

- MAQUINAS TERMICAS. +

UNIDAD TEMATICA N° 8: Motores de Combustión Interna.-

Los motores de combustión interna son máquinas térmicas motorizadas, transformadoras de la energía química de un combustible líquido o gaseoso liberada en forma de energía de calor, por un proceso de combustión que se realiza en el interior de la máquina misma, en trabajo mecánico. De allí su denominación. Utilizan como sustancia de trabajo una mezcla de gases de combustión y aire no quemado. La sustancia combustible puede ser nafta (gasolina), gasoil o gas y la comburente el aire. La clasificación más utilizada es la que se realiza en base al proceso termodinámico durante el cual se produce la combustión. De esta manera se tiene:

- Motores de combustión a volumen constante ó isocórica ( de explosión)
- Motores de combustión a presión constante o isobárica (autoencendido)

Otras clasificaciones no excluyente, sino complementarias son:  
Según la naturaleza del combustible: en motores de combustible líquido, gaseoso o mezcla de ambos.-

Según el modo de realizarse el ciclo: En motores de cuatro y dos tiempos.-

Según la elaboración de la mezcla: de elaboración interna y externa.-

Según el método de inflamación de la mezcla: de encendido provocado y de autoencendido.-

Según el grado de compresión: en motores de alta y baja presión.

Según la acción del gas sobre el émbolo: de simple y doble efecto.-

Según el número y posición de los cilindros: en monocilíndricos o policilíndricos, horizontales o verticales; en línea

ó en "V"

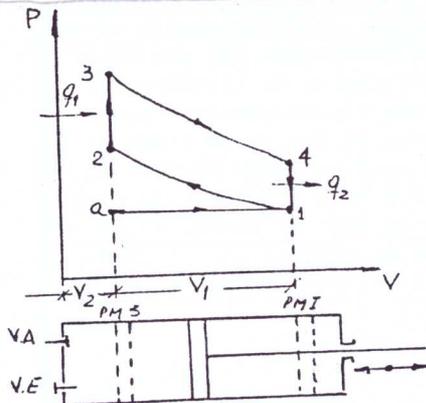
Según la velocidad del émbolo y el número de revoluciones: en lentos y rápidos

Tanto en los motores de combustión isocórica como los de combustión isobárica se producen las siguientes etapas:

- Admisión
- Compresión
- Expansión
- Expulsión

Dichas etapas se pueden lograr en dos revoluciones del motor, en cuyo caso se lo denomina de cuatro (4) tiempos ó en una vuelta del cigueñal, en que se lo denomina de dos (2) tiempos.-

MOTORES DE COMBUSTION ISOCORICA DE 4 TIEMPOS: Se los denomina también de explosión que utilizan nafta (gasolina) como combustible, y que se los conoce como motores OTTO, por su inventor. Describiremos en primer lugar el motor de cuatro (4) tiempos utilizando a tal efecto un diagrama p-v, y nos referiremos en primer lugar al ciclo ideal, para lo cual se supone las siguientes simplificaciones: 1) que la combustión se produce instantáneamente cuando el émbolo se encuentra en el punto muerto superior (p.m.s.). - 2) que no existe caída de presión ni en la aspiración de la mezcla, ni en la impulsión de los gases de combustión. Con ello el trabajo de flujo necesario para introducir la mezcla en el cilindro, es igual al necesario para expulsar los gases de combustión. El pistón se mueve alternativamente entre dos puntos extremos que se denominan respectivamente punto muerto superior (p.m.s) y punto muerto inferior ( p.m.i)



PRIMER TIEMPO: El pistón se desplaza desde el p.m.s. al p.m.i. Al iniciarse el desplazamiento se produce la apertura de la válvula de admisión, y se realiza la aspiración de la mezcla combustible-aire, perfectamente dosada en un dispositivo denominado carburador. El cigueñal al completarse el desplazamiento ha girado media vuelta.-

SEGUNDO TIEMPO: El pistón se desplaza desde el p.m.i. al p.m.s; permaneciendo cerradas las válvulas de admisión y escape, se comprime la mezcla aire-combustible. Al llegar el pistón al p.m.s., la mezcla se encuentra fuertemente com-

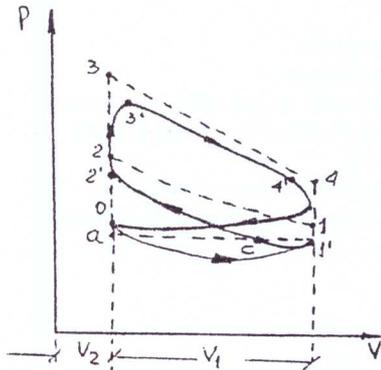
*Nafta*  
*heptano normal*  
*100 octano*  
*100*  
*diecel*  
*cetano 100*  
*metil naftaleno*

právida y a cierta temperatura. El cigüeñal ha girado otra media vuelta.

**TERCER TIEMPO:** En el momento en que el pistón llega al p.m.s., se provoca el salto de la chispa de la bujía, produciéndose la explosión de la mezcla, por efecto de la cual la temperatura y la presión aumentan bruscamente a volumen constante (combustión isocórica). En este proceso de combustión se ha liberado la energía química del combustible, generándose una cierta energía en forma de calor. La fuerza resultante de la explosión de la mezcla actúa sobre la cabeza del pistón, desplazándolo hacia el p.m.i. transmitiéndose por la biela al cigüeñal, en cuyo eje se obtiene un cierto trabajo mecánico. Durante este proceso las válvulas siguen cerradas, y el cigüeñal ha girado otra media vuelta.

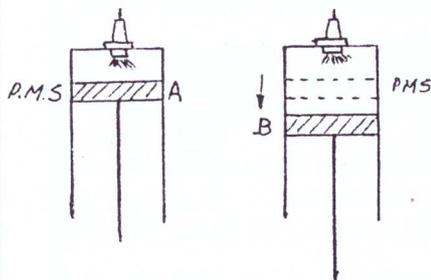
**CUARTO TIEMPO:** Cuando el pistón llega al p.m.i. se abre la válvula de escape, disminuyendo la presión. Se invierte el sentido del movimiento, desplazándose hacia el p.m.s., expulsando los gases de combustión. Cuando el pistón llega al p.m.s. se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, comenzando un nuevo ciclo. El cigüeñal ha girado otra media vuelta, completándose de esta manera el ciclo con cuatro desplazamiento del pistón y dos vueltas del cigüeñal.

**CICLO REAL:** En el ciclo descrito anteriormente considerábamos que la presión se producía en forma constante e igual a la exterior (normalmente la presión atmosférica). En el ciclo real la "línea de aspiración" no es una recta. Ello es consecuencia



que la admisión de la mezcla nueva (fresca) recién se produce cuando los gases que quedan en el interior del cilindro (en lo que denominamos volumen de espacio nocivo), se expanden hasta una presión menor a la exterior del cilindro. La línea de aspiración sera de la forma 0-1' indicada en el gráfico. Tampoco la válvula de admisión se cierra al llegar el pistón al p.m.i, sino que recién lo hace luego que el mismo ha iniciado su desplazamiento hacia el p.m.s. Es decir existe lo que se denomina "retraso al cierre de la admisión" (R.C.A.). Este retraso tiene por finalidad asegurar que al llenado del cilindro sea lo más completo posible. En efecto el pistón aspira la mezcla mientras se des-

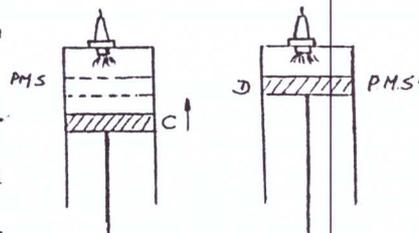
plaza hacia el p.m.i, que a la velocidad que gira el motor provoca una gran velocidad de desplazamiento de la misma. Si bien al llegar el pistón al p.m.i. no aspira más porque invierte su carrera, sigue entrando mezcla al cilindro, ya que al comenzar su desplazamiento el grado de compresión es bajo. La válvula de admisión se cierra cuando por efecto de la compresión la mezcla puede salir por la misma. El valor del R.C.A. se determina experimentalmente porque es variable para cada tipo de motor. Como promedio se pueda considerar unos 65° después del p.m.i. La compresión del ciclo ideal se considera adiabático-isocóntroico. En la realidad esta condición no se cumplen, por la irreversibilidad del proceso y por la transmisión del calor del cilindro a la mezcla nueva. La chispa de la bujía que provoca la inflamación de la mezcla, tampoco se hace saltar cuando el pistón llega al p.m.s. sino que se realiza antes, es decir se avanza el encendido. Este avance al encendido se realiza por los siguientes motivos: Cuando salta la chispa únicamente se inflama



la mezcla próxima a la misma y si bien la propagación de la llama es rápida, siempre existe un "frente" de llama que se desplaza. Es decir la explosión no se produce instantáneamente en toda la mezcla. Como el movimiento del pistón es mecánico, este inmediatamente de llegado al p.m.s. invierte su desplazamiento. Como consecuencia de ello cuando el frente de llama ha alcanzado toda la mezcla, ya se ha desplazado una cierta distancia (de A a B). De esta manera el pistón no recibe toda la fuerza de la explosión. Inclusive puede ocurrir que el pistón

ha realizado un grado de desplazamiento que ya se inicia la apertura de la válvula de escape. En este caso prácticamente el pistón no recibe energía explosiva. Al avanzar el encendido (punto C), antes que el pistón llegue al p.m.s.

ce da el tiempo necesario para que el frente de llama se propague a toda la mezcla. De esta manera cuando el pistón alcanza el p.m.s., recibe toda la "fuerza" de la explosión. Esta situación indica, en general, que cuando mayor es la velocidad de giro del motor, mayor deberá ser el avance. Se deberá tener en cuenta, sin embargo, que al aumentar el grado de compresión mayor es la velocidad de propagación del frente de llama por lo cual el avance al encendido debe ser menor. Un exceso al avance al encendido se nota por un golpeteo del motor. Como la velocidad de desplazamiento del pistón está en relación con el giro del motor, el avance al encendido varía con la marcha del motor. Por tal motivo actualmente, en los motores de explosión el avance al encendido es automático.-

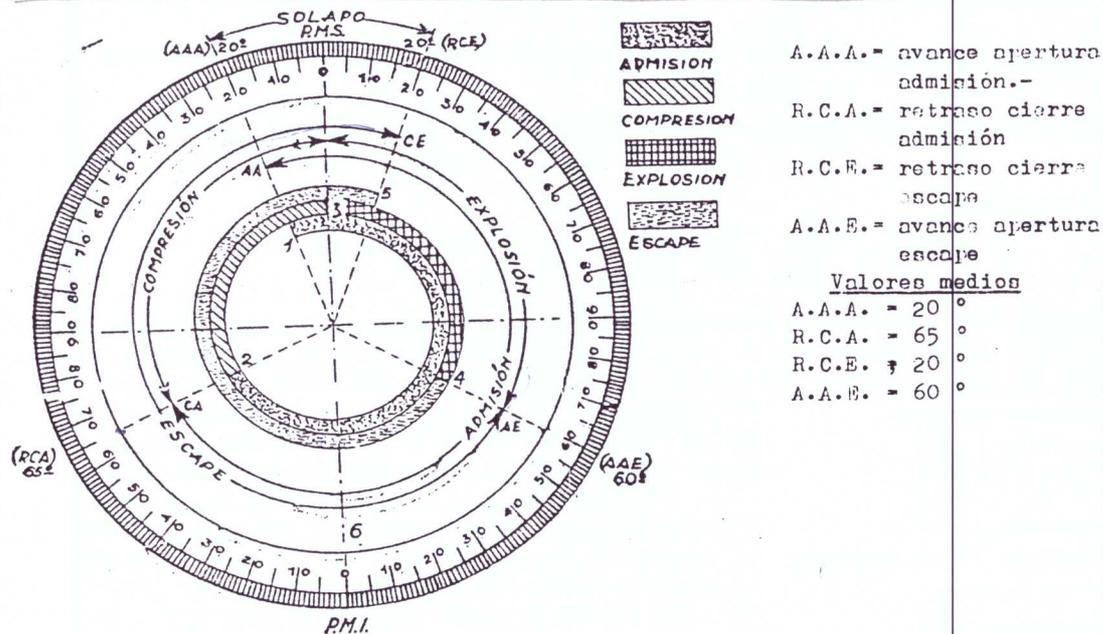


Como consecuencia del efecto de propagación de la llama el proceso de combustión tampoco es isocórico, ya que se prolonga mientras el pistón inicia su desplazamiento hacia el p.m.i. La presión lograda por efecto de la explosión, es / también menor por lo siguiente:

- porqué el calor específico del gases de combustión es mayor que el supuesto para el ciclo ideal
- porqué las paredes del cilindro y la tapa (culata) están refrigerados.-
- la presión inicial del proceso de compresión es menor.-
- en el proceso de combustión el pistón efectúa trabajo.-

Es también general en todo los motores el avance a la apertura del escape (A.A.E.). Es decir la válvula de escape se abre antes que el pistón llegue al p.m.i., lo cual es necesario para que disminuya la presión en el interior del cilindro, antes que al pistón inicie la carrera de expulsión de los gases. Con ello se logra además que la línea de escape no sea muy diferente a la de aspiración. Se debe tener en cuenta que el área encerrada por dichas curvas equivale a trabajo perdido, por se utilizado para la admisión de la mezcla y expulsión de los gases (trabajo de flujo).

Para mejorar el llenado del cilindro algunos motores tienen también un pequeño avance a la apertura de la admisión (A.A.A.). De esta manera existe un instante de tiempo en que las válvulas de escape y de admisión están abiertas al mismo tiempo, que se denomina "solapo". Esto se realiza porque la gran velocidad de salida de los gases quemados provoca una fuerte succión instantánea en el cilindro, que se aprovecha al tener abierta la válvula de admisión, para absorber mezcla nueva, mejorando el llenado del cilindro. Como el giro del cigueñal es 360°, se puede construir un gráfico demostrativo, con cotas de reglaje angulares:



|  |            |
|--|------------|
|  | ADMISION   |
|  | COMPRESION |
|  | EXPLOSION  |
|  | ESCAPE     |

- A.A.A. = avance apertura admisión.-
- R.C.A. = retraso cierre admisión
- R.C.E. = retraso cierre escape
- A.A.E. = avance apertura escape

Valores medios

- A.A.A. = 20 °
- R.C.A. = 65 °
- R.C.E. = 20 °
- A.A.E. = 60 °

Gráfico del ciclo real de cuatro tiempos (cotas de reglaje angulares, en grados; y lineales, en milímetros).

170

El diagrama real de funcionamiento se obtiene utilizando un aparato indicador. La superficie del diagrama indicado obtenido indica el trabajo interno ó indicado del ciclo y que representa la energía que la sustancia de trabajo entrega a través del cigueñal. El rendimiento térmico del ciclo ideal, se determina suponiendo que la sustancia de trabajo en todo el ciclo es el aire, el cual se comporta como un gas perfecto. Como estudiamos en termodinámica, su expresión es:

$$\eta_t = \frac{L_N}{q_a} = \frac{q_a - q_c}{q_a} = 1 - \frac{q_c}{q_a}$$

$$q_a = c_v (T_3 - T_2) ; q_c = -c_v (T_4 - T_1) = c_v (T_4 - T_1)$$

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

$$T_1 V_1^{k-1} = T_2 V_2^{k-1} \Rightarrow T_1 = T_2 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1} = \frac{T_2}{\epsilon^{k-1}} ; \frac{V_1}{V_2} = \epsilon$$

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

$$\eta_t = 1 - \frac{(T_3 - T_2) / \epsilon^{k-1}}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}}$$

es decir se podrá aumentar el rendimiento térmico aumentando la relación de compresión volumétrica. A tal efecto se trata de construir motores con la mayor relación de compresión posible. Sin embargo esto tiene su límite ya que depende de la construcción del motor y de la calidad del combustible utilizado. En efecto si la relación de compresión es muy elevada pueden producirse dos fenómenos, que estudiamos posteriormente a) la detonación y b) el preencendido.

Para los motores alternativos de combustión interna, se consideran también los siguientes rendimientos:

- rendimiento volumétrico: dada por la relación entre la masa del gas realmente introducida en el cilindro y la masa teórica que llenaría todo el cilindro:

$$\eta_v = \frac{m_R}{m_t}$$

- rendimiento interno: relación entre el trabajo indicado y el trabajo neto ideal

$$\eta_i = \frac{L_i}{L_N}$$

- rendimiento mecánico: relación entre el trabajo en el eje y el trabajo interno

$$\eta_m = \frac{L_e}{L_i}$$

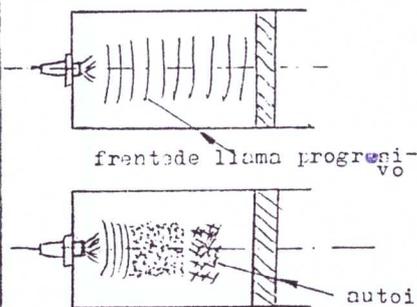
- rendimiento total ó efectivo: relación entre el trabajo en el eje y el calor aportado

$$\eta_e = \frac{L_e}{q_a}$$

será también:

$$\eta_e = \frac{A L_e}{q_a} = \frac{A L_N}{q_a} \cdot \frac{L_i}{L_N} \cdot \frac{L_e}{L_i} = \eta_t \cdot \eta_i \cdot \eta_m = \frac{\eta_e}{\eta_i}$$

DETONACION: Como mencionamos anteriormente, cuando salta la chispa, la explosión no se produce instantáneamente en toda la mezcla, sino que existe un frente de llama que se propaga. Como consecuencia de ello, la fuerza que actúa sobre el pistón también lo hace en forma progresiva. Puede ocurrir, como consecuencia de ello, que los primeros gases formados en la combustión actúen como un embolo, que se adelanta a la propagación de la llama comprimiendo la mezcla todavía no combustionada. Esta compresión es suficiente para que esta parte de la mezcla explote por sí misma, y no por propagación del frente de llama. Esta autoinflamación provoca un choque de ondas explosivas (la provocada por el frente de llama y la autoexplosiva). Este



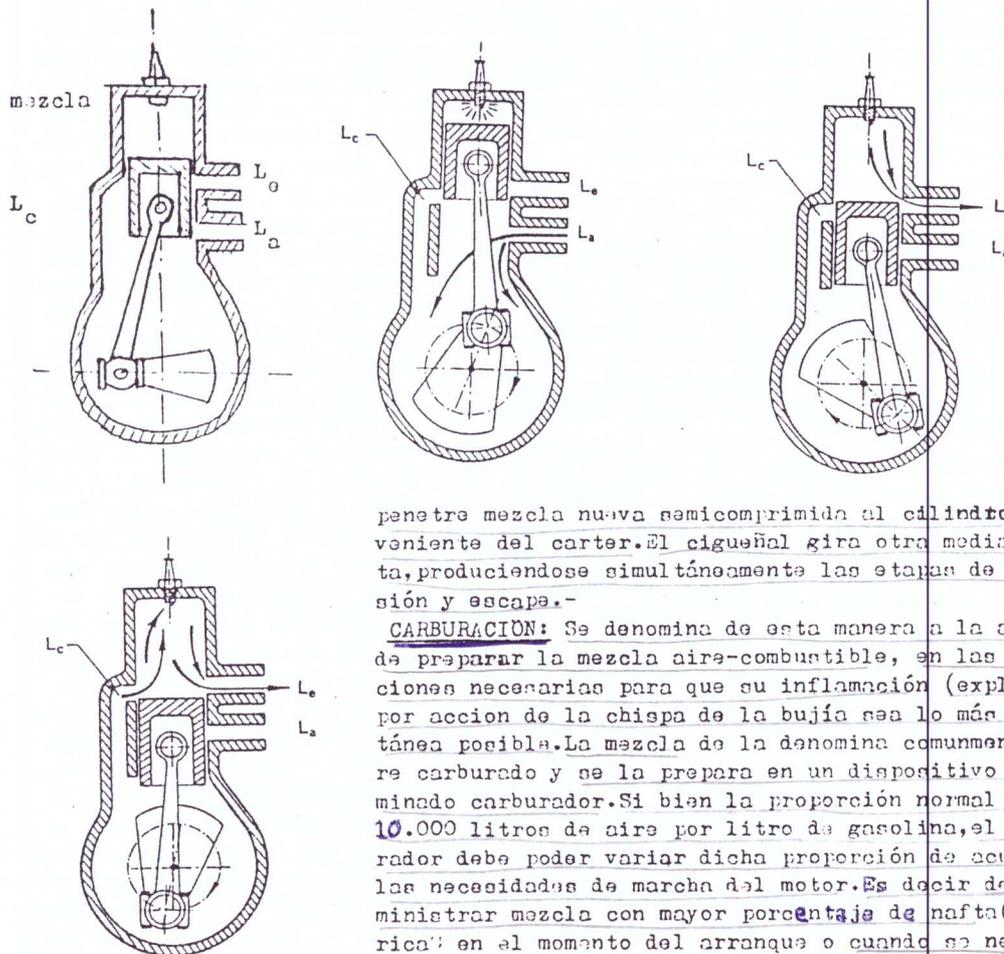
fenómeno se denomina "DETONACION". El resultado es una vibración, que se percibe exteriormente como un "martilleo". El motor se calienta y pierde potencia. Si bien las paredes del cilindro, por su robustez pueden soportar estas vibraciones, no ocurre lo mismo con la cabeza del pistón, que es en definitiva el que recibe el resultado del choque de las ondas explosivas. Si el fenómeno persistente puede perforarse el pistón. Otro efecto, es que si la detonación se produce antes que el pistón haya pasado el p.m.s., la biela no tiene la oblicuidad necesaria para transmitir el esfuerzo al cigüeñal y el golpe lo debe soportar los cojinetes de cabeza y pie de biela, que puede provocar su deterioro. La mayor o menor posibilidad que se produzca el fenómeno detonante, depende de la calidad del combustible. Cuanto mayor es la relación de compresión, mayor es la posibilidad que se produzca la detonación, para un mismo tipo de combustible. Así, por ejemplo puede ocurrir, que para una relación de compresión de 5, el combustible no detone, pero si lo haga para una relación 6. El poder antidetonante de un combustible se indica por un número, denominado índice de octano, que se determina experimentalmente. A tal efecto se utiliza un motor-tipo especialmente diseñado, de un cilindro, enfriado por agua, con diámetro de 3,25 pulgadas y recorrido de 4,5 pulgadas, de culata ajustable para obtener relaciones de compresión entre 4 a 1 y 10 a 1. -Acoplado a la culata va un elemento sensible al pistoneo o detonancia, que produce una indicación de voltaje sobre la intensidad de las detonaciones dentro de la cámara de combustión. Esta señal se amplifica electrónicamente y se transmite a un manómetro para indicación visual. El carburador del motor tiene tres depósitos; una para el combustible en ensayo y las otras para combustibles de referencia. Los combustibles de referencia se preparan mezclando en distintas proporciones, dos hidrocarburos derivados del petróleo y que son el HEPTANO NORMAL, que es el más detonante y al cual se le asigna un número 0, y el ISO OCTANO que es el más resistente a detonar y a quien se le asigna un número 100. Una mezcla constituida por 80 partes de iso-octano y 20 partes de heptano normal, será menos detonante que una constituida por 60 partes de iso-octano y 40 de heptano normal. Para saber el poder antidetonante de una nafta, se hace funcionar con la misma el motor tipo, y con mezcla de combustible tipo. Cuando se logra igual / comportamiento se asigna a la nafta en ensayo como índice ó número de octano, a la cantidad de iso-octano de la mezcla tipo. Ello no significa que la nafta en ensayo tenga dicha cantidad de iso-octano, sino que sus características detonantes son iguales a la de la mezcla tipo. Así una nafta de 80 octanos tendrá un comportamiento similar al de una muestra tipo, constituida por 80 partes de iso-octano y 20 partes de heptano normal. La tecnología actual ha permitido la obtención de naftas de propiedades antidetonantes superiores al del iso-octano puro. En estos casos su evaluación se realiza utilizando como combustible de referencia iso-octano con el agregado de determinado mililitros de tetraetilo de plomo.

AUTOENCENDIDO: Se denomina de esta manera cuando la inflamación de la mezcla se produce únicamente por el grado de compresión, es decir sin que intervenga la chispa de la bujía, haciéndolo por lo tanto a destiempo y en forma perjudicial. -

ENCENDIDO SUPERFICIAL: Se denomina de esta manera a la prematura inflamación de la mezcla, también sin que actúe la chispa de la bujía, y debido a una superficie (paredes del cilindro o culata) a elevada temperatura; a una rebaba incandescente, partículas de carbón, etc. -

MOTOR OTTO DE DOS TIEMPOS: Su ciclo de funcionamiento es similar al motor de cuatro tiempos, es decir se producen las etapas de admisión, compresión, expansión y escape. La diferencia reside en el hecho que las etapas mencionadas se cumplen en una / vuelta del cigüeñal y que el cilindro no posee válvulas, sino lumbreras de admisión y escape. Para una mejor compresión del ciclo, vamos a suponer que en el cilindro ya existe mezcla y que el pistón se encuentra en el p.m.i. cerrando las lumbreras de admisión, de carga y de escape. Al desplazarse el pistón hacia el p.m.s. comprime la mezcla contenida en el cilindro, y deja abierta además la lumbrera de admisión permitiendo la entrada de mezcla al cárter, donde experimenta una primera compresión. Cuando el pistón ha llegado al p.m.s. el cigüeñal ha dado media vuelta y se han producido simultáneamente las etapas de compresión y admisión. Con el pistón en las proximidades del p.m.s. salta la chispa de la bujía, provocándose la explosión, que desplaza al pistón hacia el p.m.i. En determinado momento de su carrera cierra la lumbrera de admisión; deja abierta la de escape para permitir la salida de los gases de escape y abre también la lumbrera de carga, permitiendo que

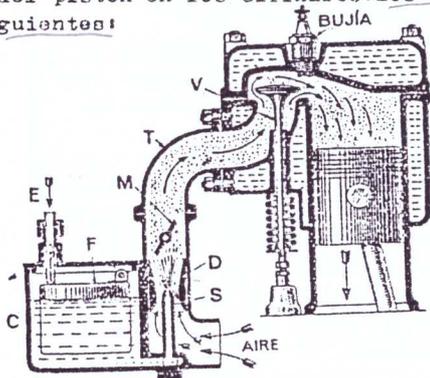
71



penetre mezcla nueva semicomprimida al cilindro proveniente del carter. El cigueñal gira otra media vuelta, produciéndose simultáneamente las etapas de expansión y escape.-

**CARBURACIÓN:** Se denomina de esta manera a la acción de preparar la mezcla aire-combustible, en las condiciones necesarias para que su inflamación (explosión) por acción de la chispa de la bujía sea lo más instantánea posible. La mezcla se denomina comúnmente aire carburado y se la prepara en un dispositivo denominado carburador. Si bien la proporción normal es de 10.000 litros de aire por litro de gasolina, el carburador debe poder variar dicha proporción de acuerdo a las necesidades de marcha del motor. Es decir debe suministrar mezcla con mayor porcentaje de nafta (mezcla rica) en el momento del arranque o cuando se necesita mayor potencia, o mezcla normal para la marcha con

normal. Estas variaciones de mezcla es automática en los carburadores modernos. El fundamento de funcionamiento del carburador, se basa en que toda corriente de aire que pase rozando un orificio provoca un efecto de succión. En los carburadores la corriente de aire se origina por la aspiración provocada por el desplazamiento del pistón en los cilindros. Los elementos básicos de todo carburador son los siguientes:



**Cuba depósito:** que constituye el alimentador del carburador, y a donde llega la nafta proveniente del tanque de combustible, que posee un flotante para asegurar un nivel constante de líquido combustible.-

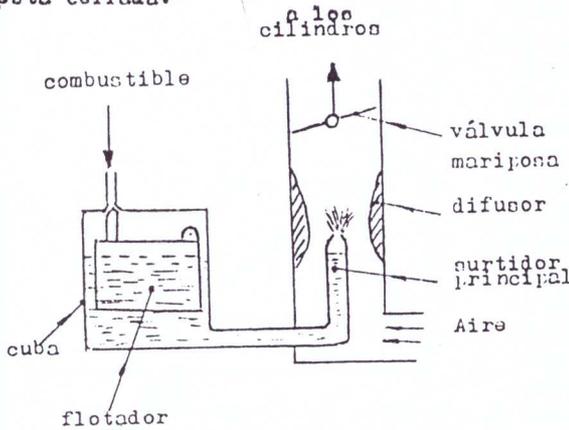
**Surtidor:** por donde sale el combustible proveniente de la cuba, aspirado por la corriente de aire que entra por el desplazamiento del pistón de los cilindros. Este aire que pasa rozando el surtidor, provoca además la pulverización del combustible.-

**Difusor o venturi:** colocado a la salida del surtidor para aumentar la velocidad de circulación del aire y favorecer la aspiración y pulverizado del combustible.-

**Válvula mariposa:** colocada después del venturi, y que regula en su movimiento la aspiración provocada por desplazamiento del pistón en los cilindros, y por lo tanto la cantidad de mezcla según la potencia a desarrollar.-

El adelanto tecnológico ha ido agregando una serie de elementos accesorios, para mejorar el funcionamiento del carburador, que actúan automáticamente según las necesidades de funcionamiento del motor. De esta manera se tiene:

Surtidor de ralenti: que envía la mínima cantidad de combustible para que el motor funcione en marcha lenta (regulando), después de la válvula mariposa, estando esta cerrada.-

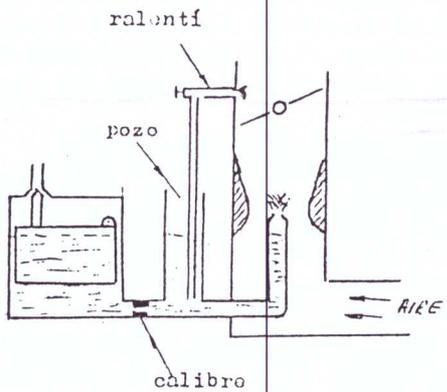


Compensador: regula la calidad de la mezcla que tiende a enriquecerse, cuando aumenta la velocidad del motor. En lugar de mandar nafta directamente al surtidor principal se intercala, entre éste y la cuba un pequeño depósito o pozo, conectado a la cuba por un calibre sumergido. La succión provocada por los cilindros va gastando, en marcha normal, no sólo la gasolina que pasa por el calibre, sino también la contenida en el pozo. Cuando aumenta la velocidad del motor, aumenta la aspiración que tendería a enriquecer la mezcla. Ello no ocurre porque la cantidad que pasa por el ca

libre no varía, y únicamente se gasta la contenida en el pozo, que además está enriquecida por el aire que se introduce por la parte superior del pozo.-

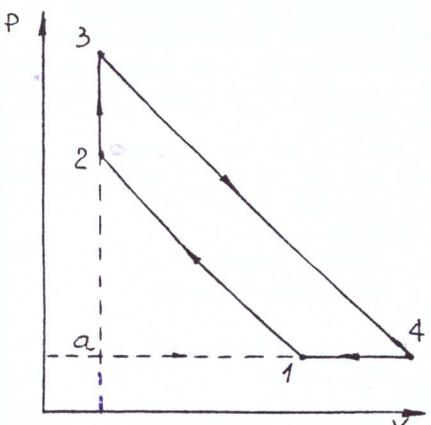
Bomba de aceleración: tiene por finalidad enriquecer la mezcla cuando se necesita mayor potencia, introduciendo combustible adicional a la salida del surtidor principal. Según el tipo de carburador, ésta bomba se acciona por el acelerador o por la succión de los cilindros.-

Economizador: Permite obtener una mezcla más pobre. Ello puede realizarse aumentando la cantidad de aire o disminuyendo la de gasolina.-



Combinando adecuadamente el funcionamiento de los distintos elementos mencionados, se logra que el carburador suministre la mezcla suficiente en cantidad y calidad según las necesidades de funcionamiento del motor.-

MOTORES DIESEL: Los motores Diesel llevan el nombre del Ingeniero alemán que los inventó. Su ciclo de funcionamiento comprende como en los motores OTTO, las etapas de admisión, compresión, combustión, expansión y expulsión de los gases remanentes. Se diferencian de los motores OTTO, en que utilizan gasoil como combustible en lugar de nafta (gasolina), y que comprimen aire puro en vez de mezcla aire-nafta. En realidad la idea original del ingeniero Diesel era construir un motor, que "quemara" carbón pulverizado, que fué luego sustituido por gasoil, por las razones que mencionaremos posteriormente. Consideró que ello sería posible comprimiendo aire a presiones elevadas, de tal manera que su temperatura aumentará a valores suficientes para producir la combustión del combustible. Supuso además que de esta manera se evitarían los problemas de detonación y autoencendido de los motores OTTO

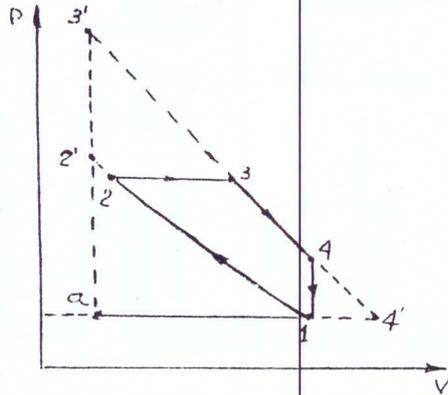


Para ello concibió un ciclo de funcionamiento de cuatro tiempos, durante el cual se produciría la admisión del aire, su compresión a presión elevada; una combustión isocórica y posteriormente una expansión hasta la presión atmosférica, seguida de la expulsión de los gases.-

Los inconvenientes de realización práctica de este ciclo fué la resistencia de los materiales para soportar elevadas presiones, y además se dificultaba la inyección del combustible. Por otra parte al ser el desplazamiento del pistón mecánico, y como existe un retraso a la inflamación, la combustión se producía en forma isobárica; existía además dificultad para expulsar los

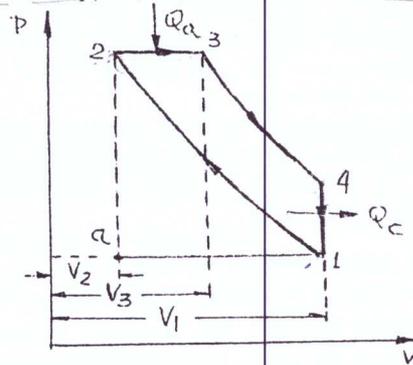
72

gases de combustión. Las experiencias realizadas lo llevaron al ciclo que se utiliza actualmente, formado por adiabáticas-isoentrópicas, una isobárica y una isocórica. El utilizar gasoil como combustible, fué consecuencia que en la época de invención del motor diésel, el mismo se consideraba como un producto sobrante de la destilación del petróleo para obtener naftas, que era el combustible de preferencia y de mayor costo. Por tal motivo existía disponible una gran cantidad de gasoil, que se vendía a bajo precio. Este hecho llevó también al gran desarrollo que experimentaron los motores Diésel en poco tiempo. Como sabemos aún en la actualidad el costo del gasoil, es menor al de la nafta, por lo que el uso del gasoil, y debido a los avances tecnológicos, se ha extendido a los automóviles. -Aún en la suposición, que por la demanda, aumente el precio del gasoil, siempre el uso del motor Diésel, será más económico, ya que en los mismos se dispone a la salida del cigueñal un 34 % de la energía utilizable del combustible, contra un 24 % de los motores OTTO. -Además se ha comprobado en la práctica, que para misma potencia los motores Diésel tienen una economía de combustible del 30 % con respecto al OTTO. - Las etapas de admisión, compresión, expansión y expulsión pueden realizarse en cuatro tiempos con dos vueltas del cigueñal ó en dos tiempos con una vuelta del cigueñal. -



**MOTOR DIESEL DE CUATRO TIEMPOS:**

**PRIMER TIEMPO:** El pistón se desplaza desde el p.m.s. al p.m.i. Al iniciarse el desplazamiento del pistón se produce la apertura de la válvula de admisión, colocada normalmente en la cabeza del cilindro, y comienza la aspiración del aire puro a través de un colector, en cuya entrada se debe colocar un filtro. El aire aspirado debe ser el máximo posible, para asegurar el llenado del cilindro. El cigueñal gira media vuelta. -



**SEGUNDO TIEMPO:** El pistón se desplaza desde el p.m.i. al p.m.s., con las válvulas de admisión y de escape cerradas, comprimiendo el aire que llena el cilindro, reduciendo su volumen de 12 a 22 veces, elevando su temperatura a 700 800°C., con una presión de 35 a 45 kg/cm<sup>2</sup>. El cigueñal gira otra media vuelta. -

**TERCER TIEMPO:** AL LLEGAR el pistón al p.m.s. se produce la inyección del combustible finamente pulverizado a través del inyector y dosado por la bomba de inyección. Si bien la temperatura del aire comprimido es suficiente para que el combustible se inflame (queme), ello recién ocurre cuando el mismo ha adquirido temperatura suficiente. Es decir siempre existe un retardo a la inflamación. Una vez que el combustible se ha calentado, y consecuentemente gasificado, se produce una inflamación, en toda su masa, ya que la velocidad de propagación de la llama es muy superior a la del ciclo OTTO. El combustible quema a medida que ingresa al cilindro, con un verdadero "golpe" autoexplosivo. ES este el motivo del golpeado que se percibe en los motores DIESEL principalmente en ralenti. Como el desplazamiento / DEL pistón es mecánico y existe un retardo a la inflamación, en este tercer tiempo o desplazamiento, primero se produce la combustión isobárica y luego la expansión adiabática-isoentrópica. El cigueñal gira media vuelta. -

**CUARTO TIEMPO:** El pistón pasa del p.m.i. al p.m.s. Al iniciar su desplazamiento se abre la válvula de escape, y se produce la expulsión de los gases. El cigueñal gira otra media vuelta, completándose de esta manera el segundo giro. -

El funcionamiento comparado de un motor OTTO y uno DIESEL será:

|                                             |                                    |
|---------------------------------------------|------------------------------------|
| MOTOR OTTO<br>(de explosión)                | MOTOR DIESEL<br>(de autoencendido) |
| aspiración de la mezcla<br>aire-combustible | aspiración de aire puro            |
| PRIMER TIEMPO (admisión)                    |                                    |
| SEGUNDO TIEMPO (compresión)                 |                                    |

de la mezcla en la relación  
6,5 a 8,5 veces

del aire en la relación  
12 a 22 veces.-

TERCER TIEMPO (expansión)

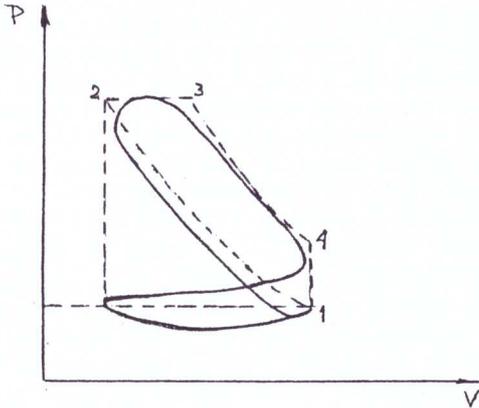
encendido por una chispa  
con combustión isocórica  
seguido de una expansión

autoencendido del combustible  
con combustión isobárica, se-  
guido de una expansión

CUARTO TIEMPO (expulsión)

Similar en ambos casos. -

CICLO REAL: Para el ciclo real obtenido por el diagrama del indicador, rigen consi-  
deraciones análogas al del ciclo OTTO.-



RENDIMIENTO DEL CICLO IDEAL: Para estable-  
cer su expresión se considera:

- que no existe variación de presión, ni en la aspiración ni en la expulsión.
- que la sustancia de trabajo es aire, que se comporta como un gas perfecto, lo cual no difiere mayormente de la realidad.
- que la aspiración no constituye un proceso termodinámico.-

Designaremos por:

relación de compresión volumétrica:

$$\lambda = \frac{V_1}{V_2} \quad (1)$$

relación de inyección:

$$\varphi = \frac{V_3}{V_2} \quad (2)$$

$Q_a$  = calor absorbido

$Q_c$  = calor cedido

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_c}{Q_a} \quad (3)$$

$$Q_a = c_p (T_3 - T_2) \quad (4)$$

$$Q_c = -c_v (T_1 - T_4) = c_v (T_4 - T_1) \quad (5)$$

$$2-3 \Rightarrow \frac{T_2}{T_3} = \frac{V_2}{V_3} \Rightarrow T_2 = T_3 \frac{V_2}{V_3} = \frac{T_3}{\lambda} \quad (6)$$

$$3-4 \Rightarrow T_3 V_3^{k-1} = T_4 V_4^{k-1} \Rightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = T_3 \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{k-1} \quad (7)$$

$$\frac{V_3}{V_1} = \frac{V_3}{V_2} \cdot \frac{V_2}{V_1} = \frac{\varphi}{\lambda} \quad (8) \Rightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{\varphi}{\lambda}\right)^{k-1} \quad (9)$$

$$1-2 \Rightarrow T_1 V_1^{k-1} = T_2 V_2^{k-1} \Rightarrow T_1 = T_2 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1} = \frac{T_2}{\lambda^{k-1}} \quad (10)$$

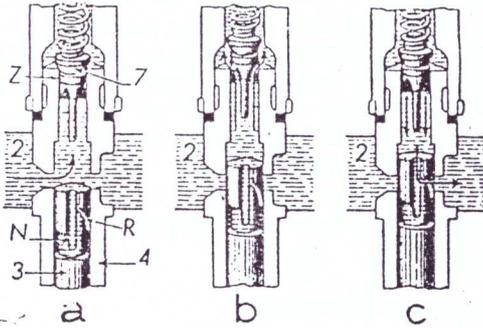
$$\eta_t = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{k} \left[ \frac{T_3 \frac{\varphi^{k-1}}{\lambda^{k-1}} - \frac{T_3}{\varphi \lambda^{k-1}}}{T_3 - \frac{T_3}{\lambda}} \right] = 1 - \frac{1}{k} \left[ \frac{T_3 \varphi^{k-1} \lambda - T_3}{\varphi \lambda^{k-1} (T_3 - \frac{T_3}{\lambda})} \right]$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{k} \frac{(\varphi^{k-1}) \lambda}{\varphi \lambda^{k-1} (\lambda - 1)} = 1 - \frac{1}{k} \frac{\varphi^{k-1}}{\lambda^{k-1} (\lambda - 1)}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{k} \frac{\varphi^{k-1}}{\lambda^{k-1} (\lambda - 1)}$$

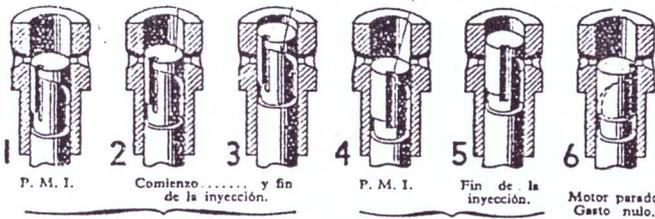
**INYECCION DE COMBUSTIBLE:** Mencionamos anteriormente que en un motor Diesel no se comprime mezcla combustible-aire, sino aire que por tal motivo aumenta su temperatura a un valor suficiente para provocar la inflamación del combustible al ser inyectado en la masa de aire caliente. Por tal motivo otra de las diferencias con respecto al motor OTTO, es que no posee carburador ni sistema de encendido. El carburador es sustituido por un "equipo de inyección" constituido por una bomba inyectora, que dosifica, dá presión y envía el combustible a los cilindros, a donde penetra a través de un pico pulverizador o inyector, colocndo en cada cilindro, que pulveriza o atomiza el combustible. Debemos considerar dos tipos de bombas: a) la lineal y b) la rotativa.-

a).-**Bomba inyectora lineal:** Consiste en un conjunto de pequeñas bombas a pistón, una por cada cilindro, denominado "elemento de bomba" que en términos generales está constituido por un émbolo (3) que se desplaza verticalmente dentro de un cuerpo cilíndrico (4) por acción de una leva, montado sobre un eje accionado por el cigüeñal a través de un sistema de engranajes. El cilindro posee lumbreras laterales que lo comunican con el colector de combustible (2). Cuando el pistón es levantado hacia arriba por acción de la leva, tapa las lumbreras empujando el combustible a presión a través de la válvula de resorte (7), y lo envía al inyector correspondiente. El pistón tiene tallado una ranura vertical (N) y luego una ranura lateral, en forma de rampa sesgada (R). Cuando el pistón pasa la saliente de la leva, baja por la acción de un resorte, y en determinado momento deja la rampa sesgada en comunicación con la lumbrera de la derecha, que deja escapar combustible



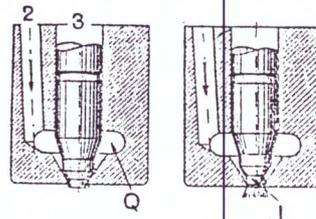
Funcionamiento de la bomba del inyector.

al colector, disminuyendo la presión, y de esta manera la inyección. Como la velocidad del pistón es constante, la inyección se regula por la rampa sesgada (R), regulando a voluntad el giro del pistón. En la figura que sigue, la figura (1) indica la posición del pistón en el p.m.i. Las posiciones (2) y (3) corresponden al principio y final de la inyección. La (4) y (5) el caudal a plena carga. En la posición (6), no se suministra combustible al estar la ranura vertical, en contacto con el colector. El inyector está constituido por un cuerpo cilíndrico, en cuyo interior se desplaza una val-

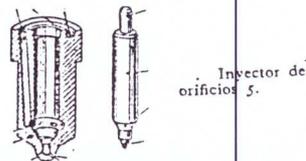


Cómo se gradúa la cantidad de gasoil a inyectar, por giro del pistón en la bomba.

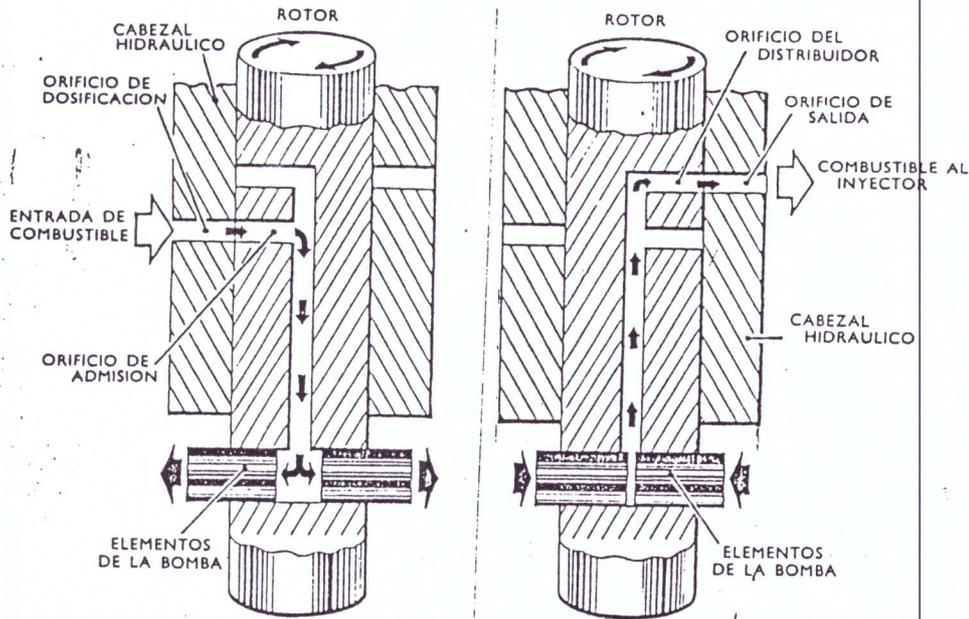
vula conica, denominada comunmente "aguja", que cierra un orificio situado en la parte inferior del cilindro. El vástago soporta la acción de un resorte. El gasoil enviado a presión por la bomba llega al extremo del inyector por un canal lateral (2) y por la fuerza de impulsión levanta la válvula cónica (3), que deja de obstruir la salida del cilindro, pasando el combustible pulverizado al interior del cilindro del motor. Cuando disminuye la presión, actúa el resorte, y la aguja cierra el orificio de salida. Este tipo de inyector se denomina de "tetón". Otro es el denominado de orificio, en que la salida del combustible se produce por más de un orificio, situado en el extremo del inyector.-



Funcionamiento en la punta del inyector (con acción L).



b).-Bomba inyectora rotativa: En este tipo de bomba, el bombeo del combustible a los cilindros, se realiza a través de un único elemento denominado Distribuidor que gira en el interior de una pieza estacionaria o cabezal hidráulico. Tanto

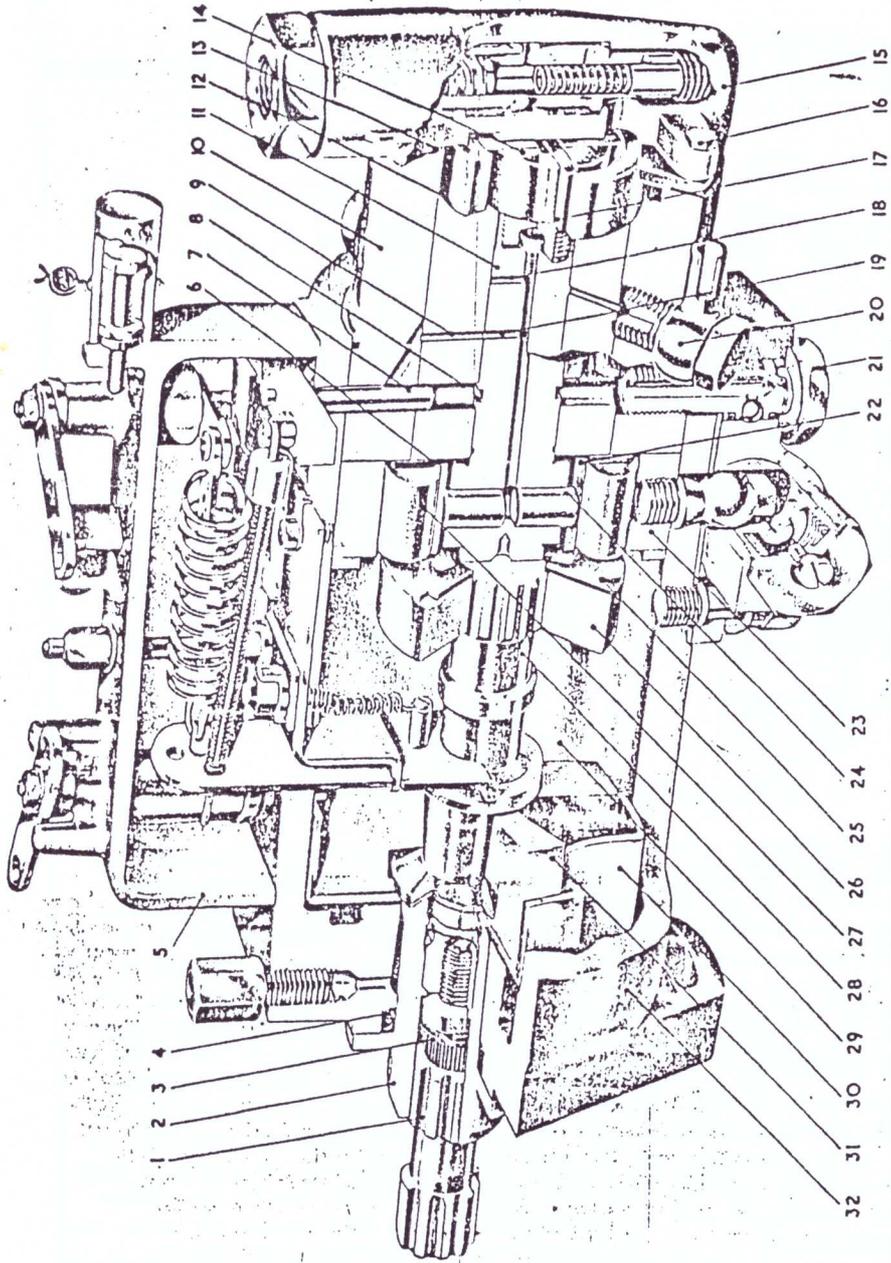


*Flujo del combustible a través de la bomba inyectora*

el distribuidor como el cabezal hidráulico tienen tantos orificios de entrada y salida como cilindros tiene el motor. El distribuidor tiene dos émbolos gemelos dispuestos transversalmente y que se desplazan en forma opuesta, y denominados elementos de la bomba. Los mismos son accionados por lóbulos (salientes) en un aro de levas interno estacionario. El combustible se dosifica con precisión al enviarlo al elemento de bombeo, y las cargas de alta presión se distribuyen a los cilindros del motor con los intervalos de sincronización necesarios a través de los orificios en el rotor y en el cabezal hidráulico. El regulador de la bomba es de tipo mecánico con contrapeso o de tipo hidráulico, y da un control riguroso de la velocidad del motor bajo todas las condiciones de carga. La mayoría de las bombas tienen un dispositivo automático que hace variar el punto de comienzo de la inyección. Un solo elemento de bombeo asegura una alimentación uniforme a cada cilindro, y hace innecesario calibrar los suministros de cada uno de los tubos de suministro de alta presión, lo que es imprescindible de realizarse en todas las bombas con elementos múltiples. -El aro de levas interno estacionario, montado en la carcasa de la bomba, normalmente tiene tanto lóbulos como cilindros tiene el motor y acciona los elementos de bomba a través de rodillos. -Los elementos se mueven hacia adentro cuando los rodillos se ponen en contacto con los lóbulos de la leva diametralmente opuestos y vuelven como consecuencia de la presión del combustible que entra. El principio de funcionamiento de la bomba es el siguiente:

El combustible proveniente del depósito pasa a una bomba de aletas deslizante, de nominada de traspiego, acoplada al mismo eje del distribuidor. La bomba de traspiego aumenta la presión del combustible y la envía a la válvula dosificadora, accionada por la palanca de control del motor o por el regulador. Dicha válvula regula la cantidad de combustible que va al distribuidor. La presión del combustible que entra al distribuidor mueven los elementos de la bomba hacia afuera. Cuando el rotor gira cierra el orificio de admisión del cabezal hidráulico y comunica con el orificio de impulsión; al mismo tiempo los elementos son empujados hacia adentro por acción de los rodillos en contacto con los lóbulos del aro de leva, enviando el combustible al inyector respectivo. -El recorrido hacia afuera de los elementos de la bomba, está determinado por la cantidad de combustible suministrado, que varía de acuerdo con el reglaje de la válvula dosificadora. La máxima cantidad de combustible puede regularse por lo tanto, controlando el recorrido hacia afuera de los elementos de la bomba. -

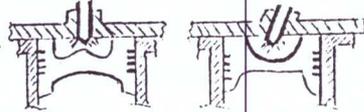
74



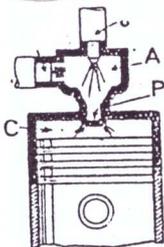
- 1.-Eje de vaina
- 2.-Buje de transmisión
- 3.-Arandela de resorte
- 4.-Retén
- 5.-Carcasa hermética
- 6.-Placa de ajuste superior
- 7.-VALVULA DOSIFICADORA
- 8.-Cámara de la válvula dosificadora
- 9.-ORIFICIO DE DOSIFICACION
- 10.-CABEZAL HIDRAULICO
- 11.-ROTOR DE BOMBEO Y DISTRIBUCION
- 12.-Excentrica bomba de trasiego
- 13.-Reten
- 14.-BOMBA DE TRASIEGO
- 15.-Placa de extremo
- 16.-Tuerca de fijación
- 17.-ALETAS DE LA BOMBA DE TRASIEGO
- 18.-ORIFICIO DE DISTRIBUCION
- 19.-ORIFICIOS RADIALES
- 20.-Conexion externa
- 21.-Tuerca de fijación del cabezal
- 22.-Zapatitas de accionamiento
- 23.-ARO DE LEVAS INTERIOR
- 24.-ELEMENTOS DE LA BOMBA
- 25.-Placa de ajuste inferior
- 26.-Placa de transmisión
- 27.-RODILLOS DE LEVA
- 28.-Eje de transmisión al motor
- 29.-Manguito de empuje
- 30.-Reten del contrapeso
- 31.-Contrapesos del regular
- 32.-Cuerpo de aluminio de la bomba

**SISTEMAS DE COMBUSTION Y FORMA DE LAS CULATAS:** En los motores Diesel la inflamación del combustible se produce cuando adquiere temperatura suficiente. Por lo tanto existe un retardo a la "inflamación". Una vez que se produce la misma, la velocidad de propagación de la llama es más rápida que en los motores OTTO. La solución al problema del "retardo" es provocar en la cámara de combustión una fuerte turbulencia del combustible que se inyecta para lograr un íntimo contacto con el aire comprimido caliente para aumentar la velocidad de calentamiento del combustible. Ello se logra con distintas maneras de inyectar el combustible y de la forma de la cabeza del pistón. A tal efecto se utilizan los siguientes métodos:

**-Inyección directa:** El inyector envía el combustible sobre la cabeza del pistón, siempre a mayor temperatura que las paredes del cilindro. La cabeza del cilindro tiene una cavidad que puede adquirir distintas formas (lisa, circular, toroidal, etc). Es el sistema más utilizado por su simplicidad. Tiene además las siguientes ventajas: menor consumo de combustible para relación de compresión mayor de 15 y arranque más fácil.



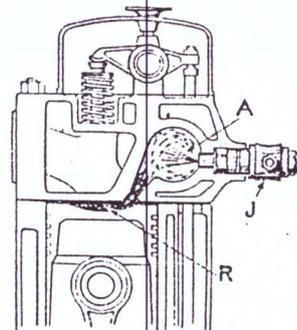
**-Precombustión o antecámara:** En la tapa del cilindro existe una cavidad, donde penetra parte del aire comprimido por el pistón. El inyector está colocado en esta antecámara. Al inyectar el combustible y ponerse en contacto con el aire comprimido caliente se enciende parcial y rápidamente; la expansión que se produce expulsa el resto de combustible sin inflamar, que termina de hacerlo en la cámara de combustión del cilindro. Comparando con la inyección directa, las paredes que rodean al aire es mucho mayor y se produce transferencia de calor al agua de refrigeración, que rodea a la cámara. Para compensar esta pérdida se coloca en la precámara una resistencia o bujía de precaldeo, que se enciende o conecta para el arranque y los primeros momentos de funcionamiento.



Antecámara de precombustión A.

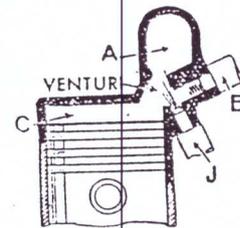
**-Combustión separada o cámara auxiliar:** Sobre la tapa del cilindro existe una cámara auxiliar donde pasa todo el aire comprimido. El cilindro se comunica con esta cámara a través de un conducto construido de tal manera que el aire entra a la misma, en forma de torbellino. Al inyectar el combustible, en esta masa de aire en turbulencia, se produce su inflamación, y los gases ardiendo pasa en forma violenta a la cámara del cilindro actuando sobre la cabeza del pistón.

**-Acumulador de aire:** Constituye también una cámara colocada sobre el cilindro. La comunicación entre cilindro y cámara se produce a través de un difusor. El aire comprimido se acumula en dicha cámara, donde se envía el chorro de combustible, que luego de inflamarse pasa al cilindro actuando sobre la cabeza del pistón.



Combustión separada en cámara auxiliar B.

**INDICE DE CETANO:** Normalmente suponemos que el gasoil, es un combustible de menor calidad que la nafta, y que por lo tanto su utilización no ofrece complicaciones. En la práctica ello no es tan así. En efecto ~~en~~ un motor Diesel es más sensible a la mala calidad del gasoil, que uno de explosión lo es a la nafta. El gasoil no sólo debe ser un producto refinado, sino que debe estar libre de impurezas físicas, que de existir afectan el funcionamiento del equipo de inyección. Se debe tener en cuenta que los elementos partes del mismo se construyen con mínimos valores de tolerancia, para poder inyectar a elevadas presiones unos pocos mililitros cúbicos de combustible, miles de veces por minuto. De allí la importancia de un filtrado eficiente del combustible a utilizar.

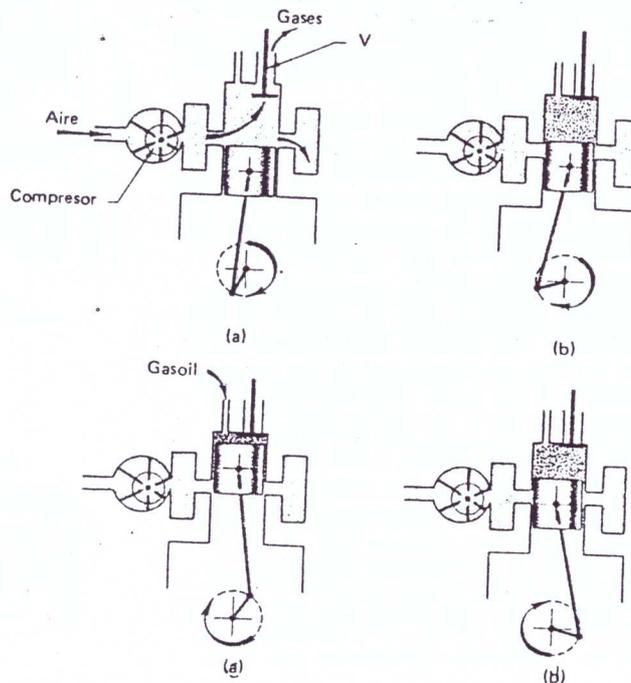


Acumulador de aire A en la culata.

75

Un motor OTTO, golpea, pica o pistonea cuando la compresión es elevada, a plena carga, a velocidades media o bajas, y con el motor caliente, si la nafta es de mala calidad. En un motor Diesel ocurre lo inverso, ya que necesita temperatura para la autoinflamación del combustible. También la composición del combustible influye en forma opuesta en el funcionamiento de ambos tipos de motores. Todo ello con consecuencia que en un motor OTTO se debe evitar el autoencendido del combustible, cuando en el Diesel se debe lograr lo contrario. Las consideraciones anteriores indican que el gasoil debe reunir determinados requisitos de calidad, más exigentes que la nafta, ya que a esta se la puede corregir para hacerla "antidetonante". Para el gasoil no existe ningún producto pro-detonante que se le pueda agregar, para corregir su calidad. Las propiedades detonantes para el gasoil se mide por el INDICE DE CETANO, que indica el comportamiento del combustible en ensayo en comparación con la de un combustible tipo constituido por una mezcla de Cetano y metil nftaleno. Al cetano se le asigna una calidad de ignición de 100. El ensayo se realiza en un motor de un cilindro que se denomina unidad C.F.R. probadora de combustible Diesel. El motor posee una cámara de pre combustión de tamaño regulable micrométricamente. De esta manera se puede variar la relación de compresión volumétrica entre 14 a 1. En el volante, el motor, posee dos luces de neón. Una se enciende / cuando se está inyectando el combustible, y se utiliza para determinar el tiempo de inyección. La otra cuando el combustible "detona". La comparación se realiza con dos combustibles de número de cetano conocido de calidad de ignición mayor y menor que la probable del combustible en ensayo. Con el motor en funcionamiento se va ajustando micrométricamente la cámara de precombustión hasta que el motor haga explosión en el p.m.s., que se determina por el encendido de la luz de neón. Esto indica un atraso a la ignición de 13 grados del cigueñal del motor. Lo que indica el micrómetro en ese momento se relaciona con la calidad del combustible y sirve de base para la comparación con el combustible en ensayo. Los números de cetano superior a 50 son apropiados para combustibles utilizados en motores Diesel de alta velocidad. Con esta calidad, el combustible se inflama prácticamente en forma instantánea. Los motores diesel de baja velocidad o mediana, de utilización en unidades estacionarias y para servicio de barcos, pueden funcionar satisfactoriamente con combustible de índice de cetano de hasta 45.-

**MOTORES DIESEL DE DOS TIEMPOS:** En este tipo de motores, el ciclo de funcionamiento se cumple en una vuelta del cigueñal. La dificultad de los motores Diesel de dos tiempos es lograr una admisión conveniente de aire fresco y un barrido eficiente



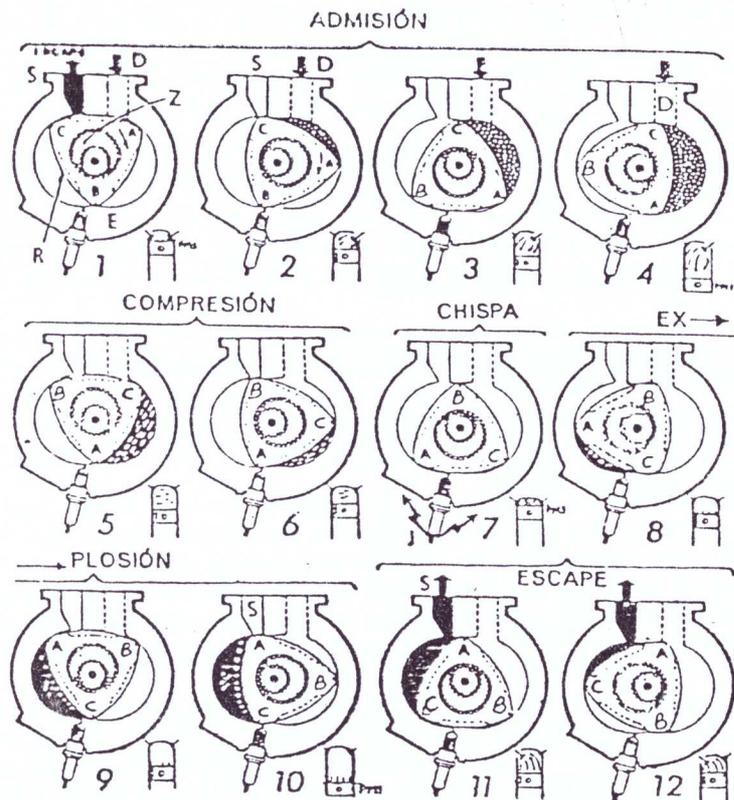
...-Esquema de un motor Diesel monocilíndrico de 2 tiempos: a) aspiración; b) compresión; c) inyección-combustión-expansión; d) escape.

de los gases de escape. El motor diesel de dos tiempos se diferencia del motor OTTO de dos tiempos, en que tiene válvulas de escape (generalmente dos por cada cilindro) y un compresor de desplazamiento positivo para forzar la admisión de aire. Cuando el pistón está en el p.m.i., deja abierta la lumbrera de admisión y la válvula de escape (fig a). El aire a presión que penetra por la lumbrera, lo hacen en forma de torbellino, empujando los gases quemados que salen por la válvula de escape. Al desplazarse el pistón hacia el p.m.s., se cierra la válvula de escape y la lumbrera de admisión y comienza la etapa de compresión (fig b). Cuando el pistón llega al p.m.s. se inyecta el combustible (fig c), que al inflamarse explota actuando sobre la cabeza del pistón, entregando un cierto trabajo a través del cigueñal (etapa de inyección-combustión-expansión). Cuando el pistón llega al p.m.i. se abre la válvula de escape y la lumbrera de admisión (fig d), y se produce la etapa de escape-admisión.-

Si bien teóricamente un motor de dos tiempos da un 100 % más de trabajo por revolución que uno de cuatro tiempos, prácticamente esta ganancia queda reducida a un 70-80%, debido a la ineficiencia del barrido de los gases quemados y de la reposición de aire nuevo. Esta dificultad aumenta a medida que aumenta las revoluciones del motor, por lo cual los motores diesel de gran potencia solo se construyen de dos tiempos cuando son motores lentos.-

**SOBREALIMENTACIÓN:** Se denomina de esta manera a la alimentación de carga nueva o fresca al cilindro del motor a una presión superior a la atmosférica. A tal efecto se utiliza un compresor, que incrementa la presión de entrada y con ello la masa de mezcla o aire, según se trate de un motor OTTO o DIESEL. La sobrealimentación es el medio más eficiente de aumentar la potencia de un motor sin aumentar sus dimensiones. En la actualidad la sobrealimentación se utiliza principalmente en los motores diesel.

**MOTORES ROTATIVOS:** Fue siempre aspiración de los investigadores construir motores que no tuvieran piezas en movimiento rectilíneo alternativo, que fue solucionado en los motores hidráulicos y en los de vapor (turbina), y parcialmente en los motores de combustión interna, con la turbina de gas, que resolvió problemas de la industria aeronáutica, pero no en el campo de los automóviles. -Hasta el año 1959, fracasaron todos los intentos de fabricación de motores rotativos. En esa fecha la fábrica alemana N.S.U., fabricante de motocicletas y pequeños automóviles, anunció la existencia de un motor rotativo experimental ideado por un Ingeniero de apellido WANKEL, y que los resultados obtenidos indicaban una aplicación práctica inmediata. Sin embargo las expectativas fueron superiores a la realidad, ya que si bien las dificultades a superar no eran muchas, tenían gran importancia, sobre todo en el problema de estanqueidad. -En términos generales el motor Wankel consiste en un cuerpo fijo o estator, con una cavidad interior que actúa como cilindro, y dentro de la cual gira un rotor de forma triangular, en forma excéntrica. Es decir a la vez que gira, se traslada sobre la superficie interior de la carcasa, estando siempre las tres puntas en contacto con la misma. El estator tiene un orificio de admisión y otro de escape y una bujía (ver página siguiente). La forma del rotor crea lugar a tres espacios o lóbulos, que aumentan y disminuyen de volumen dos veces por vuelta, lo que permite realizar un ciclo de cuatro tiempos. Considerando una de las caras del rotor (por ejemplo la CA), supondremos que la misma cierra el orificio de escape (S) y comienza a abrir el de admisión (D). Al girar el rotor va aumentando el tamaño del lóbulo, continuando la admisión (1 a 4), que termina cuando la cara considerada cierra el orificio de entrada. Cuando ello ocurre comienza la compresión (5 y 6) que termina cuando la cara adquiere posición horizontal (7), salta la chispa y se produce la inflamación. Comienza la expansión (8) de los gases, a la vez que por el giro del rotor aumenta el tamaño de la cavidad o lóbulo (9 y 10), hasta un momento que abre el orificio de salida para expulsión de los gases (11 y 12), y así sucesivamente. El rotor presenta vaciados en sus caras, para que la compresión no sea excesiva. Ello tiene el inconveniente, que se produzca comunicación entre el escape y la admisión. Entre los inconvenientes, podemos mencionar que el motor tiende a ser ruidoso por el empuje de los engranajes, que dan excentricidad al motor. Silenciar el escape es también más difícil que en el motor de cuatro tiempos. Tiene como ventaja que puede funcionar con nafta de bajo octanaje; que ocupa menos espacio y es más liviano que uno equivalente de cuatro tiempos.-



Los cuatro tiempos del ciclo en un lóbulo del Wankel (una vuelta del rotor R; tres del eje central y su excéntrica Z).

**ENSAYOS DE MOTORES:** El rendimiento, o como comunmente se denomina, "performance" de un motor de combustión interna, se determina por ensayos, que se pueden agrupar de la siguiente manera:

- **Ensayos de adaptación:** Son los efectuados normalmente por el fabricante, lo que no excluye, que también los realice el usuarios, si posee los elementos necesarios. Tienen por finalidad determinar si el motor responde a las características establecidas para su fabricación, a fin de realizar los ajustes necesarios antes de su puesta en servicio. Puede ser para motores nuevos o reparados.-
- **Ensayos comparativos:** Son los que se realizan sobre motores modelos mejorados por cambio de diseño, o de motores nuevos con motores en producción. Permiten orientar los estudios y modo de fabricación.-
- **Ensayos de investigación:** Son los efectuados con la finalidad de estudiar determinados aspectos de funcionamiento de un motor lo más minuciosa y exacta posible, tendientes a un fin determinado.-

El conjunto de aparatos e instrumentos utilizado a tal efecto, constituye lo que se denomina un BANCO DE PRUEBAS.-

Cualquiera sea el tipo de ensayo a realizar, y a fin de obtener resultados seguros y útiles se debe:

- Programar las tareas a realizar y el orden de las mismas; los aparatos y/o instrumentos a utilizar.-
- Verificar el funcionamiento de los aparatos y/o instrumentos a utilizar y del motor a ensayar a fin de evitar interrupciones innecesarias durante el ensayo
- Preparar las Normas en base a las cuales se efectuaran los ensayos; los gráficos, tablas y planillas para registrar los datos obtenidos en el ensayo; el personal idóneo y suficiente, teniendo en cuenta que normalmente se debe registrar más de un dato al mismo tiempo.-
- Registrar los datos y características del motor a ensayar y el de los instrumentos y/o aparatos a usar.-

Los datos relevados durante el ensayo deben ser lo más exacto y claros posibles, que permitan su estudio posterior y consecuentemente establecer conclusiones.-

Normalmente las lecturas y mediciones que se realizan en un ensayo de funcionamiento de un motor están destinadas a establecer:

- Potencia del motor: Para lo cual se mide el par o cupla motriz, utilizando "Frenos Dinamométricos (a fricción sólida; aerodinámicos; fricción fluida ó hidráulicos, eléctricos), y la velocidad de rotación con un taquímetro.-
- Consumo del motor: Midiendo caudales de combustible, lubricante y algunas veces de aire que circula o consume el motor. Se emplea para ello flujómetros; toberas y orificios calibrados; métodos de pesada, etc.-
- Condiciones atmosféricas: La registración de las condiciones atmosféricas durante el ensayo tiene por finalidad, establecer correcciones de las mediciones efectuadas de acuerdo a lo establecido por las Normas.-

oooooooooooooooooooooooo

BIBLIOGRAFIA Para el estudio de la asignatura se consultará la siguiente bibliografía:

- Termodinámica Técnica y Maquinas Térmicas de Claudio MATAIX
- Química Industrial de Carlos LACORTE
- Termotecnia de Luis del Arco VICENTE
- Teoría de los Motores (Publicación Fuerza Aérea Argentina)
- Centrales Nucleares -Publicación Comisión Nacional de Energía Atómica
- Calderas de vapor de Marcelo MESNY
- Manual del Ingeniero Químico de PERRY
- Manual del constructor de Máquinas de DUBBEL
- Enciclopedia Práctica de Mecánica de QUILLET
- Turbomáquinas Térmica de Claudio MATAIX
- Manual de Automóviles de Manuel ARIAS-PAZ

(77)