

## UNIDAD N° 1

### Constitución y funcionamiento de los motores diesel.

#### Introducción:

En el ya lejano año 1892, la oficina de patentes de Berlín, estampaba el número 67.207, sobre una memoria para patente, que había presentado el ingeniero alemán RODOLFO DIESEL, donde a lo largo del escrito dice textualmente: “ **el émbolo comprime aire puro en un cilindro, de modo que la temperatura resultante de la compresión es mucho mayor que la temperatura de inflamación del combustible que se va emplear. Después de la compresión y a partir del punto muerto superior, se efectúa la introducción gradual de combustible finamente pulverizado, etc.** “ Teniendo en cuenta que Diesel estaba trabajando con un motor del tipo Otto, es decir, del clásico cuatro tiempos, con el funcionamiento de las cuatro carreras que son también típicas en los motores de cuatro tiempos de explosión, tenemos en esta breve descripción la base de la gran diferencia que existe entre el motor a gasolina y el motor diesel.

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

Así es que, la principal características por la cual motivó su creación y desarrollo, fue la búsqueda de un mayor rendimiento al del motor a explosión, empleando para ello un combustible más pesado, más económico y una relación de volumétrica de compresión mucho más elevada (de 15:1 a 25:1 para estos motores, contra 8:1 a 10:1 para los motores de explosión). Estas altas compresiones se logran, por el hecho de aspirar y comprimir únicamente aire, en lugar de mezcla, lográndose al final de estas fases que la presión del aire sea de 30 a 50 bares y una temperatura del mismo superior a los 600 °C. Debido a estas condiciones y del tipo de combustible empleado, este se enciende espontáneamente cuando es introducido en el interior del cilindro.

#### El motor diesel de cuatro tiempos:

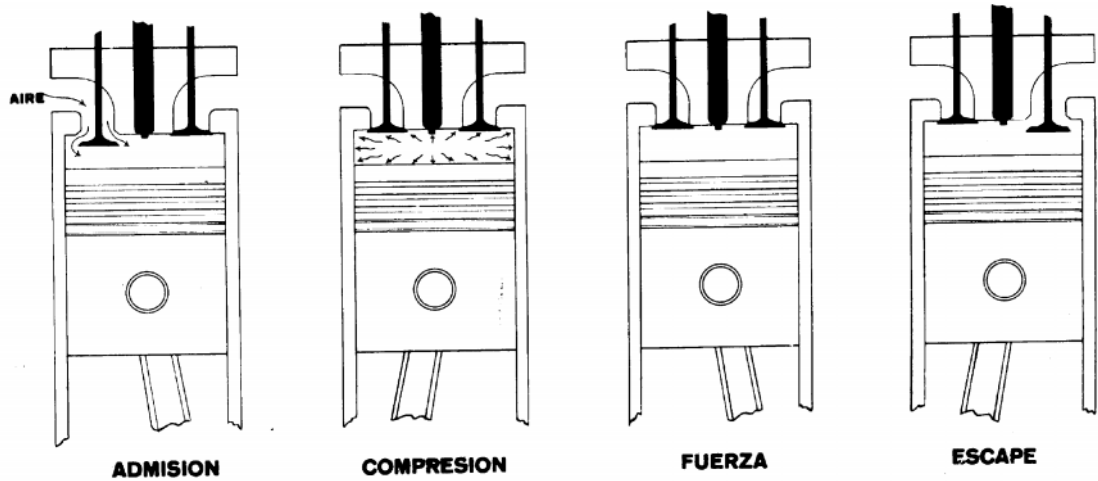
En muchos aspectos, el funcionamiento de un motor diesel de cuatro tiempos es muy similar al de un motor naftero de cuatro tiempos. Como se sabe, la diferencia principal, estriba en el hecho de que el motor diesel carece de sistema de encendido.

Consideremos lo que sucede durante cada carrera de este tipo de motor, que requieren de dos revoluciones completas del cigüeñal para completar los cuatro tiempos:

**1° Tiempo. Admisión:** La válvula de admisión se abre durante la carrera de admisión, al moverse el pistón desde el PMS al PMI, produciéndose la entrada de aire directamente de la atmósfera sin intermedio de sistema de alimentación alguno, por lo que el cilindro se llena exclusivamente de aire. La válvula de admisión se cierra cerca del final de esta carrera.

**2° Tiempo. Compresión:** El émbolo se mueve luego hacia arriba, comprimiendo el aire que en el tiempo anterior había sido admitido dentro del cilindro, y es ahora sometido a una fuerte reducción

volumétrica, que alcanza unas 20 veces menos de su volumen original, consiguiéndose con este efecto que el mismo alcance una temperatura de 600°C o más.



**3° Tiempo. Combustión:** Cerca del final del tiempo de compresión, el aire se encuentra a una presión de 40 a 50 bares y se inyecta en la cámara de combustión una cantidad muy determinada y precisa de combustible pulverizado a una presión que puede variar según el diseño del motor, entre 100 bares a 250 bares. Esta inyección dura a plena carga, de 20 a 35 grados del giro del cigüeñal. De esta forma el combustible se enciende casi espontáneamente debido a las condiciones que operan dentro del cilindro (alta temperatura, elevada presión). La combustión aumenta y la expansión de los gases obliga al émbolo a moverse hacia abajo, debido a que estos ahora han adquirido entre 60 a 90 bares de presión, constituyendo de esta forma la carrera de fuerza o trabajo.

**4° Tiempo. Escape:** Al final de la carrera de combustión y cerca del PMI, los gases ya no surten ningún efecto sobre el pistón, y se procede a abrir la válvula de escape, saliendo por efecto de su misma presión primero y luego obligado por el propio pistón al ascender, los gases residuales de la combustión son evacuados del cilindro hacia el exterior, quedando este preparado para recibir una nueva carga de aire fresco.

El motor diesel puede construirse de modo que funcione por el ciclo de cuatro tiempos o por el ciclo de dos tiempos, similares a los de explosión.

Lo que sucede es que los motores diesel que funcionen bajo el ciclo de dos tiempos, son motores extraordinariamente grandes, propios para la propulsión de grandes motonaves, mediante los cuales se obtienen potencias que han llegado a superar los 50.000 CV, pero con unas velocidades de giro entre las 100 y las 250 r.p.m. Lo curioso de todo esto, es que para el ciclo de dos tiempos en motores a explosión, estos son de baja cilindradas.

Así pues, el ciclo de dos tiempos parece designado a utilizarse para los más grandes y los más pequeños motores, pero no para los de la zona intermedia.

De cualquier manera, analizaremos el funcionamiento teórico de estos motores, que presentan unas características muy interesantes.

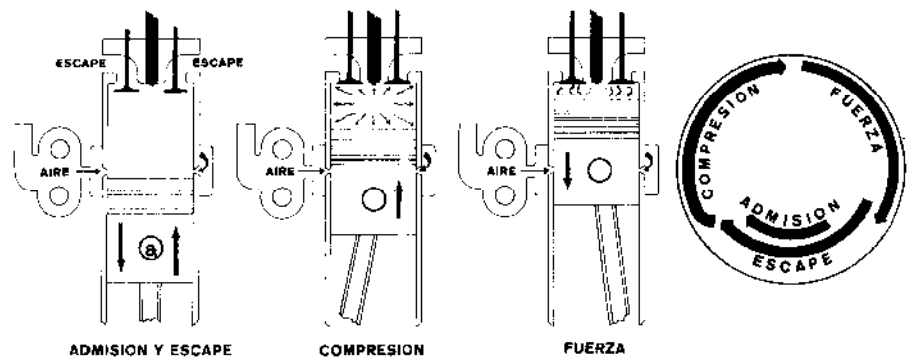
**El motor diesel de dos tiempos:** En el motor diesel de dos tiempos, la combustión se realiza una vez por cada revolución completa del cigüeñal. Hay solo dos carreras; la de compresión y la de

fuerza. Durante estas carreras se realizan simultáneamente las funciones de admisión y escape. El aire de admisión entra a los cilindros por lumbreras ubicadas en la pared de los mismos. Estas lumbreras son cerradas por el pistón, excepto cuando éste se acerca al final inferior de su carrera descendente. Según el diseño del motor, los gases de escape pueden salir por válvulas de escape posicionadas en la cabeza del cilindro o bien por lumbreras de escape mecanizadas en el mismo cilindro (el primer sistema es el más utilizado). Para el funcionamiento de este motor, se requiere de una bomba de barrido para forzar aire fresco hacia el interior de los cilindros.

El ciclo de operación es el siguiente:

Al iniciar el émbolo su carrera ascendente desde el P.M.I, se encuentran las lumbreras de admisión descubiertas como así también la/s válvulas de escape. La bomba de barrido hace entrar aire por las lumbreras, y el aire fresco expulsa los gases de escape producidos en el ciclo anterior, haciéndolos salir por la/s válvulas. En su carrera ascendente, las primeras en cerrarse son las válvulas de escape, y

luego, después de un  $\frac{1}{4}$  de giro, las lumbreras de admisión son cubiertas por el pistón. Al ocurrir esto, no quedan gases de escape en el interior, y el cilindro queda con aire puro. Durante el resto de la carrera, el pistón comprime fuertemente



el aire, al cual luego se le inyecta una cantidad de combustible dosificado un momento antes del P.M.S, produciéndose la combustión de igual forma, como en el caso de los motores diesel de cuatro tiempos. La expansión de los gases de combustión, obliga al pistón a bajar para efectuar la carrera de fuerza. Durante la parte inferior de esta carrera, las válvulas de escape se abren y los gases producidos por la combustión comienzan a escapar. A medida que el émbolo continúa moviéndose hacia abajo, se descubren las lumbreras de admisión y de nuevo se vuelve a forzar aire fresco dentro del cilindro. Cuando el pistón alcanza su P.M.I, se completa el ciclo, todo con tan solo una revolución del cigüeñal.

Como se podrá observar, este motor presenta también una similitud con el de explosión en cuanto al funcionamiento y orden de sus tiempos. Las diferencias más sustanciales que pueden observarse incluyen, una relación de compresión mas elevada, la inyección de combustible y el encendido automático del mismo por auto-ignición.

**Clasificación de los motores diesel:** Estos motores se clasifican según: su aplicación y régimen de funcionamiento, según su ciclo de funcionamiento y según el método de combustión o inyección empleado.

Según, el primer caso se subdividen en:

**Motores rápidos o ligeros:** con un régimen de funcionamiento de 2500 a 5000 r.p.m. Se emplean en vehículos de tracción, tienen cilindradas medias y emplean como combustible el gas-oil.

**Motores medios:** con un régimen de funcionamiento de 1000 a 2500 r.p.m. Se emplean en servicios de transporte pesado, navegación y ferrocarriles. Tienen cilindradas medias y altas y emplean como combustible el gas-oil y gasóleos medios (fuel-oil).

Motores lentos: con régimen de 200 a 1000 r.p.m. Se emplean como motores estacionarios en centrales eléctricas y utilizan como combustible los gasóleos medios y pesados (diesel-oil y fuel-oil).

Según, la segunda clasificación, estos motores se subdividen en.

- Motores de cuatro tiempos.
- Motores de dos tiempos.
- Motores semi- diesel o de culata incandescente.

Según el método de combustión o inyección empleado, estos se dividen en dos grandes grupos o sistemas, aunque existe una gran cantidad de variantes:

- a) Motores de inyección indirecta (a su vez estos, se pueden subdividir en: motores con **precámara** y motores con **cámara de turbulencia**), además existen otros, de menor importancia y de poca aplicación.
- b) Motores de inyección directa.

Características constructivas de los motores diesel: Las características de estos motores son análogas a los de explosión, pero debido a las grandes presiones con que trabajan, requieren una construcción más robusta en sus órganos móviles y un mayor dimensionado de sus cilindros, lo que lo hacen aptos para trabajos duros.

Debido a las mayores temperaturas y presiones que tienen que soportar, estos motores necesitan una refrigeración muy eficaz y una mayor calidad en los aceites lubricantes.

Con las duras condiciones de trabajo a que se los somete, estos motores han de estar diseñados con elementos muy robustos y deben tener un bajo régimen de giro con un par máximo elevado, el cual se obtiene en las proximidades de la máxima potencia. Esto hacen que pierdan las propiedades de elasticidad y fácil aceleración, cualidades que, en definitiva no necesitan y, por el contrario, disponen de amplia capacidad para trabajar muchas horas seguidas a plena carga, con el máximo rendimiento y el menor consumo.

Cabe señalar, que estas características, no pertenecen o se dan en menor medida, en los motores diesel ligeros, destinados a vehículos de turismo, donde no existen grandes diferencias de estos con los de explosión en cuanto a régimen de giro y aceleración.

Campo de aplicación de los motores diesel: Su mayor aplicación se da en vehículos de transporte, (aunque cada vez se lo aplica mas en vehículos de turismo), ya que su mayor potencia y alto rendimiento, con un consumo específico bajo, compensa el mayor costo del motor. Al ser utilizado durante muchas horas de servicio, el costo de adquisición del motor queda pronto amortizado debido, en gran medida, al empleo de combustibles de menor precio.

Otra de las principales aplicaciones de estos motores, teniendo en cuenta sus características de funcionamiento, es en maquinarias agrícolas en general, maquinarias viales, navegación, ferrocarril, etc., donde debido a su bajo régimen de funcionamiento, se aprovecha al máximo la potencia del motor. En estas circunstancias, el motor trabaja generalmente a plena carga, que corresponde cerca del par máximo, que es precisamente cuando se obtiene la mayor economía con el mayor rendimiento.

Comparación entre el motor diesel y el de explosión: La comparación del motor diesel con los de explosión, puede hacerse de diversos ángulos: de lo técnico, de sus virtudes, de sus inconvenientes, etc. Examinemos algunos de estos factores, que determinan algunas características y cualidades particulares.

**Ventajas:**

- Menor consumo de combustible (aproximadamente un 30% menos).
- Mayor rendimiento térmico, lo que se transforma en mayor potencia útil (alrededor del 35% más).
- Empleo de combustibles más económicos (aproximadamente el 50% menor que la nafta).
- Menor emisión de elementos contaminantes hacia la atmósfera (0,2% contra 6,5% en los motores a explosión).
- Prácticamente no tienen riesgos de incendio.
- En términos generales, tienen menos averías y un menor costo de mantenimiento por kilómetro recorrido.
- Al ser constructivamente más robusto y algo más lento, poseen una vida útil más larga.
- Resultan más rentables, cuando el número de kilómetro recorridos es mayor.
- Poseen más fuerza a bajas r.p.m. (par motor más elevado que los nafteros), condición que los hace aptos para trabajos pesados durante mucho tiempo.

**Inconvenientes:**

- Por su construcción y mayor peso, necesitan bastidores y suspensiones más fuertes y de mayor capacidad.
- Debido al tipo de construcción del motor y del sistema de inyección, resultan más costosos a la hora de la adquisición.
- Por lo general, poseen un menor número de revoluciones y aceleración, principalmente en pruebas conocidas como de reprise o recuperación.
- Estos motores, generalmente presentan mayor ruidosidad y vibraciones.
- Algunas reparaciones resultan más costosas, debido a la alta tecnología y a la especialización que requieren.
- En zonas muy frías, presentan por lo general, mayor dificultad en el arranque.
- Requieren de una mayor calidad en los aceites lubricantes, que implica un costo más elevado del mismo.

**ALGUNOS PRINCIPIOS FUNDAMENTALES**

**COMPRESIÓN VOLUMÉTRICA:** Al comienzo del tiempo de compresión, el volumen ocupado por el aire es igual al volumen total del cilindro, es decir, a la cilindrada más el volumen de la cámara de combustión, o sea que, si llamamos con “**V**” a la cilindrada y “**v**” al volumen ocupado por la cámara de compresión, tenemos que el aire abarca un volumen total de: **V + v**

Al final del tiempo de compresión, el volumen ocupado por el aire es igual al volumen de la cámara de combustión, o sea que es igual a “**v**”.

Si denominamos con “**P**” a la presión del aire al comienzo de la compresión (**P** = presión atmosférica), y “**p**” a la presión del aire al final de la compresión, tendremos, de acuerdo a la ley de \*BOYLE y MARIOTTE la siguiente expresión:

$$p = \frac{V+v}{v} P$$

***\*(El volumen de una masa de gas, es a la misma temperatura, inversamente proporcional a su presión)***. Esta ley quiere decir que si la presión se hace dos, tres, cuatro, etc., veces mayor, el volumen se vuelve dos, tres, cuatro, etc. veces más pequeño y recíprocamente.

Este índice no indica la presión **real** o **efectiva** alcanzada al final de la compresión, porque esta depende de otros factores, ya que hemos supuesto que la temperatura del aire quedara absolutamente constante durante todo el tiempo de compresión, hecho que no sucede.

Por consiguiente, la compresión **real** o **efectiva**, será siempre mayor que la **volumétrica**.

Salvo en casos especiales, este índice pasa de 10 en los motores de explosión, y en los del tipo diesel varía de 15 a 28. Es evidente que cuanto mayor es el índice de compresión, proporcionalmente menor será el volumen de la cámara de combustión.

En la **compresión volumétrica**, la unidad utilizada es cualquiera de las utilizadas comúnmente, porque de eso se trata, comparar volúmenes entre el del cilindro y el de la cámara de combustión, y en tal caso, no influye para su cálculo. Para determinar el volumen del cilindro, se recurre a la clásica fórmula de cilindrada, y para el cálculo de la cámara de combustión se recurre a la medición por comparación partiendo de un volumen conocido (cubicaje).

Para la **compresión real o efectiva**, se utilizan manómetros para tal fin, como los que se utilizan en los motores a explosión, pero de mayor capacidad, ya que las presiones con que estos motores trabajan son más altas. Estos manómetros, pueden estar graduados con distintas unidades tales como: BAR, Atm (atmósfera), Psi (libra/ pulgada ). Las equivalencias entre ellas son:

- 1 Psi = 0,070 Kgf/ cm
- 1 Psi = 0,069 Bar
- 1 Psi = 0,068 Atm
- 1 Bar = 14,5 Psi ( lb/in )
- 1 Bar = 1,02 Kg/cm
- 1 Bar = 0,98 Atm
- 1 Atm = 14,696 Psi ( lb/in )
- 1 Atm = 1,033 Kg/cm
- 1 Atm = 1,029 Bar

Por último, podemos aclarar que no existe una relación directa y exacta entre la compresión volumétrica y la compresión real o efectiva, ya que esta última va a depender de varios factores como el diseño y tipo de cámara de combustión empleado, el sistema de refrigeración utilizado, etc.

**PAR MOTOR**

**Momento de una fuerza:** Un simple caso, es el de ajuste de una tuerca mediante la llave correspondiente. Pues, en este caso, la acción que se ejerce sobre la tuerca, está definida por una cupla, constituida por la **fuerza** que actúa sobre ella el operario que efectúa el trabajo con la llave, y la **longitud** de la misma, siendo mayor el esfuerzo realizado, cuanto más lo sea la fuerza por una parte, y cuanto mayor sea el brazo de palanca.

Cuando una fuerza (F), en lugar de actuar directamente sobre un determinado punto de aplicación (O), lo hace por intermedio de un brazo de palanca, se constituye lo que en

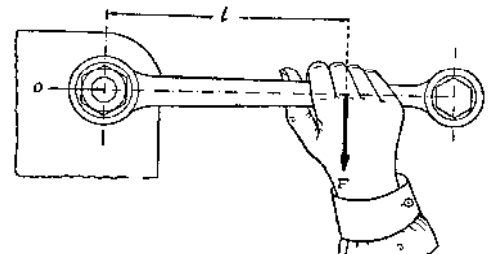


Fig. 3

mecánica se define como un **momento** o el **momento de una fuerza**.

Es evidente que una fuerza aplicada en esta forma hará girar el cuerpo sobre el cual se halla el punto (O). Si representamos con la letra (M) al momento que se constituyera, con la (F) a la fuerza en acción, y la (L) a la longitud del brazo de palanca, tendremos que: **M= F x L**

Siendo que la unidad de medida de las fuerzas en el sistema métrico decimal es el (Kg), y el de las longitudes con que valoramos el brazo de palanca es el metro (m), la unidad en que debe expresarse el momento es el Kilográmetro (Kgm). **1Kgm= 1Kg x 1m**

Si el operario que acciona la llave del ejemplo, ejerciera sobre ella una fuerza de 12Kg, y que la longitud que media entre el punto en que se efectúa dicha fuerza hasta el centro (O) fuera de 30 cm es decir (0,30 m), el momento en tal caso resultará de: **12 Kg x 0,30 m = 3,6 Kgm**

Si esa misma fuerza fuera ejercida sobre una palanca de dos metros (2m), el momento constituido sería de: **12Kg x 2m = 24Kgm**. Por lo tanto, el momento de una fuerza es tanto mayor cuanto más elevado es el valor de la misma y mayor la longitud del brazo de palanca con que actúa.

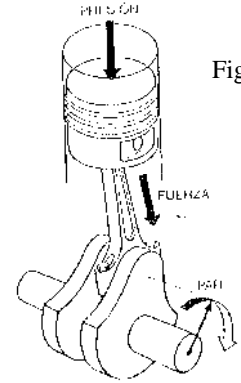


Fig 4

En el caso del motor (fig. 4), el cigüeñal gira por la acción del momento que se constituye sobre su centro por parte del émbolo y la biela.

En efecto, los gases en expansión durante el tiempo motriz, crean sobre la cara del émbolo una fuerza (F), la que transmitida por la biela se aplica sobre el muñón del cigüeñal. Esta fuerza opera sobre el centro (O) del cigüeñal con un brazo de palanca (R), que no es otra cosa que el radio de la circunferencia que describe el muñón al girar y que se llama **momento motor** o **momento motriz** y que se calcula fácil, si conocemos el valor de cada uno de los factores que intervienen en dicho cálculo.

La presión de los gases en acción en el interior del cilindro (f), se mide y expresa en (Kg/cm), de manera que si deseáramos saber cual es el total de presión (F), debemos multiplicar el valor unitario (f), por la superficie de éste, quedando expresada en (cm).

$$F = f \times s$$

La superficie (S) se hallará multiplicando su diámetro (D) elevado al cuadrado por el factor constante  $\pi$  (3,14) y dividiendo este producto por 4.

$$S = \frac{D^2 \times 3,14}{4}$$

La presión de los gases (f) de los gases en acción sobre la cara del pistón es como término medio de 8,150 Kg/cm para los motores de explosión y de 15,5 Kg/cm para los motores Diesel.

El brazo de palanca con que actúa la fuerza ( F ), es el radio de la circunferencia que constituye en su rotación los muñones del cigüeñal, y dicho diámetro es igual a la carrera o recorrido ( C ) de sus pistones, por lo que:

$$L = \frac{C}{2}$$

Obtenido el valor del término ( L ), con lo cual se conoce el de los dos factores que intervienen en el cálculo del momento del motor, no tenemos más que reemplazar los términos reunidos en la siguiente formula:

Calcular: el Par Motor, de un motor con las siguientes características:

- 
- 
- 

M=

M=

M=

Como la fuerza (F) que actúa sobre el volante, no se puede determinar exactamente por fórmulas matemáticas, se recurre a medirla directamente en el volante motor.

Si a la fuerza que actúa sobre el volante se le aplica otra fuerza igual y de sentido contrario, el par motor queda equilibrado por un par resistente que lo anula, y sobre el cual se puede medir la fuerza (F ' ) por medio de un Dinamómetro.

Esta medida del Par Motor se realiza por lo tanto en un banco de pruebas de motores (fig. 6). Para ello, se pone el motor en funcionamiento a un determinado régimen de funcionamiento y se le aplica un freno en el volante. La medida del par resistente aplicado para equilibrar el par motor, se obtiene directamente en la lectura del dinamómetro.

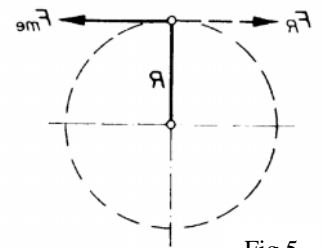


Fig.5

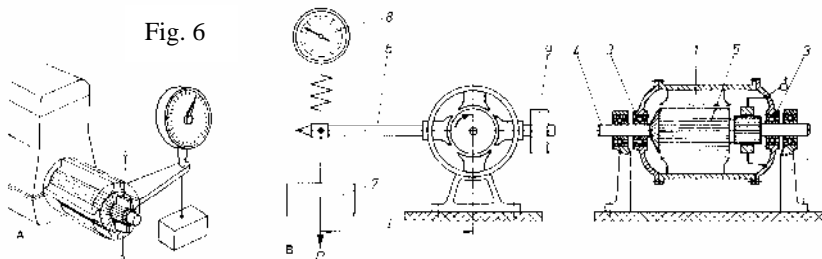


Fig. 6

Efectuando diferentes medidas a distintas R.P.M y llevándolas sobre un sistema de coordenadas, se obtiene la curva representativa del par motor en función del número de R.P.M.

Se puede también determinar, en base a ella, el Par máximo que el motor es capaz de desarrollar y el número de R.P.M al cual se obtiene.

### ESTRUCTURA DE LOS MOTORES DIESEL

Las partes que constituyen un motor de C.I Diesel se dividen en tres grupos bien definidos y que son los siguientes:

- a) Organos fijos principales.
- b) Organos móviles principales.
- c) Organos auxiliares.



a) **Organos fijos principales:** Se entiende por órganos fijos, a todos aquellos que componen la parte básica de un motor que hace las veces de sus paredes exteriores y que soporta por lo tanto el edificio del motor, sin participar de movimiento. En esta clasificación se encuentran incluidos los siguientes elementos:

- \_ Culata (tapa de cilindros)
- \_ Cámaras de combustión.
- \_ Bloque de cilindro.
- \_ Cárter.

**Culata:** Es una de las piezas en las que vamos a encontrar más cambios con respecto al motor a explosión. En primer lugar, dada por la alta relación volumétrica de estos motores, las cámaras de combustión adquieren formas muy diferenciadas, haciendo que las válvulas puedan colocarse paralelas y ser accionadas por un solo árbol de levas por medio de balancines, aunque, en algunos casos, también se utiliza la técnica del accionamiento directo (diesel ligero). En los motores Diesel, casi nunca es necesario acudir a la técnica de utilizar dos árboles de levas en la culata, ya que las válvulas paralelas dan mejor resultado.

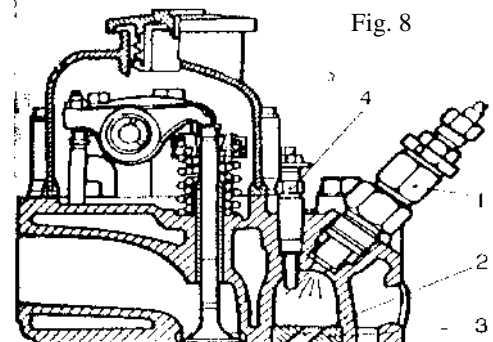
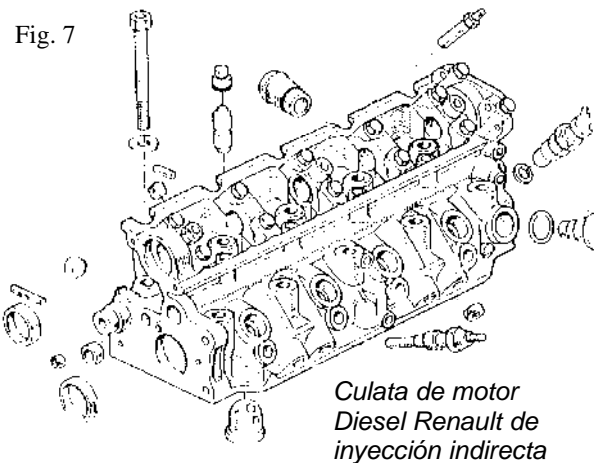
En el caso de los motores Diesel de inyección indirecta, llevan la cámara incorporada en la misma culata, y en los de inyección directa, la culata es completamente plana (no existe la concavidad como en los motores de explosión) porque dicha cámara está practicada en el émbolo.

En la fig.(7) se observa una culata de estructura muy corriente, estudiada para soportar el árbol de levas en su parte superior, es decir con una técnica similar a los motores de explosión.

Las culatas para los motores Diesel se pueden fabricar tanto de fundición de hierro como de aleaciones ligeras, esta última es la más aplicada en la actualidad.

Por último, las culatas deben poseer los orificios necesarios para el paso de los inyectores, que han de quedar al exterior para su ajuste y desmontaje fácil, mientras que la punta tiene que quedar en el interior de la antecámara de combustión o pasar el espesor de esta y desembocar sobre la cámara practicada sobre el pistón. De igual modo se ha de prever el paso para las bujías de precalentamiento que son necesarias para facilitar el arranque.

**Cámaras de combustión:** Como puede deducirse de lo dicho anteriormente, la cámara de combustión en los motores de inyección indirecta (pues en los motores de inyección directa la cámara se encuentra en la misma cabeza del émbolo), está formada por una pieza postiza (de acero), que va anclada a la culata. Esta disposición muy clásica puede verse en la fig. (8). En este caso, el inyector (1) se encuentra roscado a la culata como si de una bujía se tratara. La entrada del aire a la cámara en el momento de la compresión lo hace por un pequeño orificio inclinado (canal de disparo) señalado con él (2) en la figura, haciendo que el aire



adquiera un importante movimiento de rotación o turbulencia que facilitará el proceso de combustión cuando se inyecte el combustible. En este caso concreto, la pieza postiza (3) es la encargada de taponar la entrada de la antecámara en parte, y la colocación de esta pieza requiere la mayor precisión, pues de ella depende la turbulencia que debe producirse. Por último vemos en esta misma figura la presencia de la bujía de precalentamiento (4) que resulta inevitable en todos los motores diesel ligeros de este tipo.

El desmontaje de las cámaras de combustión de este tipo no es una operación que deba realizarse con mucha frecuencia, sin embargo estas antecámaras pueden ser sustituidas si han sufrido algún deterioro. En muchos casos, estas antecámaras postizas se pueden desmontar retirando primero el inyector y la bujía de precalentamiento y, por supuesto con la culata desmontada golpeándola hacia fuera. En líneas generales, cuando una antecámara de este tipo ha sido desmontada de la culata debe ser siempre reemplazada por otra nueva ya que sufre deterioro al ser desmontada, pudiendo a veces, requerir la ayuda de alguna herramienta especial o utilaje para el mejor desmontaje y montaje, según la forma como lo haya previsto el constructor. Se recomienda pues, para esta operación, la consulta del manual del taller del motor en concreto con el que estemos trabajando.

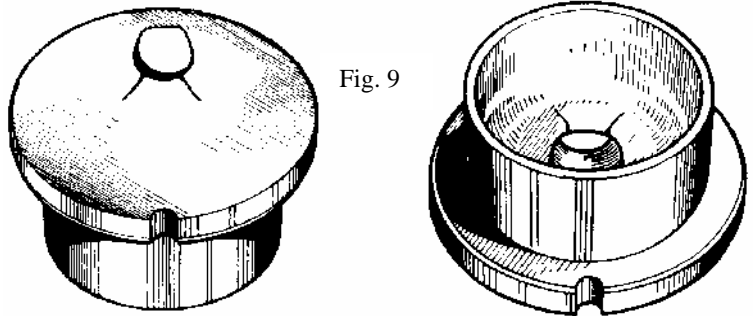


Fig. 9

En la mayoría de los motores actuales con culatas de aleación ligera, la antecámara se encuentra inserta dentro de la misma culata, es decir que son colocadas en el mismo momento de la construcción de la culata, por ende no son extraíbles, y lo único que se puede remover de estas es la pieza postiza (3) tal como se aprecia en la fig. (9). NOTA: Algunas fisuras pueden encontrarse alrededor del conducto de disparo, las cuales NO son perjudiciales para el buen funcionamiento. Si hay que poner cuidado al colocar la tapa de cilindro y asegurarse de que dichas cámaras de turbulencia no se encuentren libres (sueltas) ya que podrían caer dentro del cilindro.

**Bloque de cilindros:** El motor Diesel, es por tradición, amigo de los bloques de cilindros con camisas desmontables, ya sean éstas del tipo húmedas o secas y más aún si se tratan de motores Diesel para servicio pesado, donde el costo es muy elevado, por lo que se construyen para que duren mucho tiempo. Esto permite que se puedan cambiar cuando los cilindros se dañan o se desgastan más allá de los límites aceptables por el fabricante o constructor, sin que se tenga que recurrir al rectificado, solo al cambio de estas con mayor rapidez, seguridad exactitud y un menor costo. No obstante, se está observando una tendencia bastante creciente a la aplicación de motores con camisas secas y todavía más con los cilindros labrados en el mismo interior del blok en los casos de los Diesel ligeros, con lo que se acerca cada vez más a la filosofía constructiva de los motores a explosión, debido a la gran rigidez que proporcionan estos y la garantía que presentan frente a los problemas de estanqueidad, sumados a una menor complejidad en la construcción del bloque y un costo de fabricación menor.

Resumiendo, se podría decir que los tres sistemas (camisas húmedas, camisas secas y blok integral) presentan ventajas y contras unas con las otras, quedando reservado su elección y aplicación en los motores exclusivamente por parte de los constructores y diseñadores, siendo usados generalmente los de camisa secas y húmedas en grandes motores y bloques integrales en los más pequeños.

En la fig. (10) se puede ver un esquema de lo que se llama una **camisa húmeda**.

La camisa constituye el cilindro dentro del cual desarrollará sus carreras el émbolo. La parte exterior de la camisa está en contacto con el agua de refrigeración que pasa por la cámara que se forma entre las paredes del bloque de cilindros y la pared exterior de la camisa. Por otro lado, tenemos la llamada **camisa seca** fig. (11), donde esta va adosada a la pared del mismo blok de cilindro por lo que no tiene contacto directo con el agua de refrigeración.

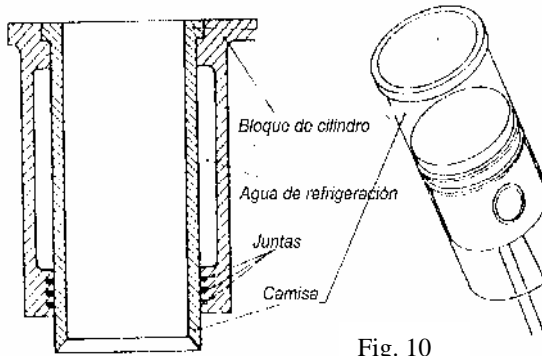


Fig. 10

Por último queda la tercera solución, que consiste en no hacer camisas

para cilindros, de modo que en el mismo material del blok se halle labrado el cilindro por el que va a deslizarse fig. (12).

El material empleado en la fabricación de los bloques de cilindro, es generalmente **fundición de hierro con estructura perlítica**, aleado con pequeñas proporciones de cromo y níquel, que proporcionan una gran resistencia al desgaste y protección contra la corrosión, además de soportar las altas temperaturas a que esta sometido.

También se emplean las aleaciones ligeras a base de aluminio-silicio, que tiene la ventaja de su menor peso y gran conductibilidad térmica, mejorando la refrigeración del motor. Este sistema emplea un tipo de camisa del tipo húmeda o seca.

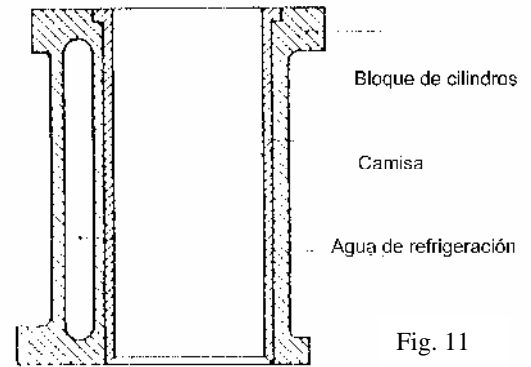


Fig. 11

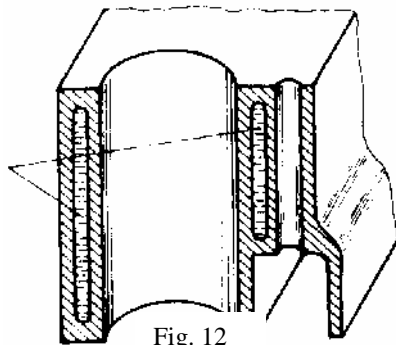


Fig. 12

En cuanto al material empleado en la fabricación de camisas de cilindro, se emplea la fundición aleada, con estructura perlítica de grano fino, con proporciones variables de Ni, Cr, Mo, Cu, etc., propocionándole buenas características de resistencia al desgaste. El proceso de fabricación actual, se consigue por colada centrífuga para asegurar una estructura molecular fina y uniforme, pero con una cierta porosidad, que favorece la retención del aceite de lubricación. Algunos fabricantes emplean para mejorar aun más la resistencia al desgaste un revestimiento superficial de cromo electrolítico o aplicarle un tratamiento superficial de nitruración. Este último sistema es más económico que el anterior, con una resistencia al desgaste muy próxima a la

del cromo, con un costo menor y sin necesidad de empleo de aros especiales.

### TRABAJOS A REALIZAR EN EL BLOQUE DE CILINDROS

**Limpieza del blok de cilindro:** Proceder a la limpieza del mismo, eliminando las formaciones carbonosas, resto de aceite y de incrustaciones de juntas. Para ello es conveniente sumergirlo en una solución de agua y un producto detergente o decengrasante en caliente, durante un determinado tiempo (dependerá del producto utilizado). A continuación se aplicará la misma solución a presión

para sacar el posible resto de incrustaciones y suciedad en los conductos de lubricación. Finalmente, se lo somete a un chorro de aire a presión, especialmente en los conductos internos de paso del aceite. A continuación se realiza una inspección ocular sobre toda la superficie del mismo, especialmente sobre la zona de los cilindros, ya que es la que está sometida a mayores esfuerzos y temperaturas durante el funcionamiento del motor. En caso de dudas sobre alguna fisura, se lo debe someter al mismo a algún tipo prueba específica para tal fin como ser con equipo magnetoscopio o con magnoflux.

**Medición del desgaste de los cilindros:** La superficie de apoyo debe estar completamente lisa y plana. Esta comprobación se puede realizar colocando una regla de canto en todas sus direcciones y con una sonda se mide la diferencia que puede existir. Si se requiere mayor exactitud, se procede a realizar dicha operación con reloj comparador. Si esta superficie presenta rugosidades o deformaciones por encima de la tolerancia admisible, se procede a la rectificación de su superficie quitando la menor cantidad de material posible, ya que el émbolo podría rebasar dicha superficie.

Es importante también, la revisión de los orificios roscados, sobre todo los que fijan la culata al blok, comprobando que los hilos de rosca no estén deteriorados y que no exista holgura. Para su verificación se puede emplear un comprobador de rosca.

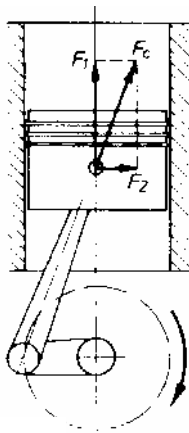


Fig. 14

Sabiendo que todos los cilindros no se desgastan por igual, ya que no todos se refrigeran con la misma eficacia, y además actúan distintas fuerzas sobre sus paredes (fig. 13,14,15), deberán comprobarse todos los cilindros uno por uno, midiendo en cada uno de ellos el ovalamiento y la conicidad, operación que se realiza con un comparador de reloj llamado también alexómetro. Previamente se coloca la escala del comparador a cero tomando como referencia la medida estándar del cilindro (medida de origen del fabricante), dando previamente 2mm de precarga (fig.16, 17,18,19 y 19 bis). Con distintos movimientos que se han de ejecutar con soporte telescópico, el reloj comparador indicará las desviaciones del palpador que corresponde al desgaste producido en el cilindro por ovalización. La conicidad se verifica por la diferencia de medida entre el diámetro superior e inferior del cilindro. Se toma la mayor desviación de la aguja como referencia para el posible bruñido (mandrinado) o rectificado del mismo.

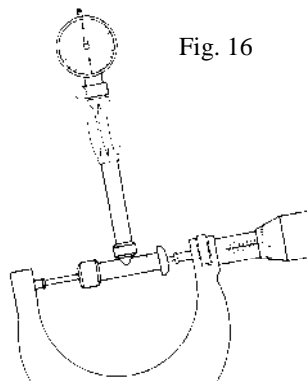


Fig. 16

Cuando esta medida de referencia es inferior a 0,15 mm, es suficiente un repaso de los cilindros por medio de un bruñido y, si es superior, hay que proceder a rectificar. **NOTA: Esta tolerancia dependerá del diámetro del cilindro (a mayor diámetro, mayor es la tolerancia) y del fabricante del motor que, que determinó cual es el límite máximo de desgaste admisible del motor en cuestión.**

En la operación de rectificado hay que tener en cuenta no rebasar las sobremedidas estándar de los émbolos, las cuales están especificadas

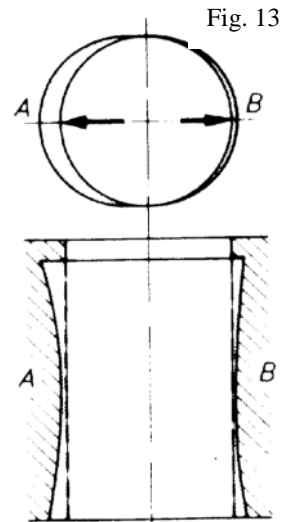


Fig. 13

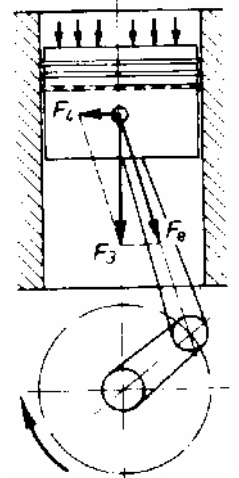
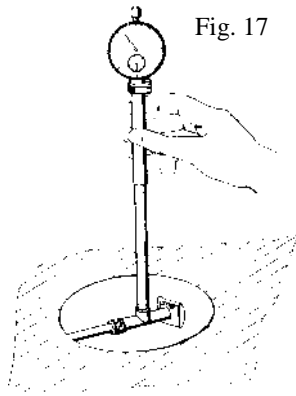


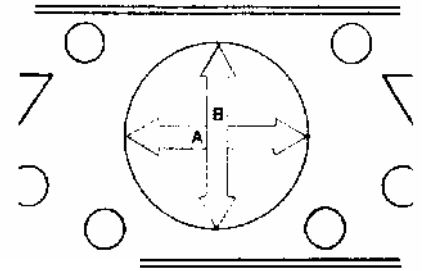
Fig. 15

para cada tipo de motor por el propio fabricante (generalmente oscila en los 0,05 mm entre el émbolo y cilindro).

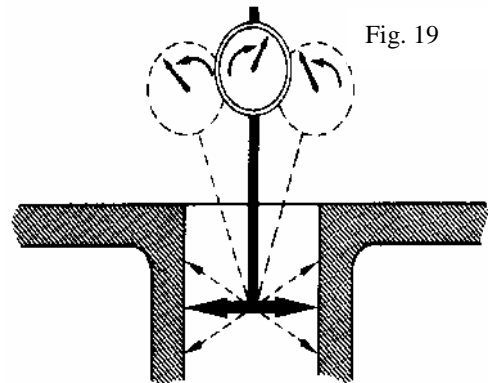
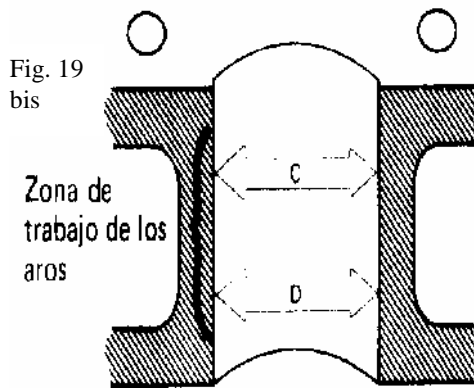
Las sobremedidas de los émbolos con relación a su medida estándar, suelen ser de 0,1, 0,2, 0,4, 0,6 y 0,8 mm, medidas no obstante determinada por el fabricante del motor, y que conviene comprobar antes de proceder al rectificado.



Teniendo en cuenta que el rectificado produce un aumento de cilindrada y que la cámara de compresión es la misma para todos los cilindros, el rectificado debe realizarse a la misma sobremedida en todos ellos para mantener constante la relación de compresión. De lo contrario, la potencia desarrollada en cada cilindro, y por tanto la fuerza de empuje sobre la muñequilla del cigüeñal, es distinta, pudiéndose



producirse un desequilibrio de funcionamiento e incluso la rotura del cigüeñal.



En caso de tener que rectificar los cilindros, la operación se realiza a la sobremedida superior a la indicada en el cilindro más desgastado. Si esta sobremedida sobrepasa el límite de rectificado estipulado por el fabricante, se efectúa un nuevo encamisado del blok teniendo en cuenta, en este caso, que los elementos a montar deben ser del tipo estándar.

### EJERCICIO RESUELTO

Al efectuar las mediciones de los cilindros en un motor, las mayores desviaciones de la aguja del reloj comparador en cada uno son respectivamente:

- Cilindro 1 = 0,18 mm
- Cilindro 2 = 0,24 mm
- Cilindro 3 = 0,29 mm
- Cilindro 4 = 0,19 mm

Las medidas de origen (Std) en émbolo y camisa respectivamente son: 73,25 mm y 73,30 mm.

Según los valores obtenidos, el mayor desgaste corresponde al cilindro nº3, medida a tener en cuenta en la operación de rectificado, con un desgaste máximo de:

$$D1 = 73,30 + 0,29 = 73,59 \text{ mm}$$

Por tanto, el diámetro del émbolo a colocar es:

$$\text{Std} + 0,4 = 73,25 + 0,4 = 73,65 \text{ mm}$$

La medida final de rectificado en los cilindros (teniendo en cuenta la tolerancia de montaje) es:

$$D2 = 73,65 + 0,05 = 73,70 \text{ mm}$$

### INSTALACIÓN DE CAMISAS DE CILINDRO

Los bloques de cilindros de los motores diesel, son costosos, por lo que se construyen para que duren mucho tiempo, por consiguiente, la mayoría de estos utilizan camisas del tipo secas o del tipo húmedas, por lo que es de suma importancia la correcta instalación de las mismas. De lo contrario, estas se pueden deformar no permitiendo la total adaptación de los aros, consumo elevado de aceite y una menor transferencia de calor, dando lugar a concentraciones de alta temperatura, produciendo como consecuencia rayaduras y pegaduras de los pistones, aros y camisas. **El motor tendrá una corta duración y un rendimiento deficiente si las camisas de los cilindros, ya sea del tipo húmeda o seca se hallan incorrectamente instaladas.**

Algunos fabricantes especifican un ajuste firme para las camisas y otros recomiendan un ajuste holgado. Se debe respetar el hecho de que cada fabricante ha formulado recomendaciones específicas basadas en los requerimientos de su motor en particular. Estas recomendaciones son el fruto de costosas y extensas investigaciones, por lo cual, **hay que respetar y seguir siempre las recomendaciones del fabricante del motor al instalar las camisas.**

**Instalación de camisas de cilindros del tipo secas:** Antes de instalar una camisa nueva, inspeccione los agujeros del bloque para ver si están deformados midiendo el diámetro de dichos agujeros en varios puntos. Cuando la diferencia es mayor a la especificada por el fabricante, abra que rectificar los agujeros del bloque e instalar camisas con un diámetro exterior de sobrevenida. La nueva camisa instalada, deberá apoyar en toda su superficie a fin de evitar que se produzcan **bolsas de aire** entre la camisa y el bloque, dando esto lugar a concentraciones de altas temperaturas que producirían deterioros en la superficie de fricción de los pistones, cilindros y aros de pistón. Hay que eliminar cuidadosamente todas las gomosidades y acumulaciones de carbón en el alojamiento de los cilindros

Empleando para ello un cepillo de cerdas de alambre o con un raspador adecuado para tal caso.

El no eliminar las acumulaciones interiores de los cilindros, dará lugar a una deformación de las camisas y a una transferencia deficiente del calor entre aquellas y el block del motor. Los depósitos que pudiesen quedar, pueden producir una instalación incorrecta de las camisas, una deformación en la parte superior y una posible rotura de las pestañas (fig. 20).

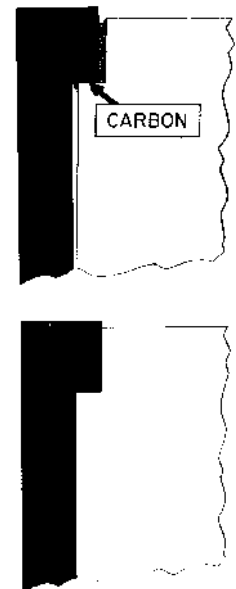


Fig. 20

**Instalación de camisas de cilindro del tipo húmedas:** Además de las recomendaciones específicas para la instalación de camisas que da el fabricante del motor en cuestión, hay cinco puntos importantes que se deben observar con las camisas del tipo húmedas:

- 1) Limpie la zona de apoyo por completo (fig. 21). Esto es necesario a fin de que la pestaña de la camisa descansa de plano en su asiento para evitar una rotura de dicha pestaña o una deformación de la camisa. Si el asiento se halla desgastado de manera excesiva o despareja, habrá que rectificarlo.
- 2) Limpiar por completo las superficies inferiores de las ranuras para los anillos selladores del block para evitar que el refrigerante se filtre hacia el cárter a través de dichas ranuras.

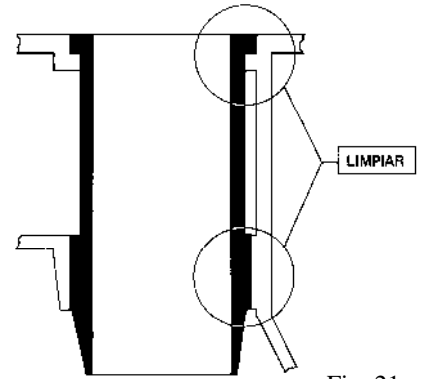


Fig. 21

- 3) Medir correctamente el tiraje de la pestaña de la camisa siguiendo las instrucciones del manual de servicio del motor en cuestión (fig. 22 y 23). Cuando el

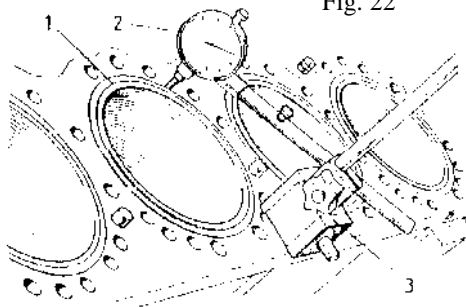


Fig. 22

saliente entre diferentes camisas varía más de lo aceptable, usar suplementos para obtener un tiraje uniforme. Dichos elementos son de diferentes espesores y se instalan en el diámetro exterior de la camisa debajo de la pestaña. Una

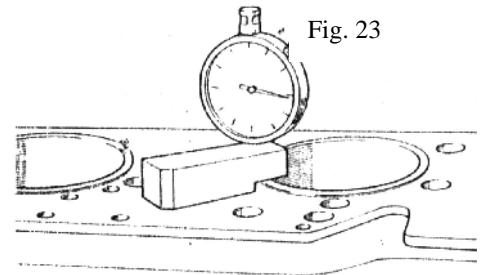


Fig. 23

variación excesiva en la saliente de las pestañas podría dar lugar a una deformación de los cilindros o una rotura de las pestañas en camisas, con una saliente mayor, o escapes de refrigerante por la junta de la tapa en camisas con poco o nada de tiraje.

- 4) Instalar los anillos selladores con cuidado de que no se enrosquen sobre si misma durante su colocación, ya que ello las endurece y dificulta su adaptación posterior y provocar micro deformaciones en la superficie opuesta de la camisa y ocasionar problemas al paso alternativo de los pistones por una zona de menor diámetro (fig. 24).

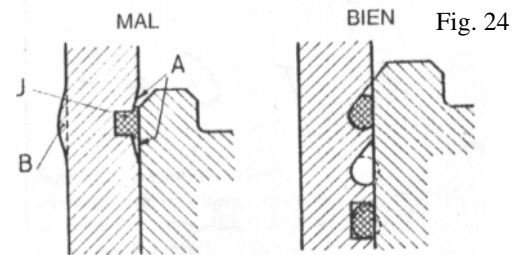


Fig. 24

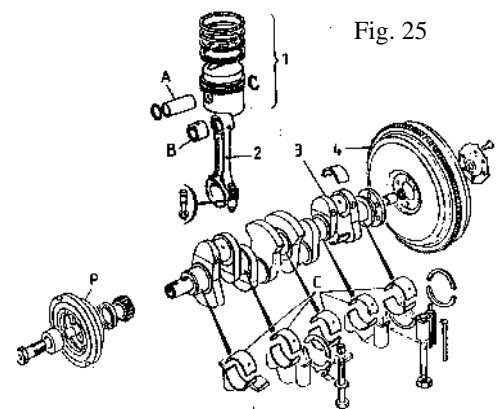
**Cárter:** La última pieza que compone la arquitectura del motor es el cárter de aceite, pieza encargada de cerrar el motor por la parte inferior, y que tiene la misión de almacenar el aceite de lubricación. Este elemento debe hallarse siempre ventilado para conseguir refrigerar el aceite, y poder restablecer una temperatura más moderada que le restituya sus cualidades lubricantes y refrigerantes. Por eso ocupa la parte más baja del motor. Está constituido por una pieza de chapa estampada, fundición de hierro y actualmente por una cuestión de costo, peso y de conductibilidad térmica, se aplican de aleaciones ligeras (aleaciones de aluminio).

No presentan ningún problema de tipo mecánico y solo hay que destacar la necesidad de que las junta se mantenga en buenas condiciones para que no existan fugas de aceite.

b) **Órganos móviles principales:** En este grupo se encuentran los llamados órganos del tren alternativo, y como en el caso anterior vamos a dedicarnos a esta importante parte del motor Diesel. Sus cuatro elementos fundamentales son:

- \_ Conjunto de émbolos y aros.
- \_ Bielas.
- \_ Cigüeñal.
- \_ Volante Motor.

En la (fig. 25) se observa el conjunto del tren alternativo de un motor Diesel de cuatro cilindros, en el que solamente se a dibujado el conjunto émbolo y biela, ya que los tres restantes son iguales. En cuanto al cigüeñal (3) se halla acompañado de todos sus cojinetes (c) y de la polea (p) de salida del cigüeñal. Pasaremos inmediatamente a ocuparnos de cada uno de estos elementos.



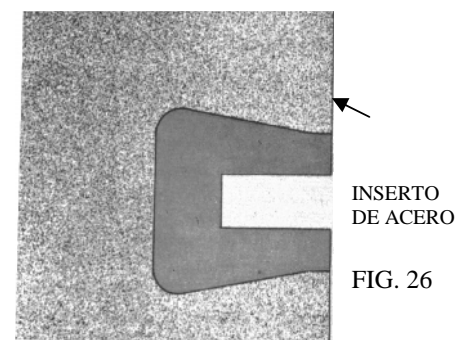
**Conjunto de émbolo y aros:** Al igual que en los motores a explosión, estos elementos se fabrican de aleaciones ligeras de aluminio. Sin embargo, presentan un diseño algo diferente ya que no quedan afectados por la posición de las válvulas. El émbolo Diesel debe, eso sí, ser más reforzado debido a las mayores presiones que debe soportar, tanto de la compresión como de la propia combustión, y muchas veces reciben en su cabeza la propia cámara de combustión o parte de ella según el diseño, resultando por lo tanto más pesado que el de los motores de explosión. Además, por el aumento de sección que presentan estos en la parte superior con el objeto de reducir la temperatura del fondo de los mismos.

La longitud es alrededor de 1,3 a 2 veces su diámetro y en algunos motores de baja velocidad esta relación alcanza 2,7 veces el diámetro. Esto es necesario, porque debe guiarse por sí mismo en su movimiento de vaivén y porque la mayor longitud reduce el valor medio por unidad de superficie la fricción por rozamiento (presión lateral), con la consiguiente disminución de desgaste entre las superficies de contacto.

En cuanto al material empleado, los émbolos se fabrican de distintas aleaciones de aluminio, siendo las más empleadas las de aluminio-cobre, las de aluminio-cobre-silicio, las de

Duralumini-Electrón, Hinduminium, aleaciones I.R.R., etc.

En la actualidad, los émbolos de los motores Diesel se fabrican con insertos (porta aro superior) de acero (fig. 26), con el fin de retardar el desgaste lateral de los aros y de las ranuras superiores de los émbolos, que son las más comprometidas. Además, estudian la posibilidad de usar Acero fundido o forjado recubierto por electroposición de Cadmio, Plata o Estaño.





**Temperatura de los émbolos:** La temperatura asignada que se representa en la (fig. 27), representa la temperatura media para motores de 4 tiempos y refrigerados por agua y los lugares donde han sido tomados los promedios de los mismos.

Algunos motores Diesel, generalmente los que están sometidos a trabajos pesados por mucho tiempo o poseen un régimen elevado de R.P.M, se recurre a refrigerarlos artificialmente mediante la proyección de aceite lubricante contra la superficie interior del fondo del émbolo. En algunos casos se rocía hasta cuatro litros o más de aceite por minuto contra la parte inferior de cada pistón para bajar la temperatura de los mismos. El aceite a

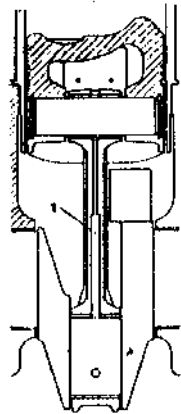


fig. 28

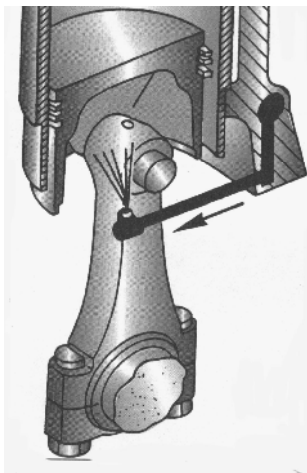


Fig. 29

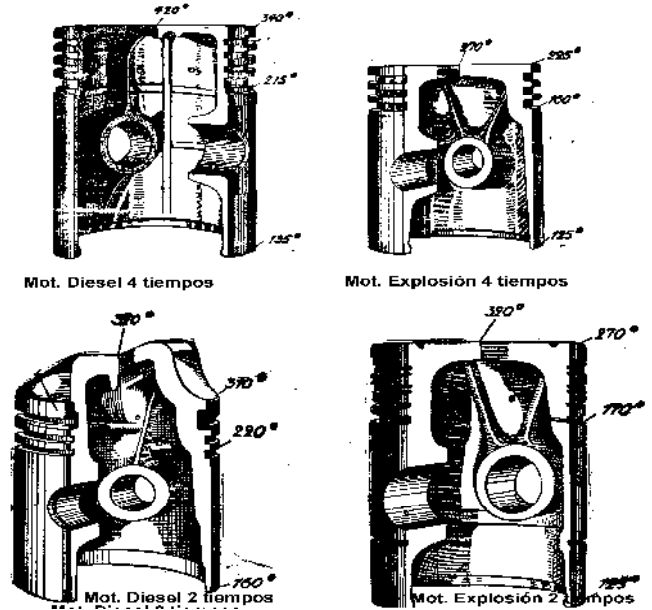


Fig. 27

presión puede ser conducido por el interior de la biela ( fig. 28) por un conducto practicado en toda su extensión, desde la cabeza por donde entra el fluido, hasta él pié por donde sale expulsado en pequeños chorros a presión, o por inyectores (fig. 29) ubicados en la parte interna del bloke, comunicados directamente con la galería principal de aceite.

**Sobrecarga térmica de los émbolos:** Los émbolos y los cilindros o camisas de un motor diesel, están sujetos a contracciones y dilataciones térmicas elevadas, ocasionadas por la combustión, el desarrollo de la potencia, el rozamiento de los émbolos y los aros contra los cilindros, etc., en cuyas superficies las condiciones de lubricación son difíciles debido a las temperaturas elevadas y a la acción de los productos de la misma combustión.

Cuando los émbolos están obligados a absorber una cantidad mayor de calor, el funcionamiento del motor cesará de ser satisfactorio.

Un estancamiento de calor en el émbolo se producirá cada vez que el calor no es eliminado por éste de una manera más rápida, o por lo menos igual a la de absorción.

Si un punto cualquiera del pistón recibe de la llama de combustión un número más grande de calorías de la que puede disipar al sistema de refrigeración, la temperatura de ese punto crecerá muy rápidamente, ocasionando una dilatación excesiva, con la ruptura o atascamiento del émbolo. Este inconveniente puede presentarse también, debido a que el pistón posee demasiado metal (exceso de

espesor en sus paredes y fondo del mismo). Otro de los factores causante de la sobrecarga térmica, es debido a las incrustaciones de carbón, formado por el craquing de aceite no quemado. Seguido a la excesiva dilatación del émbolo, se producen fuerzas, haciendo que estos se deformen (perdiendo sus medidas originales en forma permanente), produciendo combas, las que obligan a apoyarse completamente contra las paredes de los cilindros, con la destrucción de la película lubricante, formándose protuberancias en el pistón rayándose los cilindros, disminuyendo la compresión y por consiguiente la potencia del motor.

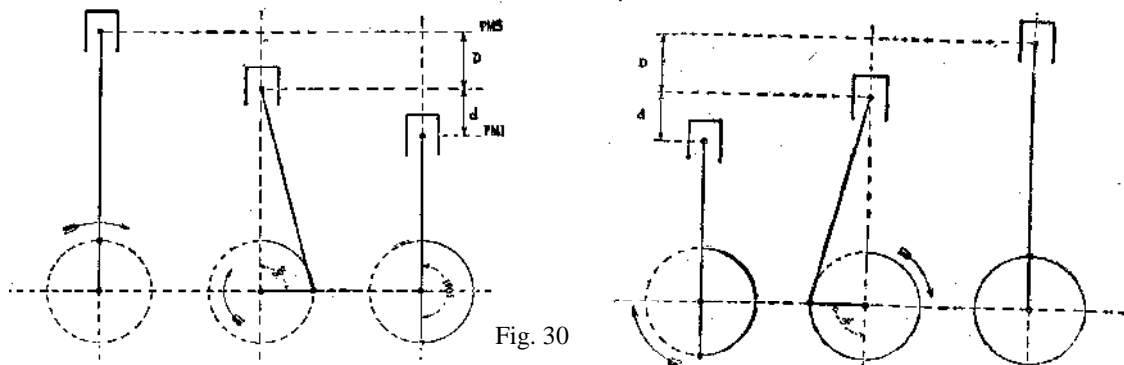
**Movimiento del pistón:** El pistón o émbolo está dotado de movimiento rectilíneo alternativo. El pie de biela posee el mismo movimiento del pistón, mientras que la cabeza de la biela posee un movimiento circular.

Por medio del sistema biela-manivela, el movimiento del émbolo es transformado en movimiento circular, y que cada carrera del mismo corresponde media vuelta del cigüeñal.

Cualquiera que sea el régimen de funcionamiento del motor, puede considerarse que una vuelta del cigüeñal se efectúa con “movimiento uniforme”, pero no puede decirse lo mismo de la velocidad del pistón, la cual varía continuamente durante las dos carreras (ascendente y descendente).

Si el número de revoluciones del cigüeñal del motor se mantiene constante, las velocidades adquiridas por el pistón se repiten periódicamente y a cada vuelta del motor. Este movimiento especial del pistón es llamado “movimiento periódico”, siendo el periodo representado por una vuelta del cigüeñal.

**Espacio recorrido por el pistón:** No existe una relación entre los grados de rotación del cigüeñal y los desplazamientos lineales del émbolo medidos sobre su propia carrera (fig. 30), así que, cuando el cigüeñal ha efectuado un cuarto de vuelta, es decir a recorrido un espacio angular de  $90^\circ$  de su P.M.S, el pistón no ha recorrido la mitad de su carrera, sino un poco más en su carrera descendente y un poco menos en la carrera ascendente. Esto va a depender de la inclinación de la biela con respecto al



eje del pistón y de la relación entre la longitud de la biela y la carrera ( $L/C$ ).

**Velocidad del pistón:** La velocidad del pistón varía continuamente durante las dos carreras (ascendente y descendente) y está estrechamente ligada al número de R.P.M y a la relación  $L/C$ .

La velocidad del pistón es **nula** en los P.M, debido a que debe invertir el sentido de su movimiento. A partir del P.M.S, la velocidad del pistón va aumentando y alcanza su “valor máximo”, cuando el eje de la biela forma con el eje del brazo del cigüeñal un ángulo de  $90^\circ$  o próximo a él (fig. 31), luego su velocidad va disminuyendo hasta cero (P.M.I).

A partir del P.M.I, la velocidad la velocidad del pistón nuevamente va en aumento, alcanzando su máximo valor cuando la biela forma simétricamente otra vez el ángulo anterior, disminuyendo luego hasta ser nula en el P.M.S.

Observando la (fig. 30), veremos que la distancia (D) recorrida por el pistón en la carrera descendente y ascendente, durante el primero y último cuarto de vuelta del cigüeñal, resulta más grande que la distancia (d) recorrida por el mismo en el segundo y tercer cuarto de rotación. Como el cigüeñal está dotado de un movimiento uniforme durante una vuelta, las distancias (D y d) son recorridas en el mismo tiempo, como consecuencia, el pistón debe estar animado de una velocidad más grande cuando debe recorrer las porciones mayores (D), y de una velocidad más pequeña cuando debe recorrer los espacios menores (d), debiendo disminuir su velocidad cuando se acerca a los P.M, y contrariamente irá aumentando al alejarse de los mismos.

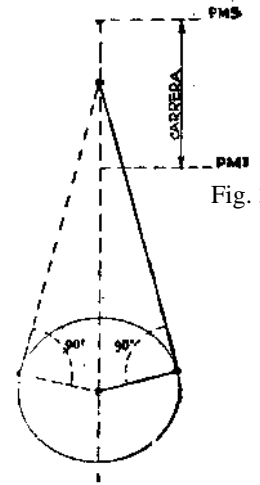


Fig. 31

**Aceleración del pistón:** Se llama aceleración del pistón a la variación que sufre su velocidad a cada segundo, y en determinados momentos los valores de aceleración serán “positivos y negativos”.La aceleración del pistón variara de valor durante toda la carrera, y si el número de R.P.M se mantiene constante, los valores de la aceleración se repiten periódicamente a cada vuelta del cigüeñal. “Los valores máximos de la aceleración se verifican en sus P.M”, porque en ese punto el pistón posee una velocidad “nula” y de be ser puesto en movimiento.

Contrariamente “la aceleración del pistón es nula” en el instante que el pistón alcanza su velocidad máxima, esto es debido porque en el instante sucesivo el pistón de sentido, es decir que de movimiento acelerado, adquiere el de movimiento retardado, y por lo tanto, la aceleración pasa de valor positivo al valor negativo, luego necesariamente debe pasar por el valor cero.

**BIELAS**

La biela, es el elemento de unión entre el émbolo y el cigüeñal y forma parte del sistema biela-manivela que transforma el movimiento lineal del émbolo en un movimiento de rotación del árbol motriz.

En el caso de los motores Diesel, estas son más robustas (fig. 32) que las usadas en los motores a explosión debido a las mayores presiones a que están sometidas. Por ello, están fabricadas con aceros aleados de gran calidad, como son los aceros al **romo-niquel-molibdeno** o al **romo-molibdeno-manganeso**. Tienen una sección robusta, generalmente en perfil ( I ) (fig. 33).

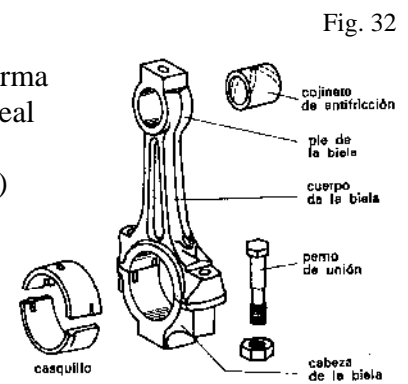


Fig. 32

Durante su funcionamiento, esta sometida a esfuerzos de tracción,

compresión y flexión por pandeo. Debe tener una longitud que guarde relación directa con el radio de giro de la muñequilla del cigüeñal (o la carrera del émbolo), y de la magnitud de los esfuerzos a transmitir. Dicha relación viene determinada por la siguiente expresión:

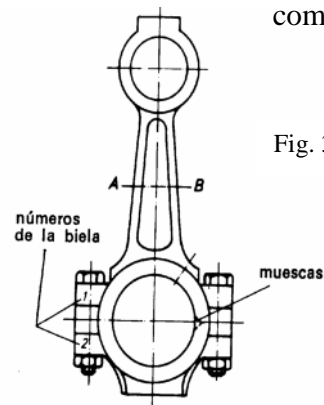
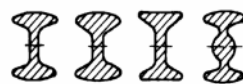


Fig. 33



Diversas formas del perfil del cuerpo en la sección AB.

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| = r | Radio de giro<br>Longitud de biela |
|-----|------------------------------------|

Esta relación suele estar comprendida, según el tipo de motor, dentro de unos valores máximos y mínimos a saber:

- = 1/3,6 a 1/4,2 para motores Otto de 4 tiempos.
- = 1/4,5 a 1/4,8 para motores Diesel.

El número de revoluciones en el motor influye directamente sobre esta relación. En los motores rápidos se acorta la longitud de la biela dentro de unos límites admisibles, con el fin de evitar, en lo posible los efectos de la inercia.

En su fabricación, se emplea el método por estampación o forjado en caliente y se mecanizan las zonas de amarre al émbolo y al cigüeñal, así como los elementos de unión y los pasos de aceite.

Entre las **condiciones que se deben cumplir para su fabricación tanto en la estampación como en el mecanizado, se destacan:**

- Igualdad de peso para cada grupo de bielas de un mismo motor.
- Paralelismo entre ejes de simetría.
- Precisión en la longitud o distancia entre centros.

El plano de unión entre el sombrerete (tapa) y el cuerpo de biela, puede ser horizontal (fig. 33) o inclinado (fig. 35). Esta última disposición se utiliza cuando las dimensiones de la cabeza son grandes, con el objeto de facilitar su extracción a través del cilindro, y también para reforzar la zona de mayor empuje cuando las cargas son elevadas, debiendo coincidir en su montaje, el menor ángulo de inclinación por la parte donde baja la biela. En algunos modelos, la unión de ambas piezas se hace a través de una serie de estrías (fig. 34) de anclaje, para asegurar un posicionado correcto y para dar resistencia a la unión, ya que esta zona está sometida a **cizallamiento**.

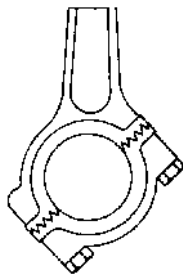


Fig. 34

La unión de la biela con el émbolo se realiza a través de un perno, de estructura robusta y a la vez ligera para eliminar peso. Debido a esto, estas piezas se fabrican generalmente huecas, de acero cementado, y según la

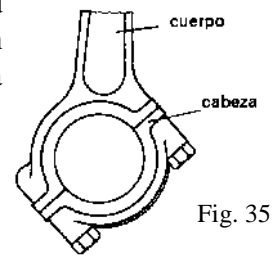


Fig. 35

*Biela con plano de unión inclinado.*

forma de unión de la biela con el émbolo se distinguen tres tipos de montaje:

- Perno fijo en la biela.
- Perno fijo en el émbolo.
- Perno flotante.

En la actualidad, con el fin de equilibrar los esfuerzos laterales y favorecer el giro del árbol motor, se monta el perno en el émbolo ligeramente desplazado (fig. 36) hacia el lado sometido a mayor presión, reduciéndose el desgaste en esa zona del cilindro (independientemente de los tres tipos de montajes anteriormente citados).

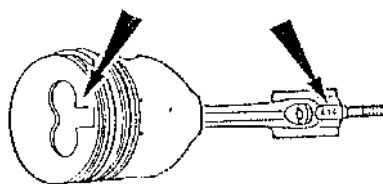


Fig. 37

En los motores Diesel, hay que tener especial atención en el posicionado de

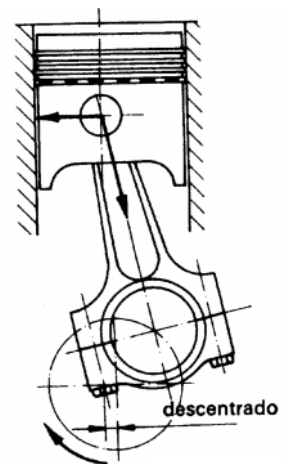


Fig. 36

la biela con respecto al émbolo. Generalmente esta posición ya va marcada o señalada de alguna forma que no deje dudas al respecto. Así se puede ver en la (fig. 37) donde las flechas indican la correcta posición de la cámara de combustión que se encuentra en el émbolo y la posición de la biela correspondiendo la numeración de ésta con la ranura central de la cámara. Por supuesto, además, ni émbolos, ni bielas, ni cojinetes, etc., deberán ser intercambiados durante su desmontaje pues, luego, en el montaje no se sabría a que conjunto corresponde cada una de las piezas con el consiguiente desajuste general en el caso de un montaje posterior.

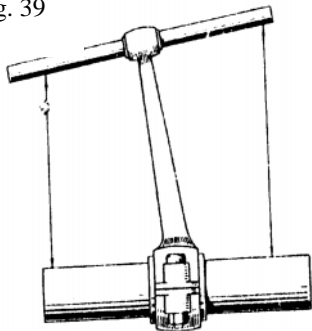
**Averías y comprobación de las bielas:** Las averías que pueden producirse en las bielas son de tres tipos a saber:

- Rotura de la biela.
- Desalineación de la biela.
- Holguras de montaje.

**Rotura de la biela:** Avería muy poco frecuente en la actualidad. Está motivada fundamentalmente por una fatiga excesiva, insuficiente dimensionado de la misma o una mala calidad del material.

**Desalineación de la biela:** Producida por sobretensiones de trabajo en la misma. Da lugar a esfuerzos de pandeo (fig. 38) que originan el desalineado entre los ejes de acoplamiento del perno y del muñón del cigüeñal. La comprobación consiste en verificar el paralelismo entre ejes (fig. 39) por

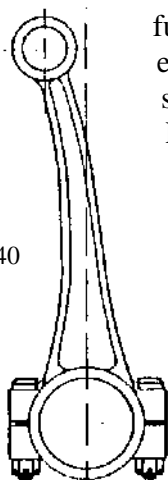
Fig. 39



medio de útiles preparados y destinados a tal fin. Si esta desalineación es mínima, se puede corregir por enderezamiento con una prensa, pero si el defecto es muy acusado, es conveniente cambiar la biela por otra. Otro de los defectos que puede presentar también una biela, es la desalineación lateral, que consiste en la curvatura del vástago de la biela (fig. 40) en un plano perpendicular a los ejes geométricos de la cabeza y el pie de la misma,

sin perder estos su paralelismo. Esta avería es muy frecuente debido a la introducción de agua por la admisión con el motor en funcionamiento o por el choque del émbolo con algún objeto extraño (roturas de válvulas, muelles, bujías, rotura de correa sincrónica, etc.). La operación de corrección es muy similar a la anterior.

Fig. 40



Por último, otro de los defectos que puede presentar una biela es el de retorcimiento (fig. 41) producido por fatiga de torsión, debido a montajes inadecuados. La verificación y corrección se lleva a cabo con el mismo útil que vimos en la (fig. 38).

Después de haber llevado a cabo la corrección de los defectos de estos elementos y para una mayor seguridad sobre el futuro comportamiento, será conveniente someterlas a un aparato detector de grietas y fisuras, para detectar averías internas del material.

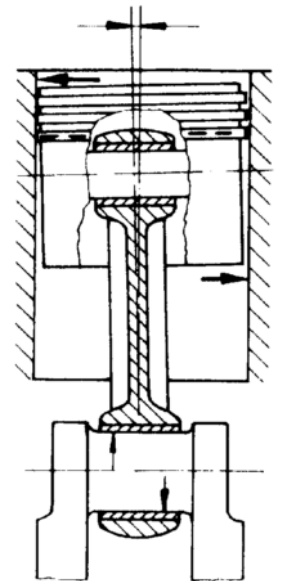


Fig. 38

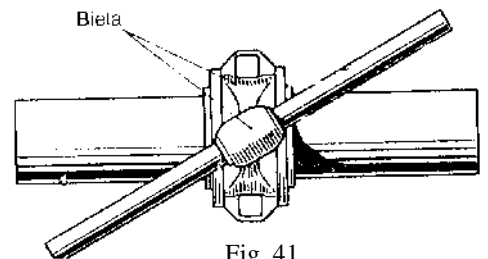


Fig. 41

**Holguras en el montaje:** La holguras de la biela se pueden producir en el **pié** o en la **cabeza** de la biela.

El juego de montaje entre el **pié** de la biela y el **perno** suele ser de 0,01mm a 0,02mm. En cuanto la holgura entre la cabeza de la biela con cojinetes y el muñón del cigüeñal, dependerá de los diámetros de los mismos, del tipo y aplicación del mismo y de las características del fabricante, pero como regla general, la interferencia de montaje (luz de aceite) debe ser de 0,05mm a 0,07mm.

Al desmontar la biela para su posterior verificación, se debe comprobar previamente la superficie interior de los cojinetes. Estos deben estar completamente lisos y sin señales de desgaste o rayaduras. En caso contrario, se deben sustituir.

### **Cigüeñal**

El cigüeñal es la pieza que completa el conjunto biela-manivela y es la encargada de la transformación final del movimiento lineal del pistón en un movimiento rotativo, operación que permite transmitir el par motor a los restantes elementos mecánicos del mismo.

Uno de los extremos se aprovecha para mover el vehículo, y el otro para aportar el par necesario para mover los restantes elementos auxiliares (sistema de distribución, generador de corriente, compresor de aire acondicionado, bomba de dirección hidráulica, etc.). La forma que este posee, va a depender del diseño del constructor, número de cilindros, ciclo de trabajo, cantidad de apoyos, etc. (fig. 42).

Por consiguiente, puede decirse que el cigüeñal es la columna vertebral del motor, y que en los motores Diesel actuales están sometidos cada día más a grandes esfuerzos de torsión y flexión. Debe ser duro (al desgaste) y blando (para la fatiga) a la vez. Las fatigas por flexión (acompaña al blok) y las vibraciones torsionales (por las sucesivas explosiones) lo están solicitando constantemente mientras el motor está funcionando, y realmente hoy en día, los motores Diesel duran entre 300 a 500 mil Km y más aún en motores de bajas RPM. Para ello es crucial la utilización de un material adecuado, con el que se le va a dar la forma precisa y las dimensiones exactas.

Los cigüeñales actuales se fabrican por estampación (forjados) y son de acero aleado al cromo-niquel-molibdeno o al cromo-niquel-manganeso, con un tratamiento superficial posterior que le confiere una alta resistencia a la tracción y al desgaste.

Otro de los métodos utilizados en la fabricación es por fundición por colada, con aleaciones al cromo-silicio, pero con una resistencia menor.

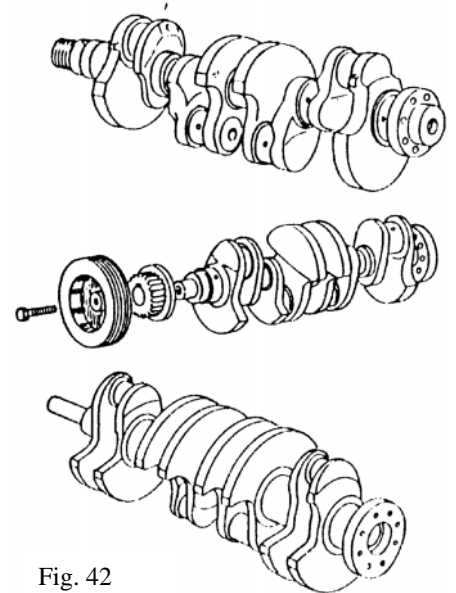


Fig. 42

**Trabajos a realizar en los cigüeñales:** Salvo en casos de roturas por accidente, la mayor parte de las averías en esta pieza, se deben al desgaste y fatiga producidos por los continuos esfuerzos y rozamientos a que están sometidos durante su funcionamiento. El desgaste producido por el roce entre las piezas, hace que aumente el juego entre ellas, traduciéndose en un funcionamiento anormal de todas las piezas involucradas.

Con la palabra **juego**, se designa al espacio vacío que se deja entre dos piezas que ajustan una dentro de la otra, como por ejemplo, un eje y un cojinete (fig. 43).

Muchos de estos ruidos se pueden llegar a oír con el motor en funcionamiento y con cierto conocimiento sobre mecánica y un oído estrenado. Un ruido fuerte y profundo cuando el motor trabaja con fuerte carga y a bajas r.p.m especialmente, es provocado por un excesivo juego de los cojinetes de bancada. El ruido de los cojinetes de biela aparece cuando el motor trabaja cargado y se descarga de repente, y es más ligero que el de los cojinetes de bancada. El juego longitudinal del cigüeñal en forma excesiva, produce una desalineación momentánea de las bielas bielas en el momento de tener apretado el pedal de embrague pudiendo producir en algunos casos un ruido, desapareciendo cuando se suelta este.

