según las características del combustible se tiene el número de Cetano (NC)

Poseen una temperatura de evaporación bastante elevada, entre los 200 y 300 °C.

Para mejorar el punto inflamación de los combustibles utilizados en motores de encendido por compresión , se les añade en su composición algunas parafinas como el hexadecano o el dodecano.

El cetano es considerado como el componente de los aceites pesados más inflamable y su NC es 100.

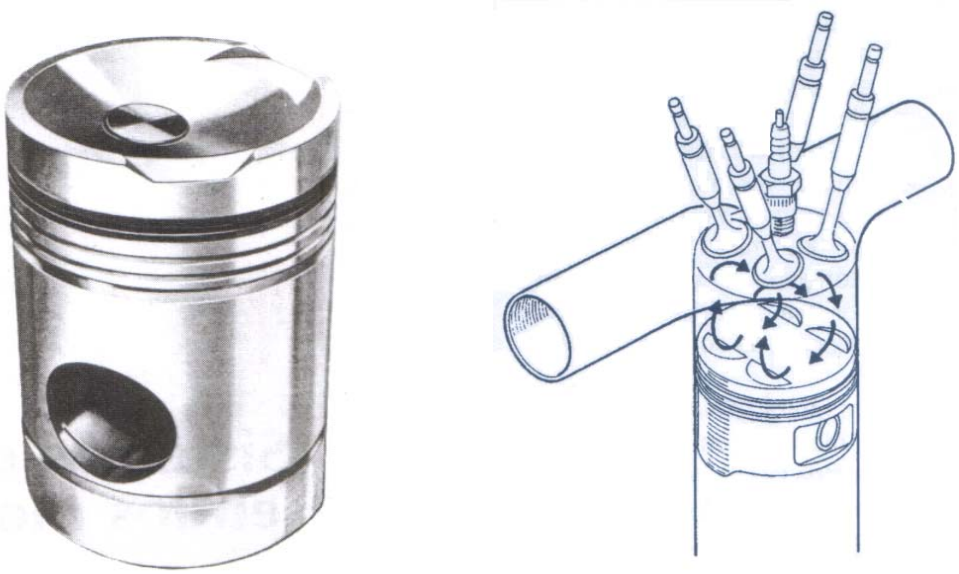
a) Influencias de la turbulencia del aire

Cuanto mayor sea el grado de turbulencia del aire comprimido en la cámara de combustión, menor será el tiempo de retardo, y más rápida y más homogénea se conseguirá la mezcla de aire/combustible.

Por un lado la turbulencia favorece la mezcla aire/combustible y acorta el tiempo de retardo, por otro lado, se enfría el aire, dificultando la evaporización del combustible e incrementando el tiempo retardado.

Para conseguir el grado de turbulencia en el aire aspirado en los motores Diesel se recurre a diferentes técnicas : una de ellas es disponer una pantalla en la cabeza de la válvula de admisión para que al chocar el aire contra la pantalla , tome una dirección helicoidal dentro del cilindro , formando un torbellino.

En los motores de inyección indirecta , la cámara de combustión se sitúa en la culata y el canal que comunica la cámara con el cilindro se diseña para generar chorros de aire que , al chocar con las paredes de la cámara , creen varias turbulencias.



a) b)

Fig. 2.1 a) Pistón para motor diesel con la placa en la cabeza, b) las flechas indican la turbulencia generada por el pistón.

b) Influencias de la relación de la compresión

La relación de compresión es la razón entre el volumen que ocupa el fluido operante cuando el pistón esta en el PMI y el volumen a que queda reducido el fluido operante cuando el pistón está en el PMS que en la mayoría de los casos, es el volumen de la cámara de combustión .

$$V_L = \Pi D^2 C/4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots .. \; 1$$

En esta ecuación D es el diámetro del cilindro y C la carrera del pistón , el volumen de la cámara de combustión (Vc).

$$Rc = V_L + Vc/ Vc$$

La relación de comprensión es el factor que determina la temperatura -en los motores Diesel es más elevada que en los motores de encendido por chispa- que alcanza el fluido operante al final de la comprensión. A mayor relación de compresión, mayor es la temperatura que alcanza el aire cuando es comprimido dentro del cilindro.

Es importante que consideremos, en que condiciones va a estar trabajando nuestro motor, y observar si en el ambiente de trabajo, hay polvo, si va a trabajar a nivel del mar o a que altura sobre l nivel del mar o si es una zona con bastante humedad, ya que como hemos visto cada uno de estos factores afectara directamente a la combustión de nuestro motor, teniendo un mayor desgaste o un tiempo de vida menor.

2.2 SISTEMAS DE INYECCIÓN EN LOS MOTES DIESEL.

2.2.1 Tipos de Inyección.

Según donde se efectúe la inyección en los motores Diesel, éstos se clasifican en dos grupos: inyección directa, cuando la inyección se realiza en la cámara de combustión situada en la cabeza del pistón y de inyección indirecta, cuando el combustible es inyectado en una cámara de turbulencia situada en la culata del motor.

a) Inyección Directa.

Los motores Diesel con sistemas de inyección directa son motores lentos que entregan la potencia máxima por debajo de las 4500 revoluciones por minuto de giro del cigüeñal; (los diseñados para desarrollar elevadas potencias), la cámara de combustión la forma un postizo de fundición situado en la cabeza del pistón.

Los motores con inyección directa tienen menos consumo de combustible que los de inyección indirecta; en su contra está su funcionamiento más brusco y su mayor concentración de contaminantes en los gases de escape.

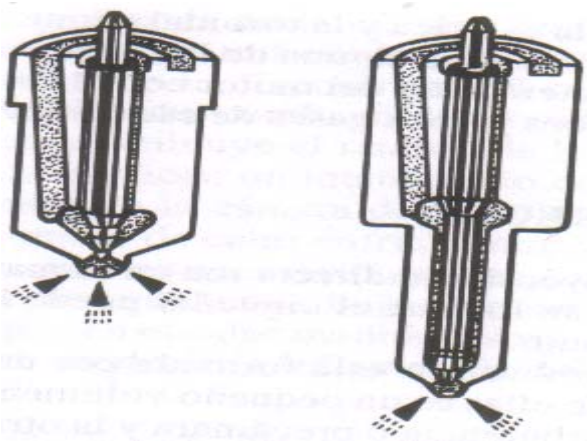


Fig. 2.2 Toberas de inyector para motores de inyección directa con varios orificios de salida del combustible.

b) Inyección Indirecta.

La cámara de combustión está formada por dos partes diferenciadas, una de ellas es un pequeño volumen vaciado en la culata llamado cámara de turbulencia o precámara y la otra parte es el pequeño espacio que queda entre la cabeza del pistón y la culata cuando el pistón está situado en el PMS.

Es necesario, en este tipo de motores instalar dentro de la cámara de turbulencia bujías de incandescencia o de precalentamiento que aporten el calor perdido y se pueda alcanzar la temperatura suficiente para producir la inflación del gasóleo.

2.2.2 Cámaras para la inyección indirecta.

Con inyección indirecta: las llamadas cámaras de precombustión, las cámaras de gran turbulencia y las cámaras de acumulación.

Las cámaras de precombustión fueron las primeras que se diseñaron y se distinguen por tener el canal de comunicación entrado respecto al volumen de la cámara, y esta tiende a tener una forma cilíndrica.

Las cámaras de gran turbulencia son las más utilizadas actualmente, tienen el canal de comunicación tangente a la superficie interna de la cámara y esta tiene una forma esférica. Este tipo de cámara proporciona la mayor turbulencia y un funcionamiento más suave del motor.

La cámara de acumulación tiene un volumen dividido en dos recintos, hecho que complica y encarece el proceso de fabricación.

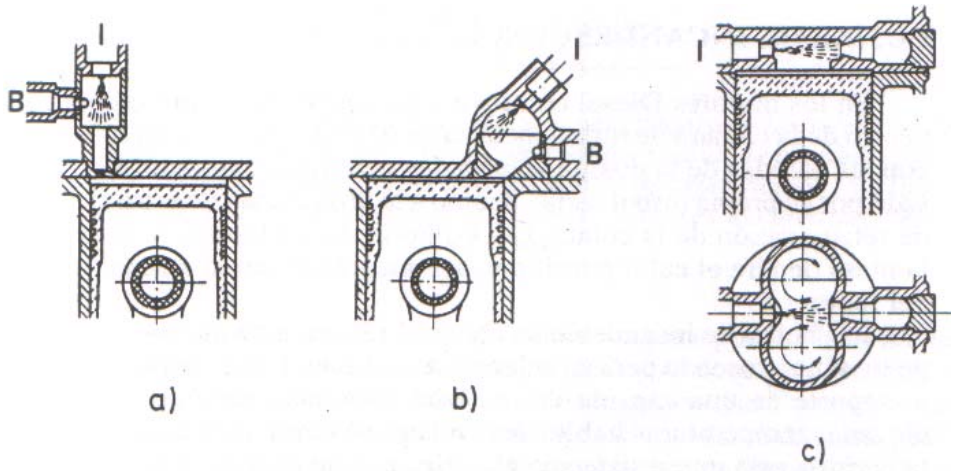


Fig. 2.3 Tipos de cámaras de inyección indirecta a) Cámara de precombustión. b) Cámara de gran turbulencia. c) Cámara de acumulación de aire. I) Inyector del combustible. B) Bujía de incandescencia.

2.3 BUJIAS DE INCANDESCENCIA.

Las bujías de incandescencia restituyen a la masa de aire el calor perdido, y así pues, facilitan el arranque en frío del motor.

Las bujías de incandescencia están formadas por un cuerpo metálico roscado para una sujeción a la culata. Este cuerpo metálico es el soporte de una cápsula de material cerámico, muy resistente a las elevadas temperaturas habituales en la precámara; enfundada dentro de la cápsula está una resistencia eléctrica con su borne positivo aislado y su borne negativo conectado a masa.

Cuando se actúa con la llave de contacto para poner el motor en marcha, un relé temporizado activa todas las bujías de incandescencia a la vez.

2.4 CONDICIONES DE LA INYECCIÓN EN LOS MOTORES DIESEL.

2.4.1 Principios de la Inyección.

La inyección del combustible en el interior de la cámara de combustión en los motores Diesel debe realizarse a elevadas presiones (de 250 a 400 kg/cm^2) En consecuencia, es necesaria una bomba que soporte las grandes presiones que generan la válvula de salida y los inyectores, esta bomba debe de efectuar dos funciones: el avance de la inyección – en los motores de gasolina, avance del encendido- y la distribución del combustible a presión a los cilindros del motor en el correspondiente orden de inyección del ciclo del motor –en los motores de gasolina es el distribuidor de alta tensión-.

2.4.2 Alimentación del combustible.

En los motores Diesel el combustible es aspirado del depósito e impelido hasta la bomba de inyección por una bomba llamada de alimentación, aunque en algunos motores es la bomba de inyección la que aspira directamente el combustible del depósito. Un filtro de combustible, instalado en serie entre la bomba de alimentación y la bomba de inyección, garantiza que ninguna partícula sólida pueda rayar los elementos de presión de la bomba de inyección o bien llegue a obstruir los orificios de salida de las toberas de los inyectores.

Los filtros utilizados suelen ser del tipo de cartucho de papel con gran superficie de filtrado y se suele utilizar el recipiente contenedor del filtro como vaso decantador para eliminar las partículas de agua que el combustible haya podido arrastrar hacia el circuito de alimentación.

Si la bomba de alimentación está separada de la bomba de inyección, la excéntrica impulsora está situada en el árbol de levas de la distribución del motor.

Las bombas de alimentación de los motores Diesel se diferencian de las utilizadas en los motores de gasolina en que suelen disponer de una palanca para poder accionarlas manualmente. De esta manera, en el caso de agotar el combustible del depósito y que se quede sin combustible la bomba de inyección, accionando la palanca manual de la bomba de alimentación se podrá cebar el circuito de baja presión de la bomba de inyección. El cebado del circuito de alta presión de la bomba de inyección se consigue accionando el motor de arranque.

2.5 LA BOMBA DE INYECCIÓN.

En el caso de la inyección de combustible en los motores Diesel, la presión la generan la válvula antirretorno (a la salida de la bomba de inyección).

Las bombas de inyección se clasifican en dos grandes grupos: bombas en línea (utilizadas, normalmente, en motores con elevada relación de compresión) y bombas rotativas (utilizadas en motores Diesel de mediana relación de compresión).

Las bombas en línea; estos elementos están alineados uno detrás de otro como los cilindros en el bloque motor.

El avance del momento de inyección en función del régimen del motor es un mecanismo que actúa con la fuerza centrífuga obtenida del giro del árbol motor; este mecanismo varía el calado del árbol motor de la bomba respecto al piñón de arrastre.

Las bombas rotativas tienen un solo elemento impulsor, llamado *cabezal hidráulico*.

El cabezal hidráulico gira arrastrado por el cigüeñal mediante el mismo sistema que el eje de levas de las bombas en línea. Este cabezal hidráulico genera la presión en el seno del combustible y lo distribuye al cilindro del motor que se halle en fase de compresión, de acuerdo con el orden de inyección que rige para el

desarrollo del ciclo del motor , el mecanismo de avance de la inyección está incorporado en el cabezal hidráulico.

El mecanismo que varía la posición del apoyo de la última palanca se denomina regulador.

La misión del regulador es garantizar la estabilidad del régimen de giro del motor al ralentí aunque varíe la carga del motor.

Entendemos como carga mayor demanda de energía eléctrica, en la investigación, notamos que cuando había mayor demanda de energía, el motor se forzaba y desprendía mayor cantidad de humo y este mecanismo lo estabilizaba en un corto tiempo.

2.5.1 Bombas de Inyección en Línea.

Las bombas de inyección en línea están formadas por un cuerpo, el cuerpo de la bomba tiene un agujero calibrado, para mantener una presión constante en su interior, por donde el combustible puede retornar al depósito.

Cuando se aleja del fondo del cuerpo de la bomba- empuja el combustible hacia el cilindro correspondiente.

2.5.2 La Camisa.

La camisa es un cilindro hueco con dos agujeros laterales llamados lumbrera de retorno. Por la lumbrera de carga el combustible entra en el interior de la camisa y llena el volumen libre que deja el émbolo situado en su posición inferior.

2.5.3 El árbol del motor.

El árbol del motor de la bomba va alojado en el cuerpo de la misma mediante dos rodamientos que permiten si giro.

El árbol motor de la bomba lleva tantas levas como cilindros tenga el motor y el perfil de estas levas está calculado para que el émbolo de la bomba, en su carrera con el hueco en posición de caudal máximo respecto la lumbrera, proporcione el caudal necesario para el desarrollo de la máxima potencia del motor.

Sobre el árbol motor van montados: el mecanismo de avance de la inyección, que varía el calado del árbol motor respecto de la rueda dentada de arrastre.

2.5.4 La Barra de Mando.

En los motores Diesel, excepto en los que disponen de un regulador de vacío, no hay mariposa de gases. De esta forma, el aire aspirado pasa a través del filtro y llega hasta la válvula de admisión sin encontrar apenas resistencia; en consecuencia, para controlar la velocidad de giro y la potencia del motor, el pedal acelerador actúa sobre la bomba de inyección. En los motores Diesel con bomba en línea, cuando se pisa el pedal acelerador, se desplaza la barra de mando de la bomba de inyección;

los desplazamientos de la barra de mando giran los émbolos de la bomba, de manera que cambia la situación del hueco del émbolo respecto ala lumbrera de retorno y el recorrido útil de la carrera del émbolo se hace mayor o menor voluntad del conductor. De esta manera se hace variar el momento del corte del suministro de combustible y, en consecuencia, el caudal inyectado para cada ciclo del motor.

2.5.5 Necesidad de Estabilizar la velocidad de giro en los mores Diesel.

En los motores Diese, al trabajar con exceso de aire, no requiere de mariposa de gases; tanto al ralentí como a la máxima potencia los cilindros se llenan con la cilindrada completa si el tiempo de apertura de la válvula de admisión lo permite.

Esta situación hace necesaria la adopción de un regulador.

2.5.6 El Regulador.

Los reguladores para bombas de inyección Diese, se pueden clasificar según su campo de acción en: reguladores de mínima y, máxima, reguladores de régimen completo y reguladores escalonados.

Los reguladores de mínima y máxima ajustan se acción al régimen de ralentí y al corte del caudal de inyección cuando se sobrepasa el régimen de máxima potencia.

Los reguladores escalonados son una combinación de los tipos anteriormente descritos y se utiliza en motores Diesel para grupos electrógenos, para instalaciones fijas y también para tractores.

2.5.7 Mecanismo de Avance de la Inyección.

Cuando el pistón del motor pasa por cada punto muerto de su carrera tiene velocidad cero; es decir, permanece unos breves instantes quieto mientras invierte el sentido de su movimiento. En teoría es durante estos breves instantes en los que el pistón está parado en el PMS, cuando se produce la explosión del fluido operante. Considerando el régimen de velocidad de giro desarrollado por los motores Diesel utilizados en automoción.

En las bombas en línea, para conseguir el avance de la inyección, se dispone de un plato junto con el piñón o polea dentada de arrastre al cual se acopla el árbol motor de la bomba. Este plato puede desplazarse angularmente respecto al piñón de arrastre, creando un decalado del árbol de mando respecto al calado inicial.

2.5.8 La Válvula de Aspiración.

El cierre de la salida del combustible hacia los inyectores del sistema, en la parte superior de la camisa de cada elemento de presión de la bomba en línea, lo realiza la válvula de aspiración.

2.5.9 Mecanismo de Paro de Motor.

Algunas bombas de inyección rotativas disponen de una válvula accionada por un solenoide que corta el paso del combustible al cabezal hidráulico; el solenoide recibe corriente cuando se arranca el motor, creando un campo magnético que atrae al vástago de la válvula de cierre y vence la presión del muelle que la mantenía cerrada, permitiendo el paso del combustible.

2.6 AUMENTO DE POTENCIA. CURVAS CARACTERÍSTICAS.

Como puede verse en la fig. 2.4 y la fig. 2.5, al estudiar con atención las dos curvas, el aumento de potencia puede establecerse en más de un 27 % mientras el aumento del par motor resulta superior a un 46 % aproximadamente.

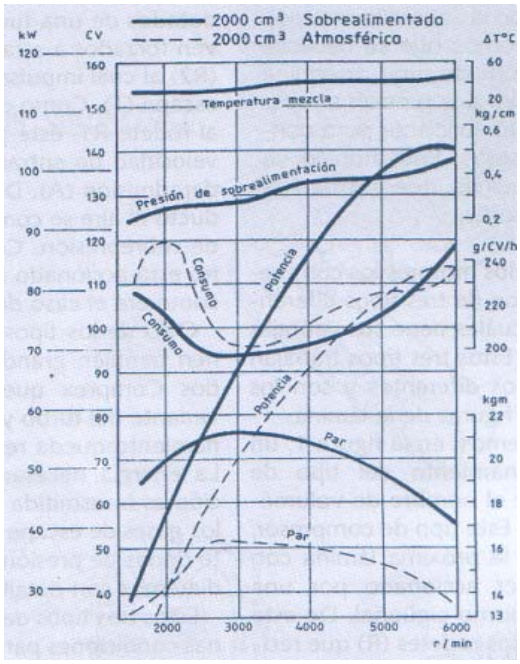


Figura 2.4 Curvas características

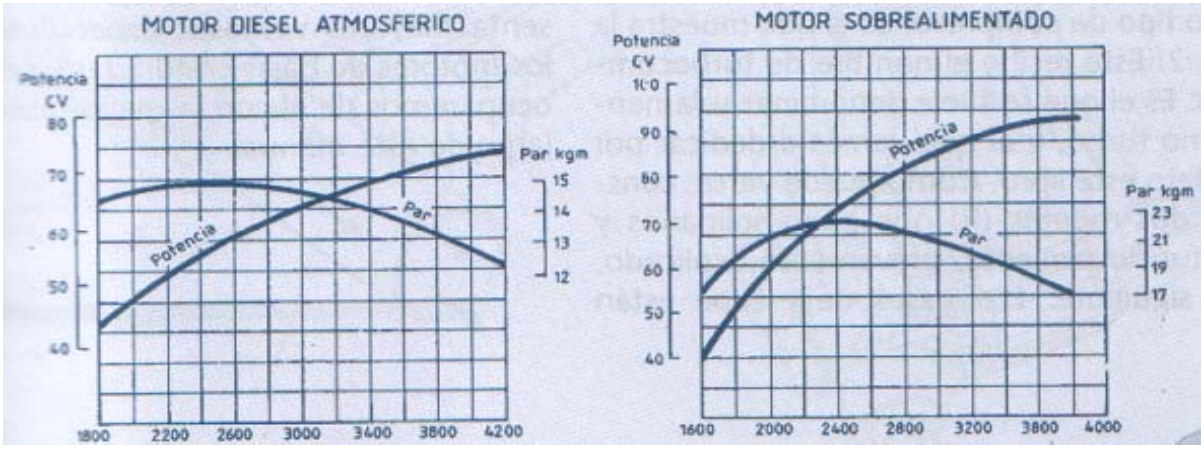


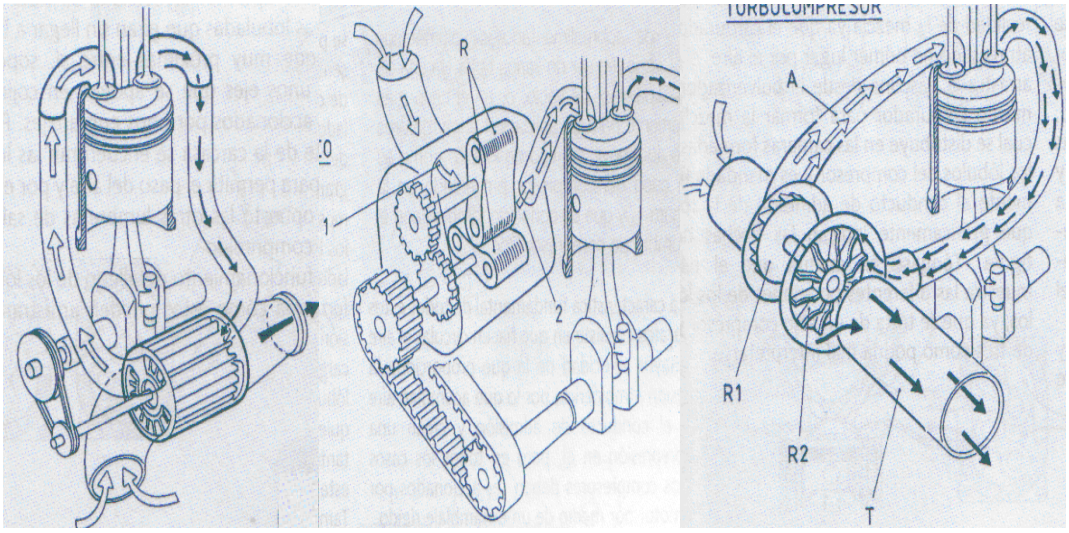
Figura 2.5 Curvas características

2.7 DIFERENTES TIPOS DE COMPRESORES.

Para llover a cabo la sobrealimentación de un motor vemos que se necesita la colaboración de una máquina capaz de tomar el aire a la presión atmosférica y comprimirlo lo suficiente para conseguir una sobrepresión. Este trabajo se encomienda a máquinas que reciben el nombre d e compresores.

Para su aplicación a los motores los compresores más utilizados son de tres tipos diferentes, cada uno de los cuáles tiene sus ventajas y sus inconvenientes. Un esquema del funcionamiento del tipo de compresor que recibe el nombre de volumétrico, o de tipo Roots, accionado por una toma de fuerza del mismo cigüeñal.

Otro tipo de comprensor es el turbocompresor, es el que suele denominar solamente como turbo.



a) b) c)

Fig. 2.6 Diferentes tipos de compresores a) Compresor Volumétrico b) Turbocompresor c) Comprex

2.7.1 El comprensor volumétrico.

Los sobrealimentadotes volumétricos pueden ser de varios tipos, ya sea de paletas, de vacío o en el caso más corriente para su aplicación a los motores de automóvil, del tipo de lóbulos como es el caso del comprensor presentado en la figura 2.7, y que es conocido también con el nombre de comprensor Roots.

La característica fundamental de todos estos aparatos consiste en que hacen circular el aire a mayor velocidad de la que proporciona la presión atmosférica, por lo que acumula aire en el conducto de admisión y crean una sobrepresión en él, pero todos los caso estos compresores deben ser accionados por el motor por medio de un ensamblaje rígido.

En la figura 2.7 citada tenemos un comprensor de este tipo, se trata d e dos piezas lobuladas que giran sin llegar a tocarse, aunque muy próximas entre sí, soportadas por unos ejes que se apoyan en cojinetes y son accionados por unos engranajes. Por una parte de la carcasa se encuentran las lumbreras para permitir el paso del aire y por el extremo opuesto las otras lumbreras d e salida del aire comprimido.

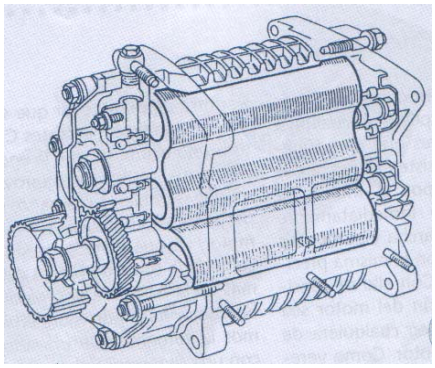


Fig. 2.7 Compresor Volumétrico

El funcionamiento de tallado de los lóbulos y la forma cómo éstos pueden arrastrar el aire se puede ver en la figura 2.8 en la que se representa una secuencia del sistema volumétrico de comprensión. En le dibujo 2.8 tenemos señalado con flechas negras pequeñas el sentido de giro de los lóbulos, mientras la flecha grande indica la entrada d e aire. En la figura 2.8 podemos observar la forma de girar que representan los lóbulos y en la figura 2.9, como todo el aire acumulado por la cámara del lóbulo superior se es forzada a depositarse en el conducto de admisión. Continuando con el giro, la próxima descarga de aire le correspondería a la cámara del lóbulo inferior , así sucesivamente. Como quiera que la velocidad de los lóbulos es bastante elevada la sobrepresión alcanzada de este procedimiento puede ser importante. También la figura 2.9 puede verse con mayor detalle el recorrido del aire a través de los lóbulos del comprensor. En este caso se trata en realidad de la mezcla ya que le carburador atravesando el primer lugar por el aire, el cual arrastra la gasolina desde el pulverizador del mismo carburador para formar la mezcla el cual se distribuye en las cámaras formadas por los lóbulos del comprensor y es mandada finalmente al conducto de admisión de la forma que gráficamente indican las flechas de la figura 2.9.

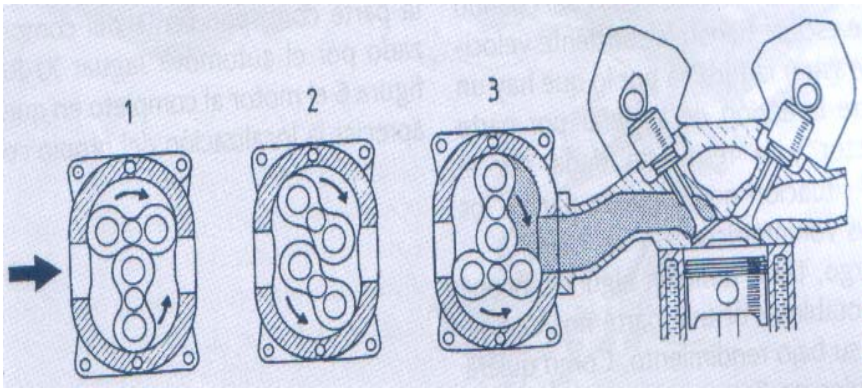


Fig. 2.8 Funcionamiento de tallado de los lóbulos

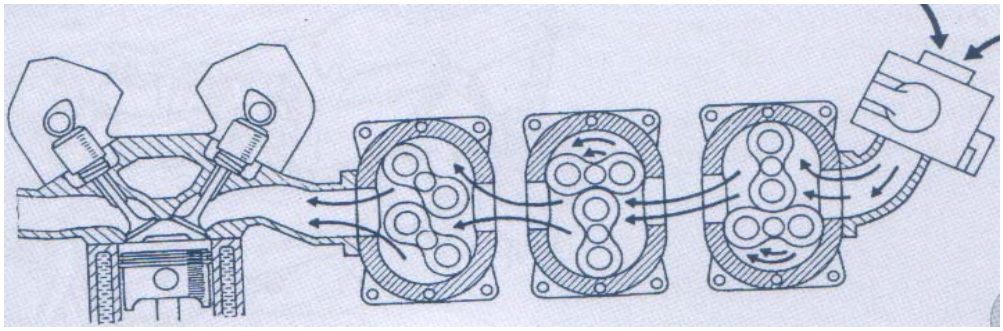


Fig. 2.9 Recorrido del aire a través de los lóbulos del comprensor

Los comprensores volumétricos tienen una ventaja sustancial con respecto a cualquier otro tipo de comprensores mencionados. Esta ventaja consiste en que, al ser accionados directamente por el motor, se ponen en marcha y aumentan o disminuyen de régimen con la misma precisión que lo hace el motor . Con ello se consigue que la sobrealimentación del motor sea muy racional y equilibrada en cualquiera de los regímenes del giro del motor.

El turbocompresor solamente se pone en funcionamiento útil cuando los gases de escape tienen la suficiente velocidad para arrastrar la turbina por lo que hay un retraso entre la acción de acelerar por parte del conductor y la respuesta dada por el turbo, esta situación no se puede dar en los compresores volumétricos.

Como quiera que los lóbulos no llegan a tocarse presenta, fugas que le producen pérdidas cada vez más importantes en cuanto aumenta la presión.

Al tener que ser accionado por el motor, le roba bastantes CV, cosa que en el turbo no ocurre ya que la energía de los gases de escape no iba a ser aprovechada de todos modos. También su tamaño, de mucha mayor proporción complica su instalación en el motor, ya que tiene que estar próximo a una zona de al toma de fuerza del cigüeñal y además en la parte fría del motor y cerca de el carburador y de la admisión.

2.7.2 El turbocompresor.

En el terreno de la sobrealimentación de motores, tanto de gasolina como de Diesel, los mejores resultados obtenidos hasta ahora se han llevado acabo con la ayuda de los turbocompresores que si bien tienen algunos inconvenientes que ya comentaremos, tienen la gran ventaja de que no consumen energía efectiva del motor además de que están facultados para poder girar a un número elevado de rpm, del orden de las 200,000 en los turbos de pequeño tamaño.

En la figura 2.10 tenemos una de estas máquinas turbosopiantes seccionada para que puedan advertirse en ella las partes principales que la componen en su interior. Los gases procedentes del colector de escape entran en el turbo A y se ven forzados a imprimir el giro de la turbina (B) para conseguir su salida al exterior a través M tubo de escape, situación que se produce por la parte indicada por la flecha C.

Como puede verse, la turbina (B) es solidaria del rodete del compresor (D) gracias al eje común € que une ambas piezas. Este rodete del compresor aspira el aire por F y con un valor de sobrepresión lo lanza por G. En esta operación, pues, no interviene accionamiento directo al motor, por lo que el consumo de energía activa del turbo no afecta para nada ala potencia que el motor térmico haya conseguido.

Como es sabido, en este ciclo solamente alimenta con el aire el interior del cilindro y la combustión se produce cuando se inyecta el combustible. De acuerdo con ello, el funcionamiento del turbosoplante se efectúa en las tres fases representadas en los dibujos.

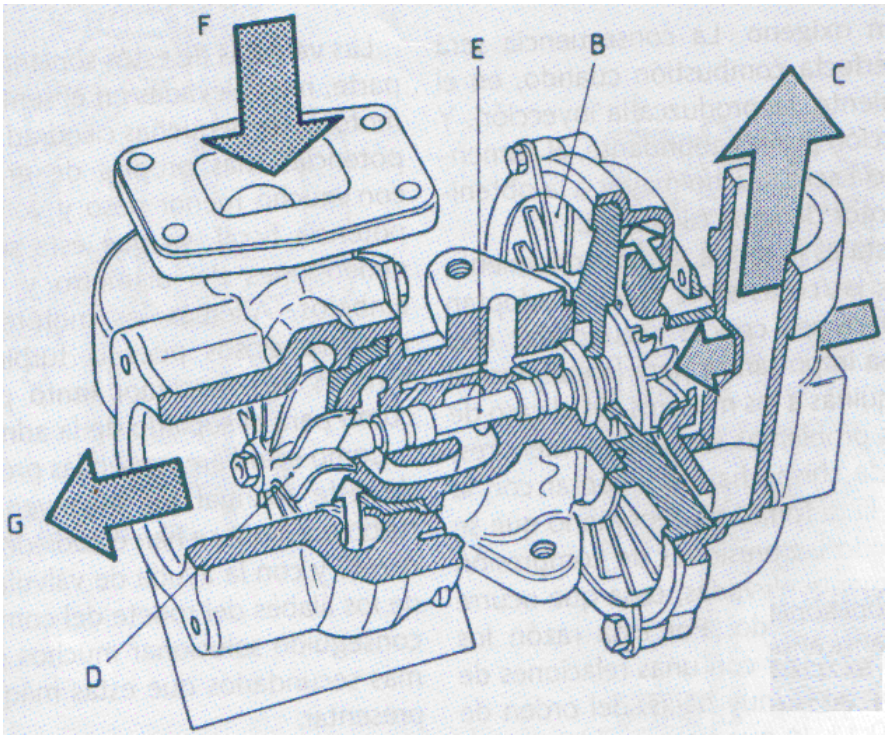


Figura 2.10 Máquinas turbosplantes

La primera fase está representada por la figura 2.11. Los gases de escape son lanzados hacia el tubo de escape por el émbolo en su carrera ascendente y dado el caso de que la válvula de escape se encuentra ya abierta. Estos gases pasan a la turbina acelerándola en su giro, lo que hace a su vez que el rodete compresor de la parte opuesta gire a su misma velocidad y acumule aire atmosférico comprimido y en este caso refrigerado por su radiador correspondiente en la zona del colector de admisión.

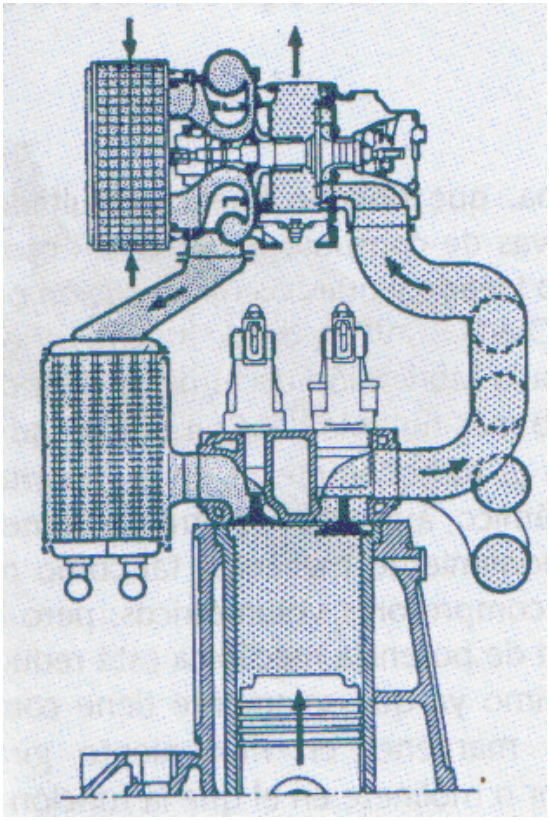


Figura 2.11 Primera fase

La segunda fase queda representada por la fig. 2.12. El émbolo está apunto de alcanzar su P. M .S. y la válvula de admisión comienza abrirse (sin haberse cerrado del todo la válvula de escape). El aire acumulado en el colector de admisión entrar ya súbitamente en la cámara de combustión ayudando muy eficazmente al barrido de los gases de escape, y enfriando la cabeza del émbolo.

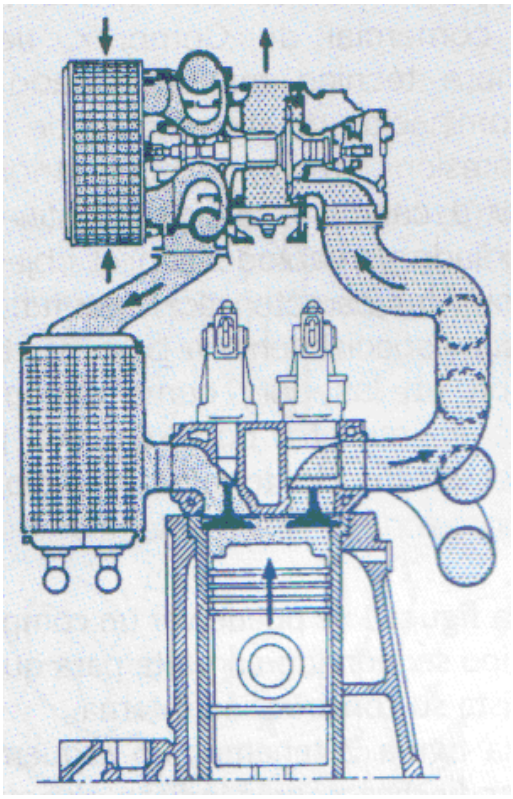


Figura 2.12 Segunda fase

Por último, queda la tercera fase que se puede ver en la figura 2.13. Ahora la válvula de escape se ha cerrado ya, el émbolo descendiente y comienza el tiempo de admisión. El aire comprimido entra por la abierta válvula de admisión y llena completamente toda la capacidad del cilindro con un aire de mayor densidad que el atmosférico y por lo mismo mucho más rico en oxígeno. La consecuencia será una más perfecta combustión cuando, en el tiempo siguiente, se produzca la inyección. Y si esta inyección es más abundante, el aumento de potencia será mucho mayor la obtenida en un motor de igual cilindrada.

Por hoy, el turbo es el sistema más adecuado para sobrealimentar un motor, tanto de tipo Diesel como de gasolina.

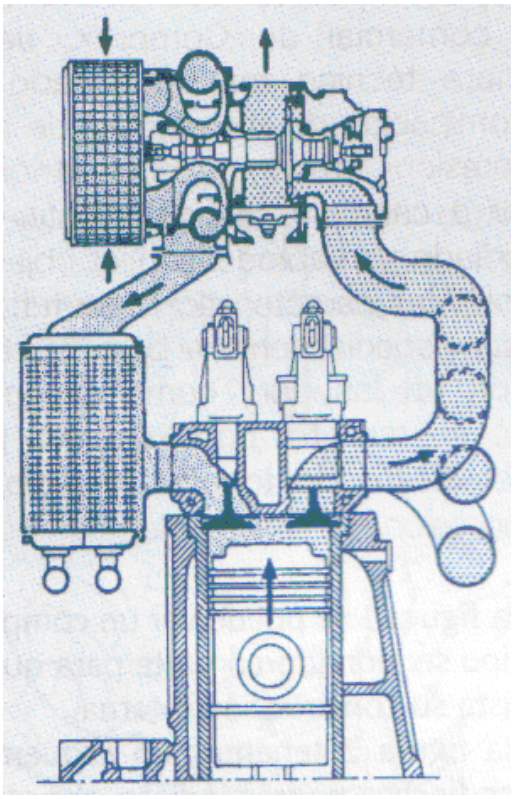


Figura 2.13 Tercera fase

2.7.4 Compresores comprex

Fundamentalmente, el tipo de compresor denominado con el nombre comercial de Comprex, tiene su nombre técnico más adecuado en la denominación de “cambiador de la onda de presión” de acuerdo con la forma de llevar a cabo su funcionamiento, y está estudiando y realizado con el objetivo de mejorar las características del turbocompresor especialmente a bajas revoluciones del motor, en las que, como sabemos, el turbo se muestra poco efectivo por no haber alcanzado todavía los valores suficientes de compresión del aire.

CAPITULO 3

ANALISIS TERMODINÁMICO DE LA COMBUSTIÓN

3.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMBUSTIÓN

En este capitulo hacemos mención de los inyectores y bombas de inyección diesel, debido a que son dos elementos importantes que están involucrados para que se realice una buena combustión, un problema que encontramos, fue que en una planta de potencia nueva, al ser instalada, presentaba las siguientes anomalías:

- Excesivo humo
- Vibraciones muy altas
- Difícil de estabilizar a 1800 rpm
- Consumo de diesel excesivo

La empresa que suministró el equipo, tuvo que realizar el cambio de bomba de inyección en múltiples ocasiones y verificar el funcionamiento de inyectores hasta lograr estabilizar el motor.

De los problemas relacionados con la excesiva producción de humo, en gran parte se debía al mal funcionamiento de la bomba de inyección y de los inyectores.

En base a lo anterior presentamos las características y el funcionamiento de estos componentes para llevar acabo una correcta combustión.

3.1.1 INYECTORES

CONDICIONES QUE DEBE REUNIR UN INYECTOR

- Pulverización que algunos llaman atomización. Va muy directamente ligada con la penetración y la mezcla.

- Distribución del chorro en la masa del aire. Pretende conseguir una mezcla muy homogénea y un arranque fácil.

- Penetración que depende del tamaño de las gotas pulverizadas. Si es excesiva se condensa sin quemar en las paredes. Si es corta es mucho el aire que resulta inútil como carburante.

- Principio y final de inyección precisos y claros.

- Sin fugas al exterior ni goteos a la cámara pero si como una circulación suficiente de gasoleo para mantener la punta de la tobera por debajo de los 220°C.

3.1.2 CLASIFICACION DE LOS INYECTORES

- Tobera de orificios
- Tobera de espiga
- Tobera mixta
- Tobera de retardo. Todos ellos son, sin embargo de:
- Tobera cerrada, pero algunos otros son de:
- Tobera abierta, es decir sin asientos. A decir verdad solo se emplean en casos especiales como los motores Hasselman o los semi Diesel.

En la figura 3.1 podemos ver un ejemplo de esta clase. Para evitar que los gases deterioren el inyector o retrocedan por el conducto de llegada del combustible llevan dos o tres válvulas de retención.

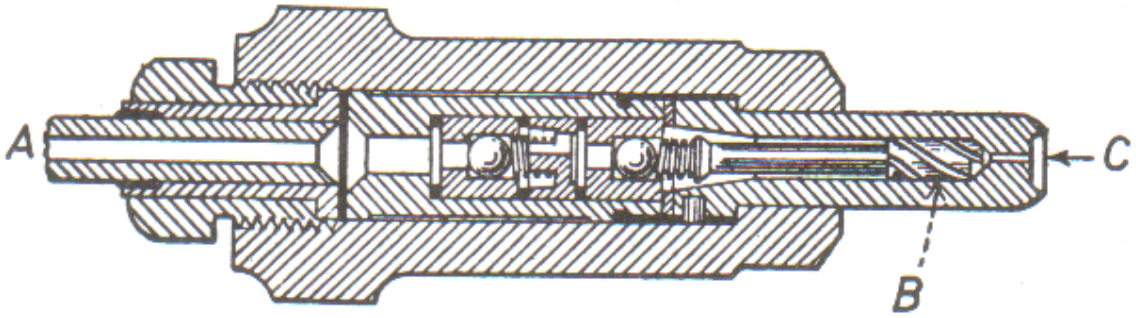


Fig. 3.1 Inyector de tipo de tobera abierta seccionado:
a) Llegada del combustible
b) Pulverizador
c) Paso a la cámara de combustión

3.1.3 EFECTOS DE LA INERCIA

Muchos inyectores llevan un largo vástago que lleva el empuje del muelle a la aguja del cierre. Es un dispositivo muy clásico que se ve de la parte *A* de la figura 3.2 en forma esquemática. El muelle *m* es muy asequible, fácil de ajustar y trabaja en una zona fría alejada de la cámara, pero necesita un largo vástago *V*.

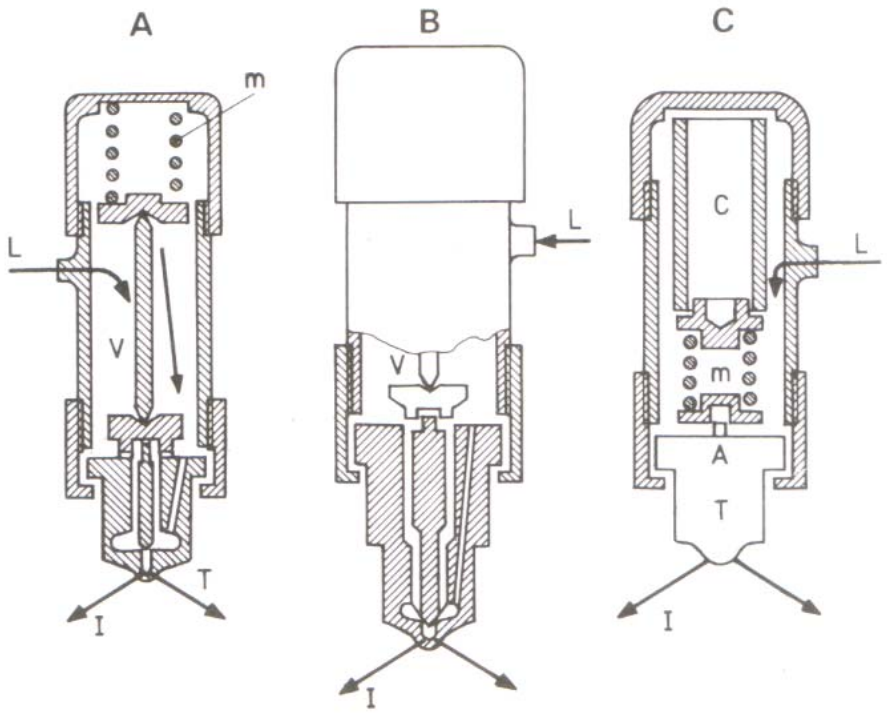


Fig. 3.2 Disposiciones diversas de los inyectores cerrados. a) Aguja movida por vástago largo. b) Tobera alargada para separar la guía del asiento. c) Inyector con muelle directamente sobre la aguja.

Para evitarlo se recurre al colocar el muelle encima de al aguja, como se ve en la vista *C*, pero entonces no solo se trabaja muy caliente sino que obliga a un dimensionado que los pasos de admisión, escape y refrigeración de la culata del motor muchas veces no pueden permitir.

Por ello, algunas veces se recurre a la solución contraria que se ve en *B*. Hacer tobera y agujas más largas pero más delgadas, en detrimento del efecto de inercia pero en beneficio del diámetro requerido.

3.1.4 INYECTORES REFRIGERADOS

En los motores pequeños nos hace falta sitio, pero en los motores grandes se hace fácil de establecer un circuito adicional de refrigeración de inyección del inyector y de la tobera. Con ello se evita que alcance temperaturas superiores a los 220° C, insosteniblemente por deformaciones y deterioro y que el combustible se descomponga antes de quemarse, dejando residuos y tapando orificios.

En la figura 3.3 nos muestra uno de esos inyectores de tobera abierta y la figura 3.4 una tobera de inyección cerrada también dispuesta con refrigeración.

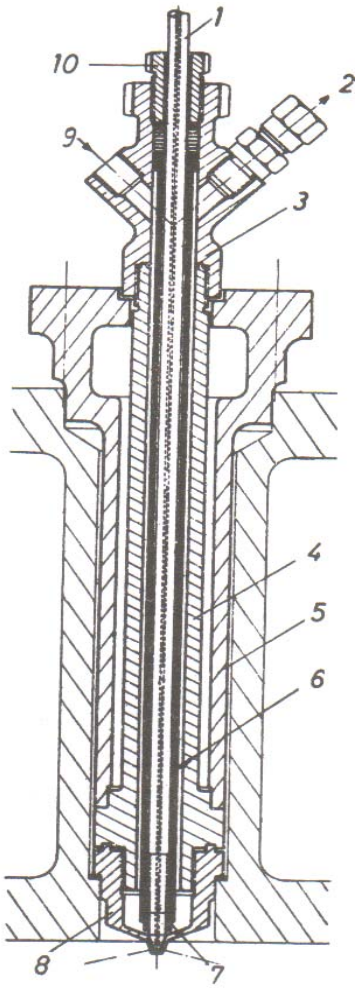


Fig. 3.3 Inyector de tobera abierta refrigerado

Componentes:

1. Llegada de gasoleo.
2. Salida del refrigerante.
5. Cámara de llegada del refrigerante.
6. Paso de salida del refrigerante.
8. Tobera refrigerada.
10. Prensa-estopas.

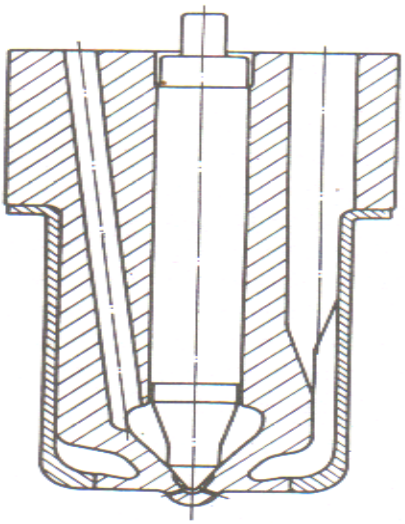


Fig. 3.4 Tobera preparada para llevar circuito de refrigeración

3.1.5 EL ASIENTO DE CIERRE

No solo en los asientos de aguja de inyector, sino en muchos asientos cónicos, se hace el cono hembra unos 2 grados más agudo que el cono macho con objeto de que al asentarse con fuerza sobre una línea, se consiga por una cierta deformación elástica del cono un cierre perfecto en toda la vuelta como se ve el la figura 3.5.

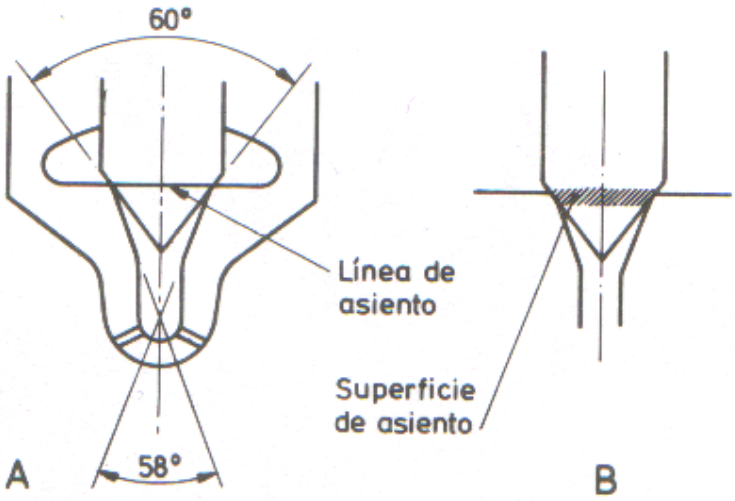


Fig. 3.5 Diferencia de ángulos en los asientos cónicos a) El asiento se prepara en la línea
b) La deformación de canto produce un asiento en toda la circunferencia

En la parte *A* de la figura vemos la disposición geométrica de las piezas y en *B* como se produce el asiento.

3.2. BOMBAS

3.2.1 BOMBA ROTATIVA

Durante el proceso de investigación nos encontramos con diferentes modelos de bombas que se encuentran disponibles para la inyección del diesel a los motores, y el problema que encontramos era que no se contaba con suficiente información para poder detectar cual era la falla entre una bomba y otra esto debido a que los diferentes modelos trabajan de diferente forma y los componentes son distintos, es por ello que presentamos las bombas mas comunes que nos podemos encontrar en los motores para plantas de potencia, para que el ingeniero mecánico tenga una mayor visión sobre el funcionamiento de las mismas.

Ahora que sabemos que los elementos de que ha de constar un sistema de inyección y los valores que lo definen, debemos aprender a reconocer en un equipo dado, donde esta cada elemento o función y como se consigue cada o característica. Esto es particularmente importante en las bombas rotativas o de distribuidor, por que cada fabricante adopta por ahora soluciones bastante diferentes y conviene por lo tanto saber analizar cada parte y su respuesta sobre las otras. En los motores rápidos de pequeña velocidad o media cilindrada con bomba en línea esto es mucho más fácil. Casi todas las bombas, rotativas o en línea, llevan su regulador incorporado cuando son policilíndricas o de un solo cuerpo.

Observemos un cierto detalle dos bombas rotativas corrientes en el mercado: La DPA de CAV – LUCAS y la PRS de SIGMA. Las podemos ver en las figuras 3.6, 3.7 y en las figuras 3.8, 3.9 en secciones (desarmadas), respectivamente. También presentamos las muy conocidas BOSCH y la americana ROSSA, en las figuras 3.10, 3.11 y 3.12.

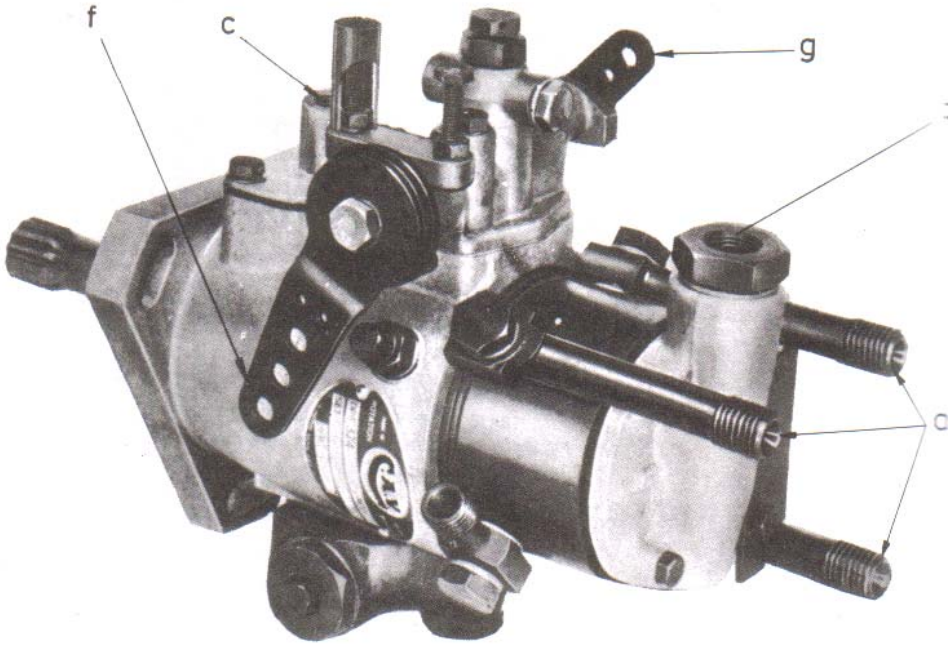


Fig. 3.6 Bomba rotativa DPA de CAV

Componentes:

a. Conexiones o salidas a los tubos de impulsión que comunican con los inyectores.
b. Alimentación del combustible.
c. Retorno de los sobrantes.
f. Palancas o ejes de regulación.
g. Palancas o ejes de regulación.

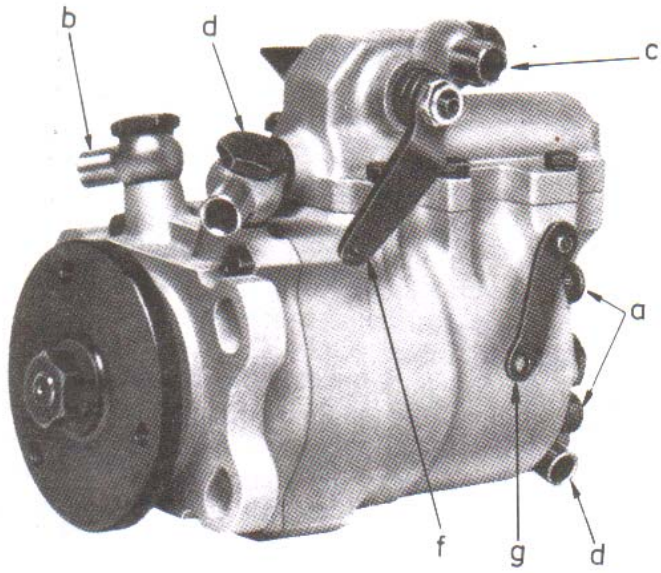


Fig. 3.7 Bomba rotativa PRS de SIGMA

Componentes:

a. Conexiones o salidas a los tubos de impulsión que comunican con los inyectores.
b. Alimentación del combustible.
c. Retorno de los sobrantes.
d. Conexión entre la bomba de alimentación y la entrada de la bomba de inyección.
f. Palancas o ejes de regulación.
g. Palancas o ejes de regulación.

3.2.2 CONEXIONES EXTERIORES

En las figuras 3.6 y 3.7 reconocemos las conexiones o salidas a los tubos de impulsión que comunican a los inyectores, por ser iguales y repetidas. Las hemos denotado con la letra *a*.

La alimentación de combustible *b* puede confundirse con el retorno de los sobrantes *c* ya que son dos conductos de baja presión. En general que el *b* es mucho mas importante y para mayor caudal. Pero algunas veces no solo es difícil saber diferenciarlos sino que aparecen otras conexiones exteriores que ya no sabemos a que hacerlas corresponder. En el caso de las *d* de la figura 3.7, son las conexiones de la bomba de alimentación y la entrada de la bomba de inyección.

3.2.3 MANDOS EXTERIORES

En toda bomba de inyección aparecen dos palancas o ejes de regulación *f* y *g* que siempre son necesarios, uno de ellos para graduar la carga, la alimentación o la velocidad según sea la utilización del motor y el otro para conseguir la parada suprimiendo la alimentación. La palanca *f* de regulación siempre es la más importante, de mayor ángulo o carrera para conseguir la progresividad de graduación suficiente.

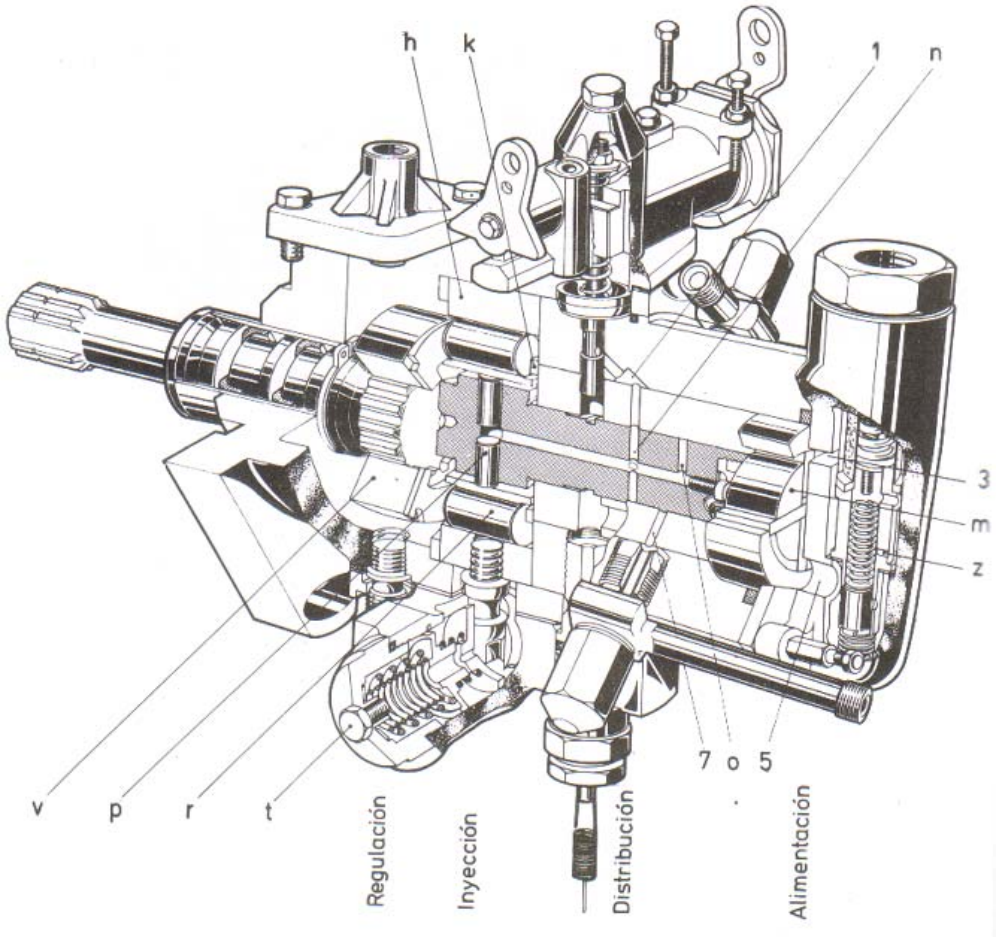


Fig. 3.8 Vista seccionada de la bomba inyectora rotativa DPA

Componentes:

1. Lumbrera de dosificación.
n. Lumbrera de admisión
3. Lumbrera de carga.
z. Lumbrera de regulación.
5. Lumbrera de cebado.
o. Lumbrera de distribución.
7. Lumbrera de salida.

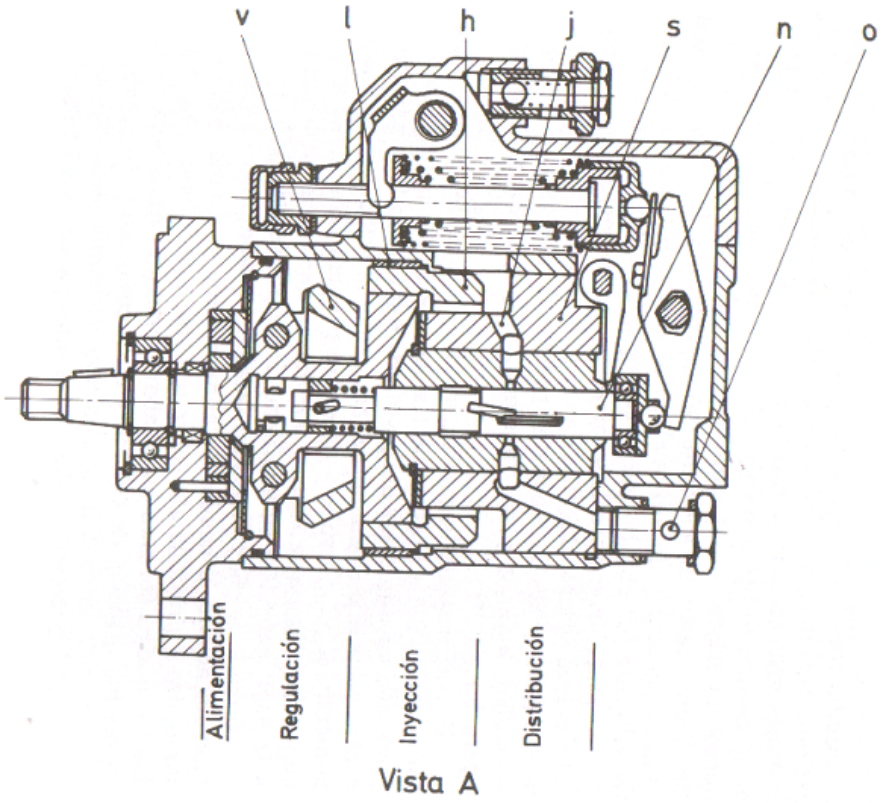


Fig. 3.9 Vista seccionada de la bomba rotativa PRS SIGMA

Componentes:

h) Leva rotativa
j) Llegada de la alimentación
l) Cojinete principal
n) Eje de distribución.
s) Cuerpo principal
v) Regulador

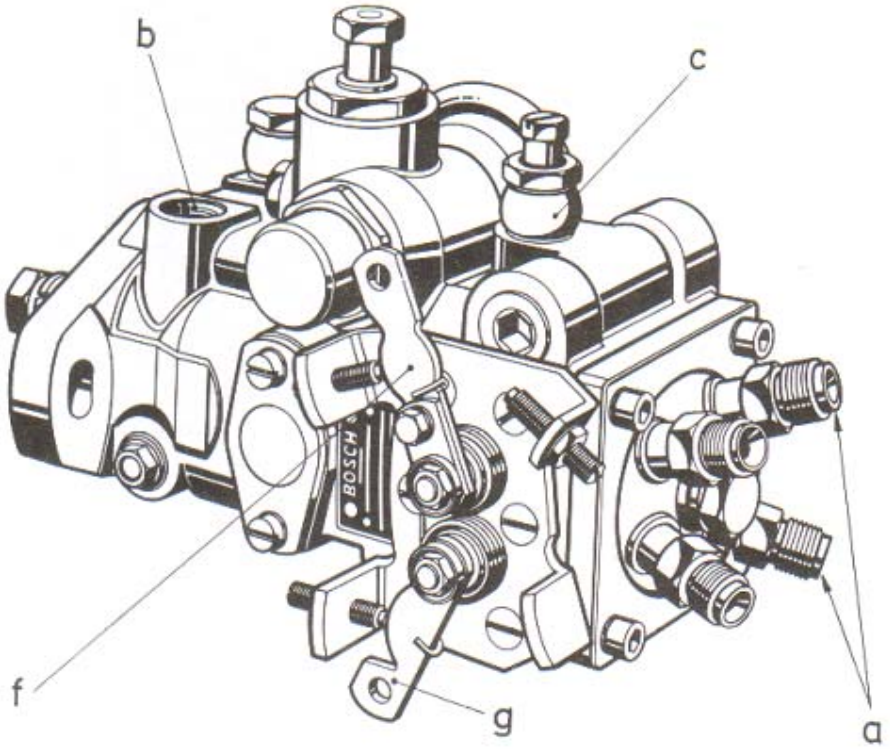


Fig. 3.10 Bomba rotativa EP/VA de BOSCH

Componentes:

a. Conexiones o salidas a los tubos de impulsión que comunican con los inyectores.
b. Alimentación del combustible.
c. Retorno de los sobrantes.
f. Palancas o ejes de regulación.
g. Palancas o ejes de regulación.

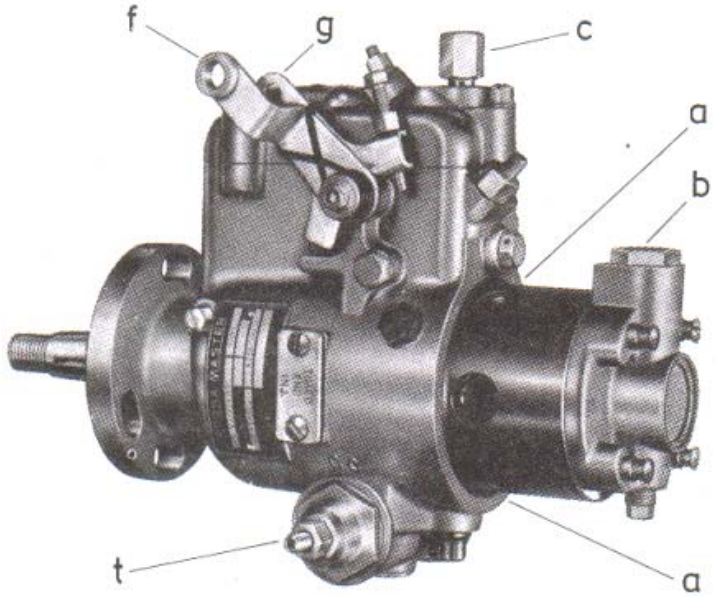


Fig. 3.11 Bomba americana ROOSA MASTER

Componentes:

a. Conexiones o salidas a los tubos de impulsión que comunican con los inyectores.
b. Alimentación del combustible.
c. Retorno de los sobrantes.
d. Conexión entre la bomba de alimentación y la entrada de la bomba de inyección.
f. Palancas o ejes de regulación.
g. Palancas o ejes de regulación.

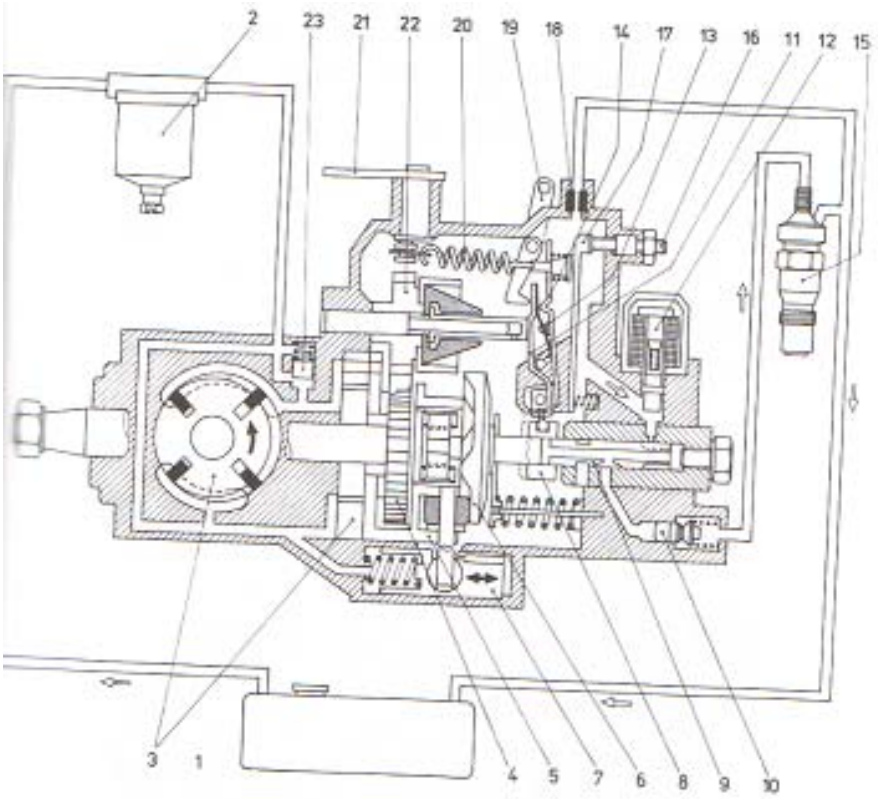


Fig. 3.12 Esquema de funcionamiento de la bomba rotativa BOSCH

Componentes:

1. Deposito de combustible.
2. Filtro.
3. Bomba de alimentación.
4. Accionamiento regulador.
5. Rodillos; empuje de pistón.
6. Leva giratoria.
7. Variador de avance.
8. Collar dosificador.
9. Pistón inyector distribuidor.
10. Válvula de descarga.
11. Palanca de arranque.
12. Accionamiento de paro.
13. Tope de carga.
14. Palanca reguladora.
15. Inyector.
16. Ajuste de carga.
17. Palanca de tope.
18. Sobrante y purga.
19. Mando de paro.
20. Resorte regulador.
21. Mando acelerador.
22. Regulador centrifugo.
23. Válvula reguladora de alimentación.

3.2.4 ADMISION Y LLENADO

La bomba rotativa de admisión a baja presión que esta siempre en un extremo lleva el combustible hasta las cámaras de compresión de los pistones inyectores a través de orificios de alimentación.

Siempre hay, hay ante la aspiración de la bomba de alimentación, una válvula que cumple dos funciones: la de cebado y retención y el de mantener una presión de alimentación proporcional a la velocidad.

3.2.5 AVANCE

Sabemos que el avance consiste con el comienzo de la inyección que se puede producir en un momento deseado.

Hay tres sistemas de avance que se usan corrientemente:

- Distribuidor
- Fuerza centrifuga
- Presión de alimentación

En de distribuidor consiste en que a medida que se sube el mando acelerador vaya presentándose antes el orificio antes el orificio de alimentación ante su pared de cierre. El de fuerza centrifuga no va directamente accionado por el mando sino por el manguito del regulador que se mueve según sea la fuerza centrifuga creada por el régimen de giro.

En las bombas rotativas la presión de la bomba de alimentación, acciona un pequeño servo pistón que fija la posición de avance, ya sea corriendo la leva, o limitando carreras.

3.2.6 BOMBA MULTIPLE O EN LINEA

Este tipo de bomba es más universal. Presentamos varios tipos de bombas como se ve en las figuras 3.13 y 3.14 de la bomba IESA, en las figuras 3.15 y 3.16 de la bomba SIGMA y la figura 3.17 de la bomba CAV. Una ligera observación de estas bombas, nos da idea de la homogeneidad de sus disposiciones.

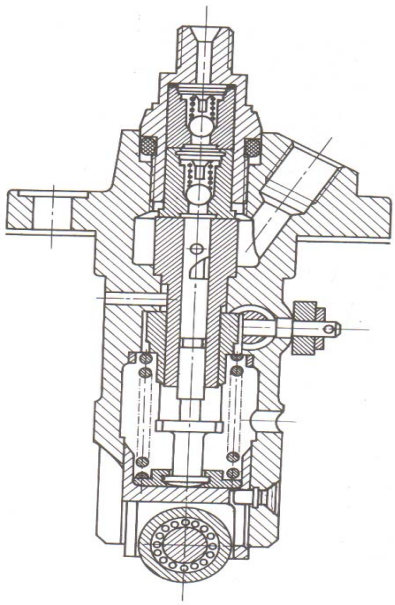


Fig. 3.13 Sección de la bomba en línea IESA individual

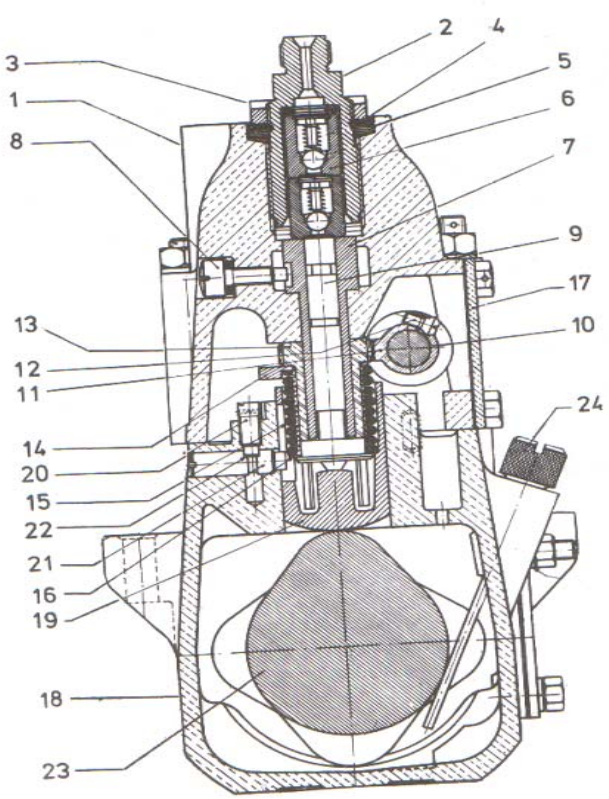


Fig. 3.14 Sección de la bomba múltiple IESA

Componentes:

1. Bloque superior
2. Salida del inyector
6. Válvula de retención
7. Camisa
9. Pistón inyector
10. Cremallera dosadora
11. Manguito dentado
13. Piñón
15. Resorte de retroceso
16. Bloque inferior
19. Tubo empujador
23. Árbol de levas
24. Nivel de aceite

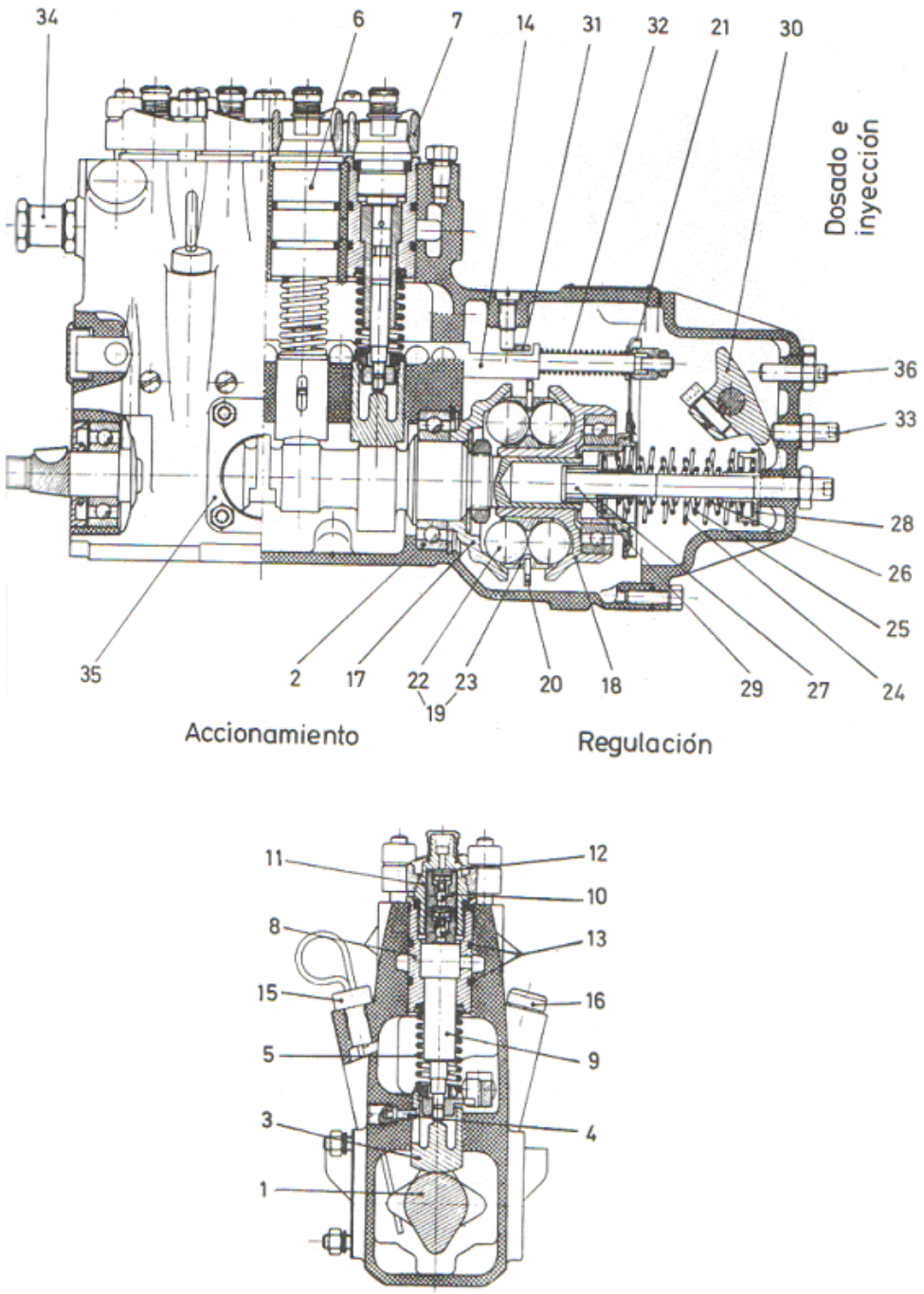


Fig. 3.15 Sección de la bomba SIGMA

Componentes:

1. Eje de levas
3. Tucho empujador
5. Camisa
8. Cabeza hidráulica

10. Válvula de retención
12. Salida del inyector
15. Nivel de aceite
17. Regulador
14. Cremallera
30. Acelerador
31. Parada
34. Alimentación
35. Accionamiento de la bomba de alimentación

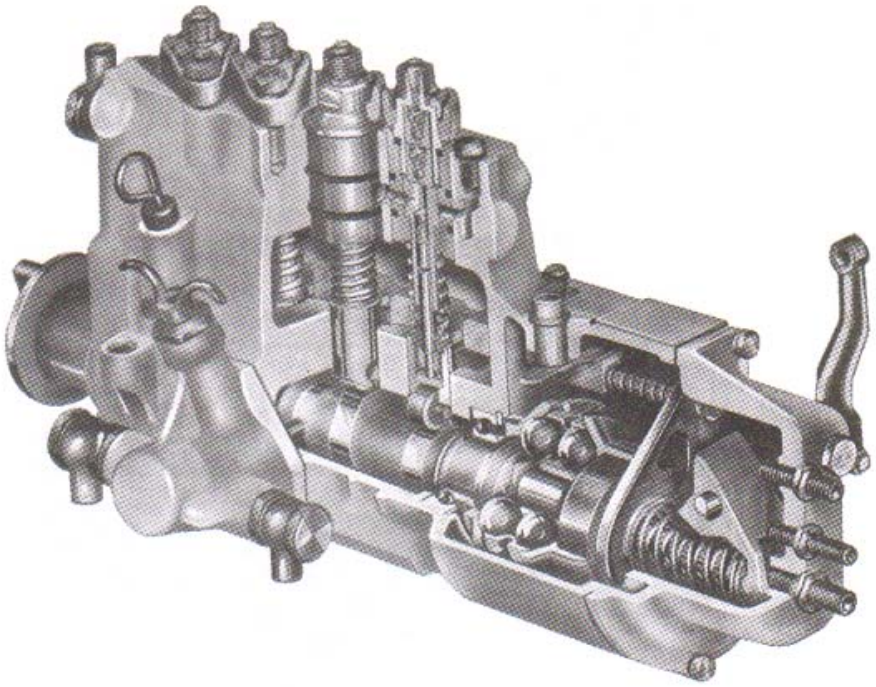


Fig. 3.16 Vista seccionada de la bomba SIGMA

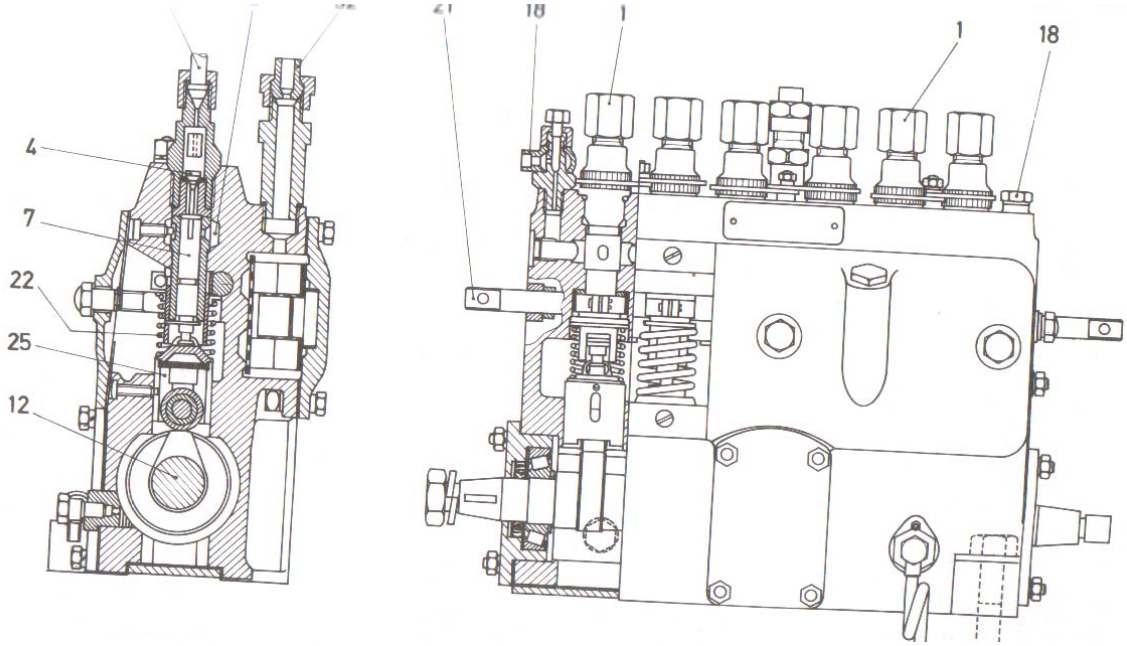


Fig. 3.17 Vista en sección de la bomba CAV de Condiesel

Componentes:

1. Salida del inyector
4. Válvula de descarga
7. Pistón inyector
8. Lumbrera de llenado
12. Eje de levas
18. Purga y retorno de sobrantes
21. Cremallera
22. Muelle de retorno
25. Tucho-empujador
32. Alimentación

3.2.7 BOMBAS INDIVIDUALES

Este tipo de bombas son iguales que las bombas múltiples o en línea, pero sus cremalleras van unidas por varillas exteriores y el eje de levas es independiente y va de parte a parte del motor como se observa en la figura 3.18. El regulador siempre es independiente.

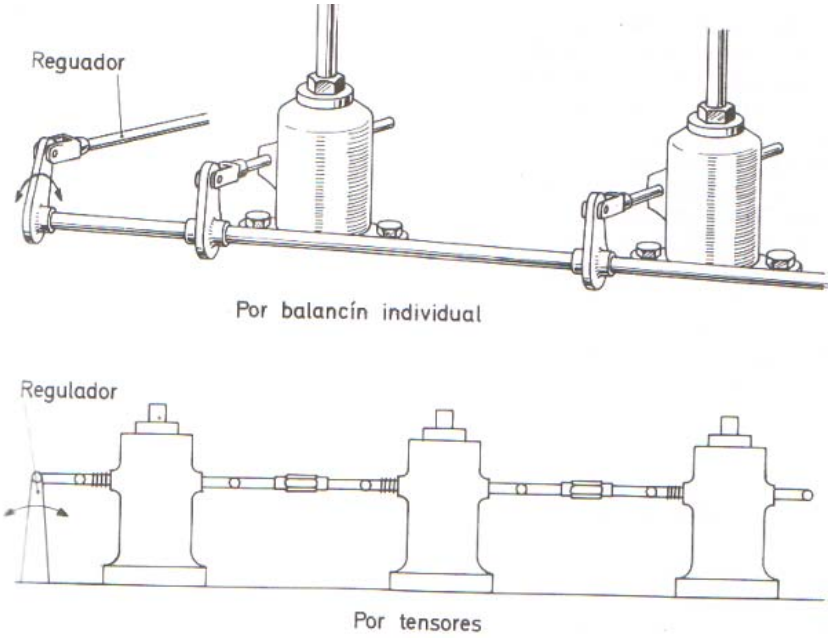


Fig. 3.18 Forma de regulación de las bombas normales

3.2.8 BOMBAS CON VALVULAS DE ADMISION O DESCARGA

Teniendo en cuenta los pistones inyectores son sencillos como en la bomba rotativa, que avance, inicio y duración dependen sencillamente de los movimientos de apertura y cierre de las válvulas correspondientes accionadas por el eje de levas y que la disposición general suele ser vertical y muy parecida a la de las bombas en línea.

Los reglajes son sencillos, pues suele bastar el alargar o acotar los vástagos de accionamiento o la posición de ataque de las levas, todos ellos ajustables.

3.2.9 OTROS TIPOS

Se emplean variadas soluciones, especialmente en los grandes motores lentos, marinos, de gran potencia que se suele fabricar en pocas cantidades y para los que cada fabricante ejecuta su propia disposición ya que no se puede encontrar en el mercado el material adecuado para estos grandes tamaños y estas pequeñas partidas. Al ser grande la potencia y lento el motor el volumen a inyectar en cada pistoneada crece al propio tiempo de inyección, con lo que estanqueidad y perdidas así como la necesidad de grandes aceleraciones y deceleraciones pierden importancia, las presiones de trabajo se reducen y los tamaños de todos los elementos y especialmente de los orificios de inyección aumentan.

3.3 POLICARBURANTE

En los motores grandes y lentos, es algo más fácil consumir fracciones más pesadas y menos volátiles del petróleo como combustible, es decir, pasar de lo que se suele llamar gasoleo al fuelóleo o aceites de caldera. Se trata, de llevar la viscosidad a su punto optimo por circulación continua, en todo el circuito del combustible a la temperatura adecuada. Se recomienda que al arranque y la parada con combustible muy

ligero con objeto de que la puesta en marcha sea fácil y la parada encuentre los conductores limpios del fuel espeso que fácilmente, al enfriarse, obstruya pasos y recodos y pegaría válvulas y pistones.

En América, la abundancia de fuentes de *gas natural* ha promocionado el tipo de motores Diesel que llaman de marcha Dual-Fuel (o sea de doble combustible), gas o gasoleo, siempre con autoencendido por el procedimiento del Diesel. Para ello en la marcha gas, se admite este a través de un carburador, mezclado con el aire y el encendido se consigue mediante la inyección de una pequeña cantidad de gasoleo a través del inyector para provocar la inflamación de la mezcla.

En la figura 3.19 vemos la solución de la doble bomba, sobre un mismo inyector, la pequeña para la inyección piloto y la grande para la marcha con gasoleo. Sin embargo en motores de menos de 1000 rpm de gran tamaño y par es mejor hacer una bomba de inyección cuyas cabezas de pistón inyector presentan dos pendientes de regulación. La grande y normal de la marcha con gasoleo (zona de la derecha) y la suave y pequeña para la inyección piloto que tiene variable al inicio de la inyección. Si nos encontramos con un motor de esta clase sabemos que obedece a esta disposición.

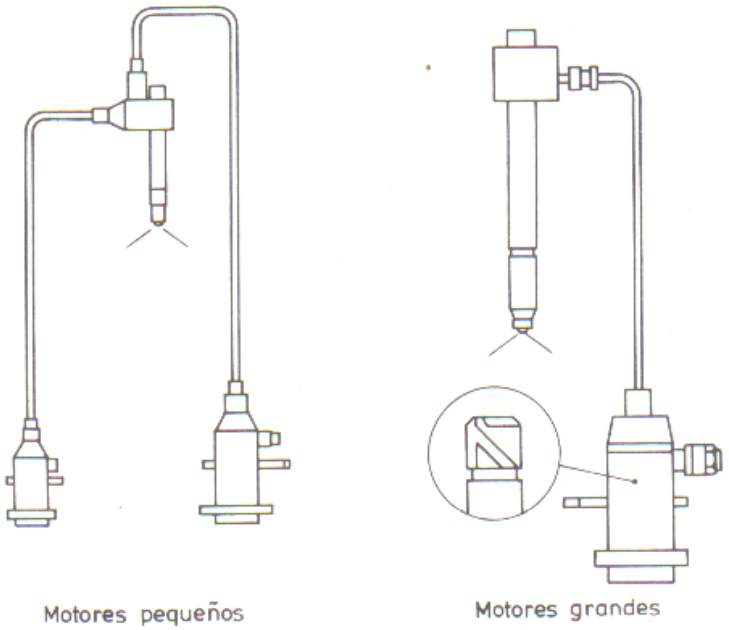


Fig. 3.19 Marcha Dual –Fuel o Diesel-Gas

También se suelen llamarse a este tipo de motores de marcha Diesel–Gas.

CAPITULO 4

APLICACIONES

En este capitulo presentamos cada uno de los componentes que constituyen las plantas de potencia, cada uno de sus componentes, así mismo señalamos las fallas mas comunes que presentan estos motores y proponemos las posibles soluciones.

4.1 APLICACIONES DEL MOTOR DIESEL DE DOS TIEMPOS

En la figura 4.1 se tiene un motor de dos tiempos, el cual se puede observar presenta un turbo compresor, el cual es el mas adecuado para este motor según los diferentes tipos de compresores antes mencionados, este presenta mayores ventajas. Y es el más utilizado en los motores para la generación de energía eléctrica.

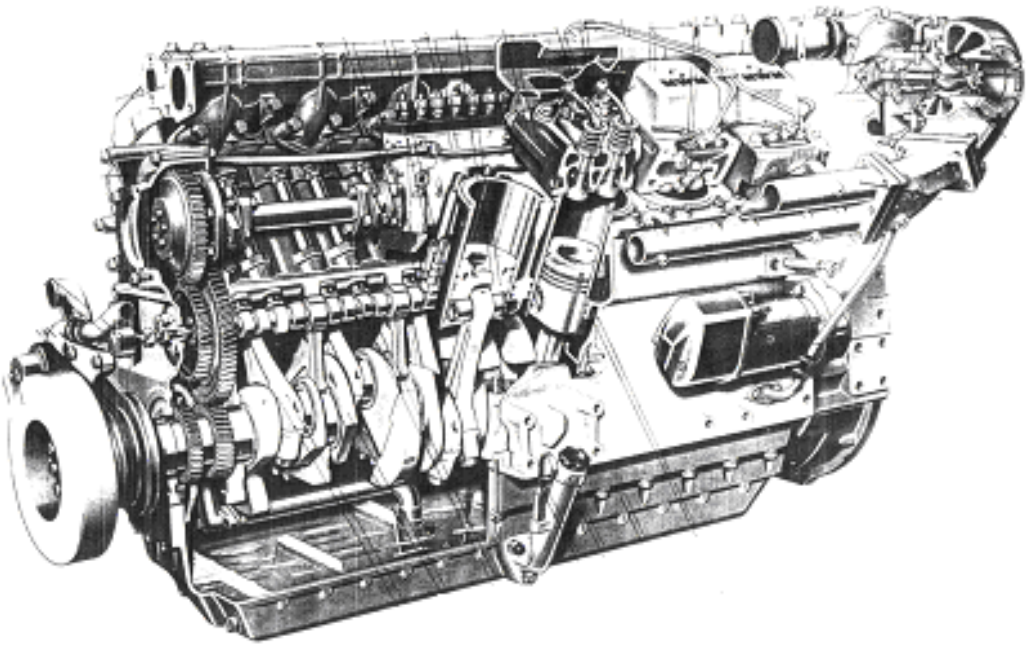


Fig. 4.1 Motor de dos tiempos

De forma sencilla el funcionamiento de una planta de potencia es el siguiente: Por medio de un PLC, Se manda una señal al motor de arranque para poner en marcha al motor, así mismo este PLC recibe señales del motor a través de transductores, señales como presión de aceite, temperatura, frecuencia a la que esta girando nuestro motor con la finalidad de proteger al motor.

Es importante mencionar que cuando se actúa con la llave de contacto para poner el motor en marcha, un relé temporizado activa todas las bujías de incandescencia a la vez, esto para facilitar el arranque del motor en frió. Otra forma de mantener el motor a una temperatura adecuada para el arranque, es mediante la utilización de resistencia con termostatos. Estos se conectan en tomas intermedias del motor por donde circula el

agua, estas resistencias son alimentadas por voltaje de corriente alterna, cuando el motor alcanza una temperatura ideal se desconecta por medio del termostato, y cuando la temperatura desciende, se vuelve a conectar la resistencia en automático y así sucesivamente. Facilitando el arranque y evitando que el motor se enfrié.

La bomba de inyección normalmente se encuentra alimentada por medio de baterías, al ponerse en marcha el motor la Bomba de inyección succiona el diesel de un deposito como se muestra en la Fig. 4.2

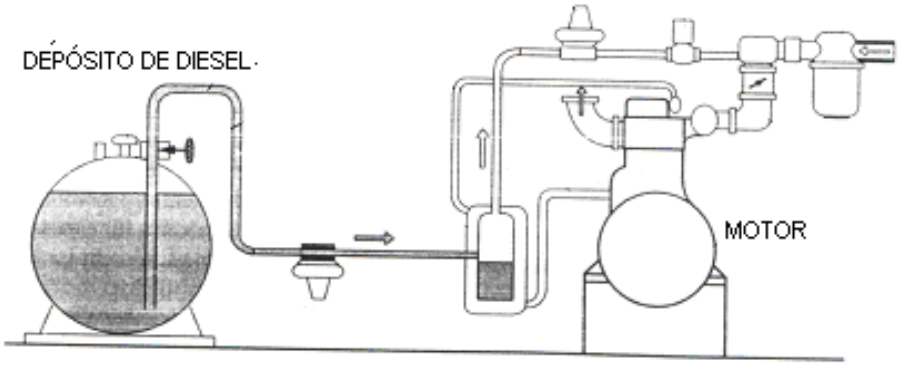


Fig. 4.2 Alimentación de diesel al motor

Lo suministra a los inyectores del motor para así empezar el ciclo. Cuando se realiza el primer ciclo los gases son expulsados por el múltiple de escape y pasan por el turbo compresor como se muestra en la figura 4.3. La fuerza que producen los gases de escape provoca que gire el rodete del turbo compresor aspirando aire del medio ambiente no sin antes pasar por unos filtros de aire y enviarlo a la cámara de combustión como se muestra en la figura. Los gases expulsados pasan previamente por un catalizador para después ser expulsados.

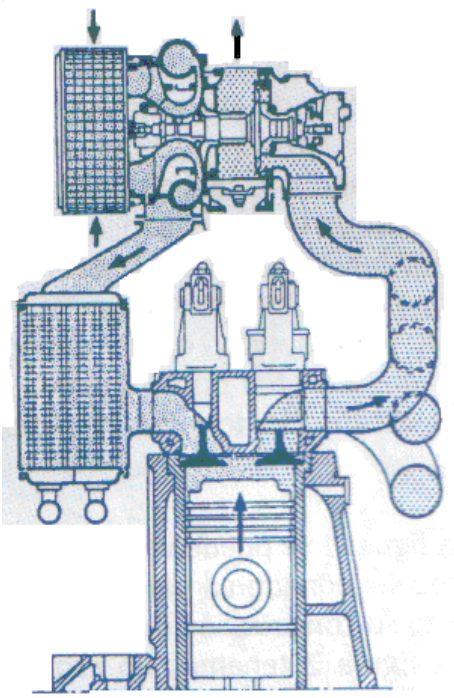


Fig. 4.3 En el primer ciclo los gases son expulsados por el múltiple de escape

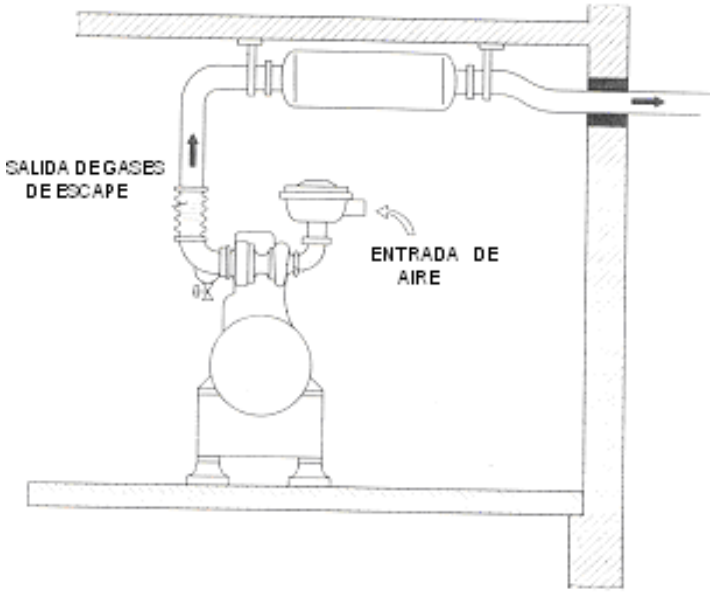


Fig. 4.4 Salida de los gases de escape.

Por medio de un gobernador de velocidad, la bomba suministra el diesel necesario para que el motor mantenga una velocidad de 1800 RPM, es importante que esta velocidad se mantenga constante para que tengamos la frecuencia de 60 Hertz, que es la

frecuencia que se tiene en nuestro país. En el arranque del motor no se recomienda que se genere electricidad debido a que nuestro motor sufriría un mayor desgaste, después de un cierto tiempo ya se puede tomar carga, con el motor girando a 1800 RPM.

El 30 de marzo del 2005: **Spanish contractor Abener Energía S.A.** Recibió una solicitud de la Comisión Federal de Electricidad, México, para instalar una planta de potencia Diesel del modelo MAN B&W 12K80MC-S.

Fig. 4.5 Planta de 43 MW ubicada en La Paz, Baja California

La planta trabaja 43 MW netos con una eficiencia del 47 %, con las condiciones ambientales de esta zona.

Durante el desarrollo de la investigación nos encontramos con la problemática de que las fallas más comunes dentro de las plantas de potencia que a continuación se mencionan, no podían ser detectadas por los ingenieros mecánicos, debido a la falta de información acerca del funcionamiento de cada uno de los componentes. Esto ocasionaba que dichas plantas fueran inspeccionadas por varios ingenieros y provocaba una respuesta muy lenta para la solución del problema.

4.2 ANALISIS DE FALLAS DEL MOTOR DIESEL

El análisis se inicia en el sistema de suministro de combustible. Este sistema está diseñado para establecer y mantener una relación con el motor.

En general, hablaremos del diagnostico de fallas en las que intervienen conexiones, tuberías, filtros, etc.

Los componentes del sistema de combustible son puntos potenciales para crear problemas como son:

- Tanques de almacenamiento.
- Filtros.
- Mangueras.
- Conexiones.
- Bomba de combustible.

Dos problemas comunes de este sistema son: una fuga visible en la tubería de presión, que ocurre durante la operación y paro del motor y la segunda en la línea de succión. Esto puede ser visible durante el paro del motor.

La fuga visible, será corregida porque la pérdida de combustible significara una baja presión. Una fuga de combustible en la línea de presión causara:

- Difícil arranque del motor
- Baja presión.
- Reduce la cantidad de combustible en la copa del inyector.
- Reduce la presión en los cilindros.
- Reduce el par motor.
- Reduce el rendimiento del motor.
- Mayor consumo de combustible.

Una entrada de aire al sistema ocasionara:

- Dificultad de arranque.
- Incrementa la resistencia al flujo.
- Taponamiento de filtros.
- Incrementa el desgaste de la bomba de combustible, inyectores y motor.

De ahí que el aire en el sistema de combustible: No provee energía, no lubrica y reduce el volumen de combustible.

El agua en el sistema de combustible también puede ocasionar una baja potencia, dañando por oxidación los componentes del sistema. En pruebas realizadas sobre el sistema de combustible en un motor con el diesel contaminado en un 0.5 % de agua, destruye a la bomba de engranes en 15 minutos.

El agua en el diesel provoca:

- No provee energía.
- No lubrica.
- Reduce el volumen de combustible.
- Causa oxidación.
- Daño ala bomba de combustible

Este problema se llega a presentar en la mayoría de las ocasiones debido a que depósito de combustible se encuentra retirado del motor como se muestra en la figura 4.1, y este deposito en ocasiones se encuentra descubierto, y una de forma de contaminarlo es cuando el personal de limpieza tiene contacto con estos tanques muchas veces sin darse cuenta, llegan a contaminar el combustible, es por ello que recomendamos que personal técnico especializado se encargue de estas funciones.

La suciedad es otro agente que daña el sistema:

- Tapa el papel de los filtros.
- Desgasta la superficie metálica.
- Reduce la potencia.
- Incrementa los depósitos en la cámara de combustión.

El aire entra al combustible por una o más de las siguientes vías:

- Líneas de succión.
- Por turbulencia, especialmente cuando se tiene una ventilación en el tanque.
- Succión del combustible.
- Por gases de la combustión que penetra al inyector.

El agua puede entrar al diesel a través de:

- Por la succión del diesel.
- Por la condensación, debido al calentamiento del combustible.

Es de suma importancia tener limpio la zona donde se encuentra localizada nuestro motor, esto debido a que el compresor aspira el aire que se encuentra en el ambiente que lo rodea, y si el ambiente se encuentra sucio, llega o tapar los filtros, disminuyendo la cantidad de aire que entrara a la cámara de combustión o en su caso llega a pasar hasta la cámara de combustión, provocando con ello una perdida considerable de potencia y un desgaste prematuro de nuestro motor.

4.3 ANALISIS DE FALLA EN EL SISTEMA DE ADMISIÓN

El sistema de admisión de aire, usado por un motor diesel debe de ser capaz de suministrar aire limpio, seco y frío a los cilindros para quemar todo el combustible quemado. Los cambios en el sistema de admisión de aire pueden ser requeridos cuando:

- Un kit de turbocargador es adicionado.
- Un motor de aspiración natural le es cambiado la altitud de operación.
- Un motor instalado donde el aire calentado es recogido por algún otro sistema existente.
- Un dispositivo reductor de humo es instalado.

La cantidad de caballos de potencia demandados por el motor varía por el modelo y uso. La cantidad de aire requerido puede ser cambiada dependiendo del modelo y uso del mismo; esto significa que puede ser muy importante para hacer los cambios al sistema de admisión de aire. Los sistemas de admisión de aire son diseñados en función del flujo de aire para cada modelo de motor. Los cambios en filtros de aire y sistema de admisión de aire pueden ser también requeridos cuando el tipo de trabajo del motor es cambiado de ligero a pesado o al tipo de operación en ambientes con más polvo.

4.3.1 REGLAS GENERALES PARA SISTEMAS DE ADMISIÓN

4.3.1.1 Purificador de aire

La primera de estas reglas generales es que cada instalación debe incluir provisión para la remoción de partículas de polvo de la admisión de aire. Esto significa un purificado de aire. Por lo que, la entrada de polvo al motor en aire admitido se refleja así:

- Desgaste prematuro del motor.
- Consumo excesivo de aceite.
- Amarramiento del pistón.

4.3.1.2 Restricción total

La restricción en la admisión de aire a través del sistema de inducción, no debe exceder el límite dado en la hoja de datos del motor en cuestión.

Si se cumple con estas restricciones se tendrá una ruta de admisión libre como se muestra en la hoja de datos del motor.

4.3.1.3 Restricciones del elemento

A menos de que otra cosa se establezca en la hoja de datos del motor, la máxima restricción permitida en el sistema de admisión de aire es de 20 pulgadas de agua para un motor de aspiración natural y de 25 pulgadas de agua en motores turbo cargados.

La alta restricción de aire en la admisión resulta en:

- Perdida de potencia de un 3 % por cada 13 pulgadas de columna de agua, o 1 pulgada de columna de mercurio de restricción.
- Excesivo humo negro.

4.3.1.4 Incremento de temperatura

La localización de entrada de aire y la del tubo de admisión deben ser tales que la temperatura del aire admitido a la entrada múltiple de aire o turbocargador no sea mayor que la temperatura del aire del medio ambiente, aunque en la hoja de datos del motor puedan aparecer otros valores según el modelo y su aplicación.

La alta temperatura del aire admitido resulta en:

- Baja potencia, ya que el aire caliente contiene menos oxigeno y menos denso.
- Sobrecalentamiento.
- Humo excesivo.
- Carbonización de pistones, válvulas y copas de inyectores.

4.3.1.5 Uniones del tipo abierto

Cuando las uniones del tipo abierto son usadas, deben ser localizadas corriente arriba del filtro de aire. Si la unión esta entre el purificador de aire y el motor de gran cantidad de material extraño puede entrar fácilmente si el motor esta trabajando.

Una muy buena razón para todas esas reglas; todas afectan la condición del aire, el cual llega al cilindro. La cantidad, la temperatura y la contaminación del aire admitido afectan grandemente la cantidad de combustible inyectado y la vida de servicio que puede ser obtenida del motor.

4.3.2 REQUERIMIENTOS EN EL SISTEMA DE INDUCCIÓN

4.3.2.1 Purificadores de aire

La elección de un filtro de aire es critica, la selección debe ser tomando en cuenta los pies cúbicos por minuto de aire que fluye el motor y se debe tomar en consideración la carga de polvo llevada por el aire al motor y el tipo de operación.

La recomendación del tamaño y estilo de la tubería del aire, así como la longitud, el tipo y tamaño de purificador de aire son funciones del fabricante del motor.

Muchos sistemas contienen purificadores de aire los cuales restringen el flujo de aire por la inadecuada capacidad para las condiciones de operación esto resulta en:

- Cortos intervalos para el cambio del elemento.
- Operación deficiente del motor.
- Excesivos gastos por refacciones y mano de obra.

Cuando el juego de filtros de aire para motor y operación es cuestionado, el flujo para el motor debe ser buscado en la hoja de datos del motor aplicable al modelo y aplicación. Este valor es entonces comparado con la capacidad de flujo de aire del filtro dado por el fabricante del filtro. Los flujos de aire en las hojas de datos están especificados para condiciones donde la entrada del aire es a temperatura ambiente y llevando solamente una cantidad normal de contaminantes.

Las condiciones bajo las cuales la mayor capacidad del filtro de aire puede ser requerido incluye:

- Aire extremadamente polvoso o cargado de abrasivos.
- La admisión muy cercana al escape.
- Calor con aire húmedo en cuartos cerrados como en cuartos de bombas.

4.3.2.2 Especificaciones del motor

La restricción permitida por diferentes arreglos es la resistencia al flujo de aire impuesto por:

- Malla y tapa de entrada de aire.
- Tamaño, longitud y resistencia de la superficie interior de la tubería.
- Número y grados de los cambios de dirección de la tubería.
- Tamaño de la toma de aire.
- Porosidad de la toma de aire.
- Diseño interno del filtro de aire.

Las condiciones que incrementan la restricción al flujo de aire son las siguientes:

- Daño u obstrucción de la entrada de aire.
- Tubería con diámetros pequeños, extremadamente largos superficies con interiores rugosos.
- Codos con ángulos menores a 90°.
- Purificadores de aire con tamaños equivocados o elementos obstruidos.
- Flujo de aire restringido en el interior del purificador de aire.

La obstrucción al flujo de aire puede ocurrir a la entrada de aire. Las mallas en la entrada de aire pueden ser demasiado finas o estar dañadas y pueden estar obstruidas por basura durante el uso. Las tomas de aire deben ser localizadas en un lugar ventajoso para recoger el aire limpio, seco y frío tanto como sea posible.

4.3.2.3 Limite de máxima restricción

La tercera condición para el sistema de inducción de aire es que la máxima restricción al flujo de aire es de 25 pulgadas de agua para motores turbocargados.

La restricción del flujo de aire adicionado al sistema del motor por un filtro de aire sucio es una de las causas más comunes de humo excesivo y baja potencia. La lectura de restricción del sistema es definitivamente recomendada para la determinación correcta de los intervalos de servicio ya que los servicios mas frecuentes pueden conducir a las siguientes repercusiones:

- Daños innecesarios al purificador de aire al elemento o sello.
- Entrada accidental de polvo o suciedad al sistema del motor.

- Costos excesivos por reparaciones y mano de obra.
- Incorrecta reinstalación conduciendo daños al motor.

TEMPERATURA DEL AIRE DE ADMISIÓN

El aire es calentado arriba de los 100 °F, que es menos deseable para la combustión, puesto que es mas denso y contiene menos oxigeno por volumen que el aire a una temperatura entre los 32 °F y los 100 °F. Mientras que un motor turbocargado puede ser bastante eficiente cuando el aire de admisión es un poco más caliente que el promedio del medio ambiente por arriba de los 85 °F en otras palabras es extremadamente importante que un motor de aspiración natural reciba una temperatura por debajo de los 100 °F.

Podemos asegurar que el aire permitido permanece a temperaturas razonables, considerando los siguientes pasos:

1. Proveer aire del exterior para motores operando en edificios o cuartos cerrados.

Ejemplos de motores recibiendo aire demasiado caliente incluyen:

- Plantas de luz en lugares cerrados.
- Motores marinos bajo cubierta.
- Motores industriales dentro de locales donde operan equipos a altas temperaturas.
- Instalaciones en climas húmedos calientes donde se recoge aire donde esta cerca del motor.

2. Bajo cofre o dentro, la admisión de aire puede necesitar un arreglo cuando el motor vaya a operar a temperaturas menores de los – 32 °C.

Ejemplos de motores que requieren estos arreglos son:

- Instalaciones expuestas al clima ártico.
- Sistemas de admisión limitados durante la operación en climas extremadamente fríos.
- Motores de alta compresión operando a temperaturas frías.

3. Tubería de admisión, que puede necesitar ser reubicada para alejarla del tubo caliente de escape o de los 93 °C. Puede ser necesario reubicar la toma de aire para alejarla de las temperaturas del piso y asegurar aire lo más frió posible.

Ejemplos de instalaciones de motores, que requieran modificaciones de este tipo incluyen a:

- Operación en clima tropical o desértico.
- Equipos de construcción donde la temperatura de verano es de aproximadamente de unos 38 °C.

UNIÓN DEL TIPO ABIERTO

Es un aspecto critico del arreglo de admisión de aire es cualquier unión abierta en la tubería de admisión que debe ser localizada corriente arriba del filtro de aire entre la toma de aire del motor y el filtro de aire.

Otra precaución para el sistema de admisión, en la cual la tubería de admisión es abierta gran cuidado debe de tenerse para evitar la entrada de material extraño a la admisión.

La importancia de estar seguros del buen estado del sellador de todos los sellos, abrazaderas, conexiones y juntas en el sistema de admisión de aire entre el filtro de aire y el motor.

Podemos resumir que para mantener un motor eficiente y sin daños el sistema de admisión de aire deberá suministrar:

- Flujo de aire adecuado.
- Aire seco.
- Aire limpio.
- Aire frió.

4.4 ANALISIS DE FALLAS DEL SISTEMA DE ESCAPE

Los cambios de diseño han sido necesarios en los nuevos motores diesel para asegurar las emisiones estándares.

Sin embargo con la acumulación con las horas de operación, las condiciones de diseño son afectadas por el desgaste, mal ajuste y cambios de operación. Para mantener la operación de los motores diesel.

Como en los sistemas de aire y combustible afectan la operación total del motor, el sistema de escape afecta su operación.

El sistema de escape cuenta con las siguientes partes:

- Válvulas de escape.
- Múltiples de escape.
- Tubería.
- Silenciadores.
- Tapa contra lluvia.
- Frenos de escape.

Un sistema de escape bien diseñado contribuye a un rendimiento alto del motor a través de la remoción controlada de los gases de combustión.

Existen cuatro consideraciones las cuales deben ser tomadas en cuenta para determinar una correcta operación del sistema de escape y para generar una adecuada vida para el motor y son:

1. LA CONTRAPRESION DEBE SER LIMITADA

Esto significa que el calor de la combustión y los gases del cilindro debe ser alejado del comportamiento del motor sin una excesiva resistencia a su flujo. Una contrapresion excesiva alta resulta en:

- Quejas de baja potencia.
- Sobrecalentamiento.
- Pobre economía en combustible.
- Altos niveles de desgaste del motor.
- Fallas prematuras en los cojinetes del turbo.

2. PULSACIONES QUE DEBEN SER CORREGIDAS

Los pulsos deben ser corregidos tanto como sea posible antes de que llegue al espacio abierto para que los niveles de ruido sean reducidos.

3. PROTEGER LOS CILINDROS CONTRA EL AGUA

La tubería de escape y todos los componentes del sistema de escape deben proteger contra la acumulación de agua para prevenir candados hidráulicos y daños por corrosión.

La entrada o acumulación de agua resulta en:

- Conexiones de tubería por corrosión.
- Niveles altos de ruido.
- Candados hidráulicos.
- Fallas prematuras en los cilindros.

4. ADECUADA FIJACIÓN DE LA TUBERÍA

La tubería debe ser soportada y mantenida para asegurar el peso debido a las uniones, no repercuta esfuerzos en sellos, partes o conexiones del múltiple del turbocargador o silenciador. Los sistemas soportados inadecuadamente están propensos a:

- Rotura de conexiones y abrazaderas.
- Fallas del cojinete de turbos.
- Cubiertas de turbos fisuradas.
- Conexiones de múltiples dañados.
- Componentes y tubería dañada.

4.5 ANALISIS DE FALLAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El análisis de una falla en el sistema de enfriamiento en un motor diesel no debe ser problemático si se comprende como se trabaja cada uno de sus componentes en conjunto con los demás. Aunque podemos encontrar en muchos manuales de mantenimiento que suele ser sencillo. Los problemas más comunes en los motores es precisamente el sistema de enfriamiento.

Para verificar el sistema, naturalmente se debe comenzar con las cosas más fáciles, como verificar fugas mientras el motor esta trabajando y sin funcionar. Algunas fugas se pueden observar inmediatamente, habrá que esperar que el sistema este a temperatura normal de operación para permitir que los materiales se dilaten con el incremento de la temperatura. Es conveniente observar los lugares oxidados en donde existió alguna fuga anteriormente y que se pueda presentar nuevamente.

Para poder verificar el radiador, es fundamental conocer el nivel correcto del agua en el sistema, ya sea en frío o en caliente.

Si el nivel de agua esta correcto, es importante verificar el indicador de temperatura si marca correctamente. Un nuevo indicador seria tan efectivo como este dispositivo.

Lo mismo podemos hacer con los termostatos del sistema de enfriamiento; es importante verificar su funcionamiento y es recomendable cambiar el sello del termostato, cuando se cambie.

El refrigerante debe ser reemplazado en un determinado tiempo, esto debido a que dentro de nuestro sistema se genera corrosión y si no se reemplaza el refrigerante, se empezara a acumular residuos que pueden obstruir la circulación del refrigerante, provocando con ello calentamiento en nuestro motor.

Importante: Cuando se llega a reemplazar el agua se debe tener cuidado con no introducir burbujas de aire, estas burbujas se generan cuando introducimos agua y refrigerante con un flujo turbulento, se recomienda que después de haber introducido el agua, purgar el motor para eliminar las burbujas de aire, en nuestra investigación nos encontramos con este problema en ciertos motores, que después de haber hecho el cambio de refrigerante, presentaban calentamiento y esto debido a que los motores no eran bien purgados después del cambio de refrigerante.

Otras de las causas son las bandas, que dan movimiento al ventilador y a la bomba de agua. Las bandas nuevas deben reajustarse al poco tiempo de su instalación y operación, debido a que han crecido con el propio trabajo. Las bandas con mucho tiempo de trabajo pueden estar muy dañadas, por lo que hay que inspeccionarlas con cuidado. Las bandas hay que conservarlas limpias y tensadas a si nos garantiza que duraran mas tiempo.

Otra causa puede ser una polea desalineada que puede producir un problema mayor de esfuerzo o carga en la banda. Un máximo desalineamiento puede ser únicamente de 2 mm. entre polea y polea.

Algunas fallas son difíciles de localizar por que las mangueras de conexión las puede cubrir. Pero cuando el sistema se encuentra a la temperatura de trabajo, la fisura puede permitir una gran perdida del refrigerante.

Las mangueras dañadas son un constante factor para perder el refrigerante. En ocasiones el problema comienza en el interior hacia el exterior. Por esta razón las mangueras pueden fallar muy rápidamente después de haber efectuado una revisión visual.

Los problemas mas comunes que nos encontramos en este estudio fue que debido a que estos motores trabajan a temperaturas muy elevadas y manejan presiones muy altas, Las mangueras tienden a ponerse mas duras de lo normal, haciéndolas mas frágiles, hasta llegar a la fractura, por este motivo se recomienda sean reemplazadas en un determinado tiempo. Durante esta investigación nos encontramos con que muchas veces después de haber realizado una inspección visual, las mangueras pueden fallar muy rápidamente

Una manguera abombada será el resultado de un gran problema; ya que esta necesita únicamente de un ligero esfuerzo para estallar. Una manguera puede estallar contra el chasis del motor o con el motor si no esta debidamente instalado.

Una falla en ligas y juntas del enfriador del aceite pueden causar que el refrigerante pase el aceite lubricante indirectamente después de detener el funcionamiento del motor en ese momento, la presión en el sistema de lubricación es de 0 psi, pero la presión en el sistema de enfriado va disminuyendo conforme la temperatura del motor baje. Durante la operación del motor la presión del aceite es mayor que la del sistema de enfriamiento, por lo que el aceite pasara el agua.

4.6 ANALISIS DE FALLAS DEL SISTEMA DE LUBRICACION

Para analizar cualquier problema básico de un motor diesel, es conveniente discutir el problema con el operador, para después analizar cuando el motor este en marcha, parado, frío, caliente, etc.

A continuación describiremos los principales problemas con el sistema de lubricación.

4.6.1 Elevado consumo de aceite

Esta no es una situación común que pueda usar para indicar cuando un consumo de aceite es alto, normal o bajo. Esto depende de gran parte de la edad de los motores, la carga, clima entre otros factores.

4.6.2 Baja presión de aceite

Naturalmente el primer paso a seguir es, verificar el manómetro de presión de aceite y el sensor de presión de aceite; los motores cuentan con un sensor de presión de aceite el cual protege al motor en caso de una caída de presión o un aumento de la misma, el sensor manda una señal al PLC el cual desconecta a la Bomba de inyección deteniendo así el motor, el problema que se presenta es que después de un determinado

tiempo estos sensores llegan a fallar, dando una lectura errónea, es recomendable verificar su funcionamiento periódicamente.,si se encuentra en perfecto funcionamiento, se deben buscar problemas dentro de las siguientes razones:

- Bajo nivel de aceite.
- Alto nivel de aceite.
- Largos periodos de cambios de aceite.
- Válvula de paso del filtro de derivación pegada en posición abierta.
- Cojinetes y bujes desgastados.
- Aceite de diferente viscosidad.
- Combustible en el aceite.
- Alta temperatura del aceite.
- Tubo de succión con fugas.
- Enfriadores de pistón de un diámetro mayor.

4.6.3 Alta presión de aceite

La alta presión de aceite, es un problema mayor, la suciedad y partículas extrañas pueden ser pasadas alrededor del filtro y tapar las líneas de lubricación del motor. La presión del aceite se incrementa en las líneas que se encuentran limpias, indicando en el manómetro el aumento de presión de aceite.

Dentro las razones por las que podemos tener una alta presión de aceite tenemos:

- Viscosidad del aceite equivocada.
- Regulador de presión pegado.
- Giramiento o un mal ensamble de bujes y cojinetes.
- Suciedad, partículas extrañas en los pasajes de lubricación.
- Enfriadores de pistón de un tamaño menor.

4.6.4 Alta temperatura de aceite

La alta temperatura del aceite, puede ser causada por diferentes circunstancias. En bujes y cojinetes desgastados crean excesiva fricción lo cual genera calor que es absorbido por el aceite al pasar por los bujes y cojinetes.

Dentro las razones por las que podemos tener una alta temperatura de aceite tenemos:

- Combustible en el aceite.
- Agua en el aceite.
- Grado de viscosidad inadecuado.
- Bujes y cojinetes desgastados.
- Periodos largos entre cada cambio de aceite.
- Elevado nivel de aceite.
- Bajo nivel de aceite.
- Enfriador de aceite obstruido.
- Sobrecalentamiento del motor.
- Placas de enfriadores del aceite desalineadas.

4.6.5 Aceite en el agua

El aceite se vuelve espeso cuando el refrigerante se contamina con el mismo. Una razón común para esta situación es:

- Tubos del elemento enfriador están en fuga.
- Roturas o poros en la fundición.
- Ligas del elemento rotas.
- Fugas por las juntas de los soportes.

4.6.6 Agua en el aceite

Las razones por las cuales el agua pasa el aceite son:

- Tubos del elemento enfriador con fuga.
- Ligas del enfriador mutiladas.
- Picaduras en camisas.
- Juntas de soporte del interior defectuosas.
- Tornillos de la cabeza del cilindro roto o flojo.
- Fisuras o poros de fundición.
- Camisas el inyector con fugas.

4.6.7 Combustible en el aceite

El combustible en el aceite, puede ser el resultado de excesivos periodos en velocidad de holgar. A temperaturas bajas del motor, el combustible no alcanza a quemarse totalmente. El combustible lava las camisas y pasa a través de anillos y pistones hasta escurrir al deposito de aceite.

Las razones por las cuales el combustible pase al aceite son:

- Excesivo tiempo en holgar.
- Operación del motor en frió.
- Inadecuada admisión de aire.
- Falla en la liga superior del inyector.
- Falla en las juntas de entrada o retorno.
- Falla entre el cuerpo y el barril del inyector.
- Copa rota del inyector.
- Poro en la cabeza del cilindro.

4.7 DEFECTOS.

A continuación se muestran diferentes tipos de defectos en los motores diesel, en el cual encontramos una serie de causas y se da la solución a cada una de estas.

EL MOTOR NO ARRANCA O ARRANCA CON DIFICULTAD

CAUSA	REMEDIO
1. A Llave de combustible cerrada.	Llenar y eventualmente purgar de aire.
2. A Depósito de combustible vacío.	Llenar y eventualmente purgar de aire.
3. A Aire en los conductos de llegada o de compresión.	Purga de aire; en el montaje apretar bien las tuercas de racor.
4. A Orificio de llegada de aire del depósito del combustible obturado.	Purga de aire; en el montaje apretar bien las tuercas de racor.
5. A Filtro obturado por combustible cargado de impurezas, o limpieza descuidada de filtros.	Limpiar los filtros.
6. A Conductos de compresión o entrada tapados.	Insuflación.
7. A La bomba de alimentación no funciona.	Verificar la membrana o las válvulas.

Tabla 4.1 El motor no arranca o arranca con dificultad

COMPRESIÓN DEMASIADO DÉBIL (medir la presión por manómetro)

CAUSAS	REMEDIOS
1. B Por baja temperatura en invierno (el motor denota)	Llenar el radiador con agua caliente o calentar por un elemento calefactor eléctrico colocado en el conducto de refrigeración.
2. B Después de un reposo prolongado, las válvulas están retenidas por la herrumbre o se mueven muy difícilmente.	Llenar el radiador con agua caliente o calentar por un elemento calefactor eléctrico colocado en el conducto de refrigeración.
3. B Falta de hermeticidad de las válvulas	Esmerilar o rectificar. Es posible que la varilla de la válvula esté torcida.
4. B Segmentos de pistón bloqueados por lubricación insuficiente o irregular.	Quitar los pistones y limpiarlos.

5. B Segmentos rotos.	Renovarlos.
6. B Muelles de válvula rotos.	Renovarlos.
7. B Junta de culata no hermética.	Renovarla si no es posible apretarla herméticamente.
8. B Pistones o cilindros desgastados.	Renovarla si no es posible apretarla herméticamente.
9. B Culata agrietada.	Renovarla si no es posible apretarla herméticamente.

Tabla 4.2 Compresión demasiado débil

INYECTORES DEFECTUOSOS

CAUSAS	REMEDIOS
1. C La aguja del inyector queda suspendida por depósito de suciedad o de temperatura demasiado elevada (en el inyector Bosch verificar con una aguja de control). (El inyector que funciona bien produce un ruido de chasquido).	Desmontar el inyector y limpiarlo con gasoil.
2. C Orificios del inyector obturados (Véase causa del fenómeno en D3 y G3). (Para verificar los inyectores se los desmonta fijados en el conducto de compresión y se los ensaya levantando los pistones de la bomba de inyección. Atención a que los chorros de combustible no toquen la piel).	Desmontar y desobturar con el instrumento de punta suministrado a este efecto por la fábrica. Inyectar luego gasoil por la abertura central (en sentido inverso) utilizando un aparato de inyectar que suele ser entregado con el motor.
3. C Filtro o tamiz obstruido.	No montar en seco la aguja del inyector. Desmontar y limpiar con gasoil.

Tabla 4.3 Inyectores defectuosos

LA BOMBA DE INYECCIÓN NO COMPRIME, O BIEN LA PRESIÓN ES DEMASIADO BAJA.

CAUSAS	REMEDIOS
1. D Los pistones d e bomba quedan bloqueados o inmovilizados. (Quitar la tapa y comprobar si suben y bajan los pistones cuando gira el motor)	Si el pistón está deteriorado deben ser renovados éste y la camisa. No se debe este trabajo si no se dispone del utillaje especial necesario. No siendo así, enviar el pistón a la fábrica o al representante general.
2. D Muelle de pistón de comba roto.	Renovarlo.
3. D La válvula carece de hermeticidad o queda bloqueada.	Limpiarla y si es necesario esmerilarla.

Tabla 4.4 La bomba de inyección no comprime, o bien la presión es demasiado baja

LAS BUJÍAS CALEFACTORES PERMANECEN FRÍAS
(Comprobar primero si se enciende la lámpara de control)

CAUSAS	REMEDIOS
1. E No se ponen incandescentes debido a corto circuito.	Desmontarlas, verificarlas ensayarlas y volverlas a colocar.
2. E No se ponen incandescentes, el filamento está quemado.	Renovarlas.
3. E Contactos oxidados o flojos.	Limpiar la batería.
4. E No alcanzan una temperatura suficiente porque la batería está descargada.	Cargar la batería.

Tabla 4.5 Las bujías calefactores permanecen frías

EL MOTOR GOLPEA

CAUSAS	REMEDIOS
1. F Juego en los cojinetes principales.	Si es posible atornillar a fondo; corregir los cojinetes, si es necesario recebarlos o renovarlos.
2. F Eje de pistón desgastado.	Renovarlo.
3. F Demasiado juego en la cabeza de biela.	Si es posible atornillar a fondo; corregir los cojinetes, si es necesario recebarlos o renovarlos.
4. F Cabeza de pistón sucia.	Limpiar.
5. F Junta de culata demasiada delgada.	Remplazarla.
6. F Segmentos de pistón rotos.	Remplazarlos.
7. F Los empujadores de válvula funcionan mal.	Verificar si su superficie no está corroída; si es necesario, rectificar.
8. F El motor se calienta demasiado.	Verificar la bomba de circulación. ¿Está bastante tensa la correa del ventilador?
9. F Engrase insuficiente.	Comprobar la presión del aceite y verificar el circuito de engrase.
10. F Las válvulas permanecen bloqueadas o inmovilizadas.	Engrasar (primero con petróleo).

Tabla 4.6 El motor golpea

CAUSAS QUE PROVENGAN DE LA DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE

CAUSAS	REMEDIOS
1. G El inyector mana	Limpiar.
2. G La aguja del inyector mana a consecuencia de juego excesivo.	Renovar inyector y agua.
3. G Presión del muelle del inyector mal regulado y por consiguiente pulverización.	Probar con bomba de ensayo y regular el muelle hasta la presión recomendada.
4. G Instante de inyección inexacto.	Hacer el reglaje.

Tabla 4.7 Causas que provengan de la distribución de combustible

EL MOTOR GIRA IRREGULARMENTE

CAUSAS	REMEDIOS
1. H Los balancines de válvula funcionan mal.	Verificar si la lubricación es suficiente.
2. H La bomba de alimentación entrega demasiado poco combustible.	Eventualmente hacer la purga de aire, verificar las válvulas.
3. H La varilla de reglaje permanece bloqueada.	Verificar el engrase.
4. H Ejes del mecanismo regulador bloqueados.	Engrasar (primero con petróleo).
5. H O desgastados.	Renovar o a justar.
6. H Muelles del regulador roto.	Renovarlos.
7. H Instante de inyección inexacto.	Regular. Comprobar que no hay ningún juego entre el eje de la bomba y el árbol motor.
8. H Reglaje del ratentí demasiado pobre.	Efectuar de nuevo el reglaje.

Tabla 4.8 El motor gira irregularmente

LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN DE LA BOMBA A PLENO GASTO ES EXCESIVA.

CAUSAS	REMEDIOS
1. I Mal reglaje del ataque de la varilla de reglaje.	Corregir el reglaje. Este trabajo debe ser confiado a un especialista
2. I Muelles del regulador deformado.	Enderezar, volver a montar con precisión.
3. I Tuerca de apriete del sector dentado desapretada. El conducto de vació mana (entre la válvula y la membrana). Muy peligroso, el motor se puede embalar.	Reparar perfectamente. Regenerar rosca. Renovar la tubería.

Tabla 4.9 La velocidad de rotación de la bomba a pleno gasto es excesiva

PÉRDIDA DE POTENCIA

CAUSAS	REMEDIOS
1. J Motor demasiado frío.	Cubrir el radiador y en caso de necesidad el motor.
2. J La varilla de mando del regulador está calada.	Desmontar y verificar.
3. J Juego de empujadores excesivo o insuficiente.	Regular en caliente.

Tabla 4.10 Pérdida de potencia

PÉRDIDA DE POTENCIA

CAUSAS	REMEDIOS
1. K Combustible demasiado viscoso (punto de inflamación demasiado alto).	Corregir el reglaje.
2. K Filtro de aire sucio.	Este trabajo debe ser confiado a un especialista.
3. K Gasto de la bomba excesivo, entre otras causas por desgaste de la junta o de la varillita de la cremallera de reglaje; demasiado juego en la cadena de distribución.	Este trabajo debe ser confiado a un especialista.
4. K La bomba de inyección está regulada con demasiado retardo.	Regular
5. K Juego de los empujadores de válvula demasiado pequeño.	Regular
6. K Sobrecargas del motor.	Regular
7. K Las válvulas de escape no cierran herméticamente.	Limpiar, esmerilar y regular el juego de acuerdo con los datos de las instrucciones.

8. K Inyectores parcialmente obstruidos o desgastados.	Desobstruir o renovar.
9. K Cámara de precombustión o bujía muy sucia.	Limpiar.

Tabla 4.11 Pérdida de potencia

HUMOS AZULES EN EL ESCAPE

CAUSAS	REMEDIOS
1. L Goteo del aceite a lo largo de los pistones.	Revisión total o parcial.
2. L Goteo del aceite a lo largo de las guías de válvula.	Revisión total o parcial.

Tabla 4.12 Humos azules en el escape

HUMOS BLANCOS EN EL ESCAPE

CAUSAS	REMEDIOS
1. M Inyector defectuoso.	Reparar.
2. M Falta de compresión	Verificar la presión. Verificar los cilindros y los pistones. Si es posible, nuevos segmentos de pistones.

Tabla 4.13 Humos blancos en el escape

EL MOTOR SE CALIENTA DEMASIADO

CAUSAS	REMEDIOS
1. N El radiador está insuficientemente lleno.	Completar el llenado.
2. N La bomba de agua funciona mal.	Regular el eje de la bomba, eventualmente tensar la correa o renovarla.
3. N Gasto desigual de las bombas.	Regular de nuevo
4. N Termostato defectuoso.	Renovarlo.
5. N Falta de hermeticidad de la junta de culata.	Regular
6. N Correa del ventilador rota.	Renovarla.
7. N Radiador obturado.	Limpiar cuidadosamente.

Tabla 4.14 El motor se calienta demasiado

Muchos de los problemas que nos podemos encontrar para el correcto funcionamiento de una planta de potencia, se debe a las situaciones antes mencionadas y la mayoría de las soluciones son las propuestas. Desafortunadamente muchas de las ocasiones, los técnicos o ingenieros, no tenemos esta información lo cual hace mas difícil encontrar una solución.

CONCLUSIONES

En nuestro país existe un gran número de Plantas de Generación de Energía Eléctrica y cada día esas se incrementan, por lo que al estar en contacto con ellas nos interesamos por las acciones que se pueden seguir cuando una de estas plantas tiene alguna falla. Nos encontramos con que en los casos observados, no existía información suficiente para detectar una falla determinada por lo que un ingeniero trabajando en la planta tiene que trabajar arduamente para localizar la causa de la falla.

En la información recabada, encontramos que los equipos que integran la planta, como son; el turbo compresor, el motor, la sobrealimentación, la bomba rotativa, etc. se desarrollan por separado pero no de forma integral para el sistema.

En el curso de nuestra investigación, nos encontramos con un sin número de plantas de generación eléctrica localizadas en el sector privado y en el sector estatal. En ambos casos, las fallas en los motores no se detectan oportunamente ocasionando un mayor daño al equipo y por consiguiente mayores pérdidas económicas. En el sector estatal, un ejemplo son los hospitales, para los cuales la energía eléctrica es indispensable debido a que los médicos necesitan de ésta durante sus intervenciones quirúrgicas o para el control de los pacientes en terapia intensiva principalmente. En las plantas de mayor potencia que abastecen de energía a grandes comunidades, el tiempo de respuesta no debe ser muy grande.

Las situaciones señaladas nos motivaron a hacer el estudio que desarrollamos como sigue.

Después de elegir el tema, investigamos en páginas de Internet donde localizamos a los fabricantes de Plantas para la Generación de Energía Eléctrica y a las empresas que se encargan del suministro y mantenimiento de las mismas.

Las Plantas de Generación con las que tuvimos contacto fueron algunas del sector privado y otras del sector estatal, principalmente del Instituto Mexicano del Seguro Social.

Durante nuestras visitas a las diferentes plantas logramos captar cuales eran los equipos que fallaban con mayor frecuencia, y así pudimos elegir los que íbamos a investigar. Los equipos son lo siguientes:

Motor: es la parte fundamental de nuestro estudio. En los motores con los que tuvimos contacto, los problemas más comunes fueron, en el sistema de enfriamiento y en el sistema de lubricación.

Observamos algunos casos donde no se le daba la debida importancia al sistema de enfriamiento y se llegaba a dañar completamente el motor, lo cual ocasionaba una pérdida muy grande para la empresa. Este tipo de errores se pueden evitar sabiendo lo importante que es el sistema de enfriamiento y conociendo el funcionamiento de los sensores tanto de presión como de temperatura. Otro punto importante es que deben conocer el momento en que dichos sensores deben ser reemplazados, lo cual se lograría con programas de mantenimiento preventivo adecuados y la capacitación del personal junto con la elaboración de un manual de operación completo.

Consideramos que el motor que se elige para el funcionamiento de una Planta de Generación de Energía Eléctrica, es un motor que en un principio puede parecer una inversión muy grande, pero que se va compensando con el gasto en cuanto a combustible y mantenimiento. Señalamos sus características en los capítulos I y II.

Turbo Compresor: su función principal es la de aportar al cilindro mayor cantidad de mezcla aire-combustible. Para que la Planta de Generación sea más eficiente, éste sistema debe trabajar en excelentes condiciones, los problemas que se pueden presentar, según lo expresamos antes, está relacionado con el sistema de enfriamiento, debido que trabaja a altas revoluciones. Este sistema posee unos cojinetes de rodamiento, los cuales son lubricados y enfriados por el aceite del motor, pero si se tienen problemas con la lubricación, el desgaste de los cojinetes resulta prematuro y se puede dañar el sistema, provocando una baja eficiencia y producción de humo.

Otro problema que encontramos fue que si no se cambian periódicamente los filtros el ingreso de aire a la cámara de combustión es menor. En nuestra investigación tuvimos la oportunidad de ver un motor desarmado, el cual mostraba que había estado trabajando con arena en la cámara de combustión, con esto queremos hacer énfasis de que se debe tomar en cuenta el ambiente en el cual va a estar trabajando nuestro motor, y con ello determinar si los filtros se deben cambiar en un tiempo menor comparado con otros ambientes de trabajo.

Bombas de Inyección de Diesel: Uno de los problemas que se requieren más tiempo para resolverse es precisamente la bomba de inyección de diesel, debido a que existen gran variedad de sistemas de bombeo y que muchas de las ocasiones no se cuenta con un manual. El proveedor de una planta potencia normalmente no suministra una planta con el manual del sistema de bombeo de diesel, o bien, los encargados del equipo lo archivan muy bien, de tal forma que no se tiene acceso al mismo. El problema que se lleva mas tiempo para pode corregir se tiene cuando se presenta una falla en la bomba, ésta es llevada a un laboratorio para poder ser analizada, allí se revisan los sellos mecánicos, presiones etc. En la investigación nos encontramos con un problema muy común, que es cuando la bomba llega a succionar aire. Difícilmente un motor llega a ponerse en marcha cuando a entrado aire en la bomba de combustible, por lo que se recomienda purgar la bomba totalmente. Esto aunque puede parecer muy sencillo, llega a complicarse si no se conoce el sistema de bombeo. Otra forma de darnos cuenta cuando una bomba necesita reparación urgente, es cuando hay desprendimiento de humo excesivo y cuando hay mucho cascabeleo en el motor. Si no se toma en cuanta lo anterior para el correcto funcionamiento de la bomba, traerá como consecuencia un desgaste prematuro del motor y consigo un gasto mayor en su reparación o en su caso su reemplazo.

Inyectores: Como su nombre lo indica ellos inyectan el combustible en la cámara de combustión. El correcto desempeño de los inyectores se vera reflejado en la eficiencia del motor y en el ahorro de combustible. Esto también se observa en los pistones cuando se desarma un motor, muestra que la inyección del combustible no era la adecuada o era insuficiente. Para su mantenimiento, estos inyectores son llevados a un laboratorio, donde se mide la presión a la cual están trabajando y el caudal que deben suministrar a la cámara de combustión. Si tenemos un combustible con muy baja calidad o con impurezas es muy común que estos inyectores lleguen a obstruirse muy

rápidamente y si a esto le sumamos que no se reemplazan con frecuencia los filtros del diesel, se está reduciendo la vida del motor y tenemos un gasto excesivo de combustible.

Las fallas que se mencionan en esta tesis son producto de una larga investigación en libros manuales y en campo, gran parte de los problemas que aquí mencionamos son problemas a los que nos enfrentamos en campo, lo cual hizo muy interesante este estudio por que lo estudiábamos y lo aplicamos en diferentes Plantas de Potencia. Esperamos que esta tesis pueda servir de apoyo para todo aquel que se interese por conocer el funcionamiento de las plantas de Generación ya que tratamos de hacerlo de una forma simplificada pero que a su vez abarque lo más importante de las Plantas de Generación de Energía Eléctrica.

BIBLIOGRAFIA

TERMODINAMICA
Autor: Michael M. Abbott
Editorial: McGrau Hill
México, D.F.

BOMBAS DE INYECCION DIESEL
AUTOR: Juan Miralles de imperial
Editorial: CEAC
Barcelona, España

MECANICA DE LOS PEQUEÑOS MOTORES
AUTOR: William H. Crouse
Editorial ALFA OMEGA Marcombo
México, D.F. 1996

INYECCION ELECTRONICA EN MOTORES DIESEL
AUTOR: Albert Marti Parera
Editorial ALFA OMEGA Marcombo
México, D.F. 1996

MOTORES DE COMBUSTION INTERNA. ANALISIS Y APLICACIONES.
AUTOR: Edwar F.
Editorial: CECSA
México, D.F.

THE TWO-STROKE CYCLE ENGINE
AUTOR: John B. Heywood.
SAE INTERNATIONAL
New York, 1999.

MOTORSCHÄDEN
AUTOR: Greuter, Zima
VOGEL, BUCHVERLAG
Alemania, 1994

MAN B&W Diesel A/S
Teglholmsgade 41
2450 Copenhagen SV
Denmark