

Unidad Dos: Sistema de Carga



En esta unidad los aprendizajes esperados (A.E) y contenidos a tratar son:

2.1.- Explica el principio de funcionamiento de los alternadores utilizados en vehículos automotrices.

Alternador:

- Componentes.
- Función.
- Clasificación.
- Principio de funcionamiento.

2.2.- Diagnostica el estado del Alternador de un vehículo automotriz, a partir de las especificaciones dadas y con soluciones alternativas coherentes con los métodos establecidos en una pauta de servicio.

Alternador:

- Localización.
- Inspección.
- Procedimientos de diagnóstico.
- Pruebas de funcionamiento.
- Fallas y soluciones.
- Riesgos en el proceso de diagnóstico.
- Informe de diagnóstico.

2.3.- Realiza procedimientos de reparación al alternador de un vehículo automotriz, a partir de las especificaciones dadas en una pauta de servicio, a favor de las expectativas de quien ha requerido de su labor y conforme a procedimientos y plazos establecidos.

Alternador:

- Procedimientos de reparación.
- Riesgos en el proceso de reparación.
- Comprobación de funcionamiento.

2.4.- Realiza procedimientos de mantenimiento al alternador de un vehículo automotriz, a partir de las especificaciones dadas en una pauta de mantenimiento, conforme plazos establecidos, de manera responsable y comprometida cuando ejerce funciones individualmente o en equipos de trabajo.

Alternador:

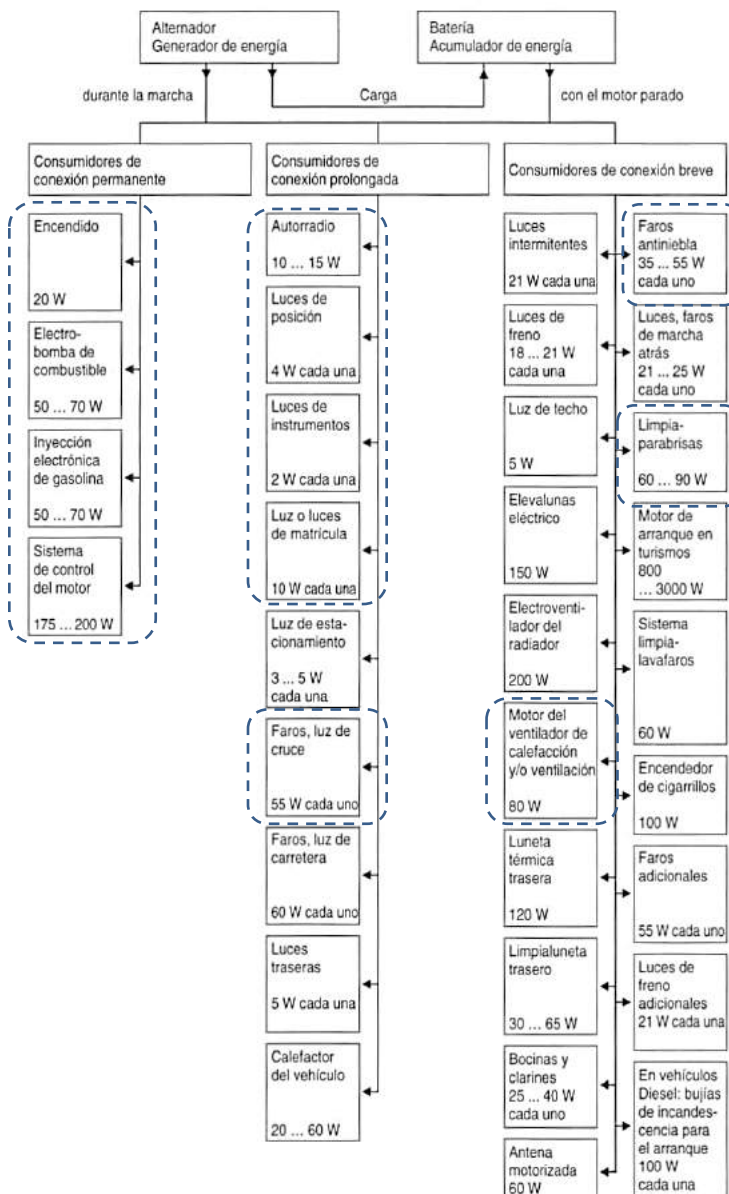
- Procedimientos de mantenimiento.
- Riesgos en el proceso del mantenimiento.
- Comprobación de funcionamiento.

Introducción:

El continuo incremento de aparatos eléctricos instalados en un automóvil con objeto de aumentar la seguridad y el confort, tales como: sistemas de control de estabilidad, y antiniebla, lunetas térmicas, sistemas de aire acondicionado, etc., suponen un aumento importante del consumo de energía eléctrica.

De otra parte, debido a la situación actual del tráfico urbano, el motor del vehículo se ve obligado a girar a bajo régimen, e incluso a ralentí, durante largos períodos de tiempo, siendo imprescindible satisfacer las necesidades de energía de los distintos consumidores, aún en estas condiciones adversas, en las cuales, es deseable que para cargar la batería suficientemente

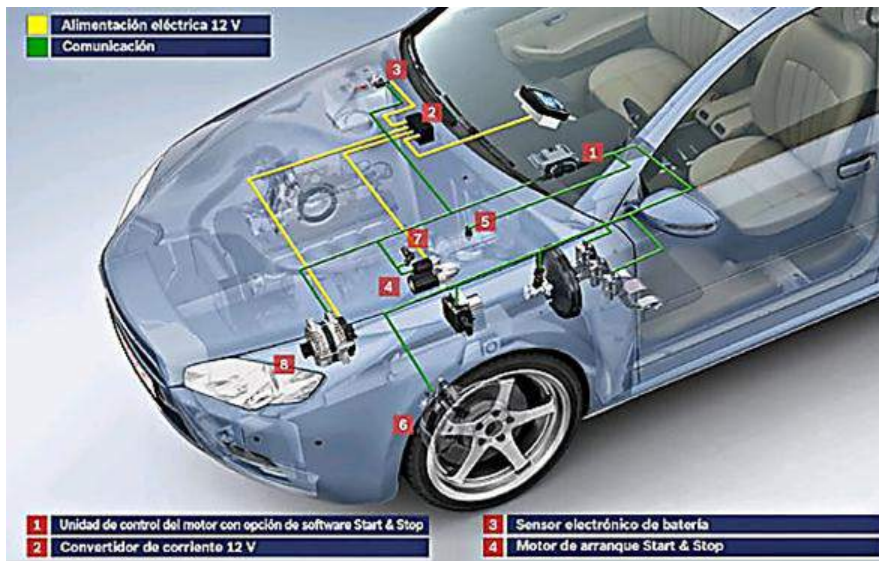
(particularmente en invierno), el generador ceda potencia ya cuando el motor gira a ralentí, este pueda suministrar energía que cubra adecuadamente todos los requerimientos. Por estas causas, entre otras, comenzaron a utilizarse los alternadores, que por sus características, ya en ralentí son capaces de proporcionar corrientes del orden de los 15 A.



Determina cuanto es la intensidad eléctrica total que debe entregar el alternador al trasladarse un vehículo de noche y con lluvia.

Considera Tensión batería 13,6 V y los componentes que se encuentran destacados en el cuadrado segmentado

Sistema de Carga:



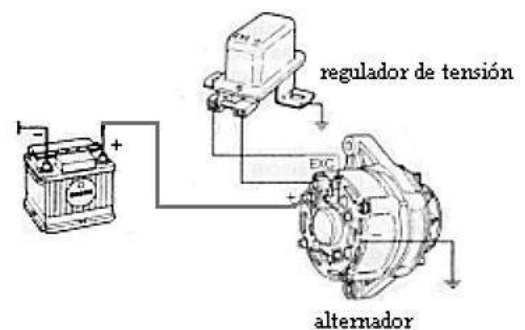
La energía eléctrica necesaria para abastecer a los componentes del equipo eléctrico de un automóvil, puede ser suministrada por la batería o acumulador; pero si no se dispone de otra fuente de energía, la batería llegará a agotarse con el uso que de ella se hace.

Para mantener en perfecto funcionamiento los componentes eléctricos o electrónicos se emplea el Sistema de carga, que tiene la misión de proporcionar energía eléctrica a la batería y a todos los órganos del vehículo que la

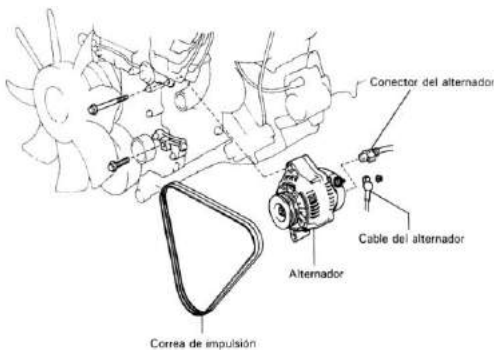
necesiten. Para ello cuenta con los siguientes elementos: Un **generador (Alternador)**, capaz de producir energía eléctrica; un **regulador**, encargado de regular la corriente eléctrica que se produce como consecuencia de la energía eléctrica aplicada; un **voltímetro** o una **lámpara testigo**, para conocer en todo momento si el generador produce energía; y por último, **la batería**, que es la misma empleada en los demás circuitos

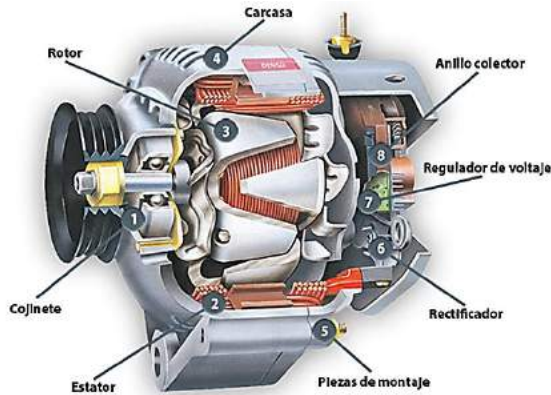
En la figura (derecha) se representa el circuito eléctrico de carga, donde puede observar que el borne positivo del generador se conecta directamente al positivo de batería y al borne **+** del regulador, cuyo borne **EXC** se conecta a su homónimo del alternador.

El generador empleado en los automóviles es normalmente un alternador, que recibe movimiento del propio motor del vehículo, transformando en energía eléctrica la cinética recibida. La figura de abajo muestra el emplazamiento del alternador sobre el bloque motor, al



que se fija por medio del tornillo pasante (1) y el soporte (2) con tensor (3), recibiendo movimiento desde la plega del cigüeñal por medio de una correa trapezoidal (F). El regulador va sujeto a la carrocería del vehículo en un lugar cercano al alternador, puesto que ambos deberán ir conexiónados por medio de la instalación eléctrica.





Componentes del Alternador

Exceptuando las peculiaridades de cada tipo, los alternadores están constituidos por un inducido o estator formado por una serie de bobinas, que en el caso de este equipo eléctrico están fijas, mientras que el inductor o rotor es el que se mueve, girando en el interior del estator.

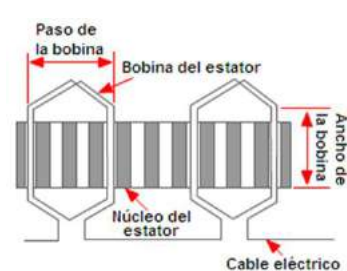
La polea de tracción es el componente exterior que transmite el movimiento del motor térmico, a través de la sujeción en las paredes laterales de una o varias canales (V o micro V).

La **Carcasa** (4) comprende a los elementos de cierre por ambos lados. Son generalmente fabricadas en fundición de aluminio con grandes orificios destinados a la ventilación, permitiendo la circulación del aire necesario para su refrigeración y control de temperatura de los componentes internos. Se distingue la tapa delantera o de accionamiento de la tapa trasera o del grupo regulador y anillos. En su interior alojan un par de rodamientos que permiten mantener en una distancia de entrehierro adecuada entre rotor y estator.

Finalmente en su parte exterior se encuentran los anclajes que sujetan el equipo eléctrico al motor endotérmico.

En el interior y al medio se encuentra el **Estator**, conformado por un paquete de láminas de acero magnéticas ensambladas describiendo una corona circular (Núcleo) que interiormente es troquelada dejando ranuras donde se alojan las bobinas inducidas y otras ranuras para su acoplamiento y ensamblaje con las carcasas, que cierran el conjunto.

Entenderemos bobinas inducidas al conjunto de espiras que se encuentran afectadas por un campo magnético variables, en las cuales se genera electricidad. Normalmente el inducido lo forman tres bobinas (trifásico) conectadas entre sí y aisladas eléctricamente de la

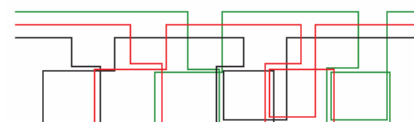


estructura que las contiene, repartidas uniformemente en toda su periferia.

El sentido en que está enrollada la bobina crea polos magnéticos alternativos, norte y sur, cuando la bobina está proporcionando electricidad al exterior. Estos polos magnéticos serán mayores mientras mayor sea la intensidad proporcionada

por el alternador.

Las tres bobinas se colocan desfasadas en el núcleo, dado que una vuelta corresponde a 360°, al existir tres bobinas o fases cada una de ellas se sitúa a 120° respecto a las otras dos bobinas.



¿Cuál es el tipo de unión de las bobinas de este estator?

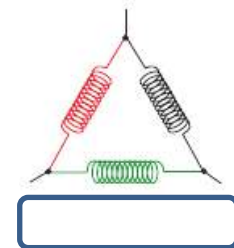
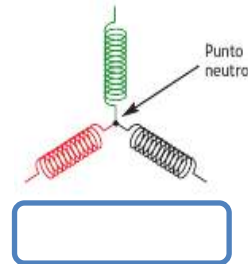


Se utilizan dos maneras de conectar los extremos de las bobinas inducidas entre sí: la conexión en estrella y la conexión en triángulo, que se diferencian por su corriente y tensión en obtenida en bornes.

Se entenderá que está conectada en estrella cuando todas se unen en un extremo común. En este tipo de conexión la electricidad sale al exterior a través de los tres extremos libres de las bobinas, pudiendo salir del punto de unión común o punto neutro

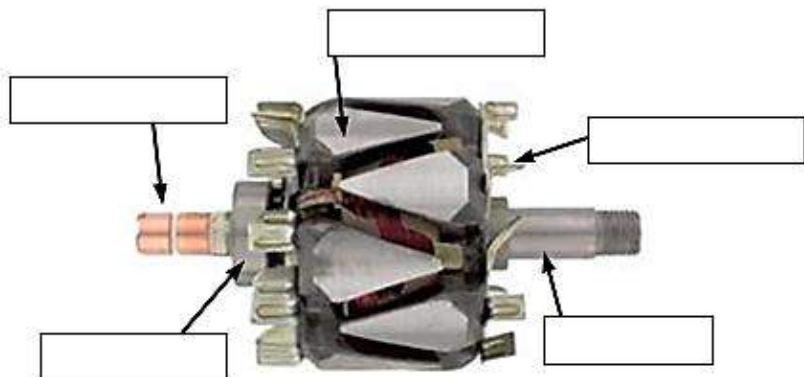
En las conexiones en triángulo las bobinas están conectadas en sus extremos distinguiéndose tres puntos de unión y es en ellos por donde sale al exterior la electricidad.

Indique el tipo de conexión

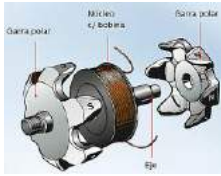


El **Rotor o inductor** es un conjunto robusto y equilibrado dinámicamente. Está formado por un eje de acero, que apoya por sus dos extremos en las carcasas o soportes exteriores en rodamientos. Montadas a presión en el eje van las dos mitades de la pieza que constituye los polos del rotor, que tienen forma de garra y se intercalan unos entre otros, entrando recíprocamente los de una mitad dentro de los huecos existentes entre los de la otra mitad.

En el interior de estas dos mitades se aloja una bobina, que constituye el devanado de excitación. Los extremos de la bobina se conectan a los anillos rozantes, montados a presión en un extremo del eje y aislados eléctricamente de él. El diámetro de estos anillos es pequeño al objeto de reducir la velocidad de superficie al mínimo, con lo cual se atenúa el desgaste de las escobillas.



Leído el texto escriba en el recuadro el nombre del componente que se indica con la flecha

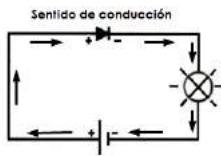


Contra los anillos rozan las escobillas, a través de las cuales entra y sale la corriente a la bobina. El paso de corriente por ella, forma un campo magnético que se ve reforzado por el núcleo que suponen las dos mitades de las piezas polares. Según el sentido de paso de corriente por la bobina, en todas las garras de una mitad se forman los polos norte y en las otras los polos sur.



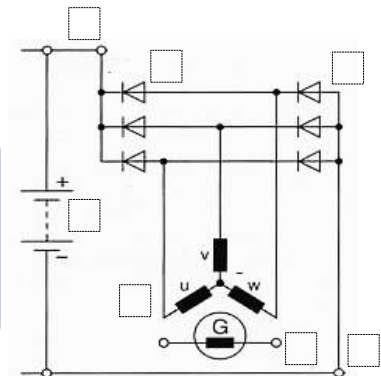
El **Conjunto o puente rectificador**, es una asociación de diodos montados en parejas por fase conectándose a la salida de ella, de modo que uno queda situado entre la salida de la fase y positivo, en sentido de conducción y el otro entre la salida de fase y masa, en sentido de bloqueo. De esta manera debido a las tres fases el conjunto queda constituido por mínimo seis diodos, conexionados a las fases del estator formando un rectificador de onda completa, obteniendo una corriente continua de salida del alternador.

Los diodos corresponden a un componente electrónico formado por semiconductores que tiene la propiedad de ser en un sentido un buen conductor y en el opuesto aislante.



Escriba en el cuadrado segmentado el N° que indica el componente.

1. Conexión Diodos de potencia negativa (B-).
2. Fases de la bobina estator.
3. Batería.
4. Diodos de potencia positiva.
5. Conexión Diodos de potencia positiva (B+).
6. Bobina Inductora (rotor)
7. Diodos de potencia Negativa.

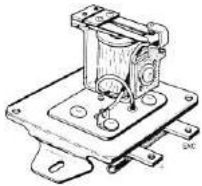


Otro aspecto a considerar es la temperatura admisible de trabajo de los diodos, la cual está limitado y, por ello, debe evacuarse el calor de las zonas donde se alojan, tanto los de potencia como los de excitación. Con este fin se montan sobre cuerpos de refrigeración, que por su gran superficie y buena conductibilidad térmica son capaces de evacuar rápidamente el calor a la corriente de aire refrigerante.

En algunos casos, para mejorar esta función, estos cuerpos están provistos de aletas.

Finalmente se agrega en el sistema de carga el **regulador de tensión**, que puede estar dentro o fuera del alternador.

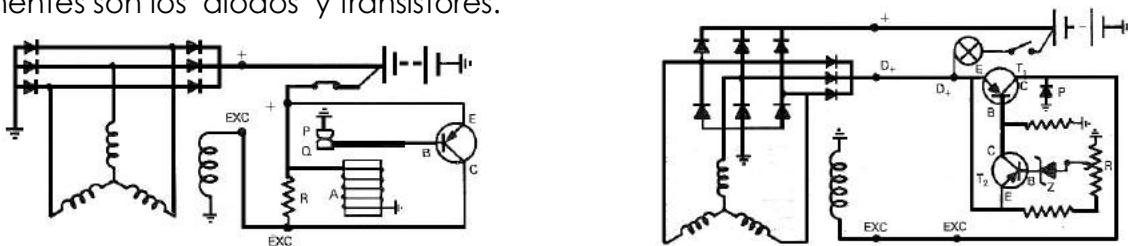
Debido a que el régimen del motor es variado, la tensión obtenida es fluctuante, pero debe mantenerse dentro de ciertos valores límites que permitan el funcionamiento correcto de los componentes eléctricos y electrónicos del vehículo. La regulación de tensión queda entregada a este dispositivo que actúa sobre la corriente de excitación del alternador (bobina Inductora) modificando el campo magnético aumentando o disminuyendo en función de los valores de tensión a los cuales es sometida la batería y el sistema de carga.



Los modelos más simples son de contactos con una forma similar a un relé, de uno o más núcleos. El control de la corriente de excitación se realiza mediante el cierre o abertura de contactos incorporados en una armadura que son gobernados por el electromagnetismo producido en la bobina del relé, según la tensión y corriente producida a la salida del alternador.

Las exigencias planteadas en cuanto a duración, exactitud de regulación y menor mantenimiento, junto con el desarrollo tecnológico alcanzado en los últimos años en electrónica, han hecho posible el empleo de los transistores en los equipos de regulación, consiguiéndose de esta forma fabricar reguladores electrónicos en los que se suprimen los contactos y partes móviles, que son causa de frecuentes desajustes por desgaste y rotura. Sus pequeñas dimensiones y reducido peso, así como su elevada resistencia contra sacudidas, hacen posible incluso montar este regulador sobre el alternador, con las ventajas que ello reporta.

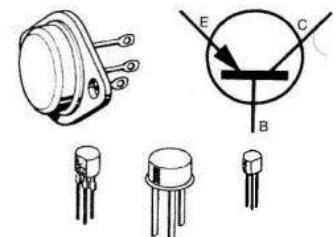
En las aplicaciones específicas, se distinguen los reguladores de contactos con ayuda electrónica y los que son totalmente electrónicos. En ambos, los principales componentes son los diodos y transistores.



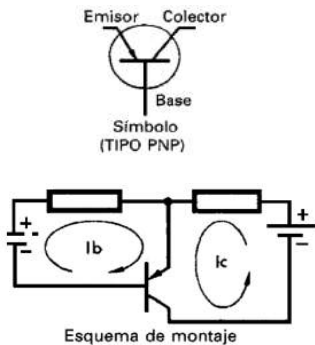
El transistor es un elemento electrónico formado por la unión de dos diodos en oposición, capaz de regular el paso de corriente en un circuito eléctrico. Esencialmente el transistor desempeña una labor similar a la de un relé, controlando corrientes elevadas.

Exteriormente el transistor presenta diferentes formas y estructuras, pero disponen de tres bornes denominados respectivamente emisor, colector y base, el último de los cuales actúa como barrera aislante de los dos anteriores, de manera que no existe conducción de corriente entre el emisor y el colector mientras no se aplique tensión a la base.

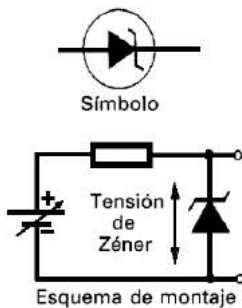
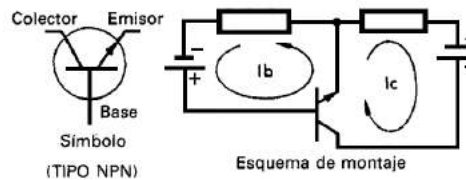
Dependiendo del tipo de unión de los diodos que lo forman, un transistor puede ser del tipo PNP o bien del tipo NPN. La diferencia entre los mismos reside en la dirección de la corriente principal de paso. La figura muestra el símbolo y terminales de un tipo PNP.



Las imágenes muestran dos tipos de transistor, en los cuales, la corriente principal I_c entre el emisor y el colector está controlada por la corriente I_b establecida entre el emisor y la base, es decir, solamente se establece corriente en el circuito emisor-colector, cuando previamente se ha establecido en el circuito emisor-base.



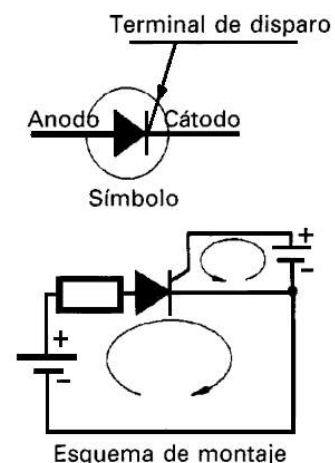
En el transistor del tipo PNP, la corriente de base circula en el sentido emisor-base y la corriente principal I_c hace en el sentido emisor-colector. En el transistor del tipo NPN, los sentidos de ambas corrientes son contrarios a los anteriores, aunque el funcionamiento es similar



Otro componente electrónico utilizado es el diodo Zener que en sentido directo funciona como otro normal, pero que montado en sentido inverso permite el paso de corriente cuando se le aplica una determinada tensión, denominada tensión de Zener. Antes de alcanzado este valor, el diodo no conduce, comportándose como un diodo normal. Su símbolo y esquema de montaje es el representado en la figura.

El Tiristor es un diodo cuyo funcionamiento está controlado por un tercer borne denominado terminal de disparo. La Figura muestra su símbolo y conexionado.

Este componente electrónico tiene un comportamiento similar al de un diodo normal cuando se aplica tensión en sentido inverso. Sin embargo, para que conduzca en sentido directo (de ánodo a cátodo), es necesario establecer previamente una corriente desde el terminal de disparo al cátodo, tras lo cual, la corriente directa no se interrumpe, aunque desaparezca la existente entre el terminal de disparo y el cátodo. Para que deje de conducir, es necesario anular la corriente entre ánodo y cátodo, es decir, la corriente directa.



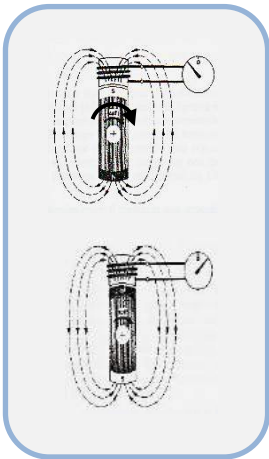
Revisa el siguiente video que permitirá comprender mejor el funcionamiento de los diodos.

<https://www.youtube.com/watch?v=zUHPppFyCxM&list=PLAD320C746B1AECF6>

Principio de Funcionamiento del Alternador.

El funcionamiento de este equipo eléctrico está basado en el principio de inducción electromagnética, por el cual, si un conductor eléctrico corta líneas de fuerza de un campo magnético, se induce en él una f.e.m., careciendo de importancia que el campo magnético esté fijo y el conductor se mueva o, por el contrario, sea el conductor el que esté fijo y el campo magnético el que se mueva.

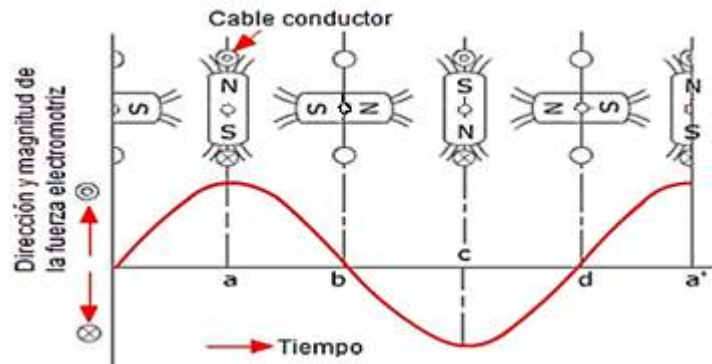
En la Figura se ha representado un imán N-S de barra, que puede girar alrededor de su punto medio en el sentido de la flecha. Cuando el polo norte se presenta a la bobina, ésta se ve afectada por el campo magnético del imán, engendrándose en ella una f.e.m. que es acusada por el galvanómetro. Si es el polo sur el que se presenta a la bobina, la f.e.m. inducida en ella como consecuencia de la variación del flujo que la atraviesa, es de sentido contrario al anterior.



Como los polos del campo magnético cambian de posición a consecuencia del giro, en la bobina se induce una f.e.m. alterna, cuya magnitud y sentido está variando continuamente.

Las desviaciones de la aguja del galvanómetro indican los valores máximos correspondientes después de cada media vuelta. Con el giro del imán N-S, la curva de la f.e.m. entre los valores máximos, es la representada en la figura de abajo que, como vemos, tiene forma **senoidal**. Esta f.e.m. es tanto mayor, cuanto más intenso es el campo magnético inductor, al número de espiras del inducido y más elevada la velocidad con que se cortan las líneas de fuerza.

Si bien, se ha descrito la curva de una fase hay que considerar que en los alternadores de uso automotriz, se obtiene una corriente alterna trifásica, dado que el devanado estático dispone tres arrollamientos independientes entre sí, en cada uno de los cuales se origina una tensión alterna.



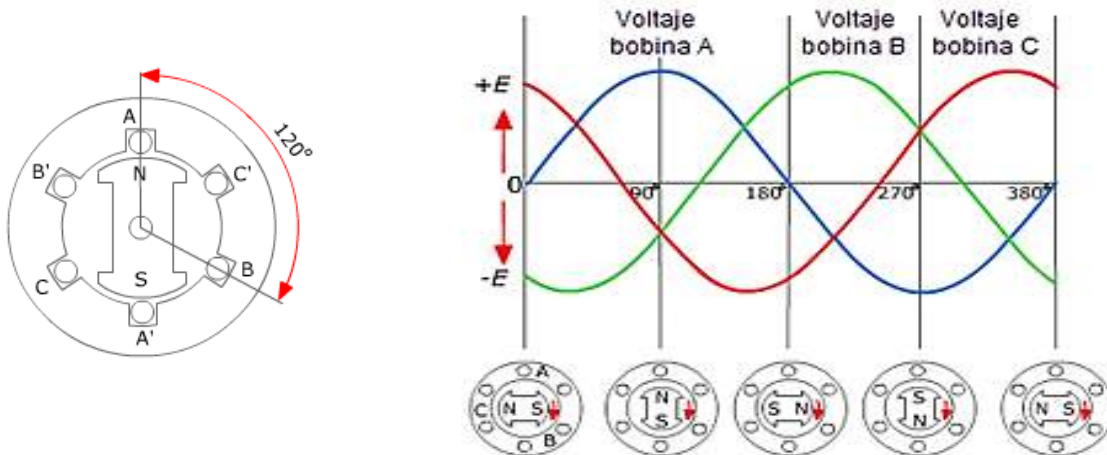
¿Qué es F.E.M?

¿Qué instrumento permite ver la F.E.M y cómo se conecta?

Nombra dos variables que influyen en la magnitud de la F.E.M.

Antes de continuar revisa el siguiente video (Electromagnetismo)
<https://www.youtube.com/watch?v=Dbo8ovHRZFU>

Estos arrollamientos, bobinas o fases se encuentran desplazados 120° entre sí, como se muestra en la figura, de forma que con el giro del rotor, el campo magnético giratorio presenta su máxima intensidad sucesivamente a cada fase, induciendo en cada una de ellas la correspondiente tensión alterna cuyos valores máximos se obtienen con un desfase de 120° , dado el posicionamiento de las fases. La corriente así obtenida es, por tanto, una **corriente alterna trifásica**.

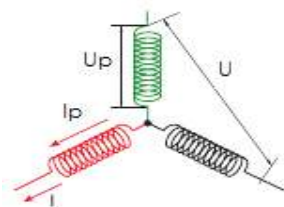


Las tres fases están enlazadas entre sí mediante una conexión que puede ser en estrella o en triángulo. Estas dos clases de conexión, que se diferencian por su corriente y tensión en bornes. Si se relacionara la (U) la tensión en bornes, (I) la corriente en bornes, U_p como tensión de fase, e I_p como corriente de fase, se obtiene lo siguiente.

Conexión Estrella

$$I = I_p$$

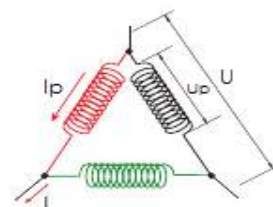
$$U = U_p \sqrt{3}$$



Conexión Triángulo

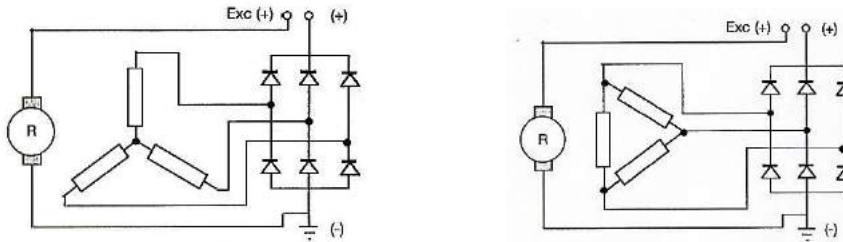
$$I = I_p \sqrt{3}$$

$$U = U_p$$



De la relación se desprende que en todo instante la tensión en bornes del alternador conectado en estrella es un poco mayor que la inducida en una fase, mientras que la corriente total obtenida es igual a la de una fase. Por el contrario, en el alternador de conexión en triángulo debido a la disposición de su devanado, puede obtenerse una corriente total superior a la de una fase, mientras que la tensión en borne es igual a la obtenida en cualquiera de sus fases.

En las siguientes imágenes se representa la integración de las conexiones estrella y triángulo al conjunto rectificador.

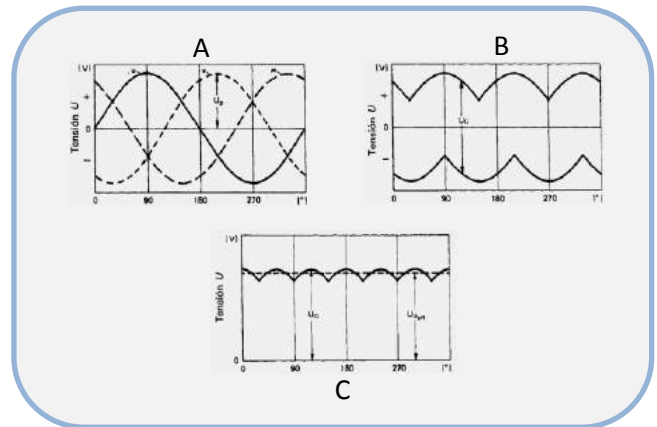


Una vez lograda la generación de energía (tensión y corriente alterna) es necesario adecuarla para el uso en el sistema eléctrico del vehículo, es decir, la energía alterna debe cambiar a continua. Para lograr esta adecuación de la energía se utiliza un conjunto de diodos denominados rectificadores que aprovecha tanto las semiondas positivas como las negativas de cada fase para obtener una tensión continua levemente ondulada.

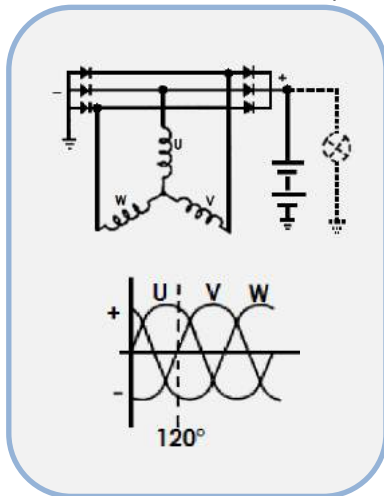
En las gráficas se distingue la tensión inducida, con letra A la tensión alterna trifásica lograda en el estator.

En la gráfica B, la tensión desarrollada en un instante cualquiera del giro del rotor es de igual valor en todo momento, representando la diferencia entre las tensiones positivas y negativas en igual ángulo de giro.

En la gráfica C, haciendo la tensión negativa igual a cero, el valor máximo de tensión resulta una línea ondulada y de valor positivo en todo momento.

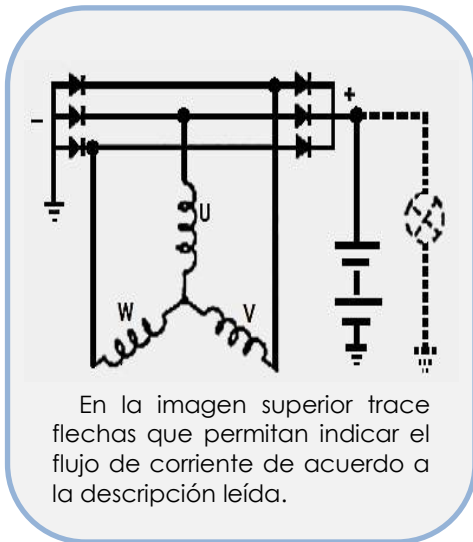


En la Figura se ha integrado a las bobinas del estator y puente rectificador el acumulador o batería y una luz representando a los consumos del vehículo.



Si tomamos un momento cualquiera del funcionamiento del alternador, por ejemplo el punto correspondiente a los 120° (línea segmentada), vemos que en este instante, la fase **U** está induciendo una tensión positiva, la **W** negativa y, en **V**, la tensión inducida es nula; todo ello debido a la posición que ocupan los polos del rotor frente a las bobinas de las distintas fases.

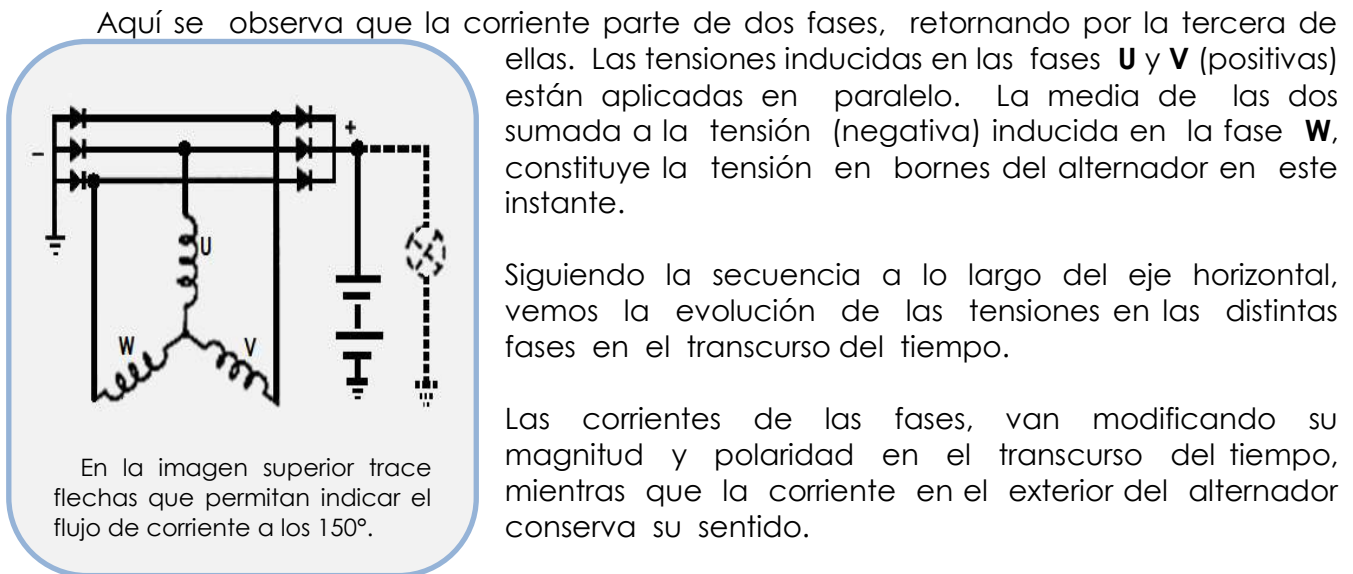
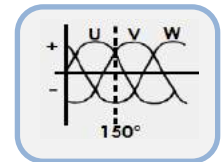
De esta manera, el recorrido de la corriente es el siguiente: Terminal de la fase **U**, diodo positivo de esta fase, borne + del alternador, batería y aparatos consumidores, masa, borne negativo del alternador, diodo negativo de la fase **W** y terminal de esta misma fase, cerrando el circuito en la unión



de las dos (punto neutro). Por la fase **V**, en este caso, no circula corriente alguna, como puede verse en la figura.

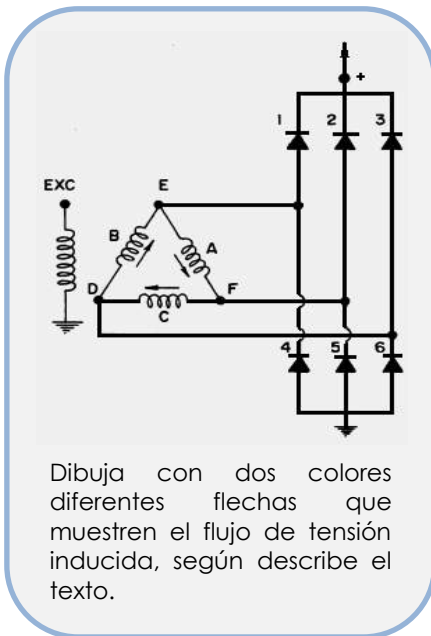
La corriente obtenida en el alternador en el instante representado en la figura, solamente puede circular en el sentido que se ha representado con las flechas, pues la situación de los diodos del puente rectificador impide cualquier otro sentido. De esta manera, la tensión en bornes del alternador en este instante es la suma de las inducidas en la fase **U** (positiva) y en la **W** (negativa), que equivale a la tensión en bornes en el instante dado.

Si se toma como referencia el punto correspondiente a los 150° , la situación es la mostrada en la imagen, en cuyo diagrama podemos apreciar que en ese instante, las fases **U** y **V** inducen tensiones positivas, mientras la inducida en **W** es negativa. La corriente circula en este caso en el sentido marcado por las flechas y fluye con la misma intensidad desde los terminales de las fases **U** y **V** hacia el diodo respectivo del lado positivo, regresando al punto neutro a través del diodo del lado negativo correspondiente a la fase **W**. En esta situación, circula corriente por las tres fases.



En la imagen siguiente se ha representado esquemáticamente un alternador de triángulo con su puente rectificador y a un costado del mismo se sitúa el devanado del inductor o rotor.

Si vamos observamos sucesivos momentos en el funcionamiento del conjunto de componentes, en un instante determinado induce f.e.m. la fase B y la corriente se establece en el sentido: terminal E, diodo 1, borne positivo del alternador, batería y



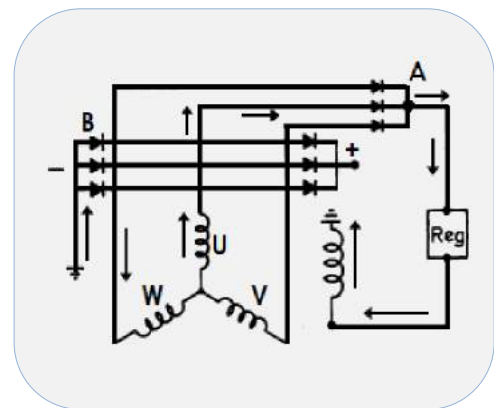
servicios, masa, diodo 6 y terminal D, cerrando circuito. En otro instante, la tensión inducida en esta misma fase tiene sentido contrario al anterior y la corriente se establece en el sentido: terminal D, diodo 3, borne positivo, batería y servicios, masa, diodo 4 y terminal E, cerrando el circuito.

La misma secuencia puede aplicarse a las restantes fases y, aunque la corriente en éstas cambia de dirección, el grupo rectificador formado por los diodos, hace que en todo momento la corriente exterior sea continua, pudiéndose así cargar la batería, la cual no se descargará sobre el alternador (está conectada directamente a él) cuando éste se detenga, porque los diodos se presentan contrarios al sentido de esta corriente de descarga.

En la práctica, el devanado estático del alternador está dispuesto de tal forma, que aunque en un momento sea una fase la que induce el máximo de f.e.m., por presentarse los polos del rotor totalmente frente a ella, las demás fases también inducen f.e.m. en ese instante, pues también son cortadas por líneas de fuerza del campo magnético del rotor. Para un determinado régimen de giro, la f.e.m. total inducida (suma de las inducidas en cada fase), es la misma en cualquier instante.

La corriente necesaria para formar el campo magnético en el rotor del alternador (excitación), se toma generalmente de la batería o borne positivo del alternador (ambos van unidos en el vehículo) a través del regulador y llave de contacto respectivamente, consiguiéndose así una excitación rápida y que el alternador comience a producir inmediatamente después de efectuado el arranque del motor de combustión.

En los alternadores con puente rectificador de nueve diodos, la corriente de excitación se deriva del devanado del estator y es rectificada por tres diodos especiales (A) de excitación y por los tres diodos de potencia (B) del lado negativo. El camino seguido por esta corriente es el marcado por las flechas para el instante tomado, que corresponde a los 120° de la fase u.

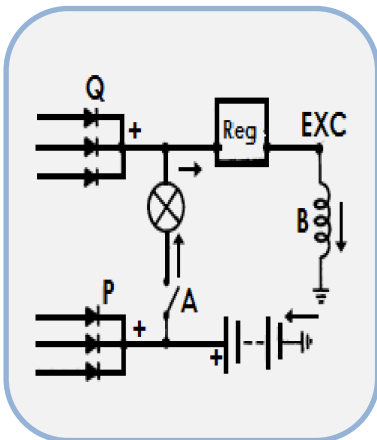


El alternador de la imagen, es del tipo autoexcitado, es decir, la corriente de excitación se toma del mismo alternador. En el comienzo del funcionamiento, al ser movido el alternador por el motor del vehículo, el magnetismo remanente en el rotor origina la formación de una pequeña f.e.m. en el estator, la cual ocasiona una

pequeña corriente en el circuito cerrado del rotor, que hace aumentar el campo magnético en él, volviéndose a incrementar con ello la f.e.m. inducida en el estator y así sucesivamente, ajustándose finalmente la f.e.m. deseada de acuerdo con el número de revoluciones del alternador.

Como en el circuito de excitación del alternador se encuentran los diodos, la auto excitación no puede iniciarse hasta haber alcanzado el alternador una tensión de $2 \cdot 0,6 = 1,2$ V, como mínimo.

El campo magnético remanente existente en el rotor, no genera esta tensión hasta que el alternador no alcanza un número elevado de revoluciones y, por ello, es necesario pre-excitar el alternador durante el arranque, lo cual se consigue con el circuito representado en la Figura, en la cual, puede observarse que al conectar el interruptor de encendido **A**, fluye una corriente desde el borne positivo de la batería al negativo de la misma, pasando por la lámpara de control de carga, regulador y devanado de excitación **B** del rotor.



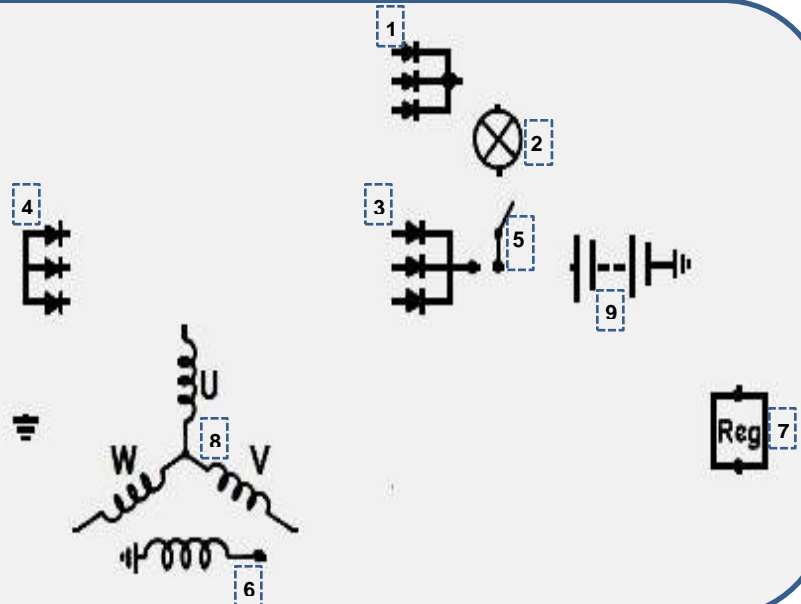
Esta corriente es suficientemente grande para iniciar la autoexcitación del alternador. Una vez que está produciendo f.e.m., la lámpara de control permanece apagada, ya que la tensión aplicada a sus dos extremos es igual, puesto que en los bornes correspondientes a los diodos de potencia (P) y de excitación (Q) del alternador, también lo es. En marcha el alternador, la excitación se produce normalmente desde los diodos de excitación Q, como se observa en la imagen.

Esta corriente es suficientemente grande para iniciar la autoexcitación del alternador. Una vez que está produciendo f.e.m., la lámpara de control permanece apagada, ya que la tensión aplicada a sus dos extremos es igual, puesto que en los bornes correspondientes a los diodos de potencia (P) y de excitación (Q) del alternador, también lo es. En marcha el alternador, la excitación se produce normalmente desde los diodos de excitación Q, como se observa en la imagen.

a. Una mediante líneas los componentes formando el circuito de carga.

b. Escriba frente a cada número el nombre del componente:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____



Regulación del Sistema de Carga.

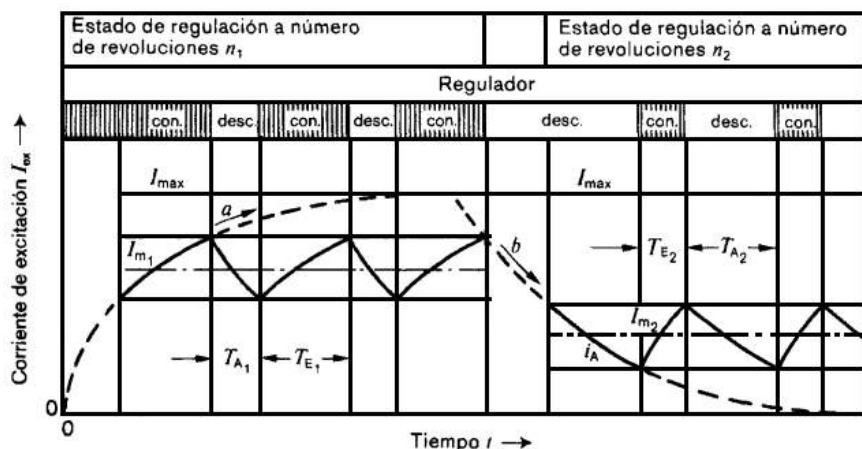
La regulación de la tensión se consigue básicamente actuando sobre la corriente de excitación del alternador y, con ello, sobre el campo magnético creado en el rotor, el cual, aumenta o disminuye entre otras variables en función de los valores que toma la corriente de excitación.

Mientras la tensión generada en el alternador permanece por debajo de la tensión de regulación, el regulador no entra en función. Si la tensión en bornes del alternador sobrepasa el valor máximo prefijado, el regulador ocasiona, de acuerdo con el estado de carga de la batería, una reducción o una interrupción total de la corriente de excitación, lo que supone una disminución del campo magnético del rotor y, en consecuencia, también disminuye la tensión en bornes del alternador.

El descenso de la tensión generada hasta un valor prefijado, supone que la corriente de excitación vuelva a aumentar y, con ello, sube nuevamente la tensión en bornes, hasta sobrepasar nuevamente el valor prescrito. Seguidamente comienza de nuevo la secuencia, repitiéndose tantas veces como se produzca una subida de tensión.

Este proceso se sucede con tanta rapidez que la tensión del alternador es regulada manteniéndose en el valor constante deseado. El ajuste a las diferentes velocidades se efectúa automáticamente de manera que, a un número de revoluciones bajo, la corriente de excitación fluye con una intensidad elevada durante un tiempo relativamente largo, reduciéndose sólo por poco tiempo, con lo cual, su valor medio resulta elevado. Por el contrario, a un número de revoluciones elevado, la corriente de excitación permanece alta muy poco tiempo y es reducida durante un tiempo relativamente largo, por cuya causa, su valor medio resulta bajo.

La Figura muestra el gráfico de regulación de la corriente de excitación, donde se observa que el valor I_m de ésta, para un régimen bajo de revoluciones n_1 es relativamente elevado, mientras que resulta menor para un régimen n_2 más alto. Del mismo modo, el tiempo de conexión T_e es mayor a regímenes bajos, mientras que el de desconexión T_d alcanza mayores valores en regímenes altos.



Por todo ello, dependiendo de la relación tiempo circuito cerrado/tiempo circuito abierto, se establecerá una determinada corriente por el rotor, proporcional a esta relación, que determina la magnitud del campo magnético creado y, por tanto, de la tensión en bornes del alternador.

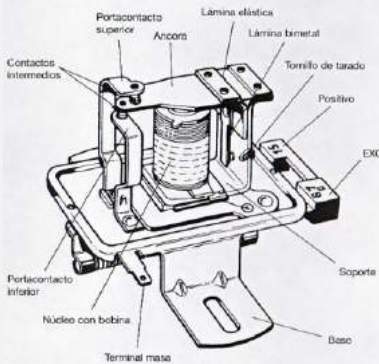
En los procesos de conexión y desconexión, la corriente de excitación aumenta y disminuye de una manera progresiva, debido a los efectos de autoinducción que se producen en la bobina del rotor. En el momento de la conexión, la intensidad de corriente va aumentando paulatinamente con la formación del campo magnético inductor durante el tiempo de conexión T_e . Lo contrario ocurre en la desconexión durante el tiempo T_a .

Los fenómenos de inducción electromagnética se producen en las bobinas en los instantes de inicio del paso de corriente y final de la misma, en los cuales, la bobina se comporta de manera similar a un muelle, de forma que cuando comienza a pasar la corriente, la bobina ofrece una gran oposición que va decreciendo a medida que transcurre el tiempo, con lo que la intensidad de la corriente va creciendo en el transcurso del tiempo. Lo contrario ocurre en los instantes del corte de corriente, en los cuales se obtiene el efecto contrario, como si la bobina tratase de devolver la energía acumulada en el inicio. Estos efectos serán estudiados con profundidad al tratar el sistema de encendido.

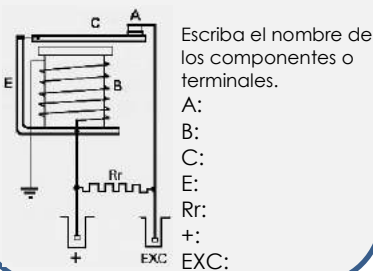
Debido a sus propias características, el alternador no necesita un regulador de intensidad, ya que esta regulación se efectúa de forma automática. Efectivamente, cuando la corriente entregada por el alternador y que sale del bobinado del estator es elevada, el campo magnético creado en las bobinas de las diferentes fases del estator, es suficientemente alto para oponerse al flujo inductor, lo que supone una limitación de la corriente inducida. El fenómeno de la autoinducción que aquí se produce, hace que la corriente generada no suba por encima de un cierto valor.

Ocurre, además, que cuanto más elevado es el giro del alternador, mayor es la frecuencia de la corriente inducida (cambio de sentido de la corriente en las fases). Este aumento de la frecuencia, supone que la autoinducción sea mayor, lo que significa una limitación de la corriente inducida mayor aún.

Componentes de un conjunto o caja reguladora de un elemento.



Esquema eléctrico



Escriba el nombre de los componentes o terminales.

- A:
- B:
- C:
- E:
- Rr:
- +
- EXC:

Como se señaló anteriormente existen diferentes modelos de reguladores siendo hoy en día los fabricados con componentes electrónicos los predominantes, sin embargo analizaremos primero los de contactos para comprender el principio de regulación.

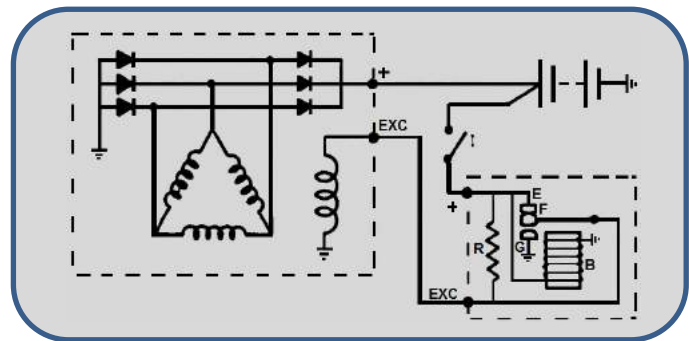
Cuando se cierra el interruptor de encendido **I**, la tensión del circuito (que en el caso de motor todavía parado es la de la batería), queda aplicada a la bobina **B**; pero la fuerza magnética de ésta es insuficiente para separar los contactos **E** y **F**, que se encuentran juntos en posición de reposo, tal como se ha representado en la figura. En estas condiciones, la corriente de excitación pasa desde la batería al rotor del alternador, a través de los contactos **E** y **F**, creando el campo magnético correspondiente.

En cuanto es puesto en marcha el motor del vehículo, la tensión generada en el alternador se hace superior a la de la batería y comienza la carga de ésta. Al propio tiempo, la bobina **B** queda sometida a esta tensión y, si el valor de la misma sobrepasa los límites establecidos (generalmente **14,5 V**), la fuerza magnética creada en el arrollamiento **B**, es suficiente para separar el contacto móvil **F** del fijo **E**, sin que llegue a tocar con el **G** (queda en posición intermedia). De esta manera, la corriente de excitación llega al rotor del alternador a través de la resistencia **R**, al no poder pasar a través de los contactos **E** y **F**.

La caída de tensión provocada por la resistencia, disminuye la corriente de excitación y, con ello, decrece el campo magnético inductor, con lo cual, desciende la tensión en bornes del alternador. Inmediatamente, los contactos **E** y **F** vuelven a juntarse, pues la fuerza magnética de la bobina **B** se ha debilitado y, la corriente de excitación aumenta al pasar por ellos, en vez de hacerlo por la resistencia. Nuevamente vuelve a crecer la tensión en bornes del alternador, produciéndose otra vez la regulación. Esta secuencia se repite continuamente, lográndose que la intensidad media que recorre el inductor sea la adecuada, dependiendo de los tiempos de apertura y cierre de los contactos.

De esta manera se consigue que la tensión en bornes del alternador sea la deseada, sin que sobrepase los límites prefijados de antemano.

Cuando el consumo de los receptores eléctricos es bajo o la velocidad de rotación del alternador es alta, la intensidad de la corriente de excitación que se obtiene en la posición



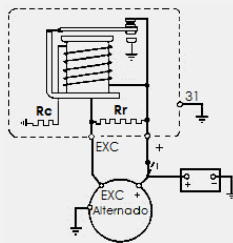
intermedia del contacto móvil **F**, es demasiado elevada, por lo que la tensión en bornes del alternador aumenta. En consecuencia, la fuerza de atracción de la bobina **B** es todavía mayor y hace que el contacto móvil **F** llegue a juntarse con el fijo **G**. De esta manera, la corriente de excitación que llegaba al rotor a través de la resistencia **R**, se desvía ahora a la salida de ella hacia los contactos **F** y **G** (ahora juntos) y masa, quedando el rotor en cortocircuito. Por esta causa, desaparece totalmente el campo magnético inductor y decrece bruscamente la tensión en bornes del alternador. Inmediatamente el contacto móvil vuelve a su posición de reposo y la tensión en bornes vuelve a crecer, repitiéndose nuevamente el ciclo completo.

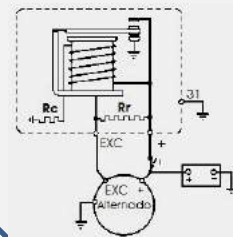
Estos fenómenos se repiten con la frecuencia necesaria para conseguir el valor adecuado de la intensidad de la corriente de excitación, manteniéndose la tensión en bornes del alternador dentro de unos valores previamente establecidos.

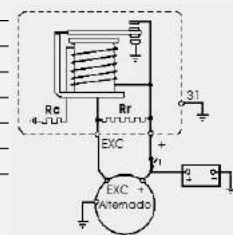
En algunos modelos de reguladores de contactos, se colocan en serie con el circuito de excitación, unas espiras de hilo grueso, que se arrollan encima de la bobina **B**. El efecto producido es elevar la frecuencia de la apertura y cierre de los contactos, en consonancia con el valor de la intensidad de corriente en el rotor.

Otras veces se dispone una resistencia al final de la bobina **B**, en serie con ella, para realizar la compensación térmica de la resistencia del arrollamiento, obteniéndose una menor variación de la resistencia eléctrica del conjunto con la temperatura y, con ella, menor variación de la tensión regulada.

Con ayuda de la lectura anterior en el espacio asignado indique el nombre de la etapa y describa brevemente el flujo de energía.







Algunos alternadores incorporan al grupo rectificador tres diodos auxiliares, que se utilizan para el control de la luz testigo de carga, sustituyendo al elemento auxiliar incorporado en el regulador que, de esta forma, queda con un solo elemento.

En la figura de abajo, se ha representado esquemáticamente una de las disposiciones del circuito de carga con lámpara de control, en un alternador de nueve diodos.

Cuando se cierra el interruptor I (con el motor parado todavía), la corriente pasa desde la batería, a través de la lámpara T, borne + del regulador, contactos P y Q y borne EXC del regulador, de donde va hasta el rotor del alternador, realizando la excitación necesaria. La lámpara de control está, por tanto, encendida.

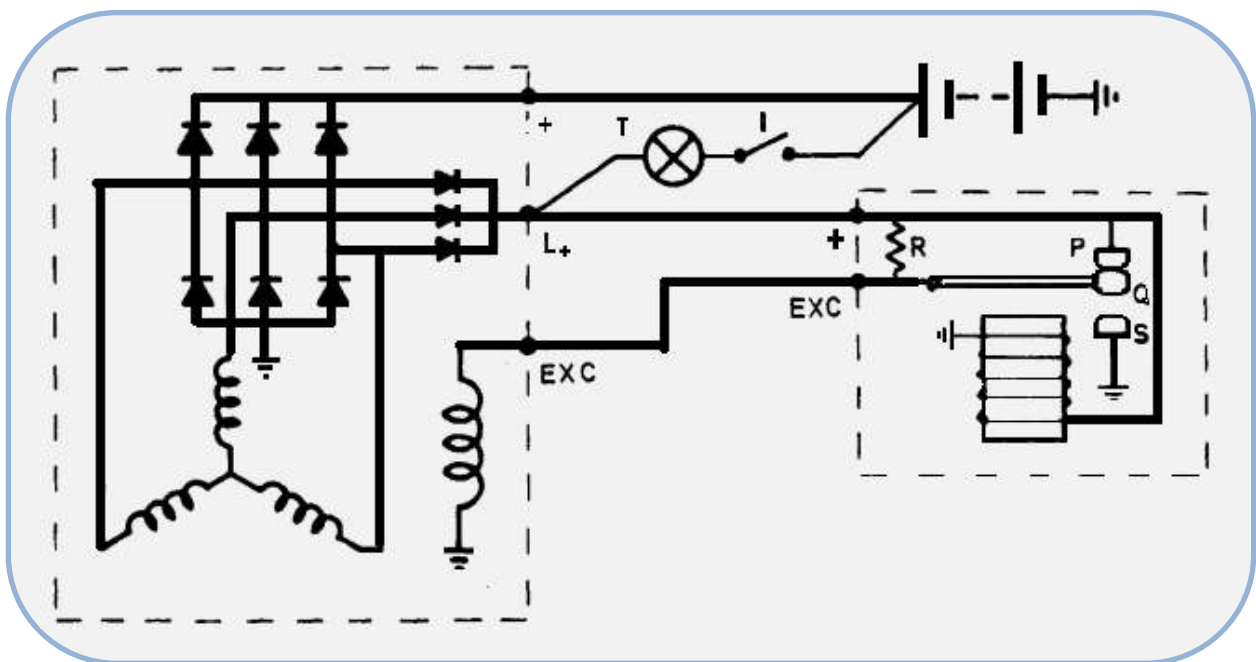
Al ponerse en marcha el motor, comienza a producir f.e.m. el alternador y se establece la corriente de carga desde su borne + hasta la batería, a través de los diodos de potencia. La tensión existente queda aplicada a la lámpara T a través del interruptor I.

De otra parte, en el borne L+ del alternador, hay ahora la misma tensión que en el borne + y está aplicada al otro extremo de la lámpara, con lo cual, por ésta no circula corriente alguna, al tener aplicada a sus dos extremos la misma tensión. La lámpara, por tanto, se apaga indicando que el alternador funciona correctamente.

En este tipo de alternador, la corriente de excitación se establece a través de los diodos de excitación, borne L+, borne + del regulador, contactos P y Q y borne EXC del regulador, de donde va hasta el rotor.

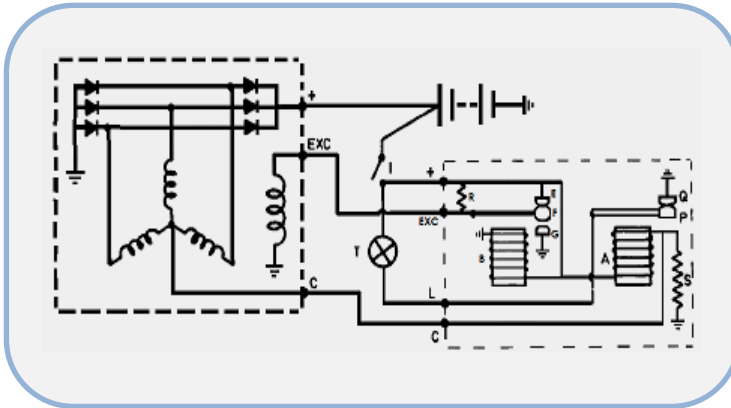
El regulador de tensión propiamente dicho, funciona de manera similar a los ya explicados.

La bobina que gobierna los contactos P y Q está sometida a la tensión existente en el borne L+ del alternador y, cuando ésta sube en exceso, se produce la apertura de estos contactos, quedando intercalada la resistencia R en el circuito de excitación, con lo que se consigue la regulación.



En algunos modelos se dispone de otro elemento que se emplea para el control de la lámpara testigo de carga, que va situada en el tablero de instrumentos del vehículo.

En la Figura puede observarse uno de estos reguladores, con las conexiones correspondientes al circuito de carga.



El alternador presenta la variante de que en el centro de la estrella formada en el devanado inducido, se toma una conexión para un borne auxiliar **e**, que gobierna el encendido y apagado de la lámpara testigo de carga **T**, juntamente con el elemento auxiliar incorporado en el regulador.

El regulador de tensión lo constituye una **bobina B**, que gobierna los contactos **E**, **F** y **G**, de los cuales, los **E** y **F** están conectados en serie

con el circuito de excitación, al igual que ya se vio en el anterior regulador. El funcionamiento del limitador de tensión es, por tanto, similar al ya explicado. En posición de reposo, los contactos **E** y **F** están unidos y solamente se separan cuando se produce la regulación, pudiéndose llegar a juntar el **F** con el **G** en los casos límite.

El elemento auxiliar de control de la lámpara testigo de carga, está formado por una bobina **A**, conectada entre los bornes **+** y **e**, que gobierna los contactos **P** y **Q**, juntos en posición de reposo.

El contacto **P** es móvil y va unido a la lámpara **T** por mediación del borne **L**. El otro extremo de la lámpara está unido al borne positivo del alternador y batería, a través del interruptor de encendido **I**.

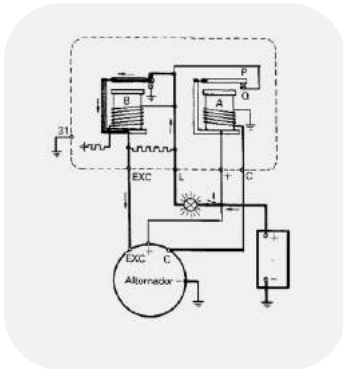
Cuando se cierra el interruptor **I** (con el motor parado), la corriente pasa desde la batería a través de la lámpara **T**, borne **L**, contactos **P** y **Q** y masa, encendiéndose la lámpara.

Con el motor ya funcionando y el alternador produciendo f.e.m., la tensión en el borne **e** es aproximadamente la mitad de la que hay en el borne **+** y, por esta causa, se establece una corriente entre ambos bornes de sentido **+** a **C**. Esta corriente circula a través del interruptor **I**, borne **+** del regulador, bobina **A** y borne **e** del regulador, cerrándose el circuito por el borne **e** del alternador y centro de la estrella. En la bobina, por tanto, se crea un campo magnético capaz de separar los contactos **P** y **Q**, con lo cual, queda interrumpida la corriente a través de la lámpara **T** y ésta se apaga, indicando que el circuito de carga funciona correctamente.

Por otra parte, la corriente que llega al borne **+** del regulador está pasando a la excitación del alternador a través de los contactos **E** y **F** como ya conocemos.

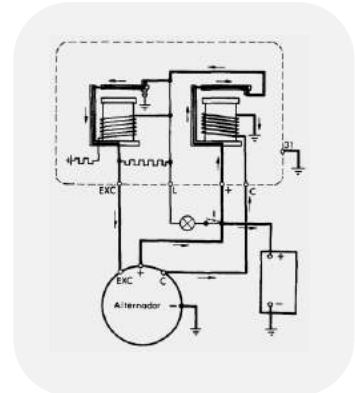
Cuando el alternador sufre una avería y no produce f.e.m., la diferencia de potencial (d.d.p.) entre los bornes **+** y **C** del mismo es nula y, por esta causa, no circula corriente a través de la bobina **A**, por lo que los contactos **P** y **Q** permanecen cerrados y la lámpara **T** encendida, indicando que el alternador no carga.

El elemento de control de la lámpara testigo de carga instalado en el regulador, varía de unos modelos a otros, según el tipo de alternador y conexiones utilizados en el vehículo.



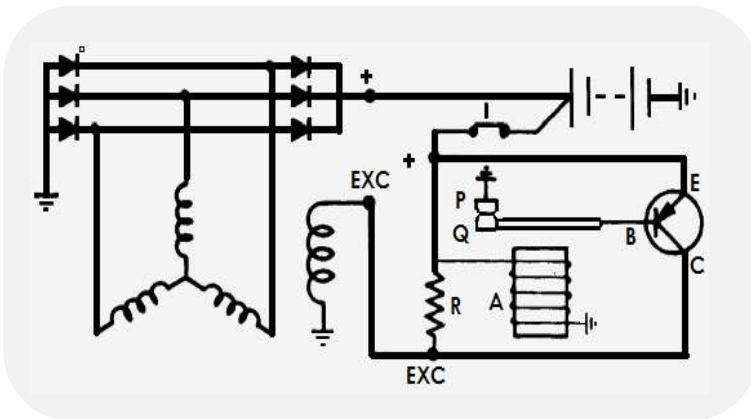
Otro de los modelos más empleados es el representado en la Figura izquierda, donde puede verse que la bobina A, está conectada entre el borne e del alternador y masa. Los contactos P y Q están abiertos en posición de reposo, pudiendo cerrarse por la acción del campo magnético creado por la bobina A cuando circula corriente por ella.

Cuando se cierra el interruptor de encendido I, la corriente de excitación se establece a través de la lámpara por el circuito marcado de trazo grueso en la figura. Esta corriente es menor que en el caso del circuito tratado anteriormente, pero, en todo caso, es suficiente para conseguir la excitación del rotor, con lo cual, el alternador producirá f.e.m. en cuanto esté girando el motor de combustión. Cuando esto ocurre (Figura derecha), la tensión existente en el borne e establece una corriente a través de la bobina, capaz de crear un campo magnético suficiente para cerrar los contactos, en cuyo momento, la lámpara se apaga, pues a los dos extremos de la misma está aplicada una tensión igual. El circuito de excitación se establece ahora a través de los contactos P y Q, tal como se observa.



Si el alternador no produce f.e.m., la tensión en el borne e es nula y los contactos P y Q se abren, encendiéndose la lámpara de control.

En un primer paso hacia los reguladores totalmente electrónicos, se utilizaron los convencionales con ayuda electrónica, la cual consistía en añadir un transistor en el circuito de excitación, de manera que limitara la corriente de paso a través de los contactos del regulador.



En la Figura puede verse de manera simplificada un regulador de tensión para alternador, equipado con ayuda electrónica.

La corriente de excitación es gobernada por el transistor, en cuyo circuito de mando (emisor-base) se encuentran los contactos del regulador, cuyas aperturas y cierres se deben a la bobina A, a la que está aplicada la tensión en bornes del alternador. La fuerza magnética de esta bobina actúa

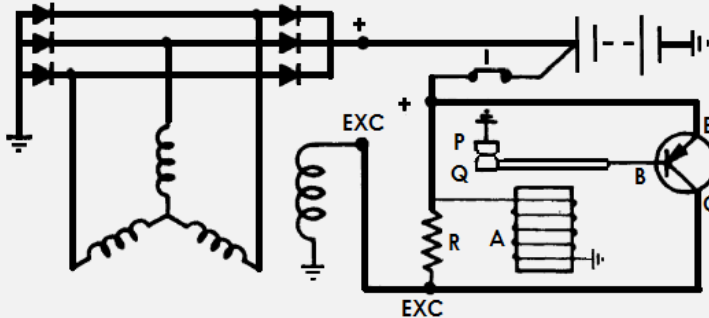
sobre el contacto móvil Q.

En condiciones normales de carga, el campo magnético de la bobina A no es suficiente para separar los contactos P y Q y, por ello, está establecido el circuito emisor-base, circulando la corriente en este sentido a través de los contactos P y Q, cerrando circuito en masa. Así, queda establecido el circuito emisor-colector y la corriente principal se establece por este camino para alimentar la excitación del alternador. En esta situación está representado el circuito en la figura.

Si la tensión en bornes del alternador sube por encima del valor preestablecido, el campo magnético creado en la bobina A es capaz de separar los contactos P y Q, interrumpiendo el circuito emisor-base del transistor, en cuyo momento, éste queda bloqueado y no hay conducción en el sentido emisor-colector, lo cual supone que la corriente de excitación ha de desviarse por la resistencia R, desde el borne + al EXC, produciéndose la regulación. Inmediatamente vuelven a juntarse los contactos P y Q, repitiéndose nuevamente la secuencia explicada.

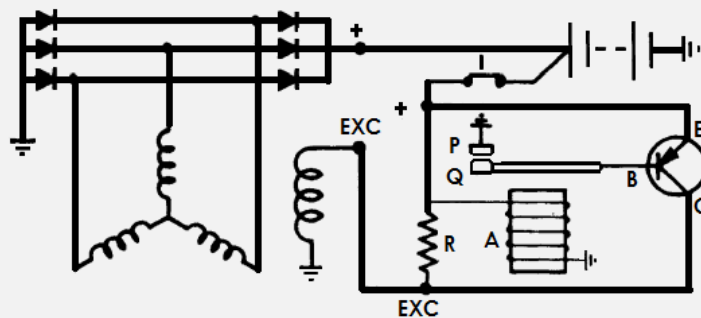
La principal ventaja que aporta este sistema de ayuda electrónica, es que la corriente de excitación no pasa a través de los contactos vibrantes P y Q, pues a través de ellos sólo lo hace una corriente mínima, con lo que se consigue aumentar grandemente la duración de los contactos, pues el chispeo que se produce en las aperturas y cierres ha sido disminuido al hacer pasar por ellos una corriente menor.

De otra parte, la corriente principal, gobernada por la de mando, circula a través del circuito emisor-colector, pudiéndose aumentar la corriente de excitación en los alternadores, sin ocasionar problemas, sobrepasando la cota de 2 A establecida como máximo aconsejable e en los reguladores de contactos.



Sobre marque con lápiz de color el flujo de corriente hacia el rotor cuando los terminales P y Q están en contacto.

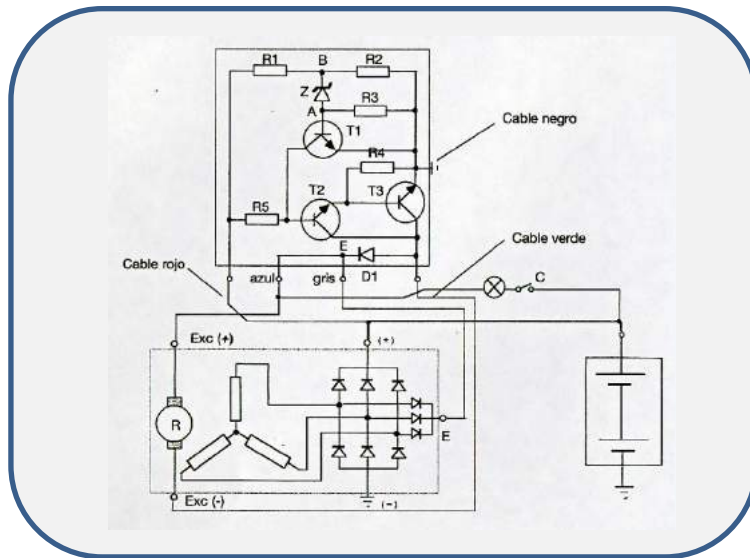
Sobre marque con lápiz de color el flujo de corriente hacia el rotor cuando los terminales P y Q están separados.



En un conjunto o caja reguladora actual se observa que los componentes forman un pequeño volumen desarrollando funciones similares a sus predecesoras, gracias a la aplicación de componentes electrónicos insertos en diminutos circuitos. Un ejemplo de la aplicación de las cajas integradas electrónicas se observa en la figura.

Funcionamiento:

Cuando la tensión en bornes es inferior a la tensión de regulación, al cerrar el contacto, la tensión entre A y B es inferior a la tensión umbral del Zener, como consecuencia de ello T₁ no funciona. Sí lo hace en cambio T₂, pues recibe corriente de base y alimenta a la base de T₃, que cierra a masa el circuito de la escobilla negativa.



Cuando se alcanza o supera la tensión de regulación, la tensión entre A y B supera la tensión Zener, por lo que el diodo empieza a conducir, provocando la excitación del transistor T₁, dejando de funcionar T₂ y T₃, aislando la escobilla negativa de masa, lo que provocará una o disminución del flujo magnético de la bobina inductora, y como consecuencia una bajada de la fuerza electromotriz de salida del alternador.

Al bajar la tensión se producirá nuevamente el ciclo de regulación.

El diodo D₁ tiene como misión

evitar la sobretensión cuando abre T₃.

El circuito de la lámpara de control funciona mediante la diferencia de potencial entre C y E. La compensación térmica se realiza mediante una resistencia NTC.

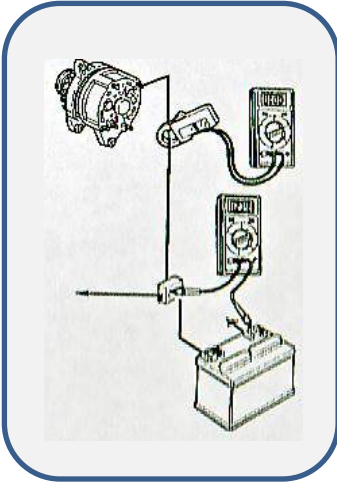
En estos reguladores se han eliminado las partes electromecánicas, contactos, bobinas, electroimanes, resortes, etc. sustituyendo estos elementos por diodos, resistencias y transistores. Esto ha supuesto las siguientes ventajas:

- Los tiempos de conexión - desconexión son más breves, lo que implica que los escalones de regulación sean más pequeños.
- Al prescindir de contactos móviles, no tienen desgastes en los mismos y no requieren mantenimiento.
-
- No se producen arcos ni picos de tensión en las conexiones.
-
- Son sistemas muy compactos, lo que implica mayor resistencia mecánica.
- Compensan la tensión, dependiendo de la temperatura, mediante una NTC, consiguiendo una regulación más ajustada.
- Al ser de menor tamaño, se monta directamente en el alternador, generalmente adosados al soporte porta-escobillas.

Comprobación del sistema de carga:

En principio se comprobará el estado de carga de la batería, después se comprobará el estado de las conexiones entre batería y el alternador, y entre los dos y el regulador si se trata de un regulador electromagnético. Para finalizar estas comprobaciones preliminares, se verificará el tensado de la correa de arrastre del alternador.

Posteriormente se verifica mediante instrumentos el funcionamiento eléctrico del conjunto Alternador - regulador en el vehículo, observando los valores de tensión a la salida del alternador (Tensión de carga). Con el motor detenido sin movimiento la tensión debe ser como mínimo 12,6 V y deberá aumentar en la medida cuando el motor se pone en movimiento fluctuando de 13,6 V a 14,5 V aproximadamente.

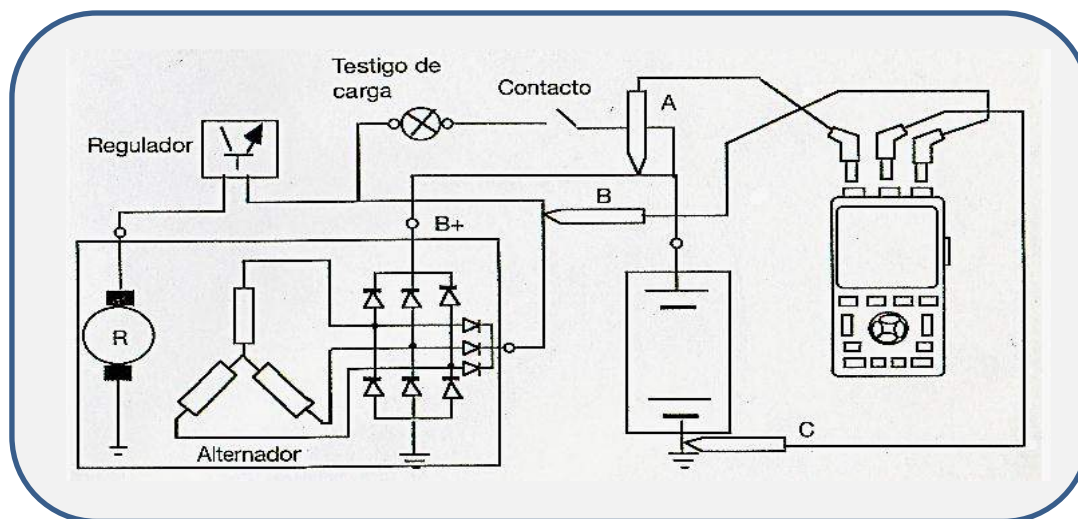


Además con una pinza amperimétrica se comprobará la corriente de carga alrededor del cable de salida del alternador, observando aproximadamente la intensidad máxima de dicha corriente cuando se conecten todos los elementos de consumo.

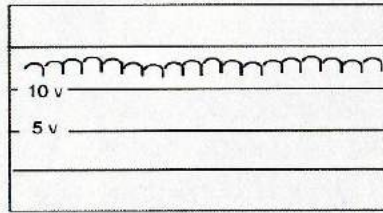
Finalmente se puede comprobar el funcionamiento del alternador mediante el uso de osciloscopio, permitiendo analizar la tensión aplicada a la batería durante la carga. Del análisis de la forma de la onda de la tensión, también denominado rizado, puede deducirse el estado del alternador, específicamente del conjunto o puente rectificador.

El análisis se realiza con el conjunto alternador - regulador en funcionamiento, ya sea en el vehículo o en el banco de pruebas. En cualquier caso debe estar sometido a carga, para lo cual habrá que provocar consumo, ya sea mediante la conexión de consumidores (Luces, luneta térmica, etc.), en el primer caso, o mediante el reóstato, cuando la prueba se realice en el banco.

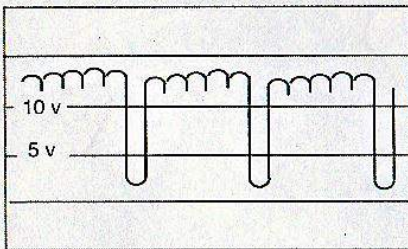
Para obtener la señal de la tensión, se conecta la sonda positiva del instrumento en paralelo entre la salida de corriente del alternador (B +), o a la salida de los diodos de excitación (D+) y al borne negativo o masa (común en la medición).



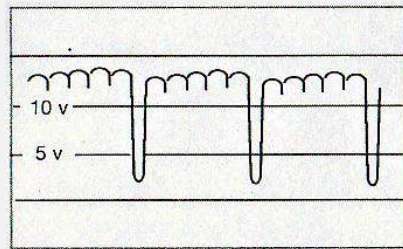
Para cada una de las condiciones de funcionamiento, o si procede, para cada una de las anomalías de funcionamiento, existe un oscilograma tipo. La comparación del oscilograma obtenido con estos, indicará el estado de funcionamiento del aparato.



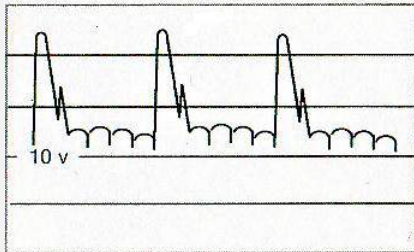
La imagen muestra el rizado ideal



Interrupción de un diodo de excitación

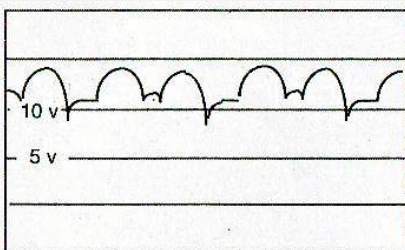


Tensión producida con un diodo de excitación en corto

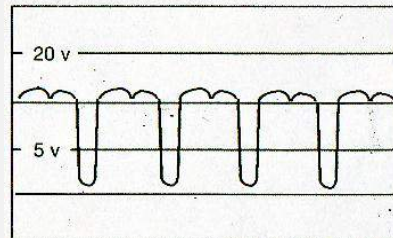


Interrupción diodo positivo:

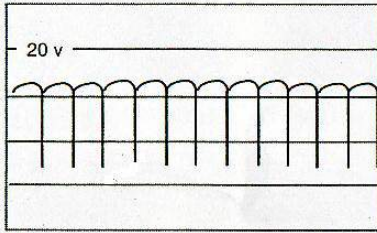
El diodo positivo no conduce durante su ciclo de paso, dejando pasar solamente la corriente de excitación. Al faltar el efecto de amortiguación que produce la batería, se produce peak de tensión de inducción, que aparecen en la señal como impulsos positivos.



Oscilograma de la tensión con un diodo positivo en corto.



Oscilograma de la tensión con un diodo negativo en corto.



En el caso que una fase esté interrumpida, se obtiene un oscilograma en el que cada armónico viene acompañado de una caída fuerte y repentina de la tensión.
(Oscilograma con fase anulada)

Consideraciones en la elección de un Alternador.

Para determinar las características y dimensiones de un alternador, es preciso considerar los diferentes factores que influyen en su funcionamiento.

Los fabricantes de vehículos determinan el tamaño del alternador atendiendo a que en cualquiera de las condiciones de utilización, el alternador debe ser capaz de suministrar la suficiente energía eléctrica para abastecer a los consumidores y mantener la batería en perfecto estado de carga, de manera que pueda ser utilizada en el arranque con plenas garantías. A este efecto, es preciso resaltar que la suma de los valores de consumo y las condiciones particulares de la circulación, son definitivas para determinar la curva característica del alternador necesario en cada caso.

En general, el balance energético de un alternador se realiza sumando la potencia eléctrica de todos los consumidores para determinar posteriormente, con ayuda de unas tablas la intensidad nominal mínima necesaria.

Por ejemplo, si en una determinada aplicación se obtiene una suma de consumidores igual a 500 W, la intensidad nominal del alternador necesario debe ser de 50 A.

También debe controlarse que la intensidad de corriente capaz de ser suministrada por el alternador para un giro en ralentí del motor, es superior a la requerida por los consumidores considerados permanentes, con el fin de garantizar la carga de la batería.

En la elección de un alternador se siguen criterios mecánicos y eléctricos, de entre los cuales destacaremos los siguientes:

- Tipo de vehículo y condiciones de servicio al que se destina.
- Margen de revoluciones del motor al que debe adaptarse.
- Tamaño, estructura y condiciones de montaje.
- Tensión nominal de la instalación eléctrica (capacidad de batería).
- Intensidad de corriente nominal y máxima (Intensidad de todos los consumos).
- Potencia útil.

Con estas premisas se determina el tipo de alternador necesario para cada aplicación de manera que satisfaga las necesidades requeridas.

Antes de finalizar observa cómo se realiza una reconstrucción del alternador.

<https://www.youtube.com/watch?v=s4xJpiSyr0o>

Compilación basada en los siguientes textos.

Bibliografía:

- Alonso Pérez, José Manuel. 1995, Electromecánica de vehículos "Circuitos electrotécnicos básicos sistema de carga y arranque", Madrid, Editorial Paraninfo.
- Tena Sánchez, José Guillermo. 2011, Sistema de carga y arranque, Madrid, Editorial Paraninfo.
- Alonso Pérez, José Manuel. 1998, Técnicas del Automóvil EQUIPO ELÉCTRICO, Séptima edición, Madrid, Editorial Paraninfo.
- Centro de Entrenamiento Técnico de Chonan, KIA. 2007, Sistema Eléctrico del Motor, Corea.
- Miguel Ángel Pérez Bello; Juan Jesús Martín Hernández. 2008, Tecnología de la Electricidad del Automóvil, Segunda edición, Cie inversiones editoriales Dossat