

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE CALIBRACIÓN
NEUMÁTICO PARA BOMBAS DE INYECCIÓN
UNITARIAS DE MOTORES ESTACIONARIOS”**

TESIS DE GRADO

RICARDO SANTIAGO LÓPEZ MAYORGA

PABLO JAVIER VÁSQUEZ HIDALGO

LATACUNGA - ECUADOR

2007

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los Srs. RICARDO SANTIAGO LÓPEZ MAYORGA y PABLO JAVIER VÁSQUEZ HIDALGO, bajo nuestra dirección y supervisión.

.....
Ing. Luís Mena Navarrete

Director de Tesis

.....
Ing. Néstor Romero Guano

Codirector de Tesis

AGRADECIMIENTO

“El agradecimiento es una de las mayores virtudes del ser humano”

Nuestra sentida gratitud a la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO sede Latacunga, noble institución que con su quehacer diario formó en nosotros un sentido de profesionalismo que hoy nos permite desenvolvernos de mejor manera en un mercado laboral cada vez más competitivo.

De igual manera el reconocimiento imperecedero a todos nuestros profesores, quienes con tesón y confianza contribuyeron a nuestra formación, de manera especial a los Ingenieros Luís Mena Navarrete y Néstor Romero Guano, Director y Codirector de este proyecto.

A aquellas personas que en su debido momento estuvieron a nuestro lado ayudándonos a lograr esta meta.

DEDICATORIA

A mis padres, quienes desde la infancia día a día me enseñaron que el único camino es la superación de nuestras propias limitaciones, y que la perseverancia acompañada de la pasión son los ingredientes necesarios para lograr la meta de ser cada día un mejor ser humano.

A mis hijos, quienes con la inocencia propia de su edad enriquecen mi vida.

Santiago.

A mi madre, María Rosario Hidalgo, mujer única que con su esfuerzo supo guiarme por la senda del bien, y que con su testimonio dejó marcado la clara idea que las adversidades son el punto de partida para un mañana mejor.

Pablo.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRACEDIMIENTO

I.- EL MOTOR DIESEL

1.1. PRINCIPIOS DE TERMODINÁMICA	1
1.1.1. La energía	1
1.1.2. El calor	6
1.1.3. La termodinámica y sus ciclos	11
1.2. EL MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESION (DIESEL)	30
1.2.1. Características del motor	30
1.2.2. Ciclos de funcionamiento del motor	32
1.3. MOTORES DE CILINDROS MÚLTIPLES	35
1.3.1. Número de cilindros	36
1.3.2. Disposición de los cilindros	37
1.3.3. Numeración de los cilindros	37
1.3.4. Orden de encendido	38
1.3.5. Sentido de rotación del cigüeñal	39

1.3.6.	Cilindrada	(capacidad	cúbica)
40			
1.3.7.	Ubicación	de	las válvulas
40			
1.3.8.	Tipo	de	enfriamiento
41			
1.4. CLASIFICACION DE POTENCIAS NOMINALES Y RENDIMIENTO DEL MOTOR			
41			
1.4.1.			Fuerza
42			
1.4.2.			Trabajo
42			
1.4.3.			Potencia
42			
1.4.4.			Caballaje
43			
1.4.5.			Energía
43			
1.4.6.			Torsión
43			
1.4.7.	Diámetro	y	carrera
43			
1.4.8.	Relación	de	compresión
45			
1.4.9.		Potencia	del motor
46			
1.4.10.	Relaciones	de	la potencia del motor
48			
1.4.11.	Eficiencia	del	motor
48			

1.4.12.	Clasificaciones	de	potencia
51			
1.4.13.	Curvas	del	rendimiento del motor
52			
1.5.	POTENCIAS	Y	ESPECIFICACIONES DEL MOTOR.
53			
1.5.1.	Aumento	de	la torsión
53			
1.5.2.	Curva	de	potencia
54			
1.5.3.	Velocidad		nominal
54			
1.5.4.	Despotenciación	por	altitud
55			
1.5.5.	Fuerza	de	arrastre
55			
1.5.6.	Potencia	en	la barra de tiro
55			
1.5.7.	Especificaciones	del	motor
56			
1.6.	CÁMARAS	DE	COMBUSTIÓN
57			
1.6.1.	Inyección		directa
58			
1.6.2.	Inyección		indirecta
59			
1.6.3.	Cámara	de	turbulencia
59			
1.6.4.	Cámara	de	precombustión
62			
1.6.5.	Combustión	en	dos etapas
64			

1.6.6.	Cámara	de	combustión	para	inyección	directa	67
1.6.7.	Cámara	de	combustión	esférica			67
1.6.8.	Combustión	del	combustible	en	los	cilindros	68

II. INYECCIÓN DIESEL

2.1. PROBLEMAS QUE PLANTEA EL SISTEMA DE INYECCIÓN DIESEL

73

2.1.1. Tiempo disponible para formar la mezcla

73

2.1.2. Cantidad de combustible inyectada por ciclo

75

2.1.3. Tiempo que dura la inyección

78

2.1.4. Compresibilidad del combustible

80

2.2. INYECTORES

81

2.2.1. Generalidades

81

2.2.2. Clasificación de los inyectores

82

2.2.3. Comparación entre los inyectores abiertos y cerrados

91

2.2.4. Dimensiones de las gotas del combustible pulverizado

92

2.2.5. Altas presiones de inyección

92

2.2.6. Otros factores de que depende el tamaño de las gotas

94

2.2.7.	Penetración	del	combustible
95			
2.2.8.	Dispersión	del	combustible
95			
2.3.	BOMBAS	DE	INYECCIÓN
96			
2.3.1.			Generalidades
96			
2.3.2.	Inyección	por	aire
97			
2.3.3.	Inyección	mecánica	o sólida
98			
2.4. ALGUNOS TIPOS DE BOMBAS DE INYECCIÓN UNITARIAS			
111			
2.4.1.	BENDIX SCINTILLA	(Tipos FC, FCR, FD y FDR)	
111			
2.4.2.	ATLAS	IMPERIAL	(tipo marino)
114			
2.4.3.	AMERICAN	BOSCH	TIPO PSB
126			
2.4.4. COOPER – BESSEMER			
146			
2.4.5.	FAIRBANKS	–	MORSE
153			

III. MOTOR WARTSILA VASA 16V32 LN.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO			
159			
3.1.1.			Terminología
159			
3.1.2.	Construcción	general	del motor
161			

3.1.3.	Características	del	combustible
166			
3.2. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE			
171			
3.2.1.	Descripción		General
171			
3.2.2.			Componentes
172			
3.2.3.			Mantenimiento
174			
3.3. SISTEMA DE INYECCIÓN			
177			
3.3.1.			Descripción
177			
3.3.2.	Control	del	inicio de inyección de combustible
177			
3.3.3.	Línea	de	inyección
177			
3.3.4.	Válvula	de	inyección
178			

IV. DISEÑO DEL BANCO DE CALIBRACIÓN

4.1. INTRODUCCIÓN

180

4.2. COMPONENTES DEL ENTRENADOR

181

4.2.1. Grúa telescópica con correa textil

181

4.2.2. Mesa de adiestramiento

181

4.3. TRABAJOS A REALIZARSE EN EL BANCO
186

VI PRÁCTICAS EN EL BANCO DE CALIBRACIÓN

6.1. PRÁCTICA	1
188	
6.2. PRÁCTICA	2
192	
6.3. PRÁCTICA	3
196	
6.4. PRÁCTICA	4
200	

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

I. EL MOTOR DIESEL

1. 1. PRINCIPIOS DE TERMODINÁMICA

Un excelente mecánico no es aquel que solamente sabe de los motores, las piezas de que están compuestas y las conexiones entre sí, su función en el conjunto, la manera como están sujetas unas a otras y las medidas y sus tolerancias que deben ser respetadas en ellas. Sin embargo, un buen mecánico que solamente sepa esto estará lejos de comprender al motor, porque para ello debe tener claras ciertas ideas sobre la estructura y los condicionantes que le imponen el mundo físico que lo rodea, es decir, de los combustibles, de la forma de poder sacar energía de donde la haya, los problemas que presentan esta liberación de energía de un combustible, las leyes físicas a las que están sometidos todos los cuerpos y que condicionan el aprovechamiento de la energía liberada, entre otras. Previamente a ninguna otra cosa se considera necesario hacer un estudio lo más sencillo posible, de ciertos aspectos de Termodinámica que es la parte física que estudia las relaciones que existen entre el calor y el movimiento, es decir, entre la energía calorífica y la energía cinética, condiciones fundamentales dentro de las que se mueven motores de explosión y también los Diesel.

1.1.1. La energía

Por supuesto que antes de inventarse cualquier tipo de motor el hombre tuvo que observar primero que dentro de algún elemento había una fuerza capaz de producir unos efectos. Así, cuando el hombre observó los efectos del viento se le ocurrió ponerle un trapo a una embarcación o unas aspas a un molino de viento, pero no fue al revés, desde luego. Del mismo modo, cuando el hombre observó que el carbón podía encenderse y que mientras quemaba estaba produciendo una energía capaz de elevar la temperatura del agua se las ingenió para crear la máquina de vapor. Más tarde creó los motores de combustión interna, al darse cuenta de las condiciones que reunía el gas producido por el carbón u otros combustibles. Pero, ¿qué es

la energía, y cómo pudo darse cuenta el hombre de la presencia de la energía en los cuerpos?

La física define la energía como la habilidad latente o aparente para producir un cambio en las condiciones existentes. La energía implica, pues, una capacidad para la acción.

Hay elementos que poseen una energía potencial provocada por fuerzas de origen mucho mayor, por ejemplo, un cuerpo colocado en una determinada altura por la acción de la fuerza de la gravedad puede ser una fuente de energía cuando se le obliga a caer.

También hay otro tipo de energía, llamada energía interna, de la que se ven provistos ciertos cuerpos de una manera muy abundante (aunque, en realidad todos los cuerpos disponen de energía interna en sus formas química, molecular y atómica; pero a los cuerpos especiales, a los que nosotros nos referimos en este momento con principal atención, es a los combustibles y en particular a las gasolinas y los gasóleos). Estos cuerpos pueden liberar su energía interna por medio de calor.

Veamos, por ejemplo, el caso de la gasolina. Por medio de ella podemos hacer el siguiente experimento que, por otra parte, a de ser de muchos conocidos y que podemos llevar a cabo utilizando un infiernillo (un hornillo casero). Colocando en su depósito gasolina podemos prender

fuego a una mecha, con todo lo cual se ocasionará un desprendimiento de calor. Si encima colocamos un recipiente con agua se irá calentando.

Con esta sencilla prueba ya tenemos la evidencia de que la gasolina contiene en su interior una importante energía interna que se demuestra como energía calorífica.

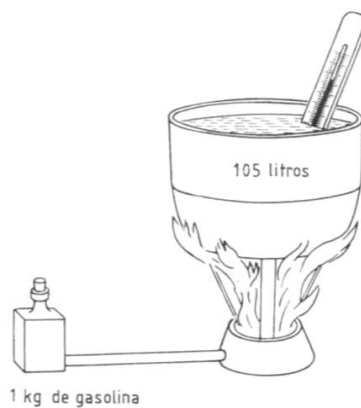


Figura 1.1. Valor de la energía

Para medir la importancia del valor de la energía acudiremos al montaje que muestra la figura 1.1. Suponiendo que existieran pérdidas de calor en este montaje (lo cual es evidente) se comprueba que con un kilogramo de gasolina se consigue elevar un volumen de 105 litros de agua desde la temperatura de 0°C hasta 100°C .

Por lo tanto, este producto tiene una importante energía interna y es capaz de inflamarse y de conseguir grandes cantidades de calor. De hecho, el hombre se dio cuenta muy temprano que la gran mayoría de los cuerpos que habían tenido una vida previa (árboles, plantas, etc.) estaban dotados de una energía calorífica mas o menos importante. Su primer gran descubrimiento fue el fuego, mediante el cual conseguía convertir la

energía interna de la madera en energía calorífica y ocuparla en sus necesidades, pero sobre todo, calentaba el estaño y el cobre, luego el hierro, etc, que fueron las bases de progreso.

Cuando el hombre empezó a pensar científicamente, a preguntarse y tratar de explicar sobre el principio de las cosas y de los fenómenos, y más tarde cuando empezó a experimentar midiendo resultados con el mayor rigor posible, se dio cuenta de la relación que existía entre el calor y la energía, y vio la posibilidad de utilizar el calor para producir fuerza por medio de máquinas muy elementales; pero el problema estaba en dar el siguiente paso, es decir, lograr convertir la energía calorífica de los combustibles en energía mecánica. Este fue el gran reto que solamente tuvo su principio de solución práctica en el siglo XVIII cuando se consiguió hacer funcionar, con cierto rendimiento la primera máquina de vapor.

El gran adelanto de transporte terrestre, sin vías, tendría que venir de un invento que fuera capaz de sacarle a un líquido, fácilmente transportable y de poco peso, toda o buena parte de la energía que ya se conocía existía en él, y este líquido era el petróleo y sus derivados. Antes de llegar aquí el hombre había experimentado con otro tipo de combustible que era mucho más limpio y ventajoso que el carbón. Este combustible era el gas. Este producto se conseguía de la combustión incompleta de muchos productos poseedores de energía calórica, entre ellos, el mismo carbón, y se podría utilizar para el alumbrado cuando aún no se utilizaba la electricidad para este fin y también para muchas otras aplicaciones, estudiando cómo se podría aplicar el gas a otro tipo de máquinas nacieron los motores entre los cuales destacó los que utilizaban el principio o sistema de Otto, así llamados por haber sido el alemán Nicolás Augusto Otto quien hizo construir por primera vez un motor de combustión interna dotado de compresión, utilizando el gas como combustible. Los motores que fabricó Otto hacia 1870 eran motores que funcionaban por el ciclo de cuatro tiempos.

Un verdadero avance se consiguió cuando empezaron a poner su atención en los combustibles líquidos de alto índice de volatilidad, entre ellos en el alcohol y el petróleo. El invento y aplicación de primer rudimentario carburador fue la solución a este problema ya que por medio de él se conseguía, de alguna manera, convertir el combustible líquido en gas.

Pero estos procedimientos no solamente podían llevarse a cabo con combustibles tan elaboradas como la gasolina. También los aceites elevados del petróleo, entre los que podemos encontrar el antecesor de nuestro gasóleo, podían aplicarse a los motores de este tipo por medio de ingeniosos carburadores.

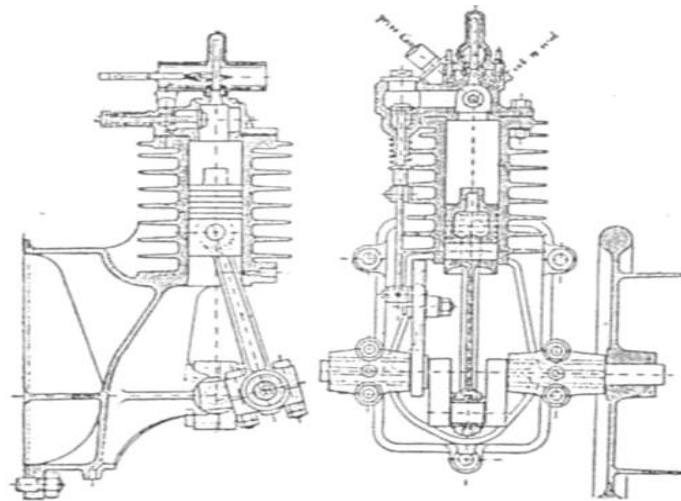


Figura 1.2. Motor RAGOT que funcionaba con aceites pesados de petróleo fabricado hacia 1880.

En las figuras 1.2 y 1.3, tenemos, como curiosidad, un motor de este tipo, fabricado por la marca francesa Ragot hacia 1880, el cual funcionaba por el ciclo Otto (cuatro tiempos y uno de ellos de compresión) y cuyo carburador gasificaba el aceite pesado. Este carburador se compone de un tubo vertical de fundición liso interiormente, provisto exteriormente de aletas helicoidales. Se halla calentado por una fuerte lámpara de petróleo

en la parte baja del tubo vertical tal como puede apreciarse en la figura 1.3. El aceite pesado penetra por un embudo desde la parte alta cuando se abre la llave de combustible. A continuación baja siguiendo la dirección de las espiras, cuyo desarrollo es bastante considerable, y están cada vez más calientes a medida que se acercan a la lámpara. Las partes ligeras del combustible son vaporizadas en primer lugar y solamente las partes pesadas llegan hasta el fondo del tubo en donde la temperatura es sumamente elevada como para gasificar también los residuos, el aire que se trata de mezclar con los vapores corre en sentido inverso del aceite; se calienta primero en un manguito exterior al tubo, el cual envuelve la hélice del hierro fundido, y encuentra después el aceite a lo largo de esta. De este modo arrastra los vapores hacia el interior de la cámara de combustión y allí se produce el tiempo motriz.

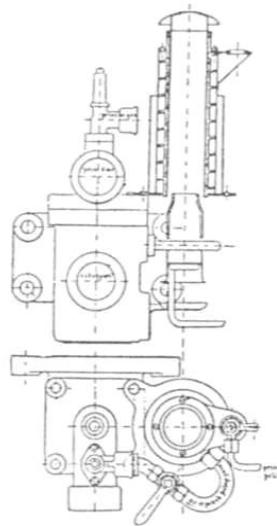


Figura 1.3. Esquema del carburador del motor RAGOT

Se trata pues, de conseguir algo tan asombroso como hacer que un tranquilo líquido, que podemos guardar y transportar en poco sitio y en un

sencillo recipiente, pueda ser sometido a los procesos que esta máquina va a proporcionarle, liberar toda la energía que contiene. Desde este punto hemos de considerar al motor de combustión interna.

1.1.2. El calor.

El calor es una de las formas de la energía; la incógnita a descubrir es cómo en nuestros motores de gasolina y diesel sacamos dicha energía interna al combustible, es evidente que vamos a tener que ocuparnos con todo cuidado de la relación que existe entre el calor y la energía mecánica y es por ello que revisaremos los postulados de termodinámica.

La primera ley de termodinámica es aquella que relaciona el calor en este sentido, observación que se llevo a cabo por los científicos del siglo XVIII es el hecho curioso que cuando se efectúa un algún trabajo mecánico aparece calor; por ejemplo, cuando se procede a taladrar se observa claramente que la broca se calienta. Pero se trataba observar hasta qué punto el calor que aparecía en estos procesos y que relación guardaba con las condiciones de energía mecánica proporcionada.

Estudiando este fenómeno se llegó a la conclusión de que siempre se convierte trabajo mecánico en calor, o se obtiene trabajo mecánico a expensas del calor, existe relación constante entre el trabajo dado y el calor producido. La cantidad de trabajo que al convertirse en calor proporciona una unidad de cantidad de calor, es a lo que se llama equivalente mecánico del calor.

La primera Ley de Termodinámica a la que hacíamos mención se enuncia de la siguiente manera: Siempre que se convierte energía mecánica en

calor o viceversa, es constante la razón de la energía mecánica al calor. A la formulación de esta Ley se pudo llegar gracias a los trabajos del científico inglés Jacobo Joule quien trabajó para encontrar el equivalente mecánico del calor por medio de una serie de experimentos por medio de los cuales llegó a demostrar que este equivalente mecánico del calor era siempre el mismo aunque fueran diferentes los sistemas utilizados para convertir la energía mecánica en calor.

Estos experimentos los realizó con una máquina de su invención, cuyo esquema simplificado se puede ver en la figura 1.4, y por medio de la cual se puede medir el calor desarrollado cuando se emplea trabajo para agitar agua. Como puede deducirse por la figura, esta máquina consta de un recipiente (R), originariamente lleno de agua, en el que hay dispuesto un rotor (A) provisto de paletas y sumergido en el líquido. Por otra parte, por medio de un carrete (C) sujeto al eje y atado a una cuerda, se encuentra un cuerpo de una masa determinada que podrá deslizarse, al soltarlo, en una carreta desde una altura (h), haciendo con ello girar el carrete y con él las paletas del agitador.

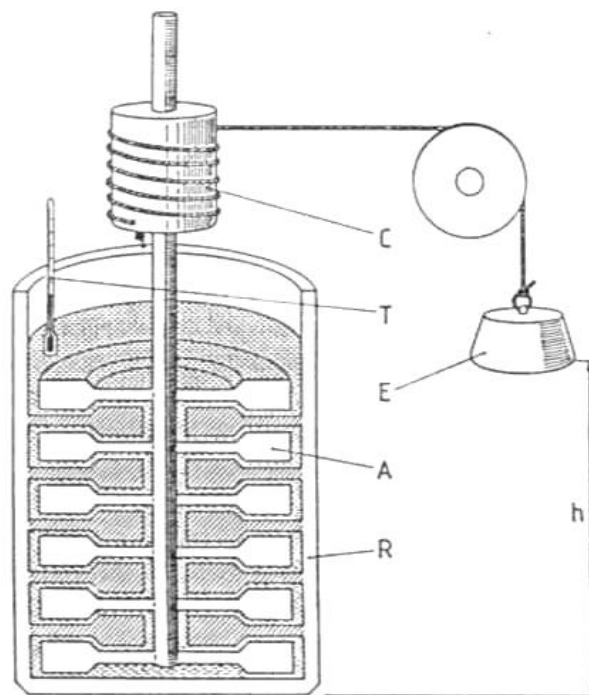


Figura 1.4. Aparato ideado por Joule para comprobar el equivalente mecánico del calor.

El trabajo proporcionado será el producto del peso (E) por la altura (h) y el calor provocado se verá por el aumento de temperatura de agua, medido por medio de un termómetro de precisión (T). Por supuesto, para que este aparato funcionara bien, Joule realizó una serie de correcciones para evitar la inercia de las paletas, al cesar la caída de la masa no estuviera frenada de golpe por el choque. También hizo la prueba con diferentes tipos de masa y diferentes tipos de líquidos, sustituyendo el agua por el mercurio, y otros. Pero en todos los casos pudo demostrar que la cantidad de calor era proporcional al trabajo realizado. Con ello pudo calcular el equivalente mecánico del calor que dejó establecido en 1 Kcal. = 426,40 kilográmetros.

Pongamos un ejemplo que a los mecánicos podrá sernos muy aleccionador de cara al rendimiento de nuestros motores. Se sabe que la gasolina contiene una energía calorífica que tiene un valor de 10.500 a 11.000 kilocalorías por cada kilogramo de peso. Pues bien: si pudiéramos transformar toda esta energía calorífica en energía mecánica (cosa que, sin embargo, es imposible en la práctica) podríamos obtener una potencia en nuestros motores igual a lo que los siguientes cálculos muestran:

Si un Kg. de gasolina dispone de 11.000 Kcal. Quiere decir que dispone de:

$$11000 * 426,4 = 4.690,00 \text{kgm.}$$

Ahora bien: la unidad con la que se mide la potencia de un motor es el CV que equivale a 75kgm/seg. Por lo que, en una hora, cada CV equivaldrá a:

$$75 * 60 * 60 = 270.000 \text{kgm}$$

(Multiplicamos 60 * 60 para hacer la conversión a horas de los sesenta segundos que tiene el minuto y los 60 minutos que tiene la hora).

En su consecuencia, un Kg. de gasolina podría dar una potencia de

$$\frac{4.690.400}{270.000} = 17.37 \text{CV} / h$$

Para darnos una idea de lo que significa este valor podríamos decir que un motor perfecto, que aprovechara toda la energía de la gasolina podría con 3,50 Kg. de este combustible (lo que traducido a litros podría ser del orden de, los 5 litros ya que la densidad de la gasolina viene a ser de unos 700 g. por litro) obtener durante una hora una potencia continuada de $17,37 * 3,50 = 60,79$ CV, valor quizá suficiente para arrastrar una tonelada de peso de un automóvil a velocidades muy parecidas a los 150 Km./h, con un consumo deducido de ello de 3,33 lt. en cien kilómetros. Como veremos más adelante, la diferencia entre esto y la realidad es el mal rendimiento de nuestros motores.

La experiencia nos demuestra que resulta más fácil obtener calor a partir de una energía y no viceversa, de hecho, con solo el acto de frotarnos ya estaremos obteniendo energía calorífica a partir de la mecánica. Los físicos que en el siglo pasado estudiaron este problema llegaron a sacar conclusiones si bien muy acertadas también hasta cierto punto descorazonadoras. Entre estas conclusiones cabe destacar las que formuló Carnot quien estableció una de las leyes fundamentales de la termodinámica cuando dijo:

“Es imposible obtener trabajo mecánico con un solo manantial de calor, siendo necesario dos por lo menos y a temperaturas diferentes.”

Es decir, para sacarle trabajo a un manantial de calor es necesario que exista un desnivel térmico, o dicho de otra manera, que al foco caliente se le oponga un foco frío. Y esto se está cumpliendo por supuesto, en nuestros motores, en donde el tiempo de combustión, de alta temperatura, se opone al tiempo de escape.

Del desarrollo de este postulado de Carnot por medio de estudios llevados a cabo más tarde se vio que precisamente el rendimiento de las máquinas estudiadas para extraer energía mecánica de la calorífica dependía de la diferencia entre el calor suministrado y el calor cedido a su parte de manantial bajo, o foco frío ya que resulta indispensable durante el ciclo de funcionamiento que existiera una cesión perdida de calor entre el foco caliente y el foco frío. Esta es una importante razón por la que el tipo de máquina que conocemos con el nombre de motor de combustión interna, ya sea en su versión de explosión o en la versión Diesel, nunca podrá disponer de los 17,37 CV/h por cada Kg. de combustible, tal como observamos que teóricamente podría obtener. Siempre deberá ceder calor que no se traducirá en trabajo lo que será objeto, junto con otras causas, del bajo rendimiento de estos motores modernos.

Todo esto nos conduce a la segunda ley de termodinámica, la cual fue enunciada por el físico Max Plank y que dice textualmente:

“Es imposible construir una máquina que trabaje en un ciclo completo y no produzca otro efecto excepto el de elevar un peso y enfriar un depósito de calor”.

Dicho en otras palabras: Cualquier sistema que opere en un ciclo que reciba calor mientras realiza trabajo se verá obligado a tener un proceso de rechazo de calor como parte del ciclo. Por lo tanto resulta un sueño inalcanzable pensar en la posibilidad de que algún día se logre una máquina o motor tan perfectos que puedan aprovechar completamente toda su energía calorífica que pueda contener un combustible.

De hecho, ya veremos hasta que punto, con una perfección ideal de los motores que ahora tenemos, se podrá conseguir un rendimiento máximo, es

decir, un aprovechamiento, lo más completo posible, de la energía calorífica que contienen los combustibles. Pero ahora, vayamos primero por otro camino.

1.1.3. La termodinámica y sus ciclos

Por lo que hemos visto ahora nuestros motores son, en el fondo, motores que se alimentan de gas. El combustible líquido que llevamos en los depósitos de los vehículos resulta finamente pulverizado por el inyector (en el caso del motor Diesel) de tal manera que entra en la cámara de combustión a una muy alta presión, pero muy fraccionado, de modo que se conduce como si fuera un gas. También en el motor de explosión la gasolina se pulveriza en el carburador (ahora también inyectores) y entra mezclada con el aire, formando una niebla que pueda perfectamente interpretarse como un gas.

El aire, en el caso Diesel, es admitido a temperatura ambiente y presión atmosférica; luego es comprimido (reducción de volumen) y con ello aumenta su presión y su temperatura, en el momento de la inyección del gasóleo aumenta las presiones y la temperatura hasta alcanzar elevados valores que luego se bajan extraordinariamente en el momento del escape, al ponerse la cámara de combustión en contacto con el exterior. A poco que meditemos nos daremos cuenta de que hay un foco altamente caliente cuando se produce la combustión que contrasta con el foco frío del escape, tal como requieren las leyes de termodinámica y el principio enunciado por Carnot. Y también vemos que para ello el gas está permanentemente

sometido a constantes variaciones de presión y de volumen de los que se deducen variación en la temperatura.

Para estudiar estas variaciones y la forma cómo se producen se acude a representarlas en un plano semejante al que vemos dibujado en la figura 1.5. Aquí, cualquier tipo de variación en el volumen del gas la podemos representar por la línea horizontal en el sentido de que el volumen es tanto más grande cuando más a la derecha se encuentre el punto que lo representa. En iguales condiciones también podremos representar las presiones a que el gas se encuentra sometido, pero esta vez por medio de la línea vertical, tal como se indica en el dibujo.

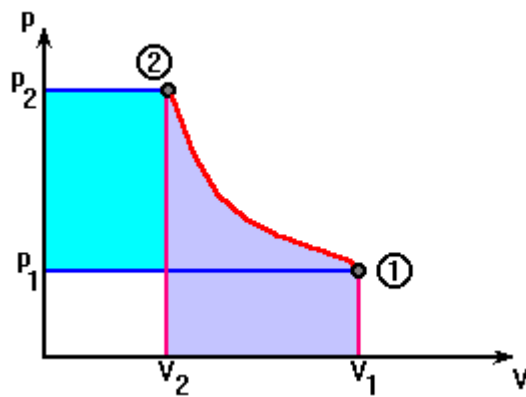


Figura 1.5. Diagrama de Clapeyron.

Por supuesto, aquí la presión es tanto más elevada cuanto más hacia arriba se encuentre el punto que tratemos de representar. Este es el diagrama de Clapeyron y se llama así en honor al nombre del un ingeniero francés lo creó. Pero pueden existir también otros tipos de representaciones en los que se tengan en cuenta las temperaturas en la línea vertical y la cantidad de energía calorífica dividida por la temperatura absoluta en la parte de la

línea horizontal. Nosotros vamos a referirnos al diagrama de Clapeyron para ver qué es lo que ocurre en el interior de un motor con la corriente de gases que atraviesan sus cámaras de combustión.

1.1.4. Diferentes transformaciones termodinámicas

Antes de pasar adelante es preciso hacer algunas definiciones para poder entendernos en lo sucesivo. En realidad, vamos a ponerle nombre a cada uno de los estados que determinan una transformación en los gases.

1.1.5. Transformación isoterma o a temperatura constante

La palabra isoterma está formada por unas raíces griegas en donde la partícula *isos* significa igual, y *termo-terma* caliente. Así todas las palabras que comienzan con la partícula inseparable *iso* dan a entender igualdad. Esto es importante para que recordemos lo que quiere decirse al emplear la palabra isoterma.

En la figura 1.5 tenemos representado sobre un diagrama de Clapeyron una transformación isoterma en la que el gas conserva una temperatura constante. Como puede verse, disminuye su volumen y aumenta su presión. El primero pasa de V_1 hasta V_2 y la segunda de P_1 a P_2 . La temperatura se supone aquí la misma en el estado 1 que en el 2.

Esta transformación responde a la llamada *Ley de Mariotte* en la que se establece:

$$\text{Presión} \times \text{Volumen} = \text{Constante}$$

1.1.6. Transformación isócara o a volumen constante

Durante este proceso la transformación de gases se produce sin que haya una variación en el volumen. De forma práctica esta situación se produce si

la transformación del gas se efectúa estando el émbolo inmóvil como podría ocurrir si la combustión se efectuara instantáneamente cuando el émbolo permanece parado en el PMS en la fracción de segundo en que invierte el giro de su carrera. El hecho de que su volumen permanezca constante no quiere decir que no pueda haber importantes variaciones de presión debidas a los efectos que pueden derivarse de un aumento de la temperatura. En efecto: la transformación isócara viene determinada por la relación proporcional que existe entre la presión y la temperatura, del modo siguiente:

$$\frac{\text{Presión 1}}{\text{Presión 2}} = \frac{\text{Temperatura 1}}{\text{Temperatura 2}}$$

El valor de la temperatura se refiere siempre a la escala de Kelvin que es la que corresponde a la llamada <<temperatura absoluta>>. Como es sabido el cero absoluto, aquel por debajo del cual ya no puede existir una temperatura más fría, se encuentra a 273 grados bajo cero de nuestra escala centígrada, de modo que una temperatura de 20° C de esta escala corresponderán, en grados Kelvin, a la suma de 273 más 20, es decir a 293° Kelvin ya que lo que varía en esta escala es el punto de partida con respecto a la centígrada que habitualmente utilizamos.

1.1.7. Transformación isobara o a presión constante

Este es el caso contrario al anterior, en el que vemos que el valor de la presión permanece estable, pero no así el volumen, que sufre desde el

punto V1 al punto V2 una reducción. En el caso de la transformación isobara, cuando el volumen aumenta se necesitará un aporte de calor para mantener el valor de la presión sin variaciones, es decir, constante. Este es el caso de la combustión a presión constante dentro de un motor. Por el contrario, si el volumen disminuye y se precisa mantener la presión con un valor constante se necesitará una refrigeración del gas.

La temperatura absoluta de un gas sometido a transformación isobárica varía según la siguiente ley:

$$\text{Temperatura final} = \text{Temperatura inicial} \times \frac{\text{Volumen final}}{\text{Volumen inicial}}$$

1.1.8. Transformación adiabática o sin cambio de calor al exterior

En las transformaciones que hemos visto hasta ahora los gases han sufrido variaciones que determinan pérdidas o ganancias de calor. En el caso de las transformaciones adiabáticas esto no ocurre así, de modo que no existe cambio de calor con el exterior. En la figura 1.6 tenemos este caso representado en un diagrama de Clapeyron. Teóricamente son adiabáticos los tiempos de compresión y expansión durante el funcionamiento de uno de nuestros motores, pero en la práctica, tal como veremos, debido a la presencia de la refrigeración, estos tiempos no cumplen con el cometido técnico estricto que corresponde a una transformación adiabática.

En esta transformación la relación entre presión y volumen está regida por una ley que establece:

$$P \times V = \text{Constante}$$

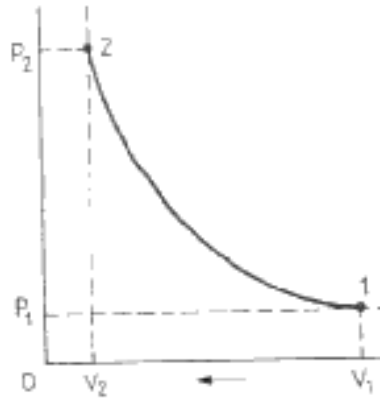


Figura 1.6. Representación de una transformación adiabática

En esta fórmula P es, por supuesto, la presión; V, el volumen, en este caso con el exponente γ que en el caso del aire adquiere un valor de 1,40 y en el caso de lo que se denomina mezcla carburante (el gas salido del carburante) puede considerarse sobre 1,41.

La temperatura absoluta varía en la siguiente relación:

$$\frac{\text{Temperatura 2}}{\text{Temperatura 1}} = \left(\frac{\text{Volumen 1}}{\text{Volumen 2}} \right)^{\gamma-1}$$

La transformación adiabática también se conoce con el nombre de transformación *isoentrópica*, y así es nombrada en algunos tratados de Termodinámica.

1.1.9. Transformación poli trópica

La transformación poli trópica es una variante de la adiabática que acabamos de definir ya que se produce de la misma manera aunque el gas puede ceder o recibir calor durante el movimiento del émbolo. Tal es el caso del tiempo de compresión en la práctica, el cual constituye una auténtica transformación poli trópica. La fórmula que determina ésta transformación es la misma que hemos explicado en la transformación adiabática o isoentrópica con la única variante de que el exponente γ cambia de valor.

1.1.10. Los ciclos termodinámicos

A la sucesión periódica de diferentes estados de presión, volumen y temperatura a la que es sometido un gas dentro de una máquina o de un motor de modo que sufra determinadas transformaciones es a lo que se le llama *ciclo termodinámico*. Todos los motores térmicos trabajan con ciclos de este tipo tanto la máquina de vapor, como los motores de explosión o de Diesel y las turbinas de gas.

El ciclo puede representarse con toda propiedad sobre un diagrama de Clapeyron y nos indica en todo momento no solo la presión y el volumen de los gases en cada una de las partes del ciclo, sino también el rendimiento del mismo que queda claro por la superficie ocupada por las líneas que indican las transformaciones de los gases. Por ejemplo, veamos la figura 1.7, que nos muestra como una película de la forma como se relaciona uno de estos diagramas con el ciclo de cuatro tiempos de un motor Diesel. En A tenemos el momento de la admisión de aire al estar abierta la válvula de admisión (Va). La línea 1-2 aumenta el volumen pero no la presión ya que trabaja a la presión atmosférica. En B nos hallamos frente al momento de la compresión que constituye el segundo tiempo de este ciclo.

El émbolo sube y al mismo tiempo, tal como indica la línea 2-3 disminuye el volumen y aumenta la presión hasta valores considerables. Al llegar el émbolo al PMS, tal como vemos en C1 y C2 de esta figura, se produce la entrada de combustible con lo que, durante un período de tiempo, crece el volumen sin descender la presión (es el punto 3-4). El émbolo es impedido a descender con lo que el volumen sigue aumentando y la presión decrece hasta el punto 5.

Posteriormente, la abertura de la válvula de escape, tal como puede verse en D, hace que el volumen decrezca sin presión para la expulsión del gas

quemado. La repetición constante de este mismo proceso explica porqué se la denomina con la palabra ciclo.

Ahora bien, los ciclos pueden ser de varias maneras, lo que determina, por otra parte, los diferentes tipos de motores que se encuentran en el mercado.

El ciclo termodinámico básico es el que ideó el propio Carnot que está constituido, simplificando su descripción por las siguientes fases (véase también la figura 1.8):

1ª. *Expansión isotérmica*, durante la cual absorbe calor y energía trabajo.

2ª. *Expansión adiabática*, durante la cual se realiza trabajo sin intercambio de calor.

3ª. *Compresión isotérmica*, en la que el cuerpo recibe trabajo procedente de las fuerzas externas, entregando calor.

4ª. *Compresión adiabática*, en la cual el cuerpo recibe trabajo sin intercambio de calor.

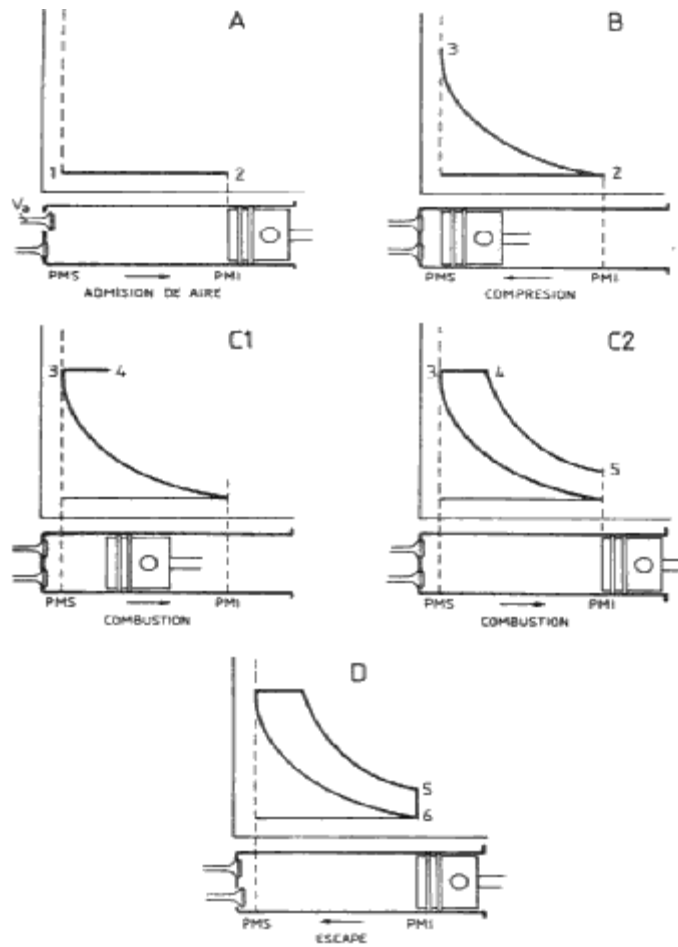


Figura 1.7. Fases del ciclo termodinámico

La representación gráfica del ciclo de Carnot se puede ver en la figura 1.8. Como puede deducirse de la breve explicación se trata de un ciclo que trabaja con dos líneas isotermas y dos adiabáticas y además se trata de un ciclo reversible, es decir, puede ser recorrido en sentido inverso.

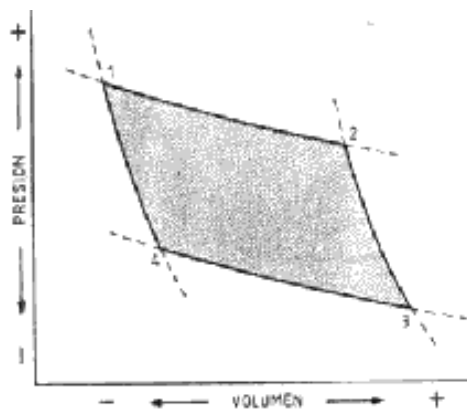


Figura 1.8. Ciclo de CARNOT

1.1.11. Ciclo real de los motores Diesel

Todo cuanto hemos dicho sobre el ciclo teórico en páginas anteriores es decir, la forma de producirse el ciclo de cuatro tiempos y la forma como se representan los tiempos en el diagrama de Clapeyron, sufre algunas importantes modificaciones cuando el motor se pone a funcionar, en la práctica. Un ejemplo lo tenemos en algo tan sencillo como la resistencia que el aire encuentra al verse obligado a pasar a través de tubos. En el diagrama teórico suponíamos que los gases podían entrar y salir libremente sin estar sometidos al freno que representa sus cambios de dirección, el paso por los estrechos conductos de las válvulas, los giros de turbulencia a que se les obliga para obtener una mayor rapidez de la combustión y poder aumentar así su régimen de giro, etc. En un motor real, y sobre todo si gira a un régimen de rev/min relativamente elevado, la resistencia que ofrecen los conductos, por ejemplo, determinan que en el tiempo de aspiración el cilindro se llene solamente en un máximo de un 70% de la cilindrada total del mismo debido a que la admisión se efectúa a una presión más baja a la atmosférica.

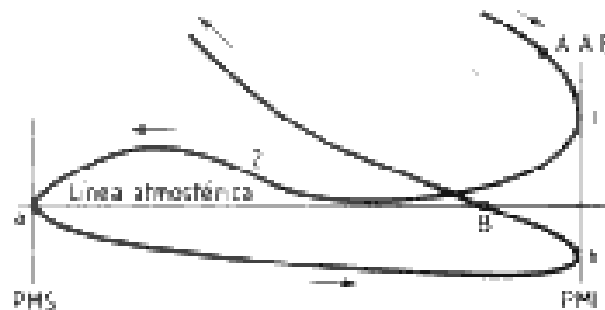


Figura 1.9. Línea de admisión

Para poder juzgar la calidad de un motor es necesario, sin embargo, conocer con detalle el ciclo teórico pues hay que comparar el diagrama teórico con el práctico. Si el motor pudiese funcionar de acuerdo con el ciclo teórico obtendríamos el máximo de potencia con el mínimo de consumo de combustible. Cuando más se parezca el diagrama práctico o real con el teórico mejor serán las condiciones que definirán al motor en concreto.

Las condiciones de la marcha del ciclo real son las siguientes:

Primero. Por rozamientos del aire en los conductos de admisión y al paso por la válvula, la aspiración se realiza a presión inferior a la atmósfera (figura 1.9 línea a-b) resultando que en la aspiración el cilindro no puede llenarse por completo.

Segundo. Como quiera que el cilindro contiene el aire a presión inferior a la atmosférica, no se consigue compresión hasta que el émbolo ha recorrido una cierta parte de su carrera ascendente; por lo tanto, partimos de un volumen menor del que teóricamente se suponía (punto B del diagrama de la figura 1.9).

A este factor hay que unir las pérdidas de calor a través de las paredes y a las fugas que pueden producirse por los aros y asientos de las válvulas todo lo cual da como resultado una línea de compresión en el diagrama situada por debajo de la teórica y, consecuentemente, una presión final de compresión también inferior de la teóricamente posible. (Ver figura 1.10).

Tercero. Como se ha dicho al describir el ciclo mixto correspondiente al Diesel, la combustión no es enteramente a presión constante, pues es imposible regular la inyección de forma que la progresiva combustión de las gotitas de combustible compense la caída de presión que se origina por el aumento de volumen de la cámara al separarse el émbolo del PMS (fig. 1.11). Para esto debería arder inmediatamente después de entrar en el

cilindro, pero a pesar de la óptima pulverización conseguida en la inyección por aire, es necesario un lapso de tiempo para que el calor penetre en las gotitas y eleve su temperatura hasta el momento en que las inflame y se inicie la combustión. Este tiempo se denomina de encendido y es brevísimo, del orden de milésimas de segundo.

En el motor Diesel de inyección directa la fase de combustión a volumen constante es imposible de conseguir, pues debido al retraso del encendido y al no ser la combustión instantánea, no puede desarrollarse del todo con el émbolo en PMS. La segunda parte de la combustión, que se puede ver en la zona f de la figura 1.11 varía con respecto al diagrama teórico tal como se muestra en esta figura.

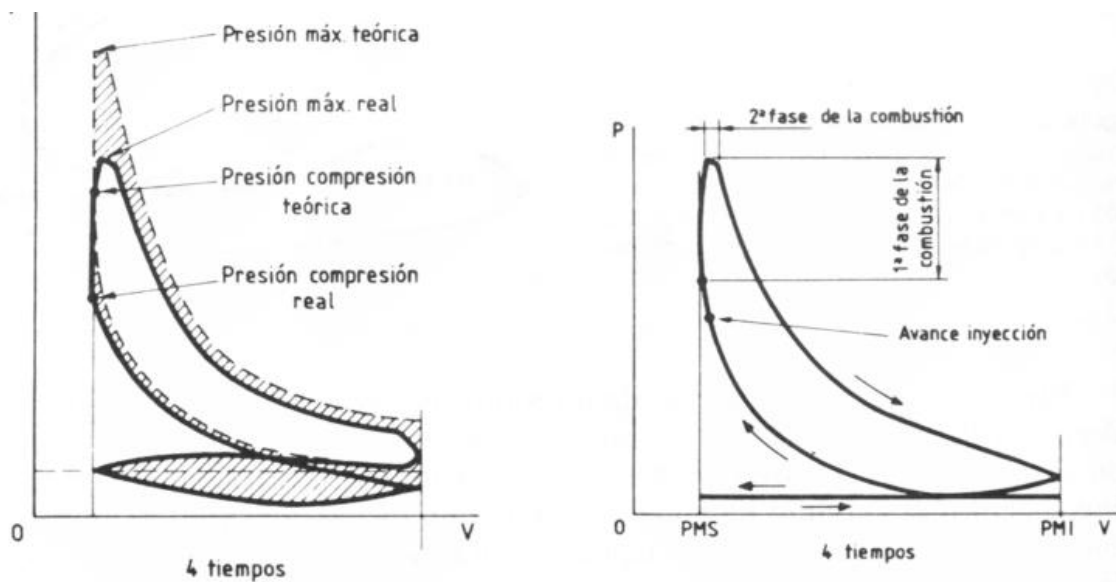


Figura 1.10. Línea de compresión e inyección

Cuarto. Debido a que la combustión se inicia a menor presión de la que se acredita en el diagrama teórico, tal como acabamos de ver en la figura 1.11. La presión máxima alcanzada es también menor y, unido esto a las pérdidas de calor durante la expansión, resulta que la línea de la citada expansión nos queda en el diagrama real a menor presión que en el teórico, como puede observarse en g de la figura 1.11. Por otro lado, la válvula de escape se abre antes de completar el émbolo la carrera de expansión, por lo cual la expansión de los gases no dura la carrera completa tal como se

consideraba en el diagrama teórico que se ha comentado con anterioridad. (Ahora nos referimos a la caída señalada con e, en la figura 1.11)

Quinto. El escape, debido a los rozamientos de los gases con las paredes del cilindro, al paso por la válvula y conductos, se realiza a presión superior a la atmósfera (valores señalados en c de la citada figura 1.11).

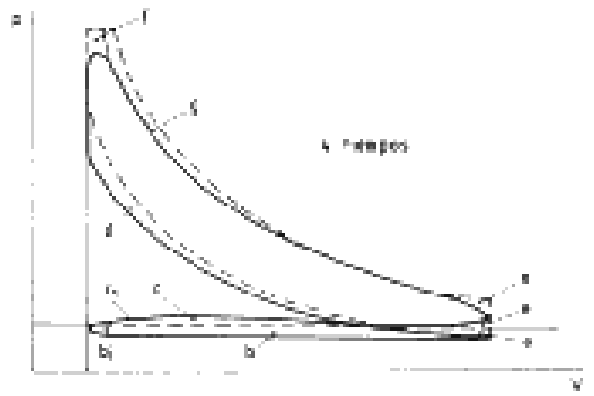


Figura 1.11. Línea de expansión y escape

Mediante la figura 1.9 podemos seguir el fenómeno del escape. La válvula se abre en la parte indicada AAE (adelanto abertura escape), antes de alcanzar el PMI y los gases bajan de presión hasta el punto 1, momento de la llegada del émbolo al PMI. Sube el émbolo y los gases continúan saliendo a gran velocidad; debido a ello ejercen una succión en el cilindro experimentado la presión de los gases una caída suave (la línea de escape se aproxima a la atmosférica). Cuando llega el émbolo al punto señalado con 2, la velocidad de los gases ya no es tan elevada, dando lugar a que el émbolo los empuje, ocurriendo que al no poder salir por la válvula de escape tan deprisa como empújale émbolo, experimentan un aumento de

presión que se aprecia en el diagrama por la subida ligera de presión que se observa al final de la línea de escape.

Al finalizar la citada carrera de escape queda en el espacio muerto una cierta cantidad de gases a una temperatura de unos 300° C. El cerrar la válvula, después del PMS tiene por objeto lograr que por inercia sigan saliendo los gases; así, de esta forma, los gases residuales que aún quedan en el cilindro disminuyen su presión hasta casi un valor igual al de la presión atmosférica.

Por otra parte, la válvula de admisión debe abrirse un poco antes de que el émbolo alcance su PMS para facilitar que la entrada del aire nuevo se produzca exactamente en el momento en que el émbolo comienza a bajar. Esta situación hace que en un momento dado las dos válvulas – de escape y de admisión—se hallen abiertas, situación que se denomina *cruce de válvulas*.

Parece a primera vista que el cruce de válvulas puede ser contraproducente pues al estar abiertas simultáneamente las válvulas de admisión y escape cuando ésta posea cierta presión podría provocar una derivación de los gases hacia el conducto de admisión; pero en la práctica no ocurre así, ya que debido a la velocidad que poseen los gases de escape, por inercia, continúan saliendo.

Además ejercen una succión al pasar cerca de la válvula de admisión que facilita la posterior entrada de aire. Los gases residuales originan dos tipos de pérdidas. Una de ellas es el resultado de que se mezclan con el aire aspirado, impidiendo, por falta de aire puro, inyectar toda la cantidad de combustible de que es capaz la cilindrada; y otra, consiste en que, en la aspiración o admisión, no penetra de nuevo aire hasta que la presión de estos gases no resulta inferior a la presión atmosférica.

Todo lo dicho en estos cinco puntos es el cúmulo de causas que producen pérdidas en el funcionamiento del motor real de modo que su rendimiento sea menor que el que debería ser si se cumpliera el ciclo teórico; o dicho de otra manera, el diagrama real tiene menos superficie que el diagrama teórico.

1.1.12. Rendimiento efectivo

Desde el punto de vista práctico, lo que más nos interesa de un motor es su rendimiento efectivo que es la relación que existe entre la energía proporcionada por el motor en forma de trabajo y la energía que poseía la masa de combustible que consumió para lograr este mismo trabajo. El rendimiento efectivo es el resultado final de una serie de rendimientos intermedios como son el rendimiento termodinámico, el rendimiento del ciclo y el rendimiento mecánico relativo a los órganos auxiliares para hacer posible la función del motor. En la práctica este rendimiento se suele dar de una forma global estableciendo lo que se llama el consumo específico que consiste en los gramos de combustible que se consumen por CV y por

hora, o bien, en el caso de utilizar las unidades más modernas de potencia, el consumo en gramos por Kw./ h.

En los motores actuales se están dando las siguientes cifras para estos valores indicados:

Motores Otto de gasolina:

De 200 a 230 g/ CV/ h (o 270 a 310 g / kw. /h) lo que viene a representar un rendimiento efectivo de un 27 a un 30%

Motores Diesel con inyección indirecta:

En este grupo de inyección indirecta se encuentran casi todos los motores Diesel que se fabrican actualmente para automóvil ya que esta disposición de la inyección permite elevar el número de rev/min. del motor. Sus rendimientos son los siguientes:

De 190 a 210 g/CV/h (o 260 a 285 g/Kw. /h), lo que viene a representar un rendimiento efectivo de un 30 a un 32%

Motores Diesel de inyección directa:

Los motores Diesel de inyección directa se utilizan en automoción para constituir la planta motriz de los autocamiones. Son, desde luego, de mayor rendimiento, pero son mucho más lentos por lo que su relación peso/potencia es mucho más elevada que en el caso de los motores de inyección indirecta.

De 150 a 170 g/CV/h (o 200 a 230 g/Kw. /h), lo que representa un rendimiento de un 36 a un 40%.

Como puede verse de los números que se dan, las pérdidas son bastante importantes, tanto para los motores de gasolina como para los Diesel, pero menor para éstos.

1.1.13. La relación de compresión

Al hablar en páginas anteriores de los postulados termodinámicos de Carnot ya se vio que para sacar trabajo del calor era indispensable la creación de un foco caliente en contraposición a un foco frío. Cuanto más grande es el desnivel térmico tanto mayor es el rendimiento de la transformación energética. Por lo tanto, elevar la temperatura antes de la producción del encendido resulta significativamente beneficioso para aumentar el rendimiento del motor.

Para conseguir aumentar la temperatura de los gases en estas condiciones la solución más fácil consiste en comprimir estos gases tanto como sea posible antes de que se produzca el salto de la chispa de encendido en los motores de explosión o la entrada inyectada del gasóleo en el caso de los motores Diesel.

A medida que son comprimidos los gases aumentan su temperatura a la vez que su presión y ello resulta beneficioso para conseguir una combustión más rápida y más caliente.

Aunque en principio todos sabemos a qué se llama en un motor relación de compresión (conocida también con el nombre de relación volumétrica) desde un punto de vista geométrico, vamos a insistir sobre ello por si alguien reserva alguna duda sobre este concepto. En la figura 1.12 se representa el interior de un cilindro por el que se desliza un émbolo. El volumen geométrico del cilindro queda representado por la distancia que ocupa el émbolo entre el PMI y el PMS. Cuando en un motor de cuatro tiempos, la válvula de admisión se abre y el émbolo que se hallaba inicialmente en PMS desciende hasta llegar a la parte más baja de su carrera, o PMI, todo el espacio ocupado por el cilindro se llena de gas (ya

sea mezcla o simplemente aire). En el ciclo teórico se cierra en este momento la válvula de admisión y como que la válvula de escape también permanece cerrada, al subir de nuevo el émbolo hacia su PMS el gas que había entrado en el cilindro comienza a comprimirse. La relación que existe entre el volumen inicial y el volumen final a que el gas queda convertido constituye la relación de compresión.

En la figura 1.12 y en *a* de la misma tenemos una representación, a la izquierda, de la reducción de espacio a que llega a ser sometido el gas admitido en un motor Diesel para automóvil: Es decir, hasta 23:1. En general, en estos motores, las compresiones van de 14:1 hasta 23:1 y pueden ser tanto más elevadas cuando más ligero es el motor.

Por el contrario, en la parte *b* de la misma figura 1.12 tenemos una representación similar para un motor de ciclo Otto de gasolina. Aquí vemos como en iguales condiciones la reducción del volumen inicial se ha efectuado solamente en 10:1. En efecto, en los motores de gasolina la relación de compresión oscila entre 8:1 y 10:1 sólo muy excepcionalmente y en motores de competición, se logran valores más altos, aunque ello obliga a los ingenieros a hacer motores con soluciones mecánicas mucho más caras y siempre se compromete la duración del motor.

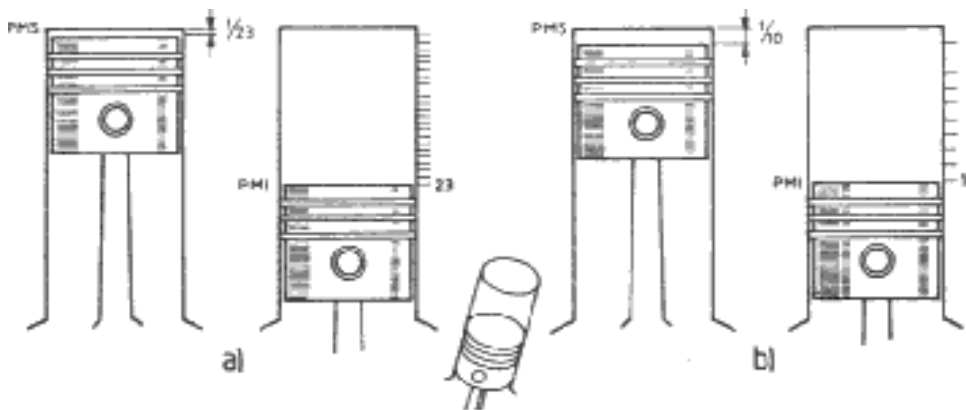


Figura 1.12. Relación de compresión en a) motores diesel y b) motores gasolina

De todo lo dicho se deduce que la relación de compresión es el resultado de sumar el volumen del cilindro más el volumen de la cámara de combustión (que es la parte que queda todavía más arriba del PMS del émbolo en la mayoría de los casos) y todo ello dividido por el propio volumen de la cámara. En efecto: La fórmula que determina esta relación de compresión (R_c) es la siguiente:

$$R_c = \frac{V + V_c}{V_c}$$

En donde V es el volumen del cilindro y V_c representa el volumen de la cámara de combustión. Aclarado este concepto pasemos a ver qué relación guarda la compresión con el rendimiento termodinámico.

Como decíamos al principio la relación de compresión tiene que ver con la presión que existe al final del tiempo de compresión y también con la temperatura que se alcanza en este mismo momento. Con respecto a la primera se puede calcular precisamente a partir de la relación de compresión real, medida por medio de un compresor metro y por medio del exponente $\langle\langle n \rangle\rangle$ ligado a los cambios térmicos, en donde

$$\text{Presión final} = \text{Presión inicial} \times R_c^n$$

En donde R_c^n es la relación de compresión elevada al valor de n que en el caso de una compresión adiabática, y que consecuentemente no hay cambio de calor, tiene un valor teórico de 1,40 para el aire; pero su valor práctico puede tomarse como de 1,30 a 1,37. De acuerdo con estos resultados las presiones de fin de compresión que suelen penetrarse están en orden a los de 8 a 15 bar. para los motores de gasolina, y de 20 a 40 bar. para los motores Diesel.

En cuanto a las temperaturas de fin de compresión son especialmente importantes para el motor Diesel ya que el encendido del gasóleo se hace en virtud de la temperatura final de compresión y aunque este combustible ya se inflama a los 280° C la realidad es que hay que conseguir temperaturas de alrededor de los 600° C para asegurar el buen y rápido quemado.

Con respecto al rendimiento termodinámico tenemos que la fórmula más sencilla que lo determina es aquella que lo define así:

$$n_t = 1 - \frac{1}{R_c}$$

En donde n_t es el rendimiento térmico y R_c la relación de compresión. De acuerdo con ello vemos que cuanto mayor podamos hacer la relación de compresión en el motor Otto tanto mayor será el rendimiento térmico del mismo, en donde se relaciona en la línea vertical el rendimiento térmico (n_t) con la compresión volumétrica (R_c) en la línea horizontal. Como puede apreciarse, a medida que aumenta la compresión el rendimiento mejora sus valores.

El problema grave con el que se encuentra el motor Otto para adquirir presiones elevadas se centra en la necesidad que tiene de recibir en el interior del cilindro mezcla explosiva, es decir, mezcla de aire con gasolina. Además, el motor tiene que poder regular con toda exactitud el momento en que se produzca el encendido y si las temperaturas y la presión en el interior del cilindro (y próximas al PMS) sobrepasan ciertos límites, la gasolina que se halla mezclada con el aire puede auto encenderse y provocar la expansión de los gases antes de que el émbolo haya llegado al PMS, lo cual es algo altamente pernicioso para el desarrollo del ciclo. En su consecuencia hay que conseguir que las

gasolinas tengan el menor grado posible de auto encendido. La compresión del motor Otto juega aquí un papel primordial:

Por circunstancias propias de la naturaleza de los combustibles, el aumento de presión que representa el aumento de compresión provoca y desencadena una serie de fenómenos en el comportamiento de la gasolina pulverizada que los mecánicos conocen con el nombre de *auto encendido* y *de picado*, ambos muy perniciosos para el motor, de modo que es punto no traspasar ciertas fronteras en los valores de la relación de compresión si antes no encontramos soluciones para evitar la presencia de estos fenómenos. En este aspecto, se ha trabajado mucho en la forma dada a las cámaras de combustión de modo que se favorezcan los movimientos de turbulencia de la mezcla para hacer más rápida su combustión; se ha trabajado también con las gasolinas aumentando, mediante aditivos, su poder antidetonante de modo que soporten mejor unas presiones más altas. Todo ello, en efecto, ha sido muy positivo, y el motor de gasolina ha ido escalando valores cada vez más altos en la relación de compresión, lo que explica más que otro cualquier adelanto técnico, el notable aumento de rendimiento que los motores han ido observando a través de los últimos años. Téngase presente que en los años cincuenta los valores de la relación de compresión normales estaban en 6:1 mientras ahora lo corriente es 10:1. Sin embargo, el motor de gasolina todavía tiene que esforzarse por mayores logros si quiere mejorar su rendimiento.

Este problema no afecta al motor Diesel. Al comprimir exclusivamente aire y no ser éste explosivo la relación de compresión solamente le presentara problemas estanqueidad y de las temperaturas más altas alcanzadas, pero queda limitada al diseño del motor. Por aquí encontramos la explicación inicial del porqué el motor diesel viene a consumir en igualdad de circunstancias al rededor de un 30% menos que el motor de gasolina.

También nos da una explicación previa, que estudiaremos con detalle mas adelante, del porqué la sobrealimentación es más fácil de llevar a cabo con el diesel que con el motor de explosión ya que en éste se aumenta la relación de compresión a poco que se aumente la presión de entrada de los gases lo que como hemos visto, presenta males mayores. No ocurre del mismo modo con el diesel en el que el mayor llenado de aire favorece el llenado y la combustión.

1.2. EL MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESION (DIESEL)

1.2.1. Características del motor

Aun sin pretender hacer mención a los orígenes y evolución del motor Diesel, no podemos evitar la cita histórica de un año 1897, y de un personaje, Rodolphe Diesel, que corresponden al año en que este parisino de nacimiento y alemán de formación, obtuvo los primeros resultados prácticos con un motor de combustión interna que usaba el gas-oil como combustible.

Desde que en los años treinta Mercedes equipó con ellos una pequeña serie de automóviles de turismo (el 260 D), este tipo de motores no ha cejado en su empeño de desmitificar la creencia de que el gas-oil era un combustible de clase inferior; un primer desmentido lo constituye el hecho de que un moderno motor Diesel es más sensible a la mala calidad del combustible que uno de explosión lo pueda ser a la gasolina.

Este tipo de motor de combustión interna (endotérmico) se encuentra en el grupo de los motores alternativos, constituyendo su principal diferencia el sistema de alimentación y la forma en que se realiza la combustión. Los elementos constitutivos del motor son muy similares a los de un motor de explosión aunque existen algunas diferencias constructivas muy específicas con el fin de dotar de mayor robustez todas aquellas partes del motor que soportan unas presiones de trabajo mucho más elevadas.

Así pues, la principal característica de un motor Diesel es la que motivó su creación y desarrollo: la obtención de un mayor rendimiento al del motor de gasolina, empleado para ello un combustible más pesado y una relación volumétrica de compresión mucho más elevada (entre 8:1 y 10:1 para gasolina y 14:1 y 23:1 para los modernos Diesel). En el motor Diesel, estas compresiones las posibilita el hecho de aspirar y comprimir únicamente aire, en lugar de una mezcla, que estallaría antes de llegar al final de la fase de compresión.

Como ya se ha apuntado, en el interior del cilindro comprimimos pues solamente aire. La relación volumétrica al final de la fase de compresión ha hecho que la presión de este aire comprimido sea ahora de entre 30 a 50 Kg./cm² y la temperatura haya rebasado los 600° C. En estas condiciones, debemos atender otra de las características del motor, o mejor dicho, del combustible que emplea, ya que el gas-oil se inflama, se enciende espontáneamente, a una temperatura de 280° C.

Si sumamos a todo lo anterior el hecho de contar con un sistema que nos introduzca a presión (inyección) el combustible a una elevada presión (de entre 100 y 250 Kg./cm²) en el seno de este aire comprimido, el combustible líquido penetrará en él en forma de chorro finamente pulverizado que se evaporará rápidamente al absorber calor de las elevadas temperaturas existentes en la cámara de combustión, se mezclará homogéneamente con el aire y combinándose con el oxígeno combustionará espontáneamente a medida que haya entrando en el interior de la cámara de combustión.

Se adivina ya desde aquí la necesidad de contar con un sistema capaz de crear las elevadas presiones de inyección, de dosificar y pulverizar el combustible y que este combustible esté exento de cualquier impureza que fuera susceptible de entorpecer el ajustado funcionamiento del sistema de

inyección donde las tolerancias son de hasta 40 veces menores que el diámetro de un cabello humano y donde para un motor de 4 cilindros la cadencia de inyección puede llegar a ser da hasta 150 veces por segundo.

1.2.2. Ciclos de funcionamiento del motor

Dentro del motor ocurren ciertos eventos que lo hacen funcionar. Estos se repiten para formar un ciclo. Un motor se puede diseñar para que su ciclo completo ocurra con cuatro o con dos carreras del pistón. La mayor parte de los motores Diesel funcionan con el ciclo de cuatro tiempos; los otros, con el ciclo de dos tiempos.

El ciclo completo del motor Diesel, sea con dos o con cuatro carreras del pistón, requiere comprimir el aire en el cilindro, inyectar el combustible, que ocurra la combustión, que se expandan los gases y produzcan presión contra el pistón y finalmente la expulsión de los gases quemados del cilindro. En los motores de cuatro tiempos, el aire entra al cilindro y los gases quemados salen de él mediante válvulas en la culata de cilindros. En los motores Diesel de dos tiempos se utilizan lumbreras en la pared del cilindro para hacer entrar aire al mismo. Las lumbreras quedan descubiertas y cubiertas por el movimiento ascendente del pistón para introducir aire en el cilindro. Los gases de escape salen del cilindro mediante válvulas igual que en los motores de cuatro tiempos.

1.2.2.1. Ciclos de cuatro tiempos

El motor Diesel de cuatro tiempos funciona con cuatro carreras de los pistones: admisión de aire, compresión, potencia y escape, que se ilustran en la figura 1.13. Las válvulas de admisión y de escape abren y cierran en momentos exactos en relación con el pistón. El árbol de levas, impulsado desde el cigüeñal abre y cierra las válvulas. Por razón de sencillez, en los siguientes párrafos se considerará que las válvulas abren y cierran PMS o en PMI. En realidad, no están sincronizadas para abrir y cerrar en esos puntos exactos sino que abren después de PMS o PMI para permitir la entrada de aire del exterior al cilindro y para el escape de los gases de combustión con mayor eficacia posible.

En la figura 1.13. se ilustra la secuencia de los cuatro tiempos de un motor Diesel que es como sigue:

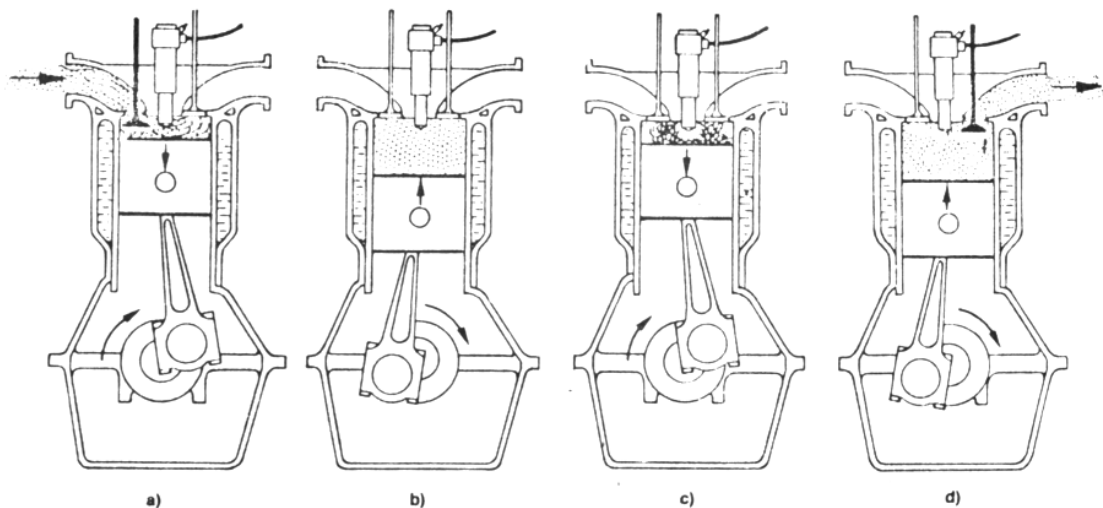


Figura 1.13. Ciclo de cuatro tiempos del motor diesel

Admisión de aire (carrera descendente). En la carrera de admisión de aire (o simplemente de admisión), la válvula de admisión está abierta y el pistón se mueve hacia abajo. El aire entra al cilindro por el orificio de la válvula de admisión. En PMI el cilindro estará lleno de aire.

Compresión (carrera ascendente). Después de que el pistón llega al PMI empieza a moverse hacia arriba. Cuando ocurre así, se cierra la válvula de admisión, la válvula de escape también está cerrada con lo cual el cilindro está hermético. Cuando el cigüeñal en rotación y la biela empujan el pistón hacia arriba, se comprime el aire. Para el momento en que el pistón llega al PMS, el aire ha sido comprimido a alrededor de 1/16 parte de su volumen original o quizá más todavía. La compresión del aire en el cilindro no sólo le aumenta su presión sino también su temperatura. El aire que hay en el pequeño espacio encima del pistón o sea la cámara de combustión, está lo bastante caliente para inflamar el combustible Diesel que se inyectará en él.

Potencia (carrera descendente). Justo antes del PMS se atomiza una pequeña cantidad de combustible desde el inyector hacia la cámara de combustión en el cilindro. El aire caliente en la cámara no solo forma una mezcla combustible con la atomización, sino que además se inflama. La combustión o el quemado ocurre con rapidez y aumenta la presión dentro del cilindro. Los gases calientes hacen presión contra el cilindro y el pistón, y proporcionan. Este movimiento retransfiere por medio de la biela al cigüeñal para hacerlo girar y que funcione el motor. Las dos válvulas permanecen cerradas durante la carrera de potencia, pero casi al final de ella se abre la válvula de escape.

Escape (carrera ascendente). Con la válvula de escape abierta y la válvula de admisión cerrada, el pistón se mueve hacia arriba en la carrera de escape para expulsar los gases quemados del cilindro por el orificio de la válvula de escape. Cuando el pistón llega al PMS, se cierra la válvula de escape.

Con esto concluyen los cuatro tiempos o carreras del ciclo. Cuando el motor sigue en marcha, se vuelve a abrir la válvula de admisión, lo cual permite la carrera descendente para volver a empezar el ciclo. La válvula de admisión abre ligeramente antes de que la válvula de escape cierre por completo; esto se llama traslape de válvulas y ayuda a expulsar o barrer los gases quemados del cilindro.

Como se mencionó, los motores Diesel son de ignición por compresión y usan relaciones de compresión muy elevadas para producir altas presiones de compresión en las cámaras de combustión y altas temperaturas, que producen la ignición o inflamación. Una de las leyes básicas de la ciencia (la ley de los gases) se relaciona con ello. En pocas palabras, la ley expresa que cualquier aumento en la presión en un cilindro ocasiona un aumento correspondiente en la temperatura. Una teoría sencilla para explicarlo es que el aire consiste de cierto número de moléculas o partículas diminutas que siempre están en movimiento. Cuando el pistón comprime el aire, las moléculas se acumulan en un espacio más pequeño; su movimiento continúa pero ahora chocan entre sí y contra las superficies metálicas de la cámara de combustión. La energía de estas moléculas en movimiento genera calor, con lo que aumenta la temperatura del aire hasta el grado que estará lo suficientemente caliente para inflamar el combustible.

1.3. MOTORES DE CILINDROS MÚLTIPLES

Un motor de un cilindro, de cuatro tiempos, sólo produce un impulso de potencia por cada dos revoluciones del cigüeñal y sólo produce potencia durante la cuarta parte del tiempo. Un motor similar, de dos tiempos, tiene una carrera de potencia cada revolución y, por tanto, produce potencia durante la mitad de tiempo. Además, se produce la máxima potencia al comienzo de la carrera de potencia y

disminuye hacia el final de ella. Para tener una potencia más uniforme, los motores se construyen con más de un cilindro. Las carreras de potencia pueden ocurrir en forma consecutiva y en los motores de seis o más cilindros, hay más de una carrera de potencia a la vez.

En la figura 1.14. se ilustra el efecto de las carreras de potencia en motores de cuatro, seis y ocho cilindros, con ciclo de cuatro tiempos y se muestra su traslape en motores de seis y de ocho cilindros. Cada diagrama representa dos revoluciones del cigüeñal o sea una rotación de 720° . Se verá que la carrera de potencia en el motor de cuatro cilindros ocurre cada 180° ; en el de seis cilindros cada 120° y en el de ocho cilindros cada 90° de rotación del cigüeñal. El volante del motor, montado en la parte trasera del cigüeñal ayuda a que el motor funcione con suavidad porque absorbe energía durante las carreras de potencia y la regresa durante las otras carreras para que continúe la rotación del cigüeñal.

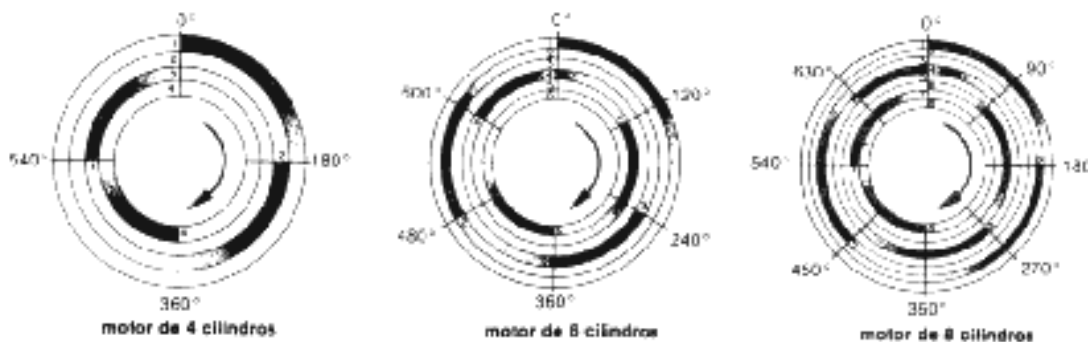


Figura 1.14. Impulsos de potencia

Los motores automotrices se describen de acuerdo con sus características de diseño y algunas de ellas son:

1. Número de cilindros.
2. Disposición de los cilindros.
3. Cilindrada total o volumen de los cilindros.
4. Ubicación del mecanismo de válvulas.
5. Tipo de enfriamiento.
6. Ciclo de funcionamiento.

7. Tipo de combustible utilizado.

Un ejemplo de especificaciones de un motor podría ser: seis cilindros, en línea, 5.8 litros, válvulas en la culata enfriado por líquido, diesel de cuatro tiempos.

1.3.1. Número de cilindros

En los motores Diesel varían mucho el tamaño y el número de cilindros. Puede ser desde un motor pequeño de un cilindro hasta motores grandes de 12 o más cilindros. En la mayor parte de las aplicaciones automotrices se emplean motores de 4, 5, 6, u 8 cilindros. Los motores de 4 y 5 cilindros se emplean en automóviles y en vehículos comerciales ligeros; los de 6 y 8 cilindros suelen ser para vehículos comerciales pesados. Los motores para equipo pesado de construcción pueden ser de 12 y 16 cilindros.

1.3.2. Disposición de los cilindros

Los motores Diesel se pueden construir con los cilindros dispuestos en línea, en ángulo (en V) u opuestos. Muchos motores de 4 y de 6 cilindros son del tipo en línea; hay otros que son en V. Casi todos los motores de 8 o más cilindros son de tipo V.

Para describir la posición de los cilindros del motor se utiliza el término “configuración del motor”, o sea su forma. La posición de los cilindros es la que determina la configuración.

La mayor parte de los motores en línea tienen los cilindros verticales; pero, a fin de reducir la altura de los motores que se montan debajo de la cabina o del vehículo, hay motores que tienen los cilindros inclinados. Otros motores son del tipo con cilindros horizontales o sea que el motor está “acostado”. Sin embargo, todos funcionan del mismo modo sin que importe la disposición de los cilindros.

1.3.3. Numeración de los cilindros

Los cilindros de los motores están numerados para su identificación. En los motores en línea la numeración suele ser consecutiva del frente hacia atrás.

En el motor en V se utilizan distintas numeraciones y cada fabricante tiene su método para numerarlos. En el motor V-8 ilustrado en la figura 1.15 el orden de numeración es alternado en un cilindro de cada banco, con los números nones en el banco izquierdo y los números pares en el lado derecho.

Se debe tener en cuenta que el lado izquierdo o derecho del motor se entiende al verlo desde su parte posterior o sea el lado del volante.

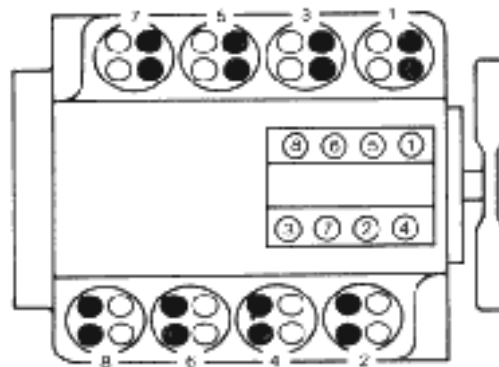


Figura 1.15. Método de numeración en un motor V8

En la figura 1.16 se ilustra otro motor V-8 en que cada banco de cilindros tiene numeración consecutiva. Los cilindros 1 a 4 están en el banco derecho y los cilindros 5 a 8 en el banco izquierdo, pero en otros motores se puede invertir este orden.

En otros motores en V, se emplea numeración separada en cada banco de cilindros. En este caso hay que mencionar si el cilindro es derecho o izquierdo, después de su número, por ejemplo, 3D y 3I para que no haya confusión.

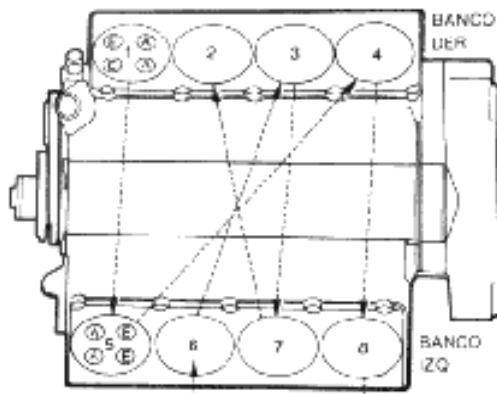


Figura 1.16. Numeración y orden de encendido de un motor V8

1.3.4. Orden de encendido

El orden de encendido, o sea el orden en que los pistones producen sus carreras de potencia, es parte del diseño del motor. Se determina con factores tales como la configuración del cigüeñal, la disposición de las levas en el árbol de levas para accionar las válvulas en el momento correcto y el arreglo de inyección de combustible para atomizarlo en un cilindro determinado en el momento preciso.

El orden en que ocurren las carreras de potencia se denomina “orden de encendido”, que también es el orden de inyección. En un motor de 4 cilindros en línea, numerados del frente hacia atrás hay dos posibles órdenes de encendido: 1-3-4-2-o 1-2-4-3.

En el motor de tres cilindros el orden es 1-2-3; en el de cinco cilindros, 1-2-4-5-3 y en el de seis cilindros en línea suele ser 1-5-3-6-2-4. se debe tener en cuenta que, excepto en el motor de tres cilindros en el cual no hay opciones, el orden de encendido de los cilindros está alternado. Si se cambia el orden de encendido del motor de tres cilindros a 1-3-2 no se alterna la secuencia, porque habrá encendido consecutivo en los cilindros 3-2-1.

El orden encendido de un motor V-8 se ilustra en la figura 2.16 y se emplean líneas discontinuas para indicar el orden, que es de 1-5-4-8-6-3-7-2 y debe corresponder al sistema particular de numeración de cilindros en un motor.

El motor de la figura 1.15 tiene un orden de encendido y método de numeración de cilindros totalmente distintos. El orden de encendido es 1-8-4-3-6-5-7-2.

1.3.5. Sentido de rotación del cigüeñal

El sentido normal o el más usual de rotación del cigüeñal es en el sentido de las manecillas del reloj cuando se ve el motor de frente o en sentido contrario de las manecillas del reloj cuando se ve desde la parte posterior o lado del volante. Los términos rotación derecha y rotación izquierda también se usan para algunos motores. La rotación derecha significa en el sentido de las manecillas del reloj y rotación izquierda en sentido contrario a las manecillas del reloj, cuando se ve desde el frente del motor.

Casi todos los motores tienen rotación izquierda (vista desde el lado del volante), que se considera dirección de rotación estándar, pero hay algunos para aplicaciones especiales que tienen rotación derecha al verlos desde el mismo sitio.

1.3.6. Cilindrada (capacidad cúbica)

En términos generales, es el tamaño del motor. La cilindrada es el volumen total de todos los cilindros, expresado en litros. Un motor Diesel pequeño para un automóvil o un vehículo comercial ligero podría ser de 2 litros; un camión grande tendría un motor de 8 litros.

A veces, se emplea también el término desplazamiento, o sea el volumen desplazado por los pistones cuando se mueven desde el PMS hasta el PMI (conocido también como el volumen de barrido).

1.3.7. Ubicación de las válvulas

Las válvulas de casi todos los motores Diesel están ubicadas en la culata (cabeza) y las acciona el árbol de levas instalado en el bloque de cilindros por medio de varillas de empuje y balancines. Esta disposición simplificada se ilustra en la figura 1.17.

Esta ubicación se llama de válvulas en la culata o cabeza (OHV por sus siglas en inglés). Esta denominación se empezó a utilizar porque los motores antiguos tenían las válvulas en el bloque y había que distinguir entre los dos tipos. Algunos motores Diesel tienen el árbol de levas montado en la culata (OHC por sus siglas en inglés).

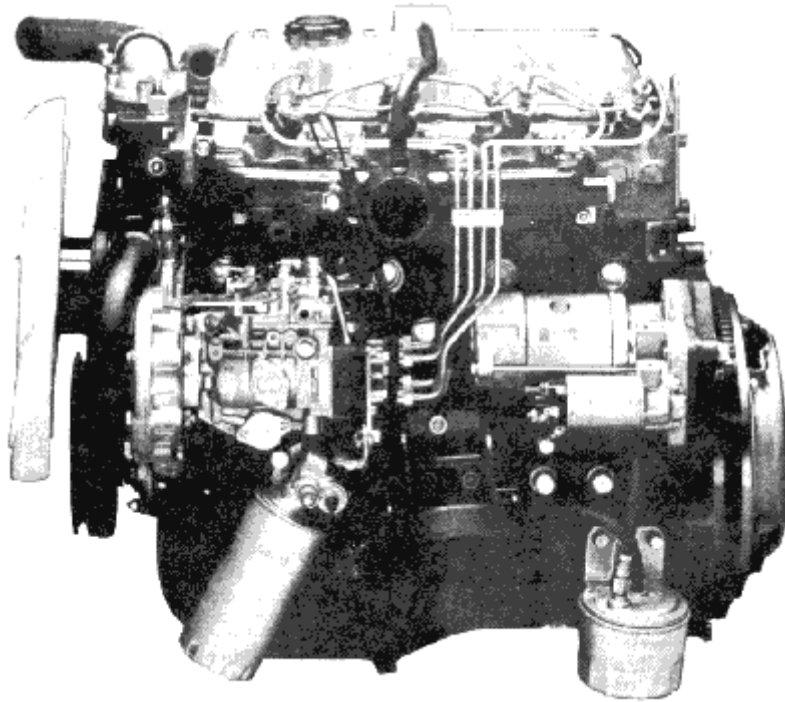


Figura 1.17. Motor Mazda con válvulas en la culata

1.3.8. Tipo de enfriamiento

Los motores pueden tener enfriamiento por líquido o enfriamiento por aire. Casi todos los Diesel son de enfriamiento por líquido, mediante camisas de agua en el bloque y culata de cilindros. Se hace circular agua o, agua con aditivos por las camisas para absorber el calor. Después pasa por el radiador en donde se enfría antes de recircularla en el motor.

En los motores enfriados por aire se utilizan aletas en los cilindros y culatas. Se utiliza un ventilador para producir una corriente de aire que pasa sobre y entre las aletas, para absorber el calor de las aletas y disiparlo a la atmósfera.

1.4. CLASIFICACION DE POTENCIAS NOMINALES Y RENDIMIENTO DEL MOTOR

Los fabricantes publican especificaciones del tamaño y rendimiento de sus motores. Incluyen dimensiones de los cilindros, potencia, torsión (par o fuerza torsional), consumo de combustible y otras especificaciones. Esa información puede ser en forma de tablas o de gráficas. Gran parte de esta información sólo se puede obtener después de una serie de pruebas durante las cuales se hacen diversas mediciones.

Para entender los diversos términos utilizados para los motores hay ciertas definiciones mecánicas básicas que se deben conocer primero. Cada una se refleja en otra, por lo cual se empezará por considerar la fuerza y luego, su significado, se puede emplear para entender el significado de trabajo, etc.

1.4.1. Fuerza

Existe una fuerza siempre que ocurre o tiende a ocurrir un movimiento. También existe una fuerza cuando ocurre cualquier cambio en el sentido o en la velocidad de un movimiento. Por tanto, los términos comunes, tracción y empuje, son en realidad fuerza de empuje o fuerza de tracción o arrastre.

Una breve definición de fuerza es: lo que cambia o tiende a cambiar el estado de movimiento de un objeto. Es decir, una fuerza puede tratar de iniciar el movimiento de un objeto o hacer que se mueva. También puede detener un objeto u ocasionar un cambio en su velocidad o dirección. La fuerza se expresa en newton (N).

1.4.2. Trabajo

Siempre que la fuerza se aplica a un objeto y hace que se mueva, se efectúa un trabajo. Por tanto, el trabajo es una combinación de la fuerza y de la distancia recorrida, es decir, newton (fuerza) multiplicados por metros (distancia recorrida) para dar el resultado de newton metro (N.m). Un newton metro de trabajo se denomina un joules (J). por tanto, la cantidad de trabajo se puede expresar en joules.

1.4.3. Potencia

La potencia es la velocidad a la cual se efectúa el trabajo. Esto agrega la unidad de tiempo además de la unidad de trabajo (joule). La potencia se expresa en watts (W). Un watt es un joule (de trabajo) en un segundo. Si se relaciona esto con las unidades ya descritas, entonces un watt es igual a la fuerza de un newton movido una distancia de un metro en un segundo. Una unidad más grande para la potencia es el kilowatt (Kw.). La potencia de los motores se expresa en kilowatts.

1.4.4. Caballaje

Una unidad más grande de potencia que antes se utilizaba para indicar la potencia de los motores es el caballo de fuerza inglés (horsepower), que equivale a 746 watts (unidades de potencia). Su nombre se deriva de la fuerza de un caballo y se originó cuando se hicieron comparaciones entre la cantidad de trabajo que podían efectuar las máquinas recién perfeccionadas en esos días y los caballos, que eran la fuente normal de potencia.

1.4.5. Energía

Es la capacidad o habilidad para efectuar trabajo. La energía se expresa con las mismas unidades que el trabajo, es decir joules, pues se puede considerar como trabajo almacenado.

1.4.6. Torsión (par)

La torsión (par) es una fuerza de torsión o rotación, que es igual a la fuerza multiplicada por la distancia perpendicular hasta el punto de rotación. Se expresa en newton metro (N.m). La torsión de un motor es el esfuerzo o fuerza de torsión que se puede producir el motor.

1.4.7. Diámetro y carrera

El tamaño del cilindro de un motor se expresa como diámetro del cilindro y la carrera del pistón, la cual es la distancia que recorre el pistón desde el PMS (punto muerto superior) hasta el PMI (punto muerto inferior, figura 1.18). Por lo general, siempre se cita primero el diámetro. Por ejemplo, un cilindro puede tener un diámetro de 100mm y una carrera de 125mm. Estas dimensiones se utilizan para determinar el desplazamiento del pistón o cilindrada.

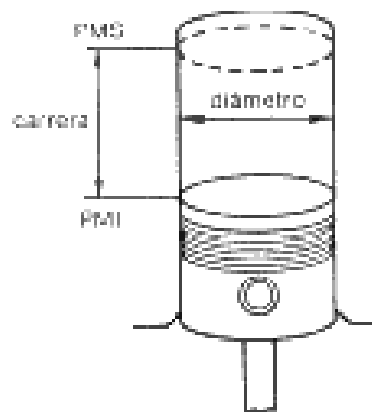


Figura 1.18. Diámetro y carrera del cilindro

1.4.7.1. Desplazamiento del pistón (cilindrada)

El desplazamiento del pistón es el volumen que desplaza el pistón cuando se mueve desde el PMI hasta el PMS. La cilindrada del

cilindro de la figura 1.18, por ejemplo, sería el volumen de un cilindro de 100mm de diámetro y de 125mm de longitud, o sea:
 $r^2 \times l = 3.142 \times 50 \times 50 \times 125 = 981\,875\text{mm}^3$ o 982cm^3 (aprox.)

Si ese motor tiene seis cilindros, el desplazamiento o cilindrada total sería 6×982 centímetros cúbicos o sea $5\,892$ centímetros cúbicos.

1.4.7.2. Capacidad del motor

La cilindrada total o desplazamiento total del pistón también se denomina capacidad del motor. Cuando el diámetro y la carrera se expresan en milímetro, la capacidad del motor se expresa en litros. Por ejemplo, el motor de seis cilindros citado tiene una capacidad total de aproximadamente 5.9 litros.

Nota: un milímetro ocupa un volumen de un centímetro cúbico y un litro tiene 1000 mililitros.

En el sistema métrico se utilizan los mililitros y los litros para la capacidad del motor, porque estas unidades se emplean para la medición de todos los fluidos (líquidos y gases), y son la capacidad de gas en el cilindro de que se trata. Antes de la adopción del sistema métrico, la capacidad del motor se expresaba en pulgadas cúbicas o en centímetros cúbicos.

1.4.8. Relación de compresión

La relación de compresión de un motor Diesel es la medición de cuánto se comprime el aire dentro de los cilindros. Para calcularla, se divide el volumen total de aire en un cilindro (y su cámara de combustión) con el pistón en PMI entre el volumen de aire con el pistón en PMS (fig. 1.19).

Nota: el volumen del aire con el pistón en PMS se llama volumen de

despejo o libre, porque es el espacio libre que queda encima del pistón cuando está en el PMS.

Por ejemplo, un cilindro y su cámara total de 600 cm^3 en PMI (A, fig. 1.19). Tiene un volumen libre de 40 cm^3 (B, fig. 1.19). Por tanto la relación de compresión es 600 dividida entre 40, es decir, 15:1. En otras palabras, durante la carrera de compresión se comprime el aire desde un volumen de 600 cm^3 hasta 40 cm^3 o sea $1/15$ parte de su volumen original.

El volumen de desplazamiento real del pistón es el volumen del aire desplazado o barrido dentro del cilindro por la acción del pistón cuando se mueve en su carrera descendente. Entonces, el volumen total en el cilindro es igual al volumen de desplazamiento o barrido más el volumen de despejo o libre.

La relación de compresión se puede expresar como:

$$\frac{\text{Volumen desplazado} + \text{volumen libre}}{\text{Volumen libre}}$$

Volumen libre

Esto es lo mismo que:

$$\frac{\text{Volumen total}}{\text{Volumen libre}}$$

Volumen libre

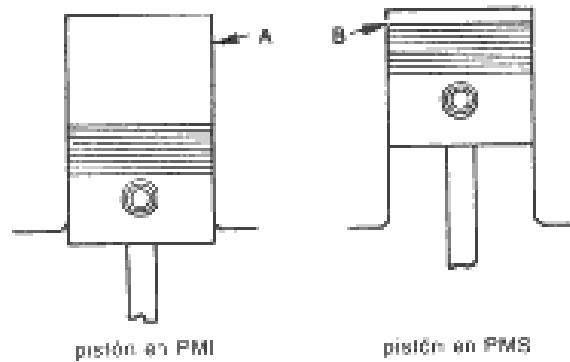


Figura 1.19. Relación de compresión

1.4.9. Potencia del motor

La potencia que produce un motor se mide en kilowatts (Kw.). Si un motor está clasificado en 100 Kw., significa que puede producir esa potencia a determinadas rpm con el acelerador totalmente abierto. Los fabricantes clasifican sus motores a los Kw. máximos que pueden producir.

La potencia de un motor también se puede expresar en caballos de fuerza ingleses (hp) o en caballos de fuerza al freno ingleses (bhp). Originalmente, se utilizaba en motores de baja velocidad un freno especial para aplicar carga al motor durante las pruebas; de ahí el término “al freno”.

1.4.9.1. Dinamómetro

Los motores se conectan a un dinamómetro para probarlos. Puede ser un dinamómetro de agua, que es un tipo de bomba de agua que se puede ajustar para aplicar diversas cargas al motor o también un dinamómetro eléctrico, que es una dínamo grande para aplicar carga al motor. Cualquiera que sea el tipo utilizado, se utilizan instrumentos para medir las rpm y la carga en el motor en las condiciones de prueba, de manera que se pueda determinar la potencia producida en Kw. O en bhp. También se puede medir el consumo específico de combustible con instrumentos adicionales.

1.4.9.2. Torsión (par) del motor

La torsión (par) es el esfuerzo de rotación. Cuando el pistón se mueve hacia abajo en la carrera de potencia, aplica torsión al cigüeñal por medio de la biela. Cuando mayor sea la fuerza contra el pistón, mayor será la torsión aplicada. Entonces, cuando más altas sean las presiones de combustión, mayor será la cantidad de torsión (fig. 1.20).

Se suele utilizar el dinamómetro para determinar la torsión, junto con la potencia del motor.

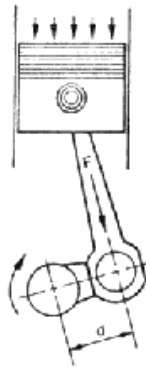


Figura 1.20. Par motor

1.4.9.3. Relación peso-potencia

Es la relación entre la masa del motor y la potencia que produce. Por ejemplo si un motor tiene una masa de 450 Kg. y su potencia máxima nominal es de 75 Kw. Entonces la relación peso-potencia es de 75 Kw . Entonces la relación peso-potencia es de $450:75 = 6.1$, que representa 6 Kg. por Kw.

1.4.9.4. Fricción

La fricción en un motor queda referida en términos de pérdida de potencia por fricción. Esta expresión significa la cantidad de potencia que se utiliza en el motor para vencer la fricción.

1.4.9.5. Potencia indicada

El motor también se puede evaluar en términos de la potencia indicada; ésta se basa en la potencia real producida en los cilindros del motor por el proceso de combustión y es la salida de potencia del motor. Se requiere un osciloscopio, que es un indicador especial. Se utiliza en el laboratorio y sirve para medir la presión en forma continua en las cuatro carreras del pistón (admisión, compresión, potencia y escape).

Parte de la potencia producida en los cilindros del motor se pierde para vencer la fricción interna. Por tanto, la potencia indicada siempre es mayor que la potencia nominal o real que da el motor.

1.4.10. Relaciones de la potencia del motor

La potencia de salida es la que entrega el motor en el volante; la potencia indicada es la que se produce en el motor y la pérdida de potencia por fricción es la potencia que se usa en el motor para vencer la fricción. La relación entre las tres es: potencia de salida = potencia indicada – pérdidas por fricción. Es decir, la potencia de salida o entregada por el motor es igual a la potencia producida menos la potencia perdida por la fricción.

1.4.11. Eficiencia del motor

El término eficiencia significa la relación entre el esfuerzo ejercido y los resultados obtenidos. La eficiencia, aplicada a los motores, es la relación entre la potencia de salida o entregada y la que se podría lograr si el motor funcionase sin ninguna pérdida de potencia. La eficiencia del motor se puede calcular en dos formas: como eficiencia mecánica y como eficiencia térmica.

1.4.11.1. Eficiencia mecánica

Es la relación entre la potencia de salida y la potencia indicada:

$$\text{Eficiencia mecánica} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia indicada}} \times 100\%$$

Ejemplo: a una cierta velocidad, la potencia de salida de un motor es de 105Kw. Y la potencia indicada (llamada a veces potencia de entrada) es de 125 Kw. Entonces, la eficiencia mecánica es de $105/125 \times 100 = 84\%$. Es decir, que el motor da salida al 84% $\times 100 = 84\%$. Es decir, que el motor da salida al 84% de la potencia producida en los cilindros. El 16% restante, o sean 20 Kw. Se pierden para vencer la fricción dentro del motor.

1.4.11.2. Eficiencia térmica

La eficiencia térmica del motor es la relación entre la potencia de salida y la energía del combustible quemado para producir esa salida.

Parte del calor producido en el proceso de combustión se disipa en el sistema de enfriamiento. También se pierde algo en los gases de escape porque todavía están muy calientes cuando salen del cilindro, estas son pérdidas térmicas (de calor) que reducen la eficiencia térmica del motor y no le aumentan su potencia de salida. El resto del calor, hace que los gases se expandan y produzcan alta presión, empujan al pistón para que se mueva a fin de producir potencia en el motor.

1.4.11.3. Eficiencia total

El combustible que entra al motor tiene cierto contenido de energía, es decir, cierta capacidad para producir trabajo. En cada paso en el proceso, desde quemar el combustible en los cilindros hasta impulsar un vehículo a lo largo del camino o para otro trabajo útil, se pierde energía. En la figura 1.21, se ilustran estas pérdidas. En el ejemplo presentado, solo el 25% de la energía del

combustible que entra al motor está disponible como energía utilizable. Esta energía se emplea para vencer la fricción en el tren propulsor, la resistencia a la rotación y la resistencia del aire cuando se impulsa al vehículo.

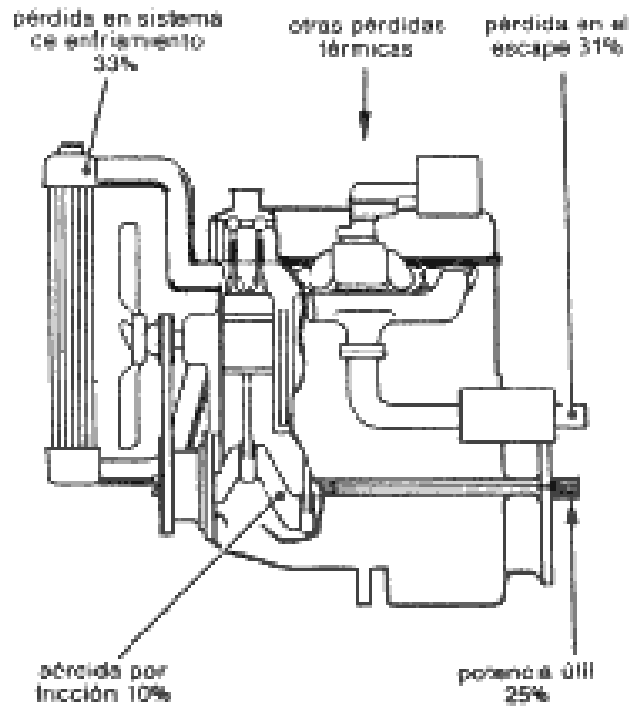


Figura 1.21. Pérdidas de energía

1.4.11.4. Eficiencia volumétrica

La eficiencia volumétrica se relaciona con la cantidad de aire que entra al cilindro durante la carrera de admisión del pistón. Para tener 100% de eficiencia volumétrica, habría que llenar por completo el cilindro con aire a presión atmosférica, cosa que no ocurre en la práctica. Siempre hay algo de restricción en el sistema de admisión de aire que produce la eficiencia volumétrica. A altas velocidades del motor se reduce el tiempo disponible para que los cilindros se llenen con aire y disminuye la eficiencia volumétrica.

En un motor de aspiración natural, que depende de la acción de bombeo de los pistones para llenar los cilindros con aire, su eficiencia volumétrica es mucho menor que en un motor con soplador o con turbo cargador; estos hacen entrar más aire a cierta presión a los cilindros para aumentar la eficiencia volumétrica del motor.

1.4.12. Clasificaciones de potencia

El método para clasificar la potencia de los motores varía en diferentes países. En los países de habla inglesa se ha utilizado un grupo de estándar de condiciones para prueba, establecidas por la Society of Automotive Engineers (SAE) y se denominan clasificaciones SAE.

En Gran Bretaña se especifican condiciones estándar de prueba para los motores, que se conocen como British Standard.

Las pruebas dan clasificaciones BS. Los motores de origen alemán se clasifican de acuerdo con las condiciones establecidas en Deutsche Industrie Normen (Normas Industriales Alemanas) o DIN. La potencia de esos motores se expresa en valores DIN.

En la práctica, los resultados de las pruebas en diferentes países pueden variar pues todavía no hay un grupo de condiciones estándar para prueba de empleo universal.

En algunas pruebas, hay que instalar todos los accesorios del motor; en otras pruebas sólo se instalan algunos accesorios. Por ello, es difícil establecer una comparación exacta entre las pruebas efectuadas en diferentes países.

En Gran Bretaña y Estados Unidos, en que todavía emplean medidas inglesas, la potencia de un motor se clasifica en caballos de fuerza (horsepower o hp) y la torsión en libras fuerza por pie (lbf.ft).

En otros países, incluso Australia, se utilizan las mediciones en el SI. En este sistema la potencia del motor se expresa en kilowatts (Kw.) y la torsión (par) en newton por metro (N.m).

Los motores probados de acuerdo con las normas DIN se pueden clasificar en unidades SI o se les clasifica su potencia en PS (abreviatura de Pferderstarke, que significa caballo de fuerza) y que no es unidad del SI, sino que está basada en el kilopond. Un PS es igual a 0.736 Kw. La torsión, a veces, se expresa en kilogramos fuerza por metro (Kgf.m).

1.4.13. Curvas de rendimiento del motor

En la figura 1.22, aparecen las curvas de potencia y torsión de un motor. Muchos fabricantes publican estas gráficas para sus motores. La curva ilustrada se aplicaría a un solo motor, pues los diferentes motores tienen curvas distintas. Los picos pueden ser a velocidad (rpm) más altas o más bajas y la relación quizá sea la indicada.

1.4.13.1. Curva de torsión par

La curva de torsión tiene escalas para newton por metro y libras fuerza por pie. Se puede ver que la torsión varía según la velocidad del motor. De acuerdo con la gráfica la torsión máxima que produce este motor es de 408 N.m a 1 600 rpm y es el punto en que el motor produce su máximo esfuerzo de rotación y sería la velocidad más económica a la que funcionaría el motor. Sin embargo, hay poca variación en la torsión entre 1400 rpm y 1800 rpm, lo cual sería el intervalo más económico para funcionamiento.

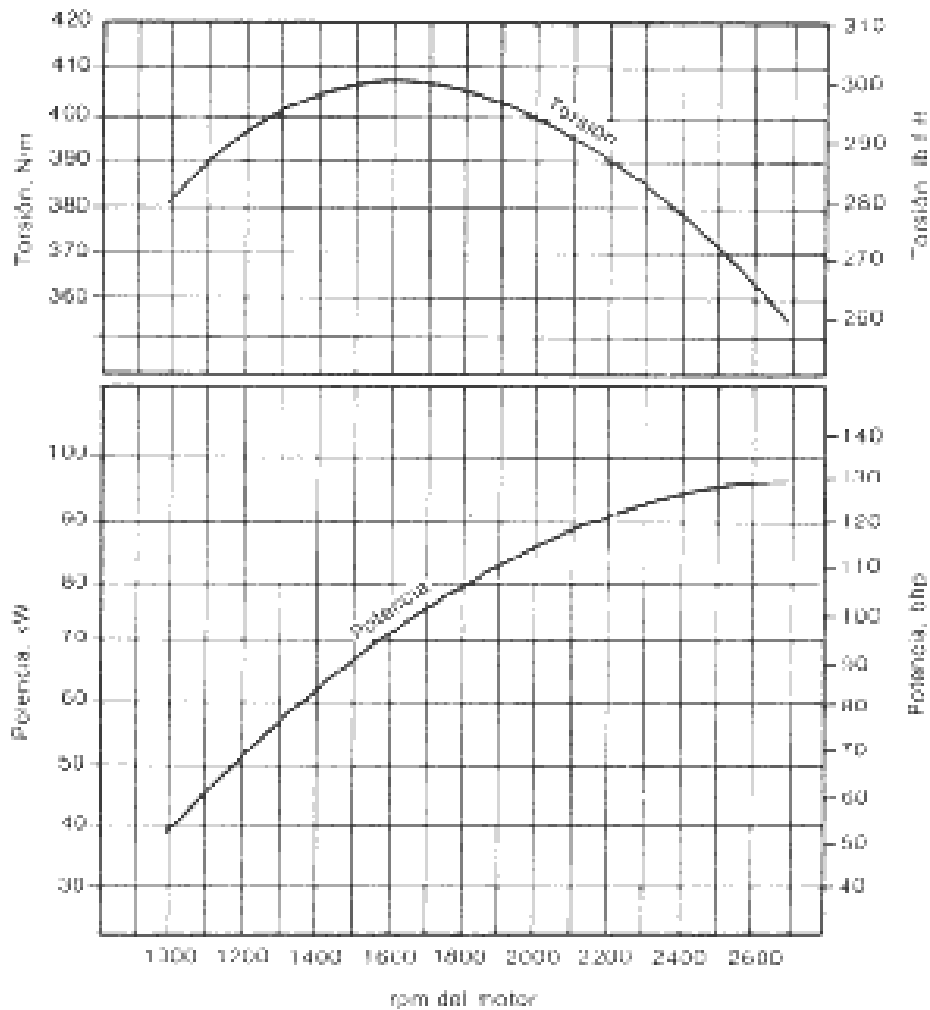


Figura 1.22. Curvas de potencia y torsión

1.5. POTENCIAS Y ESPECIFICACIONES DEL MOTOR.

La forma de la curva de torsión se determina por el diseño del motor. Hasta determinada velocidad, aumenta la torsión, pero luego se reduce a velocidades más altas y cae la eficiencia volumétrica. La forma de la curva está relacionada con una serie de factores que incluyen la cantidad de combustible suministrada a los inyectores, la respiración del motor y la turbo alimentación.

1.5.1. Aumento de la torsión

El aumento de la torsión es la subida de su curva que ocurre cuando el motor está sometido a carga y la velocidad cae a menos de las rpm nominales o gobernadas, con todo el acelerador abierto. En pocas palabras, es la diferencia entre la torsión máxima y la torsión producida a las rpm nominales o gobernadas (rpm máximas permisibles para ese motor particular).

La torsión máxima ocurre a alrededor de 60 a 75% de las rpm nominales o gobernadas.

1.5.2. Curva de potencia

La curva de potencia de un motor aumenta en forma continua con la velocidad hasta que se llega a una velocidad alta y entonces tiende a aplanarse. Las velocidades más altas que las ilustradas harán que caiga la curva, lo cual se debe a una torsión reducida a velocidades altas.

En la curva de potencia se muestra que el motor produce 97 Kw. A 2700 rpm, que serían la potencia nominal y velocidad máximas del motor. En la escala de caballaje se leerían 130 bhp. A velocidades más bajas se producirían menos potencia, por ejemplo, a 1600 rpm la potencia es 70 Kw.

1.5.3. Velocidad nominal (gobernada)

También se denomina velocidad máxima del motor y es el límite que permite el fabricante del motor. El gobernador (regulador) del motor se ajusta para no exceder de esa velocidad en condiciones normales.

Se pueden especificar diferentes velocidades nominales o gobernadas para distintas aplicaciones del motor. Por ejemplo, la velocidad continua, cuando el motor trabaja con carga constante, sería menor que en un vehículo en el cual las cargas son variables. Al reducir la velocidad nominal disminuye la potencia máxima del motor y, por tanto, las cargas

en diversas piezas del motor que, si estuvieran aplicadas en forma continua, disminuirían su duración.

1.5.4. Despotenciación por altitud

Cuando los motores de aspiración natural trabajan a grandes altitudes, se reduce la entrega máxima de combustible a fin de despotenciarlos. El aire a grandes altitudes es menos denso que al nivel del mar y no tiene suficiente oxígeno para la combustión completa del combustible inyectado en los cilindros. Al despotenciar, se reduce la potencia máxima pero se evitan el humo negro en el escape y la formación de carbón en las cámaras de combustión.

1.5.5. Fuerza de arrastre

Muchos fabricantes de tractores especifican su fuerza de arrastre. Esto es importante cuando se van a arrastrar implementos; la fuerza de arrastre del tractor es una información interesante para el posible comprador. Esta fuerza se expresa en newton o en kilo newton. Un tractor típico puede tener una fuerza de, por ejemplo, 16000 newton o 16 kilo newton (KN). No incluye unidades de tiempo o distancia, sino sólo la fuerza máxima de arrastre que puede ejercer el tractor. En unidades inglesas, la fuerza se indica en libras fuerza.

1.5.6. Potencia en la barra de tiro

Es la potencia del tractor medida en la barra de tiro en la cual se enganchan los implementos que va a arrastrar. No incluye la potencia para impulsar el tractor, por lo cual la potencia en la barra de tiro es la disponible para trabajo en la parte trasera del tractor.

La potencia en la barra de tiro y la potencia del motor de un tractor determinado serán diferentes; esto se debe a la potencia que se emplea en la transmisión y otras piezas entre el volante del motor y las ruedas traseras. La resistencia a la rotación de los neumáticos (llantas) contra el

piso también consume algo de potencia. La potencia en la barra de tiro se puede encontrar si se conocen la fuerza de arrastre y la velocidad del tractor.

Si el tractor tiene una fuerza de arrastre de 16000 newton y una velocidad de avance de 7.2 kilómetros por hora, entonces la potencia en la barra de tiro sería como sigue:

Fuerza = 16000 newton (N)

Distancia por hora = 7.2 kilómetros
= 7200 metros

Trabajo (joules)

Efectuado por hora = fuerza x distancia por hora
= 16000 x 7200

Potencia (watts) = joules por segundo = $\frac{16000 \times 7200}{3600}$
= 32000 watts (W)

Esta es la potencia de un tractor que trabaje en esas condiciones.

1.5.7. Especificaciones del motor

El tipo de datos técnicos básicos que suministra el fabricante de motores es similar al ejemplo siguiente:

Diámetro	101 mm.
Carrera	127 mm.
Desplazamiento	6.10 l
Nº De cilindros	6
Disposición de cilindros	verticales, en línea
Ciclo	4 tiempos
Relación de compresión	16:1
Sistema de combustión	inyección directa
Orden de encendido	1-5-3-6-2-4

Potencia clasificada (Kw.)	92 a 2500 rpm
Rotación	derecha, vista de frente
Forma básica de roscas	unificada
Peso en seco	523 Kg.
Dimensiones totales:	
Altura	800 mm.
Longitud	937 mm.
Anchura	630 mm.

1.6. CÁMARAS DE COMBUSTION

Las cámaras de combustión desempeñan una función crítica en el funcionamiento de un motor Diesel y por esa razón se han efectuado muchas investigaciones para ayudar al perfeccionamiento de cámaras de combustión más eficientes. El resultado ha sido una gran variedad de diseños de cámara de combustión.

La cámara de combustión en un motor Diesel es el espacio dentro del cual el inyector atomiza el combustible. Incluye un espacio formado por la corona del pistón o dentro de ella así como parte de la culata de cilindros. Para tener la certeza de que se quema todo el combustible atomizado, se emplean distintos tipos de cámaras de combustión en diferentes motores. Cualquiera que sea el sistema, la cámara debe ser adecuada para:

1. Producir las elevadas presiones de compresión requeridas para ocasionar las altas temperaturas necesarias para la inflamación o ignición.
2. Hacer que el combustible inyectado se mezcle por completo con el aire en la cámara de combustión para obtener combustión completa y máxima potencia del combustible.

Hay dos tipos básicos de cámaras de combustión: las de inyección directa y las de inyección indirecta. La diferencia básica entre estas cámaras de combustión se puede ver en la figura 1.23. La cámara para inyección directa, a), tiene culata de cilindros con superficie plana y la cámara está formada por una cavidad en la parte superior del pistón. La cámara para inyección indirecta b), puede ser con un pistón casi plano o un pistón con una cavidad de poco fondo. La cámara principal de combustión está formada entre la parte superior del pistón y la culata de cilindros, pero también hay una cámara separada más pequeña, en la culata, en la cual se inyecta el combustible.

La inyección directa se utiliza en los motores grandes de dos y de cuatro tiempos; la inyección indirecta se suele emplear en motores pequeños de cuatro tiempos.

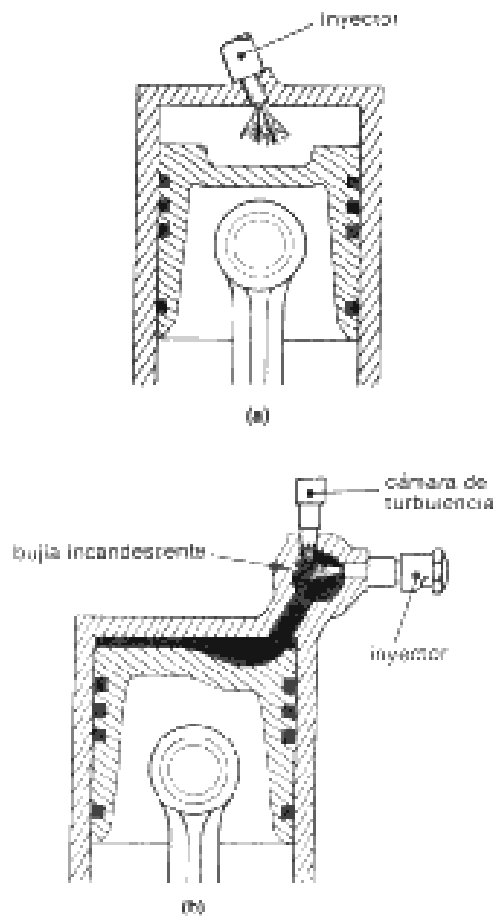


Figura 1.23. Cámaras de: a) inyección directa, b) inyección indirecta

1.6.1. Inyección directa

El combustible se inyecta directamente en la cámara de combustión, la cual es una cavidad en la cabeza del pistón. Hay muy poca holgura entre la parte superior del pistón y la cabeza del pistón en el PMS, con lo que el aire se comprime en el cilindro se desvía de la superficie externa de la cabeza del pistón hacia la cámara de combustión en él dentro del pistón. Esto aumenta la turbulencia y mejora la mezcla del aire con las partículas de combustible atomizado por el inyector.

Los sistemas de inyección directa también se llaman de cámara abierta. La cámara de combustión en la cabeza del pistón puede ser cilíndrica o hemisférica, cóncava o toroidal (fig. 1.24). (la cámara toroidal es anular y de sección circular). Los inyectores tienen diferentes patrones de atomización según sea la cámara de combustión con la cual se utilicen.

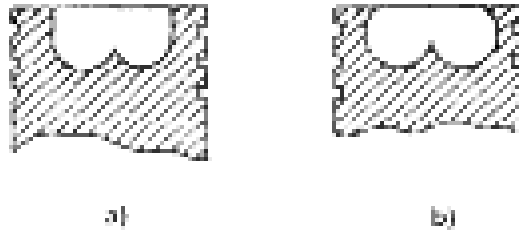


Figura 1.24. Cabezas de pistones: a) cilíndrica y b) toroidal

Para mejorar la turbulencia del aire de admisión, los orificios de admisión en un motor de cuatro tiempos pueden estar “apuntados” de modo que produzcan turbulencia. La válvula de admisión también puede tener un desviador o tolva en un lado de la cabeza para dirigir el aire de entrada. Para que el desviador este siempre en su lugar, la válvula no puede girar. Esta disposición se ilustra en la figura 1.25.

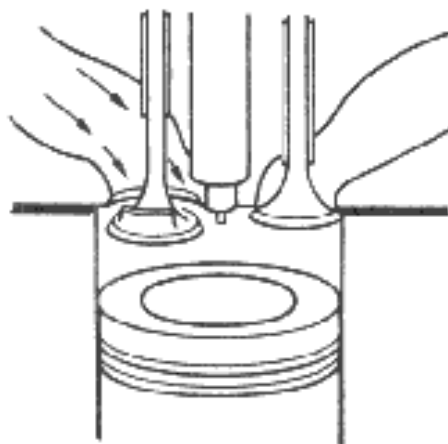


Figura 1.25. Válvula con desviador

1.6.2. Inyección indirecta

En este sistema la inyección de combustible atomizado no es directamente en la cámara principal de combustión. En su lugar, el combustible se inyecta en una pequeña cámara separada en la cual ocurre la inflamación o ignición. La cámara pequeña está conectada con la cámara principal de modo que una vez que se inicia la

combustión en la pequeña, avanza de inmediato a la cámara principal. La finalidad de la cámara separada es el iniciar y mejorar la combustión en la cámara principal.

Se utilizan diversos diseños de cámaras de combustión, que se llaman cámaras de turbulencia, celdas de aire y cámaras de precombustión. Cualquiera que sea su nombre particular, todas tienen la misma función: crear turbulencia dentro de la cámara de combustión para asegurar la combustión completa de todo el combustible que se inyecta en la cámara.

1.6.3. Cámara de turbulencia

En la figura 1.26 b) se ilustra una cámara de turbulencia colocada en la culata de cilindros. Esta cámara de forma esférica está conectada con la cámara principal por un conducto tangencial. En aire comprimido durante la carrera de compresión penetra a la cámara de turbulencia y la configuración esférica induce a una turbulencia rápida del aire.

Cuando se atomiza el combustible en la cámara de turbulencia, ocurre la combustión, la cual ocasiona una expansión muy rápida que obliga a los gases a pasar por el conducto tangencial hasta la cámara principal en donde continúa la combustión. La cabeza del pistón puede estar configurada para ayudar en la acción de turbulencia, cuya finalidad es asegurar que todas las gotitas de combustible hagan contacto con el aire y reciban el oxígeno necesario para la combustión. Se requiere la mezcla correcta de aire-combustible para lograr combustión completa.

La bujía incandescente o bujía de calentamiento se utiliza para precalentar el aire en la cámara de turbulencia y ayudar a poner en marcha (arrancar) el motor cuando hace mucho frío. Las bujías incandescentes se utilizan en los motores de inyección indirecta para compensar la pérdida de calor del aire comprimido en el cilindro hacia las partes metálicas frías de la cámara de combustión durante el arranque (véase también fig. 1.27).

1.6.3.1. Diseño de la cámara de turbulencia

En la figura 1.26 se ilustra una parte de la culata de cilindros de un motor Volkswagen Diesel. En a) se muestra la disposición de la cámara de turbulencia, el inyector y el tapón incandescente. La cámara de turbulencia está introducida en la culata y se impide su rotación mediante un balín en una ranura. El inyector y el tapón incandescente se atornillan en la culata.

La acción de la cámara de turbulencia se ilustra en b). Durante la carrera de compresión se produce turbulencia en el aire, como se ilustra, originada por la forma de la cámara de turbulencia y la ubicación del orificio para inflamación. Los rebajos en la cabeza del pistón son para ayudar al flujo y a la turbulencia del aire.

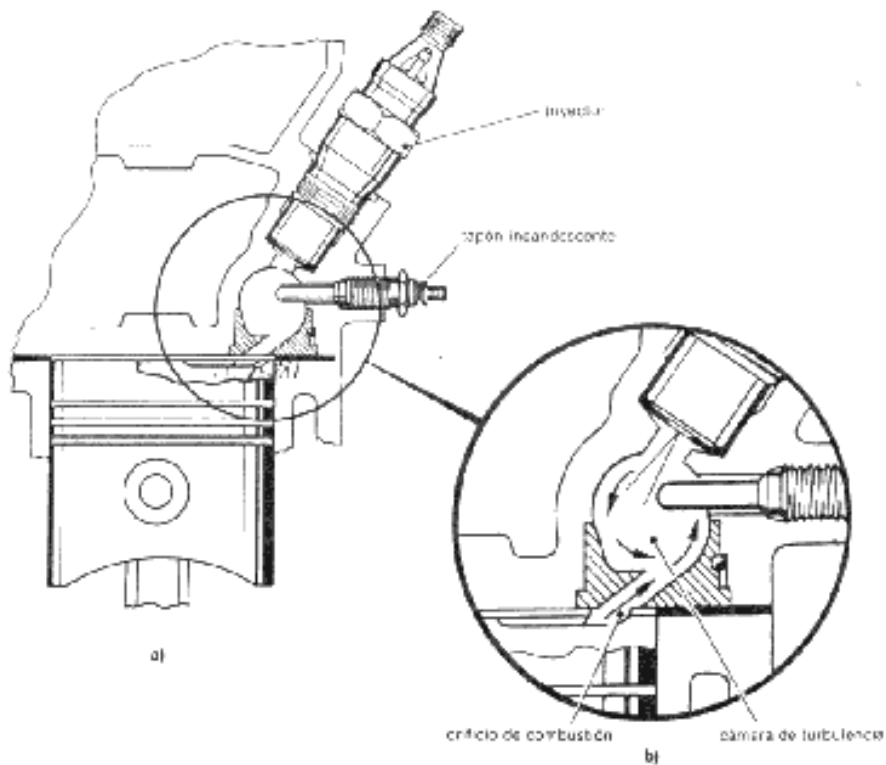


Figura 1.26. Cámara de turbulencia

1.6.3.2. Celda de aire

En la figura 1.27 se ilustra una celda de aire. La cámara de combustión está dividida en una cámara principal y una celda de aire que están conectadas por una garganta. Durante la carrera de compresión se comprime el aire en la celda. El inyector está instalado en la garganta.

Cuando empieza la inyección, la presión de la combustión obliga al aire a salir de la celda de aire en donde se mezcla con el combustible atomizado por el inyector. El movimiento rápido del aire desde la celda produce un movimiento rotatorio de los gases en la cámara principal, que ayuda a una combustión eficiente.

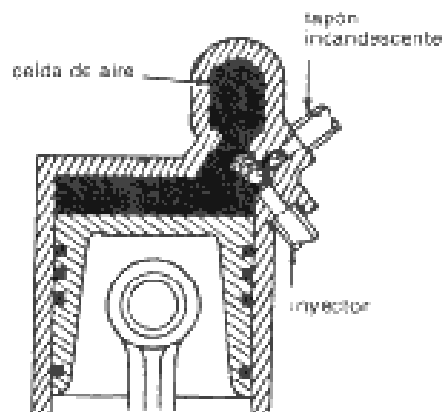


Figura 1.27. Celda de aire

1.6.4. Cámara de precombustión

En la cabeza del pistón de la figura 1.28 hay una cámara de precombustión atornillada en la culata de cilindros. El inyector está montado en el extremo superior de la cámara de precombustión

La inyección ocurre casi al final de la cámara de compresión. Debido a la cantidad limitada de aire en la cámara de precombustión, sólo se inflama una parte del combustible, pero el gran aumento en la presión obliga al combustible inflamado a moverse hacia la cámara principal en donde continúa la combustión. El movimiento rápido de los gases hace que el combustible y el aire se mezclen y produzcan mejor combustión.

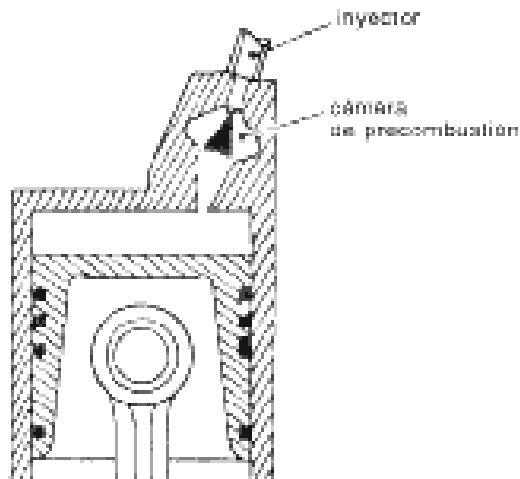


Figura 1.28. Cámara de precombustión

1.6.4.1. Diseño de la cámara de precombustión

En la figura 1.29 se ilustra una cámara de precombustión del tipo utilizado en los automóviles Mercedes. La cámara incluye una bola o esfera difusora en la parte superior de ella y agujeros para combustión en el extremo de la cámara que sobresale en la cámara principal de combustión.

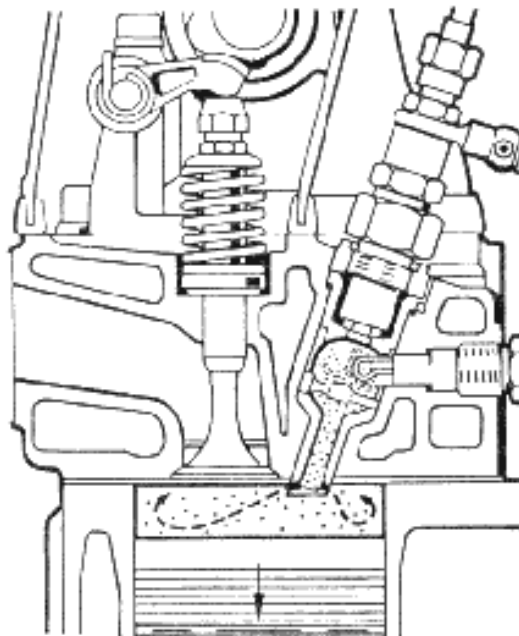


Figura 1.29. Cámara de precombustión

Cuando se inyecta el combustible en la cámara de precombustión, se lo dirige hacia la bola difusora (fig. 1.30). con esto se dispersa

más el combustible y se vuelve una nebulización muy fina que mejora el proceso de combustión: la combustión avanza por los agujeros para combustión hacia la cámara principal y allí continúa.

La corona del pistón tiene una cavidad para dejar espacio para el extremo de la cámara de precombustión. También tiene rebajos para obligar a los gases a formar turbulencia en la cámara principal de combustión.

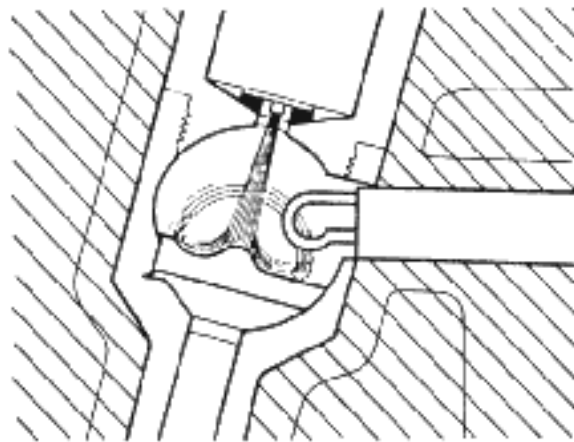


Figura 1.30. Inyección en la cámara de precombustión

1.6.5. Combustión en dos etapas

En la figura 1.31, se ilustra la acción de una cámara de precombustión o de turbulencia utilizada en algunos motores Deutz; esta acción se llama combustión en dos etapas. El sistema consta de una cámara de turbulencia en la culata de cilindros y espacios gemelos para combustión con turbulencia en la corona del pistón.

El combustible se inyecta en la cámara de turbulencia que está caliente y contiene sólo alrededor del 50% del aire disponible; por tanto, la precombustión ocurre en condiciones de escasez de aire. La presión en la cámara de precombustión obliga a los gases quemados en forma parcial a pasar a los espacios gemelos para combustión por turbulencia en la corona

del pistón y la combustión continua, ahora con un exceso de aire, hasta que se quema todo el combustible.

El proceso de dos etapas prolonga el tiempo de combustión. Esto combinado con la mezcla intensa de aire y combustible por la turbulencia creada en los espacios para combustión, sirve para mejorarla. El resultado es una combustión más completa del combustible, que produce menos carbón y menos emisiones en el escape.

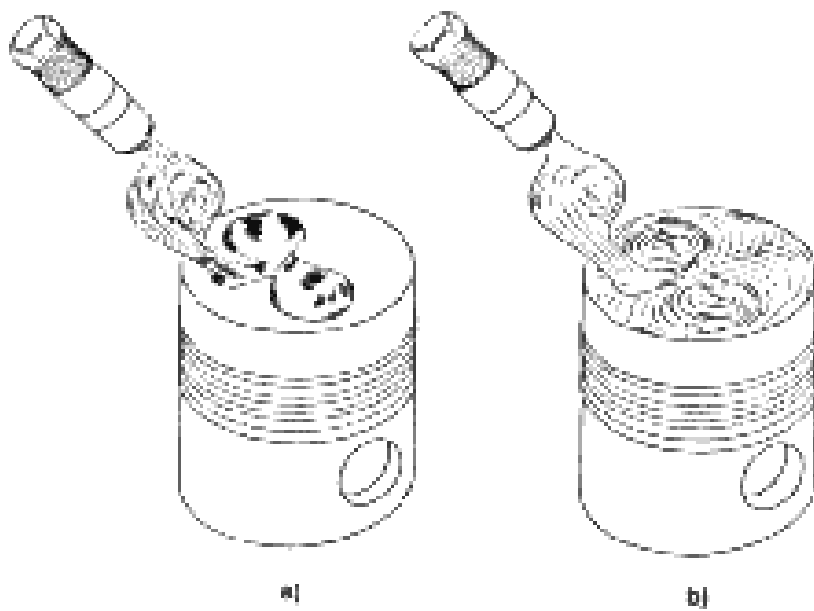


Figura 1.31. Combustión a) Primera etapa, b) Segunda etapa

En la figura 1.32, b) se pueden ver la cámara de turbulencia en la culata de cilindros y los espacios para combustión en la corona del pistón. En la figura se ilustran dos cámaras de combustión de un motor enfriado por aire. Una de ellas es para inyección directa y la otra para inyección indirecta.

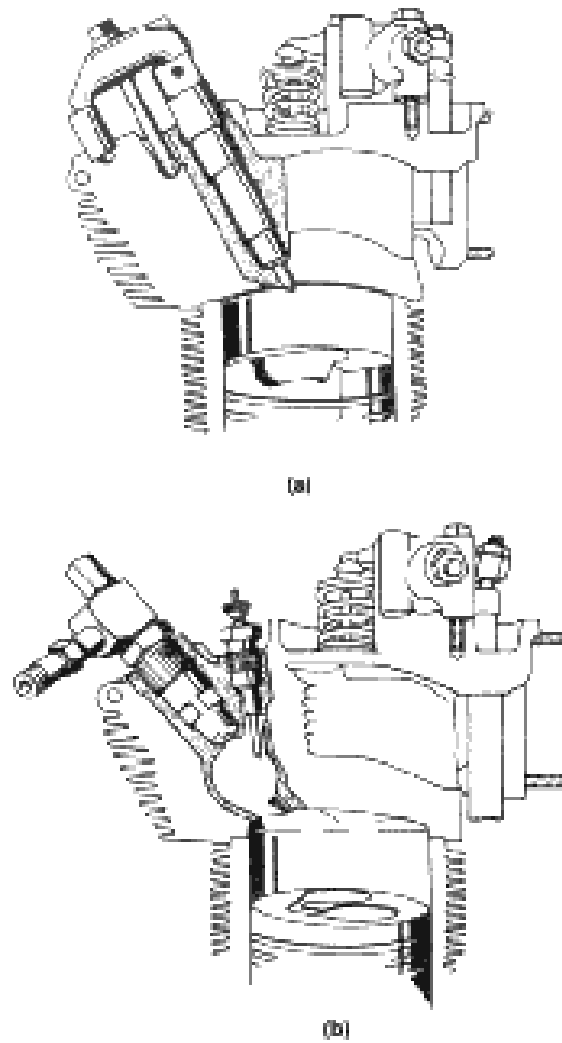


Figura 1.32. Cámara de turbulencia en la culata

1.6.5.1 Bujía incandescente

En la figura 1.33, se ilustra una bujía incandescente (bujía de calor o “cigarro”) en la cámara de combustión en la cabeza del pistón. Es un tapón de acero de aleación atornillado en la parte superior de la cabeza del pistón; se emplea con inyección indirecta y protege la corona del pistón, hecho de aleación de aluminio, contra la erosión de los gases calientes.

Los gases calientes que salen de la cámara de precombustión se dirigen contra el tapón incandescente y no directamente contra la corona del pistón.

1.6.6. Cámara de combustión para inyección directa

Como se mencionó, hay diversas configuraciones de cámaras de combustión formadas en las coronas de los pistones en los motores con inyección directa. El objetivo de todas es crear la mayor turbulencia posible para la mezcla completa del combustible y el aire a fin de lograr máxima combustión. Con ello no sólo se logra la máxima energía del combustible sino que se tiene un escape más limpio con menos emisiones de contaminantes.

La holgura o espacio entre la parte superior del pistón y la cara o parte inferior de la culata es muy pequeña por lo que, en algunos casos, se forman rebajos de poco fondo en la corona del pistón a fin de tener espacio libre para las cabezas de las válvulas. Los rebajos están junto a las cámaras de combustión y son una variante de las formas de ellas en diferentes motores (fig. 1.33). A continuación se describe un ejemplo de un diseño.

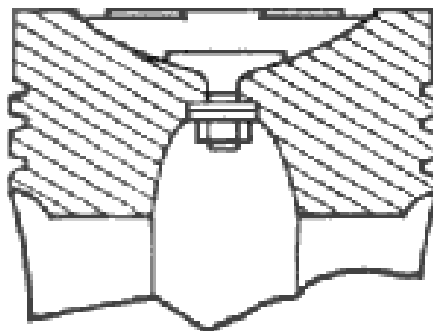


Figura 1.33. Cabeza de pistón con bujía térmica atornillada

1.6.7. Cámara de combustión esférica

En la figura 1.34 aparecen dos vistas de un pistón de un motor M.A.N. en el cual se emplea el sistema de combustión en “M”. sus características

principales son una cámara de combustión esférica en la corona del pistón y la configuración especial del conducto para entrada de aire. La cámara de combustión tiene una pestaña en su borde superior en el lado en que está el inyector. En cada lado de la cámara hemisférica hay rebajos para el movimiento de las cabezas de las válvulas.

El combustible se atomiza contra la pared de la cámara de combustión en donde se vaporiza, se mezcla con aire con turbulencia de alta velocidad y se quema. Tanto el aire de admisión como el diseño de la cámara esférica de combustión crean turbulencia y mejoran la combustión, con lo cual se reducen las emisiones.

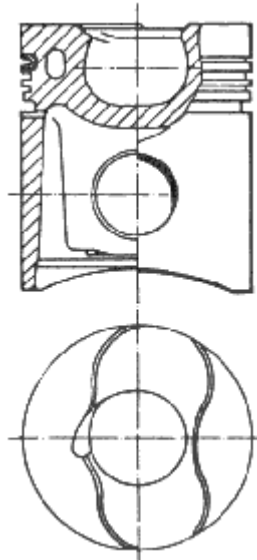


Figura 1.34. Cámara esférica en la cabeza del pistón

1.6.8. Combustión del combustible en los cilindros

Como se describió, se utilizan diversos diseños de cámaras para mejorar la combustión. Sin embargo, el proceso real de combustión es el mismo en todos los motores a Diesel. El combustible sale finamente atomizado de los inyectores y la atomización consiste en gotitas diminutas de combustible que necesitan el oxígeno del aire que hay en el cilindro para quemarse. También se requiere aire a alta temperatura para iniciar la combustión, cuando hay esas condiciones en el cilindro, se inicia la combustión.

Cuando se inyectan las gotitas en el aire comprimido caliente, empiezan a vaporizarse de inmediato en su superficie externa, lo cual tiene el efecto de rodear el núcleo de las gotitas con vapor de combustible. Cuando llegan a cierta temperatura, ocurrirá la inflamación. El núcleo de las gotitas está algo más frío y no arde de inmediato; las capas externas arden en forma progresiva hasta que se ha quemado toda la gotita. Una vez que se inicia la inflamación, hay un rápido aumento en la presión y la temperatura, lo cual ocasiona que el combustible que todavía atomiza el inyector se inflame tan pronto como sale de la tobera o punta del inyector, aunque la combustión continuará después de que termina la inyección, hasta que se ha quemado todo el combustible en la cámara de combustión.

1.6.8.1. Las cuatro fases de la combustión

El proceso de combustión antes descrito, en un motor Diesel de alta velocidad, puede decirse que ocurre en cuatro etapas o fases. En la figura 1.35 se ilustran en una gráfica que muestra el incremento en la presión dentro del cilindro con respecto a la rotación del cigüeñal desde 90° antes del PMS hasta 90° después del PMS. Se verá que en la gráfica hay dos líneas:

1. Una línea punteada, que muestra la forma en que cambiaría la presión dentro del cilindro durante y después de la carrera de compresión si no hubiera inyección de combustible; el aumento y la caída de presión serían uniformes en todas las carreras.
2. Una línea continua que muestra el cambio en la presión durante las carreras de compresión y potencia, con un aumento rápido en la presión como resultado de la combustión.

Las cuatro fases de la combustión, como se ilustra en el diagrama son:

A a B: período de demora. La inyección empieza en A, pero la combustión no ocurre de inmediato, sino que se demora hasta que los vapores que rodean las gotitas de la atomización del inyector llegan a una temperatura alta suficiente para que se inflamen. La combustión empieza en B.

B a C: una fase de combustión rápida. Después del inicio de la combustión en B, las gotitas arden con rapidez y ocasionan un aumento súbito en la presión hasta que se llega al punto C. Durante esta fase, la combustión no está controlada.

C a D: una fase de combustión controlada. Conforme continúa la inyección, el combustible arde con uniformidad. La combustión está “controlada” por el volumen descargado por el inyector hasta el punto D, en donde termina la inyección.

D, en adelante: postcombustión. La inyección ha cesado en D, pero la combustión continúa hasta que se ha quemado todo el combustible. No hay aumento en la presión señalada en la gráfica, porque el pistón ahora se mueve hacia abajo y aumenta el volumen en el cilindro.

La combustión depende de una serie de factores que incluyen el diseño de la cámara de combustión, el tipo y tamaño de la tobera del inyector, el combustible utilizado y las condiciones de funcionamiento del motor. Si el período de demora es muy largo, habrá combustión sin control de una gran parte del combustible.

Esta ocasionará un aumento tan brusco en la presión que será casi una explosión y la onda de presión que choca contra la pared del cilindro y la culata producirá el golpeteo (“cascabeleo”) y funcionamiento brusco del motor.

CÁMARAS DE COMBUSTIÓN

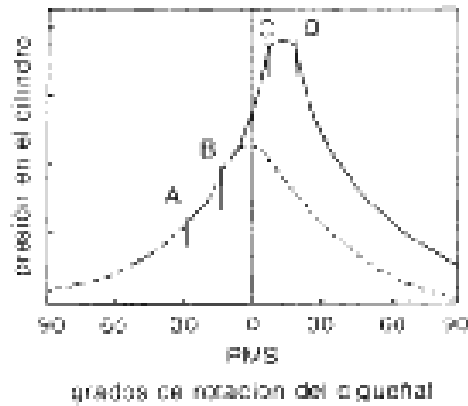


Figura 1.35. Fases de la combustión en un motor diesel

1.6.8.2. Producto de la combustión

La combustión es un proceso químico. El combustible Diesel, igual que la gasolina, es un hidrocarburo que proporciona el hidrógeno y carbono que son los elementos combustibles. El combustible Diesel también contiene pequeños porcentajes de azufre.

Durante la combustión, las partículas de combustible se dividen en sus elementos y cada uno se combina con el oxígeno del aire por separado. Los motores Diesel, al contrario de los de gasolina, siempre funcionan con exceso de aire, porque en cada carrera de compresión se cuenta con un cilindro lleno con aire. Como resultado, producen mínimas cantidades de monóxido de carbono (CO) en los gases de escape.

Los productos de la combustión en un motor Diesel constan de vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), oxígeno libre (O) y nitrógeno (N). También pueden contener cantidades muy pequeñas de monóxido de carbono (CO). Debido a las altas temperaturas de combustión en un motor Diesel hay pocos o

ningunos hidrocarburos (HC) sin quemar, siempre y cuando el sistema de inyección funcione con eficiencia y el motor esté en buenas condiciones mecánicas.

1.6.8.3. Humo en el escape

Si la combustión es incompleta, algunas partículas del combustible no habrán hecho contacto total con el oxígeno en el aire y no se quemarán por completo. El hidrógeno del combustible se combinará con el oxígeno del aire, pero el carbono del combustible no se combina con tanta facilidad con el oxígeno. Por tanto, el oxígeno libre del aire se combina con el hidrógeno para formar agua (H_2O) y el carbono se descargará como humo negro en el tubo de escape. Las pequeñas cantidades de aceite lubricante que entran a la cámara de combustión y no se queman por completo producirán humo azul.

Se utilizan medidores de intensidad de humo para determinar lo oscuro de los gases de escape en el tubo de salida. Son escalas (llamadas escalas Ringelmann) que sirven para comparar la intensidad de la luz que pasa a través del gas del escape contra la que pasa a través del aire limpio.

II. INYECCIÓN DIESEL

2.1. PROBLEMAS QUE PLANTEA EL SISTEMA DE INYECCIÓN DIESEL

En las páginas siguientes trataremos de mostrar en forma fácil y mediante números lo delicado y sensible que es el sistema de inyección de un motor diesel: después de su lectura no dudamos que muchos reflexionarán antes de poner mano en tal sistema y, que de hacerlo, tomarán las precauciones del caso aconsejadas por los fabricantes.

2.1.1. Tiempo disponible para formar la mezcla

Con el propósito de tener una idea con respecto a los tiempos disponibles para la formación de la mezcla en el motor de nafta y en el diesel, nos referimos en ambos casos a motores de igual velocidad (v/min.), de 4 tiempos y 3.600 v/min.

En el motor de nafta la mezcla se forma desde que sale del carburador, recorre el caño de aspiración y mientras duran las carreras de admisión y compresión. Calculemos entonces el tiempo que ello requiere. Admitiendo que la longitud del caño de aspiración es de 0,6 metros y que en él la mezcla se mueve a la velocidad de 30 metros por segundo, el tiempo que tarda en desplazarse la mezcla desde el carburador hasta el cilindro será igual a t_1 :

$$t_1 = \frac{0,6 \text{ m}}{30 \text{ m/s}} = 0,02 \text{ s}$$

Veamos ahora el tiempo t_2 que dura una carrera del pistón, recordando para ello que por cada vuelta del cigüeñal el pistón recorre dos carreras:

Carreras por minuto = 3.600 v/min. X 2 carr. /v = 7.200 carr. /min.

$$\text{Carreras por segundo} = \frac{7.200 \text{ carr. /min.}}{60 \text{ s/min.}} = 120 \text{ carr. /s}$$

$$\text{Durac. de una carr.} = \frac{1}{120 \text{ carr. /s}} = 0,00834 \text{ s/carr.}$$

$$t_2 = 0,00834 \text{ s.}$$

Dado en que el motor de nafta la chispa salta recién al final de la carrera de compresión, podemos admitir que durante esta segunda carrera la formación de la mezcla aún prosigue favorecida por la turbulencia que existe en el cilindro y por el calor que la transmiten las paredes. El tiempo total disponible para que se mezcle el combustible y el aire será t_3 :

$$t_3 = t_1 + 2t_2 = 0,02\text{s} + 2(0,00834)\text{s} = 0,036 \text{ s}$$

En cambio, en el motor diesel, el combustible se inyecta al final de la carrera de compresión. Admitiendo que en el motor que nos ocupa la inyección dura 40° , habrá que calcular cuánto tiempo tarda el motor para girar de 40° . Ya que ese motor gira a 3.600 v/min., una vuelta la cumple en:

$$\frac{1}{3.600} = 0,000278 \text{ min. /v}$$

$$0,000278 \text{ min. /v} \times 60 \text{ s/min.} = 0,01667 \text{ s/v.}$$

Como una vuelta es igual a 360° , para recorrer 1° se tarda

$$\frac{0,01667 \text{ s/v}}{360 \text{ }^\circ/\text{v}} = 0,000046 \text{ s/}^\circ$$

Y para recorrer los 40° se tardará:

$$0,000046 \text{ s}^\circ \times 40^\circ = 0,00185 \text{ s.}$$

Relacionado este valor con el de 3,5 centésimos que era el tiempo calculado para el caso del motor de nafta, se observa que el motor diesel de igual velocidad dispone de 20 veces menos tiempo para formar su mezcla. No hay dudas que esto es un serio problema que deben enfrentar los fabricantes de bombas de inyección, problema cada vez más difícil a medida que crece la velocidad de rotación, siendo éste uno de los factores que limita la velocidad máxima a que se puede hacer girar los motores diesel.

2.1.2. Cantidad de combustible inyectada por ciclo

La cantidad de combustible que debe inyectar la bomba en cada cilindro y por ciclo, depende de la potencia que desarrolla el motor en ese instante. Se comprende que esa cantidad será tanto más pequeña cuanto más veloz sea el motor, cuanto menor sea su potencia y mayor su número de cilindros para la misma potencia y velocidad. Presentando algunos ejemplos la cuestión se aclarará mejor.

- a) Sea primero el motor diesel que acciona el automóvil Mercedes-Benz de 38 CV a v/min., de 4 cilindros, 4 tiempos, y que a esa potencia consume 180 g/CVh.

Por tratarse de un motor de 4 tiempos cumple un ciclo cada dos vueltas, es decir, que en 1 min. Realiza $3.600/2 = 1.800$ ciclos, y consumirá en una hora.

$$180 \text{ g/CVh.} \times 38 \text{ CV} = 6.840 \text{ g/h.}$$

$$\frac{6.840 \text{ g/h}}{60 \text{ min /h}} = 114 \text{ g/min.}$$

Como existen 4 cilindros, en cada uno de ellos habrá que inyectar:

$$\frac{114 \text{ g/min.}}{4 \text{ cil.}} = 28,5 \text{ g/min. Cil.}$$

En cada cilindro y por ciclo deberá introducirse:

$$\frac{28,5 \text{ g/min. Cil.}}{1.600 \text{ ciclos/min.}} = 0,0178 \text{ g/ciclos}$$

Si el peso específico del combustible es de 0,800 Kg./dm³ o sea 0,8 g/cm³, el volumen inyectado por ciclo será de:

$$\frac{0,0176 \text{ g/ciclo}}{0,8 \text{ g/cm}^3} = 0,0222 \text{ cm}^3/\text{ciclo}$$

O también :

$$0,0222 \text{ cm}^3/\text{ciclo} \times 1.000 \text{ mm}^3/\text{cm}^3 = 22,2 \text{ mm}^3/\text{ciclo}$$

Y esto es igual al volumen de una gota de unos 3,48 mm de diámetro.

Piénsese ahora que si se desea un motor de marcha regular las cantidades inyectadas de un ciclo a otro no deben definir entre sí en +/- 2 1/2 % , es decir, en este caso, en +/- 0,55 mm³, este ultimo volumen es menor que el de la cabeza de un alfiler.

- b) Veamos un caso extremo de alta velocidad y baja potencia, por ejemplo si se quisiera adaptar una bomba de inyección a un motor de 5 CV cuya velocidad de régimen fuese de 5.000 v/min. Y su consumo específico de 200 g/CVh. Realizando los cálculos como en el problema anterior se llegaría a los siguientes resultados:

Combustible por ciclo = $0,00835 \text{ cm}^3/\text{ciclo} = 8,35 \text{ mm}^3/\text{ciclo}$

Diámetro de la gota = 2,51 mm.

Diferencia máxima de una inyección a otra = $(\pm 2^{1/2} \%) = 0,0208 \text{ mm}^3$

- c) Consideremos ahora un motor grande de 4 tiempos, 6 cilindros y 200 CV a 1.800 v/min. Que consume 250 g/CVh. Para dicho motor se obtendrían estos valores:

Combustible por cilindro y ciclo = $0,1925 \text{ cm}^3/\text{ciclo} = 192,5 \text{ mm}^3/\text{ciclo}$

Diámetro de la gota = 7,15 mm.

Diferencia máxima de una inyección a otra = $(\pm 2^{1/2} \%) = 4,81 \text{ mm}^3/\text{ciclo}$

En la tabla II.I se han resumido los valores más interesantes de estos tres motores que muestran cuál es el problema que ofrece la inyección en cada caso. Sin embargo, los cálculos realizados no corresponden a los casos más desfavorables de funcionamiento, pues éste se produce cuando el motor a elevada velocidad desarrolla poca potencia. Si se admite que la cantidad de combustible inyectada en vacío es igual a 1/6 de la plena carga, los valores que se obtienen son los que aparecen en la última línea de la tabla.

Como se observa, todas estas cantidades son pequeñas y ello da idea de la precisión con que deben fabricarse los sistemas de inyección

El problema sería aún más complicado si los motores antes citados fuesen de dos tiempos y de igual velocidad y potencia, pues entonces en el mismo intervalo de tiempo el número de inyecciones sería doble y la cantidad de combustible inyectado por vez la mitad.

Tabla II.I. Características de los sistemas de inyección de tres motores

Motor	A	B	C
Potencia total, CV	38	5	200
Potencia por cilindro, CV	9,5	5	33,15
Velocidad, v/min.	3.200	5.000	1.800
Combustible, mm ³ /ciclo	22,2	8,35	192,5
Diámetro gota inyectada, mm.	3,48	2,51	7,15
Dif. de un ciclo a otro, mm ³	0,55	0,208	4,81
Diámetro de la diferencia, mm.	1,015	0,735	2,1
Tiempo de la inyección, s	0,00104	0,00066	0,00185
Tiempo que separa dos	0,0374	0,024	0,066
Inyecciones, s			
Diferencia en la duración de			
las inyecciones, s	0,000104	0,000066	0,000185
Comb./ciclo (en vacío), mm ³	3,7	1,39	32

2.1.3. Tiempo que dura la inyección

Se va a suponer que para estos motores la inyección abarca alrededor de 20° de rotación del cigüeñal, lo que permite calcular su duración, en segundos, conociendo la velocidad de giro del motor. Para ello se hará el siguiente razonamiento con referencia al motor pequeño del caso anterior; dado que ese motor gira a 3.200 v/min., una vuelta durará

$$\frac{1}{3.200 \text{ v/min.}} = 0,000312 \text{ min. /v}$$

$$0,000312 \text{ min. /v} \times 60 \text{ s/min.} = 0,0187 \text{ s/v}$$

Como una vuelta es igual a 360°, para recorrer 1° se tarda

$$\frac{0,0187 \text{ s/v}}{360 \text{ }^\circ/\text{v}} = 0,000052 \text{ s/}^\circ$$

Y para recorrer los 20° que abarca la inyección se insumirán,

$$0,000052 \text{ s/}^\circ \times 20^\circ = 0,00104 \text{ s.}$$

O sea 1 milésimo de segundo.

Como en los cilindros se produce una inyección cada dos vueltas del cigüeñal, el tiempo que separa a dos inyecciones será:

$$0,0187 \text{ s/v} \times 2\text{v} = 0,0374 \text{ s}$$

Luego, a la velocidad de 3.200 v/min. La bomba de cada cilindro dispone solamente de:

$$0,0374 \text{ s} \sim = 1/27 \text{ s}$$

Para dosificar, comprimir e inyectar el combustible.

De un ciclo a otro, y a los fines de la regularidad de la marcha, el comienzo de la inyección debe mantenerse constante con una variación máxima de +/- 2° de rotación del cigüeñal, o sea:

$$0,000104 \sim 1/10000 \text{ s.}$$

Los valores que se obtienen al realizar los cálculos con los otros dos motores aparecen en la tabla, y creemos que permitirán al lector formarse una idea clara de lo que es ese mecanismo tan importante de la inyección que algunos llaman el corazón del motor diesel.

2.1.4. °Compresibilidad del combustible

Normalmente se admite que los líquidos son incompresibles, por ello deja de ser cierto cuando se los somete a las grandes variaciones de presiones que experimentan en los sistemas de inyección. En esas circunstancias, ocurre muchas veces, que el volumen barrido por el pistón de la bomba para comprimir el combustible es mayor que el volumen inyectado de este último medido a la presión máxima de compresión.

Los factores importantes que deben tenerse en cuenta al proyectarse un sistema de inyección, además de los ya señalados son, las fugas de combustible entre el pistón y el cilindro de la bomba, pues, dado las muy pequeñas cantidades de combustible que deben inyectarse cada vez, las fugas, si bien reducidas, pueden representar una fracción importante de aquellas, y para un cierto desgaste de los órganos de compresión pueden alterar notablemente la marcha del sistema. No debe olvidarse tampoco que a las grandes presiones el cilindro de la bomba y las cañerías se dilatan y se contrae el pistón. Como consecuencia de todo esto, la inyección no se inicia exactamente cuando el pistón comienza a comprimir, ni termina cuando el pistón llega al final de su carrera. Existe un retardo, tanto al comienzo como al final de la inyección. A todo esto deben sumarse las ondas de presión y golpes de ariete a que dan lugar los cierres bruscos de la válvula de retención y del inyector. Por lo tanto, se observa que la regulación del comienzo y final de la inyección, no es muy precisa cuando el inyector se abre y se cierra por el solo efecto de la variación de la presión en el sistema; con los inyectores accionados mecánicamente puede lograrse una regulación más precisa. El comienzo de la inyección con cierto avance es importante, pues ello está íntimamente ligado al fenómeno de la detonancia, y en cuanto al final de la inyección él también debe producirse exactamente para cierta posición del pistón, ya que de no ser así, las últimas fracciones inyectadas penetrarían en el cilindro del motor en una etapa de la expansión en la que quemarían con dificultad disminuyendo el rendimiento de la combustión y con ello el del motor.

2.2. INYECTORES

2.2.1. Generalidades

El inyector es otro de los elementos muy importantes del sistema de inyección, tanto por su función como por el cuidado que requiere. Se le instala directamente sobre la cabeza o culata del cilindro y su misión fundamental es la de introducir el combustible en la cámara de combustión.

Las condiciones que debe satisfacer un inyector son las siguientes:

- a) Que el combustible sea pulverizado en gotas de dimensiones convenientes.
- b) El chorro de combustible debe distribuirse por todo el seno del aire.
- c) La energía cinética de las gotas debe ser suficiente para que éstas penetren en el aire comprimido y alcancen los lugares más apartados de la cámara de combustión. Sin embargo, esa energía no debe ser tan grande como para que el combustible choque contra las paredes del cilindro y de la cámara de combustión, donde formará carbón y se diluirá con el lubricante.
- d) El comienzo y final de la inyección deben ser bien definidos.
- e) Las características de la pulverización deben mantenerse durante todo el período de introducción del combustible.
- f) No debe producirse ni goteo ni fugas entre dos inyecciones.

En la construcción de los inyectores el problema fundamental que se plantea es el de obtener una estanqueidad entre la aguja y su asiento. La aguja se esmerila directamente en su guía, el juego entre estos dos elementos es del orden de 0,002 a 0,003 mm. (2 a 3 milésimo de mm.) debiendo ser entonces el error combinado de la excentricidad entre el asiento y la superficie de guía de la aguja, menor que ese valor. La selección de materiales adecuados para su construcción es esencial y es muy importante realizar correctamente el tratamiento térmico de los mismos. Durante muchos años se ha recurrido al empleo de aceros rápidos para las agujas, y de aceros al níquel-cromo-molibdeno cementados para el cuerpo de la tobera. Es de buena práctica confeccionar las agujas un poco más duras que el cuerpo de la tobera.

Siendo actualmente el sistema neumático de inyección diesel de combustible muy poco difundido, se le prestará entonces poca atención, reproduciéndose una sola figura donde pueden verse algunos detalles de inyector usado en esos casos. A continuación se estudian únicamente los inyectores para la inyección mecánica o sólida. (figura 2.1)

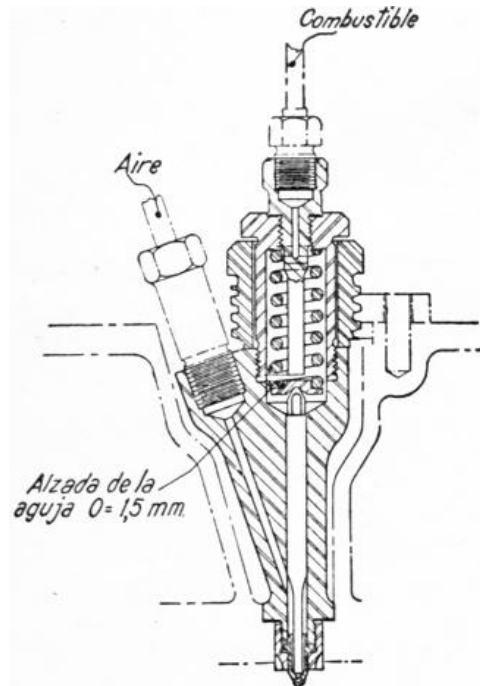


FIG. 1. — Válvula de inyección neumática de combustible donde pueden verse los canales para el aire y para el combustible.

Figura 2.1. Inyector

2.2.2 Clasificación de los inyectores

Los inyectores se clasifican en dos grandes grupos:

- a) Inyectores abiertos
- b) Inyectores cerrados.

2.2.2.1. Inyectores abiertos

Los inyectores de la figura 2.2 y 2.3 son del tipo abierto. En el primero de ellos existen dos válvulas de retención del tipo de bolilla, mantenidas en sus asientos mediante resortes débiles y cuya finalidad es evitar que los gases de la combustión se introduzcan en el sistema de inyección.

En la figura 2.2 el combustible que envía la bomba pasa por el conducto O vence la tensión de los resortes y llega hasta los canales helicoidales del atomizador A. allí el combustible adquiere un movimiento helicoidal y al salir del inyector el chorro adoptará la forma cónica. La cantidad de combustible inyectado se regula en la bomba misma actuando sobre la válvula de derivación.

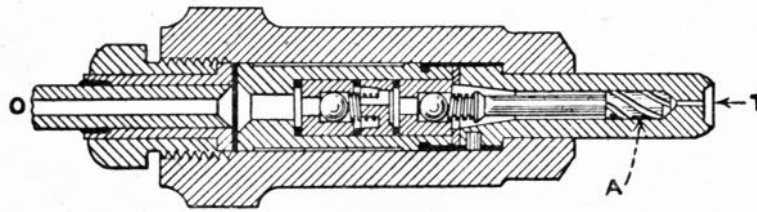


FIG. 2. — Inyector abierto.

Figura 2.2. Inyector abierto

Otro inyector abierto es el Hesselman (fig. 2.3), que se instala en los motores Waukesha-Hesselman. Este inyector posee tres válvulas de retención a bolilla que evitan el goteo por el pico A como así también la entrada de gases.

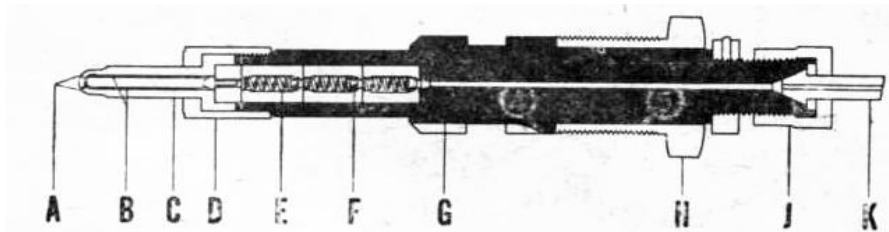


FIG. 3. — Inyector abierto Hesselman.

- | | |
|----------------------------------|--|
| A. — Orificios. | G. — Salientes para guiar a la tobera en la cabeza del cilindro. |
| B. — Conductos. | H. — Tuerca de sujeción. |
| C. — Tobera de acero inoxidable. | J. — Tuerca de ajuste del caño de combustible. |
| D. — Tuerca. | K. — Caño de combustible, de acero. |
| E. — Resorte triple. | |
| F. — Bolilla de retención. | |

Figura 2.3. Inyector abierto Hesselman

Las presiones con las cuales se abre dicho inyector están comprendidas entre 50 y 80 Kg./cm². En la figura 2.4 se ha representado al sistema de inyección que se emplea en los motores Junkers de dos tiempos de pistones opuestos. En inyector (fig. 2.5), es del tipo abierto pero la válvula de retención se encuentra a la salida de la bomba y no en el inyector. Posee una envoltura A con un pequeño orificio en su extremo.

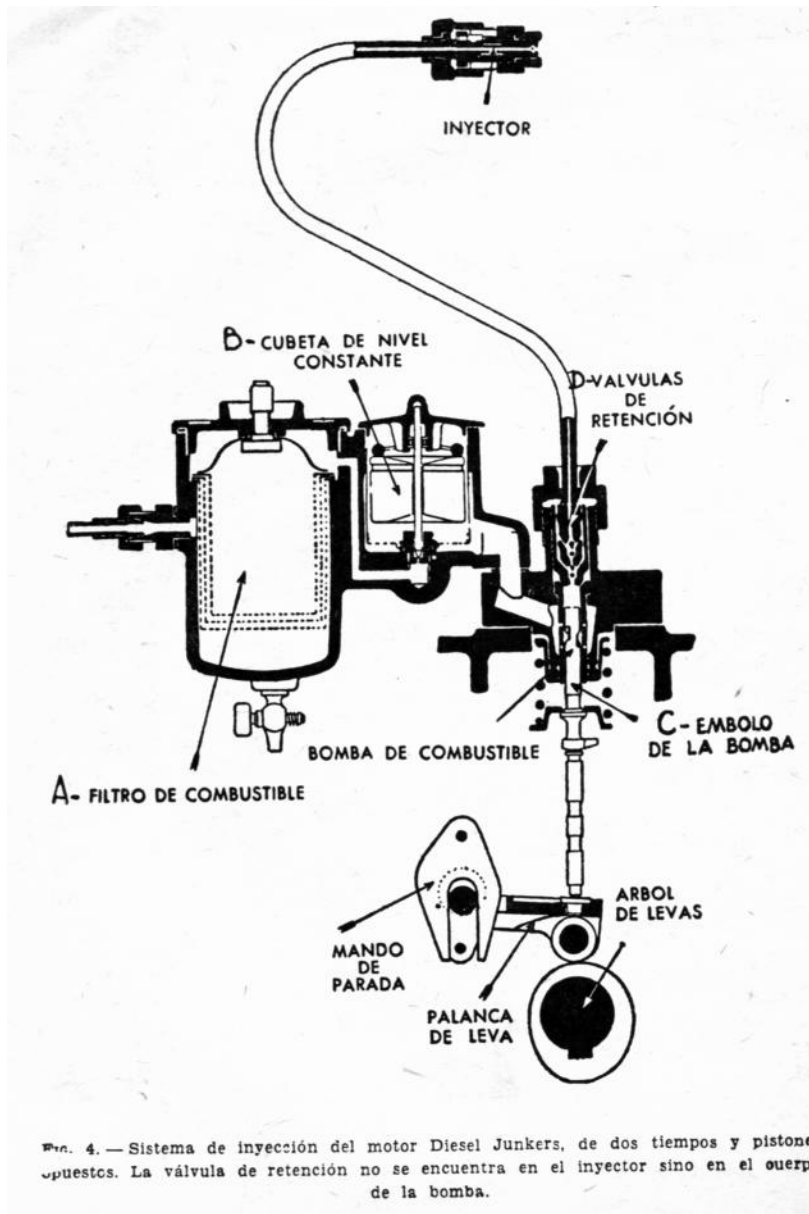


Figura 2.4. Inyección del motor diesel Junkers

En el interior de A se halla la pieza B, provista de un conducto central que termina en dos pequeños canales en su extremo inferior de forma cónica. Ambos canales de direcciones encontradas desembocan en el orificio único de A. El choque de esas dos corrientes da lugar a un chorro de combustible en forma de abanico similar a la llama de los quemadores de acetileno. Esta forma de la corriente pulverizada se adopta a la de la cámara de combustión de los pequeños motores Diesel- Junkers de pistones opuestos. Los inyectores abiertos se emplean en general donde la pulverización fina no se obtiene con el inyector, sino por otros medios como es el caso por ejemplo en los motores provistos de cámaras de precombustión o de alta turbulencia. La

ventaja principal que ofrece el inyector abierto es la de su bajo costo, de ahí que actualmente se estudia la posibilidad de poder adoptarlo con más frecuencia sin sacrificar el rendimiento del motor. Entre las desventajas de este tipo de inyector puede citarse el hecho de que las gotas de combustible que suministra son gruesas, lo que se acentúan a las bajas velocidades del motor apareciendo en el escape un humo azulado. Además el combustible mal pulverizado que no quema, se acumula en el cilindro, produce el atascamiento de los aros y se diluye en el lubricante.

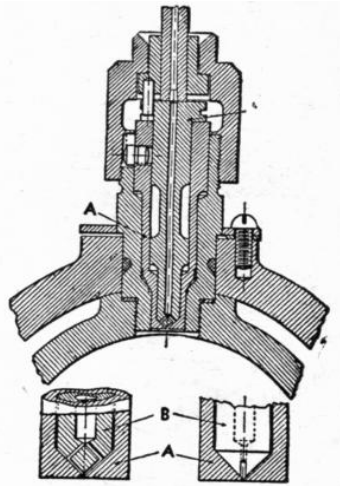


FIG. 5. — Inyector abierto del motor Junkers.

Figura 2.5. Inyector del motor Junkers

2.2.2.2. Inyectores cerrados

En los inyectores cerrados (figuras 2.6 a 2.10) la válvula de aguja es presionada fuertemente sobre su asiento por la acción de un resorte, y es separada del mismo ya sea por la acción de una palanca o por la presión del combustible.

Los inyectores cerrados pueden clasificarse en:

Inyectores con tobera de un orificio (fig. 2.8) o de varios orificios (Fig. 2.7, 2.9 y 2.10-a).

Inyectores con tobera de espiga (Fig. 2.6 y 2.10-b).

El tipo de tobera empleado depende esencialmente de la cámara de combustión y del servicio que se exige del motor. El inyector de un orificio (fig. 2.8) proporciona un chorro de gran penetración y se utiliza en cámaras compactas de fuerte turbulencia. También se emplea en cámaras más bien largas donde la distancia que debe recorrer el combustible es grande.

El inyector de orificios múltiples (fig. 2.7, 2.9 y 2.10-a) se instala en cámaras menos compactas que las del caso anterior y donde la turbulencia es menor, como ocurre en las cámaras abiertas. Con varios orificios se logra la distribución más apropiada del combustible y el mejor aprovechamiento del oxígeno.

En los motores relativamente pequeños de alta velocidad, raramente se utilizan toberas con más de cuatro orificios, siendo lo más común el empleo de uno o cuatro orificios; los de dos y tres orificios muy poco se usan y aun menos los de seis.

Como las presiones de inyección son relativamente grandes, de 200 a 300 Kg./cm² y aun más, se requiere un mantenimiento frecuente mucho mayor que para los inyectores de espiga.



FIG. 6. — Inyector Bosch cerrado, de espiga.

Figura 2.6. Inyector Bosch cerrado

Las figuras 2.6 y 2.10-b muestran la tobera de un inyector de espiga que consiste de un solo orificio de diámetro relativamente grande, por el que se introduce una prolongación de la válvula o aguja que recibe el nombre de espiga. Así, cuando se levanta la aguja queda disponible para el paso del combustible una sección anular comprendida entre la espiga y el orificio. En general, la espiga no es cilíndrica sino cónica para que el combustible se disperse bajo un cierto ángulo, que puede variar desde 4 hasta 60°.

Este inyector de espiga es también del tipo de orificio variable, pues al moverse la espiga cambia la sección anular antes citada, y suministra un chorro compacto, corto, ensanchado y constituido por gotas más bien grandes.

Se emplean con éxito estos inyectores, en las cámaras de combustión con antecámaras de aire de alta turbulencia en las que se obtiene una buena distribución del combustible debido al fuerte movimiento del aire. La ventaja de este inyector es que las presiones de trabajo son relativamente bajas, alrededor de los 100 Kg. /cm², y que además se limpian automáticamente debido al movimiento de vaivén de la espiga en el orificio.

Claro que no se puede fijar aquí, exactamente, donde debe emplearse cada inyector, pues ello depende de muchos factores, resolviéndose la adopción de uno u otro tipo después de analizar los resultados de ensayos realizados con varios inyectores en el motor en el cual se trata de adaptarlos.

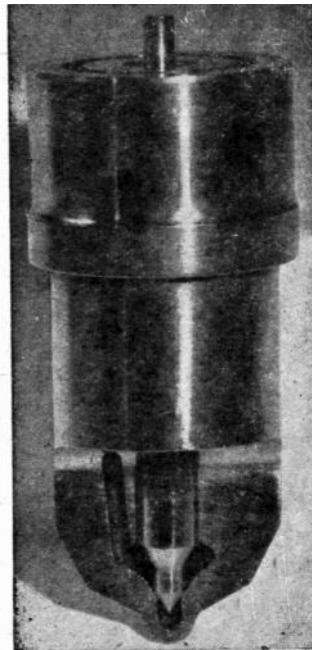


FIG. 7. — Corte a través de un inyector cerrado con dos orificios laterales.

Figura 2.7. Inyector cerrado

Uno de los inconvenientes serios en la marcha de los inyectores es la formación de carbón en los orificios (1), fenómeno que perturba el funcionamiento correcto de los mismos. El carbón se forma como consecuencia de la descomposición del combustible por la acción del calor, siendo entonces deseable mantener la tobera a temperatura inferior a la que se produce aquella formación. Se entiende que esto es un poco difícil de lograr, sobre todo en los motores veloces donde los ciclos se suceden con gran rapidez. Por otra parte, la refrigeración de las toberas en motores relativamente pequeños como son los de automóviles, es un problema difícil de resolver.

Una alternativa sería la de mantener la tobera a temperatura que permitiera la combustión del carbón, evitando así su acumulación, pero ello tiene el inconveniente de originar deformaciones en el inyector, que perjudican su funcionamiento, dando lugar especialmente al goteo que es una de las causas principales de la formación de carbón

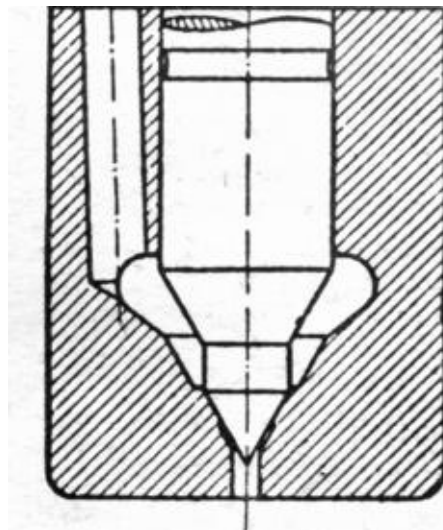


FIG. 8. — Inyector de orificio único.

Figura 2.8. Inyector de orificio único

En los motores de automóviles el funcionamiento de los inyectores es un poco particular. En efecto, durante algunos instantes se deja que sea el vehículo el que arrastre al motor, y es esas condiciones, el regulador de la bomba corta completamente la llegada de combustible.

Así, el motor continúa comprimiendo el aire en la misma forma que lo hacía cuando quemaba combustible, y la tobera del inyector se encuentra sometida a la elevada temperatura final de compresión, sin ser enfriado por la llegada de combustible, calentándose en forma apreciable.

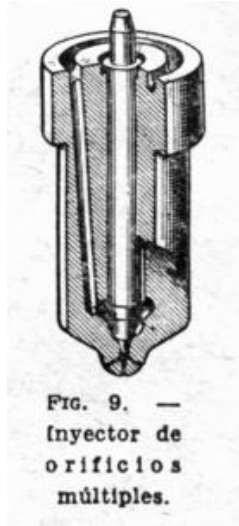


Figura 2.9. Inyector de orificios múltiples

Si bien esa temperatura no es tan grande como la que adquiere cuando funciona en carga, es sin embargo suficiente para carbonizar el combustible que permanece en la cavidad que rodea a la punta de la aguja en los inyectores que se abren al moverse esta última hacia adentro.

Este fenómeno se agrava cuando el inyector no cierra perfectamente y existen filtraciones de gas hacia su interior.

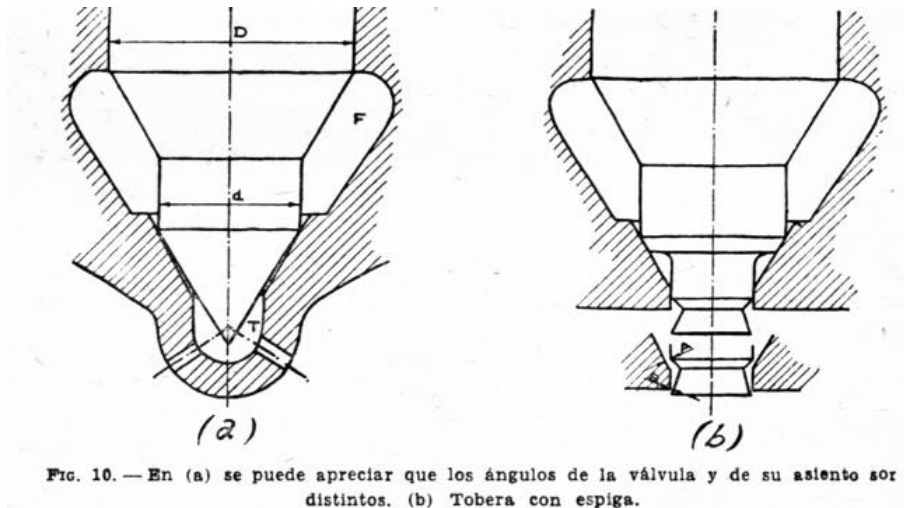


Figura 2.10. a) Angulo de pulverización, b) Tobera de espiga

2.2.3. Comparación entre los inyectores abiertos y cerrados

La cuestión de los méritos de estos dos inyectores es importante. La simplicidad del inyector abierto fue un incentivo para su adopción, pues las únicas de sus partes que requieren cierta exactitud son, el diámetro y la longitud del orificio; además, solo exige el empleo de una simple válvula de retención que impide el paso de los gases generados por la combustión.

En cambio, el inyector cerrado necesita una válvula diferencial, y su asiento debe construirse con tolerancias excesivamente pequeñas. Por otra parte, estos elementos han de ser de materiales especiales, y la posición del asiento es generalmente tal que su fabricación correcta crea múltiples problemas. El resorte para carga la válvula exige también una atención especial.

Las partes que vinculan el resorte con la aguja deben ser de materiales especiales para evitar la formación de rebajes o desgastes en aquellos lugares donde las presiones son elevadas.

El inyector cerrado, debido a la presencia de un mayor número de elementos, resulta más grande que el inyector abierto, lo que crea ciertas dificultades en el caso de los motores pequeños donde el espacio disponible es reducido.

Las elevadas temperaturas a que se encuentran sometidos los elementos en movimiento, ajustados con tolerancias muy reducidas, originan perturbaciones muchas veces de importancia.

A pesar de la simplicidad y baratura y de lo compacto de los inyectores abiertos, cualidades debido a las cuales encontraron tanta aceptación en el pasado, hoy día se emplean en la mayoría de las aplicaciones los inyectores cerrados.

2.2.4. Dimensiones de las gotas del combustible pulverizado

El combustible que se inyecta en el cilindro debe convertirse allí en gotas diminutas o, como se dice comúnmente debe atomizarse, si se quiere obtener una buena combustión y el funcionamiento eficiente del motor. Veamos cuál es la razón de esa exigencia.

Para contestar a esta pregunta imaginemos una gota de combustible en combustión en el seno del aire comprimido en la cámara del cilindro. Puede suponerse que la gota es de forma esférica, y que la combustión progresa desde la superficie exterior hacia el centro quemando capas concéntricas de combustible. Como la combustión no es un fenómeno instantáneo la gota tardaría cierto tiempo en quemar, tiempo que será tanto mayor cuanto más grande sea su diámetro.

Ahora bien, para que el rendimiento del motor se mantenga entre límites aceptables, es necesario que el período de combustión no abarque más de cierta fracción de la carrera del pistón o no sobrepase un determinado ángulo de giro del cigüeñal; para que ello sea así, se entiende que las dimensiones de las gotas no deben ser mayores que un cierto valor para que ellas puedan quemar en el breve período de tiempo disponible. A medida que crece la velocidad del motor, más pequeñas deben ser las gotas.

Las dimensiones de las gotas dependen de muchos factores y, entre ellos, principalmente de la presión de inyección, del diámetro de los orificios del inyector y de la viscosidad del combustible.

2.2.5. Altas presiones de inyección

Generalmente, puede creerse que bastaría inyectar el combustible a una presión un poco superior a la final de compresión para tener resuelto este problema. Efectivamente, en esa forma el combustible penetraría en el cilindro, pero no se lograría con ello el grado de pulverización o

atomización necesaria, para que la combustión sea rápida y de buen rendimiento.

Hasta cierta época se creyó que la pulverización del combustible se obtenía en el interior del inyector, de ahí que se construyeron algunos de estos órganos dotados de elementos que ofrecían obstáculos al movimiento del líquido con el propósito de pulverizarlo.

Una vez más, la fotografía ultrarrápida en colaboración con el estroboscopio, ha demostrado ser de gran utilidad en el estudio de los problemas relativos a los motores de combustión interna, pues permitió a Bird y Lee comprobar que la pulverización del combustible se produce fuera del inyector.

Las fotografías de la figura 2.11, son la visión estroboscópica del chorro de combustible que sale de una tobera. Puede verse que dicho chorro se separa en ligamentos, que posteriormente se deshacen en fragmentos que luego se subdividen en pequeñas gotas. La fuerza que origina esa rotura se debe a la resistencia que opone el aire al movimiento del chorro, fuerza que aumenta al crecer la velocidad relativa entre el combustible y el aire.

Como a medida que aumenta esa fuerza más pequeña son las gotas, hay entonces interés en inyectar el combustible a elevadas velocidades, pero ello requiere someterlo a grandes presiones, pues, como se sabe, la velocidad con que sale un fluido por un orificio depende directamente de la raíz cuadrada de la diferencia entre las presiones del combustible y del aire. La velocidad con que penetran las gotas en el cilindro es del orden de los 150 m/s para presión de inyección de unos 150 K/cm² y de 600 m/s cuando esa presión es de 1.500 Kg. /cm².

Los ensayos de laboratorio demuestran que al crecer la presión de inyección aumenta la cantidad de gotas de pequeño diámetro y disminuyen las de mayor dimensión.

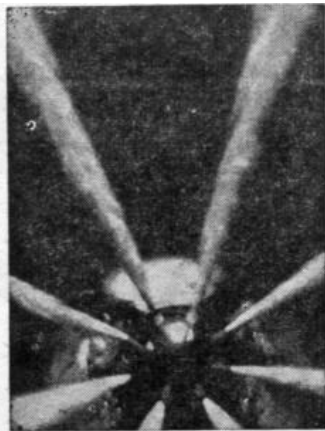


FIG. 11. — Visión estroboscópica en que se ven los chorros en pleno desarrollo en el momento de caudal máximo. La elevada capacidad de penetración y la buena pulverización de estos chorros aseguran la distribución uniforme del combustible en toda la cámara del cilindro, así como una combustión perfecta.

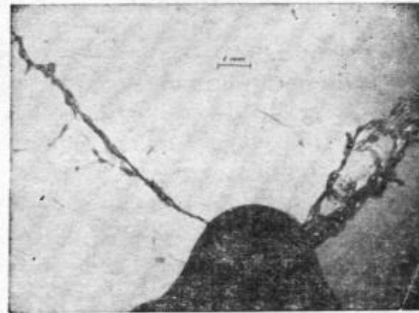


FIG. 12. — Fotografía de un chorro de combustible donde pueden verse los ligamentos y la rotura final de éstos, lo que da origen a la pulverización.

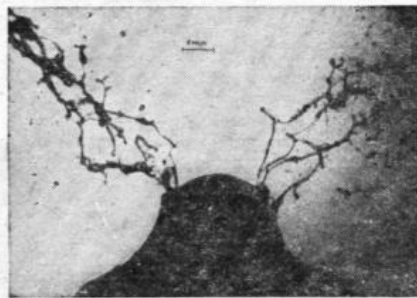


FIG. 13. — En esta fotografía se observa perfectamente la formación de ligamentos.

sión y la velocidad de la bomba y cuanto menor es la viscosidad del combustible y que, para una misma cantidad de combustible inyectado, al disminuir el diámetro del orificio del inyector se consigue una pulverización más fina debido a que crece la rela-

Figura 2.11. Visión estroboscópica del chorro de combustible

2.2.6. Otros factores de que depende el tamaño de las gotas

Los estudios pacientes de muchos investigadores, llevados a cabo en laboratorios dotados de los elementos más modernos para el estudio de los fenómenos que se producen durante la marcha de los motores, permitió establecer que las gotas de combustible son tanto más pequeñas, no solo a medida que crece la presión de inyección sino cuando mayor es la presión de compresión y la velocidad de la bomba cuanto menor es la viscosidad del combustible y que, para una misma cantidad de combustible inyectado,

Al disminuir el diámetro del orificio del inyector se consigue una pulverización más fina debido a que crece la relación superficie / volumen del combustible.

2.2.7. Penetración del combustible

La penetración del chorro de combustible en el seno de la cámara de combustión es también un factor importante en la buena marcha y rendimiento del motor.

Si aquella es pequeña, la combustión puede resultar deficiente, y si es excesiva se depositan gotas de líquido sobre las paredes lo que retarda la combustión, gotas que al diluirse con el lubricante van destruyendo su cualidad más importante.

La penetración disminuye al crecer la presión de compresión y penetración, manteniendo constantes los demás factores, se obtiene aumento con la de inyección.

Se ha comprobado que la máxima cuando la relación longitud / diámetro del orificio del inyector está comprendida entre 4:1 y 6:1, y la mínima penetración cuando esa relación toma valores entre 1:1 y 3:1.

La conclusión a que se llega observando los resultados obtenidos por diversos experimentadores, es que la dimensión de los orificios es de importancia decisiva sobre el poder de penetración, y especialmente en los casos de aire de elevada densidad. Se ve, además, que si bien para diversos diámetros de orificios la penetración es la misma, en el caso de orificios pequeños el tiempo empleado para recorrer la misma distancia es menor.

2.2.8. Dispersión del combustible

No sólo el combustible debe atomizarse, sino que también debe distribuirse o dispersarse a través de toda la cámara, para que así cada gota esté rodeada del aire que requiere su combustión.

La experiencia enseña que se obtiene una mayor dispersión con inyectores provistos de orificios que producen un cono ancho de combustible. Con tal motivo se idearon una serie de orificios para conseguir una mejora en la dispersión, tales como aquellos dotados de orificios anulares, con ranuras helicoidales, etc.; todos estos intentos si bien contribuyen a mejorar la dispersión no consiguen lo mismo con el grado de pulverización.

La dispersión mejora en forma apreciable si se somete el aire a un movimiento turbillonario para ello cámaras de combustión especiales.

2.3. BOMBAS DE INYECCIÓN

2.3.1. Generalidades

Al estudiar el ciclo de funcionamiento del motor diesel se vio que éste durante su carrera de admisión aspiraba únicamente aire, debiendo inyectarse el combustible en la cámara de combustión cuando finaliza el período de compresión.

La cantidad de combustible que se inyecta debe estar perfectamente dosificada de acuerdo con la potencia que desarrolla el motor, y el avance a la inyección ha de variarse según la velocidad y potencia entregada si se desea que el funcionamiento del motor resulte económico.

El combustible se introduce en los cilindros mediante los sistemas de inyección. Estos últimos no solo deben cumplir con las dos exigencias señaladas más arriba, sino que además han de elevar la presión del combustible, pulverizarlo en el seno del aire fuertemente comprimido y distribuirlo en forma conveniente en toda la cámara para obtener una combustión rápida y eficiente.

Los sistemas de inyección diesel pueden clasificarse en:

- a) de inyección por aire.
- b) de inyección mecánica o sólida.

2.3.2. Inyección por aire

Los sistemas de inyección por aire, (fig. 2.12), incluyen el compresor de aire a elevada presión, la bomba de combustible, la válvula de inyección y otros elementos accesorios más.

Durante el funcionamiento, el compresor entrega aire a la válvula de inyección, a la presión de 70 a 80 Kg. /cm².

El combustible es enviado a la correspondiente válvula por la bomba de combustible.

Al abrirse la válvula de inyección en el momento oportuno, el aire a elevada presión arrastra al combustible hacia el interior del cilindro, previo paso por el atomizador donde ambos fluidos se mezclan perfectamente.

Si bien este tipo de sistema de inyección proporciona una buena mezcla de aire y combustible, el equipo extra que requiere, compresor, enfriadores intermedio, separadores, botellas de aire, y cañerías de aire a elevada presión hace que el empleo de este sistema no sea conveniente por ser elevado su peso, su costo inicial y su manutención.

Además, el compresor de aire accionado por el mismo diesel, consume alrededor del 5 al 10% de la potencia total desarrollada por el motor.

Otro inconveniente muy serio del sistema de inyección por aire es la explosión que puede producirse en los caños que conducen el aire o aún de las mismas botellas de aire comprimido cuando la presión del aire es

pequeña, mientras que el atascamiento del vástago de la válvula de aguja da lugar a preigniciones violentas.

Señalaremos que Diesel empleaba este sistema en el motor de su construcción, después de haber ensayado la inyección directa sin aire que no pudo poner a punto.

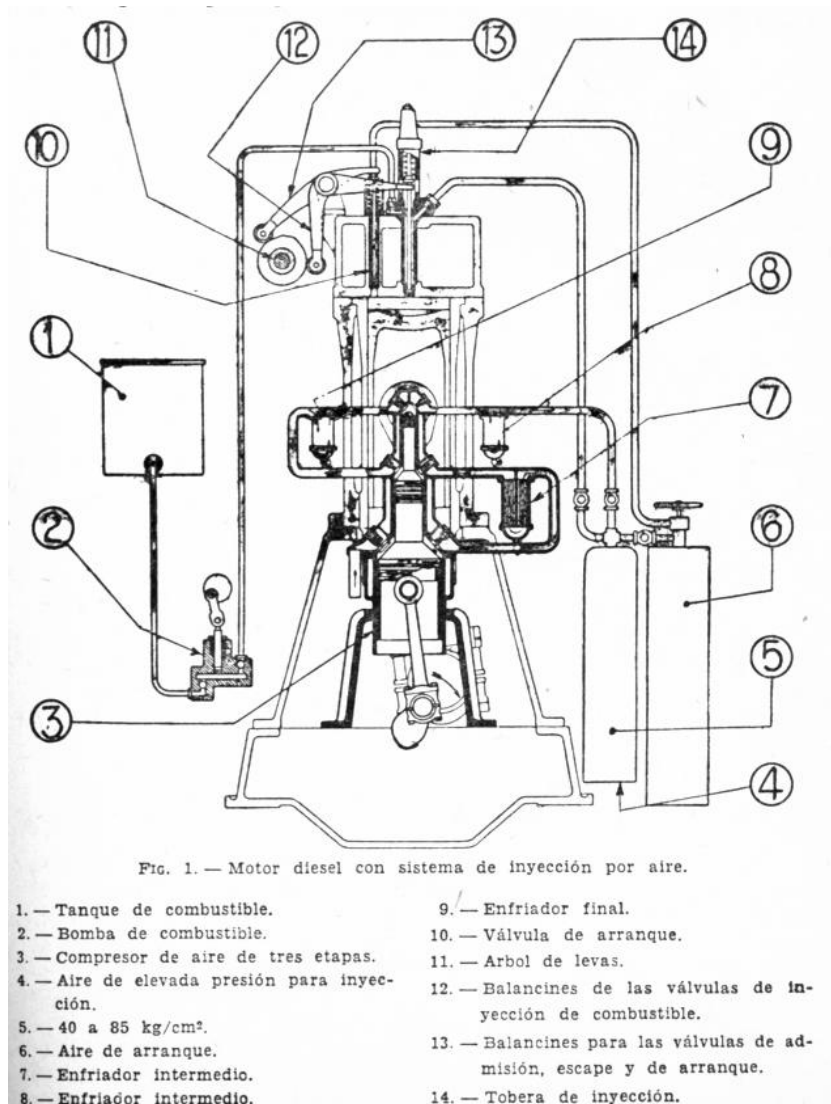


Figura 2.11. Sistema de inyección por aire

2.3.3. Inyección mecánica o sólida

De los dos sistemas de inyección empleados en los motores diesel, el descrito anteriormente es el más antiguo, mientras que la inyección mecánica es más reciente y hoy día se puede decir que ha desplazado

completamente a su antecesor, salvo en algunos casos muy especiales cuando debe quemarse derivados del petróleo (fuel.-oil) de baja calidad o con muchas materias en suspensión.

Los sistemas de inyección mecánica están constituidos esencialmente por bombas, cañerías, filtros, inyectores y de distribuidores en algunos casos.

Los sistemas de inyección pueden subdividirse en tres tipos fundamentales:

- a) De conducto común
- b) De bomba individual
- c) Con distribuidor
- d) El sistema individual.

2.3.3.1. El sistema de conducto común

En este caso se ve en la figura 2.12 que existe una sola bomba que suministra combustible a elevada presión al conducto común o acumulador que alimenta a los distintos inyectores; la válvula de alivio permite mantener constante la presión en dicho conducto, en valores que pueden variar desde 100 hasta 700 Kg./cm².

La válvula o tobera de inyección puede ser accionada mecánicamente, en cuyo caso la magnitud del período de inyección depende del tiempo en que la válvula permanece abierta, y la cantidad de combustible introducida en el cilindro es función de esa apertura del inyector y de la presión del sistema.

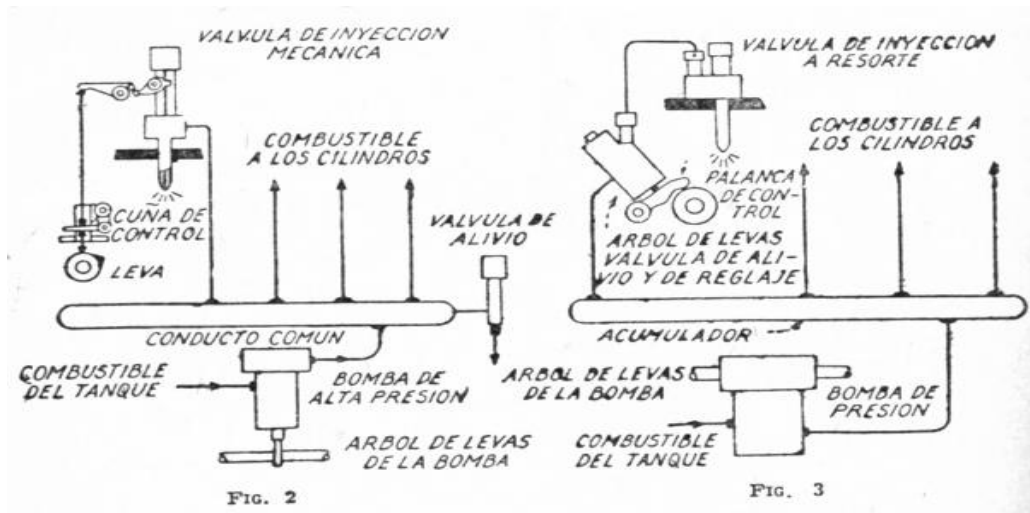


Figura 2.12. Sistema de conducto común

La figura 2.13 corresponde a un esquema del sistema de conducto común de Cooper-Bessemer con un mecanismo distribuidor y un inyector accionado hidráulicamente por el mismo combustible.

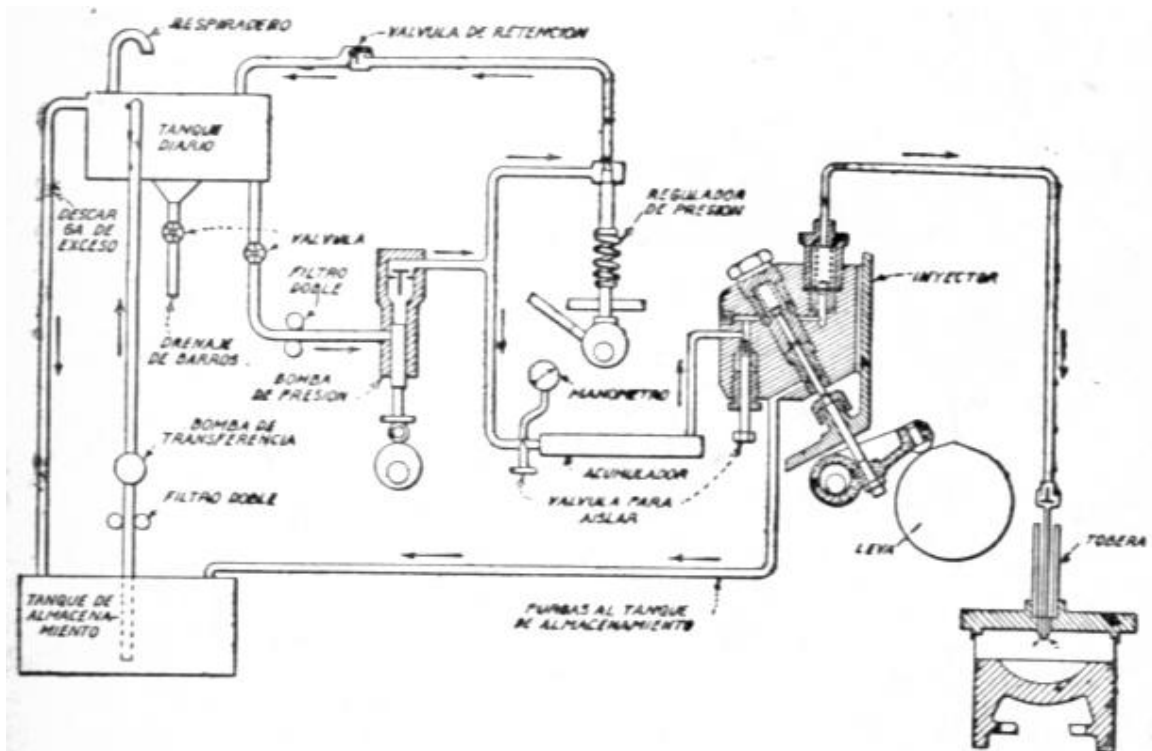


Figura 2.13. Sistema de conducto común Cooper-Bessemer

La dosificación del combustible la realiza el mecanismo inyector. Como puede verse en esa figura, dicho sistema consiste esencialmente de una bomba que eleva la presión del combustible, un regulador de presión que es el encargado de mantener constante la presión de funcionamiento, el aparato inyector que dosifica y distribuye el combustible y la tobera que introduce a este último en el cilindro.

El sistema inyector consiste esencialmente de una válvula de tipo hongo por cada cilindro del motor (en los últimos sistemas esta válvula está constituida por tres discos para evitar fugas en el caso de que lleguen suciedades hasta la válvula o que se corra su asiento), abierta mecánicamente para permitir el paso del flujo de combustible a presión constante hacia el correspondiente inyector. El instante en que se abre esta válvula coincide con el comienzo de la inyección y el tiempo durante el cual está abierta constituye el período de inyección.

La presión es mantenida constante merced a la bomba de presión y al regulador de presión de resorte. Al actuar la leva sobre la válvula el combustible a presión se introduce en el conducto de unión con la tobera. Como el resorte de la tobera está regulado para permitir la apertura de la válvula a una presión menor que la del sistema el combustible es inyectado hasta que se cierra la válvula del inyector. El tiempo durante el cual está abierta la cantidad de combustible inyectado.

El sistema de conducto común llamado también de “presión constante”, es de funcionamiento eficiente; su campo de aplicación está reservado especialmente para los motores grandes multicilíndricos.

2.3.3.2. El sistema de bomba individual

Quizás el más difundido en la actualidad (fig. 2.14), y como puede apreciarse, consta de una bomba para cada cilindro, las que algunas veces están reunidas en una sola carcasa (fig. 2.15), o se instalan una frente a cada cilindro, como en los motores de gran potencia (fig. 2.16).

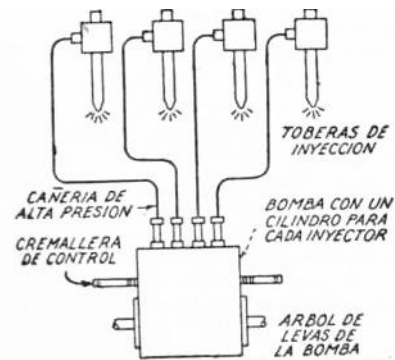


FIG. 6. — Cada elemento de la bomba está conectado directamente a un inyector. La bomba dosifica la carga y controla el instante de la inyección. La válvula del inyector es accionada por la presión del combustible.

Figura 2.14. Sistema de bomba individual

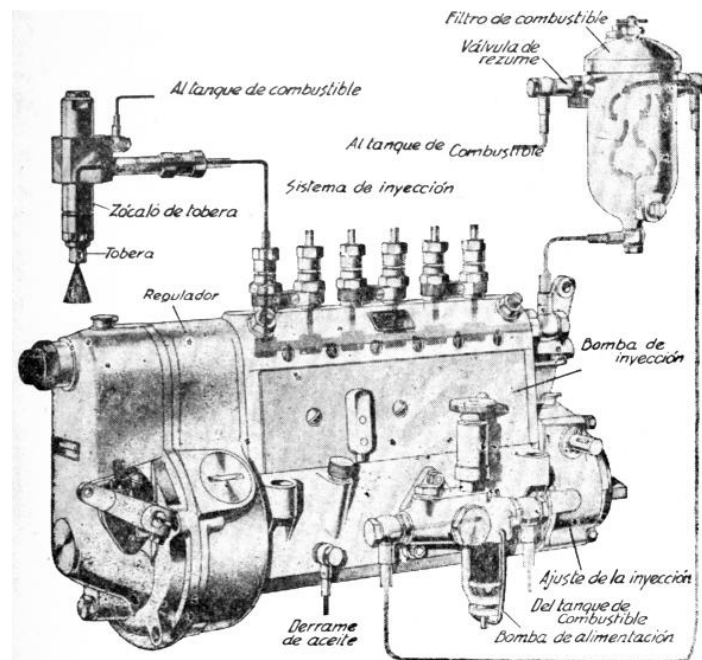


FIG. 7. — Sistema Bosch de bomba individual.

Figura 2.15. Sistema Bosch de bomba individual

Las presiones de inyección son elevadas, entre 70 y 300 Kg. /cm² y aún más, y como los pistones de estas bombas no están provistos de aros ni de cierres especiales, la estanqueidad se logra con el ajuste entre el pistón y su cilindro, del orden del micrón.

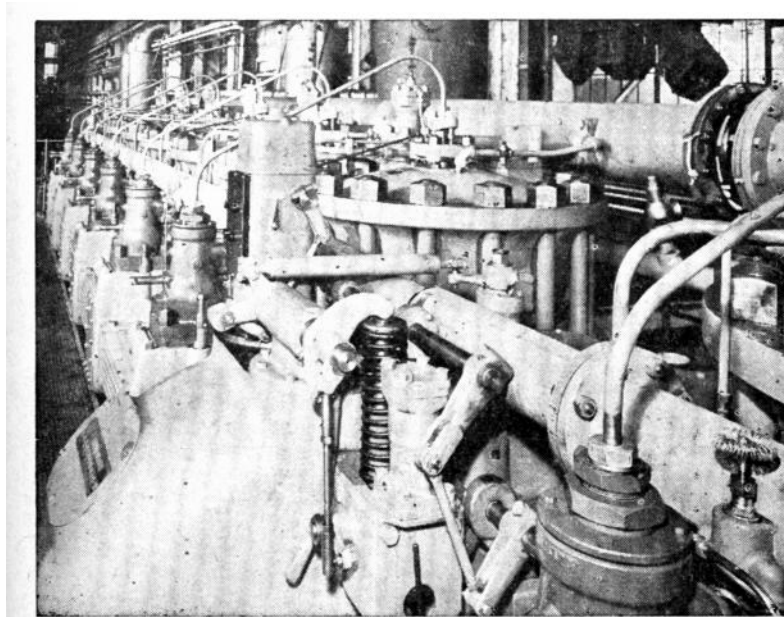


FIG. 9. — Bombas American Bosch individuales instaladas en el motor de una central eléctrica.

Figura 2.16. Bomba individual en motores de grandes potencia

En este sistema, la elevación de presión, la dosificación y sincronización de la inyección son realizadas por la bomba misma.

Para explicar el funcionamiento de este sistema se considerará a la bomba American Bosch, tipo A. P. F. se trata de una bomba de carrera constante accionada por leva. Observando el corte de la figura 2.17, se ve que la bomba consta esencialmente de una carcasa (8) con su brida de fijación, la guía (7) del émbolo buzo y la bomba propiamente dicha que comprende el émbolo buzo y su cilindro (6) el manguito dentado de control (5), el resorte de

retorno (10), los asientos del mismo (11 y 9) y el vástago de control (4).

La carcaza contiene, además, el colector de combustible, la válvula de descarga (3), con su empaquetadura (12), su casquillo (2) y su resorte (1). Finalmente, en la parte superior se ve la tuerca (13) para conectar el caño de descarga (14) del combustible a elevada presión.

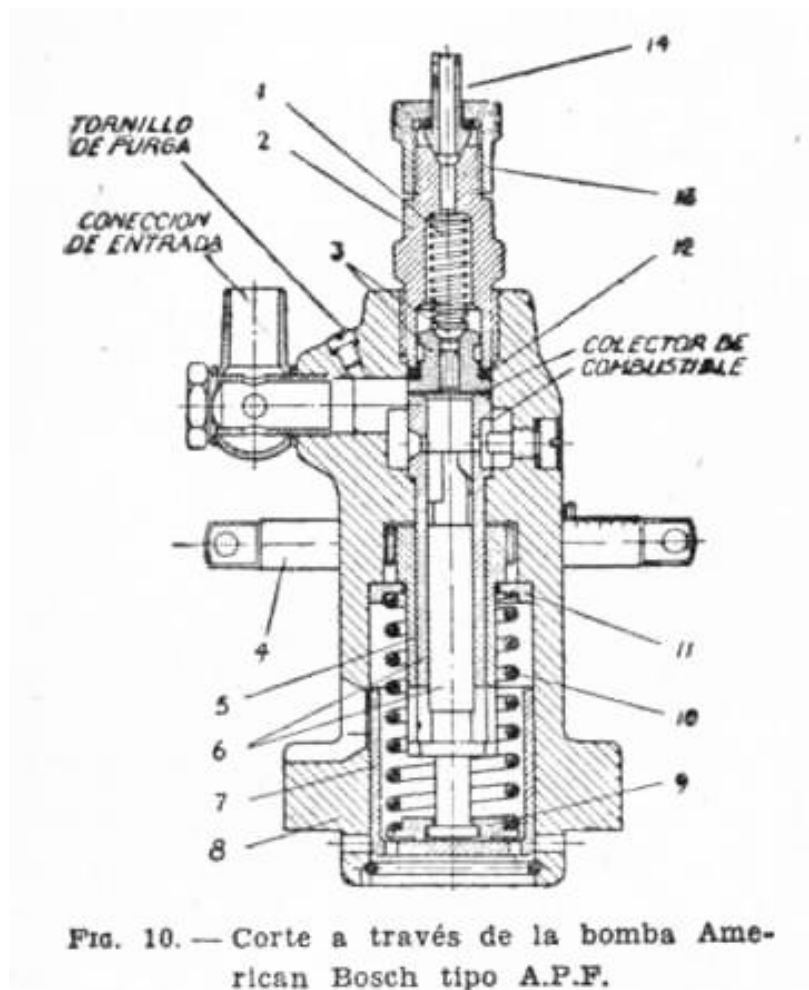


FIG. 10. — Corte a través de la bomba American Bosch tipo A.P.F.

Figura 2.17. Corte de una bomba Bosch

El combustible llega al colector a través de la conexión de entrada. En el instante en que el émbolo buzo (fig. 2.18, A, en su carrera descendiente, descubre a las dos lumbreras opuestas

radialmente en el cuerpo del cilindro, llamadas lumbreras de entrada y de descarga o derivación, respectivamente, el combustible penetra en el cilindro.

Durante la carrera ascendente del émbolo, parte del combustible que llena el cilindro es desplazado hacia el colector a través de las lumbreras, lo que se prolonga hasta que las dos aberturas sean obturadas por el émbolo.

Inmediatamente después el combustible comienza a ser comprimido, la válvula de descarga es separada de su asiento (fig. 2.18, B), y el combustible fluye hacia el caño de unión con el inyector, para ser descargado finalmente en el cilindro por el inyector cuando su presión alcanza un determinado valor que depende del ajuste del resorte del inyector.

La entrega de combustible cesa en el instante en que el rebaje helicoidal del émbolo llega a descubrir la lumbrera de descarga, pues en ese momento el cilindro, o más bien la cámara de presión, comunica con el colector, la presión disminuye y la válvula de descarga se cierra (fig. 2.18, C).

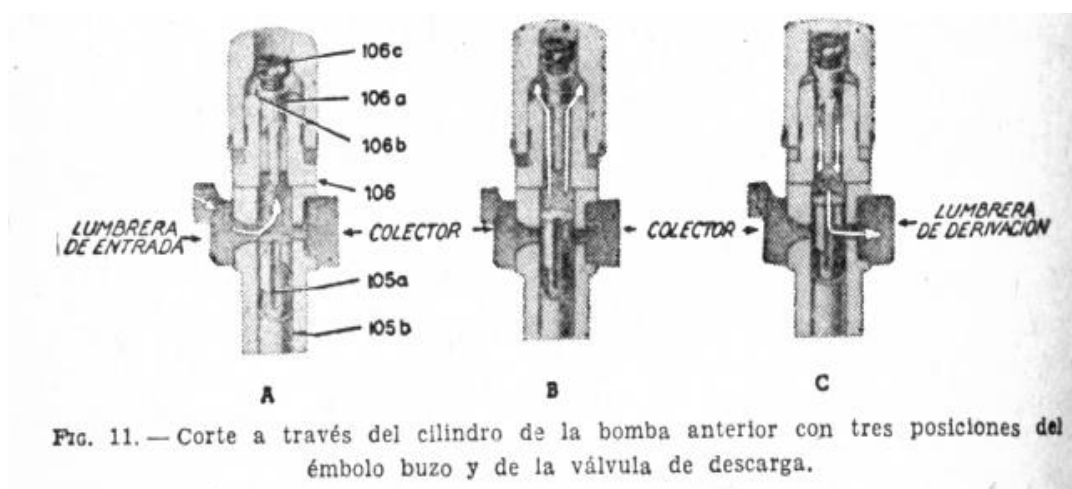


FIG. 11. — Corte a través del cilindro de la bomba anterior con tres posiciones del émbolo buzo y de la válvula de descarga.

Figura 2.18. Bomba con tres posiciones

La cantidad de combustible entregado se regula variando la posición relativa entre el pistón y su cilindro, lo que se logra mediante una cremallera que hace girar el cilindro con respecto al pistón (fig. 2.19).

En esa forma se consigue que el rebaje helicoidal del émbolo buzo se enfrente con mayor o menor anticipación durante la carrera ascendente de aquel (fig.2.19), o en otras palabras, se consigue acortar o alargar la carrera efectiva de la bomba, variándose así el caudal de combustible inyectado.

Desde cero para la detención del motor cuando la ranura vertical se enfrenta con la lumbrera de descarga para esta última posición el cilindro está constantemente en comunicación con la descarga y es imposible comprimir combustible (fig. 2.19, E), hasta su máximo, es cuyo caso el pistón se encontrará en la posición A (fig. 2.19), es decir, aquella para la cual el rebaje helicoidal tarda más tiempo en enfrentarse con la descarga, o en otras palabras, cuando la carrera efectiva es más larga.

La regulación de la cantidad de combustible inyectada por carrera se realiza mediante el vástago exterior de control, uno de cuyos extremos se vincula generalmente al regulador del motor, pero también puede ser accionado a mano o con el pie, este último.

Pertencen a este sistema de bombas las fabricadas por Bosch en Alemania; American-Bosch en EE.UU.; C. A. V., Simas y Bryce, en Gran Bretaña; Bosch-Lavalette, en Francia, etc.

El sistema que hemos descrito anteriormente corresponde al tipo con bomba de carrera constante en las cuales la cantidad inyectada puede variarse actuando sobre la carrera efectiva del

émbolo buzo, pero los hay también con bomba de carrera variable y con válvulas de derivación.

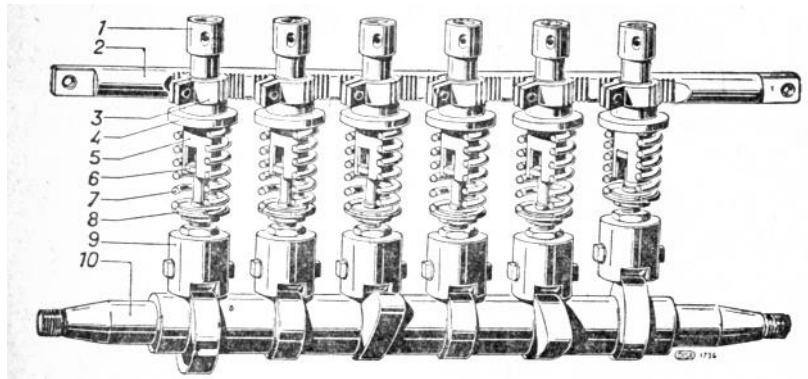


FIG. 12. — Representación esquemática de los movimientos alternativos y de rotación de los émbolos por medio del árbol de levas y de la cremallera de regulación.

- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. — Cilindro del elemento. 2. — Cremallera de regulación. 3. — Sector dentado para manguito de regulación. 4. — Platillo superior para regreso del émbolo. 5. — Manguito de regulación. (Tiene dos ranuras longitudinales en las cuales desliza la cruceta del émbolo.) 6. — Cruceta del émbolo. (Libre de moverse de abajo hacia arriba; haci- | <ol style="list-style-type: none"> do correr la cremallera los manguitos giran, obligando a girar a las crucetas.) 7. — Resorte para regreso del émbolo. 8. — Platillo inferior del resorte para regreso del émbolo. 9. — Botador a rodillo, con tornillo y contratuerca para regulación de altura del émbolo. 10. — Arbol de levas. |
|---|---|

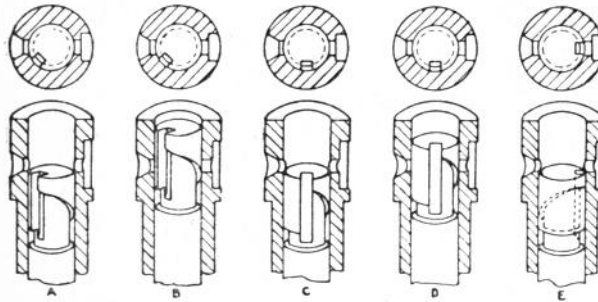


FIG. 13. — Cilindro con distintas posiciones del émbolo buzo.

Figura 2.19. Movimientos del émbolo por medio del árbol de levas

2.3.3.3. Sistema con distribuidor

Este sistema, indicado en la figura 2.20, consta de una bomba generalmente del tipo de engranajes, que envía el combustible a la bomba dosificadora a una presión relativamente baja de 6 a 12 Kg. /cm². El combustible pasa luego al distribuidor y de allí a los correspondientes inyectores.

Este sistema no es nuevo, existiendo muchas posibilidades en la actualidad de obtener este tipo de bomba a un costo relativamente

bajo con resultados equivalentes a las del tipo individual. Dicho movimiento se observa especialmente en los EE. UU.

El uso de una sola bomba para suministrar el combustible a todos los cilindros, elimina el problema de la sincronización inherente a los motores diesel con bomba individual para cada cilindro.

Los sistemas Cummins e Internacional Harvester poseen distribuidor.

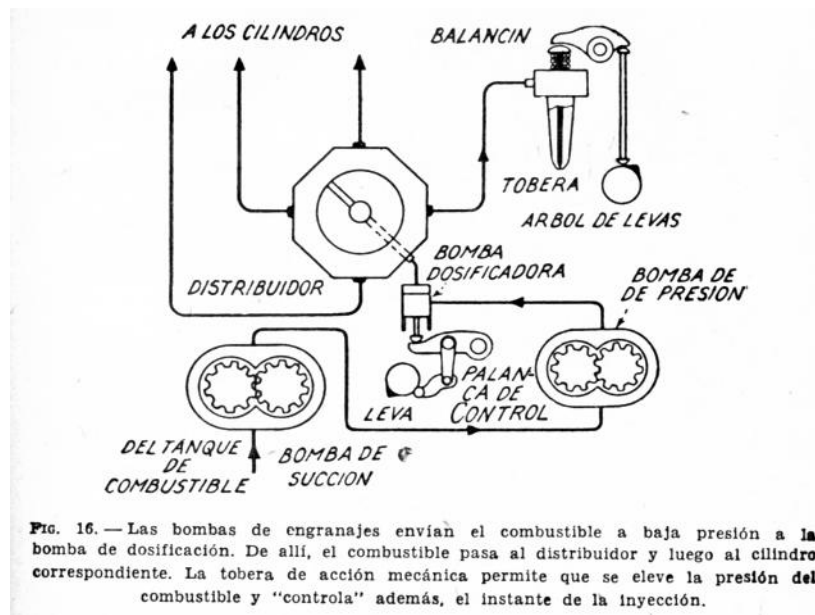


Figura 2.20. Sistema con distribuidor

2.3.3.4. El sistema individual

En el sistema individual la bomba y el inyector constituyen una sola unidad (fig. 2.21 y 2.22). El combustible es enviado a baja presión hasta el sistema ubicado en la cabeza del cilindro, donde es dosificado, comprimido e inyectado.

La dosificación puede realizarse variando la carrera efectiva del émbolo buzo (sistemas General Motors y Murphy) o variando la carrera total del mismo (sistema Cummins).

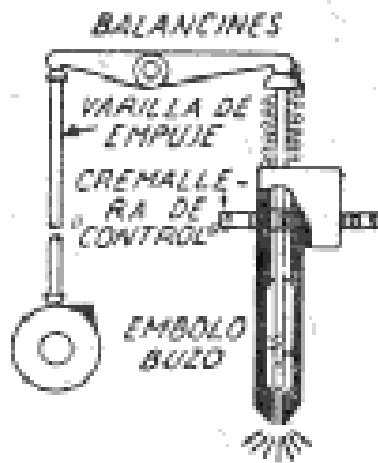


Figura 2.21. Sistema individual

Con este sistema se elimina totalmente los caños de unión entre la bomba y el inyector, salvándose así muchos de los problemas que plantean estos conductos, sobre todo a medida que crece la presión de inyección con que se trabaja; desapareciendo el combustible aprisionado entre la bomba y el inyector resulta, según los entendidos, mucho más fácil regular exactamente las muy pequeñas cantidades de combustible a inyectar. Estos sistemas operan con presiones de hasta 1500 Kg. /cm^2 .

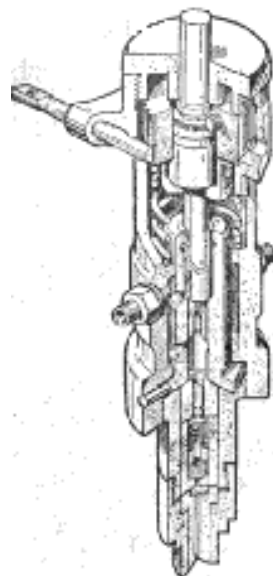


Figura 2.22. Sistema de inyección del tipo unitario

2.3.3.5. Sistema L'Orange sin bomba

Antes de terminar con esta rápida descripción de los sistemas se citará el que ideó el Ing. P. L'Orange, en el cual no hay bomba de inyección, utilizándose para la introducción del combustible la diferencia presión de que existe entre la cámara principal de combustión y otra auxiliar cuando el aire comprimido está pasando desde la primera hacia la segunda de esas cámaras. En las figuras 2.23 y 2.24 pueden verse cuál es el principio de funcionamiento de dicho sistema.

Entre la cámara principal y al auxiliar existen canales y una válvula de resorte.

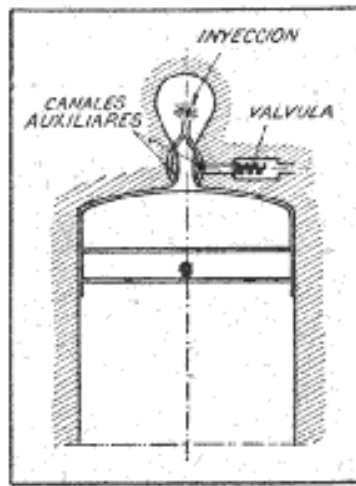


Figura 2.23. Sistema de inyección L Orange

Durante la carrera de aspiración del motor los canales se cargan de combustible, parte del cual penetra en la cámara auxiliar durante la compresión. Ese combustible, finamente pulverizado, quema en ese recinto aproximadamente a volumen constante elevando su presión, la que al actuar sobre los canales expulsa el resto del combustible hacia el cilindro donde su pulverización es favorecida por la corriente de gases a elevada velocidad y temperatura que proceden de la cámara auxiliar.

Este sistema ha sido ideado con el objeto de instalarlo en motores diesel de pequeña potencia, para los cuales la construcción de bombas de los tipos descritos mas arriba presenta ciertas dificultades por lo reducido de sus dimensiones y por las cantidades muy pequeñas de combustible que debe inyectarse por ciclo.

Se han realizado ensayos con resultados satisfactorios sobre motores de pequeñas cilindradas (300 cm², 5 HP) refrigerados con agua y en motores enfriados por aire (100 cm³); se alcanzaron velocidades de hasta 5.000 v/min. sin ninguna dificultad.

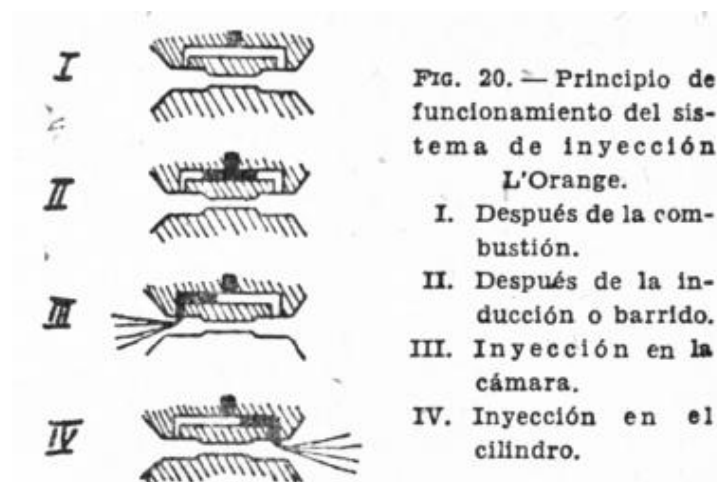


Figura 2.24. Principios de funcionamiento del sistema L Orange

2.4. ALGUNOS TIPOS DE BOMBAS DE INYECCIÓN UNITARIAS

2.4.1. BENDIX SCINTILLA (Tipos FC, FCR, FD y FDR)

2.4.1.1. Construcción y funcionamiento

En las figuras 2.25 y 2.26 se ilustran la construcción de estas bombas. Algunas bombas poseen ventanillas para puesta a punto provistas de tapas.

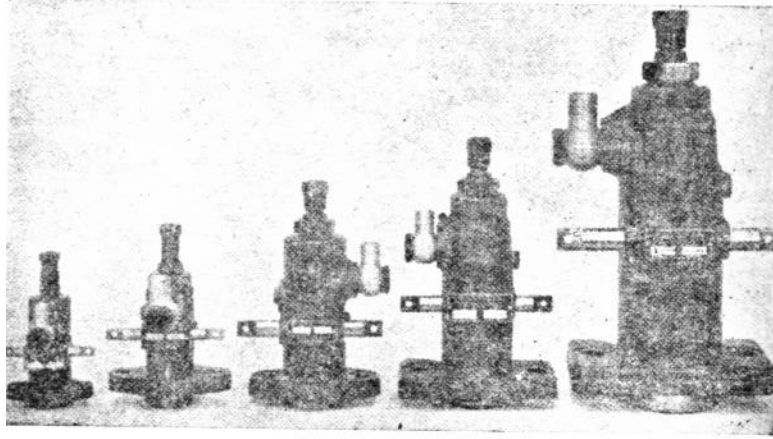


Fig. 1. — Distintos tipos de bombas Bendix-Scintilla

Figura 2.25. Distintos tipos de bombas Bendix - Scintilla

La copa del émbolo buzo (22) aprieta contra el botador por la acción del resorte (23), que también aprieta el émbolo buzo (3) contra la superficie interior de la copa (22) por medio de la placa inferior del resorte (1).

Estos elementos adquieren un movimiento recíproco por la acción de la leva de combustible del motor.

Durante la carrera ascendente, el émbolo primeramente cierra la lumbrera de admisión de su cilindro y comienza a descargar combustible a través de la válvula de retención (7).

Conforme el émbolo sigue subiendo, el surco helicoidal en la superficie del mismo (hélice reguladora) descubre la lumbrera de descarga, concluyendo la entrada de combustible a través de la válvula de retención, dando término así a la inyección en el cilindro del motor.

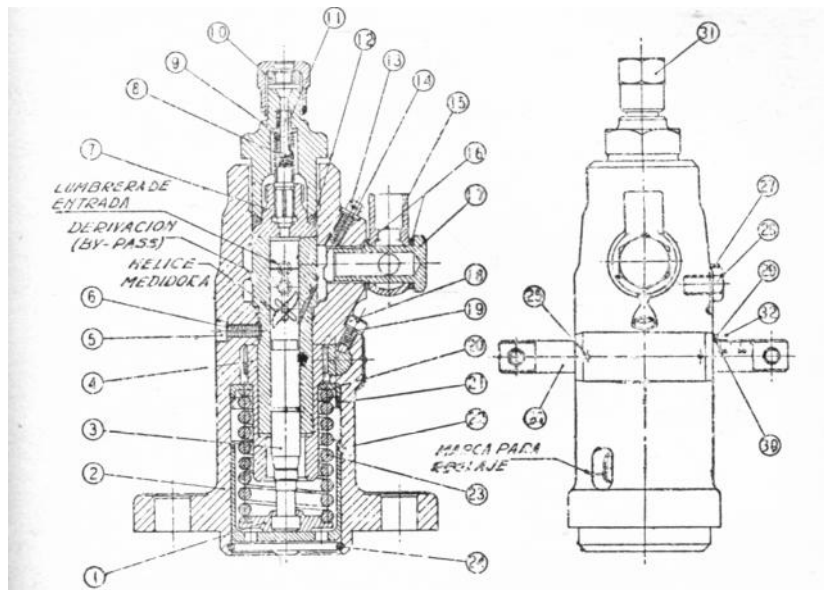


Fig. 2. — Corte a través de una bomba Bendix-Scintilla

- | | |
|---|---|
| 1. — Apoyo inferior del resorte. | 18. — Tornillo de la cremallera de "control". |
| 2. — Carcaza. | 19. — Arandela de traba. |
| 3. — Embolo buzo. | 20. — Apoyo superior del resorte. |
| 4. — Camisa de "control". | 21. — Anillo de retención. |
| 5. — Tornillo que traba el cilindro. | 22. — Tambor del botador. |
| 6. — Arandela. | 23. — Resorte de retorno del émbolo buzo. |
| 7. — Válvula de descarga. | 24. — Anillo de retención. |
| 8. — Resorte de la válvula de descarga. | 25. — Tornillo de la tapa. |
| 9. — Sostén de la válvula. | 26. — Cremallera de "control". |
| 10. — Arandela. | 27. — Arandela de sellado y de traba. |
| 11. — Retén. | 28. — Tornillo de presión. |
| 12. — Junta. | 29. — Índice. |
| 13. — Tornillo de purga de aire. | 30. — Espesor. |
| 14. — Junta de cobre. | 31. — Tuerca de alta presión. |
| 15. — Conexión de entrada de combustible. | 32. — Tornillo del índice (no se vé). |
| 16. — Junta de cobre. | |
| 17. — Conexión de entrada. | |

Figura 2.26. Corte a través de una bomba Bendix –Scintilla

Al seguir subiendo el émbolo, el combustible es expulsado fuera del cilindro de la bomba a través de un orificio central y cruciforme practicado en el émbolo, por el surco helicoidal y la lumbrera de descarga hacia la cámara de succión de la carcaza de la bomba (2). Cuando el émbolo llega al final de su carrera ascendente, vuelve a su posición interior por acción del resorte de retorno (23) y a un régimen determinado por la leva de combustible del motor. Durante la carrera descendente el émbolo descubre la lumbrera de admisión y el combustible fluye en el cilindro de la bomba por la acción del vacío formado por el

descenso del émbolo y la presión de la línea de alimentación. La cantidad de combustible inyectado en el cilindro del motor se regula haciendo girar el émbolo de modo que el surco helicoidal descubra a la lumbrera de descarga con mayor o menor anticipo durante la carrera ascendente.

Esto se logra mediante la cremallera de control (26), que engrana con los dientes de la corona del manguito de control (4), que está provisto de ranuras en su extremo inferior. Las ranuras se acoplan con una cruz del émbolo. La cremallera de control está unida a los controles y al regulador del motor. Figura 2.27.

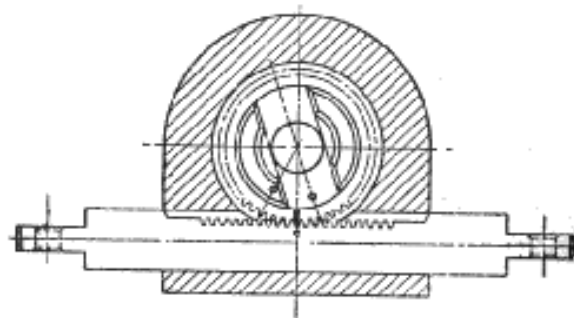


Figura 2.27. Accionamiento por cremallera

2.4.2. ATLAS IMPERIAL (tipo marino)

2.4.2.1. Funciones

El sistema de combustible ilustrado en la figura 2.28 desempeña las funciones siguientes:

- a) Debe conducir el combustible desde el tanque o tanques de abastecimiento del buque a las cámaras de combustión del motor;
- b) Debe dividir o medir el combustible en cargas, cada una de las cuales debe ser suficientemente para una carrera de potencia,

- c) Debe forzar cada carga dentro de una cámara de combustión alta presión.

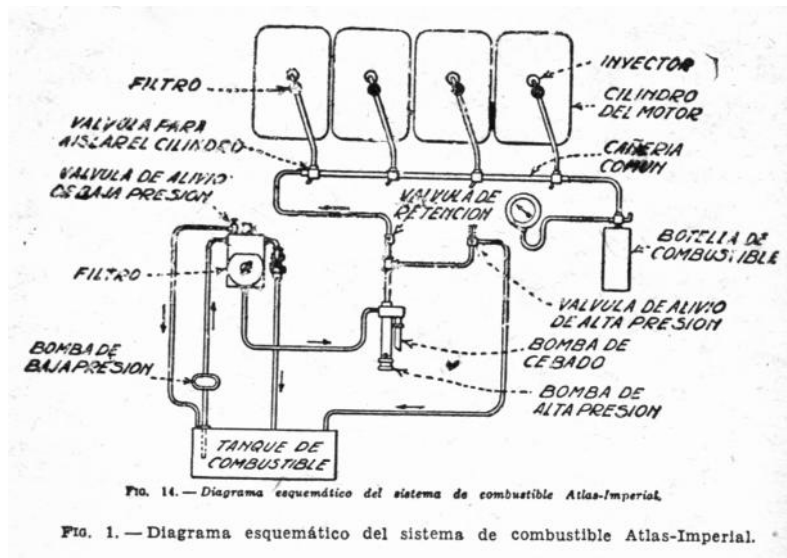


Figura 2.28. Sistema de combustible Atlas Imperial

2.4.2.2. Bomba de transferencia del combustible

La bomba que transfiere el combustible desde el tanque de reserva o abastecimiento a otro tanque más pequeño del motor, se denomina bomba de transferencia de combustible. Va montada sobre el motor y es impulsada por un engranaje del árbol de levas del motor. La construcción y funcionamiento de esta bomba es semejante al de las bombas reversibles de lubricación.

2.4.2.3. Bomba de alta presión del combustible

La extremidad posterior del árbol de levas del motor tiene dos manivelas, como se ve en la figura 2.29, las cuales impulsan los dos émbolos de la bomba de alta presión del combustible. Estos dos elementos se lubrican mediante un conducto perforado en el cojinete posterior del árbol de levas. Esta bomba realmente consiste de dos bombas, cada una de las cuales se abastecen de combustible de una cámara de succión común, bombeándolo en un caño de descarga.

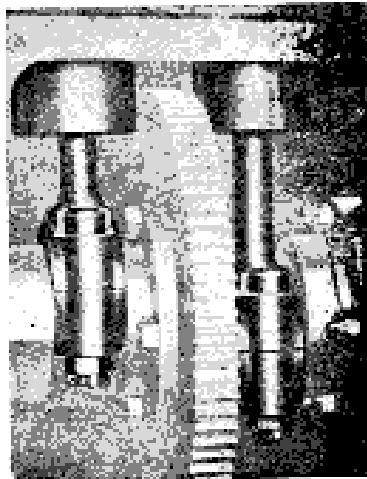


Figura 2.29. Bomba de alta presión

El tanque de servicio diario está situado de tal modo que el combustible sale de él por gravedad, pasando a la cámara de succión de la bomba de alta presión de combustible. Durante la carrera descendente de cualquiera de los émbolos su cilindro se llena de combustible. La válvula de succión es a resorte, y se abre por acción de la depresión creada durante la carrera descendente.

La carrera descendente somete el combustible a presión, cierra la válvula de succión, e impulsa el combustible en el caño de alta presión. La válvula de descarga no necesita de resorte del combustible del caño de alta presión la mantiene en su asiento, y únicamente podrá abrirse si la presión de descarga vence a la presión del caño.

2.4.2.4. Bomba de cebado a mano

A veces es necesario levantar a mano la presión del combustible, y esto sucede: 1) al hacer arrancar el motor después de haber estado inactivo durante largo período de tiempo; 2) al regular las válvulas de inyección, y 3) al ensayar las válvulas de inyección. Una de las bombas tiene un émbolo para el cebado a mano.

2.4.2.5. Válvula para regular el combustible

Por razones que se dan después conviene regular la presión del combustible, no solamente para mantenerla siempre constante, sino también para poder modificar esa presión cuando varían las condiciones de funcionamiento. Este control se lleva a cabo mediante una válvula reguladora del combustible, cuya construcción se ve en la figura 2.30.

La válvula de aguja se esmerila para que asiente perfectamente sobre su asiento por la acción de un resorte graduable. La presión del combustible al actuar sobre la aguja, levanta la válvula de su asiento cuando dicha presión es mayor que la tensión del resorte.

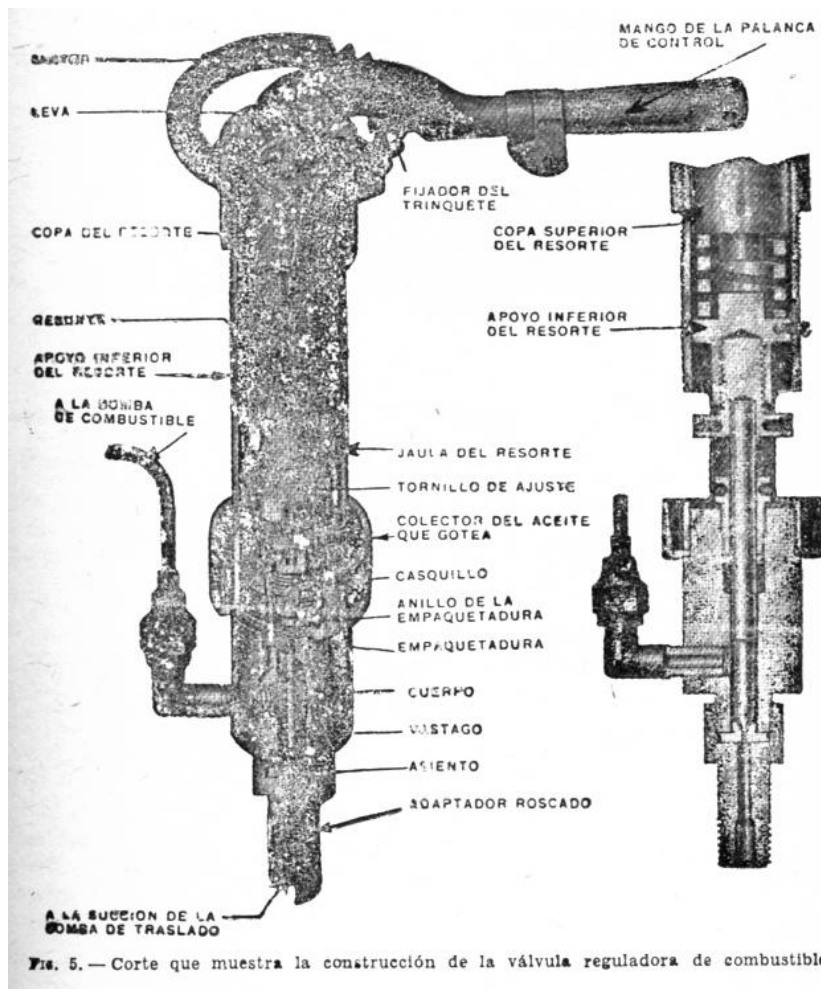


Fig. 5.— Corte que muestra la construcción de la válvula reguladora de combustible.

Figura 2.30. Válvula reguladora de combustible

De este modo la presión del combustible puede regularse desviándose su exceso hacia la succión de la bomba de transferencia.

2.4.2.6. Control manual

La tensión del resorte regulador se modifica mediante una palanca de control que puede moverse sobre un sector dentado.

La forma de la palanca es tal que al levantarla comprime al resorte aumentando su tensión. El aumento de la tensión del resorte significa aumento de la presión del combustible, y viceversa.

2.4.2.7. Regulación por el control manual

Es posible hacer variar la presión del combustible desde unos 70 Kg. /cm², cuando el motor está funcionando sin carga o a muy poca carga, hasta 280 Kg. /cm² a plena carga y velocidad. La presión de 70 Kg. /cm² deberá obtenerse con la palanca en su posición más baja. Si la presión del combustible fuese mucho mayor o mucho menor de 70 Kg./cm², con la palanca en esa posición, es posible ajustar la válvula de modo que la presión alcance ese valor sin necesidad de mover la palanca de control. Esto se consigue apretando o aflojando la tuerca reguladora. Si se la atornilla disminuirá la presión del combustible; si se la afloja la presión aumentará.

No deberá apretarse el casquillo del prensaestopas más de lo necesario para evitar las fugas de combustible. Si por algún motivo fuese necesario apretarlo fuertemente, cámbiese la empaquetadura, cuando haya suciedad entre la válvula de aguja y su asiento, con lo que disminuirá la presión del combustible, será necesario entonces sacar la válvula y su asiento para limpiarlos y purificarlos para que ajusten correctamente.

2.4.2.8. Caño común del combustible

El caño de alta presión del combustible, que parte de la bomba de alta presión, termina en el motor mismo extendiéndose a todo su largo, a la altura de la parte superior de las tapas de los cilindros.

De este caño parten sendos ramales a los cilindros. Este caño es común a todos los cilindros y por tal razón se denomina caño común de combustible.

2.4.2.9. Válvulas para aislar

El caño que parte del caño común y llega a la válvula inyector está provisto de una válvula de aguja que permite aislar el cilindro cerrándola a mano para interrumpir el paso del combustible.

A veces es necesario hacer arrancar el motor sin inyección de combustible, y con tal fin se han instalado dichas válvulas.

2.4.2.10 Botella de combustible

La extremidad delantera del caño común está conectada a una botella de combustible, que se ve en la figura 2.31. Consiste en un recipiente de diámetro pequeño, cuyo objetivo es aumentar el volumen de combustible sometido a la alta presión del caño común para reducir las fluctuaciones de presión. El manómetro que indica la presión del combustible generalmente está conectado a este tanque y tiene una válvula que puede cerrarse parcialmente para reducir las vibraciones de la aguja del manómetro.



Figura 2.31. Botella de combustible

2.4.2.11 Válvula de inyección

El sistema descrito permite mantener el combustible a presiones cuyo valor puede ser cualquiera comprendido entre 70 y 280 Kg./cm², y únicamente falta ahora subdividir el combustible en cargas elementales e inyectarlo en la cámara de combustión a su debido tiempo. Esta operación la efectúa la válvula de inyección y el mecanismo que la hace funcionar. Esta válvula está situada exactamente en el centro de la culata del cilindro y sobresale ligeramente en la cámara de combustión entre las válvulas de escape y admisión.

La construcción de la válvula de inyección y su filtro de combustible se ilustra en la figura 2.32, el filtro es del tipo de discos metálicos con separaciones de 0,038 mm. La válvula de inyección consiste esencialmente de un cuerpo, una válvula de aguja, un resorte, una empaquetadura y la tobera en la parte inferior del cuerpo.

El juego o espacio libre entre el vástago de la aguja y el cuerpo es suficientemente para permitir que el combustible pase libremente desde el tubo de admisión (del filtro) hasta la tobera. El

combustible no puede escaparse por los orificios de la tobera cuando la válvula descansa sobre su asiento por la acción del resorte.

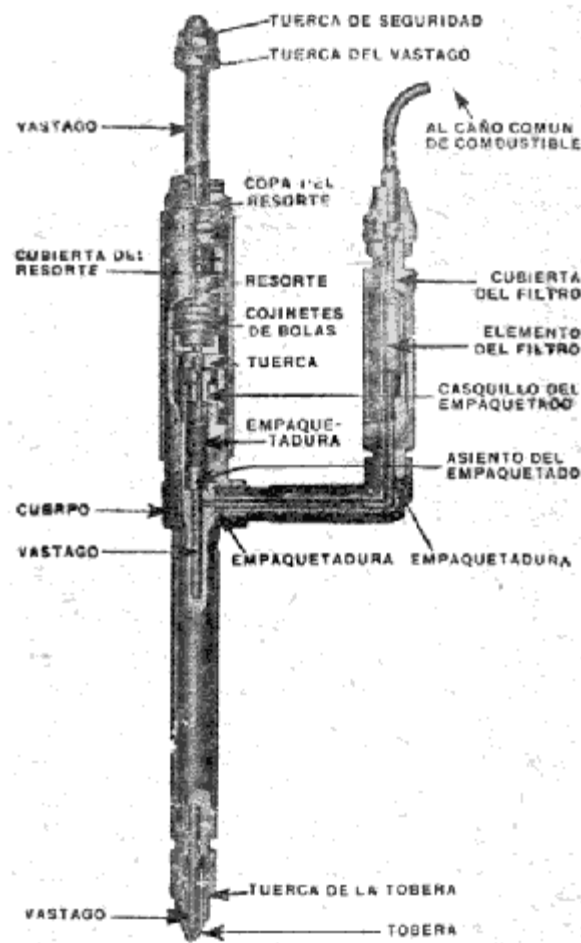


Figura 2.32. Válvula de inyección

Si la aguja se levanta, por la acción del mecanismo que se describe luego, el combustible fluye por el espacio libre citado, llega a la tobera y sale pulverizándose por los orificios de la tobera. Estos agujeros están uniformemente distribuidos alrededor de la tobera, como se ve en la figura 2.33.

El número y tamaño de estos orificios varían según el tamaño del motor.

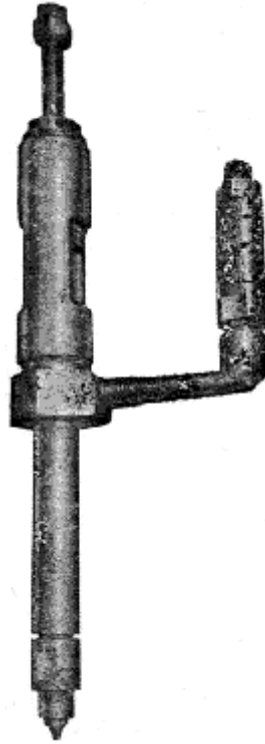


Figura 2.33. Inyector

2.4.2.12 Variación de la carga inyectada de combustible

La cantidad de combustible inyectada al levantarse la válvula de aguja dependerá:

- a) Del tiempo durante el cual la aguja está fuera de su asiento.
- b) De la presión del combustible.

Ya tenemos explicado cómo funciona la válvula reguladora del combustible para poder variar la presión. Las presiones altas aumentan la cantidad de combustible que se inyecta a través de la tobera. Por esta razón deberá aumentarse conforme aumenta la carga del motor. Ahora explicaremos la manera cómo varía el período de tiempo durante el cual la válvula está abierta.

2.4.2.13. Árbol de levas y leva del combustible

El vástago de la válvula de inyección se levanta por la acción de una leva del árbol de levas. El árbol de levas gira a la mitad de la velocidad del eje cigüeñal, de manera que el lóbulo de cualquier

leva de combustible solamente da una vuelta cada vez que el eje cigüeñal da dos vueltas. Como son necesarias dos revoluciones para obtener una carrera motora, se necesita inyectar combustible en cada cilindro solamente una vez cada dos vueltas.

2.4.2.14. Botador de la válvula de inyección

Para que el efecto del lóbulo de la leva de combustible se transmita a la válvula de inyección, existe un botador con un rodillo que apoya sobre la leva. Cada vez que la leva da una vuelta, el lóbulo levanta el rodillo y acciona a la válvula de inyección por medio de varias piezas intermedias que se detallan más adelante

2.4.2.15. Balancín y varilla de empuje de la válvula de inyección

El botador actúa sobre la varilla de empuje cuando es accionado por el lóbulo de la leva. La varilla de empuje levanta una de las extremidades del balancín de la válvula de inyección, que gira sobre un perno en su otra extremidad.

2.4.2.16. Vástago de la válvula de inyección

El vástago de la válvula de inyección se extiende verticalmente a través del agujero del balancín y termina en una tuerca y contratuerca de seguridad. Entre la tuerca y el balancín se encuentra un collar en forma de herradura.

2.4.2.17. Cuñas del combustible

El botador de la válvula de inyección apoya sobre su leva por la acción de un resorte. El resorte de la varilla de empuje, aprieta a la varilla de empuje y al balancín contra el collar y la tuerca del vástago de la válvula de inyección.

En el espacio que media entre el brazo y la varilla de empuje hay una cuña. Cuando la cuña se ha introducido completamente, el juego libre entre el botador, la cuña y la varilla de empuje es muy pequeño, y el vástago de la válvula de inyección se levanta virtualmente por el empuje de la leva del combustible. Pero, conforme la cuña se retira, el juego libre entre el botador, la cuña y la varilla de empuje aumenta, de manera que parte del movimiento de la leva es necesario para compensar el juego y poder abrir la válvula de inyección. Así la válvula de inyección se abrirá más lentamente y se cerrará más rápidamente, inyectando menor cantidad de combustible en la cámara de combustión.

Finalmente, extrayendo la cuña hasta una posición tal que el juego sea grande, la leva no podrá abrir la válvula de inyección, y cesará la inyección de combustible.

La posición de las cuñas está regulada por la rotación del árbol de cuñas y por el movimiento resultante que se comunica a las palancas enchavetadas sobre el mismo eje. El árbol de cuñas está vinculado al regulador.

2.4.2.18. Regulación de la válvula de combustible

La posición del lóbulo de la leva determina la regulación de la inyección del combustible, y en consecuencia, si la leva del combustible se fija al árbol de levas de manera que la leva de la vuelta más rápidamente o más lentamente la inyección será tanto más rápida o tanto más lenta. La leva del combustible realmente actúa contra cualquiera de los dos rodillos sostenidos por una plancha o pasador, para que la regulación de la inyección se mantenga uniforme no importando para ello la dirección en que el motor gire.

2.4.2.19. Regulador de velocidad

Conviene poder disponer de varias velocidades del motor mediante un control manual, así como de los medios de poder mantener constante la velocidad elegida para varias cargas del motor. Esto se consigue mediante el control del árbol de cuña por el regulador de velocidad ilustrado en la figura 2.34, en este diseño se han eliminado muchas piezas y se han simplificado otras para poder ilustrar con mayor claridad el funcionamiento del regulador de velocidad.

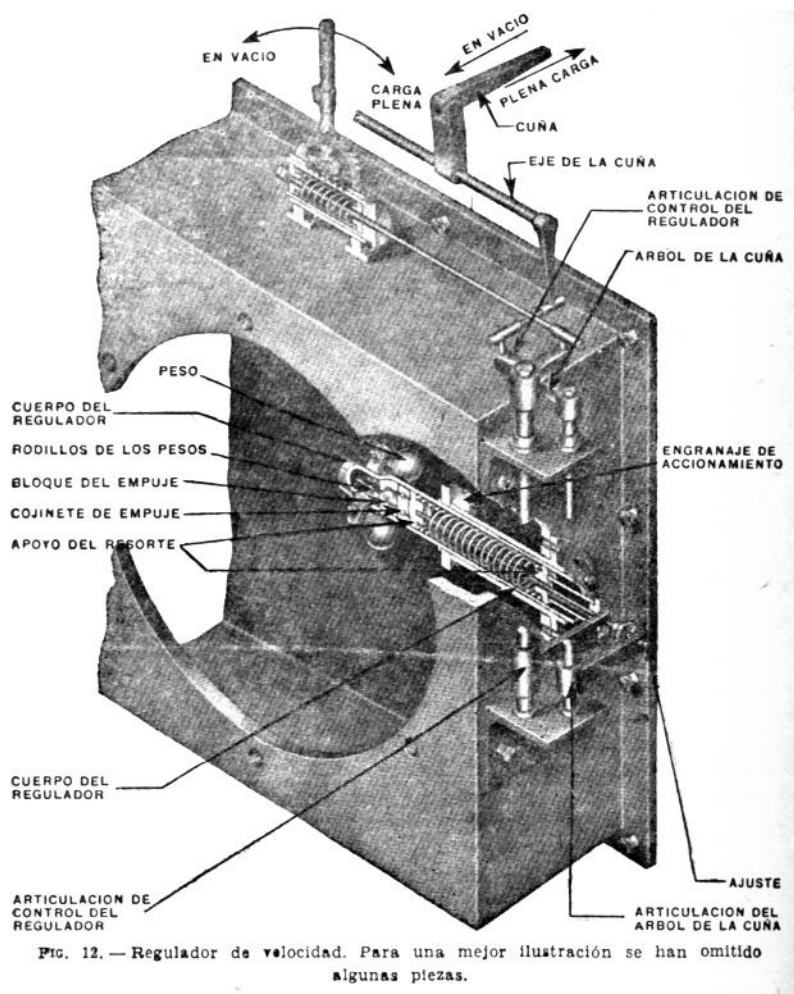


Figura 2.34. Regulador de velocidad

El que se ilustra corresponde a un motor regulado mediante volante manual, pero en los motores regulados con una palanca,

el funcionamiento del regulador es el mismo, excepto que la tensión del resorte se aumenta con la acción de una leva en los motores de una sola palanca, en vez del trinquete y palanca que se ven en la ilustración.

El regulador de velocidad es del tipo de bolas, o sean dos pesas giratorias en forma de bolas o esferas (el impulso es por engranaje desde el árbol de las levas). Mientras más rápida sea la rotación de estas pesas, más distanciadas entre sí se moverán por efecto de la fuerza centrífuga. Conforme reapartan, presionan sobre el cojinete de empuje y sobre la varilla. Esta última está conectada al árbol de cuñas de modo que al apartarse las pesas del regulador la cuña es desplazada hacia fuera disminuyendo la cantidad de combustible que se inyecta.

Digamos, por ejemplo, que mediante el control manual se ha fijado la velocidad del motor en 300 vueltas por minuto. La disminución en la carga del motor o un aumento en la presión del combustible, harán que la marcha del motor sea mas rápida. Las bolas del regulador se apartarán más moviendo horizontalmente al cojinete de empuje y a la varilla, impulso que es transmitido por la articulación al árbol de cuñas. Conforme la cuña se retira, el período de inyección se acorta, el motor disminuye su potencia y marchará a la velocidad deseada.

Toda disminución de la velocidad del motor hace que las pesas se acerquen, y que el cojinete responda a tal disminución por efecto del resorte; las cuñas penetrarán más entre los botadores y las varillas de empuje, con lo cual aumentará la cantidad de combustible que se inyecta, hasta que la velocidad llegue al valor deseado.

2.4.3. AMERICAN BOSCH TIPO PSB

La bomba de inyección American Bosch tipo PSB es de carrera constante, de émbolo buzo distribuidor con manguito de control; el émbolo buzo es accionado por un sistema de leva y botador que también lleva los engranajes para lograr la distribución. La finalidad de esta bomba es descargar en los cilindros cantidades de combustible exactamente medidas, a presión elevada y a través de los inyectores, con una secuencia definida según el orden de combustión de los cilindros del motor. Esta bomba se ha proyectado para reducir su costo inicial y simplificar su mantenimiento; ambos objetivos se han logrado con una reducción substancial del número de piezas componentes.

Para controlar la cantidad de combustible descargada en función de la velocidad, esta bomba posee un regulador integral mecánico de tipo centrífugo.

La alimentación de la bomba se obtiene con una bomba de engranajes acoplada directamente en su frente y movida por el engranaje del distribuidor del árbol de levas.

Bombas de este tipo se fabrican con una brida y un piloto para su unión con el motor y son accionadas a la velocidad del cigüeñal en los motores de cuatro tiempos. Se pueden obtener con émbolos buzos de diámetro desde 6,5 a 10 mm. tanto para las de cuatro como para las de seis cilindros. Debido a su pequeño tamaño y exactitud en la dosificación, se adaptan particularmente para los motores diesel pequeños de alta velocidad.

2.4.3.1. Construcción general

Los elementos de la bomba se montan en una carcasa de aluminio y pueden subdividirse en tres grupos principales: la carcasa con el mecanismo de accionamiento, la cabeza hidráulica y el regulador.

2.4.3.1.1. Carcaza

La carcasa de aluminio se funde en una sola pieza con una brida de tres agujeros para su montaje en el motor y contiene el árbol de levas, soportado en la parte posterior por el cojinete, y en el frente por un cojinete de bolillas, la leva es de dos lóbulos en el caso de la bomba de cuatro cilindros y de tres lóbulos en la bomba de seis cilindros. El árbol de levas es rasurado, y posee un engranaje helicoidal, maquinado en el mismo y adyacente a la leva para engranar y accionar el engranaje inferior del árbol deslizable del sistema de distribución. Figura 2.35

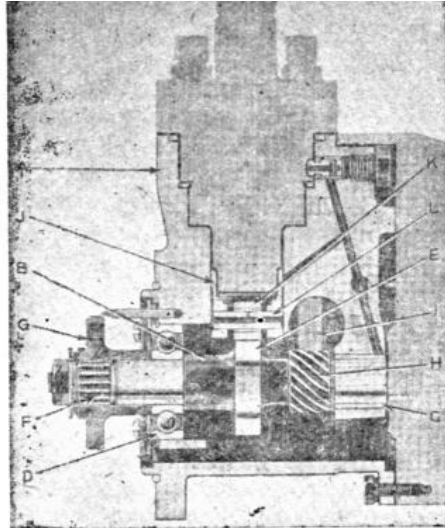


Fig. 1. — Carcaza con mecanismo de accionamiento.

Figura 2.35. Carcaza

El conjunto del árbol deslizable, que transmite el movimiento rotatorio del árbol de levas de la bomba al émbolo buzo a la mitad de la velocidad del cigüeñal, consta de un cojinete fijado a la carcaza, un árbol deslizable, con un engranaje recto integral en la parte superior y un engranaje recto fijado en el extremo inferior del árbol con una chaveta Woodruff. Estos engranajes están marcados para el montaje correcto para los sentidos de rotación a la izquierda o a la derecha y también para el reglaje correcto del émbolo buzo.

El conjunto de botador, interpuesto entre la leva y el extremo inferior del émbolo buzo, consta de una camisa, guiada con una ranura y un perno en la carcaza, y un rodillo que gira en un buje flotante sobre un eje cementado.

En la parte superior de la carcaza existe una mirilla para la puesta a punto, marcada para la alineación del engranaje durante el montaje y desmontaje. Existe otra marca (“PC”) que se alinea con la marca del engranaje para referencia del cierre de la lumbrera. En el extremo de accionamiento de la bomba existe un índice de reglaje que debe alinearse con una marca del cubo del engranaje para obtener un ajuste más exacto de los elementos en la posición de cierre. Directamente encima de la mirilla se encuentra la palanca de control, fijada a la carcaza con un buje de brida; la palanca se extiende en la cabeza hidráulica y lleva un pivote excéntrico que vincula el manguito de control en la cabeza.

La mirilla de reglaje y la palanca de control están encerradas por una tapa que se atornilla en la carcaza y que lleva una varilla cargada con resorte para detener manualmente el motor. La carcasa está horadada para permitir que el aceite a presión del sistema de lubricación del motor llegue al sistema de botador, al cojinete posterior y a través de un filtro, hasta la parte esmerilada del émbolo buzo.

Los lóbulos de la leva, el cojinete de bolillas y el engranaje helicoidal, son lubricados por salpicado desde el cárter de la bomba; el exceso de aceite se escurre hacia atrás en el cárter del motor, por un agujero en la brida debajo del cojinete de bolillas.

2.4.3.1.2. Cabeza hidráulica

La cabeza hidráulica es un conjunto fijado a la carcasa mediante espárragos. Se remueve con finalidad para su mantenimiento y reemplazo. Para las unidades de cuatro y seis cilindros se requieren cabezas separadas. Este conjunto está compuesto por: el bloque de la cabeza buzo esmerilado, el engranaje de accionamiento de este último, la válvula de descarga y el resorte de retorno del émbolo buzo.

El émbolo de la cabeza (fig. 2.36), lleva un agujero central esmerilado en el que ajusta el émbolo buzo y cuyo extremo superior es abocardado y roscado para la válvula de descarga. Cuatro conductos (seis en el caso del modelo para seis cilindros) se extienden simétricamente desde el agujero central en el que se mueve el émbolo buzo y terminan en accesorios para la descarga, atornillados en la parte superior del bloque.

Existe un conducto inclinado hacia abajo, horadado desde la válvula de descarga y que comunica con un conducto horizontal que llega hasta el agujero del émbolo buzo en el anillo de distribución aproximadamente en la mitad de su longitud. La cabeza es taladrada y roscada, para recibir dos accesorios de entrada de combustible; hay además conductos inclinados hacia abajo, horadados a través de la cabeza y que llegan hasta el sumidero de la bomba de alimentación en la sección media del agujero donde se desliza el émbolo buzo, con un sumidero donde se acomoda también el manguito de control. La cabeza lleva también un agujero roscado

para recibir el filtro de aceite en el canal que llega hasta el agujero del émbolo buzo por debajo del sumidero para la lubricación.

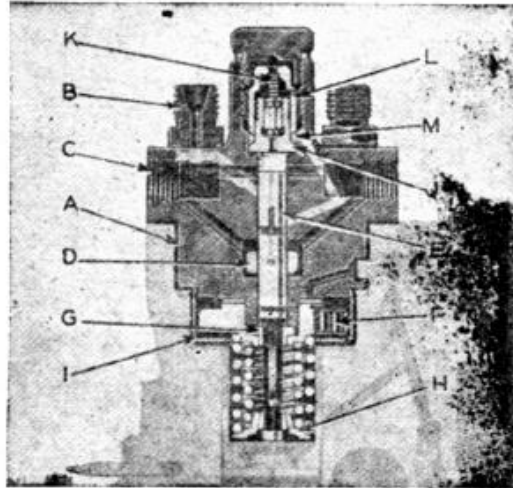


FIG. 2. — Cabeza hidráulica.

Figura 2.36. Cabeza hidráulica

El émbolo buzo está esmerilado y ajusta no solamente en la cabeza sino también en el manguito de control, de manera que esas tres piezas constituyen un conjunto inseparable. La extensión inferior del émbolo buzo es aplanada y está asegurada al engranaje de accionamiento, con una guía que fija la posición angular del émbolo con relación al engranaje de accionamiento. Entre el engranaje y la cabeza se coloca una arandela de bronce para absorber el empuje del engranaje de accionamiento. El asiento inferior del resorte está fijado al émbolo buzo con un pasador partido y el conjunto se fija a la cabeza hidráulica con un retén, que se prolonga en la misma. Este retén lleva un corte para permitir el engrane de los engranajes y otro corte, en el frente, con fines de reglaje.

2.4.3.1.3. Regulador

El regulador, cuyo sistema de pesas está vinculado al árbol de levas, se considera como parte integral de la bomba. El regulador es de velocidad variable, del tipo mecánico y centrífugo. La acción del regulador se cumple a través de las pesas volantes que actúan sobre un manguito móvil presionando en el sentido contrario por resortes. Figura 2.37.

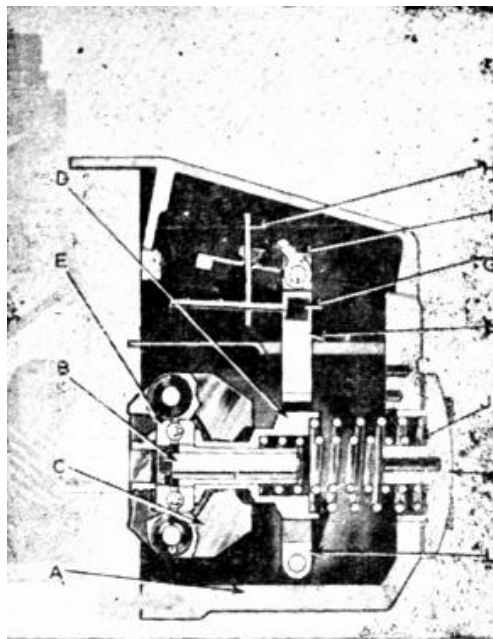


FIG. 3. — Regulador.

Figura 2.37. Regulador

El conjunto consiste en una carcasa de aluminio fijado en la parte superior de la carcasa de la bomba con tornillos, y contiene un árbol y el mecanismo de pesas, el manguito deslizable, los resortes de control, la placa oscilante y un árbol de accionamiento y la y la placa retén.

El conjunto formado por el árbol y las pesas comprende un vástago fijado a presión en una extensión del árbol de levas, y dos pesas volantes articuladas en lados opuestos del vástago citado. Las pesas oscilan libremente alrededor de sus pernos.

El manguito deslizante se mueve libremente sobre el árbol del regulador y posee un cojinete a bolillas con un cojinete de bolillas en su frente sobre el que apoyan las uñas de las pesas. Existe una ranura a cada lado del manguito para recibir el perno pivote de la palanca oscilante; dos cavidades cilíndricas en la parte posterior reciben los dos resortes del regulador.

La placa lleva dos pernos pivotes que deslizan en las ranuras del manguito. Estos pernos pueden colocarse en un juego alternativo de agujeros para variar la regulación. La extensión de la varilla de control se conecta a la parte superior de la palanca oscilante y transmite el movimiento del regulador al manguito de control en la cabeza hidráulica. La placa de retén está atornillada en la parte superior de la carcasa; la leva límite de humo en el extremo superior de la palanca, apoya contra aquella durante el funcionamiento. Los dos resortes del regulador el exterior para el control de la velocidad reducida y el interior para el control de la velocidad superior), están mantenidos en el manguito deslizante por una tapa fácilmente removible, fijada con tornillos sobre la parte superior de la carcasa.

El conjunto del árbol de accionamiento se extiende a través de la carcasa del regulador y se ha proyectado para conectarlo al control del motor a través de

varillas. Fácilmente accesible en la parte exterior, existe una placa de retén y tornillos limitados para el ajuste de las velocidades de vacío y de plena carga. En el interior del regulador, el árbol está conectado a una horquilla a través de un resorte de tensión que actúa sobre una oreja del árbol y sobre una oreja de la palanca, éstos se cargan uno a través del otro. La horquilla está articulada en la palanca y actúa como un segundo punto de oscilación de esta última.

2.4.3.2. Funcionamiento, Bombeo

El combustible llega a la bomba desde el sistema de alimentación o suministro, a través de la conexión de entrada y fluye a través de dos lumbreras de admisión en la parte superior del cilindro (fig. 2.38-A), cuando el émbolo buzo se encuentra en su punto muerto inferior. Al moverse el pistón hacia arriba por la acción de la leva, rápidamente cubre las lumbreras de admisión, aprisionando el combustible y abriendo finalmente la válvula de descarga (fig. 2.38-B). A medida que el émbolo sigue moviéndose en su carrera ascendente, el combustible forzado a través de la válvula de descarga es conducido por los canales de comunicación hasta el anillo del émbolo, y luego por la ranura vertical de distribución del émbolo hasta el canal de salida con el cual registra la ranura vertical citada al girar el émbolo (fig. 2.38-C). Al seguir moviéndose el émbolo, su anillo inferior sobrepasa la arista del manguito de control y el combustible a presión escapa abajo por el canal central del émbolo, dirigiéndose al sumidero que rodea al manguito, que se halla a la presión de alimentación (fig. 2.38-D). Al disminuirse la presión bruscamente la válvula de descarga se cierra, durante lo cual la presión de la válvula en forma de pistón obtura el canal antes que la válvula alcance su asiento cumpliendo así con su función de reducir la

presión en el sistema de descarga, hasta la presión residual. Esto corresponde al final del ciclo de bombeo.

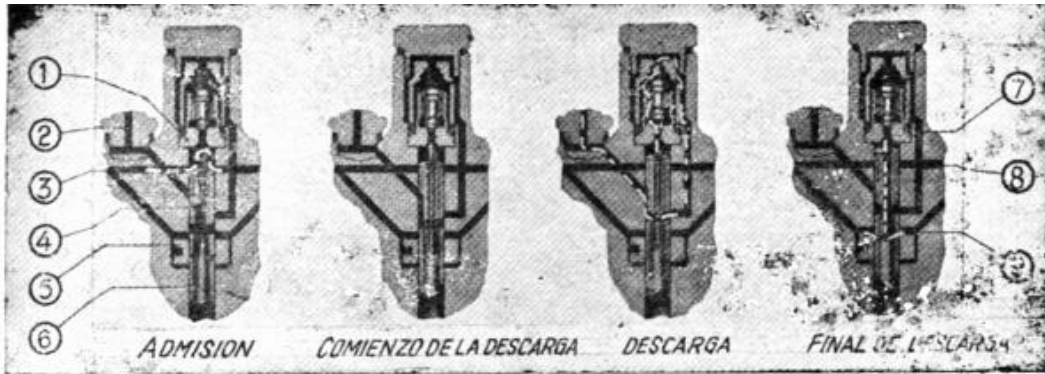


FIG. 4-A. — Lumbreras abiertas. Válvula de descarga cerrada.
 FIG. 4-B. — Lumbreras cerradas. Válvula de descarga abierta.
 FIG. 4-C. — Lumbreras cerradas. Válvula de descarga abierta.
 FIG. 4-D. — Anillo de derrame abierto.

1. — Válvula de descarga.
 2. — Conducto alta presión a la tobera.
 3. — Entrada de combustible.
 4. — Ranura de distribución.
 5. — Manguito de control.
 6. — Embolo buzo.
 7. — Conducto de alta presión.
 8. — Derrame de combustible.
 9. — Sumidero del anillo de derrame.

Figura 2.38. Funcionamiento, Bombeo

2.4.3.3. Dosificación y control

La cantidad de combustible descargada por carrera es regulada por la variación de la posición del manguito de control con relación a la posición fija del cierre de la lumbrera, (el punto para el cual la parte superior del émbolo cubre a las lumbreras de admisión) para la cual el anillo de derrame del émbolo sobrepasa la arista superior del manguito.

Al pasar combustible a través del canal del émbolo hacia el sumidero que rodea al manguito la presión de bombeo disminuye, finalizando la descarga de combustible a pesar de que el émbolo se sigue moviendo hacia arriba.

Si el manguito de control se eleva, el anillo del émbolo permanece tapado por el manguito mayor tiempo, alargándose la

carrera efectiva del émbolo y descargándose por lo tanto mayor cantidad de combustible (fig. 2.39-B).

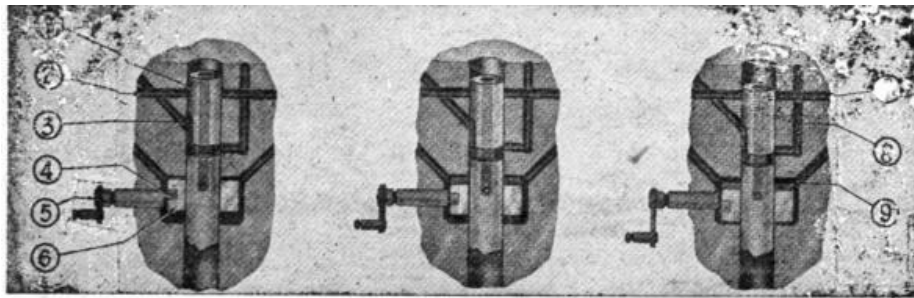


FIG. 5-A. — Máxima descarga.

FIG. 5-B. — Descarga normal.

FIG. 5-C. — Descarga nula.

- 1. — Embolo buzo.
- 2. — Entrada de combustible.
- 3. — Salida de alta presión.
- 4. — Excéntrica.
- 5. — Palanca de control.

- P. — Manguito de control.
- 7. — Derrame de combustible.
- 8. — Conducto de alta presión.
- 9. — Sumidero del anillo de derrame.

Figura 2.39. Descarga de combustible

Al bajar el manguito de control hasta su punto extremo, el anillo de derrame del émbolo es descubierto por la arista superior del manguito antes que la cara superior del émbolo alcance a destapar las lumbreras de admisión.

En esas condiciones no se crea presión aun después que las lumbreras se hayan cerrado, y por lo tanto no hay descarga de combustible. Esto corresponde a la posición para la que no hay descarga.

Obsérvese que el movimiento hacia arriba del manguito de control aumenta la cantidad de combustible bombea por carrera, mientras que su movimiento hacia abajo disminuye la cantidad de combustible bombeada por carrera, hasta que se alcanza la posición de descarga nula.

2.4.3.4. Válvula de descarga

La válvula de descarga, ubicada directamente por encima de la cámara de bombeo, colabora en la operación de dosificación evitando las pérdidas irregulares de combustible desde el lado de descarga del sistema hacia el lado de alimentación o carga entre las carreras de bombeo. Consiste de la válvula propiamente dicha con una parte en forma de pistón y una cara cónica para asiento, una carcasa o casquillo con su correspondiente asiento cónico, y el resorte de la válvula.

Después que el émbolo buzo en su carrera ascendente obtura las lumbreras de admisión, comienza a crearse presión. Cuando esta presión vence a la fuerza que ejerce el resorte sobre la válvula, la válvula se abre y el combustible a la presión de bombeo fluye a través de los canales de distribución hacia el caño de inyección.

Cuando el émbolo buzo continúa su carrera ascendente y abre el anillo de derrame, se produce un brusco descenso de la presión por debajo de la válvula de descarga y la fuerza del resorte de la válvula, combinada con la elevada presión diferencial, hace volver a la válvula sobre su asiento. Cuando la válvula comienza a moverse hacia abajo en su casquillo la arista inferior de su pistón bloquea el canal. Al continuar el movimiento descendente de la válvula, se incrementa el volumen del lado de alta presión de una cantidad igual al movimiento del pistón, y en consecuencia se reduce la presión residual en la línea. Esta disminución de presión produce el rápido cierre de la válvula de la tobera de inyección disminuyendo los efectos de la onda de presión hidráulica que se crea en el caño de inyección, siendo así mínimas las posibilidades de reapertura de la válvula antes que se inicie el nuevo ciclo de descarga.

2.4.3.5. Regulación

El regulador mecánico centrífugo de velocidad variable está fijado a la bomba y es accionado a través de ella.

El árbol del regulador lleva dos pesas volantes forjadas, vinculadas a él mediante pernos en un cubo; al aumentar la velocidad, las pesas se separan del árbol. Las uñas de las pesas actúan a través de un cojinete de empuje sobre el manguito, moviéndolo en contra los resortes del regulador. El manguito está conectado a la palanca a través de pernos pivotes que se deslizan en ranuras del manguito, de modo que al moverse este último la palanca también se mueve. La palanca a su vez, está conectada, mediante varillas, al manguito de control, en la cabeza hidráulica, para mover al manguito de control en correspondencia. Como se observó más arriba, la posición del manguito de control determina la cantidad de combustible entregado.

La palanca pivotea no sólo en el manguito deslizante sino también en su extremo inferior en una horquilla conectada a la palanca de operación. Esta última ha sido proyectada para ser accionada por una varilla desde el asiento del conductor o desde el panel de control. A través de estas conexiones con la palanca y esta última varilla al manguito de control de la bomba, la posición de la palanca determina la cantidad de combustible descargado y la velocidad del motor. Con la palanca de operación en una posición estacionaria el pivote inferior de la palanca oscilante permanece fijo. Si aumenta la carga del motor, su velocidad decrece momentáneamente, lo mismo que la fuerza centrífuga de las pesas, con lo cual los resortes que actúan sobre el manguito deslizante mueven a la palanca oscilante y al manguito de control en el sentido en que aumenta la cantidad de combustible descargado; finalmente, el motor vuelve a recobrar

su velocidad original. Si tiende a excederla, debido a una disminución brusca de carga, aumenta la separación de las pesas, sus uñas empujan al manguito deslizante en contra de la fuerza opuesta por los resortes, el manguito deslizante mueve a la palanca oscilante y al manguito de control, disminuye la cantidad de combustible inyectado, reduciéndose la velocidad del motor.

La palanca de operación está conectada a la palanca oscilante por un resorte de torsión que se apoya en un extremo contra una espiga de la palanca de operación y en su otro extremo contra una espiga en la horquilla, en la parte inferior de la palanca oscilante. Este resorte de torsión atrae a ambas espigas, una hacia la otra, de manera que, normalmente, la palanca de operación y la oscilante actúan como si estuviesen rígidamente unidas. Sin embargo, cuando la velocidad del motor se aparta, debidos a un cambio de carga, de la que es normal, para la posición de la palanca de operación, las espigas se apartan momentáneamente hasta que el regulador se hace cargo de la situación. Estas operaciones sirven para proteger al regulador y a los elementos de la bomba contra esfuerzos elevados.

El manguito deslizante se opone a los esfuerzos de las pesas volantes con los dos resortes del regulador. Estos resortes están diseñados para que la acción de las pesas, a una velocidad dada entre los límites normales de velocidad, está balanceada por la fuerza de los resortes después que el manguito se haya movido. En consecuencia, para cada velocidad existe una posición definida del manguito. Como resultado de esta estabilidad inherente al regulador, se puede regular la velocidad entre $3\frac{1}{2}$ a 5% y de 7% a 13%, de acuerdo con la combinación de resortes empleadas y según la posición del perno pivote del manguito en la palanca oscilante, que es ajustable.

La palanca oscilante posee una leva de límite de humo vinculada a su extremo superior, que limita la máxima cantidad de combustible descargado, independientemente de la posición de la palanca de operación, por contacto con una chapa de retén ajustable, con lo que se evitan las sobrecargas del motor. Especialmente, en las aplicaciones de tractores, donde se requieren cargas a bajas velocidades y momentos elevados, la placa de control de momento y la leva de límite de humo se ajustan para obtener momentos crecientes al disminuir la velocidad. Al aumentar la carga del motor más allá del ajuste nominal del retén, la velocidad decrece y, en consecuencia, las pesas volantes al acercarse entre sí y al árbol, mueven al manguito. Esta mayor carga separa a las espigas de la horquilla y a la palanca de operación, moviendo a la horquilla hacia delante y hacia abajo; la palanca oscilante, que pivotea entonces alrededor del saliente de la leva de humo en contra del plato retén. Desde que la varilla de control, que actúa sobre el manguito de control de la bomba, está articulada debajo de este nuevo punto de pivoteo, su acción es opuesta, resultante mayor descarga de combustible y, en consecuencia, requiere un momento mayor.

El saliente de la leva es ajustable y cuando más alto se lo ajusta en la palanca oscilante, mayor es el recorrido interior de la varilla de control cuando la leva pivotea sobre la placa de control de momento, obteniéndose así el ajuste del crecimiento del momento. Un ajuste posterior puede obtenerse cambiando el ángulo de la chapa de control de momento, lográndose un aumento considerable empleando una placa perfilada, con dos superficies en planos diferentes, para este fin.

2.4.3.6. Aplicación

Estas bombas se aplican generalmente a motores de aspiración natural de cuatro y seis cilindros y cuatro tiempos, con cilindradas de hasta 1640 cm³ (100 pulg. Cúb.) por cilindro y en motores sobrealimentados de cuatro tiempos de desplazamiento correspondientemente menor. La bomba básica se construye con diámetros del émbolo buzo de 6,5 a 10 Mm.; el diámetro correcto para una aplicación particular en un motor depende de la cantidad de combustible requerida, como así también de la duración del período de inyección.

2.4.3.7. Montaje y accionamiento

Estas bombas se disponen para montaje director en el motor, generalmente sobre la carcasa de los engranajes de reglaje, mediante una brida integral con tres tornillos de 5/16" O. D. o prisioneros. Para facilitar el alineamiento correcto de la bomba sobre el motor existe un piloto corto de 3¹/₄" en la brida de la bomba. En las instalaciones normales la bomba se coloca de modo que su árbol de levas sea horizontal, si bien para aplicaciones marinas puede colocarse inclinado hacia abajo y hacia atrás hasta unos 16 grados. Lateralmente, las bombas pueden montarse en posición vertical o inclinada hasta 30 grados lateralmente con respecto a la vertical. Con preferencia, las bombas se accionan por medio de engranajes, suministrados por el fabricante del motor asegurándose el engranaje de accionamiento con tornillos de casquillos y arandelas de seguridad al cubo de accionamiento en el extremo frontal del árbol de levas. En los motores de cuatro tiempos las bombas pueden ser accionadas a la misma velocidad que la del árbol de levas (con excepción de ejecuciones especiales para accionamiento a la velocidad mitad, poseyendo en este caso el doble de lóbulos de levas y regulador accionado por engranaje), cuando se usa solamente resorte exterior de émbolo buzo, la

velocidad máxima admisible del árbol de levas es de 2000 v/min., mientras que tanto con resorte interior y exterior de émbolo buzo pueden alcanzarse velocidades de 3000 v/min., o posiblemente más.

2.4.3.8. Sentido de rotación

La bomba básica está dispuesta para la rotación del árbol de levas en el sentido de las agujas del reloj, cuando se la mira desde el extremo de accionamiento. Las bombas para sentido de rotación contrario al de las agujas del reloj poseen cabezas hidráulicas con accionamiento diferentes de los émbolos buzos para obtener las inyecciones en fases correctas.

2.4.3.9. Secuencia de la inyección

La descarga número 1 de la bomba, conectada por un caño de alta presión a la tobera del cilindro número 1 del motor, es, en general, aquella adyacente a la brida de montaje y del lado de la bomba correspondiente al motor.

Para bombas cuyo árbol de levas gira en el mismo sentido que las agujas del reloj, la secuencia de las descargas (siempre consecutivas tiene contrario a las de las agujas del reloj, mirando desde arriba. Para bombas de sentido de rotación contrario al de las agujas del reloj, la secuencia de descarga tiene el sentido de las agujas del reloj.

2.4.3.10. Reglaje de la bomba

Para poner a punto la bomba con el motor, debe girarse el cigüeñal del motor hasta llevar el pistón del cilindro número 1 casi a su punto muerto superior de su carrera de compresión, como lo indican las marcas del volante, que el fabricante ha elegido para el cierre de la lumbrera de reglaje. Entonces, con la

tapa de la mirilla de reglaje retira el árbol de levas de la bomba debe girarse hasta que la línea maquinada sobre el extremo de uno de los dientes del engranaje de accionamiento del émbolo buzo esté alineado con la marca “PC” de la mirilla. La bomba tiene un índice de reglaje en su frente, que se alinee con una marca del cubo del engranaje, para colocar en la posición del cierre de lumbrera, con más exactitud, el árbol de levas de la bomba. Para el ajuste existen normalmente ranuras en el engranaje de accionamiento que se monta en el cubo de accionamiento de la bomba.

2.4.3.11. Suministro de combustible

La bomba de inyección “PSB” está proyectada para ser equipada con una bomba de alimentación de engranajes. Algunas veces, sin embargo, se permite el montaje de bombas de diafragma para aplicaciones en motores de hasta 1800 v/min., particularmente si ellos son de suficiente capacidad para someter de 0,42 a 0,48 Kg./cm² (6-8 lb./pulg. cuadr.) de presión de combustible alimentado a plena carga. En estos casos se usa un sistema de combustible “dead end” para enviar el mismo desde la bomba de alimentación, vía los filtros, hasta una de las entradas, ¹/₄” NPT, de combustible existentes en la cabeza hidráulica, que utilizan una válvula amortiguadora opuesta a la entrada del combustible; la alternativa para este sistema “dead-end” puede ser el empleo de un tubo flexible de 76 cm. (30”) de longitud entre el filtro de la etapa final y la bomba de inyección en lugar del caño común de cobre que se provee.

La bomba de alimentación American Bosch, de engranaje de desplazamiento positivo SGR 15 A1 (o SGB 15 A2), para bomba de sentido de giro contrario al de las agujas del reloj, se monta en una almohadilla en el frente de la carcasa de la bomba. Esta

bomba posee un engranaje que engrana con el engranaje que es parte integral del árbol de levas.

Con este tipo de bomba se requiere un sistema de alimentación de combustible de flujo continuo. Esto requiere, para ser instalado en la cabeza hidráulica en oposición a la conexión de entrada del combustible, una válvula de rebalse con el caño de conexión para conducir el combustible derivado al tanque de suministro. Con esta válvula de rebalse y la bomba SGB 15 A se obtienen presiones de alimentación de 1,4 a 1,75 Kg. /cm² (20-35 lb. /pulg. cuadr.), adecuadas para asegurar el suministro de combustible a las más altas velocidades recomendadas.

Para la llegada de combustible, como para el rebalse, se recomienda el empleo de caños de cobre sin costura de 3/8" O. D. X H 79 BWG (0,291" ID.) estirados en frío, o de metal flexible, o caño de goma sintética resistente a la acción del combustible, de diámetro similar.

2.4.3.12. Filtrado

La vida de la bomba de inyección depende en gran medida de la limpieza del combustible que pasa por ella. No sólo las suciedades relativamente grandes deben eliminarse del mismo sino también las partículas abrasivas y de polvo, invisibles, en suspensión. En este sistema, entre la bomba de alimentación y la de inyección debe instalarse un filtro final de alto rendimiento, capaz de retener partículas de diámetro máximo igual a cinco micrones, que se recomienda combinar con un filtro más grueso colocado antes de aquel para aumentar su tiempo de servicio; un filtro final muy satisfactorio es el American Bosch, tipo FSP.

2.4.3.13. Lubricación

La bomba “PSB” se ha construido para recibir el aceite a presión desde el motor al que se la aplica. El aceite a la presión de 0,7 a 4,2 Kg. /cm² (10-60 lb. /pulg. cuadr.) puede suministrarse a través de un caño exterior (caño de cobre de ¼” OD. O flexible equivalente) a la conexión cónica de 1/8”, situado en la cara superior de la carcasa de la bomba. Debe suministrarse un conducto para el libre retorno hacia el cárter del motor del aceite que purga de los agujeros de la brida de montaje de la bomba.

2.4.3.14. Cebado y purga

El cebado de los caños de suministro de combustible, del filtro de combustible, de la bomba de inyección, canales de alimentación y caños de descarga puede llevarse a cabo haciendo girar el motor a la velocidad de arranque, especialmente cuando se emplea una bomba de alimentación de engranajes con el sistema.

También se puede instalar una bomba de cebado a mano, igualmente efectiva.

Cuando la bomba de inyección no está equipada con su bomba propia de alimentación, sino que existe una bomba de diafragma, el cebado manual de esta última debe realizarse según se indica más adelante, pues de lo contrario se corre el riesgo de que no pueda cebarse la bomba:

1. Gire el árbol de levas hasta que el émbolo buzo se encuentre al fondo de su carrera, lo que ocurre cuando la línea marcada con “0”, de la mirilla de inspección, se enfrente con la línea marcada en el engranaje de accionamiento del émbolo buzo.
2. Destornille parcialmente el tornillo de retención de la válvula de descarga y accione la palanca de cebado de la bomba de alimentación hasta que el combustible fluya libremente por la

válvula de descarga. Luego, apriete firmemente el tornillo de retención.

Arranque, puesta en marcha y detención del motor

Cuando el motor debe hacerse arrancar, la palanca de operación del regulador de la bomba de inyección debe encontrarse en la posición de máxima velocidad. Una vez que el motor arrancó la palanca debe llevarse a la posición correspondiente a la velocidad deseada. El motor se puede detener empujando la palanca de detención del panel de control.

2.4.4. COOPER – BESSEMER

2.4.4.1. Sistema de presión controlada

En este sistema hay básicamente los mismos inyectores y toberas que en el sistema equilibrado de presión a la atmósfera, pero emplea un método diferente para regular la presión. En vez de desviar el combustible excedente a través de una válvula reguladora de presión para mantener la presión constante, la bomba de combustible posee una válvula de camisa rotativa en la entrada de succión que permite a la bomba dosificar únicamente la cantidad de combustible suficiente para satisfacer las necesidades de la inyección, la purga de la cañería después de la inyección y pérdidas diversas en el sistema. La ventaja de esta disposición es que el control de combustible se hace en el combustible de baja presión en vez de hacerlo en el combustible de alta presión, lo que significa menores pérdidas y manutención más económica.

2.4.4.2. Válvulas de manguito

La capacidad variable de la bomba depende de la cantidad de combustible que se permite pasar a través de la válvula de

camisa. Esta válvula consiste en dos camisas esmeriladas una sobre la otra para evitar que las pérdidas las hagan girar una dentro de la otra (fig. 2.40). Ambas camisas poseen una lumbrera y cuando estas últimas coinciden, el combustible fluye libremente a través de ambas camisas a la lumbrera de admisión de los cilindros de la bomba. Una de las camisas está conectada al regulador del motor o a la palanca de accionamiento a mano, en tanto que la otra camisa engrana con una cremallera asegurada a un pistón a resorte que es accionado por la presión del cabezal de combustible.

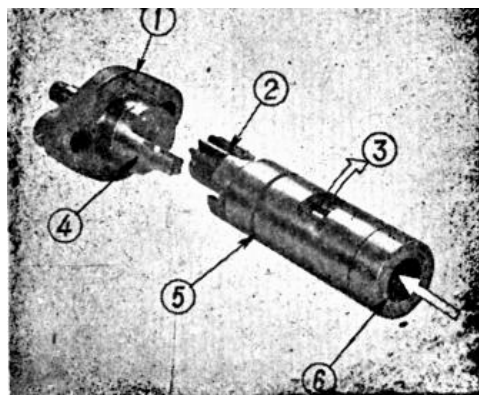


Figura 2.40. Válvula de manguito

Nota.- en algunos modelos de motores, la camisa interior está vinculada al regulador o a la palanca, en tanto que la cremallera acciona a la camisa exterior, Figura 2.41. En otros modelos la camisa interior es la accionada por la cremallera y la camisa exterior está vinculada a los controles. La función de la válvula de manguito es idéntica en cualquiera de ambos sistemas de conexión.

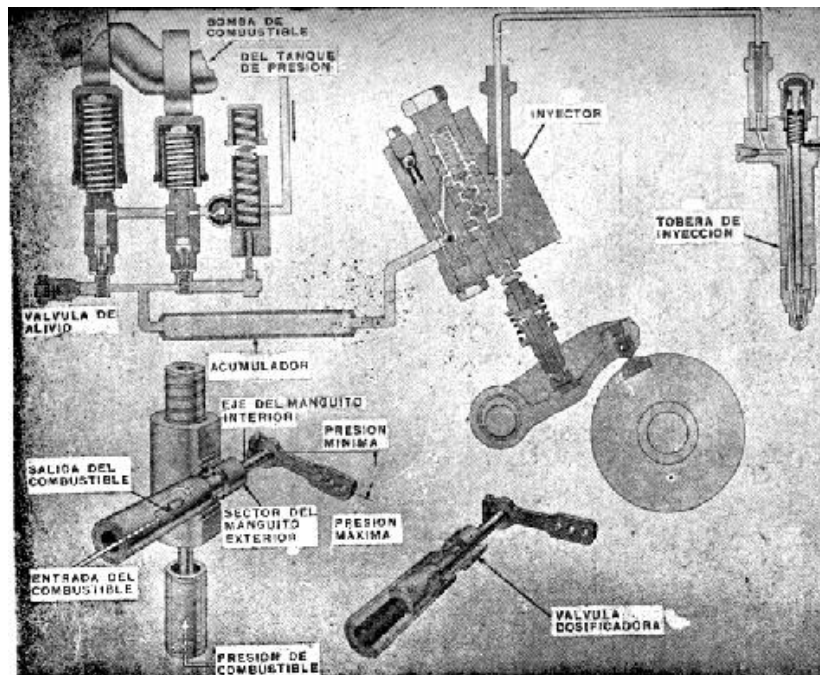


Figura 2.41. Sistema de presión controlada

La posición del manguito fijado al control establece el ajuste de presión, en tanto que el otro manguito controla el paso del combustible a la bomba para mantener esa presión. La función del manguito es idéntica, esté fijado al regulador del motor o al estrangulador. La cremallera, accionada por el pistón, se desplaza hacia arriba por la presión del sistema y se mueve en la dirección contraria mediante un resorte en espiral; conforme aumenta la demanda de combustible (en el caso de mayor carga o mayor velocidad) decae la presión del sistema, el resorte empuja la cremallera hacia abajo y el manguito gira para permitir que se superpongan más las ranuras de ambas camisas, aumentando, en consecuencia, la abertura y permitiendo así el paso de mayor cantidad de combustible hacia la bomba que anteriormente, hasta que aumente la presión. Cuando decrece la demanda de combustible, aumenta la presión forzando la cremallera hacia arriba contra la presión del resorte y desplazando el manguito hasta que el área ranurada se restrinja lo bastante como para satisfacer la menor demanda de combustible. El movimiento del

manguito sujeto a la cremallera controla, por consiguiente, la cantidad de combustible entregado por la bomba y es accionado por la presión establecida como resultado de equilibrar la cantidad de combustible entregado con respecto a la cantidad consumida por el motor.

La función del manguito sujeto al control es la de hacer variable la presión de funcionamiento. Ello se logra girando ese manguito con respecto al otro. Para aumentar la presión, se desplaza el primer manguito en la dirección en que aumenta la abertura de la lumbrera de ambas camisas a fin de permitir el paso de mayor cantidad de combustible. El aumento de combustible provoca el aumento de presión y ya que la demanda del motor es la misma que antes, el manguito de la cremallera debe desplazarse aún más en la misma dirección que el manguito vinculado al control, para reducir el flujo de combustible. Para lograr esto, la cremallera deberá desplazarse más hacia arriba, contra la presión del resorte, estableciéndose, en consecuencia, una mayor presión de combustible.

Para reducir el ajuste de la presión, el manguito, movido por el control, se desplaza en la dirección en que disminuye la abertura, en tanto que la cremallera se desplaza hacia abajo a fin de obtener la alimentación apropiada, que en este caso se logra con una presión menor. Por consiguiente, el desplazamiento del manguito movido por el control fija las posiciones de la cremallera y, en consecuencia, se logra una escala variable de presión. Esta relación de carga y presión es una característica de este sistema y requiere doble manguito. El manguito se fija al regulador del motor como a la palanca, dependiendo del servicio que ha de prestar el motor. Los motores que impulsan generadores de velocidad constante, pero de cargas variables, comúnmente tienen su manguito conectado al regulador, de modo que la presión varía

con la carga. Los motores marinos, que trabajan a velocidades variables, generalmente tienen su manguito fijado al estrangulador y la presión varía con la velocidad.

Se observará que la ranura del manguito interior tiene una o más muescas en “V” en el borde cortado de la lumbrera, lo cual brinda una mejor dosificación de pequeñas cantidades de combustible e impide la oscilación durante la marcha en vacío. La escala de presiones de las bombas se limita por el movimiento angular de los manguitos y el esfuerzo del resorte. Dado que el límite del movimiento de la cabeza es reducido, todas las bombas están dispuestas para el ajuste de la presión del resorte. En algunas bombas esto se logra insertando suplementos debajo del resorte y en otras mediante un tornillo de ajuste. La ventaja de este sistema sobre los anteriores es que requiere menor esfuerzo para ajustar la presión de trabajo; por consiguiente, el regulador o el estrangulador podrían ajustarse a un valor dado, en tanto que la presión variaría automáticamente con la carga o la velocidad. En los otros sistemas era preciso ajustar manualmente la presión del resorte del regulador a presión.

2.4.4.3. Bomba de descarga variable

Las bombas de este tipo no suministran corriente continua de combustible sino solamente el combustible admitido al cilindro de bombeo. En vez de una válvula reguladora de presión para desviar el combustible en exceso, las bombas contienen una válvula de control que dosifica el combustible que entra al cilindro de bombeo. Todas las bombas de este tipo tienen émbolos de tipo pulido y contienen dos o más cilindros de bombeo. Existen dos diferentes diseños de bombas: uno con rodillos fijados a la cruceta que ruedan sobre el árbol de

excéntrica con rodillos fijados a un árbol cigüeñal que acciona la cruceta de la bomba.

El combustible consumido por un motor es el motor es el resultado de la carga, pérdida y ventilación de las líneas de combustible. Dado que no hay otra salida para el combustible en el lado de presión del sistema, cuando mayor sea la cantidad de combustible admitido a la bomba, tanto mayor será la presión de descarga. Inversamente, cuando menor sea el combustible admitido en la bomba, tanto menor será la presión. La válvula de control de entrada de combustible consiste de un manguito interior y otro exterior, los cuales giran independientemente (fig. 2.42). En cada manguito hay una abertura fresada de modo que el movimiento rotativo de uno de ellos hará que uno de los conductos se superponga con el otro. La rotación continua restringirá progresivamente las aberturas hasta que no exista ninguna abertura entre ambas. El combustible entra por el manguito interior y corre por la abertura ajustable hacia un conducto que se dirige directamente al cilindro de bombeo. En vez de una válvula del tipo hongo o de disco, se emplea una válvula de lumbrera para permitir la entrada de combustible al cilindro. Se perfora un orificio en el cilindro de bombeo en un lugar que queda descubierto cuando el émbolo se encuentra al final de su carrera de aspiración. En este punto el cilindro se carga de combustible a través de la abertura del manguito. Durante la carrera de retorno o de descarga, la lumbrera es obturada por el émbolo y el combustible es así aprisionado en el cilindro y descargado en el sistema de presión.

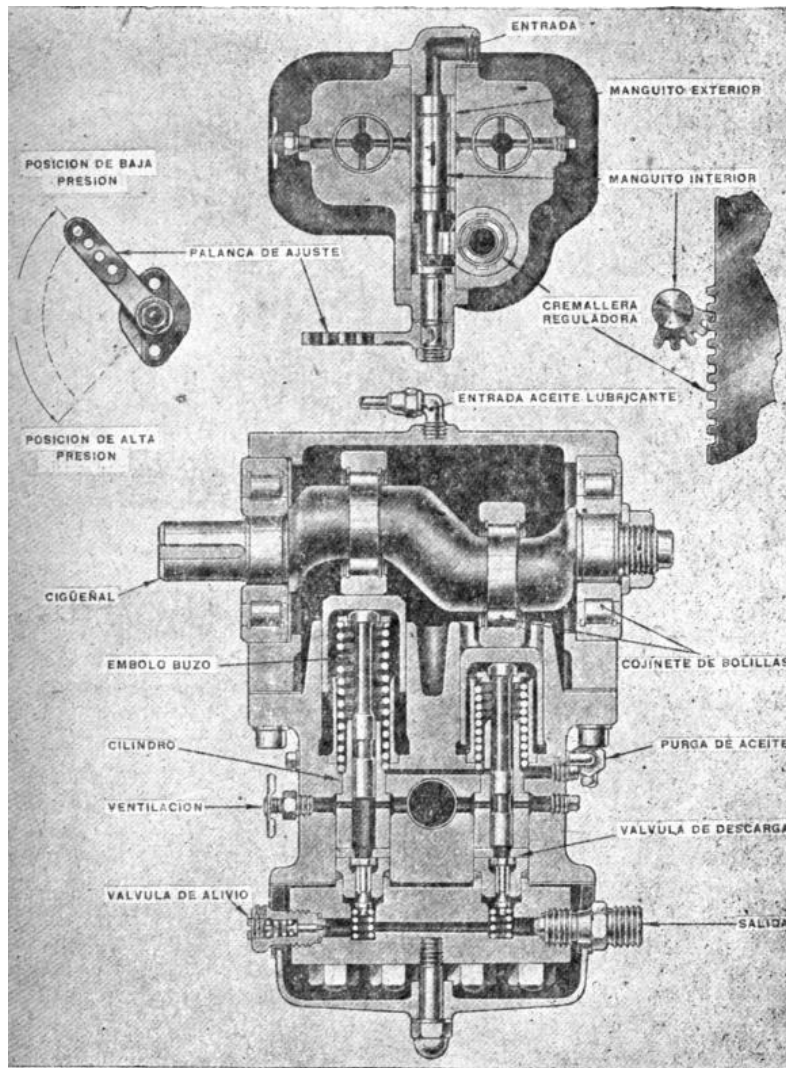


FIG. 2. — Bomba de descarga variable

Figura 2.42. Bomba de descarga variable

2.4.4.4. Funcionamiento de la válvula de manguito

La posición del manguito de control interior depende de la presión del sistema de alta presión. Esto es acompañado por la acción de una cremallera vertical a resorte, engranada al manguito dosificador interior. Opuesto al resorte, se encuentra un émbolo accionado por la presión del sistema.

El manguito exterior está unido a la manija del estrangulador o al control del regulador y su posición puede depender tanto del estrangulador como del regulador. Al aumentar la presión, la

cremallera del regulador, que está engranada al manguito interior, se desplaza haciendo girar dicho manguito. Al superponerse las aberturas de las lumbreras, el área se reduce, disminuyendo, en consecuencia, la cantidad de combustible que pasa por la válvula.

Entonces, la disminución de la cantidad de combustible provoca una rápida caída de la presión. Al decaer la presión, la cremallera de regulación es desplazada por el resorte y el manguito interior gira en la dirección en que aumenta el caudal de combustible. Este desplazamiento es reducido cuando el motor marcha a cargas constantes y la cremallera rápidamente se estabiliza.

Cuando la manija del estrangulador o el regulador mueven al manguito exterior para aumentar la presión de ajuste, aumenta el área de la lumbrera y la cremallera del regulador deberá desplazarse aún más contra el resorte para cortar el paso del combustible. Esto requiere mayor presión para vencer el resorte, obteniéndose la presión necesaria aumentada el caudal de combustible a los cilindros de bombeo.

Por consiguiente, se establece y se mantiene una nueva escala de presión mediante el regulador de presión. Cuando el estrangulador o regulador se desplaza para disminuir la presión de ajuste la cremallera del regulador de presión reacciona de conformidad al ajuste de la nueva presión. El manguito interior tiene dos lumbreras de corte en “V” para dosificar pequeñas cantidades de combustible, eliminando, en consecuencia, la oscilación o el exceso de carrera del regulador de presión para la marcha en vacío.

Nota.- en algunos motores, el manguito exterior está unido a la cremallera del regulador y el manguito interior al estrangulador o

regulador. Sin embargo, el principio de funcionamiento es idéntico al explicado anteriormente.

Todas las bombas de este tipo poseen una válvula de alivio unida al bloque de válvula para impedir daños a la bomba por presión excesiva. Algunas bombas tienen un tornillo de ajuste para regular el resorte del regulador. En otras hay suplementos removibles debajo del resorte.

2.4.5. FAIRBANKS – MORSE

El sistema de inyección de combustible Fairbanks-Morse utiliza una unidad de bombeo, ubicada en el tablero de control del motor, en el que las bombas de combustible, una para cada cilindro, están incorporadas. Este conjunto incluye el mecanismo de arranque con aire como así también las bombas de combustible, como puede verse en la figura 2.43. el conjunto consiste de un bloque de bombeo, en el cual las bombas de combustible con sus válvulas están insertadas por encima del bloque se encuentra una carcasa que constituye alojamiento de las válvulas de aire para el arranque, y del mecanismo de accionamiento de las mismas; el mecanismo de “control” está abulonado al frente de esa carcasa. Todo ese conjunto está montado sobre un árbol que lleva las levas para accionar a las bombas de combustible y a las válvulas de aire para el arranque.

Este árbol de levas es accionado por un tren de engranajes desde el cigüeñal, utilizándose el engranaje del árbol de levas como elemento para poner a punto a las bombas de combustible. Este engranaje está construido en dos partes, es decir, un cubo enchavetado en el árbol y una corona ajustable, de modo que con los engranajes engranados, el árbol de levas puede ajustarse al reglaje deseado.

2.4.5.1. Bombas

Las bombas para cada cilindro forma con su válvula de succión y su engranaje de accionamiento, una unidad separada. La bomba

es de carrera constante, del tipo de descarga constante estando determinada la cantidad de combustible descargada al inyectar por el instante en que se cierra la válvula de succión. Refiriéndose a la figura 2.43, el émbolo buzo, B, cargado con resorte, es accionado por la leva, F, a través de un balancín y del rodillo, B. Cuando el émbolo buzo se encuentra en la parte inferior de su carrera la válvula de succión, H, es mantenida fuera de su asiento por el balancín, J, que oscila en un cojinete excéntrico, G. Un tornillo de ajuste, V, permite regular la alzada de la válvula de succión.

El combustible entra a la bomba a través de la cámara circular que puede verse en el bloque de la bomba de combustible, y fluye a través de la válvula de succión a un canal perforado horizontalmente hasta llegar al cilindro de la bomba. Cuando el émbolo buzo inicia su movimiento hacia arriba, la válvula de succión está abierta, y el combustible es forzado a pasar a la cámara de succión hasta que el émbolo suba lo suficiente para obligar al balancín, J, a bajar la válvula hasta que repose sobre su asiento. Durante el resto de la carrera, el combustible contenido en el cilindro de la bomba es forzado a través de la válvula de descarga, C, a la línea, A, que conduce a la válvula de inyección.

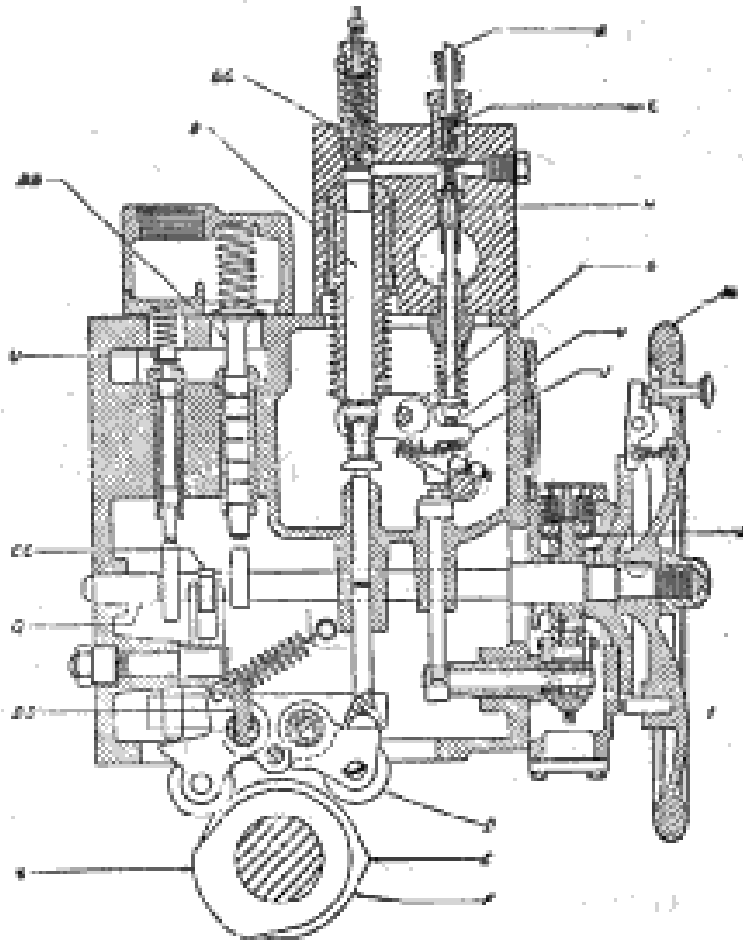


Figura 2.43. Corte de una bomba de inyección

El punto durante la carrera para el cual la válvula de succión se cierra, puede variarse haciendo girar el árbol de la excéntrica, G, en el cual está montado excéntricamente el balancín. Este árbol está conectado al acelerador y al “control” manual de combustible.

Cuando el volante de “control”, N, está en la posición de parada (“stop”), una leva, X, del árbol acciona al árbol horizontal, que puede verse por debajo del árbol de “control”, y obliga a la varilla vertical vinculada a una pequeña manivela del árbol, a levantar un trinquete que se encuentra debajo del balancín, J, de modo que la válvula de succión se mantenga fuera de su asiento. Cuando se mueve el volante hacia la posición de arranque (“Start”), para

accionar las válvulas de arranque, este trinquete permanece en la posición levantada y no se produce inyección de combustible, pero cuando el volante se gira hacia la posición de marcha (“run”) el elevador se retracta y el resorte del trinquete lo empuja de manera que no tenga contacto con el balancín de la válvula, encontrándose entonces la válvula de succión bajo el “control” del émbolo buzo de la bomba.

2.4.5.2. Válvula de inyección

La construcción de esta válvula es sencilla. El cuerpo está perforado para recibir el conjunto que constituye la aguja, y que está atornillado en la parte superior de la perforación. El extremo inferior forma la boquilla de pulverización. El capuchón que se encuentra en la punta de la válvula de inyección contiene a la boquilla, y forma una camisa alrededor de la misma para que, por allí, pueda circular agua.

La aguja asienta en la parte superior de un conducto que comunica con los orificios de la boquilla de pulverización y se mantiene sobre su asiento por la presión de un resorte. El resorte se mantiene en tensión mediante una tuerca que se atornilla en la parte superior de la jaula de la válvula. El extremo inferior del resorte apoya en un émbolo buzo que actúa como guía de la aguja.

El combustible es admitido a través de la abertura que se encuentra en la parte superior y a la derecha, y después de pasar por un filtro de arandelas fluye hacia abajo hacia el espacio que rodea a la válvula de aguja. Cuando la presión de la bomba excede a la tensión del resorte, la aguja se levanta y el combustible es inyectado a través de la boquilla de pulverización. La alza de la válvula está limitada por un perno largo,

atornillado en la tuerca que ajusta al resorte, y así, la alzada puede regularse atornillando o destornillando ese perno. El combustible que fuga por la aguja es conducido hacia fuera por una conexión de purga ubicada a la izquierda.

2.4.5.3. Mantenimiento

Un ítem importante en el mantenimiento es el esmerilado ocasional de las válvulas de la bomba, ya que el cierre perfecto de estas válvulas es esencial para el funcionamiento correcto del motor. Las válvulas de succión están provistas de ranuras para el destornillador que puede usarse cuando se vuelven a esmerilar, en cambio las válvulas de descarga tienen la parte superior en forma de copa y se esmerilan haciéndose girar con una varilla apropiada.

Todos los compuestos de esmeril son de grano muy grueso para estas operaciones. Debe seguirse para este trabajo el procedimiento utilizado para el esmerilado más delicado, asegurándose bien, después, que con el lavado ha desaparecido toda traza de sustancia para esmerilar.

2.4.5.4. Alzada de la válvula de succión

La válvula de succión debe tener una alzada máxima de 1,77 mm. (0,70”), a 2,03 mm. (0,088”). Esta alzada puede medirse con una sonda si se destornilla a la jaula de la válvula y se retira el resorte de la válvula de succión. Hágase girar el motor hasta que la nariz de la leva de la bomba de combustible se encuentre debajo del rodillo, en la posición de alzada máxima del émbolo buzo.

Colóquese el volante de mano en la posición de “marcha” y las pesas del regulador en su posición de detenido. Luego, médase la

distancia desde la parte superior de la válvula de succión hasta la cara superior del bloque de la bomba. Repítase esta medición con la leva girada hacia el punto inferior, de modo que el émbolo buzo se encuentre en la parte inferior de su carrera, y las pesas del regulador en la posición de “marcha”. La diferencia entre las dos medidas debe ser igual a la máximaalzada a que puede ser elevada la válvula de succión por la acción del émbolo buzo y el balancín.

Si la temperatura del escape indica que hay un desequilibrio en la carga de los cilindros, las válvulas de succión pueden ajustarse para realizar el balanceo durante la marcha, mediante el tornillo de ajuste, V.

2.4.5.5. Cebado

Para cebar la bomba de inyección y los inyectores y eliminar el aire de las líneas de combustible procédase así:

Asegúrese que el arranque por aire se encuentre interceptado entonces gírese el volante hasta que sobrepase la posición “adelante” en su movimiento hacia la posición de “arranque” y luego retrocédase hacia la posición de “adelante”, y colóquese a la palanca de “control” manual del mecanismo de “control” y aflójese el tornillo de ventilación en las válvulas de inyección.

Colóquese a la junta de la barra de cebado debajo del empujavalvula, por turno en cada bomba, y hágase mover el émbolo buzo hacia abajo y hacia arriba. Esto enviará combustible en la línea hacia la válvula de inyección donde fluirá hacia fuera por el tapón de ventilación. Cuando el combustible salga libre de burbujas de aire ciérrese y ajústese bien el tornillo de ventilación.

III. MOTOR WARTSILA VASA 16V32 LN.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO.

En Finlandia, en la ciudad de Vasa se construye este motor, de ahí que toma parte de su nombre, consta de 16 cilindros en V, con 32 cm de diámetro del pistón, su carrera es de 35 cm, 28.151 litros de cilindrada unitaria (450.416 litros cilindrada total) y diseño de bajas ediciones Low Nox o LN. Existen motores en V y en línea, en la siguiente tabla podemos encontrar los modelos de motor y su respectivo orden de encendido. Tabla III.I.

Tabla III.I. Orden de encendido en Motores Wartsila

Motor tipo	Orden de encendido	
	Giro derecha	Giro izquierda
4R32	1-3-4-2	1-2-4-3
6R32	1-5-3-6-2-4	1-4-2-6-3-5
8R32	1-3-7-4-8-6-2-5	1-5-2-6-8-4-7-3
9R32	1-7-4-2-8-6-3-9-5	1-5-9-3-6-8-2-4-7
12V32	A1-B1-A5-B5-A3-B3 A6-B6-A2-B2-A4-B4	A1-B4-A4-B2-A2-B6 A6-B3-A3-B5-A5-B1
16V32	A1-B1-A3-B3-A7-B7-A4-B4 A8-B8-A6-B6-A2-B2-A5-B5	A1-B5-A5-B2-A2-B6-A6-B8- A8-B4-A4-B7-A7-B3-A3-B1
18V32	A1-B1-A7-B7-A4-B4-A2-B2-A8 B8-A6-B6-A3-B3-A9-B9-A5-B5	A1-B5-A5-B9-A9-B3-A3-B6-A6 B8-A8-B2-A2-B4-A4-B7-A7-B1

El motor trabaja bajo el ciclo diesel pero el combustible utilizado es petróleo-crudo el mismo que antes de ingresar a los cilindros es tratado mediante procesos de purificación y calentamiento para retirar el agua y sólidos, para mejorar la viscosidad, para su óptimo desempeño.

3.1.1. Terminología

Es de mucha importancia el conocer la definición de los términos mas utilizados en este tipo de motores (estacionarios) para familiarizarnos a lo largo de este tema.

3.1.1.1. Lado de operación (operating side).

La parte lateral del motor (Fig. 3.1) en la que están situados los dispositivos de maniobra (arranque, parada, panel de instrumentos, regulador de velocidad). En los motores en V se le denomina lado A

3.1.1.2. Lado posterior (rear side).

El lado opuesto al de maniobra y en los motores en V se trata del lado bloque B.

3.1.1.3. Extremo de accionamiento (driving end).

Es el lado en el que se halla situado el volante, los piñones de la distribución y donde está ubicado el acoplamiento, por ende es donde se transmite la potencia del motor.

3.1.1.4. Extremo libre (free end).

El lado opuesto al de accionamiento, en este lado se encuentra el dámper o amortiguador de vibraciones del cigüeñal y generalmente los turbocompresores.

3.1.1.5. Designación de los cilindros.

De acuerdo con ISO 1204 y DIN 6265, los cilindros se designan comenzando en el lado de accionamiento (salida de potencia). En un motor con cilindros en V, los cilindros del lado izquierdo, vistos desde el lado de accionamiento, se denominan A1, A2, etc. y los del lado derecho B1, B2, etc.

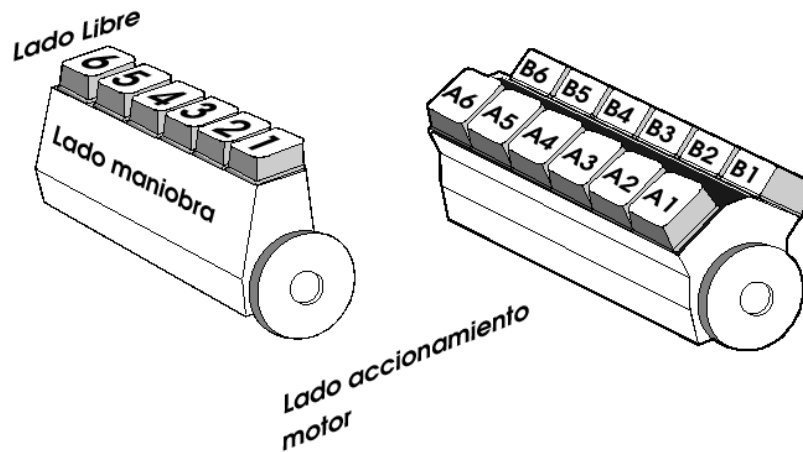


Fig. 3.1.Terminología

3.1.1.6. Sentido de giro.

Mirando el motor desde el extremo de accionamiento, si el eje gira en el mismo sentido que las agujas del reloj, se trata un motor de giro derecho. Si el eje gira en sentido opuesto a las manecillas del reloj, se trata de un motor de giro izquierdo. Normalmente los motores de generación son de giro derecho y los motores de bombeo son de giro izquierdo.

3.1.2. Construcción general del motor.

Es un motor que trabaja de ciclo diesel de cuatro tiempos sobrealimentado, con refrigeración de aceite y agua en dos sistemas HT (heat-temperature) y LT (low-temperature) y de inyección directa, con una bomba inyección unitaria o individual.

El **bloque del motor** está forjado en una sola pieza. Los cojinetes principales están suspendidos. Las tapas del cojinete principal están soportadas por dos tornillos apretados hidráulicamente y dos tornillos laterales. La cámara de aire de carga está conformada en el bloque del motor, así como el colector del agua de refrigeración. Los tubos de distribución del agua de la camisa exterior y la caja de aire de carga están adosadas al bloque del motor. Las tapas del cárter, de metal ligero, cierran

herméticamente contra el bloque del motor por medio de juntas de goma. El colector de aceite (cárter) está construido con chapa soldada, va fijado herméticamente al bloque del motor desde abajo con una junta tórica, el mismo está provisto de un tubo de ventilación que incluye una válvula de retención de los vapores de aceite.

Las tapas de los cojinetes principales que soportan el cigüeñal suspendido, van sujetas con tornillos tensados hidráulicamente, dos desde abajo y dos horizontalmente. Los casquillos de los cojinetes, intercambiables, son guiados axialmente con guías que proporcionan el montaje correcto.

En la parte superior, las camisas van selladas contra el bloque metálicamente y en la parte inferior con dos juntas tóricas. Los casquillos de los cojinetes del eje de levas van instalados en alojamientos mecanizados directamente en el bloque del motor.

Las **camisas de cilindros** están diseñadas con una corona alta, taladrada para refrigeración. Logran una optimización de la refrigeración que proporciona una temperatura correcta en la superficie interior de la misma. Las camisas están provistas de un aro antipulido en la parte superior del cilindro para eliminar el riesgo de desgaste (anti polishing ring o APR) y evitar la ceja en las mencionadas

Los cojinetes principales trimetálicos (magnolia, bronce, aluminio) son totalmente intercambiables que pueden desmontarse descendiendo la tapa principal del cojinete. Cada cojinete principal va provisto de un gato hidráulico para bajar y elevar (montaje y desmontaje) la tapa del cojinete principal.

El **cigüeñal** esta forjado en una sola pieza con aleaciones de 34 CrNiMo6 y está equilibrado por contrapesos en los brazos de manivela, según lo requiera, es así que en los motores en línea tienen normalmente contrapesos en un brazo de manivela por cilindro los motores con cilindros en V en todos los brazos de manivela. Estos contrapesos van sujetos con

tornillos y ajustados hidráulicamente, en el extremo de accionamiento del motor, al cigüeñal se le monta una junta anular en V para el cierre con el cárter, un cojinete de empuje lado volante y una corona bipartida para el accionamiento del eje de levas.

En el extremo libre hay un engranaje para el accionamiento de las bombas y normalmente, también un amortiguador de vibraciones. Si la potencia se toma en el extremo libre, el cierre del cigüeñal se monta con un anillo en V, como en el extremo de accionamiento. El cigüeñal puede ser girado por un dispositivo virador eléctrico que acciona el volante.

Las **bielas** están forjadas por estampación. El extremo mayor está seccionado y las superficies de acoplamiento están estriadas, el diseño de la biela es de tres piezas, se llama “biela con tipo Marine”. La fuerza de combustión está distribuida encima a la máxima área de la biela. El cojinete del extremo menor está escalonado para lograr unas grandes superficies de contacto. Los cojinetes de biela son trimetálicos o bimetálicos y son completamente intercambiables.

Los pistones están equipados con un sistema de lubricación de faldilla patentado por Wärtsilä Diesel. Las ranuras para los aros superiores están templadas. El aceite refrigerante se introduce en la cámara de refrigeración a través de la biela. El juego de aros, consiste de tres aros de compresión cromoplateados y un aro rascador también cromado y cargado por resorte. El pistón es de tipo compuesto con un faldón forjado alumínico y una bóveda forjada de hierro, atornillados juntos. El espacio formado entre la corona y la faldilla es provisto de aceite lubricante para la refrigeración de la corona por medio de un efecto de coctelería.

La **culata** es de acero fundido especial (fundición gris), Cada culata incluye dos válvulas de admisión y dos de escape el inyector situado centralmente, una válvula de arranque, una válvula de seguridad y una válvula para el indicador de presión. Se fija al bloque de cilindros por medio de cuatro tornillos apretados hidráulicamente. El diseño de la culata

es de doble pared y el agua de refrigeración es forzada desde la periferia hacia el centro, proporcionando una eficiente refrigeración en áreas importantes.

Las **válvulas de admisión** están recubiertas de estellite y los vástagos cromados. Los aros de asiento de las válvulas son de una aleación de hierro fundido especial y recambiables totalmente.

Las **válvulas de exhaustación o escape** también con asientos recubiertos de estellite y vástagos cromados, cierran contra los anillos de asiento directamente refrigerados. Para algunas aplicaciones se usa la válvula Nimonic.

Los **anillos de asiento (asientos de válvula)** son resistentes a la corrosión y picaduras y son totalmente recambiables, los asientos de escape están refrigerados directamente con agua.

El **accionamiento de válvulas** se compone de las guías de rodillo del tipo de pistón que se mueven en bloques de guía independientes de hierro fundido, varillas empujadoras con extremos cóncavos, los balancines de fundición nodular que pivotean en un soporte y una horquilla que se desliza guiada en un vástago.

El **árbol de levas** (forjado), está formado por piezas, que integran las levas para cada cilindro, incorporan las distintas levas cuyas superficies de deslizamiento están endurecidas por tratamiento, las superficies de contacto de los cojinetes lisos están endurecidas por inducción. Los apoyos son piezas separadas y, por consiguiente, es posible extraer una leva del árbol fácilmente por el costado. El árbol de levas es accionado por el cigüeñal a través de un engranaje, éste es bipartido y va fijado a una brida del cigüeñal por medio de tornillos axiales, el engranaje de accionamiento del eje de levas va fijado al extremo del árbol de levas con un pasador guía

y sujeto por medio de una brida de conexión entre el extremo y la extensión del árbol de levas. El engranaje del árbol de levas incorpora también un engranaje helicoidal para el accionamiento del regulador de velocidad y la prolongación del árbol de levas lleva equipada la desconexión por sobrevelocidad. Dispersadores de aceite proporcionan la lubricación y refrigeración de los engranajes. En el extremo libre, el eje de levas tiene una extensión con una leva para el accionamiento del distribuidor de arranque.

El sistema de distribución que acciona el árbol de levas se encuentra en el lado de accionamiento y en el lado libre está montado un distribuidor de aire de arranque de manera que se sincronice con la carrera de trabajo de cada pistón.

Las **bombas de inyección** incorporan el rodillo de accionamiento y normalmente pueden ser cambiadas independientemente, la bomba es lubricada a presión y las fugas de combustible son guiadas por un tubo del sistema a presión atmosférica fuera de la bomba. Cada bomba de inyección está equipada con un cilindro de parada de emergencia acoplado a un sistema electroneumático de protección contra sobrevelocidad. Las bombas y tuberías están situadas en un espacio cerrado, aislado térmicamente para el funcionamiento con combustible pesado.

Los **turbocargadores**, del tipo turbina axial con rodamientos de rodillos en sus extremos y con sello de laberintos por diferencial de presión, están situados normalmente en el extremo libre del motor, pero sobre pedido también pueden situarse en el extremo lado del volante. En un motor en V hay dos turbocompresores, uno para cada línea de cilindros. Las cámaras de admisión y descarga del gas del turbosoplante son refrigeradas con agua y conectadas al sistema de refrigeración del motor, tiene su propio sistema de lubricación. La descarga va conectada al conducto de aire a través de un compensador metálico.

Posee un sistema de limpieza con agua, la turbina y sus elementos se ensucian con partículas restos de combustión los mismos que ocasionan un

incremento en la temperatura y tensiones mayores sobre los cojinetes debido al desequilibrio del eje. Es así que con una limpieza periódica es necesario ya que estos motores en su mayoría utilizan combustible pesado (crudo-petróleo) y amplían el tiempo de mantenimiento de la misma. El caudal de agua necesario depende básicamente del volumen del gas y su temperatura, el caudal deberá ajustarse de manera que la mayor parte del agua sea evaporada y escape a través de la exahustación.

Los **enfriadores de aire de carga**, van montados en un alojamiento soldado, que al mismo tiempo, sirve de soporte para el turbosoplante; están fabricados con elementos insertables y desmontables, habiendo en los motores en V dos idénticos, uno para cada línea de cilindros.

El **sistema de aceite lubricante** incluye una bomba de engranajes, filtros de aceite, enfriador con válvula termostática, filtro centrifugo en by-pass y una electrobomba de prelubricación. El colector de aceite (cárter) está dimensionado para el volumen total de aceite necesario, e independientemente del número de cilindros, todos los motores pueden funcionar con colector (cárter) húmedo, o bien seco.

El **sistema de arranque** la alimentación de aire a los cilindros, es controlada por un distribuidor de aire de arranque accionado por el árbol de levas. El motor de cuatro cilindros puede alternativamente estar provisto de un motor neumático de arranque.

3.1.3. Características del combustible

El motor está diseñado para servicio continuo con combustible pesado, entendiéndose como pesados aquellos combustibles basados en petróleo que contienen aceites combustibles residuales, y están caracterizados por su alta viscosidad y densidad.

Como regla general se han definido cuatro tipos de combustible:

- HFO 1 Gasóleo pesado de calidad normal.
- HFO 2 Gasóleo pesado de calidad inferior al estándar normal.
- DO Gasóleo o gasóleo ligero (LFO).
- GN Gas Natural.

Las diferencias entre HFO1 y HFO2 se basa en su contenido de ciertos elementos como se muestra en la tabla III.II.

Tabla. III.II. Diferencias HFO 1 con HFO2.

Características del combustible, límites máximos		HFO 1	HFO 2
Azufre	% en masa	2,0	2.0 - 5,0
Ceniza	% en masa	0,05	0,05 - 0,20
Vanadio	mg/kg	100	100 - 600
Sodio	mg/kg	20	20 - 50
Al + Si	mg/kg	30	30 - 80
CCAI		850	850 - 870

Si las propiedades de cualquier combustible especificado superan los valores máximos del HFO 1, entonces deberá clasificarse en la categoría HFO 2.

Para determinar la calidad del combustible adecuada para el normal funcionamiento de estos motores, actualmente el mercado internacional de petróleo utiliza tres normas internacionales BS MA 100:1982; CIMAC 1986 y Draft ISO/DIS 8217. Tabla III.III.

Tabla III.III. Norma ISO 8217:1987 para combustibles pesados

FUEL OIL STANDARDS

SPECIFICATION BASED ON ISO 8217:1987 (E)

Characteristics	Test method	Limit	Designation ISO-F	
			RMH 55	RML 55
Density at 15C, kg/m ³ ¹⁾ (see 6.2)	ISO 3675	max.	991.0	-
Kinematic viscosity at 100C, cSt ²⁾	ISO 3104	max.	55.0	
Flash point, C	ISO 2719	min.	60	
Pour point ³⁾ (upper), C	ISO 3016	max.	30	
Winter quality		max.	30	
Carbon residue, Conradson, % (m/m)	ISO 6615	max.	22	-
Ash, % (m/m)	ISO 6245	max.	0.20	
Water, % (V/V)	ISO 3733	max.	1.0	
Sulfur, % (m/m)	See 6.5	max.	5.0	
Vanadium, mg/kg	See 6.6	max.	600	

1) Density in kilograms per litre at 15 C should be multiplied by 1 000 before comparison with these values.
2) 1 cSt = 1 mm²/s
3) Purchasers should ensure that pour point is suitable for the equipment on board, especially if the vessel is operating in both the Northern and Southern hemispheres.

F2B10405

La especificación del combustible para Wartsila está conforme con la norma ISO 8217:1987, solo difiere en cuanto a la densidad y viscosidad, pues, con un tratamiento adecuado admite combustibles con densidad hasta de 1,010 g/ml y viscosidad de hasta 730 cSt/50°C.

Además en cuanto al porcentaje de agua en el combustible es admisible para Wartsila máximo 0,3% antes del motor. Tabla III.IV.

Tabla III.IV. Especificaciones para combustible en motores Wartsila

STANDARD FUEL SPECIFICATION

FOR WARTSILA DIESEL ENGINES

Fuel characteristics, maximum limits		
Viscosity	cSt/100C	55
Viscosity	cSt/50C	730
Density	g/ml	0,991
Density *)	g/ml	1,010
Water, max.	% volume	1,0
Water before engine	% volume	0,3
Sulphur content	% mass	5,0
Ash content	% mass	0,20
Vanadium content	mg/kg	600
Sodium content	mg/kg	50
Conradson Carbon Residue	% mass	22
Asphaltenes	% mass	14
Flash point (Pensky-Martens), min.	C	60
Pour point, upper max.	C	30
Aluminium content	mg/kg	30
*) With proper treatment		F2B10406

- 3.1.3.1. Influencia de los elementos presentes en el combustible
La ceniza indica la cantidad de material incombustible presente que puede resultar en corrosión, depósitos o desgaste.

Partículas de aluminio o silicón, pueden ser muy abrasivas y causar rápido desgaste del sistema de combustible y de los cilindros del motor

Contenido de residuo de carbón conradson (ccr), este indicador muestra la tendencia a combustión incompleta y formación de depósitos, este problema empeora cuando el motor trabaja a baja carga y baja velocidad. Para determinar la calidad del encendido de un combustible pesado también se puede usar el CCAI (Calculated Carbon Aromaticity Index), es un valor calculado por tablas (Anexo A), está en función de la

viscosidad y densidad, mientras el combustible sea más denso y menos viscoso, suele tener malas propiedades de encendido.

Punto de verter **muestra la temperatura más baja a la que el combustible podrá fluir y de éste depende la facilidad de transferir y bombear el producto.**

El **Azufre** puede causar corrosión del motor a través de la formación de ácido, pero esto puede ser controlado por medio del uso de aceites alcalinos adecuados.

El valor de **densidad** es más requerido para saber cuanto realmente se tiene de combustible en masa, pues las mediciones generalmente se realizan en volumen. También puede ayudarnos para saber la efectividad del purificador.

La **viscosidad** es importante por dos razones, primero para determinar la calidad y precio del combustible, y segundo para establecer los sets adecuados para el purificador y la temperatura de combustible antes del motor.

El **agua** en el combustible representa una pérdida del contenido de energía y puede producir serios problemas en el sistema de inyección. Si existe agua salada es peor porque puede producir una severa corrosión.

Como podemos ver, de una adecuada administración de la calidad del combustible y de los procesos necesarios antes de usarlo, depende mucho para obtener grandes ventajas económicas que derivan de las propiedades de la combustión y su influencia sobre las condiciones de trabajo del equipo. Además el combustible utilizado afecta en gran manera en aspectos ambientales debido a la contaminación que producen ciertos combustibles si no se los trata correctamente.

3.1.3.2. Procesamiento del combustible previo a la combustión

El combustible utilizado en los motores Wartsila debe pasar por diferentes fases para que cumpla con las condiciones necesarias para ser bombeado al sistema de combustible, es por eso que el tratamiento consta de almacenamiento, asentamiento de agua, centrifugado de agua y sedimentos, elevación de presión de sistema, de aireación, filtrado, calentamiento y control del fluido

Las condiciones que el combustible debe cumplir antes de que entre al sistema de alimentación del motor se enumeran a continuación:

- Viscosidad optima para la inyección.
- La cantidad de agua y sólidos en suspensión deben ser reducidos al mínimo.
- El combustible

3.2. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE

3.2.1. Descripción General

El motor está diseñado para el servicio continuo con combustible pesado. El motor principal así como el motor auxiliar pueden ser arrancados y parados con combustible pesado siempre que los sistemas de control de temperatura del combustible sean calentados hasta la temperatura de funcionamiento.

3.2.2. Componentes

En las instalaciones de motores múltiples, el motor está equipado con una bomba de alimentación de combustible; accionada eléctricamente y un filtro dúplex para proporcionar caudal, presión y filtrado correctos con

independencia del número de motores conectados a un sistema de tratamiento externo común.

La bomba de alimentación de combustible (9) suministra el caudal correcto del motor a través del filtro dúplex (8). La válvula de control de presión (11) mantiene la presión correcta en el sistema del motor. Para impedir daños al equipo de inyección con un elemento filtrante roto hay una válvula de control de presión (12) en el lado primario del filtro que hace de by-pass del filtro cuando la caída de presión en el filtro es excesivamente alta. Para posibilitar el funcionamiento con un filtro en by-pass en una situación de emergencia, el conducto del By-pass ha sido conectado al lado del motor de la válvula de control de presión (11). Poner cuidado en que antes de que se abra el conducto by-pass haya comenzado a funcionar la alarma por diferencia de presión (13).

Un manómetro (5) en el panel de instrumentos indica la presión de admisión de combustible y un termómetro local (6) indica la temperatura de admisión. Un presostato (7) para control de la baja presión de combustible, va conectado al sistema de alarma automático.

Las fugas de combustible de las bombas de inyección y de las válvulas de inyección son recogidas en un circuito cerrado y separado. Por consiguiente, este combustible puede ser reutilizado.

Un sistema de tubos separado que va desde el nivel superior del bloque del motor, recoge el aceite residual, el combustible o el agua que fluya cuando se realiza, por ejemplo, la revisión de las culatas. Figura 3.2.

5. Calado de presión
6. Termómetro
7. Interruptor de presión
8. Filtro de combustible
9. Bomba de combustible
10. Válvula de control
11. Válvula de control de presión
12. Válvula de control de presión
13. Indicador de diferencia de presión
14. Válvula

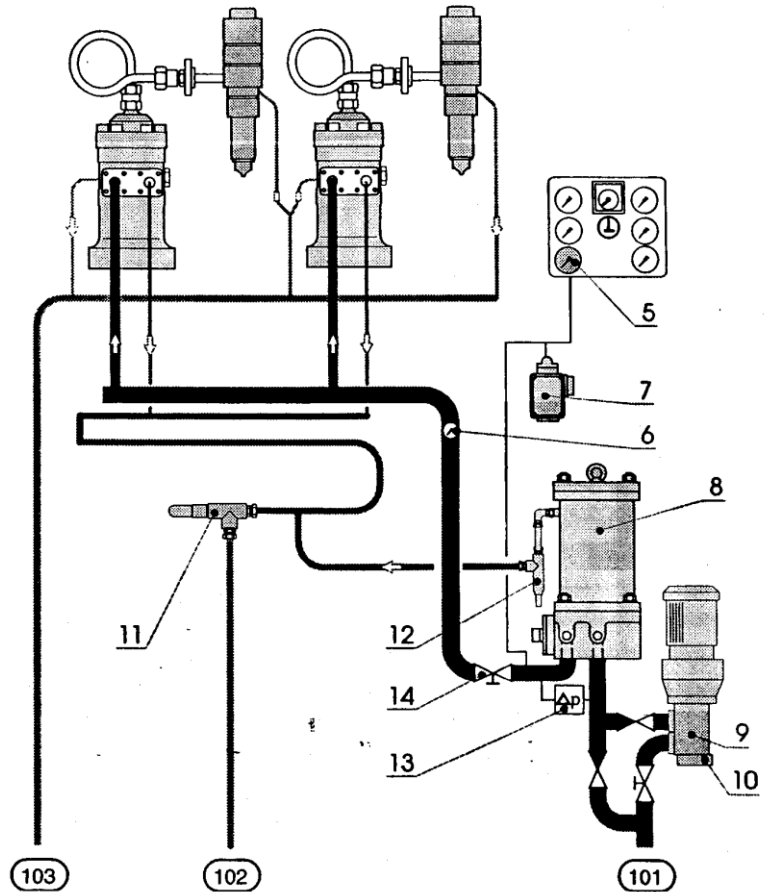


Figura 3.2. Sistema de alimentación de combustible

3.2.2.1. Bomba de alimentación de combustible

La bomba de alimentación de combustible es del tipo de husillos accionada por un motor eléctrico provista de una válvula de control de presión ajustable.

3.2.2.2. Filtro de combustible

El filtro es del tipo doble. Por medio de la válvula de tres vías (8), el flujo de combustible puede guiarse a uno u a otro lado, o a ambos lados en paralelo. La dirección del flujo queda indicada por la marca en el grifo (7). En funcionamiento normal, ambos lados del filtro se utilizan en paralelo para proporcionar el filtrado máximo. En la figura 3.3 A se muestra la válvula en ésta posición. Al cambiar de cartuchos durante el funcionamiento,

puede cerrarse un lado. En la figura 3.3 B, se muestra la posición de la válvula cuando está cerrado el lado derecho del filtro.

Las flechas de la figura muestran la circulación a través del filtro. El combustible circula primero a través de un cartucho (3) de papel especial, que filtra las partículas mayores de 10 a 15 micras, seguidamente a través de un filtro (4) de tela metálica alrededor de una caja de chapa perforada. El filtro de tela metálica con una malla de 40 micras, sirve de filtro de seguridad para el caso de fallo del elemento de papel.

- 11. Cremallera de comb.
- 14. Camisa de control
- 16. Resorte del disco
- 17. Resorte
- 18. Resorte del disco
- 21. Tornillo de fijación
- 28. Placa de presión
- 32. Tornillo
- 33. Resorte
- 35. Pieza principal
- 42. Tornillo venteo

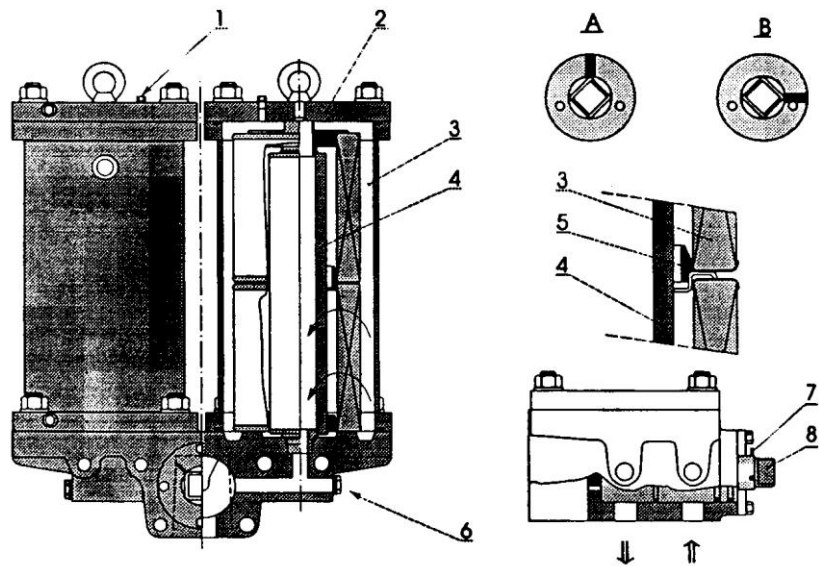


Figura 3.3. Filtro de combustible

3.2.3. Mantenimiento

Cuando se trabaje con el sistema de combustible, procurar siempre una máxima limpieza. Los tubos, tanques y el equipo de tratamiento de combustible tal como bombas, filtros, calentadores y viscosímetros, deberán limpiarse cuidadosamente antes de ser utilizados.

Cambiar los cartuchos de los filtros con regularidad. El filtro de combustible está provisto con un indicador combinado visual/eléctrico

conectado al sistema de alarma automático, que indica la caída de presión excesiva en el filtro lo que significa que los cartuchos de papel deberán ser cambiados lo antes posible.

3.2.3.1. Ventilación







Abrir los tornillos de purga de aire en las bombas de inyección. Si la presión estática del tanque de diario no es suficiente, deberá ponerse en marcha la bomba de alimentación de combustible.

Después de cambiar el elemento del filtro, purgar el filtro.

Si el motor está parado y la bomba de alimentación no está en marcha, la válvula de tres vías del filtro puede cambiarse directamente a ambos lados en funcionamiento y el aire puede purgarse a través del tornillo de ventilación del filtro. Si el motor está en marcha, el cambio de la válvula de tres vías deberá realizarse muy cuidadosamente para proporcionar sólo un pequeño caudal de combustible al lado del filtro a purgar. La mejor forma es utilizar la válvula de llenado lento en la válvula de tres vías. Esta válvula llenará lentamente el lado del filtro con lo cual se podrá purgar. Colocar la válvula de tres vías y la de llenado lento en posición normal. Figura 3.4.

Un cambio rápido de la válvula de tres vías en un filtro vacío causará una caída temporal de presión en el sistema del motor y el presostato señalará muy baja presión de combustible. Esto puede también provocar el riesgo de que el aire sea conducido de los filtros a las bombas de inyección produciendo la parada del motor.

Para evitar paso de aire a la bomba de inyección, llenar el filtro con combustible limpio antes del cambio.

Posición de la válvula	EN USO	CERRADO
1.  2.  POS. DE TRABAJO	1. 2	
1.  2. 	2	1
1.  2. 	1	2

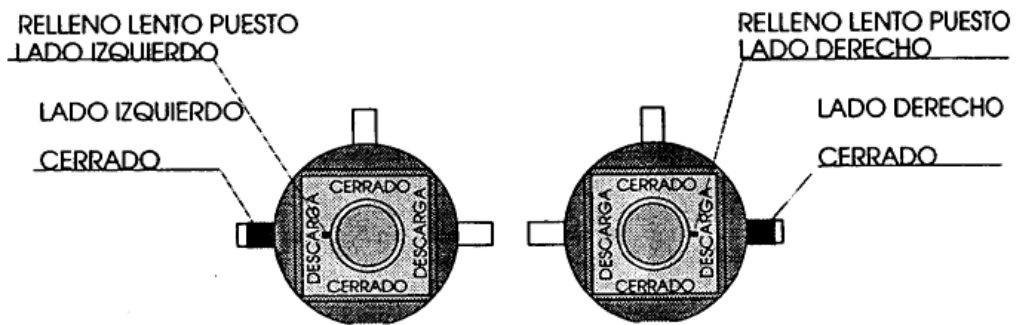


Figura 3.4. Posiciones de la válvula de tres vías

2.2.3.2. Ajuste de las válvulas de control de presión

Ajustar las válvulas a la temperatura normal con un motor en vacío, es decir, con la bomba de ayuda (9) en marcha figura 3.2.

Todas las presiones mencionadas se aplican a las lecturas del manómetro (5) en el panel de instrumentos del motor.

Girar los tornillos de ajuste de las válvulas de control de presión en el sentido de las agujas del reloj, para lograr presión más alta y en sentido contrario para lograr presión más baja.

3.3. SISTEMA DE INYECCIÓN

3.3.1. Descripción

Las bombas de inyección son monobloc para cada cilindro con rodillo guía incorporado. La bomba es lubricada a presión y las fugas de combustible van a parar a un tubo del sistema con presión atmosférica fuera de la bomba.

Cada bomba de inyección está equipada con un cilindro de parada de emergencia acoplado a un sistema electroneumático de protección contra sobrevelocidad.

La línea de inyección se compone de un tubo de inyección y una pieza de conexión, atornillados lateralmente en la válvula de inyección se compone de un portainyector y un inyector (tobera) con múltiples orificios.

3.3.2. Control del inicio de inyección de combustible

El comienzo de la carrera efectiva de la bomba es determinado por un método indirecto, es decir, observando cuando cierra el borde del émbolo del elemento, A en la figura 3.5, el paso entre el lado de baja presión y el lado de alta presión de la bomba de inyección, la denominada “posición de flujo”.

El control del inicio de la impulsión de combustible es necesario solamente si se han cambiado componentes importantes, por ejemplo, bomba de inyección, elemento de la bomba de inyección o del eje de levas.

3.3.3. Línea de inyección

La línea de inyección consta de dos partes; la pieza de conexión, que va atornillada en el portainyector y el tubo de inyección.

La pieza de conexión hace junta con superficies metálicas lisas y estas superficies deben ser verificadas antes del montaje. Apretar siempre la pieza de conexión al par correcto antes del montaje del tubo de inyección. También, solamente en el caso de que el tubo de inyección haya sido desmontado, pues existe el riesgo de que la pieza de conexión se afloje al soltar el tubo.

Cuando se sueltan las piezas de la línea de inyección, deben ser protegidas contra la suciedad y la oxidación.

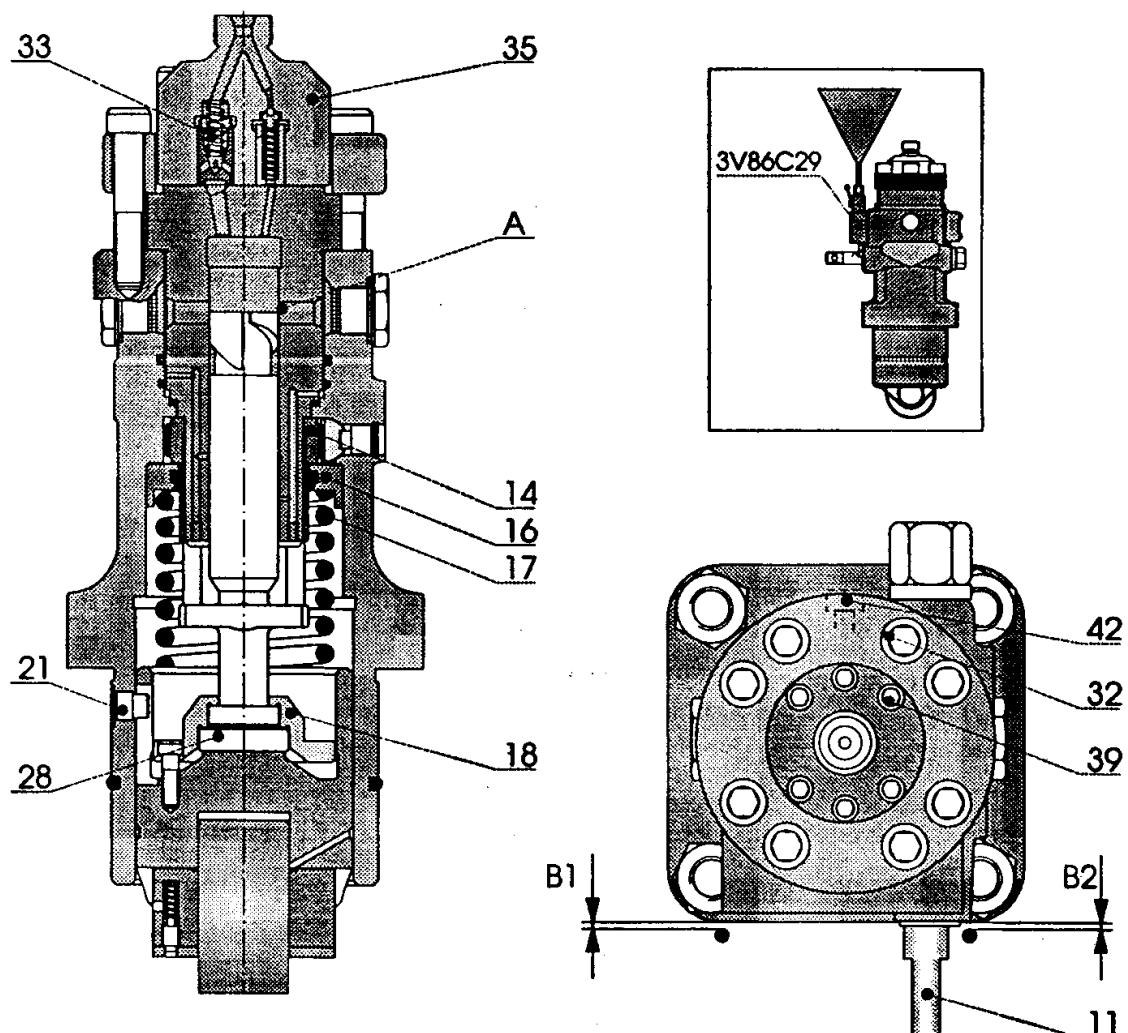


Figura 3.5. Bomba de inyección

3.3.4. Válvula de inyección

La válvula de inyección está situada centralmente en la culata e incluye el portainyector y la tobera. El combustible penetra en el portainyector lateralmente a través de un racor de conexión atornillado en el portainyector. Figura 3.6.

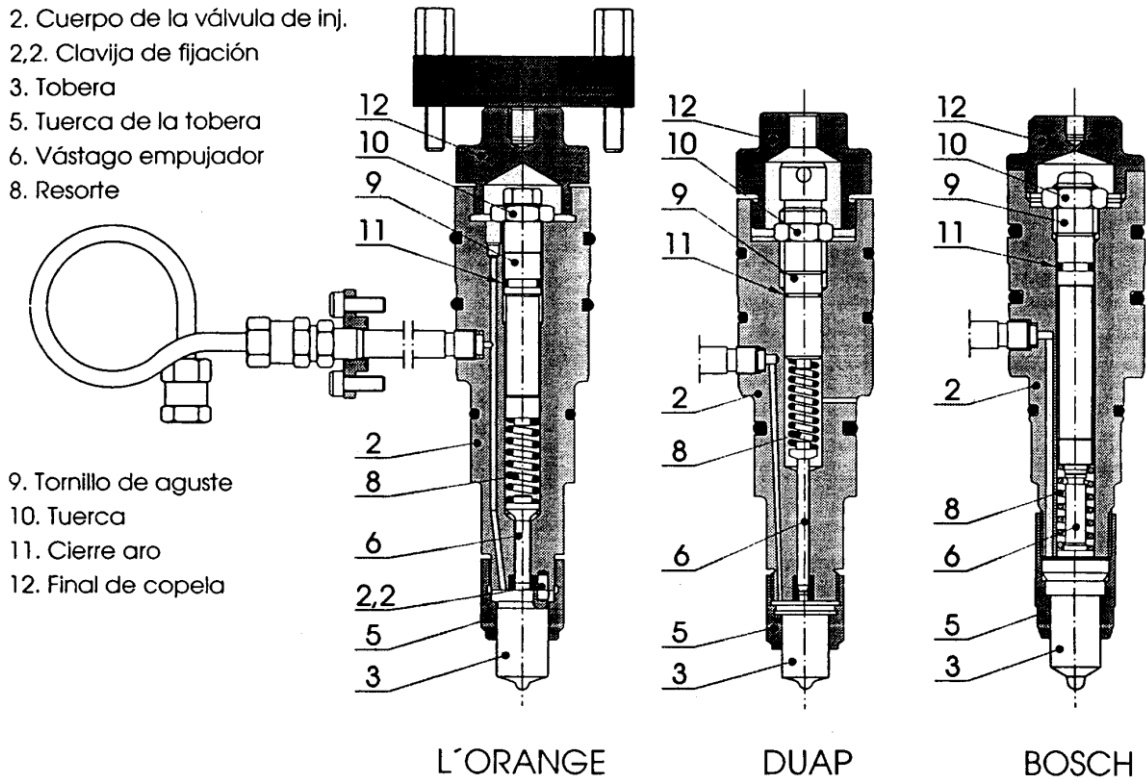


Figura 3.6. Válvula de inyección

IV. DISEÑO DEL BANCO DE CALIBRACIÓN

4.1. INTRODUCCIÓN

Para la construcción de este BANCO DE CALIBRACION NEUMÁTICO PARA BOMBAS DE INYECCION UNITARIAS se ha desarrollado varias investigaciones tanto bibliográficas como de campo, con lo cual se ha reunido la información suficiente teórica básica como práctica, en lo referente al funcionamiento, desmontaje, reparación, calibración, armado de todos los elementos componentes del sistema.

Con el fin de poder adiestrar correctamente el funcionamiento del sistema se tiene que disponer de una variedad de elementos, con lo que lograremos una gama de velocidades para desarrollar secuencias de comprobación y verificación del sistema.

En este capítulo se indica el montaje y funcionamiento del entrenador, como también las características principales de cada elemento que constituye este banco de pruebas, además del cuadro de mantenimiento del simulador.

Este entrenador está enfocado a analizar y describir al sistema íntegramente, con elementos totalmente reales. Lo cual servirá para poder ampliar conocimientos de manera que sirva a los estudiantes e incluso profesionales como un libro de consulta.

4.2. COMPONENTES DEL ENTRENADOR

4.2.1. Grúa telescópica con correa textil

La grúa telescópica (figura 4.1), tiene como material tubo estructural de 3" x 1½" como larguero transversal con una extensión de 12", 2¾" x 1¼" como soporte, y tubo de 3" de diámetro.

Diseñada para movilizar la bomba en el banco de adiestramiento.

La correa textil puede soportar 100 Kgr. de peso.

El accionamiento de la grúa es mecánica con dispositivo de seguridad



Figura 4.1. Grúa telescópica

4.2.2. Mesa de adiestramiento

4.2.2.1. Fase de armado y desarmado

Los elementos de esta fase son:

Pistón hidráulico, tiene una capacidad de dos toneladas, provista de un resorte de amortiguamiento para facilitar el trabajo. (figura 4.2).



Figura 4.2. Pistón hidráulico

Soporte Giratorio, (Figura 4.3) diseñado con el fin de apoyar la bomba para el armado y desarmado, provista de un freno mecánico y soportes de seguridad. Los materiales utilizados son:

- Plancha de acero de 5/8" de 20 x 20, montadas en un eje de 1" de diámetro, soportadas en dos chumaceras a la estructura de la mesa.
- El freno mecánico (figura 4.4), está soportado en una chumacera de 3/4" construido con una varilla roscada 3/4", cuenta con una manivela de accionamiento y un montante de ajuste.



Figura 4.3. Soporte giratorio



Figura 4.4. Freno mecánico

4.2.2.2. Fase de calibración

Soporte estructural para la bomba (figura 4.5), Utilizado para el procedimiento de calibración construido con plancha de acero de $\frac{3}{4}$ "", dos bocines de acero de transmisión de 2" y unas guías de 12 de largo con puntas roscadas de acero de transmisión, además provisto de un disco de protección de bronce fosfórico, con accionamiento por pistón hidráulico con una capacidad de dos toneladas.



Figura 4.5. Fase de calibración

4.2.2.3. Fase de alimentación, calibración neumática y limpieza

La fase de limpieza está compuesta por un recipiente para el lavado de acero inoxidable y un pulverizador. Figura (4.6).



Figura 4.6. Fase de limpieza

La unidad de mantenimiento neumático está compuesta por un manómetro de 0 – 150 psi, válvula reguladora de presión y un vaso de secado. (figura 4.7).



Figura 4.7. Unidad de mantenimiento neumático

La fase de calibración neumática (figura 4.8), está provista de un diferencial de presión, construido de aluminio maquinado, manómetro de presión de entrada 0 – 100 psi y un manómetro de salida de 0 – 160 psi.



Figura 4.8. Fase de calibración neumática

Todas las conexiones neumáticas están hechas con acoples rápidos y manguera plástica flexible de ¼”.

4.2.2.4. Cubículos de almacenamiento

Realizados con el fin de mantener el orden, seguridad y protección de elementos y herramientas. (figura 4.9).



Figura 4.9. Cubículos de almacenamiento

4.2.2.5. Estructura del banco

La estructura del banco (figura 4.10) es de tubo estructural de 20 x 20 cm y una plancha de madera mdf de 6 mm de espesor.



Figura 4.10. Estructura del banco

4.3. TRABAJOS A REALIZARSE EN EL BANCO

Para realizar cualquier trabajo en el banco se debe tener en cuenta:

1. Cuidar el orden y la limpieza del equipo
2. Verificar el buen estado de los componentes
3. Seleccionar las herramientas adecuadas para realizar el trabajo

4. Procurar que el número máximo de personas que trabajen en el banco no supere las cuatro.
5. Revisar y entender cada uno de los procedimientos indicados en la guías de laboratorio.
6. Utilizar la vestimenta adecuada para realizar las prácticas. (Evítese el uso de anillo, relojes, ropa suelta, etc , de ser posible utilizar zapatos de seguridad)
7. Verificar que durante el transporte de la bomba entre las fases de desarmado y calibración el gancho de la grúa y la pieza de sujeción estén correctamente utilizados.
8. En la fase de armado y desarmado siempre estén accionados los dos seguros de protección.
9. Tener en cuenta que el peso de la bomba es de 42 Kg.

PRECAUCIÓN: Tener en cuenta que la presión de recuperación del resorte es de 250 psi.

VI PRACTICAS EN EL BANCO DE CALIBRACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ - ESPE LATACUNGA									
PRACTICA No 1									
					Desarmado y limpieza de la bomba				

OBJETIVOS:

- Conocer los elementos que conforman la bomba
- Describir los pasos a seguir en el desarmado de la bomba Warsila.
- Describir como se realiza la limpieza de la bomba

HERRAMIENTAS Y EQUIPO:

- Banco de calibración neumático de calibración.
- Llaves hexagonales 5, 8, 10, 12 mm
- Palanca de fuerza
- Llave mixta 24 mm
- Llave mixta 32 mm
- Pinza de puntas planas
- Pinza para extraer seguros

MARCO TEÓRICO

MOTOR WARTSILA VASA 16V32 LN.

En Finlandia, en la ciudad de Vasa se construye este motor, de ahí que toma parte de su nombre, consta de 16 cilindros en V, con 32 cm de diámetro del pistón, su carrera es de 35 cm, 28.151 litros de cilindrada unitaria (450.416 litros cilindrada total) y diseño de bajas ediciones Low Nox o LN. Existen motores en V y en línea, en la siguiente tabla podemos encontrar los modelos de motor y su respectivo orden de encendido.

Orden de encendido		
Motor tipo	Giro derecha	Giro izquierda
4R32	1-3-4-2	1-2-4-3
6R32	1-5-3-6-2-4	1-4-2-6-3-5
8R32	1-3-7-4-8-6-2-5	1-5-2-6-8-4-7-3
9R32	1-7-4-2-8-6-3-9-5	1-5-9-3-6-8-2-4-7
12V32	A1-B1-A5-B5-A3-B3 A6-B6-A2-B2-A4-B4	A1-B4-A4-B2-A2-B6 A6-B3-A3-B5-A5-B1
16V32	A1-B1-A3-B3-A7-B7-A4-B4 A8-B8-A6-B6-A2-B2-A5-B5	A1-B5-A5-B2-A2-B6-A6-B8- A8-B4-A4-B7-A7-B3-A3-B1
18V32	A1-B1-A7-B7-A4-B4-A2-B2-A8 B8-A6-B6-A3-B3-A9-B9-A5-B5	A1-B5-A5-B9-A9-B3-A3-B6-A6 B8-A8-B2-A2-B4-A4-B7-A7-B1

El motor trabaja bajo el ciclo diesel pero el combustible utilizado es petróleo-crudo el mismo que antes de ingresar a los cilindros es tratado mediante procesos de purificación y calentamiento para retirar el agua y sólidos, para mejorar la viscosidad, para su óptimo desempeño.

PROCEDIMIENTO

Para realizar el desarmado de esta bomba de inyección se debe:

1. Colocar la platina de presión en el soporte giratorio.
2. Colocar la bomba en el soporte giratorio, ajustando las tuercas con la llave 24 mm.
3. Asegurar el soporte giratorio con los dispositivos de freno y seguridad.
4. Sacar la pieza de conexión Aflojando los pernos en cruz con la hexágona # 10 mm.
5. Retirar la válvula de descarga y su resorte.
6. Sacar la brida de sujeción con la hexágona # 12 mm.

7. Girar el soporte 180°
8. Utilizando la palanca de apriete, presionar el rodillo de la bomba, aflojar el seguro de la misma con una llave hexágono # 8 mm.
9. Lentamente soltar la palanca hasta que la presión del resorte sea liberada.
10. Desmontar el rodillo
11. Con la ayuda de unas pinzas sacar el manguito de control.
12. Con un taco de madera golpear el cilindro principal hasta que éste salga de su guía, asegurándose de captarlo por la parte inferior de la bomba.
13. Quitar los tapones de erosión con la llave 32 mm.
14. Retirar el seguro y la guía de la cremallera dentada utilizando unas pinzas.
15. Retirar el tapón de final de carrera.

DESARMADO DEL CONJUNTO EMBOLO-RODILLO

16. Montar el rodillo en un tornillo de banco recubriéndolo para evitar posibles rayaduras en su superficie.
17. Con un hexágono # 5 mm aflojar la brida de sujeción del émbolo.
18. Sacar la brida y émbolo.
19. Retirar el disco de calibración.
20. Desmontar el rodillo del tornillo de banco.
21. Con la ayuda de un botador largo 3/16, presionar el seguro y empuje lentamente el bulón del rodillo hasta que el seguro salga.
22. Sacar el bulón.

Una vez realizado el desarmado de la bomba, se procede a su limpieza.

1. Realizar la limpieza de los elementos utilizando guantes de nitrilo.
2. Utilizar el recipiente y pulverizar los componentes con diesel.
3. Colocar en orden los elementos en la mesa de trabajo para su posterior armado.

OBSERVACIONES

CUESTIONARIO

1. Porqué se le denomina motor Wartsila Vasa 16V32 LN?
2. Mencione las partes de la bomba de inyección unitaria.
3. Escriba el orden de encendido de un motor 16V32 LN giro derecho
4. Escriba los tipos de inyección diesel mecánica o sólida
5. Explique el funcionamiento del sistema de inyección L'Orange

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

FACULTAD DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ - ESPE LATACUNGA									
PRACTICA No 2									
					Verificación y armado de la bomba				

OBJETIVOS:

- Conocer los elementos que conforman la bomba Wartsila.
- Analizar el estado de los elementos.
- Describir los pasos a seguir para el armado de la bomba.
- Explicar el funcionamiento, características, reglajes de los componentes.

HERRAMIENTAS Y EQUIPO:

- Banco de calibración neumático de calibración.
- Llaves hexagonales 5, 8, 10, 12 mm
- Palanca de fuerza
- Torcómetro 0 a 120 psi.
- Llave mixta 24 mm
- Llave mixta 32 mm
- Pinzas de puntas planas
- Pinzas para extraer seguros

MARCO TEÓRICO

SISTEMA DE INYECCIÓN

Las bombas de inyección son monobloc para cada cilindro con rodillo guía incorporado. La bomba es lubricada a presión y las fugas de combustible van a parar a un tubo del sistema con presión atmosférica fuera de la bomba.

Cada bomba de inyección está equipada con un cilindro de parada de emergencia acoplado a un sistema electroneumático de protección contra sobrevelocidad.

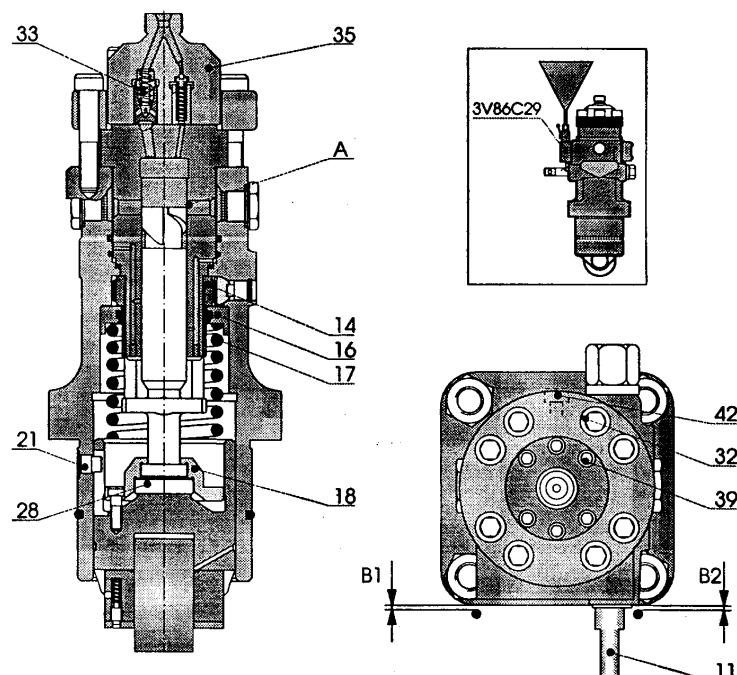
La línea de inyección se compone de un tubo de inyección y una pieza de conexión, atornillados lateralmente en la válvula de inyección se compone de un portainyector y un inyector (tobera) con múltiples orificios.

Línea de inyección

La línea de inyección consta de dos partes; la pieza de conexión, que va atornillada en el portainyector y el tubo de inyección.

La pieza de conexión hace junta con superficies metálicas lisas y estas superficies deben ser verificadas antes del montaje. Apretar siempre la pieza de conexión al par correcto antes del montaje del tubo de inyección. También, solamente en el caso de que el tubo de inyección haya sido desmontado, pues existe el riesgo de que la pieza de conexión se afloje al soltar el tubo.

Cuando se sueltan las piezas de la línea de inyección, deben ser protegidas contra la suciedad y la oxidación.



Bomba de inyección

PROCEDIMIENTO

Una vez realizada la limpieza de los elementos de la bomba, se procede a su verificación.

4. Observar posibles corrosiones en las paredes de la carcasa, émbolo y demás superficies.
5. Verificar si los dientes de la cremallera no estén desgastados.
6. Controlar el cuerpo del émbolo para ver si tiene mellas, grietas o desgaste.
7. Revisar visualmente el estado de pernos y guías.
8. Revisar las roscas de los tapones, asegurándose de que se atornillan fácilmente.
9. Inspeccionar el estado del resorte de recuperación.

Para realizar el armado de la bomba se debe utilizar guantes de látex..

1. Lubricar las partes de la bomba par facilitar el armado.
2. Instalar la cremallera graduada con su respectiva guía y seguro en la carcasa.
3. Colocar la carcasa en el soporte giratorio ajustando las tuercas con un llave 24 mm, asegurando el soporte con los dispositivos de freno y seguridad.
4. Poner el tapón de final de carrera de la cremallera con su arandela.
5. Montar el cilindro principal, alineando las guías internas.
6. Colocar la brida de sujeción del cilindro, asentar los pernos en cruz con una hexágona # 12 mm, y torquear a 80 psi. en tres pasos.
7. Girar 180° el soporte para montar el manguito de control, observando las señales en la cremallera y el diente de referencia del manguito de control.
8. Colocar la base del resorte con el sello de labio.
9. Ubicar el resorte de recuperación.

ARMADO DEL CONJUNTO EMBOLO-RODILLO

10. Colocar el rodillo y su bulón con su respectivo seguro.
11. Montar el rodillo en un tornillo de banco recubriéndolo para evitar posibles rayaduras en su superficie.
12. Instalar el disco de calibración.
13. Poner la brida y el émbolo ajustando sus respectivos pernos a 15 psi con una hexágona # 5 mm, asegurarse que el émbolo mantenga una ligera holgura para que no quede trabado.
14. Desmontar el rodillo del tornillo de banco.
15. Colocar la platina para el armado del conjunto émbolo-carcasa.

					Verificación de las condiciones de los elementos, inicio de la inyección
--	--	--	--	--	--

OBJETIVOS:

- Verificar las condiciones de los elementos de la bomba Wartsila.
- Comprobar el comienzo real de la inyección.

HERRAMIENTAS Y EQUIPO:

- Banco de calibración neumático de calibración.
- Llaves hexagonales 5, 8, 10, 12 mm
- Palanca de fuerza
- Torcómetro 0 a 120 psi.
- Llave mixta 24 mm
- Llave mixta 32 mm
- Pinzas de puntas planas
- Pinzas para extraer seguros

MARCO TEÓRICO

Terminología del motor Wartsila

Es de mucha importancia el conocer la definición de los términos más utilizados en este tipo de motores (estacionarios) para familiarizarnos a lo largo de este tema.

Lado de operación (operating side).

La parte lateral del motor (Fig. 3.1) en la que están situados los dispositivos de maniobra (arranque, parada, panel de instrumentos, regulador de velocidad). En los motores en V se le denomina lado A

Lado posterior (rear side).

El lado opuesto al de maniobra y en los motores en V se trata del lado bloque B.

Extremo de accionamiento (driving end).

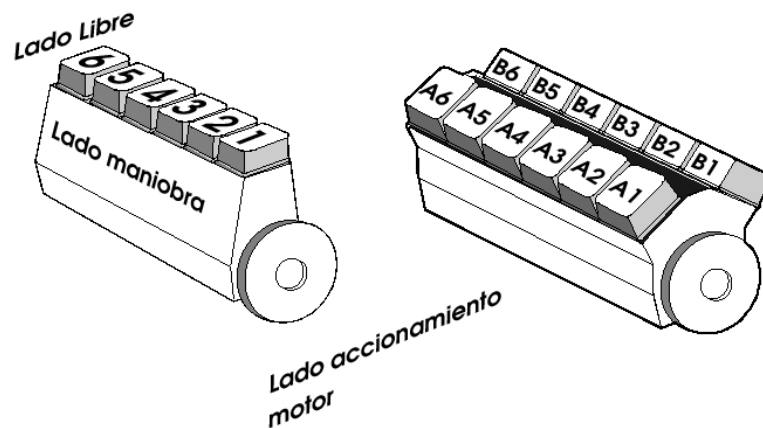
Es el lado en el que se halla situado el volante, los piñones de la distribución y donde está ubicado el acoplamiento, por ende es donde se transmite la potencia del motor.

Extremo libre (free end).

El lado opuesto al de accionamiento, en este lado se encuentra el dámper o amortiguador de vibraciones del cigüeñal y generalmente los turbocompresores.

Designación de los cilindros.

De acuerdo con ISO 1204 y DIN 6265, los cilindros se designan comenzando en el lado de accionamiento (salida de potencia). En un motor con cilindros en V, los cilindros del lado izquierdo, vistos desde el lado de accionamiento, se denominan A1, A2, etc. y los del lado derecho B1, B2, etc.



Terminología

3.1.1.6. Sentido de giro.

Mirando el motor desde el extremo de accionamiento, si el eje gira en el mismo sentido que las agujas del reloj, se trata un motor de giro derecho. Si el eje gira en sentido opuesto a las

manecillas del reloj, se trata de un motor de giro izquierdo. Normalmente los motores de generación son de giro derecho y los motores de bombeo son de giro izquierdo.

PROCEDIMIENTO

1. Colocar la pieza de enganche en la bomba.
2. Quitar las tuercas de sujeción de la bomba en el soporte giratorio.
3. Levantar la bomba con la ayuda de la grúa.
4. Trasladar la bomba hasta la fase de calibración alineándola con los ejes y colocando las tuercas de ajuste para mantener la bomba en posición.
5. Desmontar la grúa y saque la pieza de enganche.
6. Remover la pieza de conexión de la bomba y saque la válvula de descarga.
7. Sacar dos pernos de la brida y colocar el diferencial de presión.
8. Remueva uno de los tapones de erosión.
9. Colocar los manómetros.
10. Conectar la línea de aire y abrir lentamente la válvula de paso del compresor.
11. Colocar la cremallera graduada de la bomba a full carga.
12. Alimentar de aire al sistema y con la válvula reguladora mantener una presión de 60 psi.
13. Colocar la base magnética con el reloj comparador y encerrarlo.
14. Utilizando el cilindro hidráulico, elevar el conjunto émbolo-rodillo hasta que el manómetro empiece a marcar.
15. Elevar el cilindro hidráulico hasta que la aguja del reloj comparador de una vuelta completa (1 mm).
16. La lectura en el manómetro secundario deberá ser de 40 psi, caso contrario el émbolo y el cilindro se deberán desechar.

OBSERVACIONES

CUESTIONARIO

1. Escriba que es operating side del motor Wartsila
2. Explique que es el extremo libre del motor Wartsila
3. Cómo se designan los cilindros del motor Wartsila?
4. Cómo se determina el sentido de giro?
5. Hable de los cojinetes del motor Wartsila

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

FACULTAD DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ - ESPE LATACUNGA

PRACTICA No 4

--	--	--	--	--	--	--	--

					Verificación del comienzo de la descarga				

OBJETIVOS:

- Determinar el comienzo real de descarga del combustible.
- Conocer las tolerancias de la calibración del inicio de descarga de combustible.

HERRAMIENTAS Y EQUIPO:

- Banco de calibración neumático de calibración.
- Llaves hexagonales 5, 8, 10, 12 mm
- Palanca de fuerza
- Torcómetro 0 a 120 psi.
- Llave mixta 24 mm
- Llave mixta 32 mm
- Pinzas de puntas planas
- Pinzas para extraer seguros

MARCO TEÓRICO

Características del combustible

El motor está diseñado para servicio continuo con combustible pesado, entendiéndose como pesados aquellos combustibles basados en petróleo que contienen aceites combustibles residuales, y están caracterizados por su alta viscosidad y densidad.

Como regla general se han definido cuatro tipos de combustible:

- HFO 1 Gasóleo pesado de calidad normal.
- HFO 2 Gasóleo pesado de calidad inferior al estándar normal.
- DO Gasóleo o gasóleo ligero (LFO).
- GN Gas Natural.

Las diferencias entre HFO1 y HFO2 se basa en su contenido de ciertos elementos como se muestra en la tabla.

Características del combustible, límites máximos		HFO 1	HFO 2
Azufre	% en masa	2,0	2.0 - 5,0
Ceniza	% en masa	0,05	0,05 - 0,20
Vanadio	mg/kg	100	100 - 600
Sodio	mg/kg	20	20 - 50
Al + Si	mg/kg	30	30 - 80
CCAI		850	850 - 870

Diferencias HFO 1 con HFO2.

Si las propiedades de cualquier combustible especificado superan los valores máximos del HFO 1, entonces deberá clasificarse en la categoría HFO 2.

PROCEDIMIENTO

Esta revisión solo puede ser llevada a cabo en bombas con condiciones aceptables de los elementos. El comienzo real de la descarga depende del espesor de la calibración del disco.

1. Ajustar la presión secundaria a 2 bares a través de la válvula reguladora de presión.
2. Ajustar la aspiración del émbolo mediante el tornillo que se encuentra en el pistón hidráulico, hasta que la presión secundaria sea exactamente 1 bar, este es el comienzo de la descarga.
3. Comenzar verificando la calibración del disco fijando el selector de medida en cero.

4. Aflojar el ajuste de tornillo 0.3 a 0.5 mm hacia abajo hasta que quepan las dos piezas en posición.
5. Levantar el émbolo cuidadosamente ajustando el tornillo, hasta que se puedan soportar las piezas en esa posición.
6. Leer el indicador del selector de medida. Una medida positiva indica una muy espesa calibración del disco y una lectura negativa indica un disco muy delgado.

La tolerancia es + 0.00.....+0.05 mm (-21 mm = 1° en el volante del Vassa 22) (- 0.25 mm = 1° en el volante del Vassa 32).

Nota: La calibración del disco es afinada para cada nueva bomba y el espesor original está indicado en el disco. Solo el espesor correcto garantiza una apropiada sincronización del motor.

OBSERVACIONES

CUESTIONARIO

1. Escriba las características del combustible
2. Anote los tipos de combustible para el motor Wartsila
3. En qué se diferencian los combustibles HFO1 y HFO2?
4. Hable sobre el cigüeñal del motor Wartsila
5. Describa para que sirve el disco de calibración de la bomba de inyección.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El banco de calibración se ha construido en su totalidad con elementos originales del sistema de inyección Wartsila.
- Variando la presión y el tiempo de inyección se controla la velocidad y la potencia del motor.
- Las bombas de inyección Wartsila son mono block de alta presión accionada mecánicamente.
- El armado y el desarmado de la bomba es sencillo lo que facilita el aprendizaje.
- El banco está provisto de todas las seguridades necesarias para evitar accidentes.
- La función del inyector es para el tiempo, medición, inyección y atomización del combustible.
- Se ha desarrollado prácticas de calibración de la bomba Wartsila para mejorar el conocimiento de los estudiantes en cuanto a la inyección de motores estacionarios.
- El mantenimiento de este sistema es de los más sencillos en comparación con los demás sistemas de inyección diesel.

RECOMENDACIONES

- Analizar la teoría del funcionamiento del sistema de inyección diesel unitaria.
- Trabajar en el banco con orden y limpieza.
- Usar las herramientas adecuadas para no causar deterioro al banco de calibración.
- No se debe producir fuego en el momento en que se estén realizando las prácticas.
- Constatar de que no existan fugas en el sistema de alimentación neumático.
- Realizar las prácticas con un número no mayor de tres estudiantes para mejorar el aprendizaje.
- Para utilizar el banco de calibración neumático se deben seguir los pasos y tomar las precauciones mencionadas.
- Proveerse de un compresor que brinde buena alimentación neumática.
- Tener precaución en el desarmado y armado de la bomba debido a la reacción del resorte de recuperación.
- Todas las prácticas deben realizarse con la presencia de un instructor.
- Investigar las nuevas teorías sobre el avance tecnológico de la inyección diesel

BIBLIOGRAFÍA

- Ed May – Motores Diesel. McGraw Hill. México. 1998
- Miralles de Imperial, Juan – Motores Diesel Inyección y Combustión. Ceac. Barcelona. 1984.
- Dagel John – Sistemas de Inyección Diesel. Limusca. México. 1995
- Carulla Miguel – Circuitos Básicos de Neumática. Alfaomega. México. 1995
- Millan Salvador – Circuitos en Aplicaciones Neumáticas. Alfaomega. México. 1998.
- Wartsila – Manual Vasa 32 LN. Wartsila Filnand Oy. Vaasa Filandia. 1999
- Wartsila – Injection System. Wartsila Filand Oy. Vasa Filandia. 1999

Latacunga, septiembre de 2007

Realizado por:

Ricardo Santiago López M.

CI: 18026992-2

Pablo Javier Vásquez H.

CI: 050230891-9

Ing. Juan Trajano Castro Clavijo

Director de Carrera de Ingeniería Automotriz

Dr. Eduardo Vásquez Alcázar

Secretario Académico de la ESPE - Latacunga