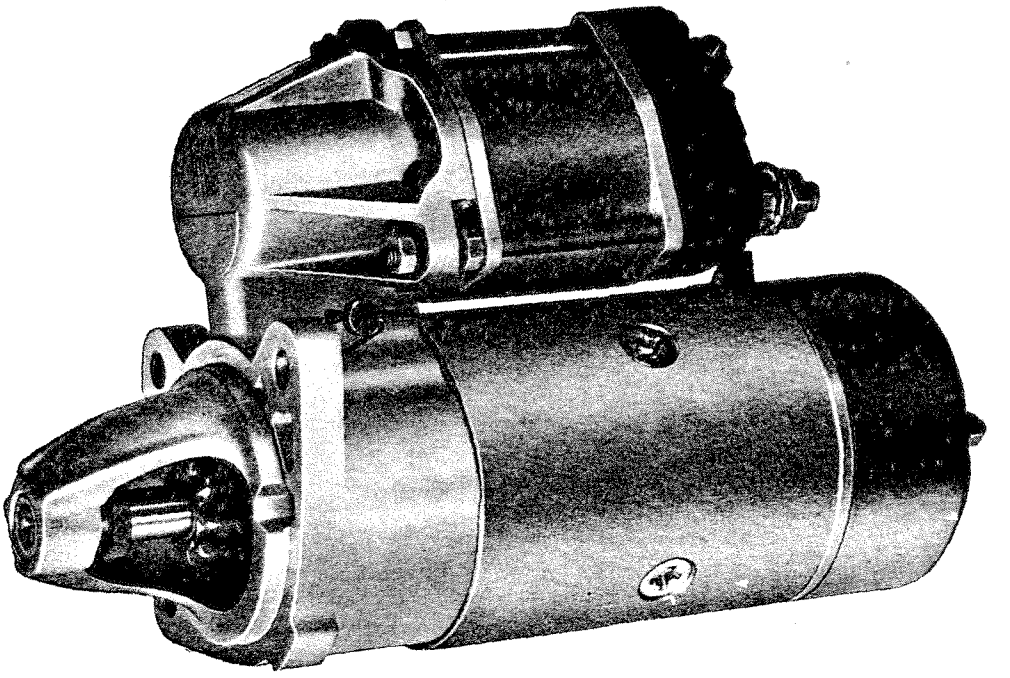
5. Estudio del motor de arranque



OBJETIVOS

— *Establecer la misión que cumple el motor de arranque en el equipo eléctrico del automóvil.*

— *Identificar al alumno con los diferentes tipos de motores existentes en el mercado y elementos constructivos de los mismos.*

— *Conocer el funcionamiento y sistemas de accionamiento en estos motores, para el arranque de los motores térmicos.*

— *Determinar las características eléctricas que definen un motor de arranque y ensayos de los mismos en el banco de pruebas.*

— *Analizar las averías que pueden producirse en estas máquinas y formas de corregirlas.*

EXPOSICION DEL TEMA

5.1 Objeto y misión del motor de arranque

Se sabe que los motores térmicos, una vez puestos en marcha, funcionan por sí solos a expensas de la energía interna producida por la combustión de la mezcla en sus cilindros, durante sus sucesivos ciclos de trabajo; pero para la puesta inicial en funcionamiento es necesario mover sus órganos de trabajo por medio de una *fuente auxiliar de energía,* acoplando al mismo un dispositivo capaz de mover dichos órganos. Esto se realiza en los vehículos por medio de un pequeño *motor eléctrico,* conocido con el nombre de *motor de arranque,* el cual suministra la energía necesaria para mover los órganos del motor térmico en su fase inicial de puesta en funcionamiento.

El motor de arranque actúa como elemento receptor o consumidor de corriente en el circuito eléctrico del automóvil, alimentándose de la corriente eléctrica que le proporciona la batería (fig. 5.1) y transformándola en movimiento mecánico de su eje, movimiento que se aprovecha para la puesta en funcionamiento del motor térmico. Actúa, por tanto, como un *transformador* de energía eléctrica que recibe en sus bornes en energía mecánica que se recoge en su eje, es decir actúa contrariamente a la dinamo; sin embargo, en cuanto a su construcción no difiere esencialmente de la dinamo.

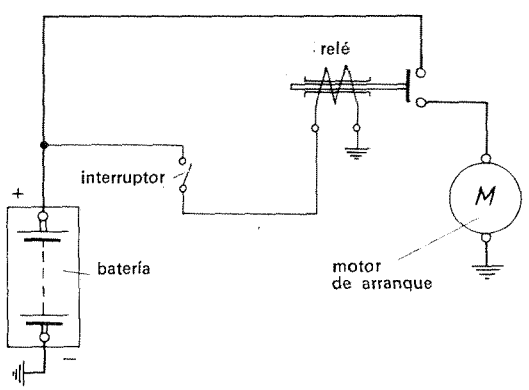


Fig. 5.1 Esquema del circuito de arranque.

La energía mecánica que hay que aplicar a los motores térmicos para su puesta en funcionamiento es muy elevada, ya que hay que vencer gran número de resistencias pasivas, como son la compresión de los cilindros, fricción de los segmentos, inercia del volante, viscosidad del aceite de engrase, etc.; resistencias variables que dependen del tipo de motor y temperatura del mismo en el momento de efectuar el arranque. Por estas razones el motor de arranque aplicado debe ser capaz de vencer todas estas resistencias pasivas, aplicando a su eje una gran potencia y par motor, lo que hace de él un elemento constructivo de características especiales, pues ha de tener una gran potencia, con unas dimensiones reducidas en cuanto a volumen y peso, ya que es un elemento más a incorporar al vehículo.

5.2 Principio de funcionamiento eléctrico

El funcionamiento del motor de arranque está basado en la fuerza de atracción y repulsión de dos campos magnéticos creados por una corriente eléctrica.

Por la teoría de los campos electromagnéticos se sabe que, si se hace circular una corriente eléctrica por una espira, se crea en ella un campo magnético cuyas líneas de fuerza circulan por el interior de la misma perpendicularmente al plano de la espira, y si ésta corriente es continua, el campo se polariza en ambas caras de la espira, determinando los polos norte (N) y sur (S) de la misma. Si la espira se coloca dentro de otro campo magnético (fig. 5.2), tenderá a colocarse de forma que las líneas de fuerza del campo entren por su cara sur y salgan por su cara norte, creándose en la espira un *par de rotación* que origina su movimiento, para colocar sus polos enfrentados con los polos de signo contrario del campo, ya que los polos de signo contrario se atraen y los del mismo signo se repelen.

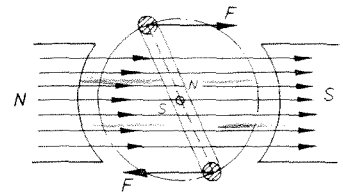


Fig. 5.2 Rotación de la espira.

Si se coloca esta espira sobre un núcleo magnético giratorio, llamado rotor, además de reforzar el campo creado en la espira, se facilita el movimiento de la misma, al estar situada sobre un elemento giratorio. El campo magnético así formado se sitúa dentro de un campo magnético estático (fig. 5.3), con lo cual el polo sur del rotor será atraído por el polo norte del estator, y al revés, produciéndose un par de rotación que origina el movimiento del rotor hasta colocar sus polos frente a frente con los de signo contrario del estator.

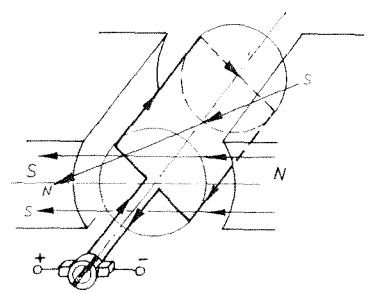


Fig. 5.3

Este movimiento de rotación cesa en el momento en que los polos se sitúan enfrentados por la fuerza de atracción de los mismos; pero si se coloca otra espira desfasada con respecto a la primera y conectadas ambas a las delgas opuestas del colector a través de las cuales se alimentan las espiras (fig. 5.4), al girar la primera espira para situarse frente a los polos de estator, también gira el colector; de este modo las escobillas dejan de alimentarla, pasando a alimentar la siguiente, creando en ella el campo magnético y par de rotación para hacerla girar, continuando así el movimiento del rotor.

En los motores (fig. 5.5A), con el fin de evitar que estos giros sean bruscos y poder obtener un movimiento de rotación más suave y regular, se disponen varias espiras repartidas por la periferia del rotor, ocupando las ranuras del tambor y uniendo los extremos de cada espira a dos delgas del colector; así cada espira es alimentada a través de las escobillas cuando coincidan con su delga correspondiente, la cual queda alimentada a su vez en serie con las bobinas estatóricas que crean el campo inductor.

En la figura 5.5B se muestra el diagrama de conexión de un motor de arranque.

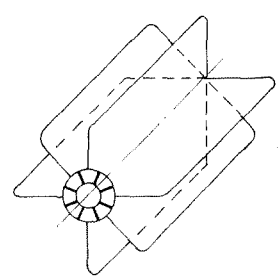
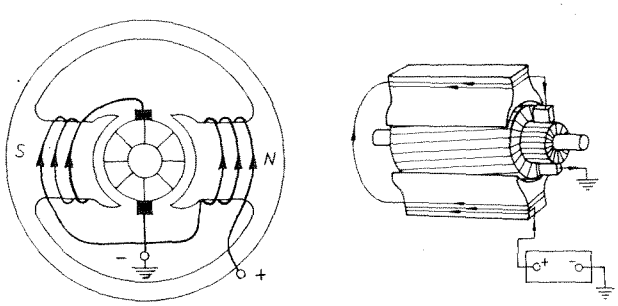


Fig. 5.4



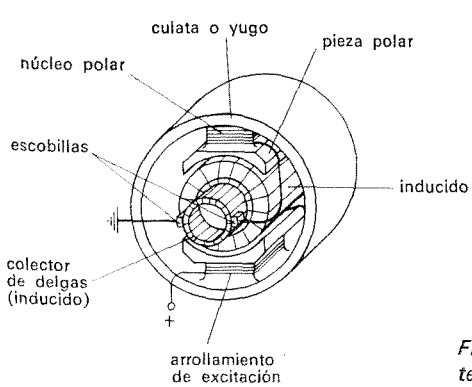


Fig. 5.5A Esquema y componentes del motor de arranque.

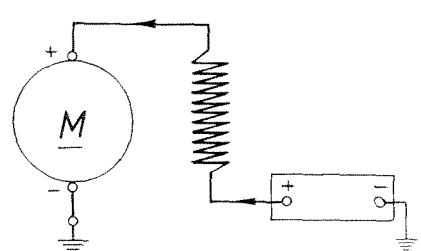


Fig. 5.5B Esquema de conexión de un motor de arranque.

5.3 Descripción y características de sus componentes

Los motores de arranque utilizados en *automoción* están constituidos (figura 5.6) por una serie de elementos formando subconjuntos o grupos funcionales; en ellos cada uno cumple una misión específica dentro del conjunto o elemento motor.

1 soporte lado accionamiento
2 horquilla de mando
3 relé de arranque
4 inductor
5 escobillas
6 soporte lado colector
7 carcasa
8 inducido
9 piñón

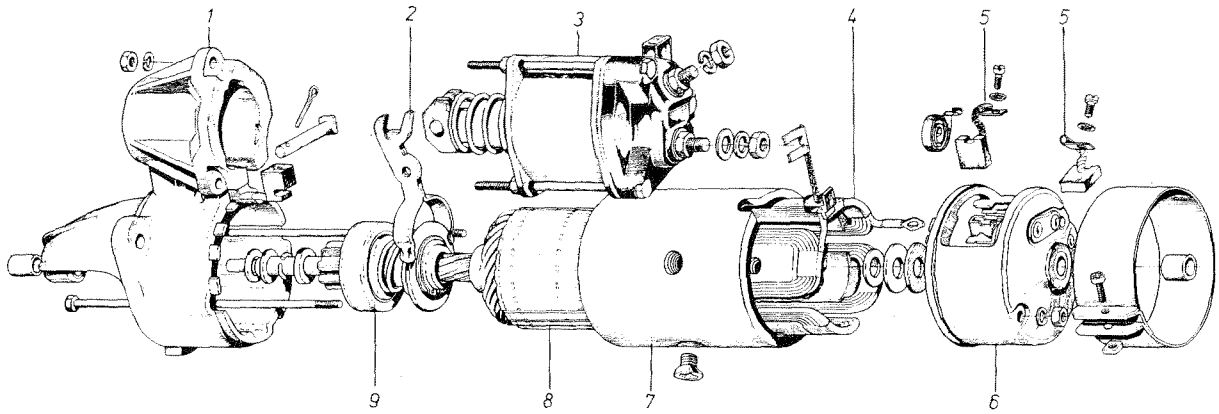
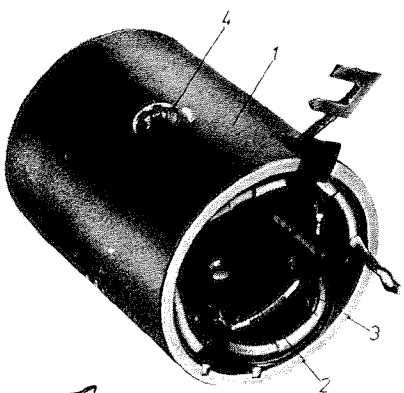


Fig. 5.6 Despiece del motor de arranque.

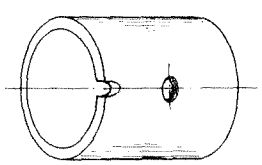
5.3.1 *Carcasa o cuerpo del motor*

Este elemento está formado (fig. 5.7) por un *cuerpo* (1) de acero de bajo contenido de carbono a través del cual se cierra el circuito magnético del campo inductor, formado en las *expansiones polares* (2) y creado por las *bobinas inductoras* (3), dentro del cual se mueve el inducido o rotor.

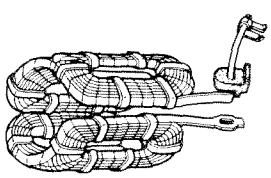
Las expansiones o masas polares son unos núcleos de acero suave en los cuales se forman los polos norte y sur del campo magnético del estator, van alojados en el interior de la carcasa y sujetos a la misma por unos *tornillos* (4) que se accionan desde el exterior. Alrededor de estos núcleos van montadas las bobinas inductoras, formadas de pletina de cobre con sección rectangular aisladas entre sí y con respecto a masa, las cuales, al ser recorridas por una corriente eléctrica procedente de la batería, crean el campo magnético en las masas polares.



masa polar



carcasa



bobinas inductoras

Fig. 5.7 Despiece y conjunto inductor.

5.3.2 *Rotor o inducido*

El *rotor o inducido* (fig. 5.8A y B) está formado por un eje (1) en el que se encuentra montado un cilindro (2) formado por la unión de chapas magnéticas ranuradas en forma de estrella, de una forma similar a las utilizadas en la dinamo (fig. 2.2A), las cuales en su unión forman las ranuras (3) donde se alojan las espiras (4) que integran el campo magnético rotórico. Estas espiras, al igual que las inductoras, son de gran reacción y están formadas de pletina de cobre, aisladas entre sí y con respecto al cilindro, las cuales se unen con soldadura blanda a las delgas del colector (5).

El *colector*, montado en uno de los lados del eje, está formado (fig. 5.8D) por laminillas de cobre aisladas sobre un soporte aislante, que constituyen las delgas del mismo, a las cuales se unen los conductores del rotor, y sobre las que rozan las escobillas (fig. 5.9) a través de las cuales se alimenta el motor.

En el otro lado del eje, y según el tipo de motor, se encuentran talladas unas estrías (fig. 5.8A) en forma helicoidal, por las cuales se desliza el mecanismo de arrastre, o pueden llevar tallado un piñón (6) (fig. 5.8B) que forma el elemento central o planetario del tren epicicloidal de los motores con reductora, adecuado al par que se exige al motor.

5.3.3 *Soporte lado colector*

Esta tapa o soporte (fig. 5.9) cierra por uno de los lados al conjunto motor y sirve de soporte al eje del inducido, el cual se apoya en un cojinete de bronce sinterizado (4) para realizar su giro.

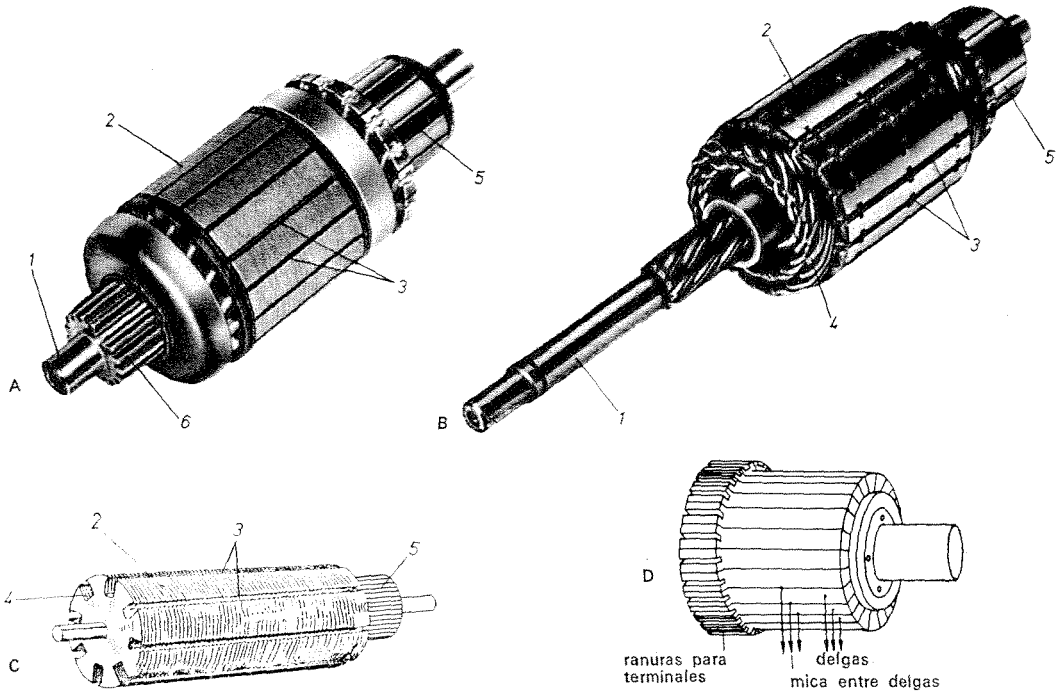


Fig. 5.8 Rotor o inducido: A, *para motores con reductora;* B, *para motores convencionales;* C, *cilindro o núcleo;* D, *detalle del colector.*

En esta tapa soporte (1) van montados los *portaescobillas* (2), uno aislado y el otro conectado a masa, sobre los que se deslizan dos o cuatro escobillas (3) de carbón grafitado, con la suficiente sección para permitir el paso de la gran corriente que absorbe el motor a través de ellas. La correcta presión de contacto de las escobillas contra el colector la garantizan unos muelles empujadores montados en el interior de los portaescobillas y que presionan sobre las mismas.

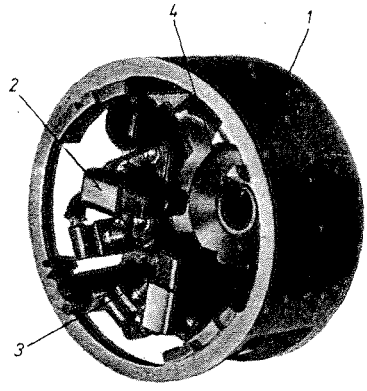


Fig. 5.9 Tapa lado colector.

5.3.4 *Soporte lado accionamiento*

Esta pieza obtenida por fundición en acero o en aluminio (fig. 5.10) sirve de cierre por el otro lado al conjunto, y lleva montado un casquillo de bronce sinterizado (1) sobre el que se apoya el eje del rotor para su giro.

Dispone de un alojamiento (2) para acoplar a ella el contactor o relé de mando y una brida con dos taladros (3) para fijar el conjunto al motor térmico. Dispone también de una zona mecanizada (4) para su acoplamiento al vehículo.

En los motores con reductor (fig. 5.10B), este soporte lleva un rebaje mecanizado (5) para el alojamiento del soporte intermedio-corona del conjunto reductor.

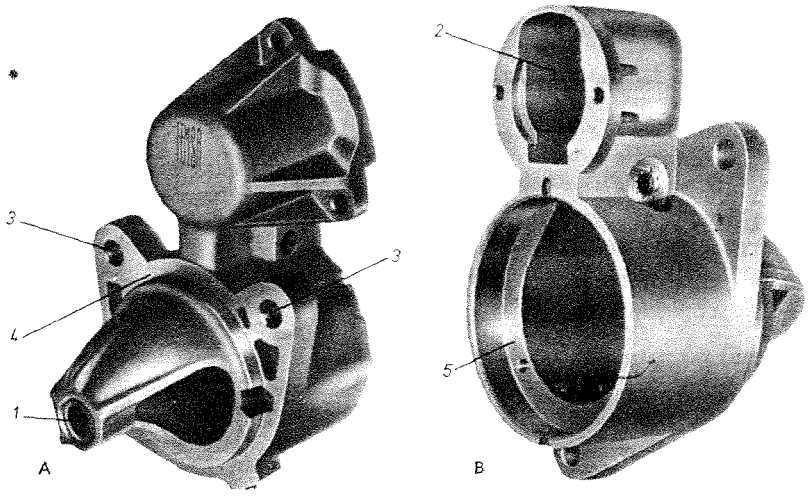


Fig. 5.10 Soporte lado accionamiento: A, *para motores convencionales;* B, *para motores con reductora.*

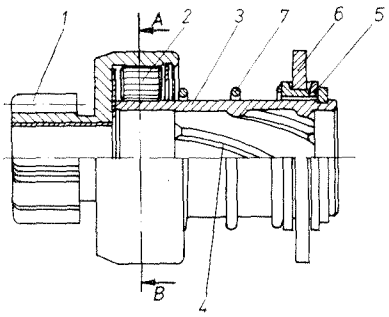


Fig. 5.12A Mecanismo de arrastre.

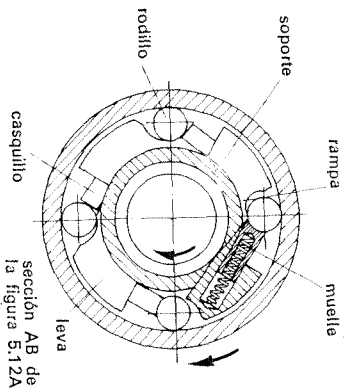


Fig. 5.12B Mecanismo de rueda libre.

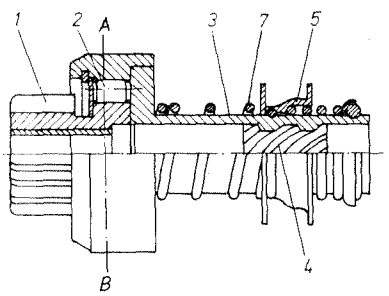


Fig. 5.13A Mecanismo de arrastre de leva invertida.

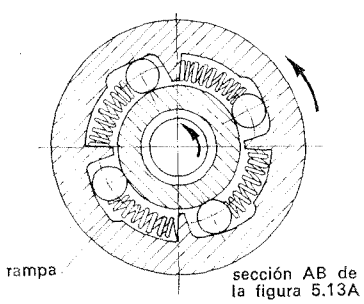
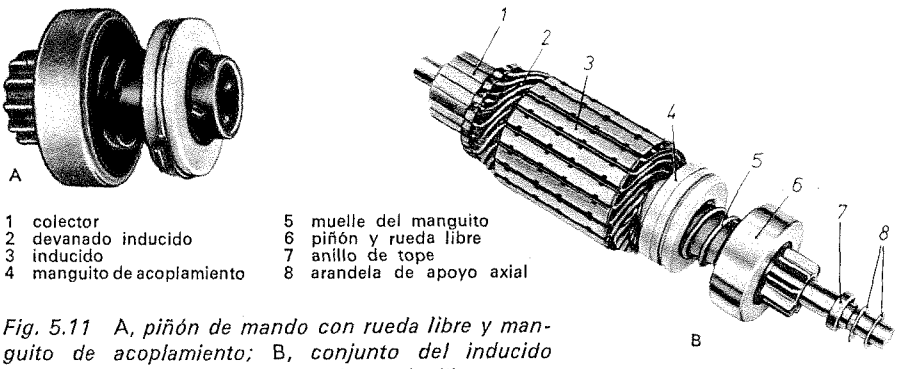


Fig. 5.13B Rueda libre con las rampas de anclaje en el interior del soporte.

5.3.5 *Mecanismo de arrastre*

Este conjunto formado por un piñón de mando (1) y un mecanismo de arrastre (fig. 5.11) tiene la misión de *transmitir* el movimiento del rotor del motor de arranque a la corona del motor térmico e impedir que en el movimiento del arranque, o puesta en funcionamiento del motor éste arrastre al piñón y órganos móviles del motor de arranque.



1 colector
2 devanado inducido
3 inducido
4 manguito de acoplamiento
5 muelle del manguito
6 piñón y rueda libre
7 anillo de tope
8 arandela de apoyo axial

Fig. 5.11 A, piñón de mando con rueda libre y manguito de acoplamiento; B, conjunto del inducido completado con el dispositivo de rueda libre.

Si el piñón estuviera engranado constantemente a la corona, debido a la gran reducción de transmisión que existe entre ambos (1/8 a 1/15), al arrancar el motor térmico el inducido o rotor sería arrastrado a velocidades excesivas que producirían su total destrucción por centrifugación, tanto del colector como de los conductores del tambor. Por este motivo, es preciso que el engrane sólo se realice en el momento de efectuar el arranque y quede desacoplado una vez puesto en marcha, para que no sea arrastrado por la corona del motor térmico.

Sistemas de desplazamiento del piñón. Según el sistema empleado para acoplar el piñón *bendix* a la corona, existen dos tipos de mecanismos de arrastre, uno cuyo desplazamiento se realiza por medio de una horquilla y palanca accionada por el relé de mando, y otro cuyo acoplamiento se realiza al desplazarse el piñón en su eje, por efecto de inercia.

5.3.5.1 *Mecanismo de engrane por horquilla*

Este mecanismo empleado en la mayoría de los motores de arranque, está constituido esencialmente (figs. 5.11 y 5.12A) por un piñón (1), generalmente de nueve dientes, montado a través de un casquillo en el eje del rotor y solidario a un mecanismo de rueda libre (2), con enclavamiento por rodillos (figura 5.12B). Este mecanismo de rueda libre va montado sobre un eje soporte de levas (3), que dispone en su interior unos canales en hélice (4) para su desplazamiento por las estrías del eje del rotor, o por el eje soporte intermedio, según el tipo empleado. Sobre este eje va montado un casquillo polea (5) para el acoplamiento de la horquilla de mando (6) y un muelle de compresión (7) montado coaxialmente con el eje soporte levas.

Según la disposición de las rampas de anclaje en la rueda libre, existen varios tipos de mecanismo de arrastre, entre los que se pueden destacar los siguientes:

— *Conjunto piñón de campana* (fig. 5.12A). Empleado para motores de tipo convencional, el cual lleva las rampas de anclaje (fig. 5.12B) talladas en la zona exterior del soporte (3).

— *Conjunto piñón de leva invertida* (fig. 5.13A). Empleado para motores de tipo convencional, el cual lleva las rampas de anclaje (fig. 5.13B) talladas en la zona interior del soporte.

— *Conjunto piñón de leva invertida* (fig. 5.14). Empleado para motores con reductora, también con las rampas de anclaje talladas en la zona interior del soporte (3).

— *Conjunto piñón de leva invertida* (fig. 5.15A). Empleado para motores con reductora y soporte intermedio (8), el cual dispone en su exterior

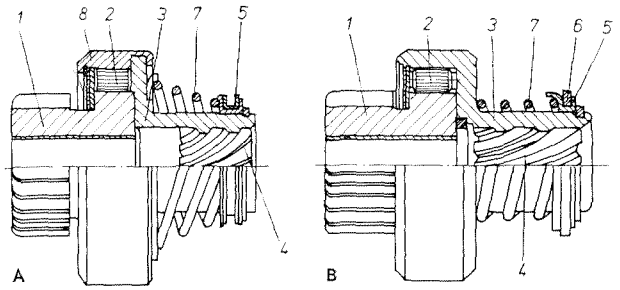


Fig. 5.14 Conjunto piñón de leva invertida para motores con reductora: A, con pieza postiza (8) adaptada al soporte y muelle de prisión cónico; B, con muelle cilíndrico.

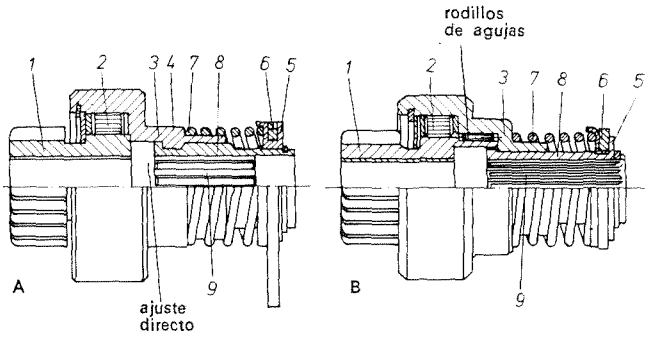


Fig. 5.15 Conjunto piñón de leva invertida y soporte intermedio para motores con reductora: A, giro directo; B, giro por medio de rodillo de agujas.

unas estrías helicoidales (4) por las cuales se desplaza el soporte intermedio (3), y unas acanaladuras rectas (9) en el interior para deslizarse por el eje del inducido. La figura 5.15B representa un mecanismo de arrastre, con la variante respecto al anterior, de ir guiado por medio de rodillos de agujas y de no llevar las estrías helicoidales.

5.3.5.2 *Mecanismo de engrane por inercia*

Este mecanismo (fig. 5.16) suele montarse en algunos motores de tipo convencional y está formado por un piñón (1), con unas estrías interiores en hélice (2), el cual va montado sobre un casquillo (3) tallado exteriormente en hélice, para acoplarse al piñón, y unos canales rectos (4) en su interior para poderse acoplar y deslizar axialmente sobre el eje del rotor; mantiene su posición de reposo sobre el mismo por medio del muelle de compresión (5) y del muelle de recuperación (6).

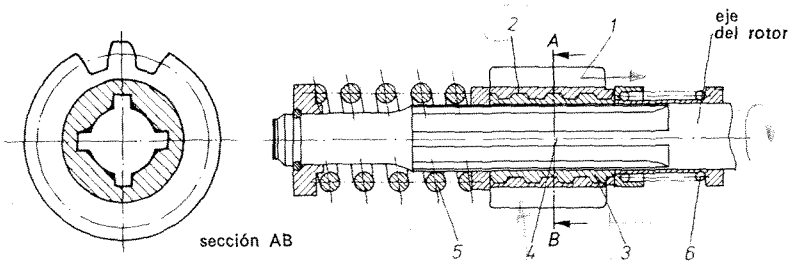


Fig. 5.16 Mecanismo de engrane por inercia.

5.3.6 *Relé de arranque*

Este elemento de mando (fig. 5.17) incorporado al *circuito eléctrico* del motor de arranque, intercalado entre la batería y el motor de arranque (fig. 5.1) como interruptor, cumple la misión de cerrar el circuito del motor para su funcionamiento eléctrico.

En los motores de arranque que realizan su engrane por inercia, este elemento es independiente del motor, cumpliendo su misión *únicamente como interruptor.* En los motores que realizan su engrane por horquilla, el *relé* va incorporado directamente al motor, acoplado en la *tapa lado accionamiento* y cumple la doble misión de poner el *motor en circuito* y *desplazar el mecanismo de arrastre* para acoplar el piñón del motor de arranque a la corona del motor térmico del vehículo.

El conjunto del relé se ve en la figura 5.18A; está formado por un electroimán con uno o dos arrollamientos de hilo de cobre aislado, con muchas espiras de hilo fino (1), los cuales se alimentan directamente de la batería a través de una de las posiciones del interruptor de encendido (fig. 5.1). Por el interior del solenoide se desplaza un núcleo móvil (2), el cual lleva en uno de sus extremos (3) el contacto de cierre de los bornes (5) del interruptor, y por el otro extremo, en los relés incorporados, una escuadra de arrastre (4) para acoplamiento de la horquilla de mando.

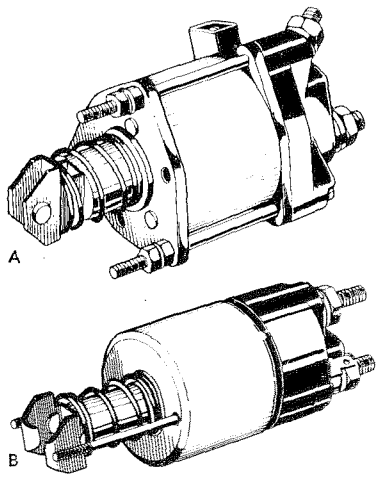
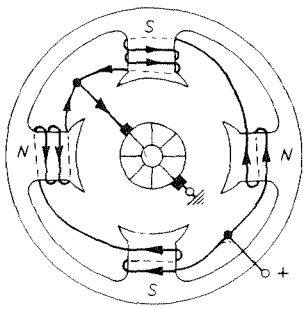


Fig. 5.17 Relés de arranque: A, para motores convencionales; B, para motores con reductora.



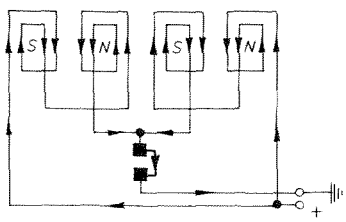


Fig. 5.19 Máquina tetrapolar con dos circuitos serie en paralelo, dos escobillas, una de ellas a masa.

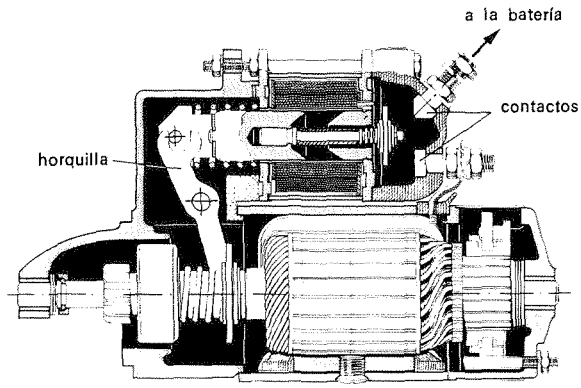


Fig. 5.18A Motor de arranque convencional con mando por horquilla.

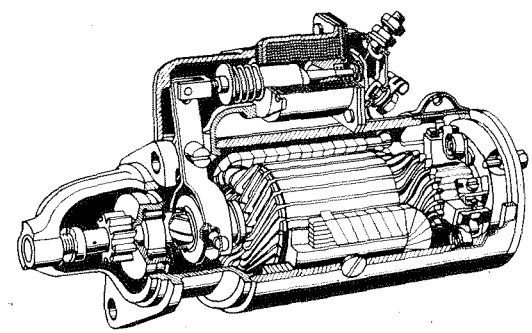


Fig. 5.18B Motor de arranque convencional.

5.4 Tipos de motores

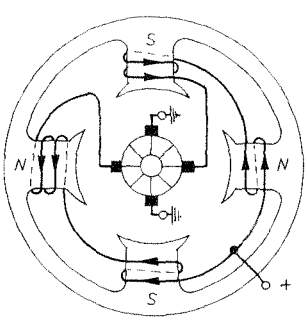
El esfuerzo que debe realizar un motor de arranque para poner en marcha el motor térmico, es muy elevado, particularmente al iniciarse el movimiento, ya que su resistencia es considerable. Esta necesidad de que el motor de arranque sea capaz de producir ese gran par motor y conseguir arrastrar al motor térmico hasta la velocidad de puesta en funcionamiento, determina la potencia del motor de arranque, así como la capacidad de la batería que ha de proporcionarle la corriente necesaria para su funcionamiento.

Los motores de arranque no cambian esencialmente en cuanto a su configuración general, solamente en cuanto a su tamaño y disposición de sus elementos, que estarán en función de la potencia que se quiere conseguir.

Para aumentar la potencia en los motores de arranque, se disponen en su circuito inductor mayor número de masas polares, con lo cual se aumenta el campo magnético y fuerza de atracción en el mismo, para producir el giro. Según el número de expansiones polares que lleve la máquina, los motores pueden ser *bipolares, tetrapolares* o *hexapolares,* siendo los más utilizados en automoción los tetrapolares.

Según las características constructivas de los mismos, los motores de arranque pueden ser de tres tipos:

— Motores convencionales.
— Motores de arranque con inductora.
— Motores con inducido deslizante.



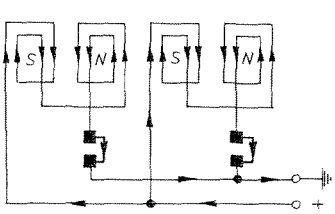


Fig. 5.20 Máquina tetrapolar con dos circuitos serie en paralelo, cuatro escobillas, dos de ellas a masa.

5.4.1 *Motores convencionales*

Estos motores de arranque (fig. 5.18A y B) se utilizan en motores de gasolina y Diesel para pequeña y mediana potencia. Están formados por dos o cuatro polos en su circuito inductor, con sus bobinas en serie o en serie-paralelo y alimentadas por corriente continua a través de dos o cuatro escobillas (figuras 5.19 a 5.21).

El sistema de arrastre va montado directamente sobre el eje del inducido y suele llevar el relé de mando incorporado. En la figura 15.18B se presenta un motor de arranque semejante al anterior dibujado en perspectiva para que se aprecien mejor cada una de sus partes.

5.4.2 *Motores de arranque con reductora*

Estos motores (fig. 5.22) se utilizan generalmente para motores Diesel en mediana y gran potencia. Su circuito inductor está formado por 4 ó 6 polos, con sus bobinas en serie-paralelo, alimentadas por corriente continua a través de 4 ó 6 escobillas (fig. 5.20 a 5.23).

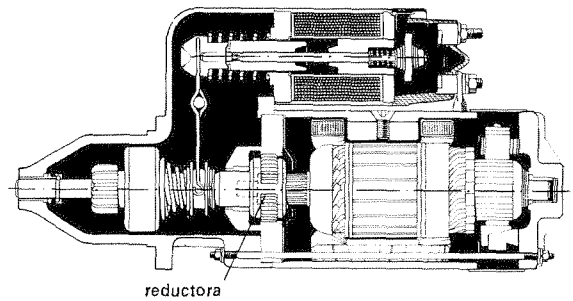
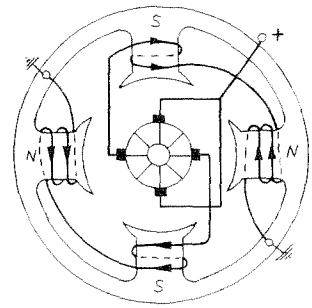


Fig. 5.22 Motor de arranque con reductora y mando por horquilla.



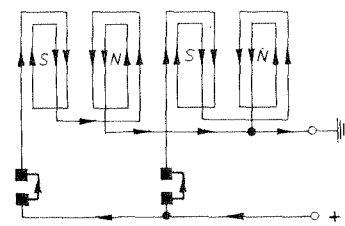


Fig. 5.21 Máquina tetrapolar con dos circuitos serie en paralelo, cuatro escobillas, recibiendo la corriente por ellas.

5.4.2.1 *Características*

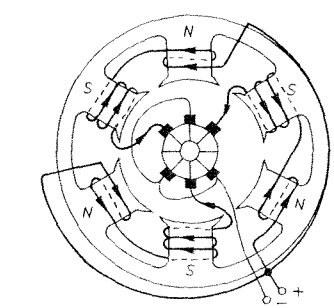
La característica principal de este motor consiste en que el inducido no arrastra directamente el conjunto piñón, sino a través de un dispositivo de reducción de velocidad que permite aumentar las revoluciones del motor, obteniendo así un mayor par de lanzamiento en el piñón, para efectuar mejor el arranque del motor térmico. Con este dispositivo de reducción se obtiene una mayor relación potencia/peso, permitiendo unas menores dimensiones del motor para una misma potencia.

5.4.2.2 *Reductor*

El dispositivo está basado en un tren de engranajes *epicicloides* (fig. 5.24C), formado por un soporte intermedio o corona (1) (fig. 5.24A) fija a la carcasa del motor, la cual lleva un dentado interior sobre el que ruedan los piñones satélites (2) del eje de mando (3); éste se apoya en el interior del soporte corona a través de un casquillo sinterizado (4) para realizar su giro.

El eje portasatélites (3) o eje de mando (fig. 5.24B) lleva montados tres piñones o satélites (2) que pueden girar libremente en sus respectivos ejes, los cuales, al girar sobre la corona impulsados por el piñón (5) tallado en el rotor, sirven de reducción intermedia entre la corona (1) y el piñón conductor (5).

En el interior del eje portasatélites va montado un cojinete de agujas sobre el que se apoya el eje del rotor, y en el exterior va tallado en hélice, o con estrías rectas, según que el mecanismo de arrastre acoplado sea con soporte intermedio o sin él.



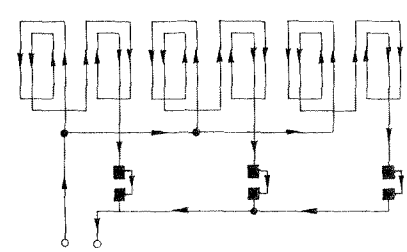


Fig. 5.23 Máquina hexapolar, con tres circuitos serie en paralelo, seis escobillas, tres de ellas a masa.

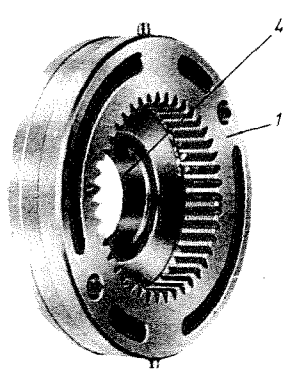


Fig. 5.24A Soporte corona.

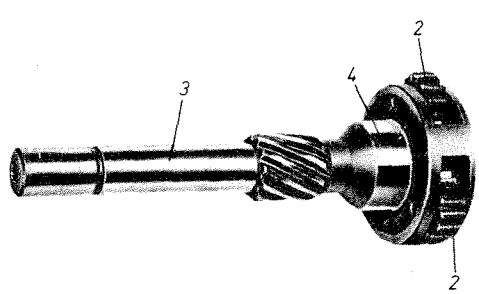


Fig. 5.24B Eje portasatélites.

5.4.2.3 *Reductor con sistema de frenado*

Dentro de este tipo de motores existe una variante que incluye en su sistema de reducción un sistema de frenado para reducir al máximo el tiempo de parada del rotor, una vez efectuado el arranque del motor térmico.

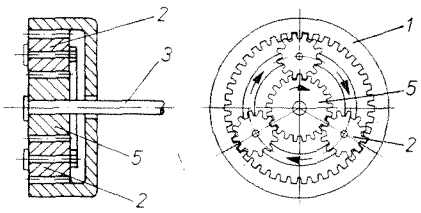
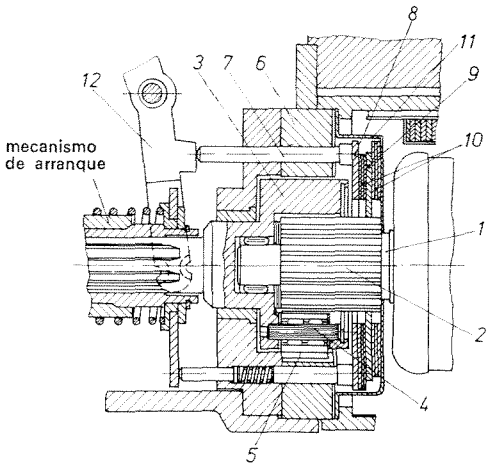


Fig. 5.24C Reductor de engranajes por satélite.

Este dispositivo de frenado consiste (fig. 5.25) en intercalar unos ferodos, o discos de embrague (10), entre dos discos metálicos (8 y 9), unidos uno de ellos (9) al piñón del rotor (2) y el otro (8) al perno (7) de la corona (6) del tren epicicloidal, de forma que, cuando el mecanismo de arrastre es impulsado hacia su acoplamiento por la acción de la horquilla (12), los discos y ferodos quedan liberados y no ejercen su función de frenado; pero, al retroceder la horquilla de mando (12), empuja a través de unos pernos (7) al disco (8) contra el disco (9), oprimiendo entre ellos los ferodos o zapatas de freno (10) contra la tapa (1), impidiendo por tanto que el rotor siga girando.



1 rotor
2 piñón de mando
3 soporte
4 eje satélites
5 satélite
6 corona
7 perno de empuje del freno
8 disco unido al perno deslizante de la corona
9 disco deslizante acoplado al piñón de mando
10 ferodos o discos de embrague
11 tapa tope
12 horquilla

Fig. 5.25 Detalle del sistema de frenado.

5.4.3 *Motores de arranque con inducido deslizante*

Estos motores diseñados por la casa Bosch, aplicados generalmente para motores Diesel de mediana y gran potencia (fig. 5.26A), se caracterizan por la forma de realizar el acoplamiento del piñón con la corona, el cual se efectúa por desplazamiento axial del inducido, dentro de su campo magnético de excitación, para lo cual disponen además del arrollamiento inductor en serie (11) (fig. 5.26B), un arrollamiento auxiliar (12) y un arrollamiento de retención (13), necesitando para ello acoplar un colector (6) más largo.

La puesta en funcionamiento de estos motores, se realiza por medio de un relé electromagnético especial (1), montado en el interior del motor, el cual es alimentado como en los relés tradicionales, a través del interruptor de arranque (15) situado generalmente en la llave de contacto. Estos relés llevan un conmutador de doble contacto basculante (2) el cual actúa en dos etapas para la puesta en funcionamiento del motor de arranque. El conjunto va montado sobre el lado colector y cerrado por una tapa o caperuza que impide la entrada de polvo al interior, protegiendo los contactos del mismo.

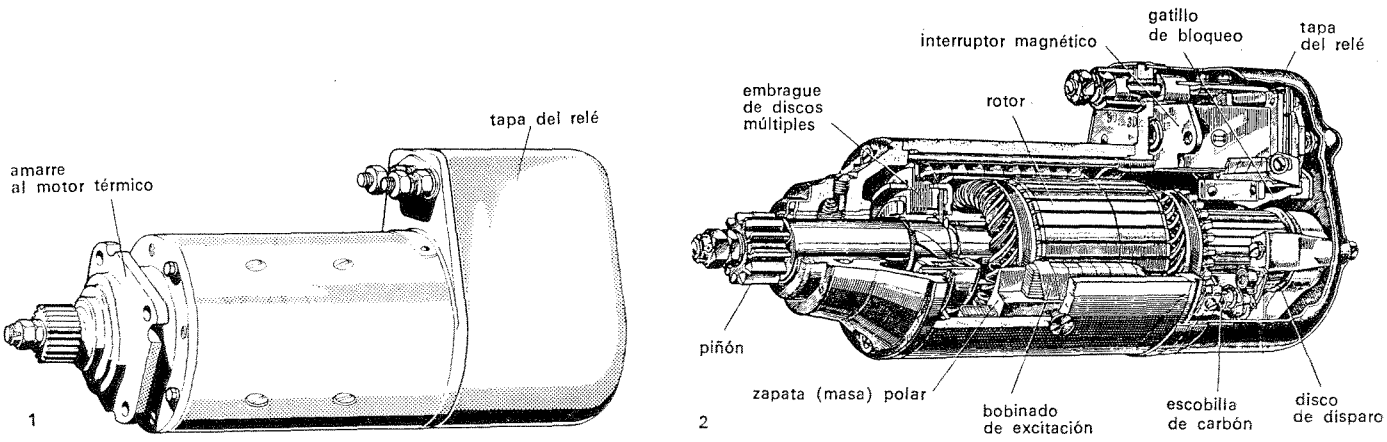


Fig. 5.26A Motor de arranque con inducido deslizante: 1, aspecto exterior; 2, sección parcial.

1 relé de arranque
2 contactos basculantes
3 gatillo o leva de disparo
4 muelle de retorno
5 disco de disparo
6 colector
7 inducido
8 masas polares
9 piñón
10 corona
11 arrollamiento principal
12 arrollamiento auxiliar
13 arrollamiento de retención
14 batería
15 interruptor de arranque
16 y 17 contactos fijos

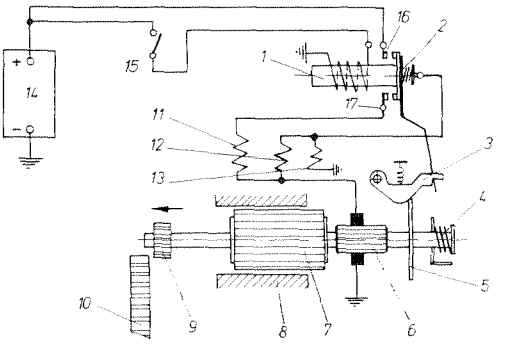


Fig. 5.26B Esquema interno del motor de arranque con inducido deslizante.

5.4.3.1 *Motor de arranque con desplazamiento por dispositivo de embrague*

Entre el eje del inducido (1) y piñón de arrastre (2) (fig. 5.27A), se halla intercalado un acoplamiento elástico a base de discos de fricción (3), para que la unión entre el piñón y el eje del inducido se realice suavemente de una forma progresiva, el cual actúa a su vez, como mecanismo de rueda libre. El dispositivo de embrague, dispone además de un seguro contra sobrecargas, a base de unas arandelas elásticas (4) en contacto con el anillo de presión (5), las cuales limitan la presión sobre los discos de embrague, cuando el par a transmitir por el motor es grande y un resorte de muelle (6), situado entre el eje del inducido y el sin fin del piñón (7), el cual efectúa el retroceso del mismo a su posición de reposo, cuando cesa la alimentación en el motor de arranque.

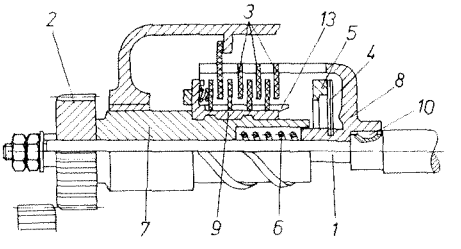


Fig. 5.27A Dispositivo de embrague en un motor de arranque.

Los discos de embrague (3), van dispuestos sobre la caja de embrague (8) montada fija en el eje del inducido (1) por medio de la chaveta (10) y sobre la tuerca deslizante (9) roscada sobre las estrías del sin fin (7), de forma que puedan desplazarse axialmente, pero no girar libremente, para lo cual van montadas en un cajeado (figs. 5.27B y 5.27C) practicado longitudinalmente en estos elementos, estando por tanto sometidos solamente al giro de los mismos.

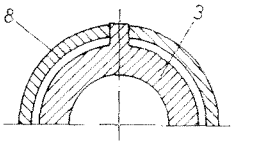


Fig. 5.27B

En el momento de acoplamiento del piñón a la corona, al ser detenido el piñón por efecto del par resistente que opone la corona, el eje del inducido que sigue girando, hace desplazar a la tuerca (9) sobre las estrías del sin fin (7) hacia el interior del motor de arranque, efectuándose el acoplamiento entre los discos de embrague con una presión progresiva, de forma que al entrar en funcionamiento el arrollamiento principal del motor, la fuerza del eje a través de la caja de embrague (8) se transmite por entero al piñón.

El seguro contra sobrecargas, actúa de forma que cuando el embrague está totalmente acoplado, para transmitir el movimiento del piñón a la corona, si por efecto de una sobrecarga en el piñón éste es parcialmente retenido, la tuerca (9) se desliza avanzando sobre el sin fin (7) y el tope (13) situado en la misma (fig. 5.27D), empuja a las arandelas elásticas (4) deformándolas, las cuales al presionar sobre la caja de embrague (8) limitan la presión sobre los discos (3) y por tanto la transmisión.

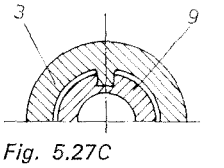


Fig. 5.27C

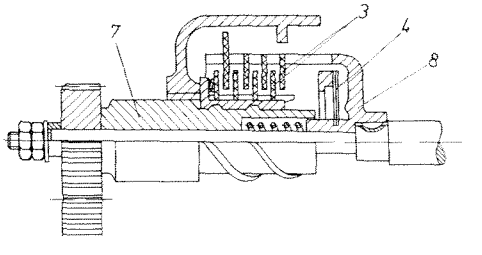


Fig. 5.27D Dispositivo de embrague.

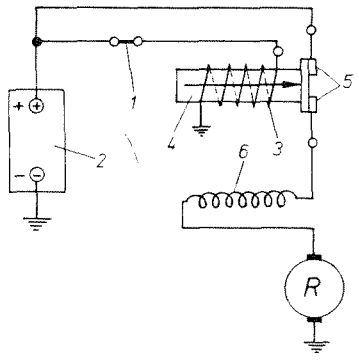


Fig. 5.28A Esquema de un motor con engrane por inercia.

5.5 Funcionamiento del motor de arranque

El funcionamiento eléctrico de estos motores en cuanto a su puesta en marcha en servicio es idéntica para todos ellos, cambiando solamente la forma de realizar el acoplamiento con la corona del motor térmico, según el tipo de mecanismo de arrastre empleado.

5.5.1 *Motores de arranque con engrane por inercia*

Al cerrar el interruptor (1) de puesta en marcha (fig. 5.28A) la corriente procedente de la batería (2) alimenta la bobina (3) del relé, la cual crea en su interior un campo magnético que hace desplazar en la dirección de sus líneas de fuerza el núcleo móvil (4), situado en el interior de la bobina, el cual cierra los contactos de alimentación (5) a los arrollamientos del motor (6).

Cuando el eje (1) del rotor se pone en movimiento (fig. 5.28B), el piñón (2) situado en el eje se desplaza, debido a la inercia sobre la hélice del casquillo (3), hasta engranar con la corona del motor térmico.

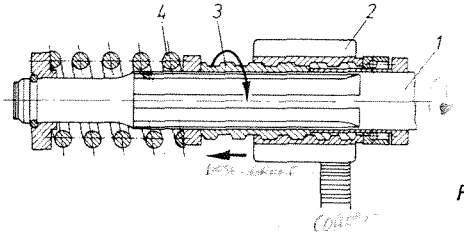


Fig. 5.28B

Al realizarse el acoplamiento (fig. 5.28B), el piñón es frenado en su giro, debido a la resistencia que opone el motor térmico a ser movido, lo cual hace que el casquillo (3) que sigue girando arrastrado por el eje (1) del inducido se desplace por efecto de su hélice, comprimiendo el muelle de compresión (4); éste, una vez igualadas las velocidades entre piñón e inducido, se recupera. Esta posibilidad de desplazamiento en el casquillo de arrastre evita que el esfuerzo de frenado inicial, hasta producir el movimiento de la corona del motor térmico, se transmita al inducido, lo cual ocasionaría una gran resistencia interna que, al transformarse en calor, destruiría los conductores de los arrollamientos.

Puesto en marcha el motor térmico, al ser arrastrado el piñón a mayor velocidad que el inducido, retrocede en su hélice, produciendo el desengrane. El muelle de recuperación evita que el piñón, en posición de reposo, pueda desplazarse y rozar con la corona.

5.5.2 *Motor de arranque con engrane por horquilla*

En este motor, cuyo funcionamiento del relé es idéntico al anterior, al desplazarse el núcleo (4) (fig. 5.29) por el interior de las bobinas (3A y 3B), realiza dos funciones consecutivas: una, *cerrar los contactos* (5) de paso de corriente al motor; y la otra, *desplazar el mecanismo de arrastre* (7), para acoplar el piñón (8) a la corona (9) del motor térmico.

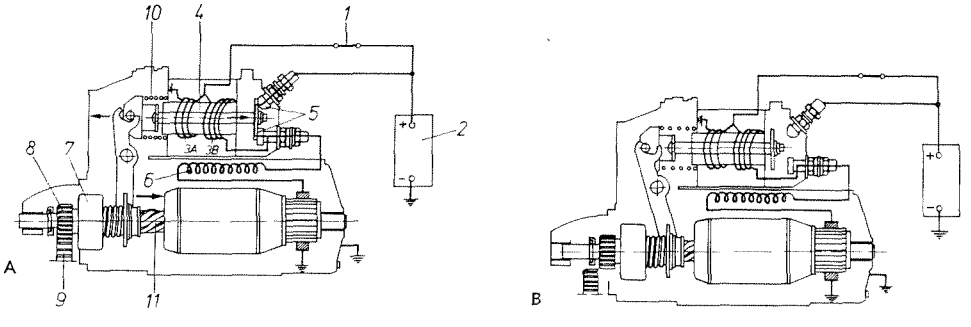


Fig. 5.29 Puesta en funcionamiento y desplazamiento del piñón: A, *en posición de arranque;* B, *en posición de desembrague.*

5.5.2.1 *Conexión de arranque*

Este relé, generalmente con doble arrollamiento en su bobina (fig. 5.29), lleva uno de ellos, *arrollamiento de retención* (3A), conectado a masa, y el otro, *arrollamiento de accionamiento* (3B), conectado en paralelo con los contactos del relé. Cuando se acciona el interruptor de puesta en marcha (1), la corriente que pasa por ambos arrollamientos suma su acción en la creación del campo magnético; pero, al cerrarse los contactos principales, (5) el arrollamiento de accionamiento (3B) queda cortocircuitado y por tanto anulado, y la bobina del motor de arranque (6) queda inducida bajo la acción del arrollamiento de retención (3A), haciendo girar al eje (11) del inducido y desplazando el piñón (8) hasta la posición fija de la corona (9).

Cuando el piñón ha engranado con la corona, el movimiento del rotor se transmite al piñón a través del enclavamiento de los rodillos de la rueda libre (figs. 5.12 y 5.13); pero, cuando el motor térmico se ha puesto en funcionamiento, al arrastrar la corona el piñón, y debido a su mayor velocidad, éste gira libremente, al quedar desenclavados los rodillos en su sistema de rueda libre.

5.5.2.2 *Posición de desengrane*

Una vez arrancado el motor térmico, (fig. 5.29) al suprimir la alimentación al relé, el muelle de recuperación (10) del mismo hace retroceder el núcleo (4) y, por tanto, el mecanismo de arrastre (7), hasta su posición de reposo, con lo cual se produce el desengrane del piñón con la corona.

5.5.3 *Funcionamiento del motor con inducido deslizante*

En su posición de reposo (fig. ~~5.26B~~ 5.30A), el inducido (7) de estos motores por la acción del muelle (4) situado entre el eje del inducido y la placa soporte (16), se encuentra desplazado del campo magnético de sus masas polares (8), quedando el piñón (9) separado de la corona del motor térmico.

5.5.3.1 *Proceso de conexión para conseguir la puesta en posición de arranque*

— *Primera etapa.* Cuando se cierra el interruptor de arranque (15) para alimentar el relé (1), éste cierra en primer lugar el contacto que alimenta el arrollamiento auxiliar (12) y al de retención (13) (fig. 5.30A), con lo cual en esta primera etapa o fase de funcionamiento, el inducido (7) es atraído hacia el campo magnético creado en las masas polares (8) por estos dos arrollamientos auxiliares (razón por la que estos motores necesitan un colector (6) más largo). Este desplazamiento del inducido hace engranar suavemente el piñón (9) con la corona (10), protegiendo los dientes de ambos elementos contra acoplamientos bruscos, ya que el giro del inducido es lento y sin fuerza, debido al pequeño campo magnético creado por el circuito auxiliar en las masas polares (8).

— *Segunda etapa.* Simultáneamente al desplazamiento del inducido, el disco de disparo (5) hace bascular al gatillo (3) del relé (fig. 5.30B) cerrándose un segundo contacto (17), que alimenta al arrollamiento principal del motor (11), el cual en esta segunda etapa o fase de funcionamiento, desarrolla toda su potencia y par de arranque, para mover la corona del motor térmico.

Una vez arrancado el motor térmico, éste hace girar al piñón a gran velocidad, con lo cual la intensidad de excitación se reduce tanto (ver apartado 5.6.2)

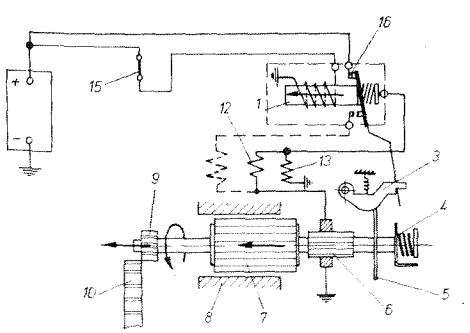


Fig. 5.30A Funcionamiento en primera etapa.

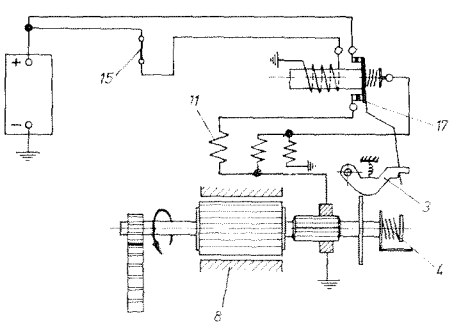


Fig. 5.30B Funcionamiento en segunda etapa.

que disminuye el campo magnético creado sobre las masas polares (8), haciendo que la velocidad de giro y presión del eje sobre los discos de embrague disminuya, quedando desacoplados y cortando la transmisión al piñón, hasta la interrupción de corriente al motor en el interruptor (15). Al quedar sin corriente de alimentación el motor, el muelle (4) hace retroceder al inducido hasta su posición de reposo, levantando el gatillo (3) del relé, que queda dispuesto para un nuevo arranque.

5.6 Características eléctricas del motor de arranque

Las *características eléctricas* de un motor de arranque vienen determinadas por la *tensión nominal,* o tensión de alimentación a la cual debe funcionar, y la *potencia nominal* y *potencia máxima absorbida* por el motor de arranque, en función de las cuales se determina la tensión en bornes y capacidad de la batería que se debe acoplar.

No toda la potencia absorbida por el motor de arranque se transforma en energía mecánica, ya que parte de ella se pierde en el circuito exterior y otra parte es consumida por su circuito interno, debido a rozamientos mecánicos de la propia máquina en movimiento y a la reacción del inducido, quedando una potencia útil muy reducida, la cual debe ser capaz de mover y poner en funcionamiento los órganos del motor térmico. Por tanto, la potencia mínima de un motor de arranque deberá ser igual a la necesaria para arrancar el motor térmico, más la consumida por el propio motor de arranque.

$$\boxed{W = W_v + W_a} \qquad [5.1A]$$

donde:

W = potencia mínima del motor
W_v = potencia para arrancar el motor térmico
W_a = potencia consumida por el motor al arranque

La potencia necesaria para arrancar el motor térmico estará en función de las características del mismo, la cual oscila según el tipo de vehículo, quedando comprendida dentro de los siguientes valores:

Vehículos ligeros	0,5 a 1 CV	0,4 a 0,8 kW
Vehículos medios	1 a 3 CV	0,8 a 2,2 kW
Vehículos pesados	3 a 6 CV	2,2 a 5 kW

Debido a estas grandes potencias, la intensidad que circula por el circuito es muy elevada; por tanto, para que la caída de tensión en el circuito exterior sea mínima, se debe disponer un conductor de alimentación al motor de gran sección, para que la resistencia sea mínima y así evitar pérdidas de potencia en el mismo, admitiéndose una caída de tensión máxima en el circuito de alimentación del 2,5 % de la tensión nominal. Como esta misma corriente debe circular por el circuito interno del motor de arranque, los conductores del rotor e inductores (ya que están en serie) deben ser también de gran sección, con una resistencia mínima para que la corriente absorbida sea grande y obtener así la máxima potencia en el motor:

$$W = \frac{V^2}{R_i} \qquad [5.1B]$$

donde:

V = tensión en bornes del motor
R_i = resistencia interna del motor

En el momento del arranque, el elemento más afectado es la batería, ya que, por el gran consumo de corriente, produce una gran descarga en la misma, llegando a agotarla rápidamente; esto reduce la tensión en bornes y, por tanto, la tensión de alimentación al motor, haciendo que la potencia absorbida sea

insuficiente para cumplir la misión a que está destinado, o sea, arrancar el motor térmico. Si se considera, además, que en tiempo frío la resistencia que oponen los órganos del motor térmico es mucho más elevada, la potencia necesaria en el motor de arranque deberá ser mayor, lo cual produce una mayor caída de tensión en la batería. Por este motivo, no se debe insistir en el arranque, procurando hacer arrancadas breves y espaciadas, a fin de no agotar la batería y dejar que se recupere entre una y otra arrancada.

5.6.1 *Potencia útil o potencia necesaria en el arranque*

La *potencia* que debe suministrar el motor de arranque para poner en marcha el motor térmico estará en función de las características constructivas del motor, a las cuales presta sus servicios, determinadas por el *par motor* o par resistente que opone el mismo para su puesta en funcionamiento.

Siendo la velocidad mínima en el motor, para producir el encendido o combustión térmica en el interior de los cilindros, de unas 120 a 150 r. p. m., el par motor o par resistente a esas revoluciones viene determinado por la fórmula:

$$\boxed{C_m = K \cdot V_t} \qquad [5.2]$$

en la que:

C_m = par resistente del motor en kgf · m
V_t = cilindrada total del motor en litros
K = coeficiente determinado en función del tipo de motor, en el que intervienen el grado y tipo de combustión, relación de compresión, etc. Este valor oscila de 3 a 5 para motores de gasolina y de 5 a 10 para los motores Diesel

Por tanto, la potencia al freno o *potencia absorbida* por el motor térmico, a esas revoluciones, es:

$$\boxed{P_f = \frac{C_m \cdot n}{716{,}2} \text{ (en CV)}} \qquad [5.3]$$

n = *número de r. p. m.*

Ella determina la potencia útil o potencia necesaria en el motor eléctrico aplicado a ese motor, para producir el arranque:

$$\boxed{W_u = \frac{C_m \cdot n}{716{,}2} \cdot 0{,}736 = \frac{K \cdot V_t \cdot n \cdot 0{,}736}{716{,}2} \text{ (en kW)}} \qquad [5.4]$$

Por lo tanto, teóricamente $P_f = W_u$, siendo ésta la potencia necesaria en el arranque. Pero en la práctica la potencia disponible en el arranque del motor eléctrico es algo mayor, ya que hay que tener en cuenta el rendimiento mecánico del mismo en la transformación de energía, así como un coeficiente de seguridad para cuando trabaje con temperaturas por debajo de cero grados; luego, se puede establecer para la potencia en el arranque de un motor eléctrico:

$$\boxed{W_a = A \cdot \frac{W_u}{\eta} = \frac{A \cdot K \cdot V_t \cdot n \cdot 0{,}736}{\eta \cdot 716{,}2} \text{ (en kW)}} \qquad [5.5]$$

η = rendimiento del motor
A = coeficiente de seguridad

EJEMPLO RESUELTO

Problema 1

¿Cuál será la potencia necesaria en el arranque que debe suministrar un motor eléctrico, con un rendimiento mecánico del 85 % y suponiendo un coeficiente de seguridad de 1,5, para poner en funcionamiento un motor de gasolina que tiene una cilindrada de 1 200 cm^3 y un coeficiente térmico de K = 4, sabiendo que la velocidad mínima de encendido se produce a las 120 r. p. m.?

Solución:

Dando valores en la fórmula [5.4], se tendrá para potencia al freno del motor térmico:

$$W_u = \frac{K \cdot V_t \cdot n}{716{,}2} \cdot 0{,}736 = \frac{4 \times 1{,}2 \times 120}{716{,}2} \times 0{,}736 = 0{,}6 \text{ kW}$$

debiendo disponer una potencia en el motor de arranque:

$$W_a = \frac{A \cdot W_u}{\eta} = \frac{1{,}5 \times 0{,}6}{0{,}85} = 1{,}06 \text{ kW}$$

5.6.2 *Fuerza contraelectromotriz*

Se ha visto, al estudiar el funcionamiento del motor de arranque, que aplicando una corriente eléctrica al circuito interno del mismo, éste se pone en movimiento, por la atracción mutua de los campos magnéticos formados en el circuito inductor e inducido, creando un par de rotación proporcional a la intensidad aplicada a su circuito interno, con lo cual y debido a que la corriente aplicada es muy grande, la velocidad de rotación debería ser muy elevada.

Ocurre que, cuando el inducido se pone en movimiento, sus espiras se mueven dentro de un campo magnético, creando una variación de flujo y generando por inducción en ellas, como ocurre en las dinamos, una f. e. m. inducida en sentido contrario, la cual se opone a la tensión aplicada en bornes, conocida en este caso como *fuerza contraelectromotriz* (f. c. e. m.).

Este efecto o f. c. e. m. generada en las espiras del rotor, al ser variable en función del número de revoluciones de la máquina:

$$\boxed{E' = \frac{\Phi \cdot N \cdot n \cdot 2p}{60 \times 10^8 \times 2a}} \qquad [5.6]$$

siendo:

- E' = fuerza contraelectromotriz en V
- Φ = flujo útil en Wb
- n = velocidad de giro del inducido en r. p. m.
- N = número de conductores del inducido
- $2p$ = polos del motor
- $2a$ = circuitos derivados del inducido

hace que la corriente absorbida sea menor, a cuantas más revoluciones lleve el motor:

$$I_a = \frac{V - E'}{R_i}$$

haciendo que la potencia absorbida en vacío sea mínima, y efectuando una autorregulación de su velocidad.

Este condicionante establece dos de las características principales de la máquina, como son: la potencia máxima absorbida en el arranque y la potencia absorbida en vacío. Efectivamente, en el momento del arranque, al no girar el motor, no existe f. c. e. m. ($E' = 0$); por tanto, la corriente absorbida (determinada por la tensión aplicada en bornes y la resistencia interna del circuito) será máxima:

$$\boxed{I_{máx.} = \frac{V}{R_i}} \qquad [5.7]$$

$$\boxed{W_{máx.} = V \cdot I = \frac{V^2}{R_i}} \qquad [5.8]$$

EJEMPLOS RESUELTOS

Problema 2

Siendo la tensión aplicada en bornes de un motor de arranque (despreciando la caída de tensión en el circuito exterior) de 12 V, con una resistencia en su circuito interno determi-

nada por los arrollamientos inducido e inductor, de 0,03 Ω, la intensidad máxima absorbida por el motor es:

$$I_{máx.} = \frac{V}{R_i} = \frac{12}{0{,}03} = 400 \text{ A}$$

siendo la potencia absorbida:

$$W_{máx.} = V \cdot I = 12 \times 400 = 4\,800 \text{ W ó } 4{,}8 \text{ kW}$$

A medida que el motor sube de revoluciones, la f. c. e. m. generada disminuye la tensión en bornes, con lo cual la corriente absorbida irá haciéndose cada vez menor, a medida que aumenta (E').

Problema 3

Si en la máquina del ejemplo anterior la f. c. e. m. generada a 5 000 r. p. m. para su funcionamiento en vacío es de E' = 9 V, la intensidad absorbida a ese régimen es:

$$I_a = \frac{V - E'}{R_i} = \frac{12 - 9}{0{,}03} = 100 \text{ A}$$

siendo la potencia absorbida en vacío:

$$W_u = R_i \cdot I^2 = 0{,}03 \times 100^2 = 300 \text{ W}$$

Como la f. e. m. va aumentando proporcionalmente al número de revoluciones, la intensidad teórica absorbida por la máquina podría llegar al límite cero, cuando E' = V. Esto en la práctica no ocurre, ya que, para conseguir igualar estos dos términos, la velocidad de rotación tendría que ser excesiva, autodestruyéndose la máquina antes de alcanzar ese valor.

5.6.3 *Cálculo de la potencia máxima a desarrollar por un motor de arranque*

Se puede observar, que la corriente absorbida por el motor de arranque es inversamente proporcional a la velocidad de régimen; ésta, al incidir directamente sobre la f. c. e. m. (E') generada, incide sobre la tensión aplicada en bornes, de forma que en ambos casos límite: E' = 0 y E' = V, la *potencia desarrollada* por la máquina es nula, ya que la primera se obtiene para una velocidad cero y, por tanto, sin desarrollar trabajo mecánico; la segunda, al ser I = 0, la potencia absorbida y, por tanto, la potencia a desarrollar, también lo es.

Estos dos condicionantes establecen una ecuación de equilibrio, determinándose la intensidad de régimen y velocidad de lanzamiento a la cual se obtiene la potencia útil máxima para poner en funcionamiento el motor térmico, es decir, la potencia máxima que puede desarrollar el motor de arranque.

La intensidad absorbida por el motor en el arranque es:

$$\boxed{I_a = \frac{V - E'}{R_i}} \qquad [5.9]$$

luego:

$$V = R_i \cdot I_a + E'$$

en que, multiplicando por I_a, se tiene:

$$\boxed{V \cdot I_a = R_i \cdot I_a^2 + E' \cdot I_a} \qquad [5.10]$$

$$\boxed{W = W_i + W_a} \qquad [5.11]$$

donde:

$W = V \cdot I_a$ = potencia total absorbida por el motor en el arranque
$W_i = R_i \cdot I_a^2$ = potencia consumida por el motor en su circuito interno
$W_a = E' \cdot I_a$ = potencia útil transformada en energía mecánica y necesaria para efectuar el arranque

Como se observa, la potencia máxima del motor de arranque depende directamente de los valores E' e I_a, variables ambos con la velocidad de régimen; por tanto se debe establecer la ecuación de equilibrio a la cual se obtengan

unos valores de E' e I_a y cuyo producto proporcione la máxima potencia del motor.

Partiendo de la ecuación [5.9]:

$$I_a = \frac{V - E'}{R_i} = \frac{V}{R_i} - \frac{E'}{R_i}$$

y multiplicando ambos términos por (E'):

$$E' \cdot I_a = \frac{V}{R_i} \cdot E' - \frac{E'^2}{R_i}$$

o también:

$$\frac{1}{R_i} \cdot E'^2 - \frac{V}{R_i} \cdot E' + E' \cdot I_a = 0$$

se obtiene una ecuación de segundo grado de la forma:

$$a \cdot E'^2 - b \cdot E' + c = 0 \qquad [5.12]$$

cuyos valores de:

$$a = \frac{1}{R_i}; \qquad -b = \frac{V}{R_i} \qquad y \qquad c = E' \cdot I_a = W_a$$

son constantes y conocidos para un elemento motor dado, siendo el valor:

$$E' \cdot I_a = W_a$$

la potencia útil en el arranque, la cual ya se ha determinado en función de las características del motor térmico.

Resolviendo la ecuación de segundo grado [5.12] queda para valor de E':

$$E' = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4\ ac}}{2a}$$

y para que la raíz tenga valores reales, debe cumplirse que ($b^2 \geqslant 4$ ac); por tanto, si se hace $b^2 \geqslant 4$ ac, ya que el valor de esta raíz tiene un valor despreciable, queda para valor de E':

$$E' = \frac{-b}{2a} = \frac{\frac{V}{R_i}}{2 \cdot \frac{1}{R_i}} = \frac{V}{2}$$

Esto indica que la potencia del motor será máxima cuando $E' = V/2$, siendo entonces la intensidad absorbida en el arranque:

$$\boxed{I_a = \frac{V - E'}{R_i} = \frac{V - \frac{V}{2}}{R_i} = \frac{2 \cdot V - V}{2 \cdot R_i} = \frac{V}{2 \cdot R_i}} \qquad [5.13]$$

Esto dice que la corriente de régimen en carga o corriente absorbida en el arranque, para obtener una potencia máxima, será igual *a la mitad de la corriente absorbida por el motor durante el blocaje del mismo.*

La velocidad de lanzamiento, o velocidad de régimen de la máquina, será por tanto la necesaria para producir en el circuito interno una f. c. e. m. E', igual a *la mitad de la tensión aplicada en bornes* y que se puede calcular en función de las características constructivas del motor de arranque:

$$\boxed{n = \frac{E' \cdot 60 \times 10^8 \cdot 2a}{\Phi \cdot N \cdot 2p} = \frac{V \cdot 60 \times 10^8 \cdot 2a}{\Phi \cdot N \cdot 2p}} \qquad [5.14]$$

5.6.4 *Par de arranque*

Otra de las características importantes a conocer en el motor de arranque es su par de lanzamiento, o *par de arranque,* definido como el par máximo a transmitir por el motor para mover la corona del motor térmico.

Este par se puede determinar en el banco de pruebas por medio de un dinamómetro acoplado a un brazo de palanca (fig. 5.31), determinando la fuerza que hay que aplicar en kgf para frenar el piñón, a un determinado régimen de funcionamiento.

Siendo el par de arranque transmitido por el piñón:

$$C_m = F \cdot r$$

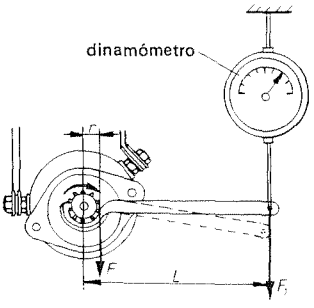


Fig. 5.31 Medida del par de arranque.

donde:

F = fuerza de impulsión en kgf
r = radio del piñón en m

igual al par resistente para frenarlo:

$$C_r = F_1 \cdot L$$

donde:

L = longitud del brazo de palanca en m
F_1 = fuerza medida en el dinamómetro en kgf
C_r = par resistente = par de arranque en kgf · m

para determinar el mismo, bastará conocer el brazo de palanca y leer la fuerza en kgf indicada en el dinamometro.

Este par también se puede calcular en función de la potencia transmitida por el motor de arranque, a su velocidad de régimen, ya que como se sabe:

$$W_a = \frac{C_m \cdot n}{716{,}2} \cdot 0{,}736 \text{ (en kW)}$$

$$\boxed{C_m = \frac{W_a \cdot 716{,}2}{0{,}736 \cdot n} \text{ (en kgf} \cdot \text{m)}} \qquad [5.15]$$

EJEMPLO RESUELTO

Problema 4

Un motor de arranque, con una resistencia interna de $R_i = 0{,}04\ \Omega$, alimentado por una batería de 13,5 V, produce una caída de tensión en el circuito exterior de 2 V y una caída de tensión en el arranque de 6 V. Calcular la potencia máxima absorbida por el motor, la potencia máxima en el arranque y el par motor desarrollado en el arranque, obtenido éste a un régimen de 900 *r. p. m.*

Solución:

Siendo la tensión aplicada en bornes del motor:

$$V - V_1 = 13{,}5 - 2 = 11{,}5 \text{ voltios}$$

la máxima potencia absorbida es:

$$W_{máx.} = \frac{(V - V_1)^2}{R_i} = \frac{11{,}5^2}{0{,}04} = 3\,300 \text{ W} = 3{,}3 \text{ kW}$$

y la potencia máxima necesaria en el arranque:

$$W_a = \frac{(11{,}5 - 6)^2}{R_i} = \frac{5{,}5^2}{0{,}04} = 756 \text{ W} = 0{,}756 \text{ kW}$$

Correspondiendo un par máximo en el arranque:

$$C_{máx.} = \frac{W_a \cdot 716{,}2}{n \cdot 0{,}736} = \frac{0{,}756 \times 716{,}2}{900 \times 0{,}736} = 0{,}8 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

5.7 Ensayos del motor en el banco de pruebas

Los motores de arranque deben responder a las características eléctricas y de funcionamiento para las cuales han sido diseñados; por tanto, sean nuevos sean recién reparados, deben someterse a pruebas de funcionamiento en el banco para comprobar que responden a las características especificadas por el fabricante y obtener de él un perfecto comportamiento en el vehículo. También si se han desmontado del vehículo por alguna anormalidad de funcionamiento en el mismo, para poder diagnosticar y reparar su avería.

Las condiciones de ensayo prescritas por las normas (UNE 10 041) establecen que los mismos deben realizarse a una temperatura de 20° ± 5 °C, empleando una batería cuya tensión en bornes en reposo sea superior a la nominal de funcionamiento del motor y con capacidad adecuada al consumo del mismo, fijándose una caída de tensión, máxima en el circuito de alimentación, que no exceda de la normal establecida (2,5 %).

Los ensayos a realizar en los motores de arranque, de acuerdo con la citada norma, son los siguientes:

— Ensayo de embalamiento o prueba del motor en vacío.
— Ensayo de carga y medida del par de arranque.
— Trazado de las curvas características del motor.

5.7.1 *Prueba del motor en vacío*

Para realizar los ensayos de funcionamiento en vacío, se coloca el motor sujeto al banco de pruebas y se establece el conexionado del mismo (fig. 5.32A), en las mismas condiciones de funcionamiento que en el vehículo, intercalando en el circuito principal de alimentación, un amperímetro (1) con escala adecuada al consumo del motor, un voltímetro (2) conexionado al borne de entrada de corriente del relé y el tacómetro del banco (3), acoplado al eje del motor de arranque (7).

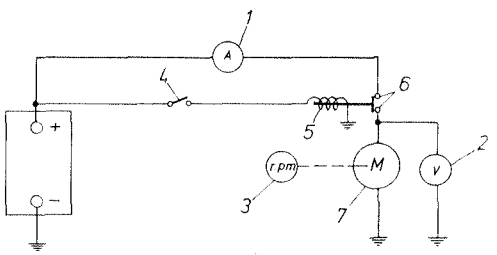


Fig. 5.32A Prueba del motor en vacío.

Cerrar el interruptor (4), con lo cual se excita el relé (5) cerrando los contactos (6), haciendo funcionar al motor en vacío y anotar las lecturas (V_0, I_0 y n_0) reflejadas en los aparatos de medida, con los cuales se pueden determinar los siguientes datos.

— Resistencia interna del motor:

$$R_i = \frac{V_0}{I_0}$$

— Potencia consumida en vacío:

$$W_0 = V_0 \cdot I_0 = R_i \cdot I_0^2$$

Comprobar que la velocidad y consumo del motor en vacío se corresponden con las características especificadas por el fabricante.

n_0 = 5 000 a 7 000 r. p. m.
I_0 = 35 a 45 A para motores de gasolina.
I_0 = 50 a 80 A para los aplicados a motores Diesel.

Hay que tener en cuenta que la velocidad teórica de un motor funcionando en vacío es ilimitada y, aunque la velocidad real viene limitada por los rozamientos internos y reacción del inducido, ésta sigue siendo muy elevada, por lo que

se debe estar al tanto en las pruebas en vacío para no tener conectado mucho tiempo el motor, pues la fuerza centrífuga del movimiento podría desplazar los conductores del rotor fuerza de sus ranuras y centrifugarse las delgas del colector.

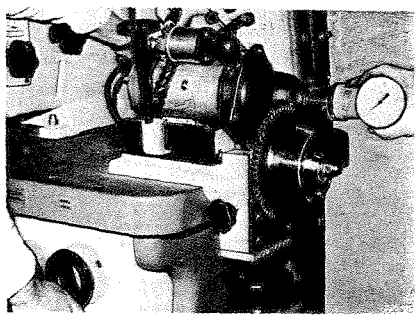


Fig. 5.32B Montaje del motor de arranque en el banco de prueba.

5.7.2 *Prueba del motor en carga*

Para realizar esta prueba, sujetar el motor al banco y colocar acoplado al mismo una corona dentada cuyo módulo guarde relación con el motor a probar (indicado en las características del mismo). El posicionado del motor debe realizarse de modo que el engrane se realice de una forma similar a como se consigue en los vehículos.

Se deben comprobar los siguientes puntos:

— En reposo, el piñón no debe rozar con la corona.

— Al realizarse el acoplamiento piñón-corona, éste debe introducirse en la corona por lo menos 2/3 de la longitud del diente.

— El piñón no debe encontrar inferferencia con la corona al realizarse el acoplamiento, debiendo existir una ligera holgura entre ambos.

Colocado el motor en su posición correcta, sujetarlo fuertemente al banco para evitar que se mueva durante el blocaje (fig. 5.32B) y conexionar el mismo como se indicó anteriormente (fig. 5.32A). Bloquear la corona acoplada al banco por medio del embrague situado en el mismo y cerrar el interruptor (4) durante 5 segundos, anotando en la hoja de ensayos la tensión e intensidad de bloqueo, comprobando que la lectura en el amperímetro coincide con las características proporcionadas por el fabricante, que para los motores de gasolina, la intensidad máxima absorbida por el motor de arranque suele ser de 200 a 400 A, y para los Diesel, de 500 a 1 500 amperios.

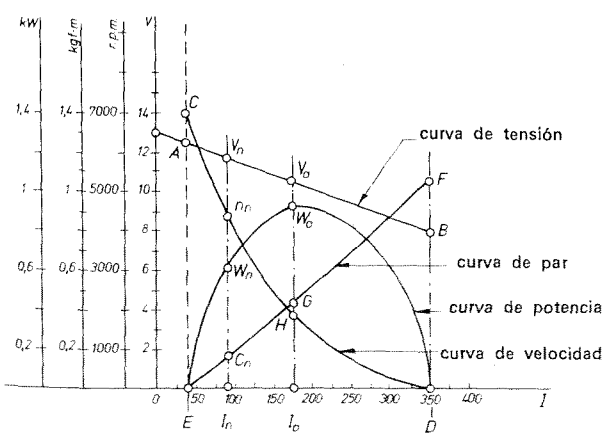
En motores con relé incorporado, comprobar que, al quedar frenado el piñón, el rotor no gira, lo cual indica que el enclavamiento de la rueda libre es correcto.

Durante esta prueba deberá tenerse presente el tiempo de bloqueo, que no ha de ser superior a 5 segundos; si se pasa de este tiempo se puede calentar excesivamente el motor.

Si el banco dispone de dispositivo para medir el par de arranque, se comprobará el mismo y se anotará en la hoja de ensayos. En caso contrario, se deducirá en función de la intensidad, a distintos regímenes de revoluciones.

5.7.3 *Trazado de las curvas características*

En función de los datos obtenidos en el banco y anotados en la hoja de ensayos, se pueden determinar las curvas características del motor correspondiente y representarlas en un sistema de ejes coordenados en función de la corriente absorbida en sus sucesivas fases de funcionamiento, representadas en el eje de abscisas. En el eje de ordenadas, se llevan los valores obtenidos de tensión, par de arranque, número de revoluciones y potencia máxima obtenida en el motor de arranque (fig. 5.33).



A = tensión en vacío (V_o)
B = tensión de bloqueo (V_c)
C = velocidad de régimen en vacío (n_o)
D = máxima intensidad de bloqueo ($I_{máx.}$)
E = intensidad en vacío (I_o)
F = par máximo obtenido en el bloqueo ($C_{máx.}$)
I_a = intensidad a la cual se obtiene la potencia máxima
W_a = potencia máxima en el arranque
V_a = tensión en el arranque
G = par de arranque (C_a)
H = velocidad en el arranque (n_a)
V_n, I_n, W_n, n_n, C_n = valores nominales a 2/3 de la potencia máxima

Fig. 5.33 Curvas características del motor de arranque.

— *Curva de tensión.* Se determina entre los valores *A* y *B* obtenidos durante la prueba en vacío y a motor blocado para máxima intensidad, la cual depende de la tensión, capacidad y estado de carga de la batería.

— *Curva de velocidad.* Se determina entre *C* y *D* en función del número de revoluciones obtenidas en la máquina en su prueba en vacío y cero a motor blocado. Los valores intermedios se pueden determinar en función de la intensidad absorbida a distintos regímenes de revoluciones, ya que como se sabe son inversamente proporcionales.

— *Curva de par de arranque.* Se determina entre *E* y *F*, obtenida en los ensayos del banco, la cual es directamente proporcional a la intensidad de consumo.

— *Curva de potencia.* Se observa que esta curva tiene dos valores nulos (*E* y *D*) determinados por la intensidad absorbida en vacío y a motor blocado o máxima intensidad. El valor de potencia máxima se obtiene como se ha visto para una intensidad cuyo valor es: $I_a = D/2$, y siendo la tensión en bornes que corresponde a esa intensidad (V_a), resulta una potencia máxima: $W_a = V_a \cdot I_a$, la cual determina a su vez el par de lanzamiento en el arranque (*G*) y la velocidad de lanzamiento (*H*) a la cual se obtienen los valores de par y potencia máxima en el arranque.

Esta curva determina también el rendimiento de la máquina obtenido por la relación entre la potencia máxima obtenida en el motor de arranque y la potencia máxima absorbida por el motor.

$$\eta_u = \frac{W_a}{W_{máx.}}$$

que deberá ser superior al 45 %.

En el diagrama de curvas de la figura 5.33 se han representado también los valores nominales de la máquina o valores indicativos dados por el fabricante como representativos de la misma, obtenidos estos valores a los 2/3 de la potencia máxima, valores a los cuales el motor de arranque debe ser capaz de poner en funcionamiento el motor térmico, en condiciones normales de funcionamiento.

5.8 Diagnóstico de averías

A la vista de los resultados obtenidos en el banco de pruebas, se pueden diagnosticar las siguientes averías de funcionamiento en el motor de arranque:

1.° Si al cerrar el interruptor para la puesta en funcionamiento del motor éste no gira, la avería puede localizarse en las escobillas, en las bobinas inductoras del estator e inducido o en el relé de mando.

2.° Si el motor no gira, pero el amperímetro indica consumo, las inductoras están derivadas a masa, el inducido queda agarrotado o sus espiras derivadas a masa.

3.° Si el motor gira lentamente con un consumo bajo inferior a los establecidos, indica que el colector está sucio, que existe falso contacto en las escobillas o sus conexiones están en mal estado.

4.° Cuando la velocidad y consumo son elevados por encima de los valores establecidos, indica que las inductoras están en cortocircuito.

5.° Si se observa excesivo chispeo en las escobillas, indica que los muelles no hacen la presión correcta, que el colector o escobillas están desgastadas o el inducido defectuoso.

6.° Si durante el funcionamiento del motor el piñón no se desplaza, indica que está agarrotado, la horquilla de mando rota o deformada o que el relé está defectuoso.

7.° Si durante la prueba de blocado el amperímetro indica un consumo excesivo, los arrollamientos del motor están en cortocircuito o derivados a masa.

Para comprobar y reparar cualquiera de los defectos diagnosticados durante el ensayo del motor en el banco de pruebas, deberá desmontarse el mismo y realizar una comprobación rigurosa de todos sus elementos.

5.9 Comprobación de los elementos del motor de arranque

Para comprobar y reparar los elementos del motor, una vez desmontado, deberán limpiarse cuidadosamente todas sus piezas o conjuntos, eliminando la grasa y polvo adheridos a los mismos.

5.9.1 *Comprobación del circuito inductor*

Las comprobaciones a realizar en este conjunto son las siguientes:

1.° Colocando un óhmetro entre los extremos de la bobina (fig. 5.34A-2), comprobar que los puentes de unión entre bobinas no están cortados y que el aislamiento está en perfectas condiciones.

2.° Por medio de una lámpara serie (fig. 5.34A-1) comprobar la continuidad de las bobinas. Igualmente se puede hacer con el óhmetro (fig. 5.34A-2).

3.° Con la misma lámpara serie conectada a la red (fig. 5.34B-1) o por medio de un óhmetro (fig. 5.34B-2) comprobar el aislamiento de las bobinas con respecto a masa.

4.° Si se desmontan las masas polares, comprobar que los tornillos que las sujetan están apretados a fondo y que el diámetro interior (distancia interpolar) se corresponde con el valor especificado por el fabricante.

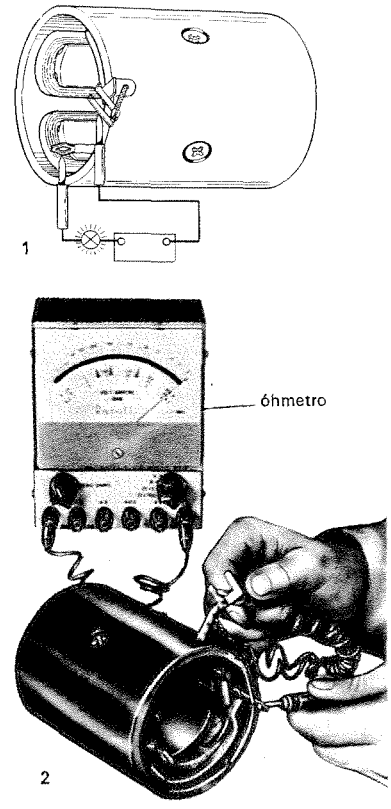


Fig. 5.34A Comprobación de la continuidad de las bobinas inductoras: 1, con lámpara y batería; 2, con un óhmetro.

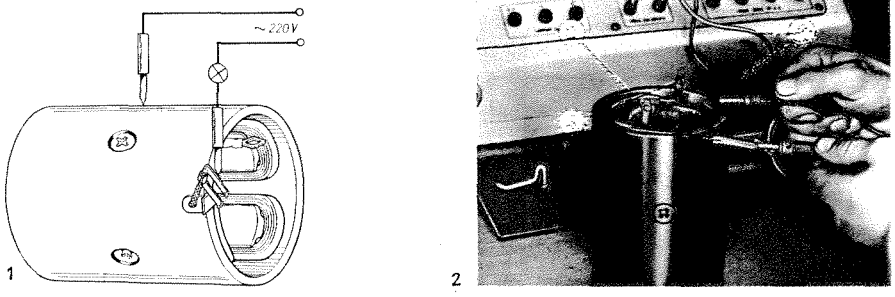


Fig. 5.34B Comprobación del aislamiento de las bobinas inductoras a masa: 1, por medio de una lámpara; 2, por medio de un óhmetro.

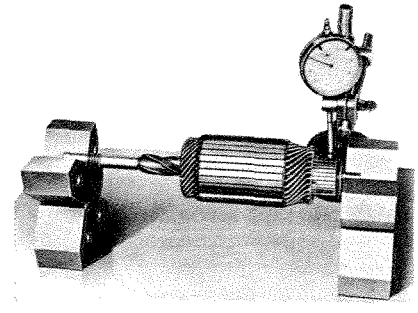


Fig. 5.35A Verificación de la excentricidad del colector.

5.9.2 *Comprobación del inducido o rotor*

Las comprobaciones tanto *mecánicas* como *eléctricas* en este conjunto son las siguientes:

5.9.2.1 *Comprobaciones mecánicas*

1.° Comprobar que las muñequillas de apoyo del eje están en buen estado, no presentando señales de excesivo desgaste, rayaduras o golpes ni señales de oxidación.

2.° El estriado del eje o los dientes del piñón en los motores con reductora deben estar limpios y exentos de partículas extrañas sin presentar señales de desgaste, golpes u oxidación.

3.° Con el rotor colocado entre puntos, comprobar la excentricidad máxima del tambor, que no debe ser superior a 0,8 ó 1,2 mm, según modelo (figura 5.35A).

4.° La superficie del colector debe encontrarse limpia y exenta de rayas por desgaste o picaduras por chispeo de la corriente. De tener que repasar el colector, realizar esta operación en el torno con cuchillas especiales destinadas a este fin (fig. 5.35B), procurando que el diámetro mínimo, una vez torneado, quede dentro de los valores especificados por el fabricante, con una excentricidad en el colector inferior a 0,08 mm la cual se lee en el comparador.

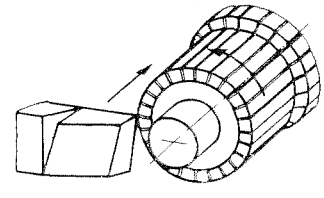


Fig. 5.35B Repasado de un colector en el torno.

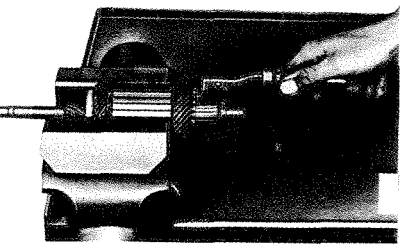


Fig. 5.35C Repasado de las ranuras de aislamiento entre las delgas del colector, por medio de una hoja de sierra.

5.° Si durante el mecanizado desaparecieran las ranuras de separación entre delgas, proceder a rebajar las mismas con una hoja de sierra (fig. 5.35C) o por medio de una fresa (fig. 2.22B), a los valores indicados en la figura 5.35D.

6.° Después del mecanizado o ranurado de las delgas del colector, limpiar el inducido con aire a presión, observando que no queden virutas de cobre en el devanado, ni rebabas en la superficie de asiento de las escobillas.

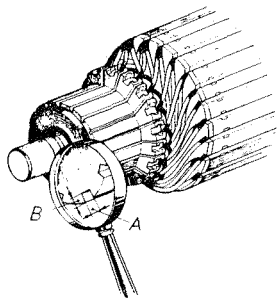
7.° Comprobar que los conductores están perfectamente alojados en sus ranuras y que las soldaduras en el colector no son deficientes ni están despegadas.

5.9.2.2 *Comprobaciones eléctricas*

1.° Con un comprobador de inducidos (transformador roncador) y de una forma similar a como se hizo en las dinamos (fig. 2.23A y B) comprobar si existe cortocircuito entre espiras.

2.° Con una lámpara serie (fig. 5.35E-1) comprobar el aislamiento a masa entre las delgas del colector y el eje o por medio de un comprobador (fig. 5.35E-2).

3.° Comprobar la continuidad entre delgas del colector; para ello, situar el rotor en el comprobador de inducidos (fig. 5.35F-1) y poner este en funcionamiento; por medio de un amperímetro de escala reducida conectado entre dos delgas consecutivas mover el inducido hasta obtener en el amperímetro la lectura máxima. Realizar la misma operación para todas las delgas y comprobar que la lectura en el amperímetro es la misma para todas ellas. Una lectura más baja indica una falsa soldadura en el colector, lo cual ocasionaría un chispeo excesivo en la delga correspondiente. Otra forma de comprobación puede ser por medio de una lámpara y una batería (fig. 5.35F-2). Esta operación se puede realizar también y más rápidamente con un *óhmetro,* comprobando la resistencia entre delgas sucesivas, la cual debe ser la misma en todas.



A = de 0,8 a 1 mm
B = 1 mm

Fig. 5.35D Separación correcta entre delgas.

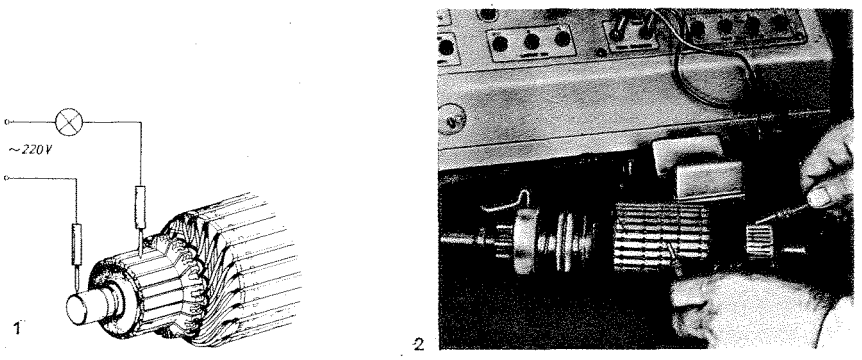


Fig. 5.35E Comprobación del aislamiento del inducido a masa: 1, con lámpara; 2, con un óhmetro.

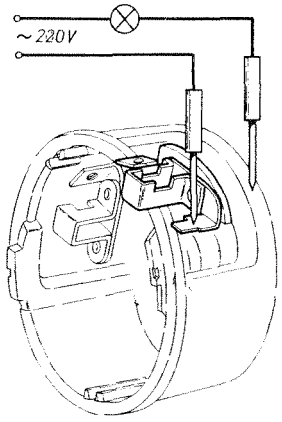


Fig. 5.36A Comprobación del aislamiento del portaescobillas y masa.

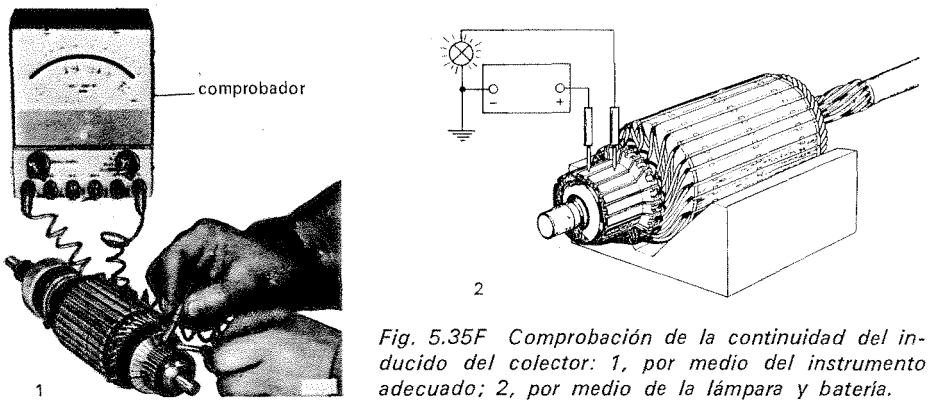


Fig. 5.35F Comprobación de la continuidad del inducido del colector: 1, por medio del instrumento adecuado; 2, por medio de la lámpara y batería.

5.9.3 *Comprobación del soporte lado accionamiento*

En este soporte se comprobará que no existen fisuras o roturas y que el cojinete de apoyo del eje está en buen estado, que no presenta señales de desgaste excesivo y que se encuentra correctamente emplazado en su alojamiento.

5.9.4 *Comprobación del soporte lado colector*

En este soporte deberán realizarse las siguientes pruebas:

1.° Con un óhmetro o lámpara serie (fig. 5.36A) comprobar el aislamiento a masa de los portaescobillas positivos, comprobando el perfecto deslizamiento de las escobillas sobre ellos; limpiar en caso contrario el interior de los mismos con un trapo impregnado en petróleo y secar a continuación con aire a presión.

2.° Comprobar que la longitud de las escobillas es superior a 12 ó 14 mm (valor indicado en las características de la máquina) comprobando que hacen un buen asiento sobre el colector y no presentan señales de desprendimiento de material.

3.° Comprobar la correcta conexión y el perfecto aislamiento de los cables de unión con las escobillas, así como en los terminales.

4.° Comprobar la presión de los muelles por medio de un dinamómetro (fig. 5.36B), debiendo dar unos valores comprendidos entre 0,8 y 1,4 kgf.

5.° Comprobar el estado y desgaste del cojinete de apoyo del rotor, cambiándolo por uno nuevo, si presenta alguna anomalía.

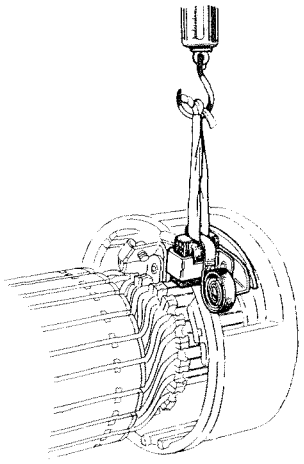


Fig. 5.36B Comprobación de la presión de los muelles que oprimen las escobillas.

5.9.5 *Comprobación del mecanismo de arrastre*

En este mecanismo, deberá comprobarse que el piñón no presente deformaciones ni desgaste en sus frentes o superficies de trabajo.

Comprobar que los canales o estrías, por las cuales se desliza en el eje, están en buen estado.

Comprobar que el mecanismo de rueda libre funciona correctamente, quedando bloqueada en un sentido de giro, y girando libremente en sentido contrario.

En los motores con reductora, comprobar que los espárragos de anclaje de la corona no están rotos ni torcidos. Comprobar que tanto los dientes de la corona como los de los piñones satélites están en buen estado y que éstos giran libremente en sus respectivos ejes, sin holguras ni agarrotamientos.

Comprobar que los casquillos situados en el soporte-corona y en el interior del eje de satélites no están desplazados fuera de sus alojamientos ni presentan señales de excesivo desgaste.

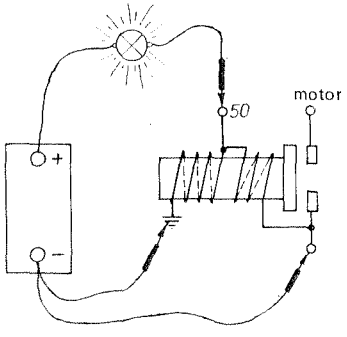


Fig. 5.37C Comprobación de la continuidad de las bobinas, por medio de una lámpara y batería.

5.9.6 *Comprobación del relé de arranque*

En este elemento deberán realizarse las siguientes pruebas:

1.° Con un óhmetro (fig. 5.37A y B) o lámpara serie (fig. 5.37C), comprobar la continuidad de la bobina o de las bobinas.

2.° Con una fuente de alimentación de 6 voltios (fig. 5.37D), comprobar el consumo de las bobinas, que debe coincidir con los datos especificados por el fabricante.

3.° Comprobar que la horquilla está en buen estado y que el núcleo se desliza suavemente por el interior de la bobina.

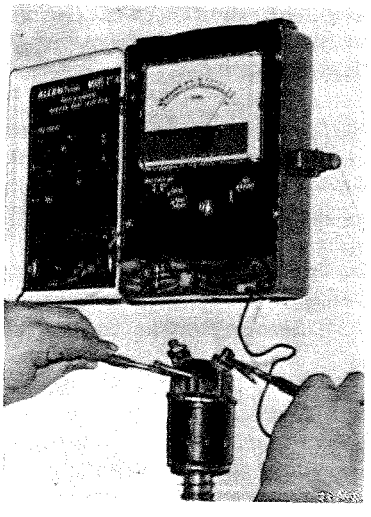


Fig. 5.37A Comprobación de la continuidad del arrollamiento impulsor del relé, con un óhmetro.

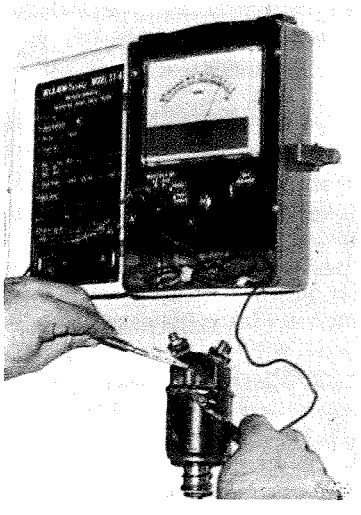
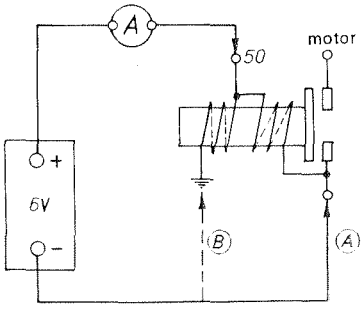
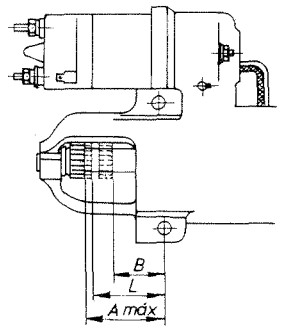


Fig. 5.37B Comprobación de la continuidad del arrollamiento de retención del relé, con un óhmetro.



prueba A: entre el borne de entrada de corriente y salida a motor
prueba B: entre el borne de entrada de corriente y masa

Fig. 5.37D Comprobación del consumo de las bobinas.

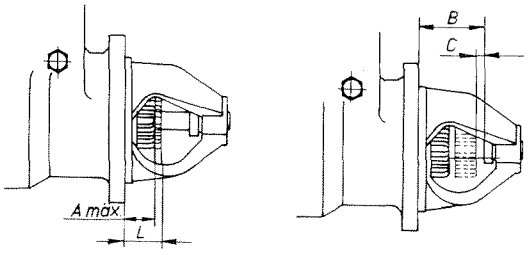


A = distancia del apoyo soporte al frente del piñón en reposo
B = distancia del apoyo soporte al frente del piñón accionado
L = limitación de la carrera del piñón

Fig. 5.38B Cotas de reglaje.

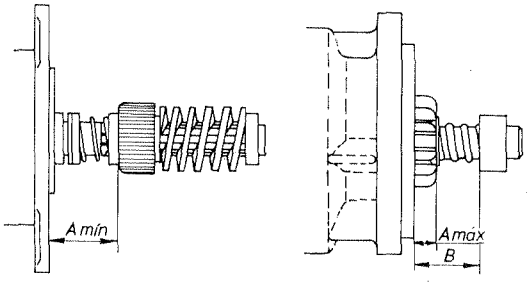
5.9.7 *Pruebas finales*

Con el motor nuevamente montado, y antes de someterlo a las pruebas de funcionamiento en el banco, comprobar que las cotas de reglaje del piñón o mecanismo de arrastre estén de acuerdo con las indicadas por el fabricante para cada modelo en el cuadro de características del mismo (figs. 5.38A a 5.38C).



A = distancia del apoyo al frente del piñón en reposo
B = distancia del apoyo al casquillo tope
C = distancia del casquillo tope al frente del piñón accionado
L = limitación de la carrera del piñón

Fig. 5.38A Reglaje de posición del piñón de arranque con respecto a la carcasa.



A = distancia del soporte al frente del piñón en reposo
B = distancia del soporte al casquillo de tope

Fig. 5.38C Cotas de reglaje.

5.10 **Montaje y prueba sobre vehículo**

Situado el motor de arranque sobre su alojamiento del motor térmico, comprobar que se encuentra perfectamente montado en el mismo con sus tornillos apretados al par correspondiente, observando que no se encuentra en situación forzada ni con elementos extraños entre el motor y la superficie de asiento a la carcasa del motor térmico.

Establecer el conexionado del motor de arranque y comprobar el estado de carga de la batería, sometiéndola a un régimen de carga, si procede.

Una vez instalado el motor de arranque y con todos los servicios del vehículo desconectados, cerrar el interruptor de puesta en marcha comprobando que el arranque del motor térmico se realiza correctamente, comprobando a su vez que, al desconectar el interruptor, se efectúa el desengrane entre el piñón y la corona.

Si se observase alguna anomalía durante la prueba de funcionamiento, encender las luces largas del vehículo y repetir la puesta en marcha, comprobando en qué grado afecta a la luminosidad de las luces. En este caso, comprobar las caídas de tensión en el circuito de alimentación y en el interruptor de arranque.

Para hacer esta comprobación, desconectar el cable principal de alimentación del motor, y con un voltímetro comprobar la caída de tensión entre el borne de alimentación del contactor y masa, al accionar el interruptor de arranque, la cual debe ser inferior a 2 voltios.

Comprobar la perfecta conexión de los terminales del acumulador, ya que cualquier falso contacto ocasiona una caída de tensión excesiva en el circuito y, por tanto, acusado por el motor durante su funcionamiento. Para esta comprobación, accionar el motor durante unos segundos y observar si alguno de los terminales de la batería se calienta; en este caso, desmontar el terminal y limpiar ambas superficies de contacto.

Si el motor de arranque funciona correctamente y el motor térmico no se pone en funcionamiento, comprobar el mismo, sobre todo la puesta a punto.

5.10.1 *Diagnóstico de averías sobre vehículo*

A la vista del comportamiento del motor de arranque sobre su funcionamiento en el vehículo se puede diagnosticar las siguientes averías en el mismo o sobre su circuito:

1.° *El motor no funciona.* La avería puede estar en la *batería,* en el *circuito* o en el *propio motor.*

— Comprobar la carga del acumulador y la conexión de sus terminales.
— Si las luces pierden intensidad, comprobar la caída de tensión en el circuito, como ya se ha indicado anteriormente.
— Si el motor no funciona y no afecta para nada las luces, comprobar la continuidad en el circuito; en caso contrario, el motor está mal, debiendo desmontarse y ser comprobado en el banco.

2.° *El motor funciona, pero no arranca.* Esto indica que el piñón no engrana con la corona, por estar defectuoso el mecanismo de arrastre o el motor mal montado en su alojamiento del motor térmico. Desmontar el motor y comprobar que el piñón se desplaza y que la rueda libre no patina.

3.° *El motor gira lentamente, no produciendo el arranque.* Indica que el acumulador está bajo de carga o que existe una excesiva caída de tensión en el circuito; en caso contrario, el motor de arranque está mal o el motor térmico agarrotado.

4.° *El motor mueve perfectamente la corona, pero no arranca.* Este defecto hay que localizarlo en el motor térmico, comprobando la puesta a punto del mismo.

CUESTIONARIO

5.1 Explicar el principio de funcionamiento del motor de arranque.
5.2 Describir los elementos que componen un motor de arranque.
5.3 ¿Cómo está formado el conjunto inductor de un motor de arranque tetrapolar y cómo pueden ir conexionadas sus bobinas inductoras?
5.4 Formas de efectuar el acoplamiento del piñón con la corona del motor térmico y en qué se diferencian.
5.5 ¿En qué consiste el engrane por inercia?
5.6 ¿En qué consiste el engrane por horquilla y cómo se realiza el mismo?
5.7 ¿Qué misión tiene la rueda libre y cómo funciona?
5.8 ¿Cómo está formado un relé de arranque y cómo funciona?
5.9 ¿Qué misiones cumple un relé de arranque incorporado al motor?
5.10 ¿En qué se diferencia un motor convencional de otro con reductora?
5.11 ¿En qué consiste el mecanismo de reducción de velocidad en los motores con reductora y cómo funciona?
5.12 ¿Cómo se calcula la potencia que necesita un motor de arranque en función de las características del motor térmico?
5.13 ¿En qué consiste la fuerza contraelectromotriz y qué efectos produce sobre el motor de arranque?
5.14 ¿Cómo funciona un motor de arranque con inducido deslizante?
5.15 ¿Qué misión tiene el mecanismo de embrague en estos motores?
5.16 Determinar la intensidad a la cual se consigue la potencia máxima de un motor de arranque.
5.17 ¿Cómo se determina el par máximo de un motor de arranque en el banco de pruebas?
5.18 Comprobación y ensayos del motor en el banco de pruebas.
5.19 Definir las curvas características de un motor de arranque y cómo se determinan.
5.20 ¿Qué ocurre cuando hay excesivo chispeo en las escobillas?
5.21 Diagnosticar dónde puede estar la avería del motor, si la velocidad y consumo son elevados.
5.22 ¿Cómo se comprueba el circuito inductor?
5.23 Comprobaciones a realizar en el rotor o inducido.
5.24 Pruebas a realizar en el relé de arranque.
5.25 ¿Cómo se comprueba el mecanismo de rueda libre?
5.26 ¿Qué se entiende por cotas de reglaje en el piñón?
5.27 Pruebas y diagnóstico de averías del circuito de arranque en el vehículo.

EJERCICIOS

1.° Dibujar el circuito de conexionado exterior del motor de arranque, con relé incorporado, para efectuar las pruebas sobre banco.

2.° Dibujar el conexionado interno de un motor de arranque tetrapolar, con dos circuitos serie en paralelo y dos escobillas, cerrando el circuito a masa a través de las escobillas.

3.° Dibujar el conexionado interno de un motor de arranque hexapolar, con tres circuitos serie en paralelo, seis escobillas, recibiendo corriente por inductoras.

4.° Dibujar el circuito interno de un relé de arranque, con doble arrollamiento.

5.° ¿Cuál será la potencia mínima que deberá tener un motor de arranque, para mover un motor Diesel (K = 8), con una cilindrada de 4 800 cm^3, siendo la velocidad mínima para el arranque de 150 r. p. m. y suponiendo un rendimiento en el motor eléctrico del 80 %?

6.° Un motor de arranque con una resistencia interna, R_i = 0,02 Ω, funcionando a 12 V, produce un par máximo en el arranque de 1 000 r. p. m. de 0,8 kgf · m. Calcular la potencia máxima del motor y la caída de tensión en el arranque.

7.° Un motor de arranque, cuya potencia eléctrica absorbida es de 1 104 W a 12 V, proporciona un par de lanzamiento de 0,9 kgf · m a 800 r. p. m. Calcular:

1.° La potencia consumida en el arranque.
2.° La caída de tensión en el arranque, siendo la resistencia interna 0,03 Ω.
3.° El rendimiento eléctrico.

8.° Dibujar el circuito interno de un motor de arranque con inducido desplazable.

9.° Un motor de arranque, cuyo par máximo en el arranque es de 1,5 kgf · m a 1 200 r. p. m., se acopla al banco de pruebas con una rueda de 20 cm. Calcular la fuerza que hay que aplicar a la misma para frenar el motor y la potencia máxima desarrollada.