

*renfe*

# OFERTA DE EMPLEO

## Operador de Ingreso de Mantenimiento y Fabricación

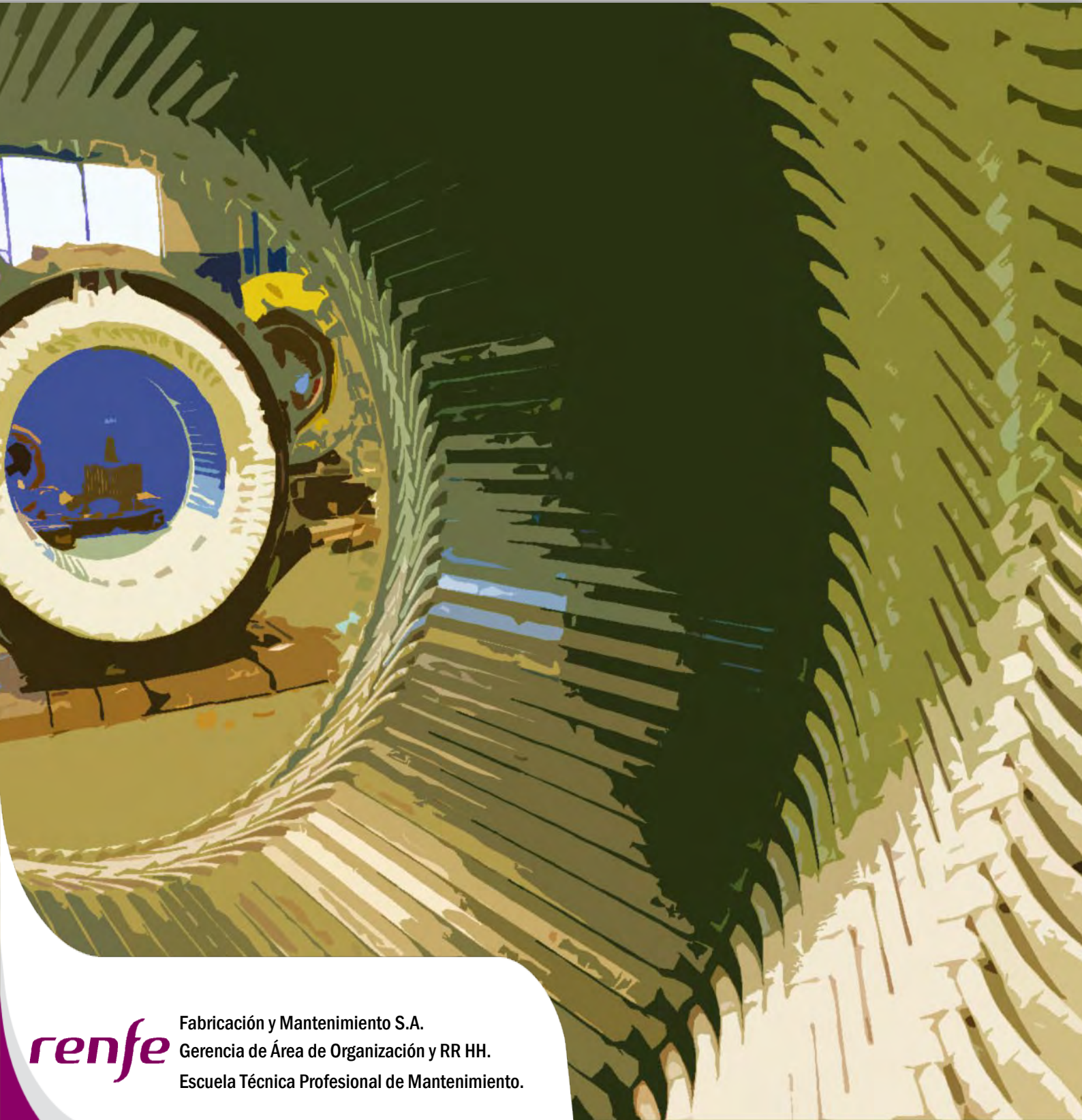
Temario específico para las pruebas presenciales  
Especialidad Electricidad-Electrónica



20  
24

# Índice

1. Máquinas Eléctricas Rotativas	3
2. Tracción Eléctrica	47
3. Sistemas de Seguridad y Registradores Jurídicos	95
4. Alta Tensión	122



**renfe**

Fabricación y Mantenimiento S.A.  
Gerencia de Área de Organización y RR HH.  
Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento.

# MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

**FTV-Básico**

**Edición 1**

Autores: Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento de Renfe

Edita: © Renfe-Fabricación y Mantenimiento S.A

Gerencia de Área de Organización y Recursos Humanos.

Gerencia de la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento.

Edición 1ª febrero 2019

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA DEL AUTOR.





## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>MOTORES Y GENERADORES DE CORRIENTE CONTINUA .....</b>	<b>7</b>
1.1	LA MÁQUINA ELÉCTRICA DE CORRIENTE CONTINUA COMO GENERADOR Y COMO MOTOR .....	7
1.2	PARTES PRINCIPALES DE LAS MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA .....	9
1.2.1	Rotor.....	11
1.2.2	Estator .....	13
1.3	CONEXIONES EQUIPOTENCIALES.....	16
1.4	CLASE TÉRMICA .....	17
1.5	TIPOS DE EXCITACIÓN.....	18
1.5.1	Excitación Serie .....	19
1.5.2	Excitación Shunt.....	19
1.5.3	Excitación Compound.....	19
1.5.4	Excitación Independiente.....	19
1.6	GENERADORES.....	20
1.7	MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA PARA TRACCIÓN .....	20
<b>2.</b>	<b>MOTORES Y GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA .....</b>	<b>23</b>
2.1	INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA .....	23
2.1.1	Rotor.....	25
2.1.2	Estator .....	26
2.1.3	Velocidad de Sincronismo .....	27
2.2	TIPOS DE MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA .....	29
2.2.1	Máquinas Asíncronas .....	31
2.2.2	Máquinas Síncronas .....	37
<b>3.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>41</b>

Este libro ha sido elaborado por la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento  
de Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.

**Es propiedad de Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.**

Queda prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin la autorización expresa del propietario.







## 1. MOTORES Y GENERADORES DE CORRIENTE CONTINUA

En un principio nos referimos a los motores y generadores de corriente continua como máquinas eléctricas rotativas cuyo cometido principal es transformar la energía eléctrica en mecánica (en el caso de los motores) y transformar la energía mecánica en eléctrica (en el caso de los generadores).

Una de las principales características de este tipo de máquinas eléctricas rotativas, se fundamenta en el principio de **reversibilidad**, es decir: tienen la capacidad de funcionar como motores y como generadores.

Para entender el funcionamiento de las máquinas eléctricas rotativas es necesario conocer previamente los fenómenos de inducción magnética.

La **inducción electromagnética** es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o tensión) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida. Este fenómeno fue descubierto por Faraday en 1830, quien lo expresó indicando que **la magnitud de la tensión inducida es proporcional a la variación del flujo magnético** (*Ley de Faraday*).

### 1.1 LA MÁQUINA ELÉCTRICA DE CORRIENTE CONTINUA COMO GENERADOR Y COMO MOTOR

Como hemos visto anteriormente, la producción de una f.e.m. en un conductor, al variar el flujo a que se encuentra sometido, se le denomina inducción. Este fenómeno lo podemos explicar en la siguiente

#### Experiencia:

- 1º. Si desplazamos un conductor de longitud " $l$ ", conectado a un galvanómetro, en un sentido en el interior de un campo magnético cortando sus líneas de fuerza, observaremos en la aguja del galvanómetro una desviación en un sentido determinado. Esto nos indica la inducción de una f.e.m.
- 2º. Si desplazamos el conductor en sentido contrario, observaremos que la aguja del galvanómetro se desplazará en el sentido contrario al anterior.
- 3º. Si aumentamos la velocidad del desplazamiento del conductor, observaremos que la aguja del galvanómetro sufrirá una desviación mayor que en los casos anteriores.
- 4º. Si sustituimos el imán que produce el campo magnético por otro de mayor potencia, se producirá una mayor desviación de la aguja del galvanómetro.
- 5º. Si sustituimos el conductor por otro de mayor longitud, cortando así mayor número de líneas de fuerza, también aumentará la desviación de la aguja.
- 6º. Si sustituimos el conductor por otro de diferente material, obtendremos un resultado que no variará de los obtenidos anteriormente.
- 7º. Si el desplazamiento del conductor es paralelo a la dirección de las líneas de fuerza del campo magnético, la aguja no se moverá.
- 8º. Si desplazamos el conductor de manera oblicua a las líneas de fuerza, la aguja se desviará, pero en menor grado.

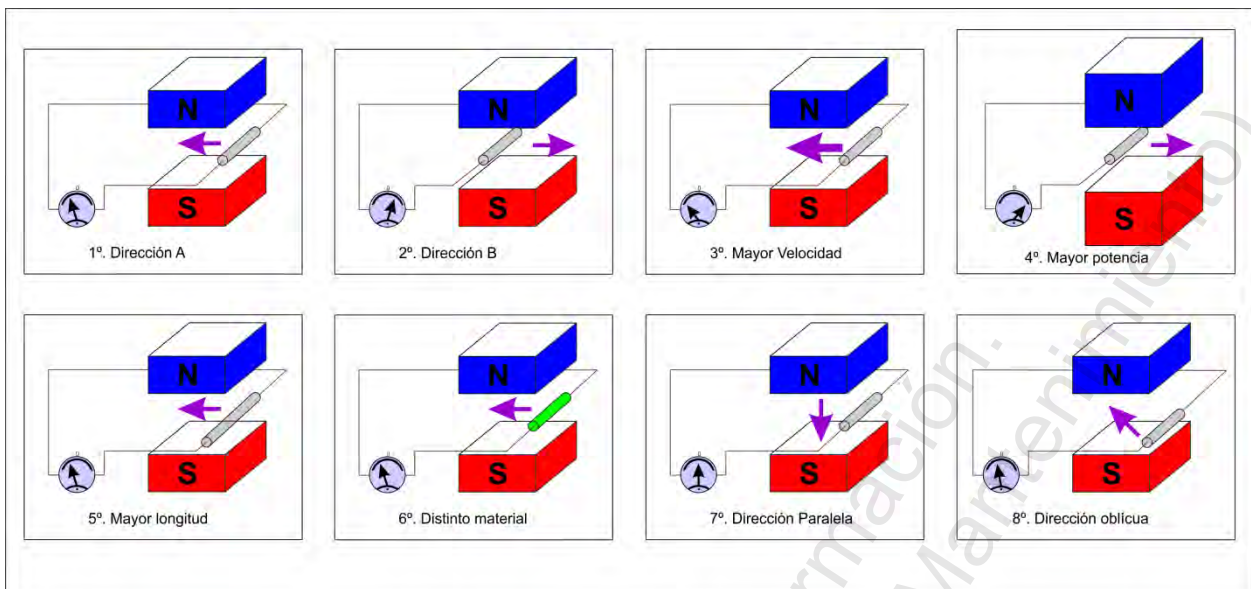


Figura. 1-1 Experiencia sobre inducción magnética

De esta experiencia se llega a las siguientes conclusiones:

- Cuando movemos un conductor en el interior de un campo magnético, cortando sus líneas de fuerza, se genera en este conductor una fuerza electromotriz.
- Esta f.e.m. es directamente proporcional a:
  - La inducción magnética ( $\beta$ )
  - La velocidad de desplazamiento del conductor ( $v$ )
  - La longitud del conductor ( $l$ )

Este es el principio de funcionamiento de las máquinas rotativas de CC como generadores.

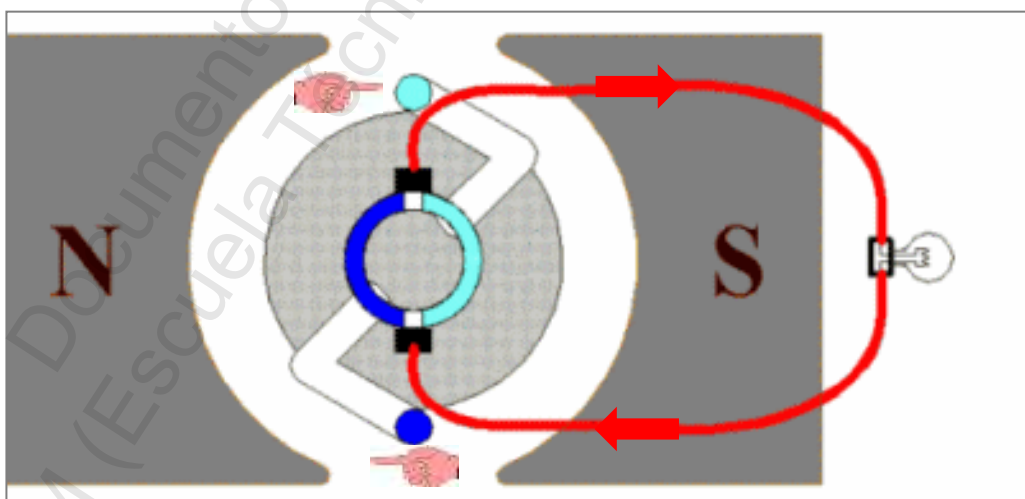


Figura. 1-2 Funcionamiento como generador

En el ejemplo anterior utilizamos un conductor rectilíneo, pero podemos usar un conductor en forma de espira.

Entendemos por **espira** cualquier conductor eléctrico con forma circular o rectangular plana.

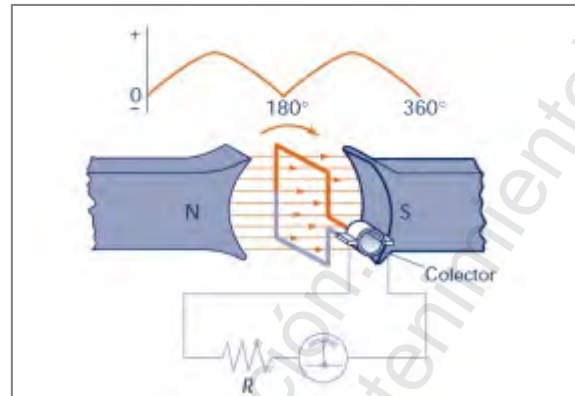


Figura. 1-3 Espira

Como principio de máquina rotativa de CC funcionando como motor, podemos enunciar que **cuando un conductor, por el que circula una corriente, se sitúa en el interior de un campo magnético, se crea una fuerza sobre él que produce su desplazamiento.**

De igual manera podemos experimentar que si alimentamos una espira que se encuentra bajo la influencia de las líneas de fuerza de un campo magnético, con una corriente eléctrica, en la espira observaremos la aparición de una fuerza de par que tenderá a desplazarla dentro del campo magnético.

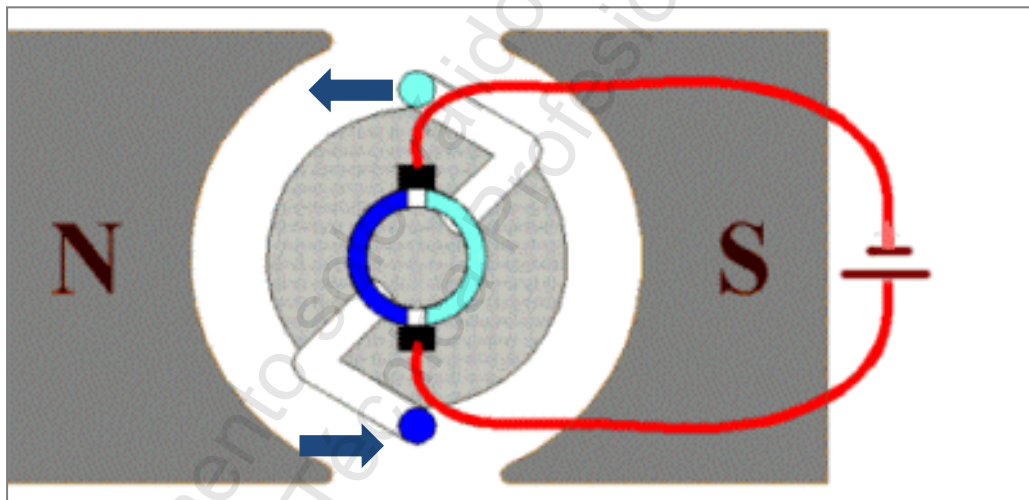


Figura. 1-4 Funcionamiento como motor

El movimiento del inducido genera, a su vez, una fuerza electromotriz que es opuesta a la tensión aplicada entre escobillas. A esta fuerza la denominamos fuerza contra-electromotriz.

## 1.2 PARTES PRINCIPALES DE LAS MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

Dependiendo de su funcionalidad, podemos clasificar los elementos que componen una máquina rotativa de corriente continua en, **Elementos Electromagnéticos** y **Elementos Mecánicos**.

**Los Elementos Electromagnéticos** son todos aquellos cuya función está directamente asociada a la producción de campos electromagnéticos y pueden ser:

- Elementos Eléctricos.

- Elementos Magnéticos.
- Elementos Aislantes.

Los primeros son todos aquellos por donde va a circular la corriente eléctrica y habitualmente son de cobre o aleaciones de cobre y de grafito. Podemos encontrarlos de aluminio, pero en menor medida. Como ejemplo encontraríamos los devanados de las bobinas, los puentes, aros y cable de conexión, el colector del inducido, la placa de bornes, los porta-escobillas y las propias escobillas, etc.

Los segundos son los encargados de potenciar y direccionar los campos magnéticos producidos en la máquina.

Están formados por piezas metálicas de materiales y aleaciones ferromagnéticas, normalmente de chapas de acero al silicio. Las masas polares, el paquete de chapas y las expansiones polares pertenecen a este grupo.

Estas chapas irán apiladas formando un bloque con la forma correspondiente y será imprescindible el aislamiento entre unas y otras para evitar la creación de corrientes indeseables (corrientes parásitas o corrientes de Foucault).

Las corrientes de Foucault se crean en el interior de un conductor cuando atraviesa un campo magnético variable (o viceversa). Estas corrientes dependen de la conductividad del material y del campo magnético que las induce y al circular, originan pérdidas de energía que se manifiestan como producción de calor perjudicial y no deseado (efecto Joule).

Estas pérdidas se minimizan en gran medida con la utilización de núcleos de materiales magnéticos que tengan baja conductividad y formados por finas láminas apiladas y aisladas entre sí por medio de finas capas de barniz o de óxido.



Figura. 1-5 Paquete de chapas

Los elementos aislantes tienen la misión de imposibilitar el contacto eléctrico entre los elementos eléctricos (portadores de la corriente eléctrica) y el resto de los elementos metálicos del motor.

Estos elementos lo pueden constituir diversos tipos de materiales como distintos tipos de plásticos, derivados del caucho, micas, fibras de vidrio, porcelanas, teflón®, nomex®, kaptom®, etc.

Los **Elementos Mecánicos** son aquellos destinados a procurar sujeción, rigidez y solidez al conjunto de la máquina, a la vez que son los encargados de transmitir los esfuerzos producidos por la misma a mecanismos exteriores, podemos dividirlos en:

- Elementos de trabajo.
- Elementos de sujeción.

Los primeros son los encargados de facilitar el movimiento de las partes móviles de la máquina, así como de transmitir los esfuerzos mecánicos necesarios o producidos. Entre ellos podríamos encontrar ejes, rodamientos, coronas, piñones, poleas y ventiladores.

Los segundos constituyen el armazón de la máquina donde se sustentan todos los elementos que la componen, así como cualquiera de ellos cuyo cometido sea el de sujetar o sustentar a otros. Entre ellos encontraríamos el chasis, los apoyos, tornillos, espárragos, tuercas, bandejas y tapas.

<b>Elementos Electromagnéticos</b>	<b>Magnéticos</b>	Polos inductores, polos de conmutación, expansiones polares, paquete de chapas de rotor, etc.
	<b>Eléctricos</b>	Bobinas inductoras, bobinas de conmutación, bobina de inducido, colector, porta-escobillas, placa de bornes, cableados de conexión, etc.
	<b>Aislantes</b>	Aislamiento entre espiras de bobinas, aislamiento entre bobina y bobina, aislamiento entre bobinas y partes metálicas, aislamiento entre colector y partes metálicas, aislamiento entre delgas de colector, aislamiento entre bornes, etc.
<b>Elementos Mecánicos</b>	<b>De trabajo</b>	Ejes, rodamientos, poleas, engranajes, ventiladores, etc.
	<b>De sujeción</b>	Tapas, carcasa, soportes de cojinetes, bandejas de sujeción de los devanados, etc.

Figura. 1-6 Elementos de una máquina de CC

En cuanto a su constitución podemos encontrar dos conjuntos primordiales que constituyen este tipo de máquinas.

- El Rotor.
- El Estator.

### 1.2.1 Rotor

Es el conjunto de elementos que se encuentran en la parte móvil o giratoria de la máquina.

Está constituido esencialmente por un eje, un núcleo o paquete de chapas, un devanado y un colector.



Figura. 1-7 Conjunto Rotor o Inducido

El **eje** metálico es un elemento generalmente cilíndrico (en ocasiones con alguna de sus partes en forma tronco-cónica) que sirve de sustentación al resto del rotor, lo conecta mecánicamente con el estator mediante unos rodamientos y transmite su movimiento y los esfuerzos asociados a este.

El **paquete de chapas** o núcleo está constituido por una serie de láminas o chapas ferromagnéticas, aisladas entre sí y calada sobre el eje. En su superficie se encuentran una serie de hendiduras o **ranuras** donde se alojan los devanados. Su misión es, además de albergar los devanados, potenciar los campos magnéticos generados.

El **devanado** se compone de una serie de bobinas de hilo o pletina de cobre que se alojan en el interior de las ranuras y que al ser recorridas por una corriente eléctrica generan un campo magnético. Todas las bobinas que forman el devanado se conectan entre sí consecutivamente efectuando así el cierre del circuito eléctrico que conforma el devanado. Cada bobina que lo conforma se encuentra recubierta de aislamiento suficiente para evitar la derivación de la corriente al paquete de chapas y demás partes metálicas que se encuentran junto al devanado. Del mismo modo, deben de encontrarse aisladas eléctricamente todas las espiras (hilos o pletinas) que la conforman.



Figura. 1-8 Introducción de devanado de inducido

La conexión del devanado suele realizarse en un elemento denominado **colector**. Este está constituido por una serie de láminas de sección trapezoidal llamadas **delgas** que apiladas formando una corona y unidas al devanado, se encuentra caladas sobre el eje y con un sistema de sujeción que impedirá su descolocación durante la rotación por efecto de la fuerza centrífuga. Entre las delgas se encuentran otras placas de material aislante (generalmente mica) que asegurará aislamiento eléctrico entre ellas. Del mismo modo existen una serie de conos y cilindros de material aislante que impiden el contacto eléctrico del conjunto del colector tanto con el paquete de chapas como con el eje.

Cada una de las secciones de las bobinas del devanado irá conectada a cada una de las delgas del colector.

Sobre la parte exterior cilíndrica de este elemento se deslizan una serie de elementos, generalmente de grafito, llamados **escobillas** que se encargan de realizar la conexión eléctrica entre las delgas del colector, y por lo tanto con las bobinas del devanado que a él se encuentran conectadas, y el exterior del rotor.

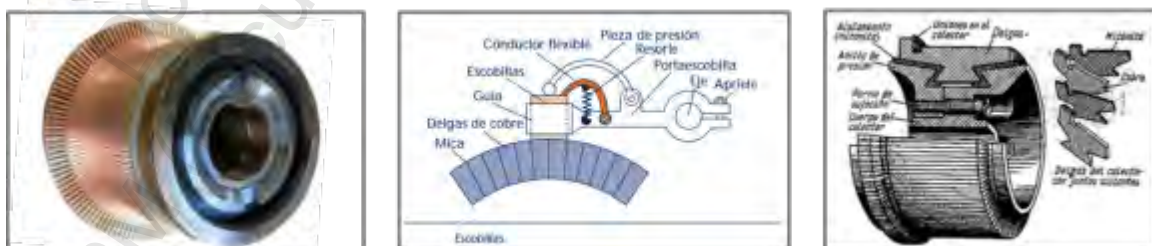


Figura. 1-9 Conjunto colector



### 1.2.2 Estator

Es la parte inmóvil o estática de la máquina y se encarga de servir de soporte al resto de elementos de la misma y de generar el campo magnético inductor que influirá en el rotor.

Está compuesto por carcasa o armazón, polos y bobinas inductoras o principales, polos y bobinas de conmutación o auxiliares, sistema porta-escobillas, cables o pletinas de conexión y tapas.

La **carcasa** o armazón es una estructura metálica de hierro forjado o de chapas de acero soldadas donde se sustenta todo el conjunto del motor y donde existirán una serie de orificios de distintas formas y tamaños según las exigencias constructivas. En el interior irán alojados los polos, el sistema porta-escobillas y los cableados de conexión. Algunos de los orificios de los que consta, servirán para la salida del cableado exterior, para el alojamiento de la placa de bornes, para la ventilación, alojamiento, roscados para tornillería, etc.

Su forma interior suele ser cuadrada, la exterior puede ser cuadrada o cilíndrica dependiendo del fabricante. En esta zona podremos encontrar distintas partes salientes u orificios que servirán para la fijación de la máquina y/o el apoyo de la misma.

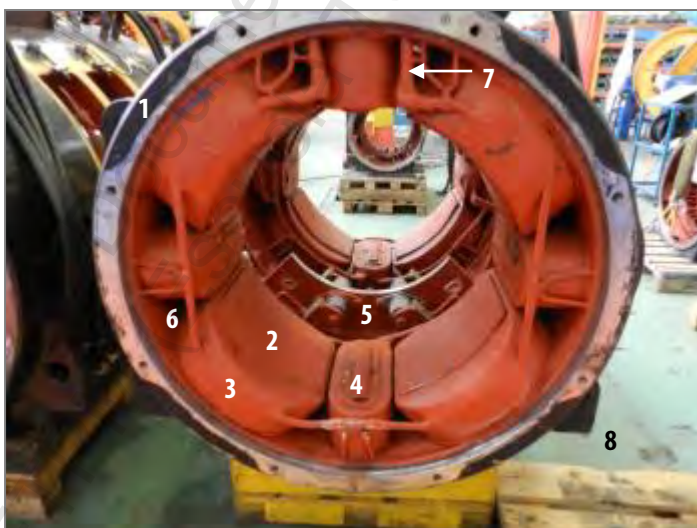
Las principales misiones de la carcasa son:

1. Fijar y sustentar las chapas del estator.
2. Transmitir al suelo, o a la base donde se encuentra fijada, el par que se ejerce sobre ella.
3. Evacuar el calor producido por las pérdidas.
4. Sustenta al resto de elementos de la máquina,
5. Proteger los elementos internos de la máquina.

Los **polos inductores** o principales están fabricados de chapas magnéticas apiladas y sujetas entre sí formando un núcleo alrededor del cual irán arrolladas las bobinas. Los polos suelen ir sujetos a la carcasa por medio de tornillería, aunque en motores de baja potencia la propia carcasa puede estar formada de chapas magnéticas de acero troqueladas con una forma determinada que permita arrollar las bobinas en su interior.

Los polos aparecerán siempre en número par (2, 4, 6, etc.) e irán colocados de manera que un polo de polaridad Norte irá junto a otro de polaridad Sur. Los polos y sus bobinas no dejan de ser unos electroimanes que, dependiendo del sentido de su alimentación, así será su polaridad.

Los **polos de conmutación** o auxiliares, son polos de menor tamaño que los inductores y será necesario que aparezcan en máquinas de C.C. de gran potencia. Su misión es favorecer una buena conmutación influyendo sobre la línea neutra de la máquina. Su posicionamiento estará intercalado al de los polos inductores.



- 1.- Carcasa.
- 2.- Polo Inductor o Principal.
- 3.- Bobina inductora.
- 4.- Polo y Bobina de conmutación.
- 5.- Alojamiento de porta-escobillas.
- 6.- Pletina de conexión.
- 7.- Cable de salida.
- 8.- Nariz de apoyo.

Figura. 1-10 Conjunto Estator o Inductor

Las **bobinas** están formadas por pletina o hilo de cobre perfectamente aislado para que cada una de sus espiras (vueltas) nunca esté en contacto eléctrico con las adyacentes ni con el núcleo o polo magnético. Todas las bobinas deben de ser alimentadas por corriente eléctrica para que puedan desempeñar su función, por ello dispondrán al menos de un borne o patilla de entrada y uno de salida.



Figura. 1-11 Bobina Inductora, polo y deflectores

El sistema **porta-escobillas** suele estar formado por un conjunto, habitualmente de latón o material similar. Consta principalmente de un sistema de sujeción a la carcasa en el que aparecen aisladores cerámicos o de teflón, unos alojamientos para las escobillas y un sistema de resorte para aplicar cierta presión sobre las escobillas de manera que estas se deslizarán, sobre el colector del inducido, de una manera homogénea independientemente de su longitud (longitud que irá disminuyendo con su desgaste). El propio porta-escobillas dispondrá de un sistema de sujeción y conexión de la trenchilla de la escobilla y del cable de conexión de salida hacia el exterior.



Figura. 1-12 Conjunto porta-escobillas sobre colector

De manera general y en el interior de la carcasa, aparecerán una serie de **cables** o pletinas de cobre que se encargarán de interconectar los diferentes elementos eléctricos de la máquina y su conexión con el exterior.

Para la protección y sustentación de los elementos integrados en la máquina, dispondremos de una serie de piezas que cerrarán o tapan los orificios de la carcasa (excepto los destinados a ventilación). Estos elementos se denominan **tapas**. Las tapas principales irán alojadas en los laterales de la carcasa, generalmente por medio de tornillería, y en su centro encontraremos unos orificios donde se alojarán los rodamientos que proporcionarán la sujeción del rotor y facilitará su movimiento giratorio.



Figura. 1-13 Tapa con rodamiento y obturador

Entendemos por **entrehierro** al espacio de aire comprendido entre los polos del inductor y el inducido. Este espacio debe de ser el menor posible, pero sin dificultar en ningún momento el movimiento de rotación del inducido sin existir ningún tipo de roce entre ambos.

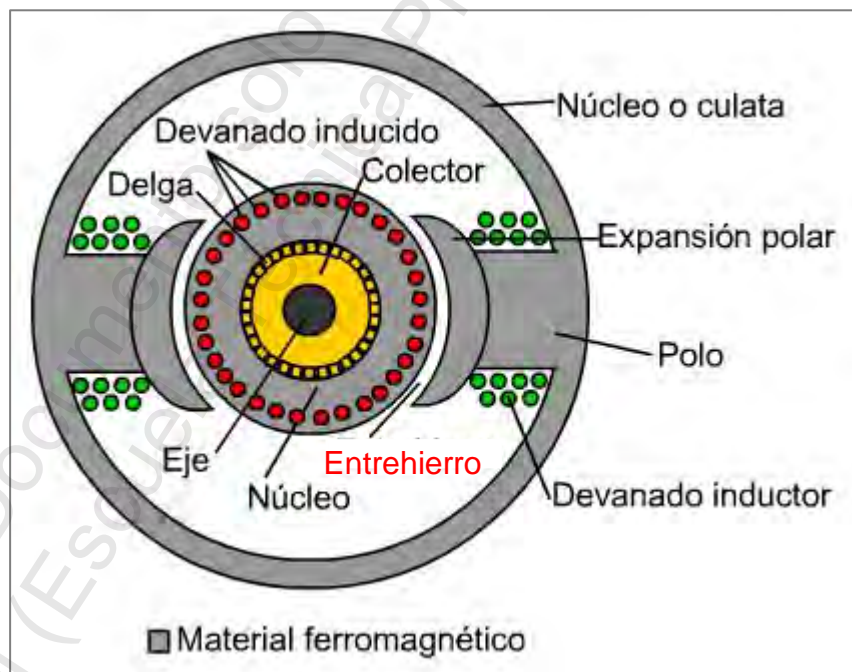


Figura. 1-14 Entrehierro y otras partes de la máquina

Entendemos por **línea neutra** a la recta imaginaria que se encuentra entre dos polos consecutivos y que define la separación entre sus dos campos magnéticos que son de distinto signo. Es el lugar donde se colocarán las escobillas y sobre el que se realiza la conmutación.

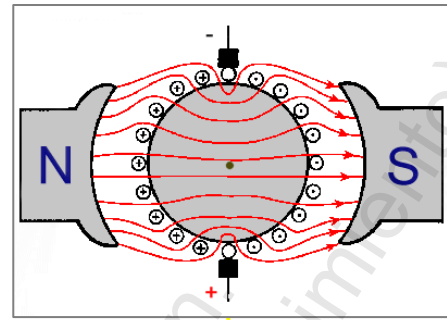


Figura. 1-15 Línea Neutra

Como hemos indicado anteriormente, se van a generar dos campos magnéticos diferentes, uno en las inductoras (líneas de fuerza horizontales) y otro en el rotor (líneas de fuerza verticales). Si la máquina trabaja en vacío (sin carga) la línea neutra coincidirá con la alineación de las escobillas, pero si se trabaja con carga, aparecerá una distorsión por la confluencia de los campos que inclinará la línea neutra en un ángulo determinado. Este fenómeno se conoce como **reacción de inducido**.

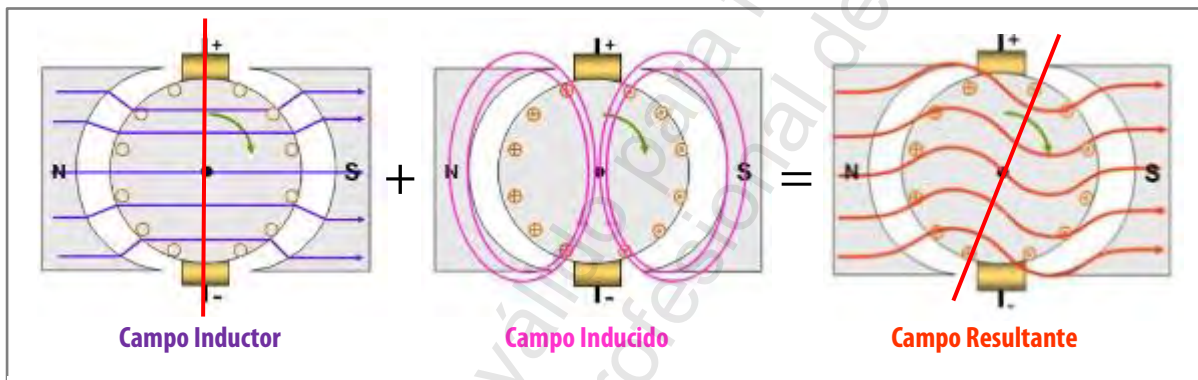


Figura. 1-16 Reacción de Inducido

Ese desequilibrio de la línea neutra se traduce en una mala conmutación, generándose un aumento en el chisporroteo y elevando la temperatura de trabajo en las escobillas y en el colector, circunstancia que resulta altamente perjudicial para la máquina. La solución a adoptar, es mover la colocación de las escobillas a la ubicación de la línea neutra en carga (solución solo efectiva si el motor trabaja en un solo sentido de giro) o crear un campo magnético compensatorio para devolver la línea neutra a su posición original. Esto lo conseguiremos con la colocación de **polos auxiliares o de conmutación** siendo esta la solución más idónea en el caso de motores de gran potencia.

Estos polos irán conectados en serie con el inducido para que exista una perfecta correlación entre las intensidades que recorren tanto al devanado del rotor como a los polos auxiliares.

### 1.3 CONEXIONES EQUIPOTENCIALES

Podemos distinguir otro tipo de conexiones que solo aparecen en los bobinados imbricados y que denominaremos **conexiones equipotenciales**.

Los inducidos con bobinado imbricado, que son los más utilizados en tracción ferroviaria, están sometidos a corrientes circulatorias que circulan por las posibles diferencias entre las fuerzas electromotrices de las distintas secciones o derivaciones que lo componen. Estas diferencias o desigualdades vienen originadas por los desequilibrios de flujo magnético originado por:

- Defectos o diferencias en el material de las bobinas.
- Defectos de montaje.
- Variación entre el entrehierro de unos puntos a otros.
- Bobinas con diferente nº de conductores o longitudes.

Estas corrientes circulatorias se suman a la corriente principal produciendo calentamientos excesivos en las escobillas y chisporroteos entre el colector que pueden causar daños en estos dos elementos.

Para evitar que estas corrientes pasen a través del colector y de las escobillas, emplearemos unas **conexiones equipotenciales** que unirán los puntos del bobinado que deberían estar al mismo potencial.

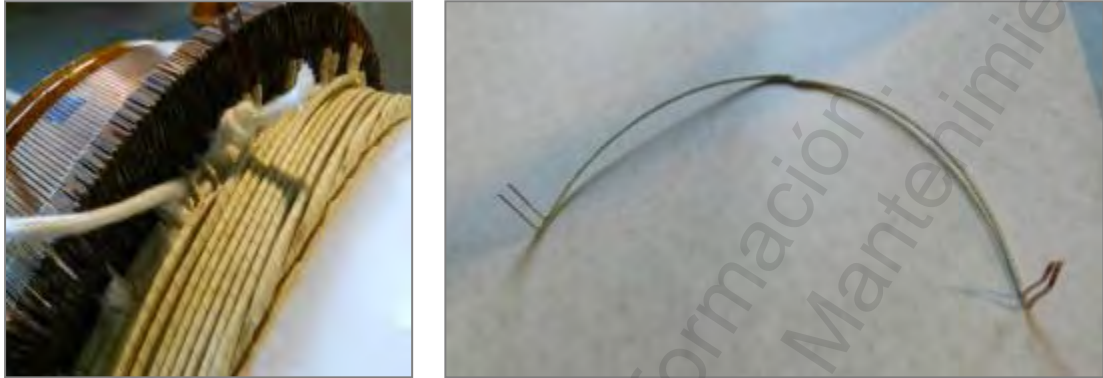


Figura. 1-17 Conexiones equipotenciales.

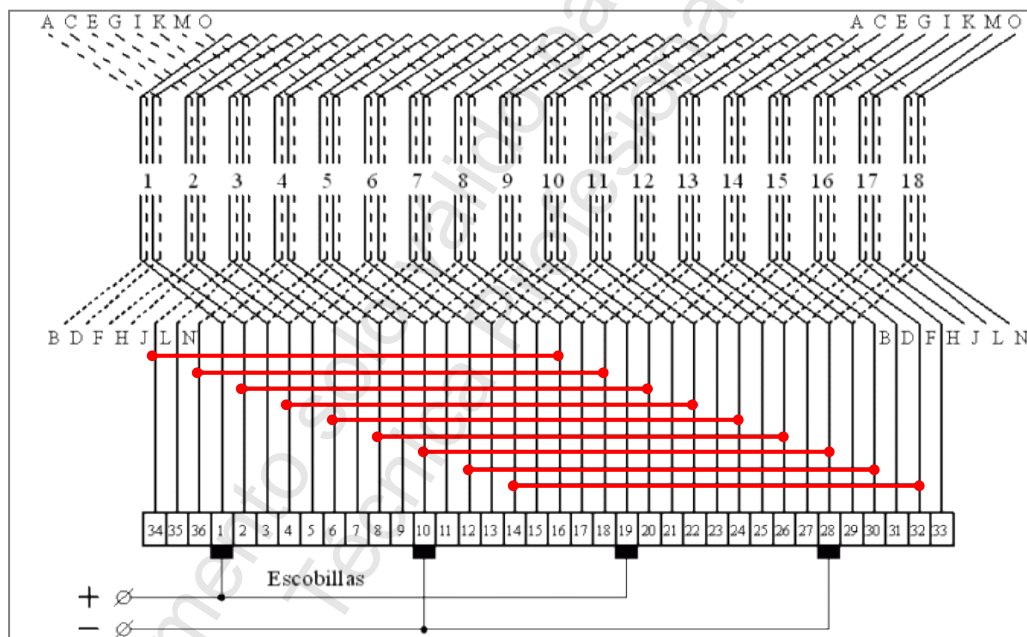


Figura. 1-18 Esquema con conexiones equipotenciales

## 1.4 CLASE TÉRMICA

Como hemos comentado con anterioridad, la misión de las máquinas eléctricas rotativas es la conversión de energía eléctrica en mecánica (movimiento de rotación del inducido) cuando actúan como motor y conversión de energía mecánica en eléctrica cuando actúan como generador. En cualquiera de los casos se producen ciertas pérdidas de energía que se manifiestan como aumento de temperatura (calor) de los distintos elementos que la constituyen.

Los elementos aislantes, que componen la máquina, son susceptibles de deteriorarse cuando se sobrepasan ciertos valores de temperatura, perdiendo sus propiedades aislantes y permitiendo así la aparición de cortocircuitos entre espiras de las bobinas y/o derivaciones de estas a los elementos metálicos que las rodean. Ello supondría un fallo grave y una disfunción de la máquina que podría acarrear su destrucción.

Cuanta más potencia desarrollan estas máquinas, mayor será la elevación de la temperatura de sus órganos en estado de funcionamiento.

Dependiendo de los valores de temperatura máximos que pueden soportar estos aislamientos se deberán de utilizar unos materiales u otros que clasificaremos dependiendo de la máxima temperatura en la que pueden trabajar sin deteriorarse. Estos materiales los diferenciaremos atendiendo a lo que llamamos **Clase Térmica**.

Clase de aislamiento	Y	A	E	B	F	H	C
Temperatura máxima en °C	90	105	120	130	155	180	>180

Los aislamientos de la **clase Y** comprenden materiales fibrosos a base de celulosa o seda no saturados y no inmersos en líquidos aislantes ni barnices. Su máxima temperatura de trabajo es de 90 °C.

Los aislamientos de la **clase A** comprenden materiales fibrosos a base de celulosa o seda saturados por inmersión en líquidos aislantes o barnices. Su máxima temperatura de trabajo es de 105 °C.

Los aislamientos de la **clase E** comprenden algunas fibras orgánicas sintéticas y otros materiales. Su máxima temperatura de trabajo es de 120 °C.

Los aislamientos de **clase B** comprenden materiales a base de poliéster y poliamidas aglutinadas con materiales orgánicos o saturados con estos. Su máxima temperatura de trabajo es de 130 °C.

Estos tipos de aislamientos no son actualmente de uso común en máquinas eléctricas rotativas. Los utilizados con más asiduidad son:

Los aislamientos de **clase F** comprenden materiales a base de poliéster y poliamidas aglutinados con materiales sintéticos, en general a base de siliconas, poliéster o resinas epoxi. Su máxima temperatura de trabajo es de 155 °C.

Los aislamientos de **clase H** comprenden materiales a base de mica o fibra de vidrio aglutinados típicamente con siliconas de alta estabilidad térmica. Su máxima temperatura de trabajo es de 180 °C.

Los aislamientos de **clase C** comprenden materiales a base de mica, fibra de vidrio, cerámica y cuarzo sin aglutinantes y saturados con resinas de silicona, poliéster y epoxi de alta estabilidad térmica. Su máxima temperatura de trabajo es superior 180 °C.

Aunque en ocasiones se sigue utilizando estas clases de aislamiento, en la actualidad los tipos de clase térmica más utilizados en motores de gran potencia, son los superiores a la clase C, aislamientos más exigentes y que los denominaremos como clase 200, clase 220 y clase 240.

## 1.5 TIPOS DE EXCITACIÓN

Podemos decir que excitación magnética es el fenómeno que se advierte cuando una corriente eléctrica origina un campo magnético en un solenoide al atravesarlo.

Como en una máquina eléctrica rotativa encontramos dos devanados bien diferenciados, que son el inductor y el inducido, podremos alimentarlos (excitarlos) de diferentes formas.

Los tipos de excitación de las máquinas eléctricas rotativas de corriente continua son:

- Excitación Serie.
- Excitación Shunt o Paralelo.
- Excitación Compound o Compuesta.
- Excitación Independiente.

### 1.5.1 Excitación Serie

La conexión de alimentación entre el inductor y el inducido se realiza mediante una conexión serie entre ellos que serán alimentados por la misma fuente de alimentación y por lo tanto los recorrerá la misma intensidad.

Según aumenta la intensidad del motor, mayor será el par motor que produce y menor será la velocidad de rotación que alcanza.

Al poder proporcionar pares elevados, su utilización es idónea para la tracción, sobre todo en momentos de arranque.

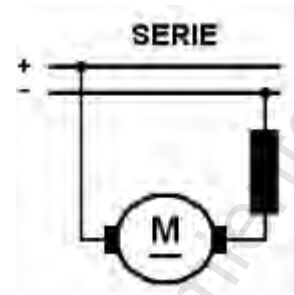


Figura. 1-19 Excitación Serie

En este tipo de excitación, cuando disminuye la intensidad, y por lo tanto el par, la velocidad aumenta de manera que, con intensidades muy pequeñas la velocidad es muy alta. Cuando el motor funciona en vacío, es decir sin carga, el par es casi inexistente y por lo tanto la intensidad mínima, el control de la velocidad es inestable. La velocidad puede ser tan elevada que puede hacer llegar al motor al punto de destrucción. A este fenómeno lo llamamos **embalamiento**.

### 1.5.2 Excitación Shunt

En las máquinas con excitación Shunt (también denominada en derivación o paralelo) el inductor y el inducido se conectarán en derivación (paralelo) a la misma fuente de alimentación, por ello la corriente absorbida por el motor es repartida entre el inductor y el inducido

En el arranque, el par motor es menor que en la excitación serie y si la corriente absorbida disminuye o el motor está en vacío, la velocidad de giro apenas varía.

De la misma manera, cuando el par motor aumenta, la velocidad apenas disminuye.

Es una excitación mucho más estable que la serie.

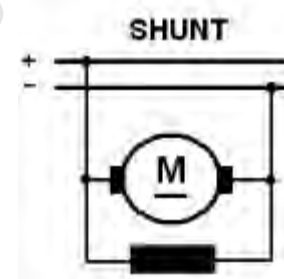


Figura. 1-20 Excitación Shunt

### 1.5.3 Excitación Compound

En este caso podemos decir que este tipo de excitación es una combinación de los dos tipos anteriores, Serie y Shunt. Mientras una bobina inductora se encuentra en serie con el inducido, la otra se encuentra en paralelo.

Una parte de la intensidad pasa por una inductora y el inducido y la otra pasa por la inductora restante. Se utiliza para conseguir grandes pares de arranque, con la ventaja de ser estables en vacío.

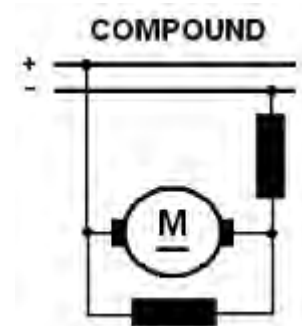


Figura. 1-21 Excitación Compound

### 1.5.4 Excitación Independiente

En este caso el inductor y el inducido están alimentados por dos fuentes de energías distintas e independientes.

La gran ventaja de este tipo de excitación es que el campo inductor es constante al no depender de la carga del motor, y el par de fuerza es entonces prácticamente constante. Las variaciones de velocidad, al aumentar la carga, se deberán sólo a la disminución de la fuerza electromotriz por aumentar la caída de tensión en el rotor.

La utilización de este sistema de excitación queda supeditada a la posibilidad de contar con una fuente exterior de energía.

Este inconveniente puede solucionarse con el principio de **autoexcitación**.

La autoexcitación consiste en que la corriente continua que excita las bobinas inductoras procede de la misma máquina generatriz. Para obtener la autoexcitación o cebado de la máquina, es preciso que exista un pequeño flujo en el circuito magnético, flujo que es posible producir y mantener gracias al fenómeno de histéresis magnética. Gracias a este flujo remanente, al hacer girar el inducido se inducirá en él

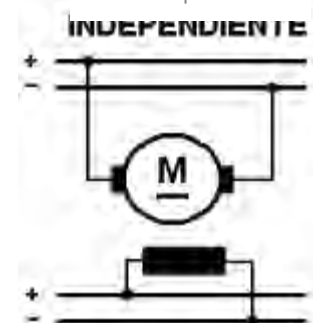


Figura. 1-22 Excitación Independiente

una pequeña f.e.m. que, aplicada al circuito inductor, con la polaridad conveniente, genera una débil corriente que refuerza el magnetismo remanente y la f.e.m. inicial debida al flujo remanente se incrementará. A mayor f.e.m., corresponderá mayor corriente, con el refuerzo consiguiente del flujo, luego se produce un nuevo aumento de la f.e.m. y así sucesivamente hasta alcanzar un equilibrio o estabilidad de la tensión en bornes que se traducirá en una constancia de la corriente de excitación y por tanto del flujo. A esta estabilidad se llega por causa de otra propiedad característica de los materiales magnéticos, la de saturación.

La autoexcitación suele aplicarse solo en generadores.

## 1.6 GENERADORES

Ya comentamos con anterioridad que, si movemos un rotor en el interior de un campo magnético inductor, se creará en este rotor, una fuerza electro-motriz capaz de generar una corriente. De esta manera dispondremos de un generador de corriente continua o **Dinamo**.

Los generadores funcionarán atendiendo a tres tipos de circunstancias:

- Cuando funcionen en vacío.
- Cuando funcionen en carga.
- Cuando funcionen en cortocircuito.
  
- Al funcionar en vacío girando el rotor a una velocidad nominal, se generará en este una f.e.m., si bien el circuito exterior (para el que se genera la energía) se encuentra abierto. Si colocamos un voltímetro en bornes de salida de la dinamo, nos indicará una tensión en bornes que coincidirá con la f. e. m. generada. La potencia útil de la máquina será nula puesto que no circula ninguna intensidad.
  
- El funcionamiento en carga tiene lugar cuando la dinamo genera una f.e.m. y alimenta unos receptores conectados al circuito exterior. Como el circuito estará cerrado, la corriente " $I_i$ " circulará por los receptores y tendrá un valor determinado por la ley de Ohm.

No debemos confundir la f.e.m. inducida en vacío con la tensión que ahora marcará el voltímetro en bornes, por los siguientes motivos:

1. Cuando se trabaja con carga, surge el fenómeno de la *reacción del inducido*, que ocasiona una disminución del flujo útil.
2. La corriente que consumen los receptores, también circula por el devanado del rotor y las escobillas, originando una caída de tensión debido a sus resistencias.

Estas causas conllevan una disminución en la f.e.m. de manera que en bornes dispondremos de una tensión inferior.

- Si se diera el caso de la existencia de una avería que produjese un cortocircuito en la salida del generador, aparecería una intensidad  $I_{cc}$  que circularía por el ramal en cortocircuito. Al tener este una resistencia muy pequeña, el valor de la intensidad sería muy elevado. Esta intensidad sería muy perjudicial para la máquina y pondría en peligro su integridad. Por esta causa será necesario la colocación de protecciones contra sobrecorrientes.

## 1.7 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA PARA TRACCIÓN

Los motores de tracción son aquellos que proporcionan un par motor a una máquina, bien para el movimiento de cargas como para proporcionar un movimiento lineal de la propia máquina. Son muy utilizados en vehículos ferroviarios, coches eléctricos, elevadores, y cintas transportadoras. También podemos denominar motor de tracción a los motores de arrastre de algunos electrodomésticos, como por ejemplo el motor principal de una lavadora.



Tradicionalmente eran motores de CC los utilizados en la tracción ferroviaria, tanto en locomotoras eléctricas, en diésel-eléctricas, como en autopropulsados eléctricos. En ocasiones su disposición se centra en la situación de un solo motor de gran tamaño por bogie que transmite el esfuerzo de tracción a todos sus ejes utilizando una transmisión reductora. Otra composición se basa en la utilización de motores de menor tamaño acoplados a cada uno de los ejes del bogie.



Figura. 1-23 Un motor en cada eje



Figura. 1-24 Un solo motor por bogie

Usualmente los motores de tracción individuales por eje, suelen ir suspendidos por tres puntos entre la estructura del bogie y el propio eje motriz, este tipo de motores se denomina "motor de tracción suspendido por nariz".

Evidentemente será necesaria la posibilidad de invertir el sentido de giro en los motores de tracción para posibilitar el movimiento de las máquinas en los dos sentidos.

Esto lo conseguimos, en los motores de corriente continua, invirtiendo la polaridad de la alimentación de la inductora o del inducido, independientemente del tipo de excitación que lleve el motor.



Figura. 1-25 Motor suspendido por nariz.

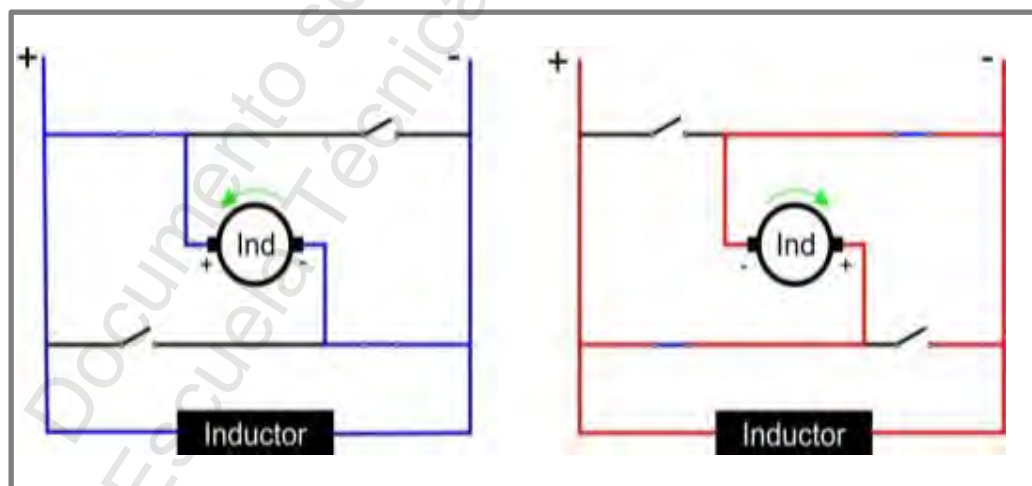


Figura. 1-26 Inversión de giro de motor en paralelo

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)

## 2. MOTORES Y GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA

### 2.1 INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA

Entenderemos el funcionamiento de las máquinas de corriente alterna estudiando lo que denominamos máquina elemental de CA.

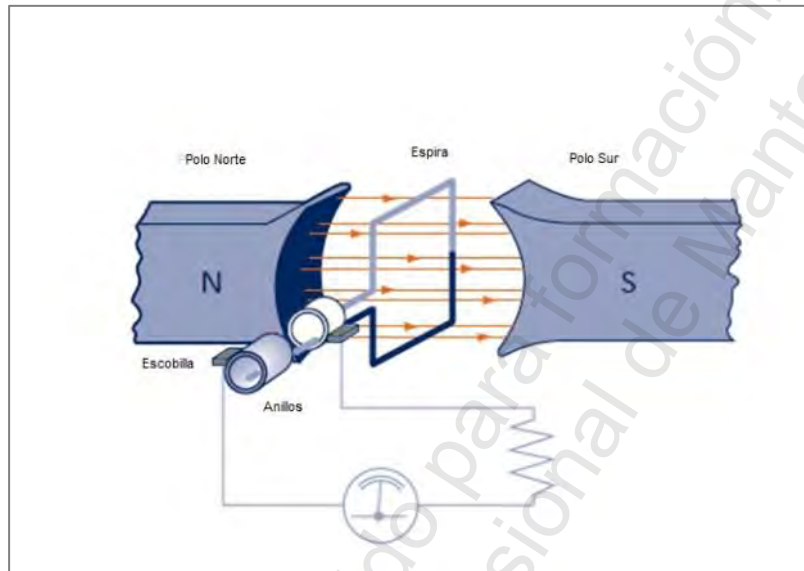


Figura. 2-1 Máquina elemental de Corriente Alterna

Esta máquina elemental estará constituida por un hilo de material conductor con forma de espira que podrá girar dentro del campo magnético creado por dos polos de distinto signo. El campo magnético de estos polos será creado por un devanado (bobina) arrollado alrededor de un núcleo de material ferromagnético.

La espira lleva en sus extremos unos anillos que permiten su giro y el contacto con dos escobillas conductoras que rozan sobre ellos permitiendo la conexión con un circuito exterior.

En este supuesto, y para simplificar este estudio, se admite que las líneas de fuerza de los polos son perpendiculares al rotor formado por la espira y por lo tanto a su generatriz. Esto se ajusta bastante a la realidad puesto que el aire que rodea a la espira presenta una reluctancia mucho mayor que el núcleo ferromagnético.

La máquina rotativa elemental de CA y por extensión todo tipo de máquinas, más o menos complejas, pueden trabajar como generador y como motor: si la espira se acciona mediante un dispositivo mecánico desde el exterior, aparecerá en ella una fuerza electromotriz que hará circular una corriente por ella si se cierra el circuito. Este sería el principio de funcionamiento como generador.

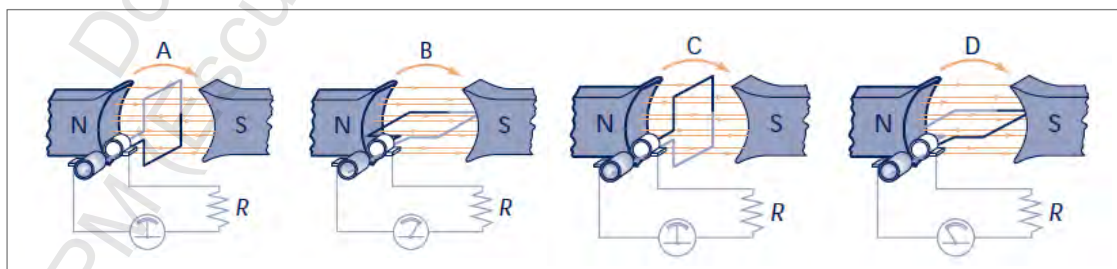


Figura. 2-2 Recorrido de la espira. Funcionamiento como generador.

Como podemos observar en la figura anterior, se describen cuatro fases en el recorrido de la espira por el interior del campo magnético. Podemos describirlos como:

- Antes de iniciar la primera fase de movimiento. Los lados activos de la espira se encuentran en el exterior del campo magnético y no cortan ninguna línea de fuerza. La creación de f.e.m. es nula y la corriente que circula por la espira es cero.
- Comienza el giro de la espira en el sentido que indica la flecha y esta, en su desplazamiento comenzará a cortar líneas del exterior, donde existe menos flujo, y paulatinamente se ira acercando el centro del campo magnético, donde se encuentran las líneas de mayor flujo. Proporcionalmente a la intensidad del flujo que la espira intercepte en su movimiento, así será la magnitud de la f.e.m. generada y por consiguiente la intensidad que la recorre. Un lado de la espira (azul) gira y corta las líneas en un sentido, y el otro lado (gris) lo hace en sentido contrario. Esto permite direccionar la corriente mediante un sentido de entrada y otro de salida, por medio de las escobillas. Al final de esta fase la f.e.m. y la intensidad creadas se encuentran en su punto máximo.
- En esta fase, la espira ha completado medio giro ( $180^\circ$ ) y vuelve a encontrarse en una zona donde no se cortan líneas de fuerza. La f.e.m. y la intensidad vuelven a valor cero.
- En esta cuarta y última fase sucede de igual manera que en la segunda. La única e importante variación es que cada una de las zonas de las espiras que cortan las líneas de fuerza, lo hacen en sentido contrario. Por ello, y ateniéndonos a la regla de la mano izquierda o Regla de Fleming, la f.e.m., y por lo tanto la corriente generada, serán de la misma intensidad, pero tendrán sentido opuesto a la aparecida en el segundo ciclo.

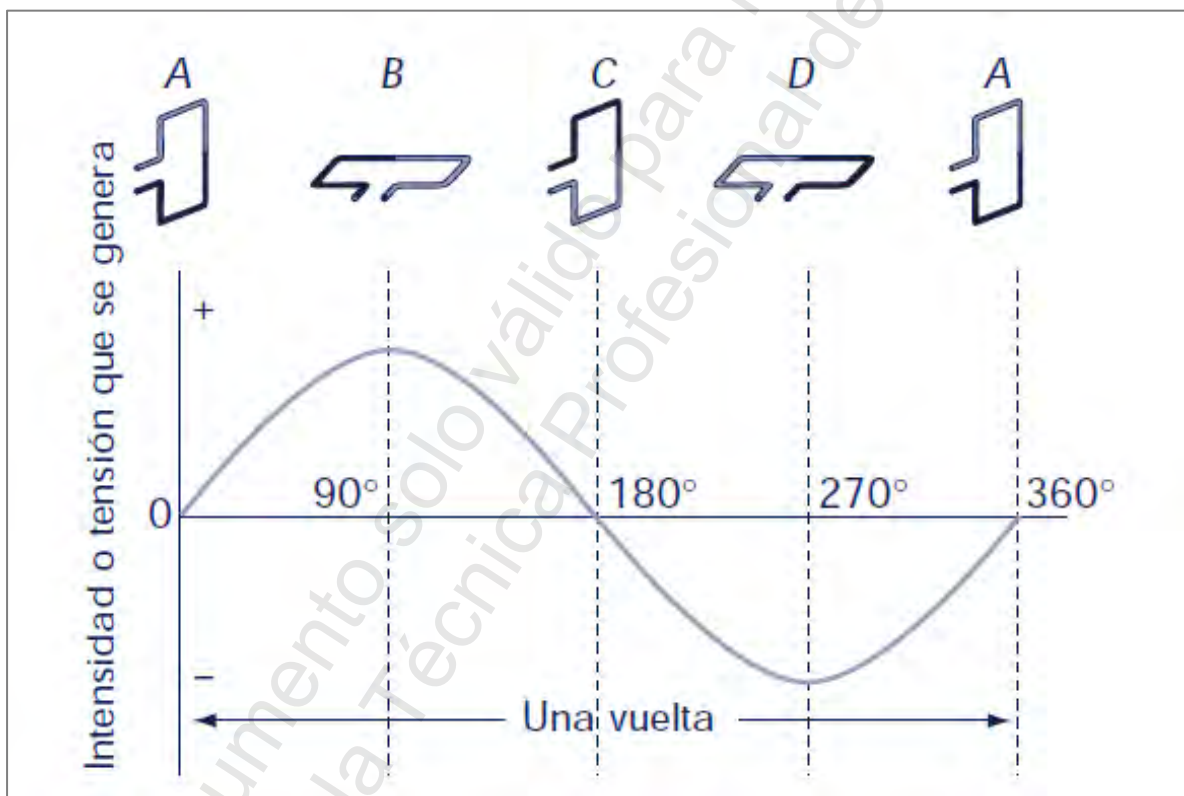


Figura. 2-3 Creación de energía en generador elemental CA

Si se determina el par de la máquina cuando funciona como generador, se observará que esta se opone al movimiento. Se trata de un par resistente que habrá que superar desde el exterior si se pretende mover la espira. De esta manera, la energía mecánica se transforma en energía eléctrica.

Si por el contrario se suministra corriente a la espira, aparecerá una fuerza que la hará girar. En este caso la máquina funcionaría como motor. Sin embargo, la f.e.m. inducida en la espira, será de sentido contrario a la corriente suministrada, y por lo tanto, es necesario dotar de una diferencia de potencial externa para que la corriente se mantenga y el motor pueda girar. En este caso, la energía eléctrica se convierte en mecánica.

Al igual que las máquinas de corriente continua, las de alterna se componen principalmente de dos elementos principales:

- ROTOR
- ESTATOR

### 2.1.1 Rotor

El rotor es la parte interna de la máquina que realiza el movimiento giratorio. Los elementos que lo constituyen son:

**EJE:** Un eje de acero de alta resistencia, en cuyos extremos se acoplarán unos rodamientos que facilitarán el giro del rotor. En uno de sus extremos irá acoplado el mecanismo de transmisión de esfuerzos, como una polea, una rueda dentada o piñón, un ventilador, etc.

**PAQUETE DE CHAPAS:** Constituido por un bloque de chapas ferromagnéticas, generalmente de acero al silicio, apiladas y aisladas entre sí, que formarán un paquete que irá calado de manera solidaria en el eje.

**BOBINADO:** Este paquete irá dispuesto de unas ranuras exteriores donde se podrán alojar una serie de bobinas o barras, que serán generalmente de cobre.

**ANILLOS COLECTORES:** En algunas ocasiones, y dependiendo del tipo de máquina, encontraremos una serie de anillos solidarios al eje y conectados a los devanados del rotor, encargados de conectar eléctricamente el rotor con el exterior. Esta conexión se realiza por medio de unas escobillas que rozarán en los distintos anillos.

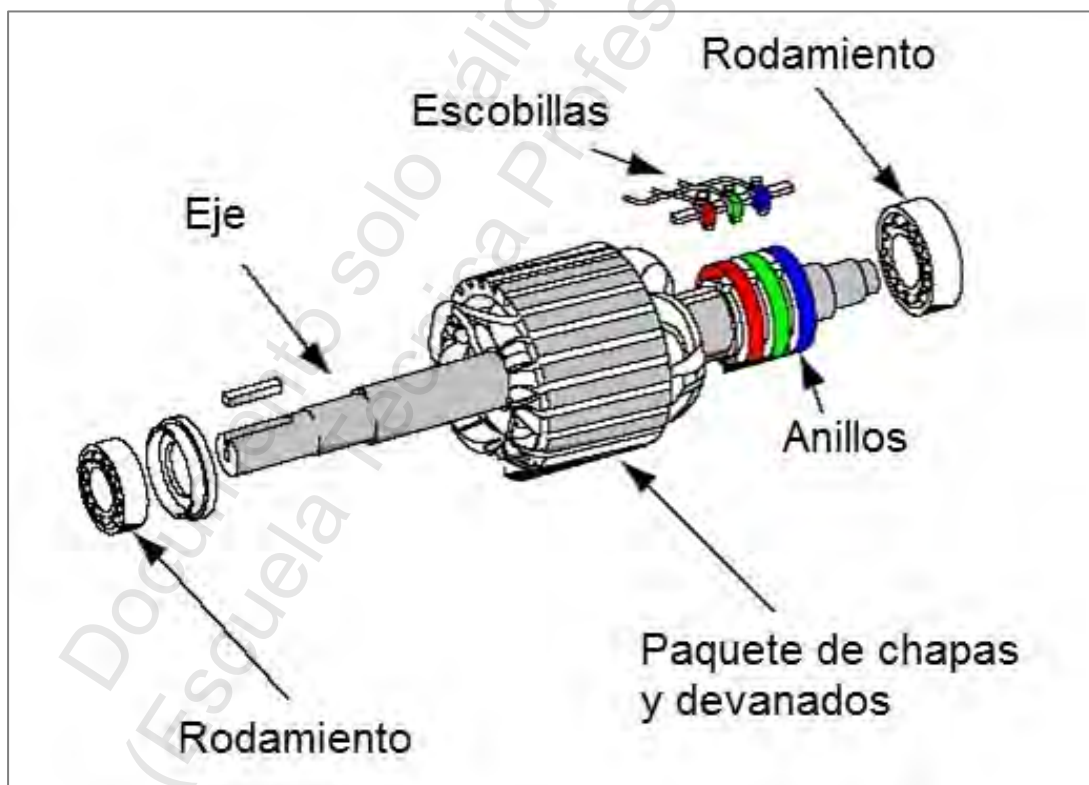


Figura. 2-4 Partes de un rotor de máquina de corriente alterna

La configuración de los distintos elementos que componen el rotor, dependerá del tipo específico de máquina de corriente alterna a la que nos refiramos.



Figura. 2-5 Ejemplos de rotor. Izquierda: Generador; Derecha: Motor

### 2.1.2 Estator

El estator es la parte fija y exterior de la máquina y se encargará de soportar, proteger y recubrir al resto de la máquina. Los principales elementos que lo componen son:

**ARMAZÓN o CARCASA:** Parte metálica exterior que recubre, aloja y protege al resto de elementos. En este elemento se instalará el paquete de chapas donde irán bobinados los devanados. También irán ubicados los orificios de ventilación y los taladros roscados para la sujeción de tapas y demás elementos. Así mismo puede disponer de apoyos para el anclaje y soportes para elevación y maniobras.



Figura. 2-6 Carcasa completa

**PAQUETE DE CHAPAS:** Al igual que en el rotor estará formado por un bloque de chapas ferromagnéticas, generalmente de acero al silicio, apiladas y aisladas entre sí, que formarán un paquete que irá fijado en el interior de la carcasa por medio de soldadura u otro sistema de fijación. Su forma viene determinada por las ranuras que alojarán los devanados. Tendrá forma cilíndrica para adecuarse a la forma del rotor. En el exterior de estas ranuras encontraremos un rebaje que servirá para el alojamiento de las cuñas de cierre que sujetan los devanados.



Figura. 2-7 Paquete de chapas

**DEVANADOS:** En el interior de las ranuras del paquete de chapas irán insertadas las distintas bobinas que conforman los devanados. Algunas de estas bobinas irán interconexionadas entre sí cerrando los consiguientes circuitos y darán entrada y salida a cada uno de ellos y que se conectarán a la placa de bornes.

En los motores de gran potencia, como son los de tracción ferroviaria, existirán una serie de aros o cables de conexión que unirán los distintos grupos de fases formando una conexión interna generalmente en estrella.

A estos aros se conectarán los terminales de salida desde donde se dará la alimentación del motor.



Figura. 2-8 Conjunto Devanado

### 2.1.3 Velocidad de Sincronismo

En los motores de corriente alterna trifásicos, existe la particularidad de que el campo magnético que se genera en el estator, es un campo giratorio que rotará a una serie de revoluciones dependiendo de la alimentación.

Contamos pues, con dos elementos giratorios en este tipo de motores:

- El campo magnético del estator.
- El propio rotor.

La velocidad a la que gira el campo magnético del estator es a la que denominamos **Velocidad de Sincronismo**.

El fenómeno del campo magnético giratorio lo podemos comprobar, viendo las posiciones que ocupa la resultante del flujo, atendiendo a los sentidos de corriente que van tomando los conductores del bobinado.

En la figura de la derecha tenemos representada una máquina de corriente alterna trifásica con cuatro polos por fase, representados por círculos de tal manera que:

Los de color verde representan la fase **U**.

Los de azul la fase **V**.

Y los de rojo la fase **W**.

Esta es la nomenclatura que actualmente se utiliza para denominar las fases en el devanado de una de estas máquinas.

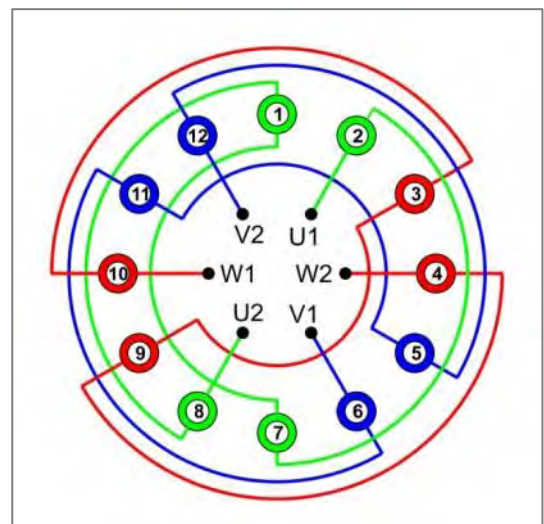


Figura. 2-9 Representación de una máquina trifásica

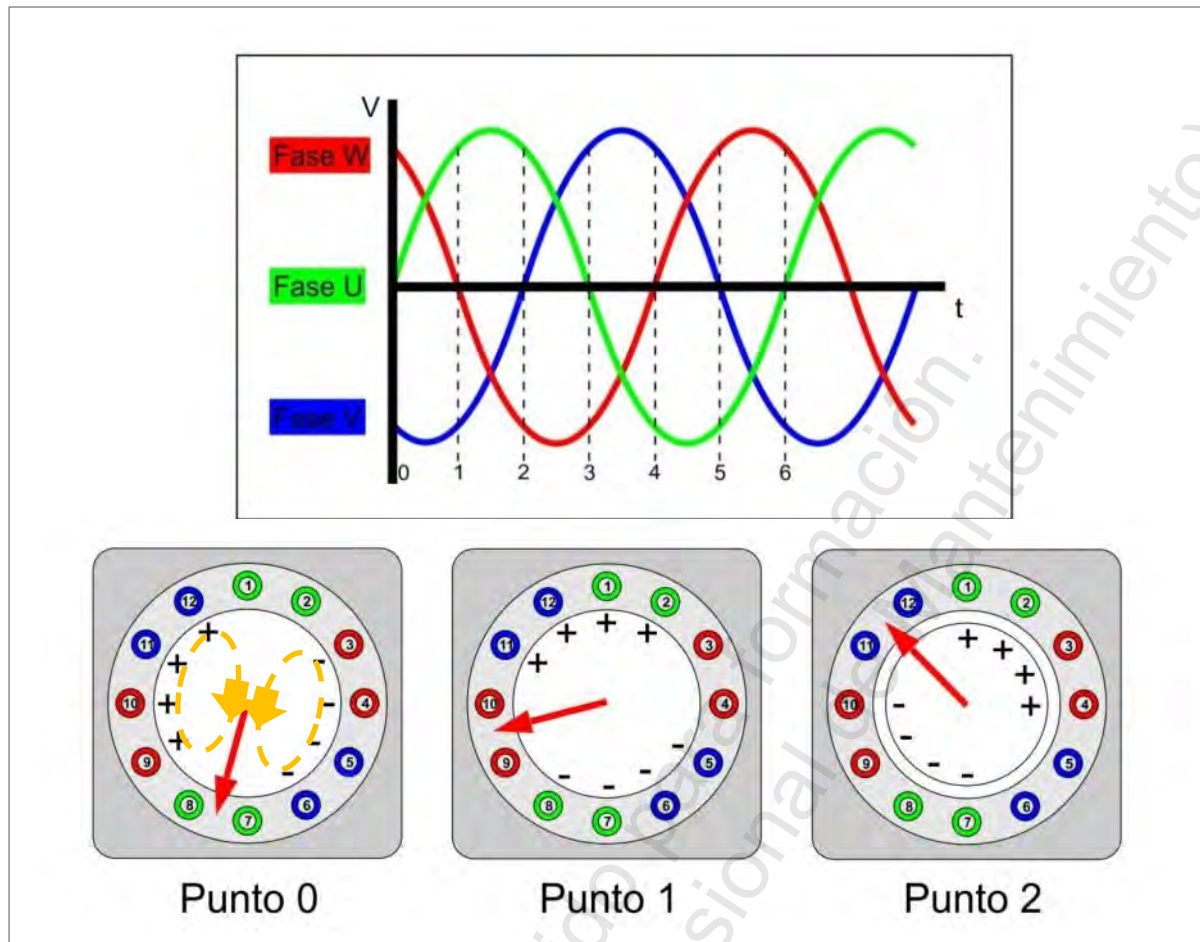


Figura. 2-10 Comprobación del campo magnético giratorio

**Momento 0.** En este instante la fase U se encuentra con valor cero, la fase V tiene valor negativo y la fase W tiene valor positivo.

En la figura 2-9, podremos observar que en este instante la corriente en V, al tener valor negativo, circula de V2 a V1. Y que la corriente en W irá de W1 a W2, por tener sentido positivo. En el conjunto del devanado se crea un campo que, siguiendo “la regla del sacacorchos”, la resultante del flujo se situará entre las ranuras 7 y 8 (punto 0).

El signo positivo representa que la corriente entra, y el negativo que la corriente sale. Por lo tanto, se crearán campos en sentido inverso. De ahí la resultante del flujo.

El ciclo de la corriente se divide en seis partes iguales y en cada instante avanzará 1/6 de la circunferencia representada. Esta circunferencia equivale tanto a una revolución del campo giratorio, como a un ciclo completo de la corriente.

**Momento 1.** En este instante, la fase U ha pasado a tener valor positivo, la fase V continúa en positivo y la fase W pasa a tener valor 0.

De esta manera la corriente en U irá de U2 a U1 y en V irá de V1 a V2. De esta manera la resultante del flujo se situará entre las bobinas 9 y 10 como vemos en el Punto 1 de la figura.

**Momento 2.** Ahora la fase U continúa en positivo, la V pasa a tener valor 0 y W obtendrá un valor negativo. De manera que la corriente en U irá de U1 a U2 y en W irá de W2 a W1.

La resultante del flujo se sitúa en este momento entre las ranuras 11 y 12.

Si completamos los restantes momentos, podremos observar que el avance de la resultante del flujo, entre uno y otro, avanza siempre 1/6 de la vuelta, de la misma manera que el tiempo que transcurre en el periodo de la corriente. Ello nos indica que existe un movimiento giratorio del flujo cuya velocidad coincide con el ciclo de la corriente alterna.

**“Cuanto mayor es la frecuencia de la corriente, mayor es la velocidad angular del campo giratorio”.**



Por ello podemos deducir que la velocidad de sincronismo viene definida por la expresión:

$$n = \frac{60 f}{p}$$

$n$	Número de revoluciones por minuto
$f$	Frecuencia de la red de alimentación
$p$	Número de pares de polos de la máquina

## 2.2 TIPOS DE MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA

La clasificación de las máquinas de corriente alterna puede efectuarse de varias maneras y dependiendo de varios aspectos que vamos a enumerar.

- Por el trabajo que desarrollan de manera habitual:

- Motor

Si su principal misión es convertir la energía eléctrica en mecánica.

- Generador

Cuando transforman energía mecánica en eléctrica.

Los motores pueden ser:

- Atendiendo a la relación entre la velocidad de giro del rotor y del campo del estator:

- Asíncronos.
- Síncronos.
  - Motores síncronos trifásicos.
  - Motores asíncronos sincronizados.
  - Motores con rotor de imanes permanentes.

- Por el tipo de rotor:

- De jaula de ardilla. (de inducción o en cortocircuito).
- De rotor bobinado.
  - De anillos rozantes.
  - De colector. (universales)

- Por el número de fases de alimentación:

- Motores monofásicos.
  - De fase partida.
  - De arranque con condensador.
- Motores bifásicos.
- Motores trifásicos.

Los alternadores pueden ser:

- Atendiendo a la relación entre la velocidad de giro del rotor y del campo del estator:
  - Asíncronos.
  - Síncronos.
  
- Por el tipo de rotor:
  - De polos salientes.
  - De rotor cilíndrico.
  
- Por el número de fases de alimentación:
  - Alternador monofásico.
  - Alternador trifásico.



Figura. 2-11 Motor Asíncrono y Rotor de Jaula de Ardilla



Figura. 2-12 Motor Síncrono y rotor Bobinado de polos lisos



Figura. 2-11 Alternador Síncrono y Rotor de Polos Salientes

### 2.2.1 Máquinas Asíncronas

Llamamos máquina asíncrona a aquella, de corriente alterna, cuya parte móvil (rotor) gira a una velocidad distinta a la de sincronismo (campo magnético giratorio del estator).

Están constituidas por un estator bobinado y un rotor bobinado o en cortocircuito (jaula de ardilla).

En motores de baja y media potencia, en la placa de bornes encontraremos las entradas y salidas de las distintas fases. Con ello se facilita el tipo de conexión que se quiera realizar.

En motores de gran potencia, como pueden ser los de tracción de los vehículos ferroviarios, la conexión de fases se suele realizar internamente, de manera que en la caja de bornes solo encontraremos tres conexiones.

Los motores Asíncronos y especialmente los de rotor en cortocircuito (jaula de ardilla) son los que tienen una aplicación más extendida, debido a su facilidad de utilización, a su escaso mantenimiento, a su fiabilidad y a su bajo coste de fabricación.

En la tracción ferroviaria han tomado el relevo a los motores de corriente continua, y los podemos encontrar en casi la totalidad de los vehículos eléctricos de última generación, tanto en locomotoras de gran potencia, como en unidades autopropulsadas de cercanías, como en trenes de alta velocidad.

A la diferencia entre la velocidad de giro del rotor y la de sincronismo se le denomina “**Deslizamiento**”.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

$s$  = Deslizamiento.

$n_s$  = Nº de revoluciones del campo magnético.

$n_r$  = Nº de revoluciones del rotor

El deslizamiento es especialmente importante en este tipo de máquinas Asíncronas de CA.

Las características de deslizamiento de estas máquinas funcionando como motor es:

- La velocidad del rotor será inferior a la de sincronismo.  $n_r < n_s$
- El deslizamiento estará comprendido entre 0 y 1, es decir que siempre será **positivo**.

Cuando funcionan como generador:

- La velocidad del rotor es superior que la de sincronismo.  $n_r > n_s$
- El deslizamiento será menor que 0, por lo tanto, será **negativo**.

Cuando funciona como motor y actúa como freno:

- La velocidad del rotor es inferior a 0, es decir que es negativa.  $n_r < 0$
- El deslizamiento es mayor que 1.

La manera habitual de expresar el deslizamiento suele ser en tanto por ciento.

$$s(\%) = \frac{n_s - n_r}{n_s} \cdot 100$$

$f = 50 \text{ Hz}$			
Número de polos	$n_s$ en r.p.m.	$n_r$ en r.p.m.	Deslizamiento en %
2	3.000	2.950	1,6
4	1.500	1.450	3,3
8	750	700	6,6
10	600	550	8

Figura. 2-12 Tabla de Deslizamiento

La velocidad del rotor y el deslizamiento son inversamente proporcionales; **a menos velocidad, más deslizamiento.**

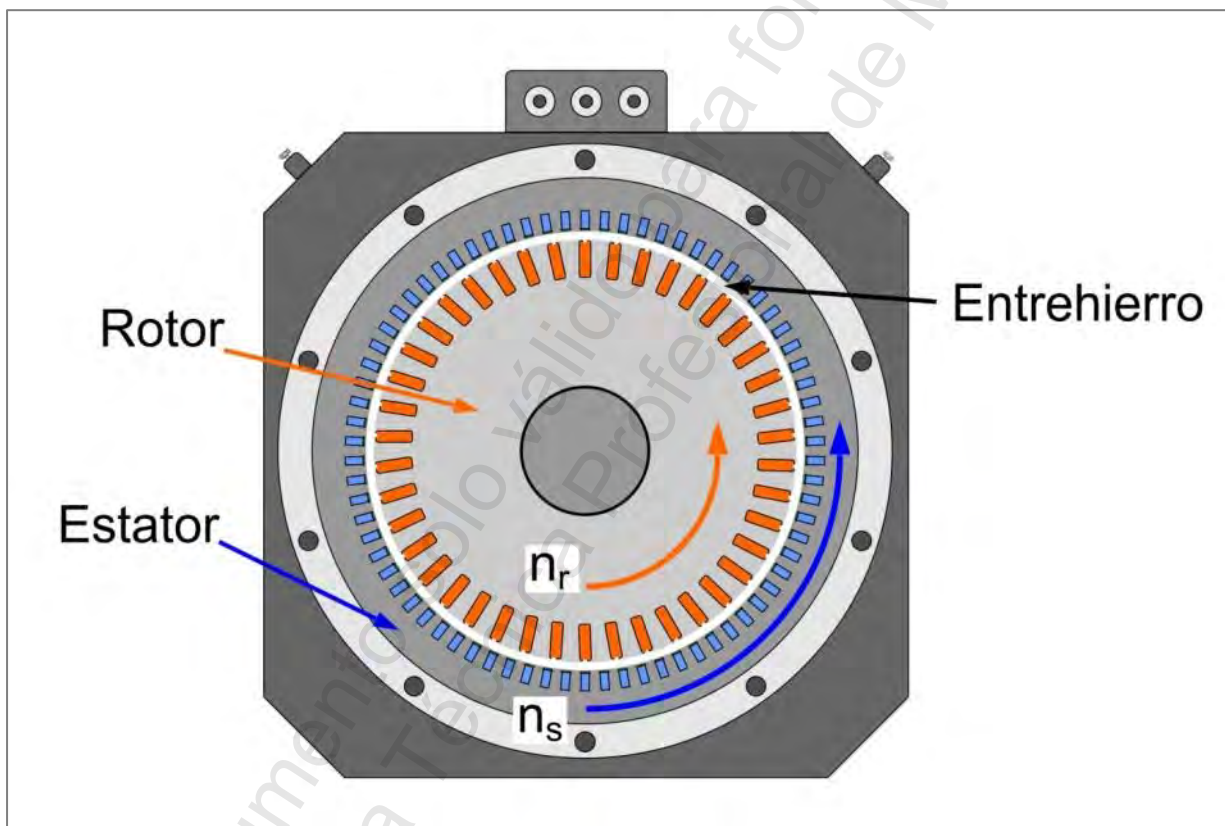


Figura. 2-13 Deslizamiento

### 2.2.1.1 Rotor de jaula de ardilla

El rotor de jaula de ardilla es un tipo de rotor que consta de un eje al que recubre una serie de chapas magnéticas apiladas con forma de paquete cilíndrico, en cuya superficie y/o en su interior, se encuentran practicadas un número de ranuras donde se introducirán una serie de barras de cobre o aluminio. Estas pletinas o barras, irán unidas por sus extremos, mediante unos aros o anillos que proporcionarán su cortocircuito.

Para estudiar su principio de funcionamiento, utilizaremos el símil de la escalera:

Imaginemos una escalera metálica formada por dos travesaños y una serie de peldaños colocados transversalmente.

Si desplazamos un imán, lo suficientemente potente, siguiendo el recorrido de los peldaños, observaremos cierto movimiento de la escalera en la misma dirección en la que se desplaza el imán, pero a menor velocidad.

Esto se debe a que el imán en su desplazamiento, provoca una variación de flujo sobre los recintos cerrados que forman los peldaños de la escalera. Esta variación de flujo genera una f.e.m. que, a su vez, hace que una corriente circule por estos recintos. Esta corriente crea un campo que es atraído por el imán en su desplazamiento y hace que se mueva en su misma dirección.

La escalera nunca podrá moverse a la misma velocidad que el imán puesto que, si fuese así, la variación del flujo sería nula y el efecto anteriormente expuesto, no existiría.

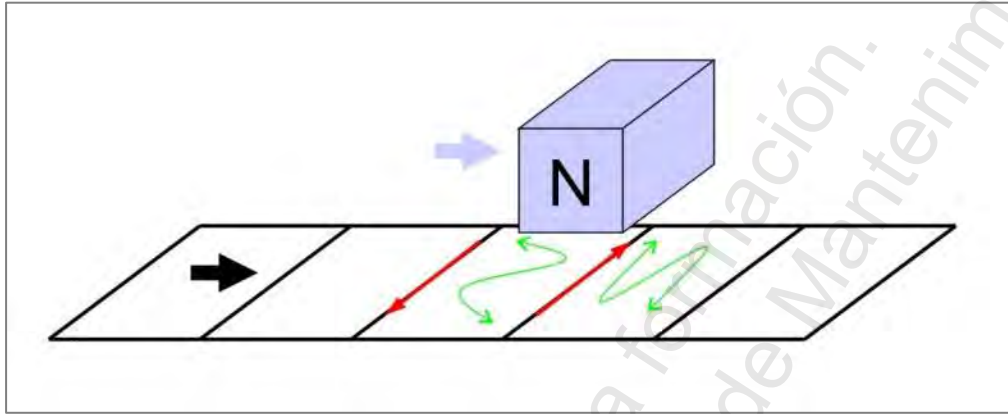


Figura. 2-14 Símil de la escalera

En un motor asíncrono, la escalera corresponde al desarrollo de las barras del rotor en cortocircuito y el imán corresponde el campo magnético giratorio producido por el estator.



Figura. 2-15 Rotor de jaula de ardilla

Este tipo de rotores pueden ser simples o de doble jaula.

En el segundo caso se compondrá de una jaula exterior de menor sección y de material de alta resistividad. La segunda se situará en el interior y será de mayor sección y de más baja resistividad. Las dos jaulas estarán separadas, en cada ranura, por una rendija que aumentará el flujo de dispersión en la jaula inferior.

Durante el arranque la corriente fluirá en su mayor parte por la jaula exterior y a velocidad nominal lo hará, en mayor medida, por la jaula interior.

Con ello se consigue que durante el arranque la resistencia sea alta, lo que supone que el par aumente y la intensidad se reduzca. A velocidad nominal, como la resistencia es baja, se obtiene un rendimiento aceptable.

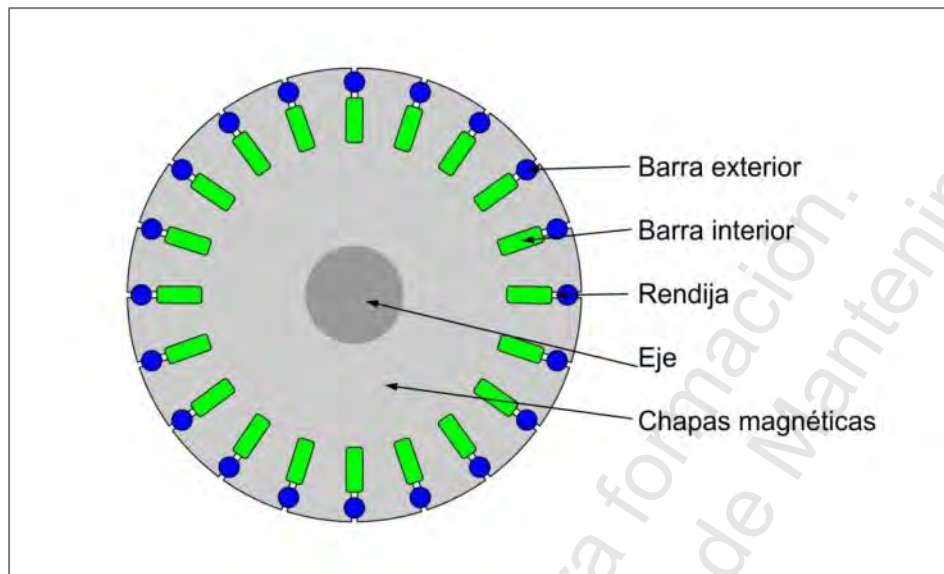


Figura. 2-16 Rotor de doble jaula de ardilla

### 2.2.1.2 Rotor bobinado

En el rotor devanado, el bobinado es similar al del estator con el que está asociado. El número de fases del rotor no tiene por qué ser el mismo que las del estator, aunque si es imprescindible que el número de polos coincida.



Figura. 2-17 Rotor bobinado

Los distintos devanados del rotor estarán conectados con el exterior por medio de unos anillos colectores que irán montados sobre el mismo eje del rotor. Sobre estos anillos rozarán unas escobillas que servirán de conexión durante el giro del conjunto.

### 2.2.1.3 Curvas características de los motores asíncronos

De todas las funciones que representan las variables de un motor asíncrono, es la característica mecánica la que más información nos puede aportar sobre el comportamiento del motor.

La Característica mecánica consiste en una curva que representa la relación entre Par motor y Velocidad, cuando se alimenta el motor a tensión y frecuencia nominal.

Los puntos de más interés en la curva de característica mecánica son:

- Par de arranque.

Es el que se desarrolla en al arranque con velocidad 0.

- Par máximo.

Es el mayor que puede desarrollar el motor.

- Par nominal.

Es el que desarrolla a velocidad nominal.

En los motores asíncronos, la velocidad nominal siempre será inferior a la velocidad de sincronismo o velocidad del campo magnético del estator, debido al deslizamiento.

El par resistente aumenta a medida que aumenta la velocidad del rotor y de la misma manera que el par motor disminuirá.

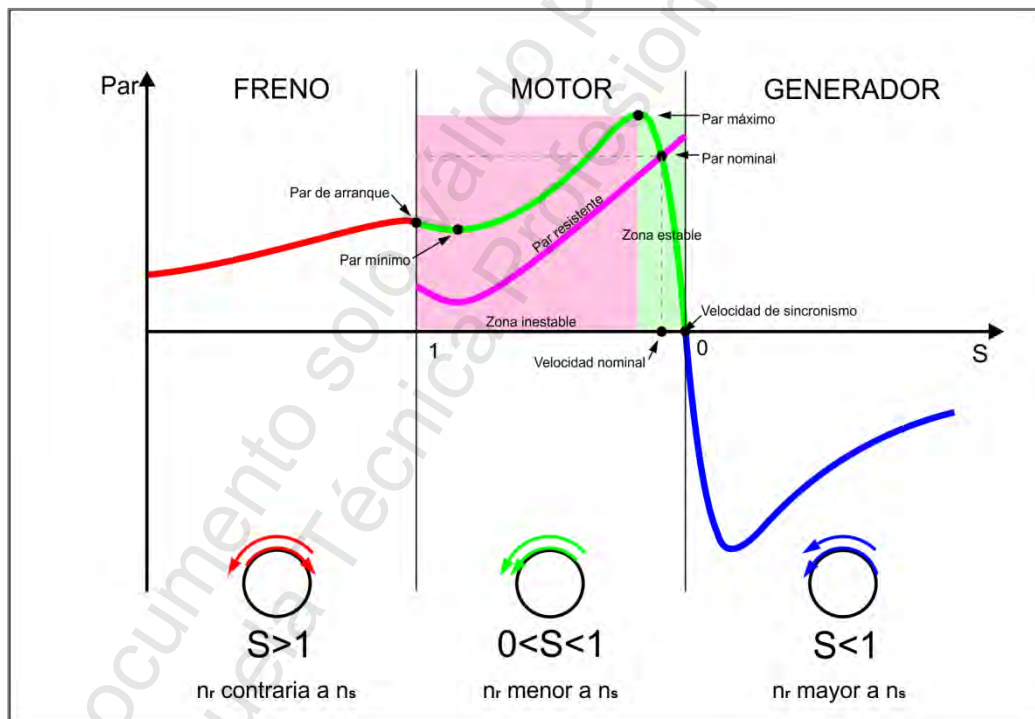


Figura. 2-18 Curva de motor asíncrono

Al igualarse el par motor y el par resistente, el motor se estabilizará y alcanzará la velocidad nominal.

Alrededor de la velocidad nominal existe una zona estable en la cual el motor puede oscilar en función del par motor, variando levemente la velocidad. Si se sale de esa zona, el motor saldrá de sincronismo y se parará.

La intensidad existente en el arranque es muy elevada, del orden de 6 u 8 veces superior a la intensidad nominal. De ahí la necesidad de utilizar sistemas de arranque que minimicen el valor tan elevado de la misma.



#### 2.2.1.4 Funcionamiento como alternador

Corresponde a velocidades superiores a la de sincronismo, lo que se traduce en un deslizamiento negativo. En este caso, el par desarrollado por la máquina se convierte en par de frenado con respecto al rotor.

Los alternadores asíncronos son poco utilizados porque presentan una serie de inconvenientes:

- Imposibilidad de generar potencia reactiva.
- No es una máquina autoexcitable, es decir que necesita de una fuente de alimentación externa que proporcione energía de excitación.

Debido a ello su uso queda muy limitado. No obstante, al no exigir sincronización de red y puesto que son máquinas robustas, económicas y de fácil mantenimiento, es usada en algunos casos, principalmente en aerogeneradores.

#### 2.2.2 Máquinas Síncronas

En este tipo de máquinas contamos con un estator compuesto con un devanado trifásico de igual manera que en las máquinas asíncronas. Se encarga de la creación de un campo magnético giratorio.

El rotor está constituido por un devanado de corriente continua que se encarga de crear un campo magnético fijo y que se alimentará del exterior por medio de unos anillos rozantes y escobillas.

La diferencia básica con respecto a los asíncronos es que la velocidad del rotor es idéntica a la de sincronismo, es decir, que no existe deslizamiento.

El rotor puede ser de dos tipos:

- De polos lisos.
- De polos salientes.

Este tipo de máquinas suele utilizarse, en mayor medida, como alternadores y podemos verlos en grandes centrales de producción eléctrica (hidroeléctricas, térmicas y nucleares) y en plantas automotrices de vehículos de gran potencia como barcos y locomotoras.

En el caso de las locomotoras se utiliza un motor térmico (diésel) para transmitir el movimiento al alternador cuya energía sirve para alimentar a los motores de tracción.

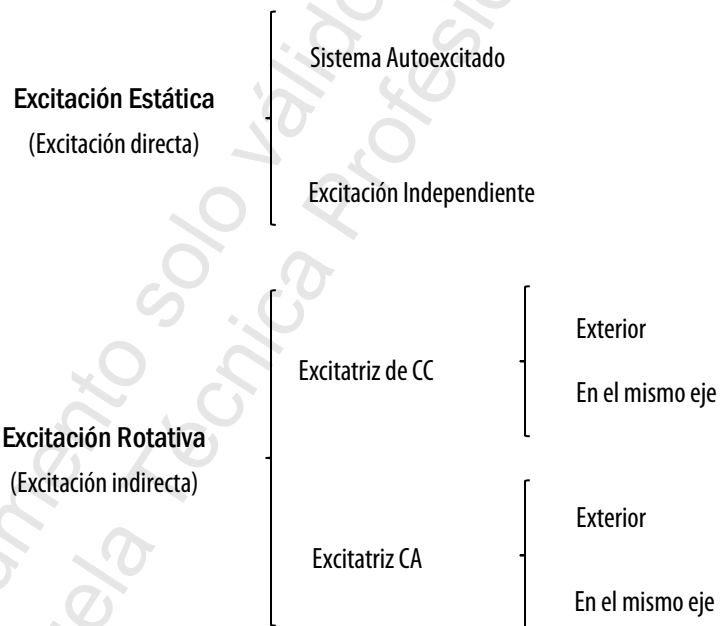
Los rotores de polos salientes se utilizan en máquinas síncronas que giren a velocidades lentas y son los de polos lisos los utilizados para máquinas que requieran una velocidad de rotación más elevada.



Figura. 2-21 Ejemplos de rotor de polos salientes y de polos lisos

Este tipo de generadores se presentan como máquinas más eficientes que los asíncronos, todo lo contrario que cuando funcionan como motor, en ese caso la mayor eficiencia es de los motores de inducción.

Como hemos comentado anteriormente estos rotores están alimentados con corriente continua y dependiendo del tipo de excitación que reciban podemos clasificarlos en:



Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)



### 3. BIBLIOGRAFÍA

Tecnología 2-1. Máquinas Eléctricas. BRUÑO-EDEBE.

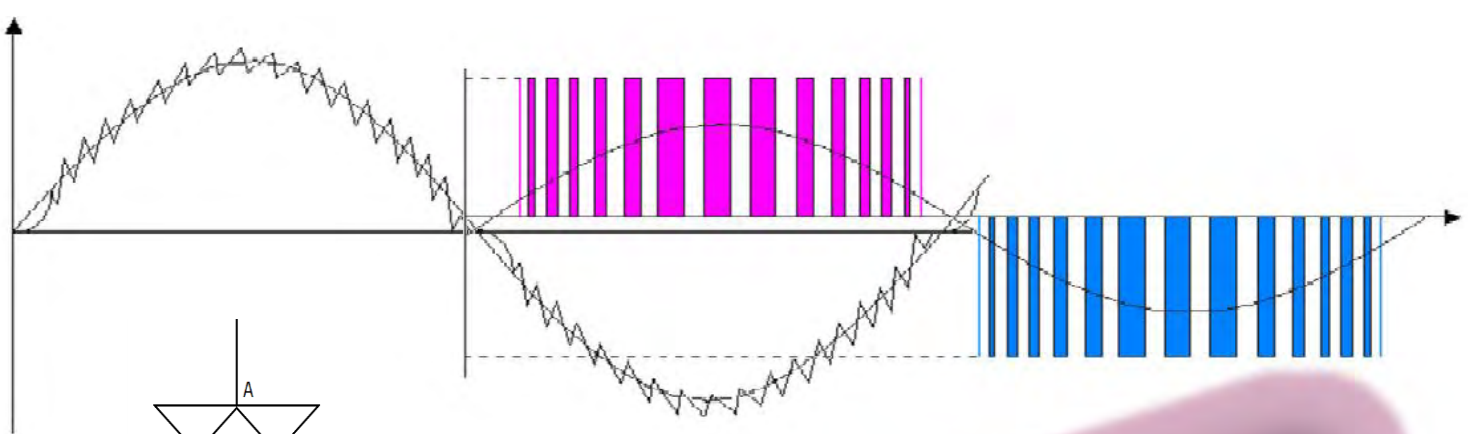
Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas. ABB.

Máquinas Asíncronas. Miguel Ángel Rodríguez Pozueta. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.

Catálogo de Instrumentos FLUKE, HIOKI, MEGGER, YOKOGAWA, AOIP y BK.

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)



**renfe**

Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.  
 G. de A. de Organización y Recursos Humanos.  
 Gerencia de la Escuela Técnica Profesional de  
 Mantenimiento (ETPM).

# FORMACIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS (Tracción eléctrica)

Edición 0.2







Autor: Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento.

Edita: © Renfe Operadora.

Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.

G. de A. de Organización y Recursos Humanos.

Gerencia de la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento (ETPM).

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA DEL AUTOR.

# ÍNDICE

1.	EVOLUCIÓN DE LA TRACCIÓN ELÉCTRICA.....	5
1.1	HISTORIA .....	5
1.2	MOTOR DE CONTINUA .....	7
1.2.1	ESTATOR.....	7
1.2.2	ROTOR .....	8
1.2.3	ESCOBILLAS.....	8
1.2.4	PIÑÓN DE ATAQUE .....	9
1.2.5	CONTROL DEL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA .....	9
1.3	MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA JAULA ARDILLA.....	11
1.3.1	ESTATOR.....	11
1.3.2	EL ROTOR .....	12
1.4	CONVERTIDORES.....	14
1.4.1	CONVERTIDORES DE TRACCIÓN.....	14
1.4.2	CONVERTIDORES DE CORRIENTE CONTINUA (CHOPPER) .....	14
1.4.3	CONVERTIDORES DE CORRIENTE ALTERNA (ONDULADORES).....	15
1.4.4	RECTIFICADOR .....	15
1.4.5	SERVICIOS AUXILIARES .....	15
1.4.6	CONVERTIDORES ROTATIVOS .....	17
1.5	SEMICONDUCTORES.....	19
1.5.1	DIODOS.....	19
1.5.2	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA - POLÍMETRO EN POSICIÓN DIODO.....	20
1.5.3	TIRISTORES.....	22
1.5.4	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA: POLÍMETRO EN POSICIÓN DIODO.....	23
1.5.5	TIRISTOR GTO .....	24
1.5.6	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA: POLÍMETRO EN POSICIÓN DIODO.....	25
1.5.7	IGBT.....	26
1.6	FUNCIONAMIENTO DE UN EQUIPO DE TRACCIÓN.....	27
1.6.1	CONTINUA CHOPPER 251.....	27
1.6.2	ALTERNA GTOS 252 .....	29
1.6.3	PROTECCIONES.....	32
1.6.4	REFRIGERACIÓN .....	36
1.7	HISTORIAL IMPLANTACIÓN DE SEMICONDUCTORES EN RENFE.....	38

Este libro ha sido elaborado por la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento de Renfe Operadora.  
Es propiedad de Renfe Operadora.  
Queda prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin la autorización expresa del propietario.



## 1. EVOLUCIÓN DE LA TRACCIÓN ELÉCTRICA

### 1.1 HISTORIA

Los comienzos de la tracción eléctrica lógicamente, se remontan a las primeras electrificaciones de líneas en España.

La más longeva es la línea "Linares San José a Almería" en 1899 pasando por la durísima sierra de Gádor de 27 milésimas para transporte de mineral de Hierro a de las minas de Marquesado hasta el puerto de Almería.

Esta línea era trifásica de dos hilos de fases superiores y el de carril como tercera fase, y con línea de 6000 voltios 25 Hz.



Figura 1-1. Estación Gérgal fin tramo electrificado trifásico (1911)

Posteriormente en la primera década del siglo 20 se hizo la línea de San Sebastián a la frontera francesa usando línea monofásica de 6000 Voltios.



Figura 1-2. Tren de viajeros en estación de Almería (1965)

A finales de 1966 se suprimen este tipo de electrificación por alto coste de mantenimiento de la línea explotándose mediante tracción Diésel (locomotoras 1300) hasta 1985 que se electrificó a 3000V y circularon locomotoras japonesas 269 en tándem. Las 252 tuvieron allí parte de su duro periodo de pruebas durante 5 meses aproximadamente.



Figura 1-3. Cabina de locomotora trifásica.

En 1924 se electrifica la rampa de pajares a 3000V de continua debido a la demanda de minerales y acero de la época.

Posteriormente vinieron las electrificaciones de Ávila a Segovia, línea de Manresa en Barcelona. Siempre salvando rampas que era donde las de vapor sacrificaban más a sus empleados.

Conclusión histórica: en España, la tracción eléctrica comenzó en alterna, para modernizarse en continua, y posteriormente de nuevo a alterna por avance en potencia y demanda de energía.

## 1.2 MOTOR DE CONTINUA

Motor que se impuso por su característica natural de máximo par de arranque desde 0 revoluciones, perdiendo esa magnitud a medida que adquiere velocidad.

Se adapta por ello a las necesidades ferroviarias, en las que necesitamos la máxima energía para alcanzar velocidad partiendo de una rampa o un tren muy cargado en llano.

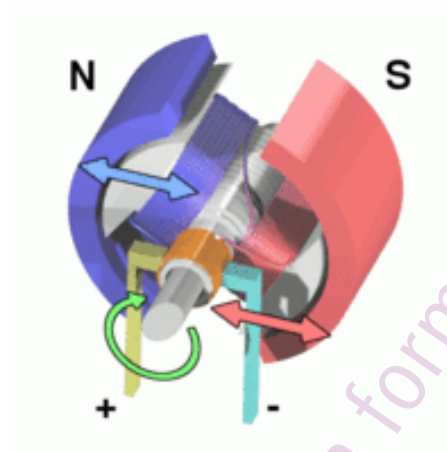


Figura 1-4. Motor C.C. simple a escobillas.

El motor se compone de:

### 1.2.1 ESTATOR

Está formado por bobinas que generan el flujo.

El núcleo es de material férreo permeable a las líneas de fuerza magnéticas y forma la estructura del motor, la **carcasa**, que es la envolvente que vemos exteriormente y por donde cierra este circuito magnético. Dada su robustez dispone de **puntos de apoyo** para que la fuerza generada sólo se aplique al piñón.



Figura 1-5. Vista estator motor tracción S/269.

### 1.2.2 ROTOR

Es donde realmente se genera el par motor y está formado por bobinas que son inducidas por el campo y que generan otro campo magnético que se opone al mismo que lo creó, generando un movimiento hacia un lado u otro, dando lugar al esfuerzo mecánico. Las bobinas eléctricamente empiezan y terminan en el colector.

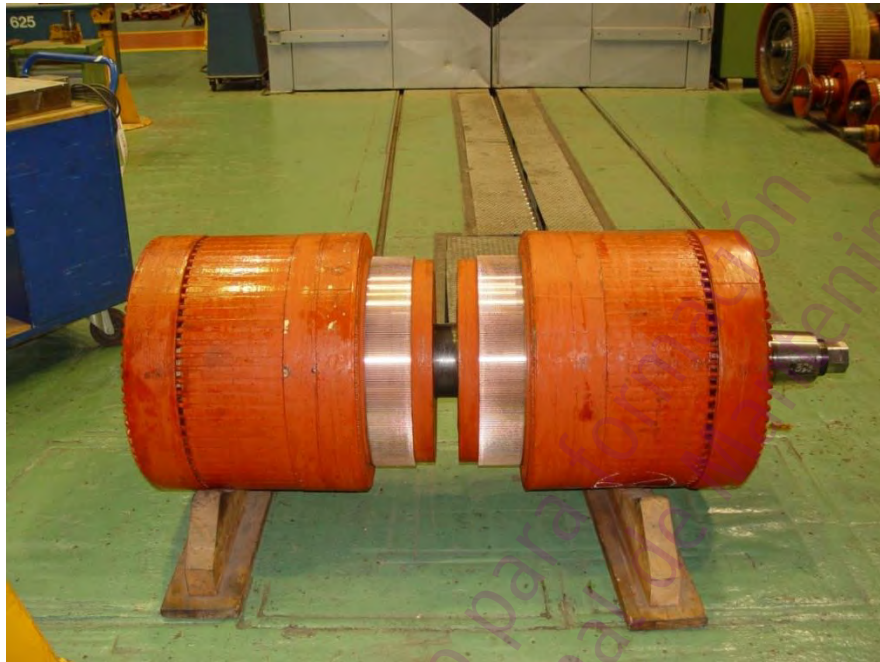


Figura 1-6. Rotores motor tándem S/269 calados en mismo eje.

### 1.2.3 ESCOBILLAS

Son las encargadas de mantener ese estado de permanente cambio de polaridad mecánico en el rotor junto con el colector y obligar al desplazamiento continuo. Son el elemento más visitado en las revisiones ya que está expuesto a un gran rozamiento y desgaste y por tanto el más delicado y sufrido del motor.



Figura 1-7. Escobilla motor tracción medio uso.



### 1.2.4 PIÑÓN DE ATAQUE

Va calado en el eje a presión y supone el punto de utilización del esfuerzo mecánico.



Figura 1-8. Piñón de arrastre motor tracción.



Figura 1-9. Piñón de arrastre motor tracción.

### 1.2.5 CONTROL DEL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Al motor no podemos aplicarle directamente la tensión de catenaria, o toda la energía producida por un generador eléctrico de una locomotora diésel. Si le proporcionamos toda la tensión, saltaría nuestra protección disyuntor, la subestación, otras protecciones internas, etc., debido a que el motor parado supone lo más parecido a un cortocircuito.

Hay que regular la corriente y para ello variaremos la tensión en la medida de lo posible.

Aprovechando que una locomotora o autopropulsado tiene varios motores los conectaremos en serie al principio y así se reparten la tensión, pero aun así la corriente sería alta, por lo que usamos resistencias también en serie con el circuito, que tendrán una caída de tensión, bajando la corriente hasta los valores máximos permitidos por el motor en el arranque.

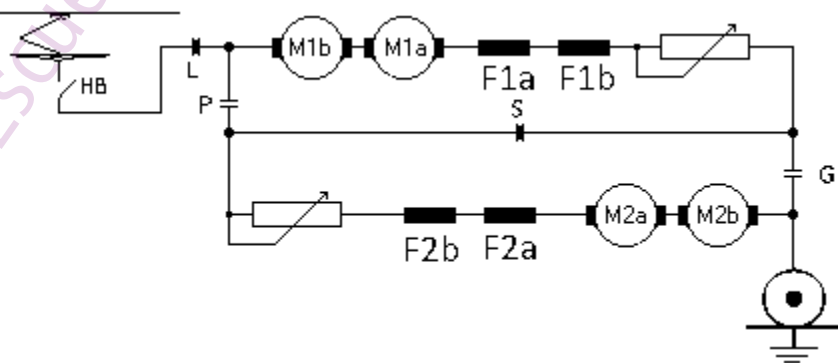


Figura 1-10. Circuito 269 simplificado tracción serie.

A medida que el tren avanza adquiere velocidad y el motor gana Fuerza electro motriz (f.e.m.), por lo que la corriente bajará y tendremos que eliminar resistencias si queremos aumentar la velocidad para que el motor tenga más tensión.

Así progresivamente hasta que llegue el momento en que las resistencias intercaladas estén totalmente puenteadas.

Pongamos por ejemplo que circulamos ya a una velocidad de 30 Km/h y queremos aumentar más, tenemos que buscar más recursos y podemos poner los motores en otra combinación en la que tengamos más tensión entre ellos. Como los teníamos en serie podemos pasar a serie + paralelo, formado grupos como se muestra en el esquema.

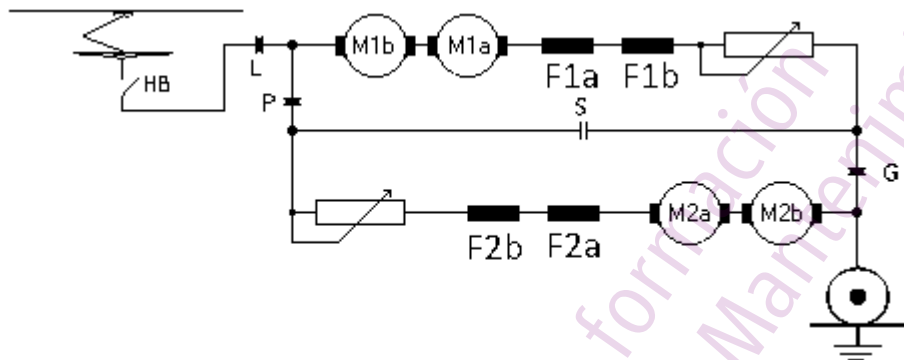


Figura 1-11. Circuito 269 simplificado tracción paralelo.

Intercalamos de nuevo la resistencias y las reducimos paulatinamente hasta que alcancemos una velocidad considerable hablamos de unos 90 Km/H por lo que podemos ya conectar de nuevo los motores totalmente en paralelo y de nuevo eliminar resistencias.

Todo esto es con el campo en serie con el motor es decir que la corriente que circula por inducido es igual a la del campo. Si bajásemos la corriente de campo y mantuviésemos la de inducido perderíamos par, pero ganaríamos velocidad.

En caso de velocidad adquirida, y marcha constante el par no adquiere mucha relevancia y si la gana importancia el adquirir más velocidad o mantener la actual.

Si instalásemos resistencias en paralelo con el campo mantendremos la corriente de inducido y debilitaremos la corriente que circula por el campo.

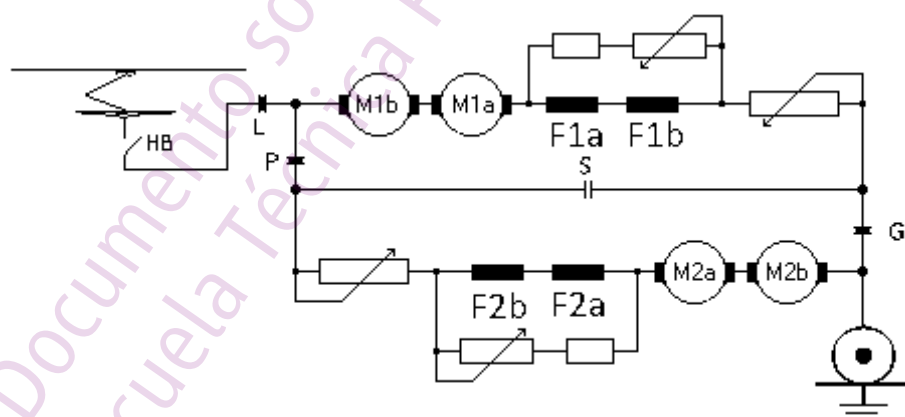


Figura 1-12. Circuito 269 simplificado tracción paralelo + shuntados.

Reducimos las líneas de fuerza que dificultaban el desarrollo de mayor velocidad y el motor gana en revoluciones.

Al tratarse de una regulación en paralelo le denominamos resistencias shunt y de ahí nace la palabra **shuntado**.

La corriente de campo la podemos reducir hasta unos valores mínimos, que si los superamos el motor dejaría de serlo para convertirse en una máquina **autoinductiva** que terminaría destruyéndose, por tanto no podemos reducir más de 30 al 50% de campo como máximo dependiendo de la característica típica del motor.

### 1.3 MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA JAULA ARDILLA

Este motor se alimenta de tensión alterna y su par depende de la frecuencia y tensión que este alimentado.

A diferencia del motor de continua este no tiene escobillas, lo que le hace atractivo al mantenimiento por su bajo coste.

Las dimensiones para una misma potencia son prácticamente la mitad del tamaño con respecto del motor de corriente continua.

En la fotografía podemos ver el piñón en forma de V autocentrado, los puntos de apoyo y los cableados de alimentación y sensores.

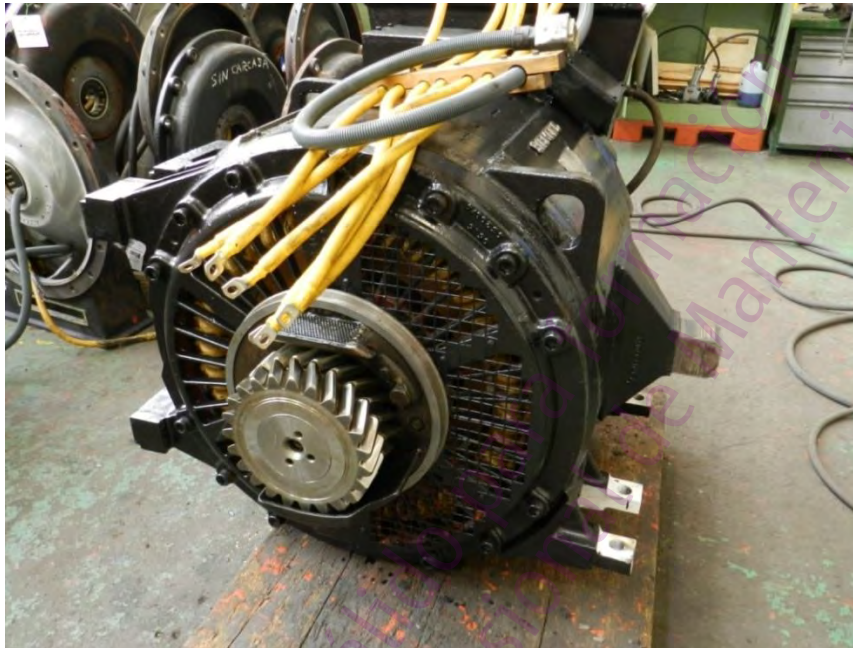


Figura 1-13. Motor tracción S/252 asíncrono.

El motor jaula de ardilla consta de:

#### 1.3.1 ESTATOR

El estator dispone de tres bobinados, uno por fase, desfasados 120° físicamente dentro del círculo.

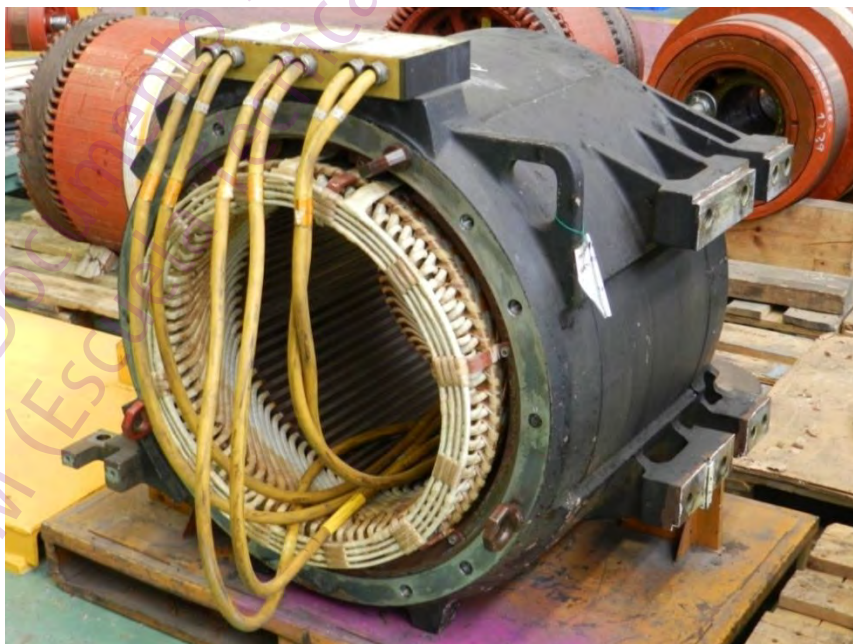


Figura 1-14. Detalle estator motor S/252.

El estator son tres bobinados intercalados que cuyos finales conexiados en estrella se interconectan en aros concéntricos que conforman el cierre.

El material del núcleo de las cajas que reciben el cobre está hecho de un material que sea permeable magnéticamente a distintas frecuencias no solo a 50 Hz y así mejorar el rendimiento en su espectro de frecuencias (aleación magnética compuesta por níquel y acero).

### 1.3.2 EL ROTOR

Parte móvil donde se genera el par de ataque al piñón, ensartado en un eje (que no se muestra en la foto) con sus respectivos rodamientos.



Figura 1-15.

Formado por múltiples varillas coincidentes en número con las ranuras del estator que son cortocircuitadas en ambos extremos, de ahí que recuerde a una jaula de ardilla.

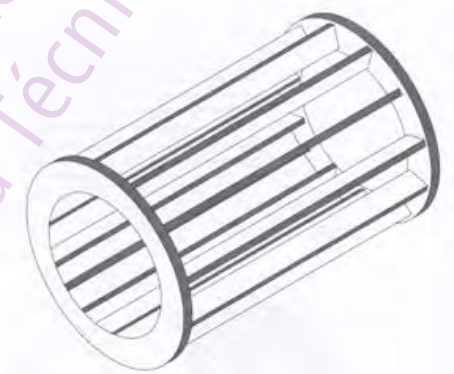


Figura 1-16.

Su desarrollo recuerda a una escalera cerrada.

La corriente que circula por el estator induce sobre el rotor.

Toda la tensión inducida la transforma en, de nuevo, corriente máxima al ser cortocircuito y se transforma en campo magnético similar y repelido/atraído busca la rotación como única vía de escape a esa incómoda situación. Por otro lado, el devanado adyacente le reclama por campo magnético opuesto.

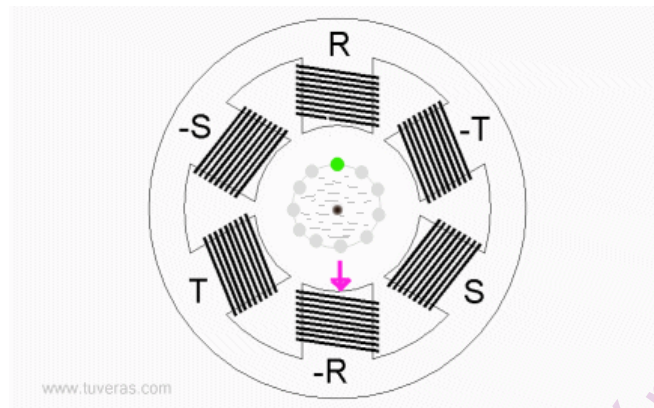


Figura 1-17.

En un motor universal, alimentado por la red en viviendas e industria, observamos que apenas tiene par de arranque pero una vez que se ha embalado el par es el máximo.

Ese punto de máxima fuerza lo dispone la frecuencia alimentada y la industrial/doméstica es de 50 Hz no podemos variarla.

Si podemos variar la tensión pero no conseguimos grandes campos de regulación.

Su aplicación ferroviaria inicial la tuvo bajo catenarias de 16Hz y 50 Hz mediante rotores bobinados y con resistencias rotóricas con escobillas, pero no dieron el resultado esperado en altas potencias, empleando dobles tracciones para compensar falta de potencia en trenes ordinarios.

El motor de alterna jaula de ardilla, en altas corrientes, tuvo que esperarse a que la electrónica de potencia se desarrollase para poder implantarse como motor potente de referencia en la actualidad.

No tenemos contacto físico con el rotor en cortocircuito, solo su punto de referencia de revoluciones, un sensor normalmente instalado en el lado opuesto al piñón. Por tanto, no sabemos los valores de temperatura, corrientes de rotor, pérdidas en el núcleo, flujo magnético, etc. que el rotor sufre en su trabajo y la electrónica analógica y digital tiene como misión "imaginarse con precisión" esos datos, y lo consigue, lo que ocurre en ese dispositivo en base a los datos que aporta la energía que aplicamos al estator (corriente magnetizante), su desfase corriente/tensión, la potencia activa y reactiva, temperatura de carcasa estator, frente al único dato de revoluciones real del eje. Estos cálculos se realizan a partir de un modelo matemático (senos, cosenos, derivadas, etc.).

Equipo de control SIBAS locomotora 252 para control vectorial de motores.



Figura 1-18. Detalle sistema de control motor síncrono Sibas S/252.

En corriente continua es más sencillo porque si tenemos acceso al campo tensión corriente e inducido, faltándonos el valor de temperatura de inducido que es asimilado por simpatía al de la carcasa.

## 1.4 CONVERTIDORES

Un vehículo ferroviario tiene la capacidad de moverse con un fuerte agarre de arranque, mantener velocidades fijas, y además conviene que tenga la capacidad de detenerse con los mismos medios que lo hace para traccionar, los motores, que son empleados como frenos.

También precisa de un sistema que transforme la energía de catenaria en tensiones para poder usarlas en sistemas auxiliares de ventilación, carga baterías, alumbrado interno, cafetería, etc.

Para esas operaciones necesitamos en el ferrocarril moderno el uso de convertidores.

### 1.4.1 CONVERTIDORES DE TRACCIÓN

Son los encargados de mover el vehículo ferroviario en tracción eléctrica. Tenemos de varios tipos.

### 1.4.2 CONVERTIDORES DE CORRIENTE CONTINUA (CHOPPER)

Convierten tensión continua comprendida entre 2 a 3,8kV de catenaria en tensión continua variable de 0 a casi la máxima y limitada en corriente.

Ejemplo: Locomotoras Chopper 440/500, 445 (proyecto CDTI) 269/600 250, 251, 446, suburbanos, etc.



Figura 1-19.

### 1.4.3 CONVERTIDORES DE CORRIENTE ALTERNA (ONDULADORES)

Transforman tensión continua en otra tensión alterna variable en amplitud y frecuencia.

Ejemplo: Onduladores trifásicos de tracción locomotora 252, 253 y trenes alta velocidad 100, 102, 103, 104, 130, 120, 112 etc. ancho internacional. Tienen posibilidad de devolver tensión a catenaria.

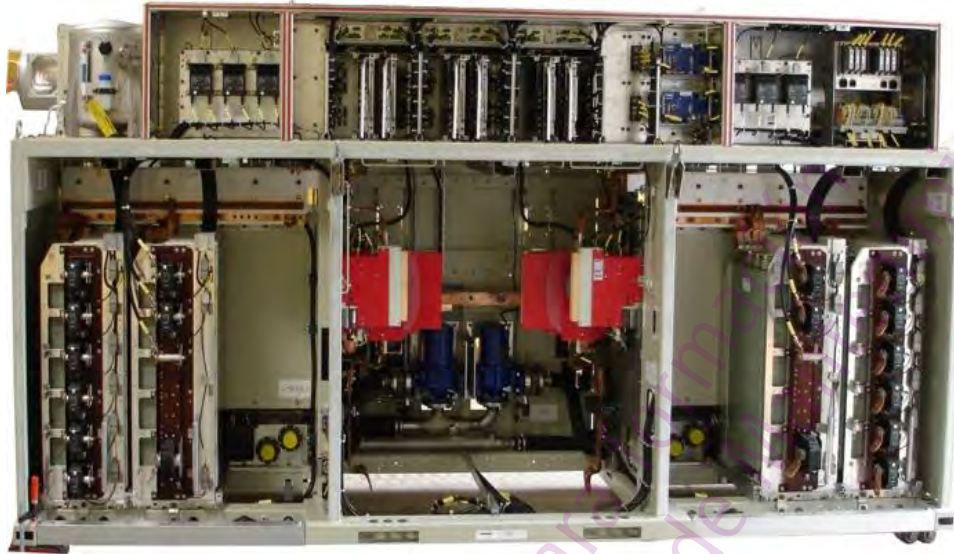


Figura 1-20.

### 1.4.4 RECTIFICADOR

Convierten tensión alterna en tensión continua. Los **rectificadores controlados** son capaces de regular la tensión de salida continua.

Ejemplo: Convertidor 4Qs locomotoras 252, Alaris 490, 449 etc. También dispone de posibilidad de devolver tensión a catenaria.

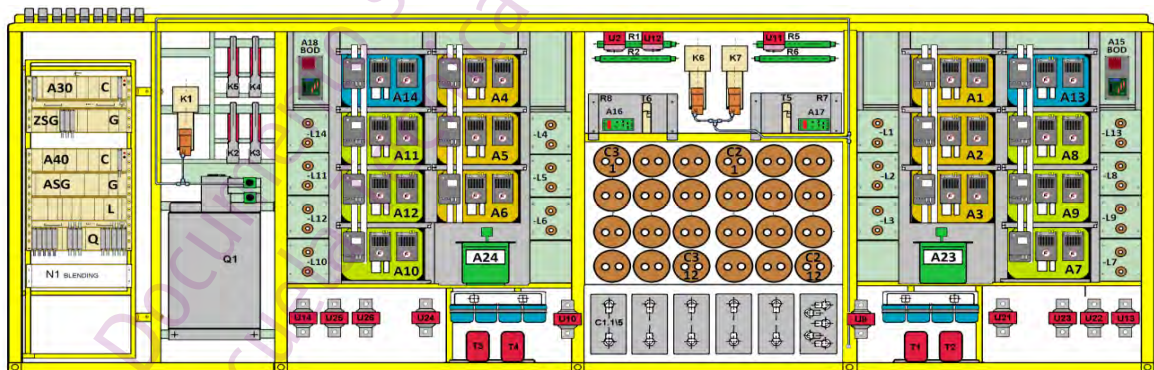


Figura 1-21.

### 1.4.5 SERVICIOS AUXILIARES

Son necesarios para la ventilación de los propios motores de tracción resistencias de freno, carga de batería, aire acondicionado, etc.

Normalmente son alimentados por tensión estabilizada continua y generan 380 o 440V trifásicos estables, como es el caso del CSA en 252, Auxiliar de 253, HBU de 447, etc.



Figura 1-22.

Estos convertidores suelen tener una salida fija a 50 Hz. También disponen de salida variable para poder cambiar el número de revoluciones de los ventiladores y satisfacer la demanda de caudal dependiendo de las temperaturas. Se suele hacer en varios escalones de 23 Hz, 30Hz 40Hz, 50 y 60Hz.



Figura 1-23.

Normalmente existen dos equipos gemelos por locomotora o autopropulsado. Están diseñados para que en caso de rotura de uno de ellos el otro se haga cargo de los consumidores que quedaron sin alimentar, equilibrando las cargas mediante contactores y optimizando el rendimiento del que queda operativo.

Las averías suelen ser la fusión de tiristores de la generación trifásica, y por tanto, hay que comprobar que los consumidores no hayan sido la causa de la destrucción comprobando derivaciones a tierra principalmente.



La ventilación interna de equipos de control de los convertidores es muy importante y justifica fallos esporádicos, atención a filtros y ventiladores.

Los sensores de corriente y tensión también son susceptibles de fallo.

Este tipo de convertidores de los que hablamos son del tipo estático ya que son componentes fijos que no están sujetos a movimientos.

### 1.4.6 CONVERTIDORES ROTATIVOS

En el parque ferroviario tenemos aún convertidores rotativos, que son generadores que forman el tipo DC/DC, caso de los **Grupos Motores generadores (G.M.G.)** de las japonesas serie baja.

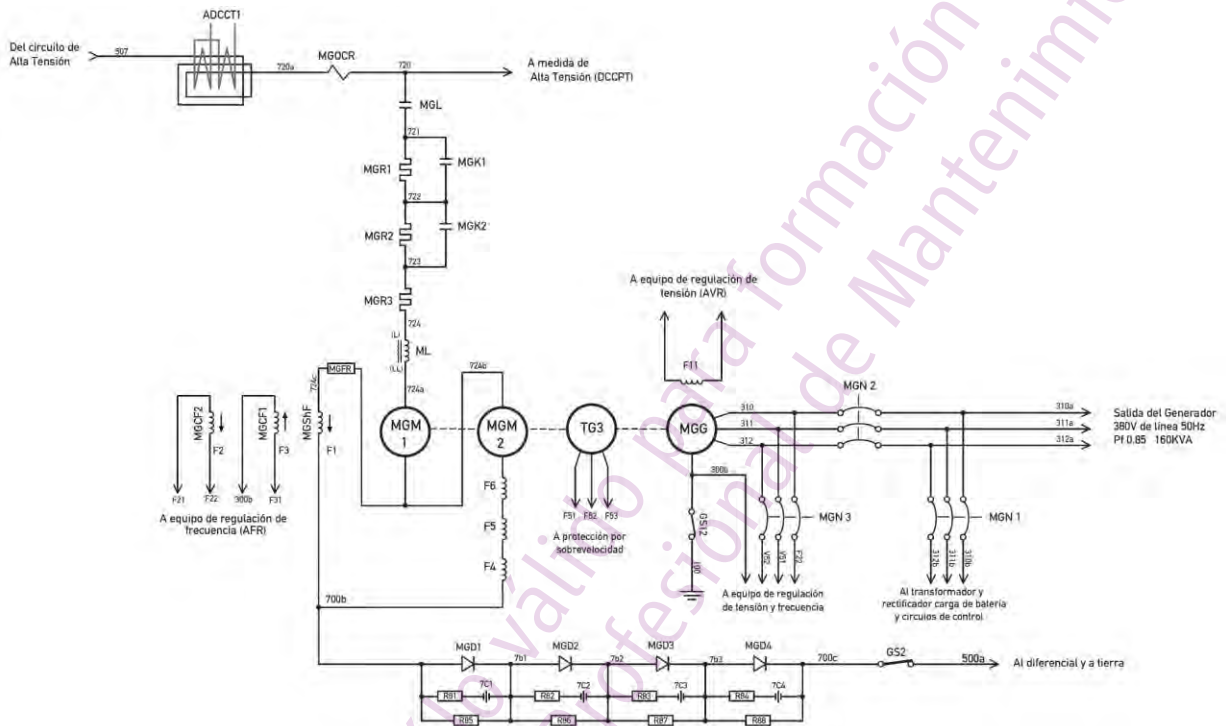


Figura 1-24.

Con tensión de catenaria hacemos girar un motor en cuyo extremo de su eje movemos un generador de corriente continua de 72/80V corriente continua para carga y garantía de tensión de batería.

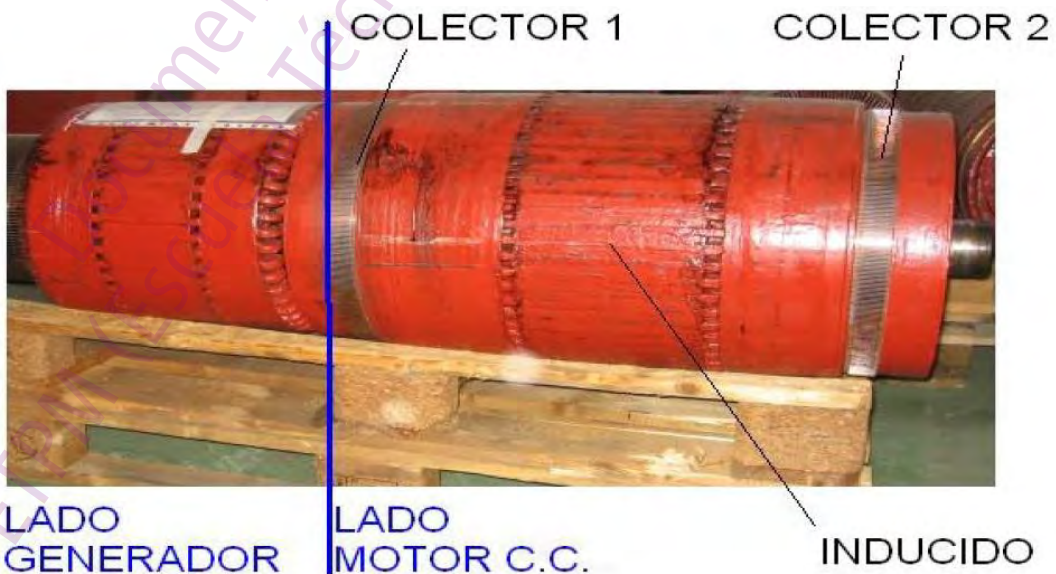


Figura 1-25.

También son comunes los DC/AC, locomotoras japonesas series 269 alta, 269 chopper 250 y 251, unidades 470, 440 que disponen de un **Grupo Motor Alternador (G.M.A)** convirtiendo 3Kv DC en 380V trifásicos o 220 V también trifásicos 50Hz con una precisión aceptable.



Figura 1-26.

Las averías comunes son la derivación del inducido de la parte motora, por estar expuesto a sobretensiones. Dispone de unos cuernos provocadores de arco en caso de sobretensión en los portaescobillas, que protegen de males mayores en el devanado inducido. Las escobillas son visitadas en las revisiones pero ojo, una sobretensión externa que haya provocado un arco en colector puede desgastar una escobilla nueva en cuestión de segundos.

Para determinar un fallo de la electrónica de control hay que basarse en el consumo de las corrientes de campo generador, aditivo y sustractivo.

## 1.5 SEMICONDUCTORES

### 1.5.1 DIODOS

Conforman la base de la electrónica, desde las primeras válvulas hasta la actualidad.

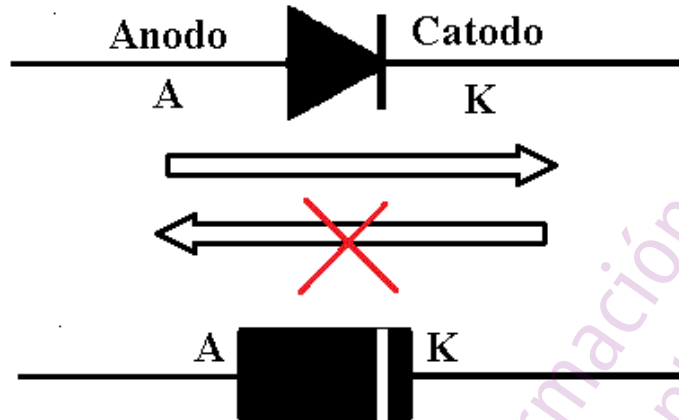


Figura 1-27. Diodo.

Son dispositivos que se comportan como un conductor cuando la corriente va en un sentido y como un aislante cuando la corriente va en contra.

La corriente entra por el ánodo y sale por el cátodo.

Como dispositivo semiconductor tiene una caída de tensión que no varía mucho dependiendo de la corriente pero sí de la temperatura, que oscila entre los 0.6/0.7 V en un diodo de silicio, 0.3V en un germanio (ya obsoletos) y en dispositivos ferroviarios de alta corriente entre 0,2 y 0,1V.

Presentan varios tipos de encapsulado dependiendo de la aplicación.



Figura 1-29. Diodo potencia rosca 30 Amperios.



Figura 1-28. Diodo para circuito impreso tipo 10A 1000V.



Figura 1-31. Diodo SMD miniatura 2 Amperios.



Figura 1-30. Diodo Rosca tipo AVR /AFR 25 Amperios.

El más usado en potencia en Renfe es el Press-Pack (paquete comprimido) con la toma de ánodo y cátodo en los extremos, y el cuerpo aislante de porcelana que alberga el dispositivo semiconductor en su interior. Se montan en estructuras portables para favorecer el intercambio, llamadas módulos, stacks o gavetas.



Figura 1-32. Distintos tipos de encapsulado de potencia.

Este tipo planos para ser montados en Press-Pack, deben ser probados ligeramente comprimidos, por ejemplo, en un tornillo de banco, debido a que nos puede falsear la medida por falso contacto de los discos internos (abierto).

Sabemos que estamos ante un diodo en mal estado porque en la prueba conduce en los dos sentidos (se comporta como un cable) o bien conduce en un sentido pero en el otro presenta algo de resistencia (presenta fugas).

### 1.5.2 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA - POLÍMETRO EN POSICIÓN DIODO.

Entre ánodo (punta roja +) y cátodo (punta negra-) debe presentar entre 0,1V a 0,8V en diodos de silicio. (0.2 a 0.3 normalmente).

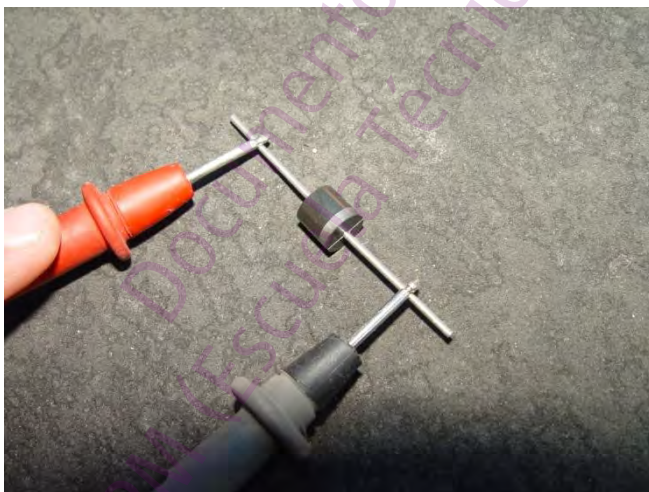


Figura 1-33.

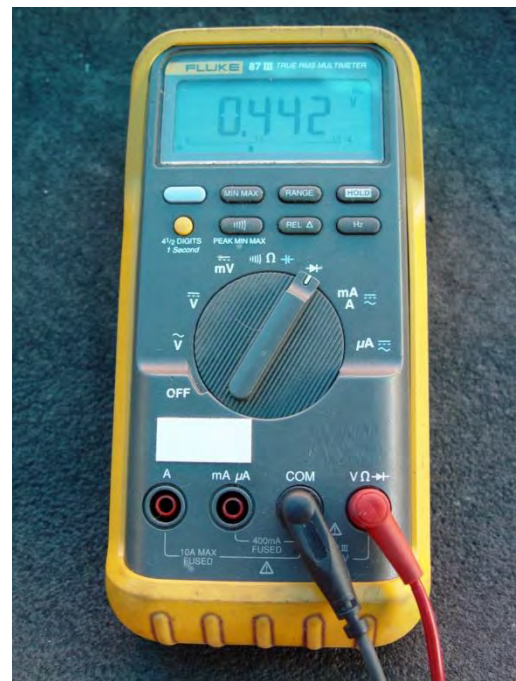


Figura 1-34.

Entre ánodo (punta negra +) y cátodo (punta roja-) debe presentar infinito (OL).

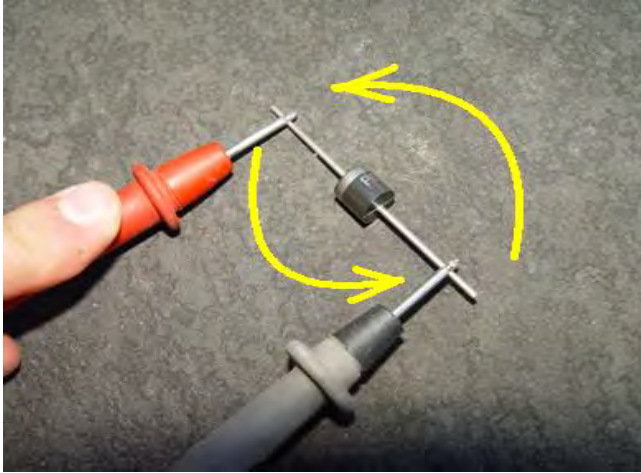


Figura 1-36.



Figura 1-35.

En los del tipo plano de potencia caso de no cumplirse los valores y estar comprimido en el stack, atención a los componentes auxiliares (bobinas, condensadores resistencias, etc.) que suelen llevar asociados en paralelo y pueden alterar la medida. Desconectarles para salir de dudas o compararlo en un repuesto.

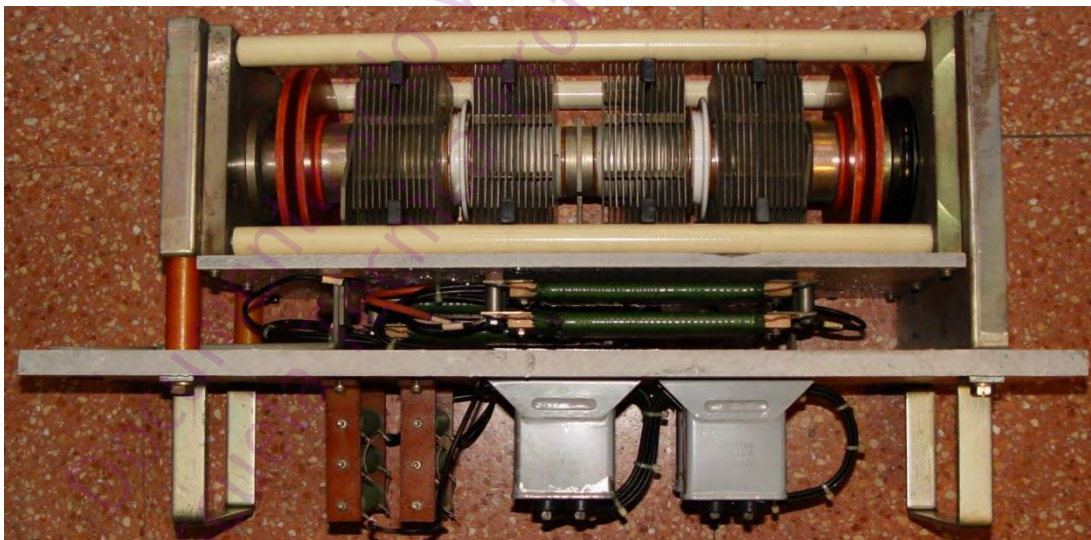


Figura 1-37. Gaveta Stack Diodo rueda libre S/251.

La avería típica es la fusión del diodo siendo cortocircuito entre A-K y viceversa (0.000V).

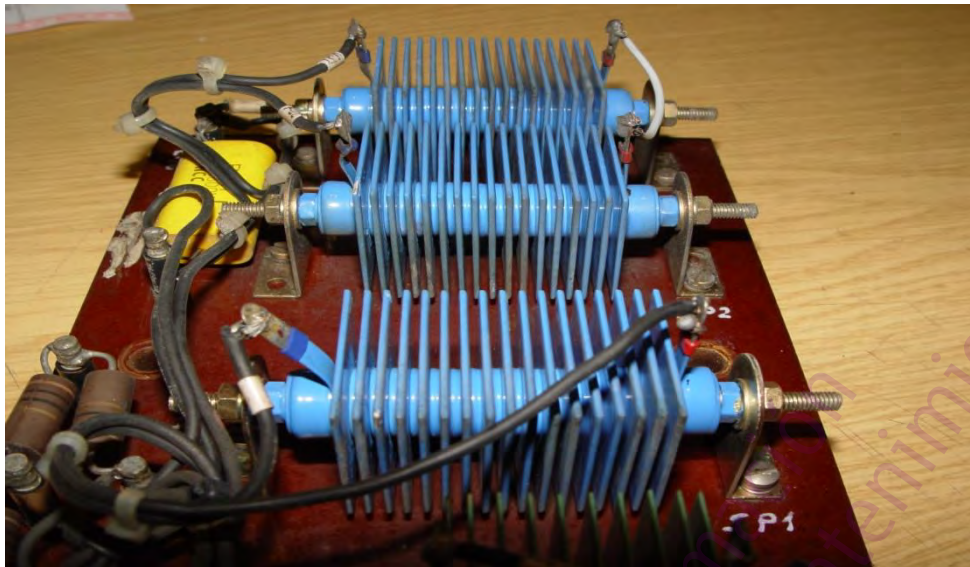


Figura 1-38. Diodos de Selenio.

En caso de diodos de selenio (como los de la foto) su caída de tensión es de 0,7V aprox. por placa, al estar varios en serie suelen tener entre 7 y 12 voltios de caída de tensión por lo que es recomendable usar fuente de alimentación y lámpara para comprobar su comportamiento.

### 1.5.3 TIRISTORES

Son como diodos, pero les distingue en que aun estando polarizado correctamente no conduce hasta que no apliquemos corriente entre una patilla de mando llamada puerta y cátodo.

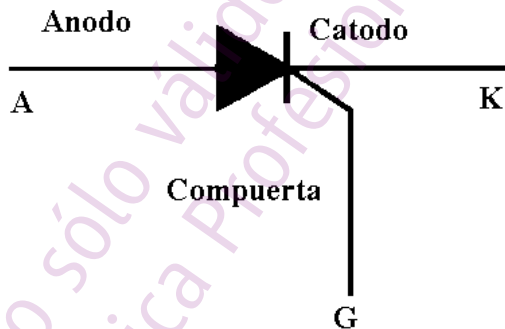


Figura 1-39. Símbolo de Tiristor.



Figura 1-41. Tiristor de potencia.



Figura 1-40. Tiristor rosca tipo AVR/ AFR 20 Amperios.

Son rápidos en sus transiciones de “conducir” o “no conducir” superando con creces a un contactor extrarrápido, dejan pasar mucha corriente y su caída de tensión es baja cuando conduce, pero sufre bastante durante el pequeñísimo tiempo de conmutación (5 a 10 nanosegundos) por lo que tiene que ser auxiliado con bobinas que contengan el incremento de corriente.



Figura 1-43. Tiristor de rosca con trencilla aislada.

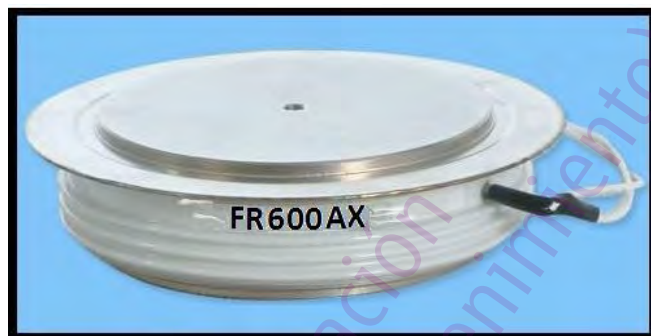


Figura 1-42. Tiristor principal locomotora 251 (dispone interiormente de diodo antiparalelo).

Una vez que conducen, a pesar de interrumpir la corriente de puerta, la corriente principal no se extingue y solo hay dos maneras de apagarle:

- Interrumpiendo la corriente externamente mediante un contactor o disyuntor.
- Haciendo circular una corriente contraria superior a la circulante entre ánodo y cátodo.

Este último sistema usado en los sistemas de tracción chopper es el llamado circuito de conmutación (tiristores auxiliares que apagan tiristores principales).

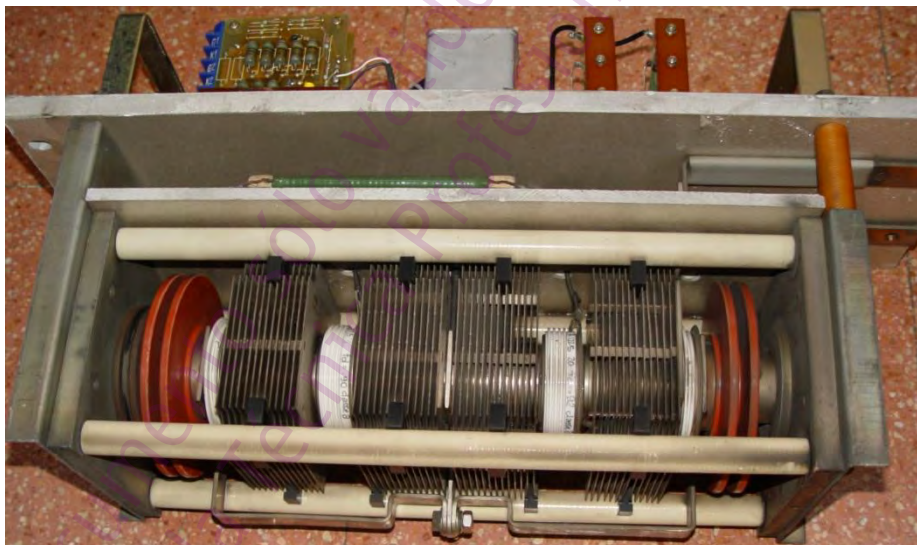


Figura 1-44. Gaceta Stack Tiristor Ansaldo (Diodos externos) loc s/251.

#### 1.5.4 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA: POLÍMETRO EN POSICIÓN DIODO.

Entre ánodo (punta roja +) y cátodo (punta negra-) debe presentar infinito.

Entre ánodo (punta negra +) y cátodo (punta roja-) debe presentar también infinito.

Entre puerta (punta roja +) y cátodo (punta negra-) debe presentar 0.005V y 0.030V. Si en ese momento conmutamos el polímetro a ohmios veremos entre 5 y 30 ohm.

Entre puerta (punta negra-) y cátodo (punta roja +) debe presentar los mismos valores que la medida anterior (entre 5 y 30 ohmios aproximadamente).

En caso de no cumplirse los valores, y estar comprimido en el stack atención a los componentes auxiliares (bobinas, condensadores resistencias, etc.) que suelen llevar asociados en paralelo y pueden alterar la medida. Desconectarles para salir de dudas o compararlo en un repuesto.

La avería típica es la fusión del tiristor siendo cortocircuito entre A-K y viceversa (0.000V) y curiosamente no presenta daños en el circuito de puerta por ser un pequeño tiristor independiente del de potencia.

### 1.5.5 TIRISTOR GTO

A diferencia del tiristor típico la corriente de puerta comanda no sólo la conexión sino que tiene la característica de comandar también la desconexión.



Figura 1-45. Tiristor GTO encapsulado Press-pack.

Para ello invierte la polaridad de la señal y con mínimo 1/3 de la corriente que comanda entre ánodo y cátodo procederá al corte.

La ventaja es que evitamos el engorroso y delicado "circuito auxiliar de apagado de principales" que tenían los tiristores.

Las caídas de tensión al ser más modernos han sido también reducidas, por lo que mejoran las pérdidas por calor en el convertidor.

El inconveniente es que usamos electrónica de potencia para controlar la electrónica de potencia, ya que si comandamos 900 Amperes, es preciso dar un pulso, pequeño en tiempo, pero de 300 amperes mínimo para garantizar el apagado y por ello complica y encarece el sistema. Este mando de puerta complejo es la famosa gate unit de las 252, ordenado y vigilado por fibra óptica.



Figura 1-46. Gate Unit. Unidad de disparo tiristores S/252.

Su mando desde el armario de electrónica se hace por medio de transformadores de aislamiento o fibra óptica.



### 1.5.6 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA: POLÍMETRO EN POSICIÓN DIODO.

Entre ánodo (punta roja +) y cátodo (punta negra-) debe presentar infinito.

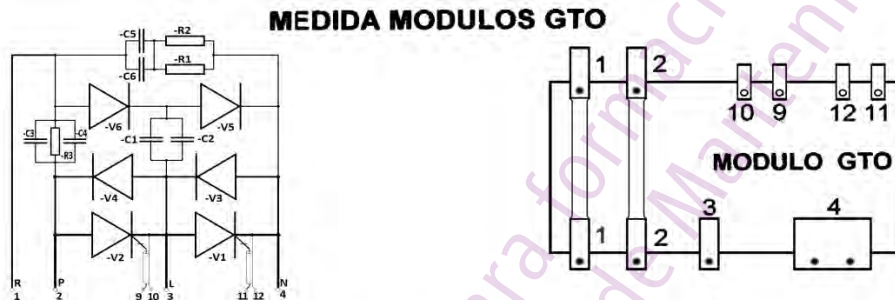
Entre ánodo (punta negra +) y cátodo (punta roja-) debe presentar también infinito.

Entre puerta (punta roja +) y cátodo (punta negra-) debe presentar 0.005V y 0.030V. Si en ese momento comutamos el polímetro a ohmios veremos entre 5 y 30 ohm.

Entre puerta (punta negra-) y cátodo (punta roja +) debe presentar los mismos valores que la medida anterior (entre 5 y 30 ohmios aproximadamente).

En caso de no cumplirse los valores, y estar comprimido en el stack atención a los componentes auxiliares (bobinas, condensadores resistencias, etc.) que suelen llevar asociados en paralelo y pueden alterar la medida. Desconectarles para salir de dudas o compararlo en un repuesto.

La avería típica es la fusión del tiristor siendo cortocircuito entre A-K y viceversa (0.000V) y curiosamente no presenta daños en el circuito de puerta por ser un pequeño tiristor independiente del de potencia.



LOCOMOTORA	BOGIE	MODULO	NUMERO	FECHA
252-0		A-		

**MEDICION DE RESISTENCIAS DE LOS MODULOS GTO Con fluke 8025 A**  
Posición Diodos

MEDICION	TERMINALES	VALOR	TERMINALES	VALOR	OBSERVACION
1	+ 1 - 4 Valores limite 0.450 a 0.650	0.541	+ 4 - 1 Valor $\infty$	$\infty$	Diodo V5 / V6
2	+ 3 - 2 Valores limite 0.200 a 0.300	0.24	+ 2 - 3 Valor $\infty$	$\infty$	Diodo DO V4 arriba
3	+ 4 - 3 Valores limite 0.200 a 0.300	0.24	+ 3 - 4 Valor $\infty$	$\infty$	Diodo V3 abajo
4	+ 9 - 10 Valores limite 0.400 a 0.500	0.398	+ 10 - 9 Valor $\infty$	$\infty$	Gate Cátodo GTO V2 arriba
5	+ 11 - 12 Valores limite 0.400 a 0.600	0.434	+ 12 - 11 Valor $\infty$	$\infty$	Gate Cátodo GTO V1 abajo

**MEDICION DE CONDENSADORES DE LOS MODULOS GTO con ESCORT EDC 110**

MEDICION	TERMINALES	VALOR		OBSERVACION
6	+ 4 - 1 Valores limite 0.200 a 0.240	0.234		Condensador auxiliar Posición de instrumento 2 $\mu$ F
7	+ 2 - 1 Valores limite 28.00 a 32.00	29.6		Condensador fuente Posición de instrumento 200 $\mu$ F
8	+ 3 - 1 Valores limite 4.200 a 5.00	5.2	Puente entre terminales 1 y 4	Condensador fuente Posición de instrumento 20 $\mu$ F

Figura 1-47. Esquema interno y tabla de medidas módulo tiristor GTO S/252.

### 1.5.7 IGBT

Es el semiconductor estrella de la actualidad.



Figura 1-49. Transistor Bipolar IGBT Loc S/253.

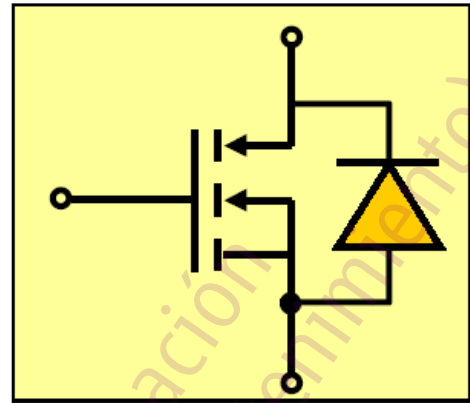


Figura 1-48. IGBT esquema interno.

Se considera un transistor porque realmente es un transistor bipolar con la puerta aislada, es decir, que aquella corriente de base que veíamos en el transistor ahora es una señal de puerta que presenta elevada resistencia al estar aislada como si fuese un condensador.



Figura 1-50. Transistor bipolar industrial con colector al radiador.

El mando se hace internamente en el semiconductor por electrostática.

La principal ventaja es por el mando, ya que es comodísimo trabajar con tensiones de control inferiores a 12v .y comandar tensiones próximas a los 4000V y con un control de pocos mA controlar corrientes de hasta 1200 Amperes.

Además el mando puede ser muy ágil permite interrupciones periódicas de hasta 400 Hz, comportándose muy bien ante el crecimiento de la corriente.

La señal de puerta, para evitar problemas de aislamiento se hace por fibra óptica.

El inconveniente superado es la disipación de potencia, que las caídas de 0,2V en conducción se han visto incrementadas a 1,2V 0,8 en el mejor de los casos.

La avería típica es la fusión del tiristor siendo cortocircuito entre A-K y viceversa (0.000V) y curiosamente no presenta daños en el circuito de puerta por ser un pequeño tiristor independiente del de potencia.

## 1.6 FUNCIONAMIENTO DE UN EQUIPO DE TRACCIÓN

Emplearemos el modelo basado en el convertidor de la locomotora 251 como uno de los más fiables para motores de corriente continua y el de la locomotora 252 como el más completo para corriente alterna.

### 1.6.1 CONTINUA CHOPPER 251.

La tensión de catenaria, después de pasar por el disyuntor, alimenta a un filtro de red que está formado por tres bobinas y varios condensadores en paralelo. Esta configuración sirve de fuente de energía ante picos de corriente demandados por convertidores y a su vez de filtro para evitar que los ruidos eléctricos generados por dichos picos afecten a la catenaria y a otras locomotoras o equipos de vía.

Como el condensador consume muchísima energía cuando está descargado es preciso dotarle de un sistema que limite la corriente de carga, llamado circuito de precarga que introduce una resistencia en serie para evitar que abra el disyuntor o dañe el propio condensador.

De ahí se distribuye a los servicios auxiliares generadores de 380 V y también a los contactores que le aislarán de la red en caso de fallo.

Todos los convertidores disponen un contactor de entrada en todas las locomotoras para esta función de corte del sistema o motor de tracción.

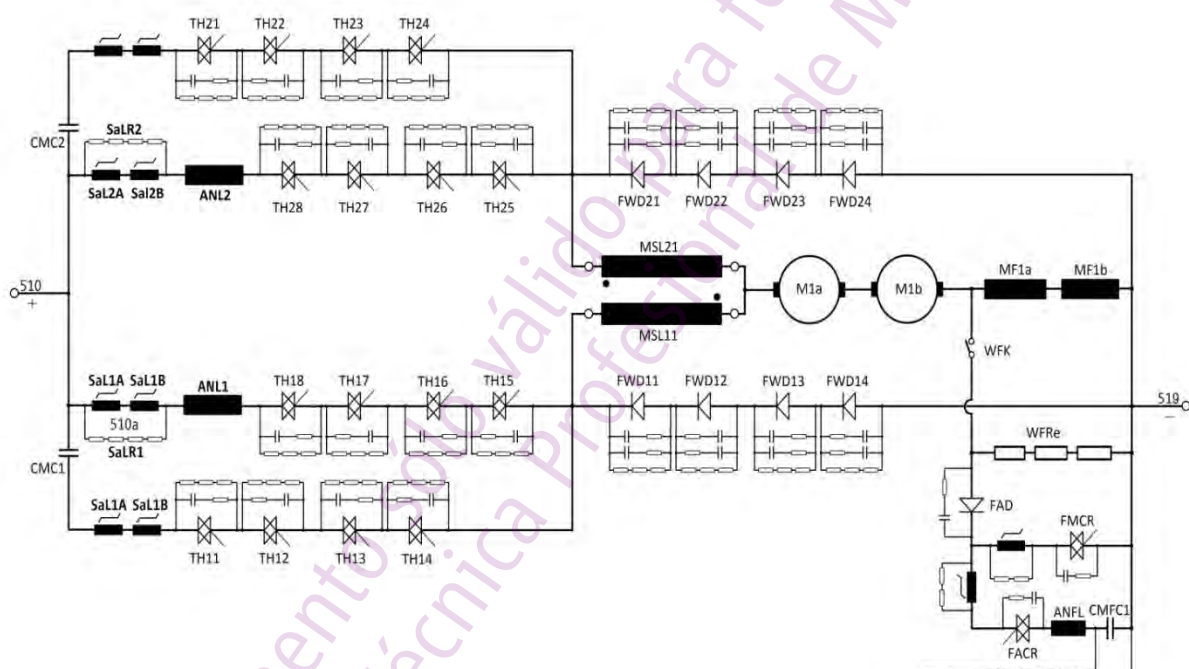


Figura 1-51. Esquema Eléctrico Circuito potencia loc.S/251.

La tensión de catenaria pasa por un chopper (dispositivo que procede de la traducción literal del inglés troceador) que interrumpe la corriente para conseguir, dependiendo del ancho de pulso, la duración del tiempo expuesto a la tensión de red, poder regular y variar la tensión de salida.

Se comporta como un interruptor que cortará 300 veces por segundo la tensión, por tanto también la corriente. Con la ayuda de las bobinas y el diodo de rueda libre conseguiremos una tensión variable desde 80V hasta prácticamente la tensión de catenaria.

Para repartir la corriente y descargar las bobinas de alisado usamos dos ramas o fases de chopper que disparan 180° entre si y consiguen aminorar el rizado.

Cuando la tensión se corta en los tiristores lo hará también la corriente y la energía que quedaba almacenada magnéticamente se recircula a través de las dos ramas de diodos antiparalelo, estabilizando el esfuerzo en llantas.

El campo queda en serie con el motor y tenemos el circuito establecido hasta negativo carril para traccionar.

El chopper dispone de transformadores de corriente y tensión que tienen como misión informar a la electrónica de los valores de corriente y tensión que obtenemos y de los que partimos.

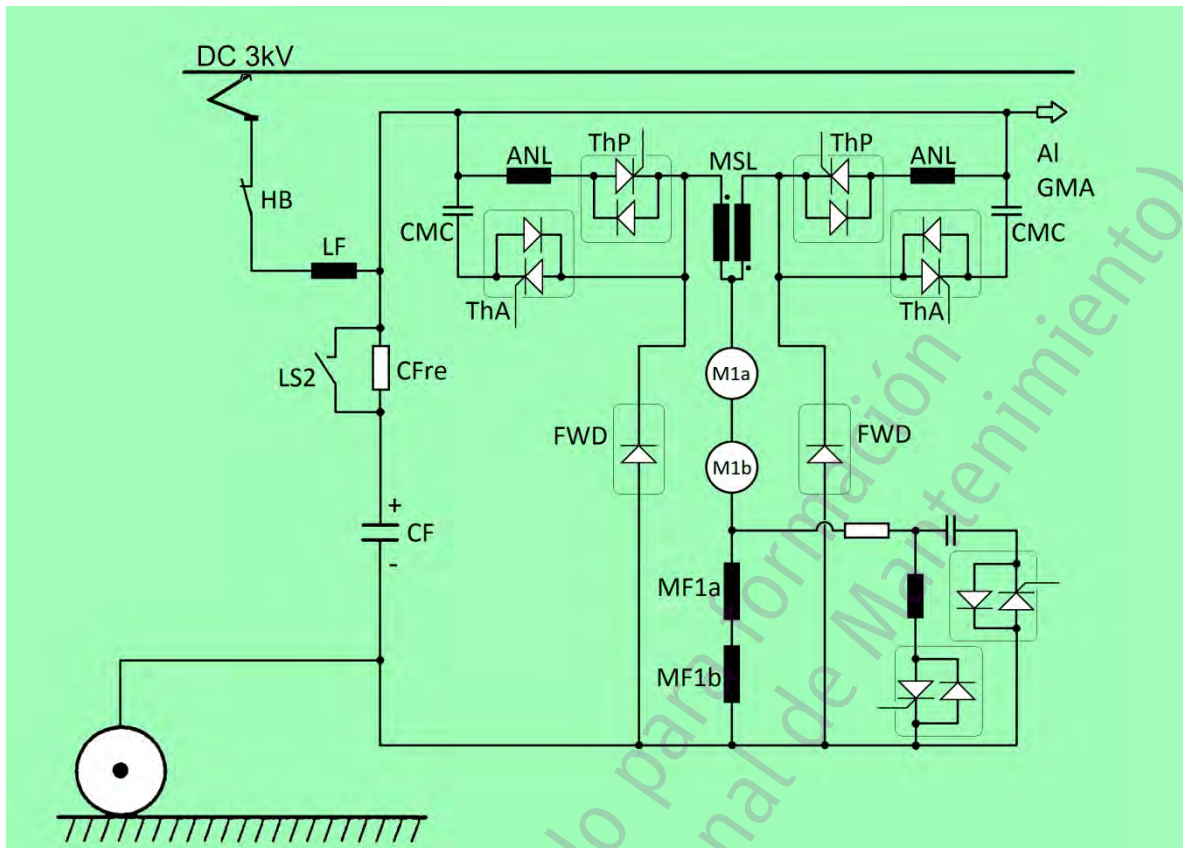


Figura 1-52. Esquema simplificado sistema Chopper DC/DC.

En el equipo disponemos de un tarjetero que es el cerebro del equipo, en el caso de la 251 también está la caja osciladora que pone de acuerdo a los tres chopper en misiones delicadas como es por ejemplo en velocidad prefijada, en control de motores seccionados, etc.

Existe también un dispositivo independiente en cabina 2 de protección de toda la locomotora que denominado "cofre de defectos" o también "detector de fracasos" que detecta cuando existe una anomalía en algún equipo, abriendo disyuntor y memorizando mediante lámparas cual ha sido el fallo que ha provocado la decisión.

Es muy importante cuando algo ocurre, saber que marcaban estas lámparas, aunque los maquinistas lo suelen apuntar, porque al quitar batería perdemos la información.

En freno, los contactores configuran el circuito quedando ambas fases del chopper principal trabajando al mínimo y como fuente de alimentación del campo, por ello también del chopper de campo que se encarga de controlar mediante una regulación en paralelo la corriente que circula por él, al igual que lo hacía en shuntado. La producción energética de los dos inducidos en serie es enviada a la resistencia de freno, reteniendo los motores que actúan como generadores y por tanto al tren.

Las averías comunes que presentan estos equipos suelen ser actuación de una protección interna, como desequilibrio de fases (PHOCD en el cofre de defectos), por trabajo anómalo de una fase de chopper con respecto a la otra. Aparte de las comprobaciones típicas en busca de algún semiconductor roto hay que analizar la forma de onda del pulso de puerta que es muy importante tanto por exceso de amplitud como por falta. La polarización negativa de puerta cuando no existe pulso es también un punto a comprobar. Un protocolo de chopper es lo indicado ante una locomotora que presente dudas.

También suelen presentar impotencias de tracción, por ello es muy importante la prueba de los equipos de tracción uno a uno seccionando motores y probando en vía el comportamiento. Faltas de potencia relativas a patinajes ficticios suelen estar relacionados con el cableado de los tacogeneradores, las tarjetas que gestionan los valores de tensión y corriente de frecuencia, etc.

## 1.6.2 ALTERNA GTOS 252

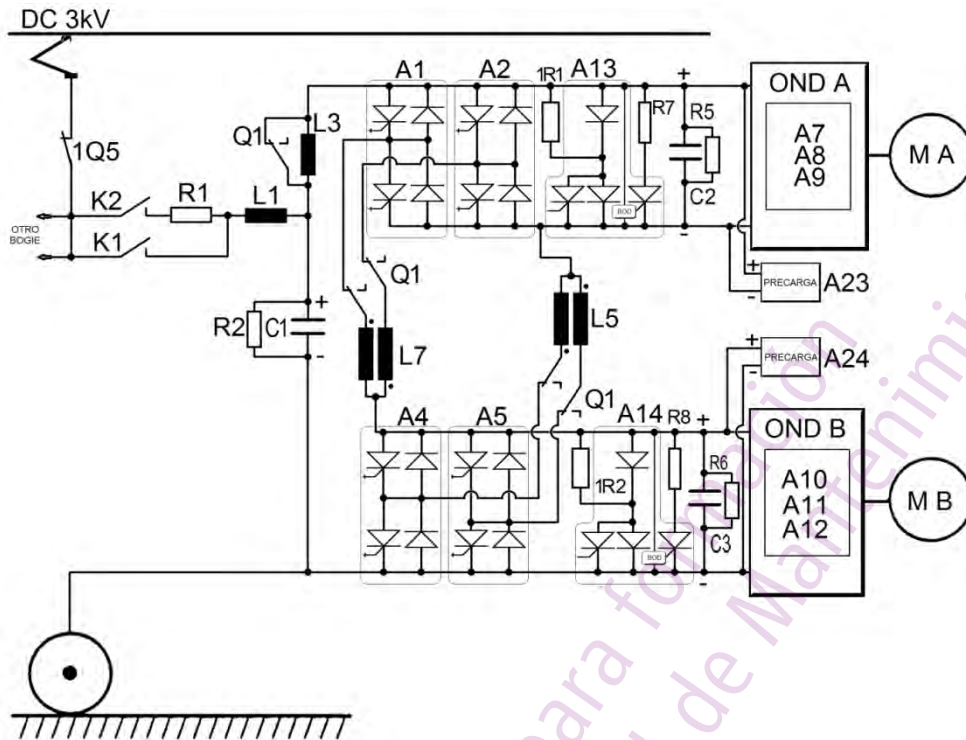


Figura 1-53. Circuito simplificado Convertidor 3Kv loc. S/252.

Al subir pantógrafo un transformador informa a la electrónica de mando de la tensión de red. Esta locomotora es bitensión, o sea que puede trabajar bajo catenarias de 25Kv alterna y 3Kv continua.

En nuestro caso al detectar los 3000V DC la electrónica configura el aparellaje, contactores, selector, transformador, etc. como para esa tensión de trabajo, realizando un test que cierra los contactores (excepto disyuntor) para probar que funcionan correctamente.

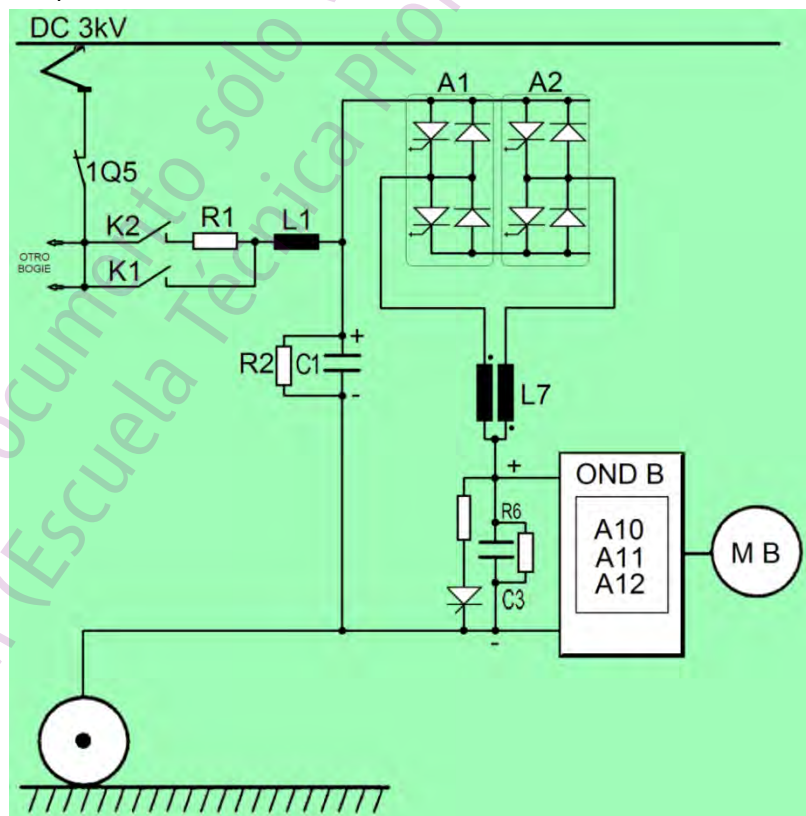


Figura 1-54. Circuito parcial alimentación circuito intermedio B Loc/S/252.

Para proteger al convertidor, usa unos equipos denominados de precarga que prueban al convertidor antes de que vea la tensión de catenaria. En el momento en que se encuentra y las precargas inyectan 200V donde entrarían los 3000V. Unos detectores de tensión valoran, mediante un programa, la curva de carga y descarga, y si es correcta admite cerrar disyuntor.

Una vez una vez que cerramos disyuntor realizamos una carga del condensador de filtro mediante resistencia, y arrancamos el chopper de entrada, un dispositivo cuya misión es cargar unos condensadores a una tensión variable dependiendo de la demanda del esfuerzo. Normalmente arrancan a 2400V y puede elevarse hasta 2800V.

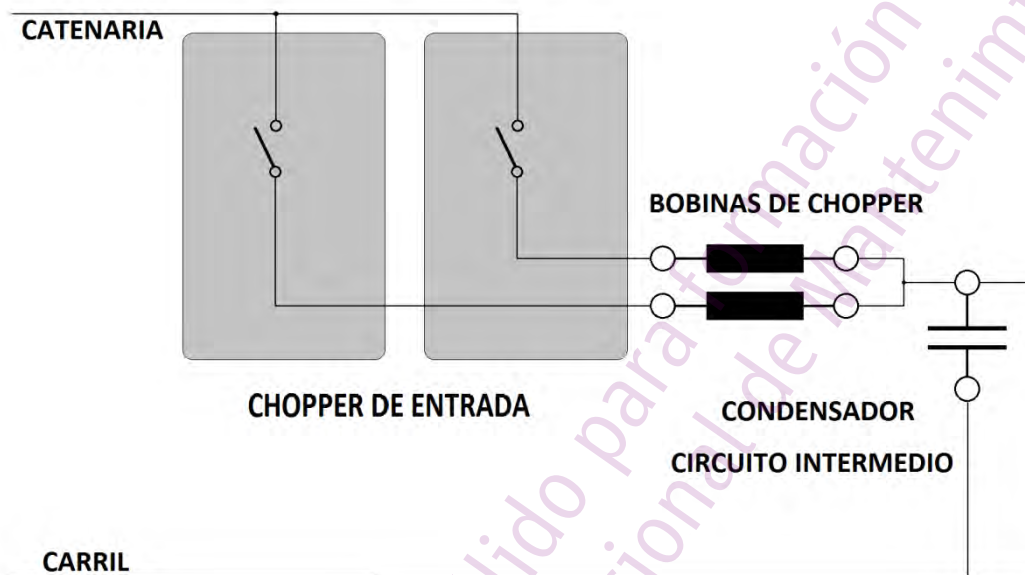


Figura 1-55. Chopper bifásico.

Este circuito intermedio es nuestra fuente de energía, donde tenemos que tener tensión siempre presente y por ello nos proporcionará corriente cuando pulsemos los onduladores que son los que generan tensión alterna trifásica para motores de tracción y también para los servicios auxiliares de ventiladores, compresor, cargador de batería, etc.

En esta locomotora se considera tan importante este circuito intermedio que los diseñadores descargaron al procesador de su gestión y encargaron su trabajo a un subprocesador de su tarea.

Cuando frenamos los motores se convierten en generadores y el circuito intermedio que antes se alimentaba de catenaria ahora es alimentado por la tensión que proporcionan, siendo ahora el chopper de entrada el encargado de elaborar la tensión hacia catenaria para ser devuelta. El condensador de circuito intermedio no puede sobrepasar la tensión de 2900V y si la catenaria no lo acepta tenemos que disparar el chopper de freno, un tiristor que hace pasar una corriente regulable a las resistencias de freno y estas lo disiparán en calor.

El resto de locomotoras y vehículos autopropulsados, son parecidos, aunque en casos como las 253 el circuito intermedio no existe, manejando el concepto DC Link, dejando al condensador de filtro como reserva de energía debido a la agilidad y características de los IGBT (6500V) y su control que suplen rápidamente las demandas de energía adaptándose en cuestión de nanosegundos.

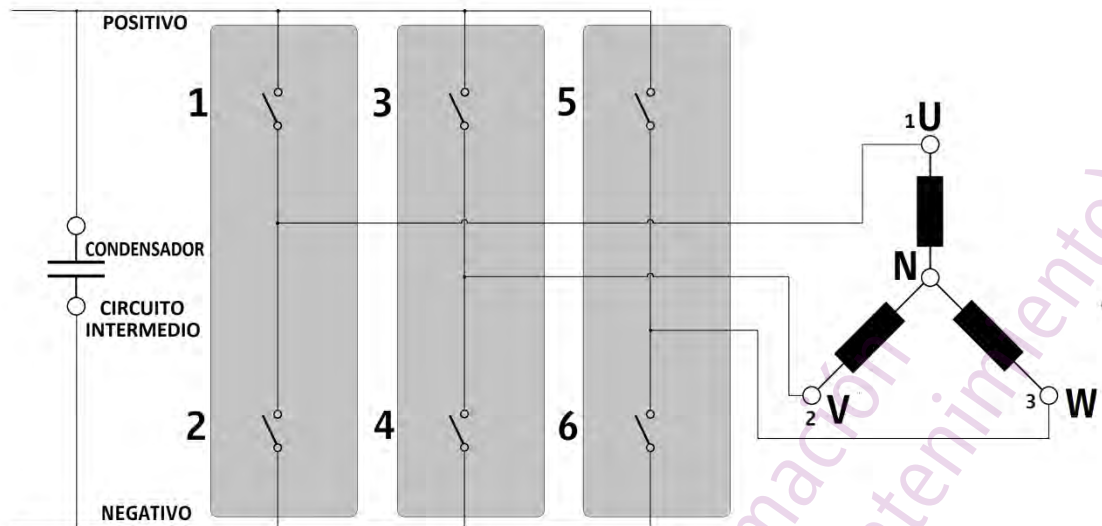


Figura 1-56. Mando Ondulador para motor tracción en estrella con símil interruptores.

Para conseguir la corriente alterna disparamos secuencialmente los tiristores GTO, o los IGBT, depende del vehículo, e iremos abriendo caminos a la corriente desde el positivo de circuito intermedio hasta las bobinas, y una vez allí cerraremos interruptores para su retorno al negativo del condensador de circuito intermedio.

Secuencias correctas son, por ejemplo 1+4; 1+4+6; 3+6+2; 3+2...etc. pero nunca los dos interruptores del mismo módulo, que generarían un cortocircuito franco a la alimentación.

Para cambiar el sentido de giro del motor simplemente cambiamos la secuencia de disparo, retrasando una fase con respecto a otra.

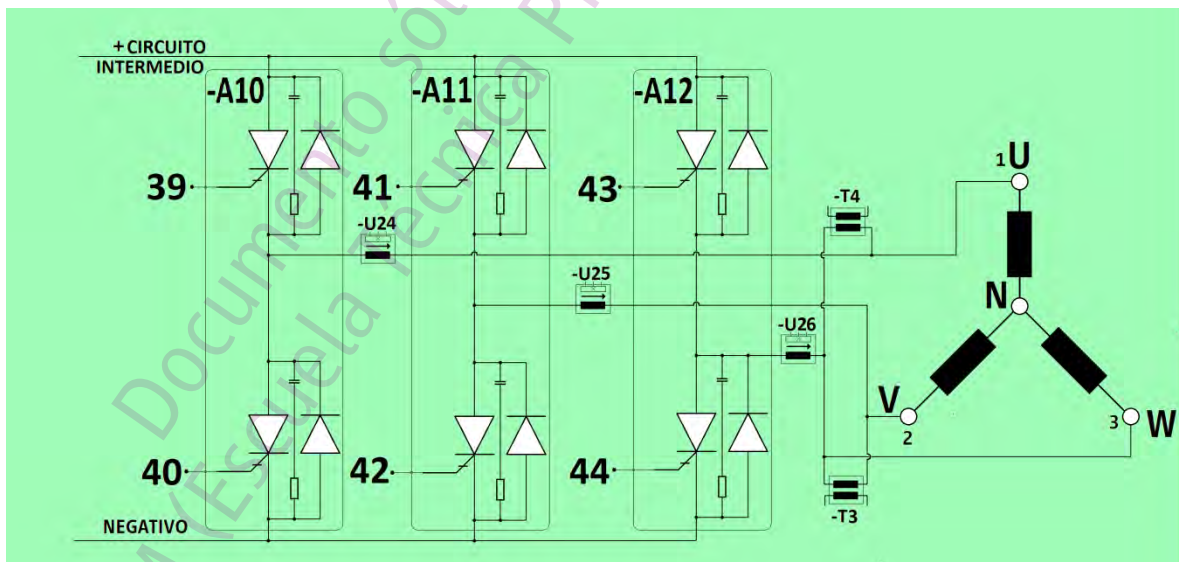


Figura 1-57. Esquema simplificado Ondulador a GTO para motor.

En freno, para que el motor se comporte como generador, simplemente la electrónica vigilará que la frecuencia del estator sea inferior a la del rotor, (deslizamiento negativo) y la energía producida por los motores circulará por los diodos de rueda libre que disponen todos los semiconductores de potencia en paralelo.

### 1.6.3 PROTECCIONES

Todas las locomotoras disponen de unas protecciones similares, destacando como importantes:

DATOS SERU. LOC 1		20:03
ESFUERZO DE TRACCION/FRENADO, REAL	0 kN	
CONSIGNA	0 kN	
PRESION DE FRENADO	3,7 bar	
VELOCIDAD REAL	,0 km/h	
CONSIGNA	,0 km/h	
TENSION DE RED	3,2 kV	
CORRIENTE DE RED	20 A	
CORRIENTE EN BARRA COLECTORA DEL TREN	2 A	
TEMPERATURA DE ACEITE (TRANSFORMADOR)	22 °C	
VELOCIDAD DE FLUJO DE ACEITE	2,7 m/s	
ENERGIA CONSUMIDA	38 MWh	
CONSUMIDA	593 kWh	
ENERGIA RECUPERADA EN FRENO	6 MWh	
EN FRENO	785 kWh	
ENERGIA CONSUMIDA EN PARADO	838 kWh	
	DATOS LOC 2	FIGURA INUERT.
		SERUIC.
		FIGURA BASICA

Figura 1-58. Pantalla de información locomotora S/252.

#### 1.6.3.1 SOBRETENSIÓN DE LÍNEA

Protege cuando hay más tensión de la normal en catenaria, evitando averías de derivaciones en aisladores, semiconductores, condensadores y demás elementos sometidos a alta tensión

La sobretensión no solo es detectada cortando tracción sino que actúa cortocircuitando mediante una resistencia y reduciendo en lo posible la punta de tensión si su naturaleza es producida por un pico puntual.

Los valores establecidos para el disparo son del orden de  $3750 \pm 50V$  DC.

Su protección se hace por hardware directo tiristor OVTH (269, 251, 446...) o aprovechando los chopper de freno mediante software (252, 253, 447, Civia, 450, 102, 103, etc.)

Es frecuente en zonas cercanas a subestaciones de alta potencia bajo escasa demanda (zonas de cercanías en madrugadas), seccionamientos de línea (cangrejos), pérdidas de línea puntuales (viento, hielo catenaria), caída de rayos tormentas.

#### 1.6.3.2 SUBTENSIÓN DE LÍNEA

Protege cuando la tensión de catenaria es más baja de lo usual. En muchos convertidores una baja tensión supone un peligro de rotura en tiristores debido a falta de energía para su apagado.

El convertidor, en su objetivo de mantener potencia intenta suplir la falta de tensión con incremento de corriente., lo cual es perjudicial tanto al equipo como a la subestación.

En la detección, en primera instancia reduce par motor, por tanto reduce corriente. Si supera el umbral por debajo de 2000 V 1600V corta tracción su naturaleza es producida por un puntual pico.

Se produce distancias lejanas a subestaciones, con pérdidas en catenaria o raíles por envejecimiento de línea, o en zonas muy densas de circulación con arranques frecuentes (núcleos importantes de cercanías).

#### 1.6.3.3 SOBREINTENSIDAD DE LÍNEA

Protegida por el propio disyuntor también es vigilada por la electrónica de mando. Este datos es variable dependiendo del tipo de vehículo y potencias desarrolladas 3500A en 251; 4000A en 252; 2800A en 447, etc.

Es una protección redundada, que protege cuando el consumo de corriente en la locomotora, por alguna circunstancia, es alto y la protección natural del disyuntor no lo ha hecho actuar.



### 1.6.3.4 CORRIENTE DIFERENCIAL

Detecta diferencia de corriente de entrada a la locomotora, como síntoma de una derivación a tierra, por un camino que no es el oficial de negativo de la locomotora.

Suele tener una sensibilidad de 250 Amperes de pico o constantes, siempre y cuando supere el tiempo máximo de 200 ms.

Provoca la apertura de disyuntor.

Relacionándolo con el estado en que abre, nos indica que circuito es el afectado, ejemplo circuitos de generador (al darle a generador); circuitos de tracción (al aplicar tracción, etc.)

Roces de cables, bobinas bajas de aislamiento, motores, aisladores, etc.

### 1.6.3.5 LÍMITES DE CORRIENTES INTERNOS Y VIGILANCIA DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Las tarjetas y elementos de medida del convertidor son alimentados por tensiones bajas y estabilizadas a +5V +15V -15V +24V +36V +134V.

Existen en el convertidor vigilancias que controlan el perfecto estado de la alimentación de estas tensiones, el correcto funcionamiento de los sensores de corriente, tensión, caudales y temperaturas. También existen umbrales máximos de corriente entre fases, de tensión de motores etc.

En caso de no establecerse dentro de márgenes la locomotora cortará tracción, solicitará la exclusión del convertidor, dará un aviso dependiendo de la gravedad del problema.

La memoria de incidencias, o la actuación de un relé en concreto, nos indicará el origen del fallo.

### 1.6.3.6 PROTECCIÓN FRENTE A 50 HZ

Las señales y circuitos de bloqueo antiguamente eran alimentadas por redes de 50 Hz que a veces entraban en resonancia con los armónicos producidos por la locomotora y cambiaban de aspecto de vía libre a cerrada o viceversa. Dado el factor de riesgo a la seguridad se impuso un detector de 50 Hz para los armónicos emitidos, llegando a reducir potencia o abrir disyuntor cuando eso ocurría.

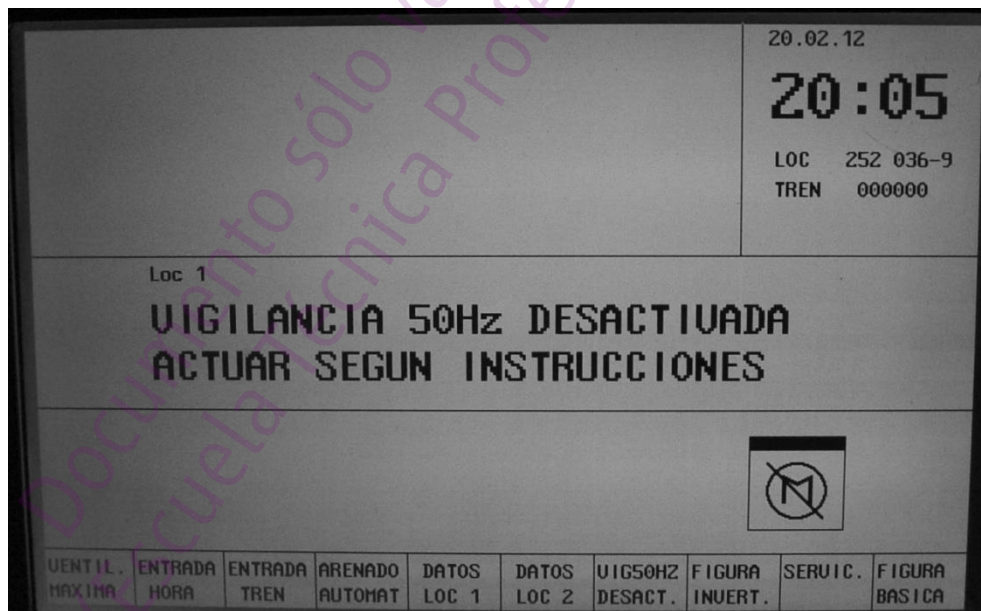


Figura 1-59. Presentación en pantalla información protección 50 Hz.

La línea de corriente continua 3500Vdc contienen armónicos de 300Hz fruto de una rectificación trifásica en la subestación.

Un fallo en la rectificación, una inducción externa de 50 Hz por catenarias de alterna aledañas, líneas de distribución alta tensión que atraviesan el trazado ferroviario y otras causas pueden provocar daños en la locomotora especialmente en su filtro de entrada.

Asimismo, la propia locomotora al intervenir bruscamente sobre la corriente de línea con el convertidor, puede provocar frecuencias armónicas que estén próximas a los 50 Hz que coincide con la frecuencia que trabaja los circuitos de señalización de vías, generando situaciones no controlables de ocupación de circuito, aperturas intempestivas de las señales, etc.

Dicha componente armónica es controlada por la protección 50Hz generando en primera instancia reducción de par, posteriormente corte de tracción y en casos severos apertura de disyuntor.

Esta protección puede ser, en algunas locomotoras, anulada temporalmente por el maquinista previo conocimiento del puesto de mando que supervisará que no afecta a la circulación esta decisión.

#### 1.6.3.7 SOBREINTENSIDAD DE MOTORES.

Protege a los motores de tracción y componentes auxiliares en su umbral de corriente máxima evitando comprometer la calidad del aislante de sus bobinas.

Cuando actúa es bien por un problema de trabajo del propio convertidor, por un mal estado del motor de tracción, o por un defecto de aislamiento en cableado o aisladores.

Los valores de corriente máxima dependen si el estado es tracción o freno en locomotoras de motores de continua.

#### 1.6.3.8 SOBRETENSIÓN DE MOTORES EN FRENO REOSTÁTICO

En convertidores de corriente continua provocarán el corte de freno eléctrico por excesiva disipación de potencia en resistencias, evitando su destrucción.

Una avería de control de campo (chopper de campo) sería la culpable de actuaciones reiteradas.

#### 1.6.3.9 SOBREVELOCIDAD

En contadas ocasiones, cuando por falta de atención en la conducción, o fallo en el control, una locomotora supere su velocidad máxima actuará la protección sobrevelocidad por solicitud del propio convertidor o conjunto de relés de control.

La señal de referencia de velocidad suele ser tomada de los propios sensores de revoluciones de los motores o transmisiones que dispone el convertidor.

Genera el corte de tracción y señalización en cabina.

Adicionalmente, existen muchas protecciones de elementos de seguridad en explotación que impiden llegar a ese umbral, como el LZB, el ERTMS, Asfa Digital, etc.

#### 1.6.3.10 ANTIPATINAJE EN TRACCIÓN

Cada eje del motor dispone de un sensor de revoluciones necesario para el control permanente del sistema de tracción.

La señal de un motor es comparada con la del resto de ejes motores, generando una señal diferencial cuando existe un patinaje (embalamiento de las ruedas).

Genera una rápida reducción de par al motor del eje que patina, aumentándole progresivamente el esfuerzo hasta un punto anterior al estado en el que se originó la falta de adherencia.

Si el patinaje persiste la locomotora administrará arena en el sentido de la marcha para mejorar el agarre.

En cabina es indicado mediante agua indicando la magnitud, lámpara o pictograma en display.

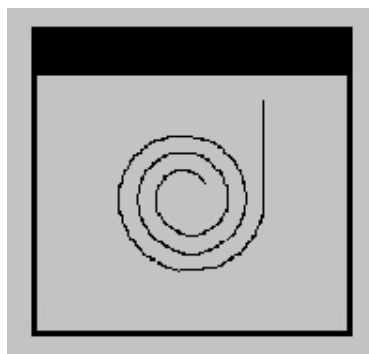


Figura 1-60. Pictograma protección patinaje activa en loc.S/252.

### 1.6.3.11 ANTIBLOQUEO EN FRENO ELÉCTRICO.

En freno eléctrico los motores se convierten en generadores, es decir, en vez de impulsar al tren lo retienen, y por tanto el agarre al carril es importante.

Si se excede del esfuerzo de freno podemos tener bloqueos de ruedas, que se intentan parar a mayor velocidad que lo hace el conjunto de la locomotora, con el peligro de creación de planos en la superficie de rodadura.

El convertidor detecta esa reducción súbita de la velocidad y libera a ese eje de freno momentáneamente para ofrecérselo después.

Genera en display una indicación de patinaje y en la memoria de incidencias un evento que ha de ser tratado si es reiterado.

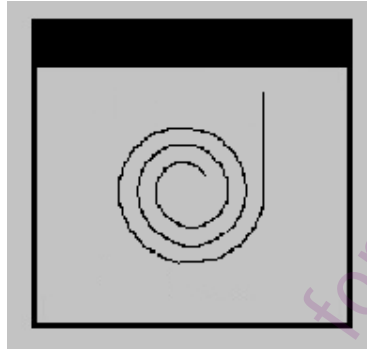


Figura 1-61. Pictograma protección control de bloque en freno eléctrico en loc.S/252.

La diferencia de diámetro de ruedas entre ejes supone un factor generante de este fallo

### 1.6.3.12 VIBRACIONES ANÓMALAS

Los bogies, intermediarios entre el motor y el rail, y entre motor y bastidor de locomotora, son elementos muy expuestos a vibraciones, esfuerzos tensionales, y movimientos que suponen una posible fuente de fisuras en soldaduras estructurales, soportes, encuentros de chapas contra vigas de refuerzo, etc.

El fabricante es conocedor de este problema y en ocasiones es capaz de detectar que frecuencia de los GTO a motores perjudica a la estructura. En el proceso de aceleración de los motores, por software puede reducir el par al paso momentáneo por esas frecuencias críticas detectadas.



Figura 1-62. Indicación inestabilidad en bogie y varios en S/104.

También en explotación normal cada aceleración / deceleración rápida, muy perjudicial, repercute en la corriente de motores y es detectada por el sistema Jerk (tirones), reduciendo el par por ello tanto en freno como tracción.

### 1.6.3.13 SOBRETENPERATURAS

En módulos de semiconductores, líquidos refrigerantes y motores la protección de Sobretemperaturas vigilan las tendencias a sobrecalentar los elementos generando avisos, reduciendo potencia o llegando incluso a aislarles del circuito que los alimenta.

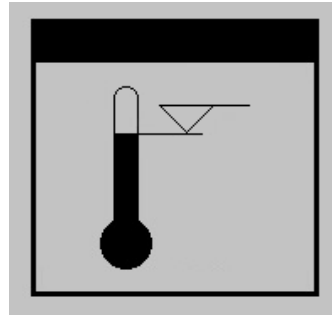


Figura 1-63. Pictograma Sobretemperatura en aceites, convertidor, etc.

### 1.6.3.14 FALTA DE VENTILACIÓN O CAUDAL

La falta de caudal en líquidos refrigerantes provoca la reducción de potencia hasta que el problema desaparezca.

## 1.6.4 REFRIGERACIÓN

Todos los convertidores tienen pérdidas, hasta los transformadores que tiene un buen rendimiento 98% ferroviariamente han de ser refrigerados por sus componentes armónicas.

La energía para refrigeración nace de los convertidores auxiliares.

Los motores de tracción tienen sus pérdidas tanto en el cobre de sus devanados como en el hierro de sus núcleos, y han de ser refrigerados por aire, ventiladores que introducen aire filtrado de sala de máquinas y es expulsado por sus rejillas en los bogíes.

Motores de tracción de mediana potencia como los Cívias, 440, 444 (unidades autopropulsadas) son autoventilados con turbinas formadas por álabes caladas en el propio eje.

Por ejemplo Civia usa el sistema de hermeticidad, en el cual se hace una recirculación interna de aire siendo un intercambiador el que disipa el calor con el aire externo.

En casos de grupos de tiristores como la 251 y sus bobinas de filtro, son refrigeradas por ventiladores que hacen circular aire, (ventiladores de chopper).

Locomotoras como la 252 los tiristores GTO son refrigerados por freón en una cuba que contiene este gas licuado, entra en ebullición y se produce una atmósfera intercambiando el calor hacia la estructura de aluminio que lo soporta, condensando el líquido y precipitándose de nuevo para evaporarse. Solo precisa energía externa para la ventilación de aire de las cubas y enfriar el freón.

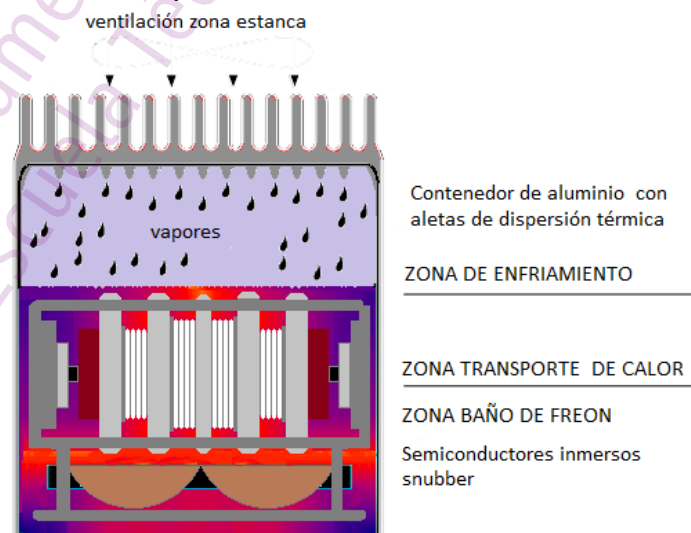


Figura 1-64. Sistema refrigeración tiristores por ebullición de freón S/252 y S/447.

Los transformadores y bobinas auxiliares son refrigerados por aceite y bombas que se encargan de mantener un alto flujo usando radiadores ventilados como intercambiadores.

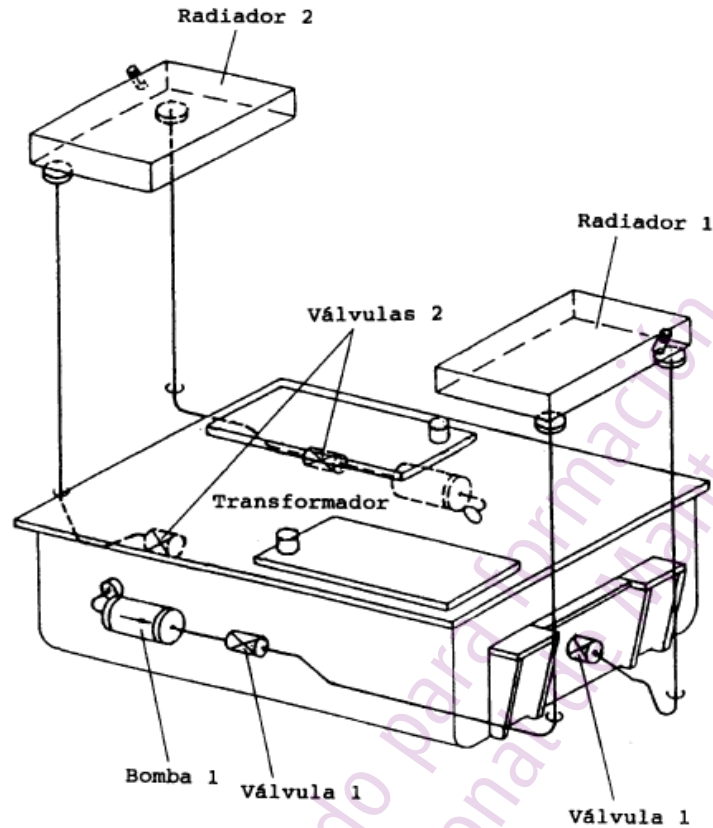


Figura 1-65. Circuito refrigeración aceite S/252.

En locomotoras como 253 los IGBT son refrigerados con agua mezclada con anticongelante para evitar roturas de tubos en lugares bajo cero.

El agua caliente se envía a un radiador que junto con otro radiador de aceite del transformador y bobinas son enfriados por un ventilador.

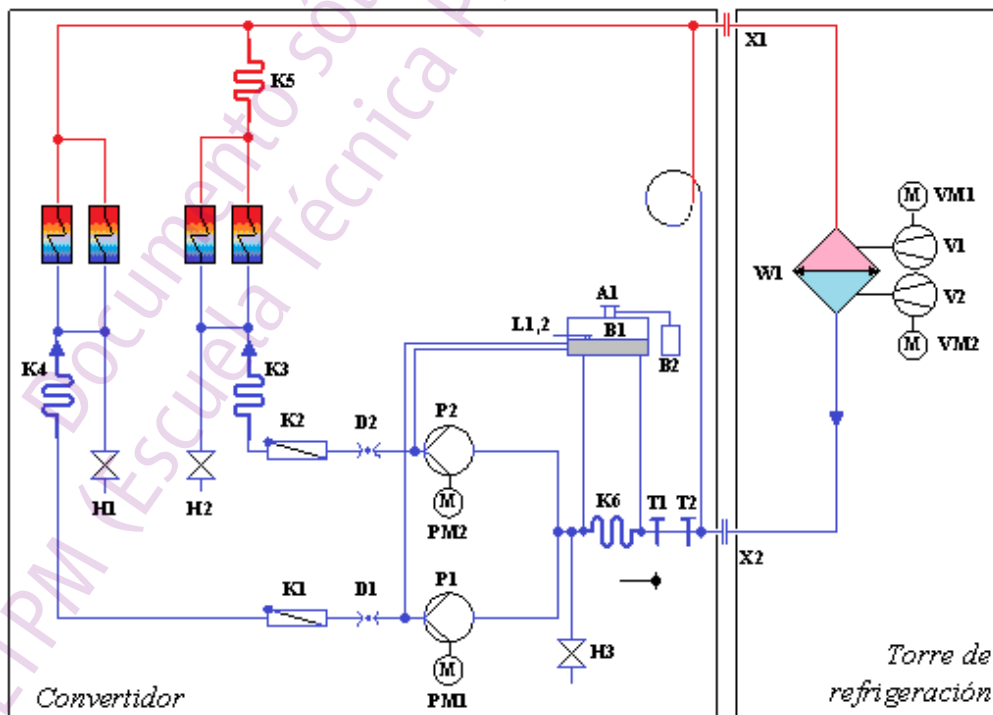


Figura 1-66. Elementos en circuito refrigeración agua para semiconductores de potencia S/253.

## 1.7 HISTORIAL IMPLANTACIÓN DE SEMICONDUCTORES EN RENFE

Primera aplicación electrónica de potencia en 1960 con los diodos de silicio, rectificando la catenaria y controlando con resistencias, motores en corriente continua en Francia.



Figura 1-67.

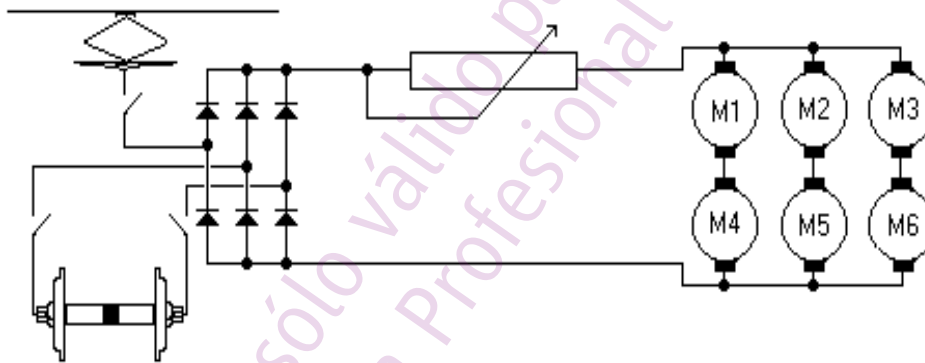


Figura 1-68.

En 1967 se manejan tiristores como rectificadores controlados (SCR) variando la tensión eficaz de salida a motores, pero estas técnicas no se aplican en Renfe (unidades, metros europeos, etc.). Foto tren Corcovado Brasil.



Figura 1-69.

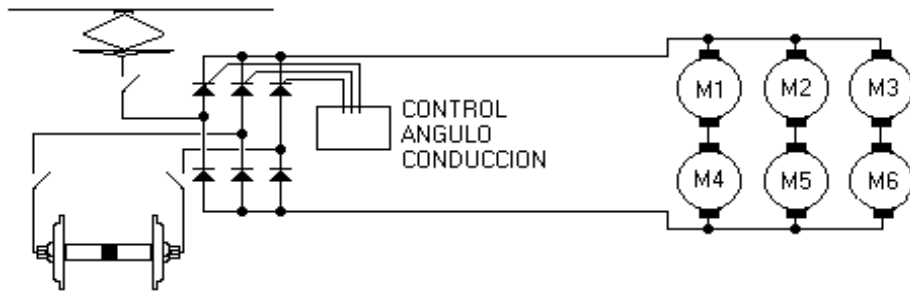


Figura 1-70.

A mediados de 1960, en EEUU se usa el rectificador de silicio para transformar corriente alterna de los generadores en continua para tracción Diésel eléctrica, locomotoras que vinieron a España por 1974 como el caso de la 333, y posteriormente transformadas las 319-200 en 1984.



Figura 1-72.



Figura 1-71.

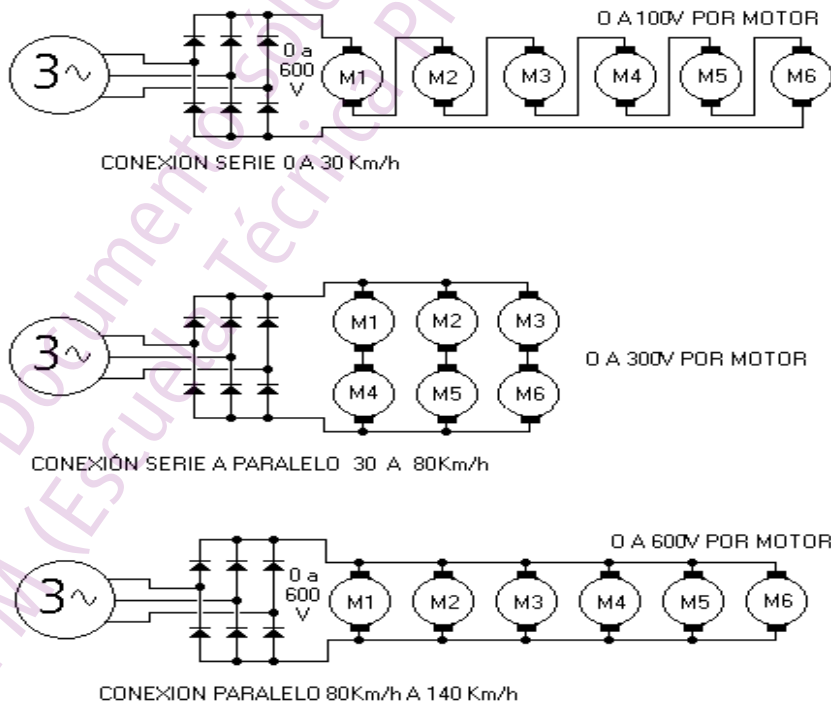


Figura 1-73.

También se emplearon en la generación de tensión continua de 3000Vcc en líneas sin catenaria para alimentar la calefacción eléctrica de los coches de viajeros.

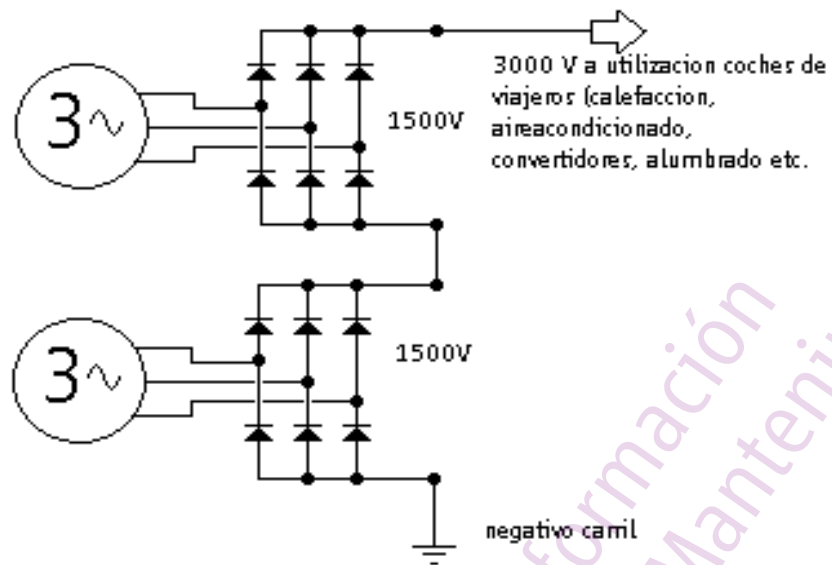


Figura 1-74.

La primera aplicación comercial ferroviaria de tiristores en control chopper aparece en 1970 en Japón para tranvías y control de metropolitanos.

Renfe adquiere las 440-500 chopper en 1977.



Figura 1-75.

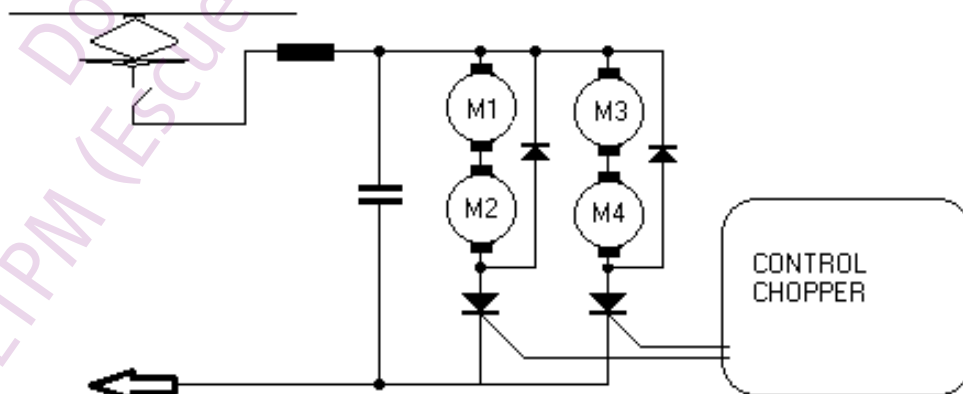


Figura 1-76.



En 1981 dos locomotoras serie 269-600 se adquieren a Japón, pero otras dos se construyen bajo licencia Mitsubishi en España por CAF.



Figura 1-77.

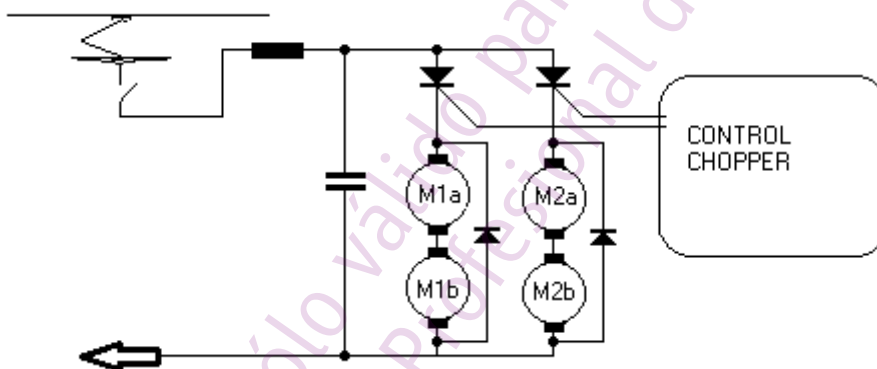


Figura 1-78.

En 1983 locomotoras series 251 y 250.



Figura 1-79.

Implantación de locomotoras chopper de gran potencia 4600 Kw y 5000 Kw.



Figura 1-80.

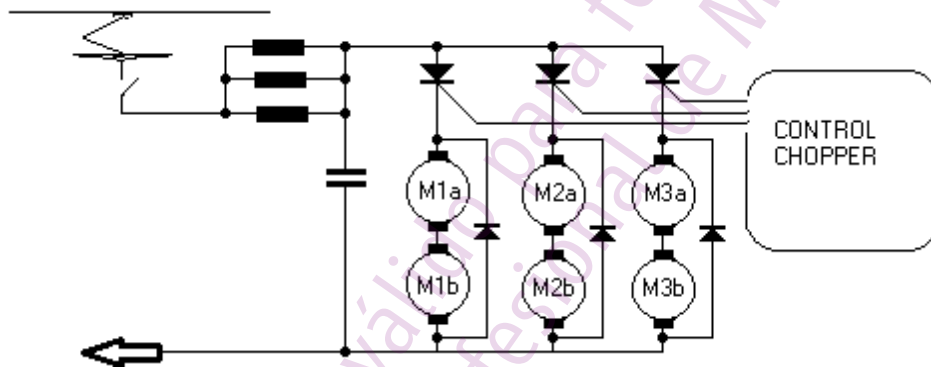


Figura 1-81.

1985 Locomotoras servicio mixto maniobras línea serie 311 MABI.

Se establece tracción y freno sin necesidad de contactores. Control de motores alterna asíncronos en paralelo comandados por un ondulator que es alimentado por un rectificador controlado de corriente alterna. El generador es del tipo Brushless sin escobillas y el campo inductor es inducido en alterna hacia el rotor y rectificado en su interior.



Figura 1-82.

1992 serie 100/ 101 AVE control por ondulator GTO de 8 motores síncronos con rotor bobinado autopilotados.



Figura 1-83.

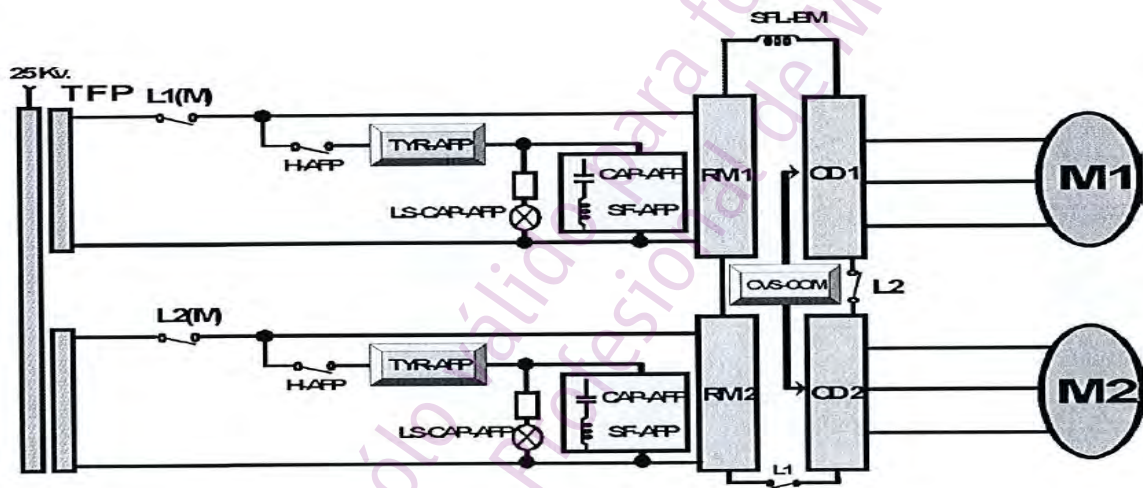


Figura 1-84.

1991-1992 Locomotora 252 Bitensión 3kV CC y 25kV AC con 4 motores asíncronos independientes controlados por ondulator a GTO, alimentados a circuito intermedio estabilizado por un chopper de entrada. Capacidad de devolver corriente a catenaria en frenado para aprovechamiento energético de trenes aledaños. Módulos GTO integrados en cubas y refrigerados por un sistema autónomo de freón.



Figura 1-85.

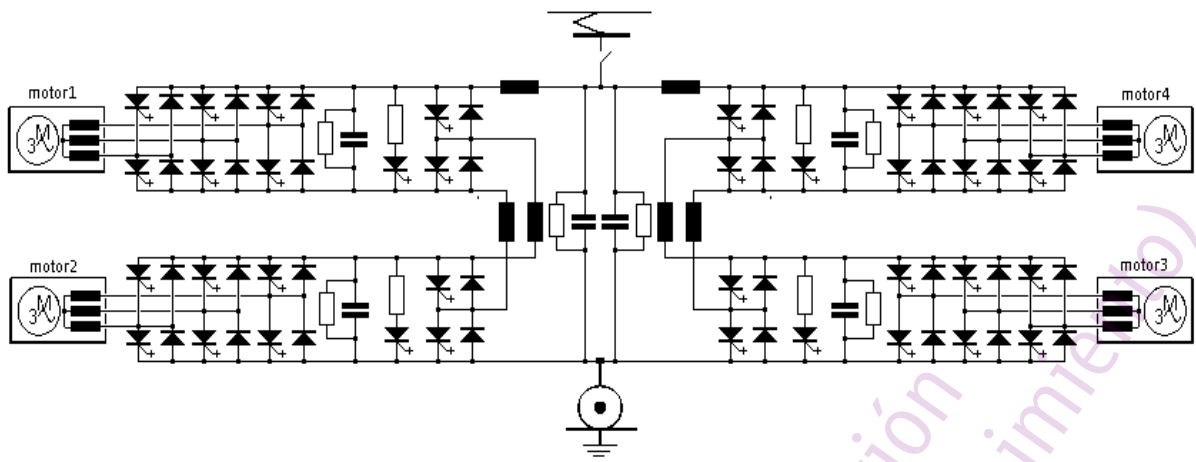


Figura 1-86.

1999 Alaris motores asíncronos con GTO.



Figura 1-87.

2000 Civia motores asíncronos con IGBT.



Figura 1-88.

2001 Talgo 350 (pato serie 102) motores asíncronos controlados por IGBT. Ancho internacional 25kV CA.



Figura 1-89.

2004 ATPRD 120 IGBT rodadura desplazable bitensión 3kV CC y 25kV CA.



Figura 1-90.

2004 Serie 104 con 8 motores asíncronos controlados por GTO. Incorporan IGBT en el convertidor de servicios auxiliares. Ancho internacional 25kV CA.



Figura 1-91.

2006 TEMD 449 IGBT ancho nacional 3kV CC.



Figura 1-92.

2008 locomotora 253 cuatro motores trifásicos independientes controlados por un ondulator a IGBT y alimentados sin circuito intermedio filtrado a red 3kV DC ancho nacional. Mayor modularidad entre equipos y mejoras en la telediagnosis.



Figura 1-93.

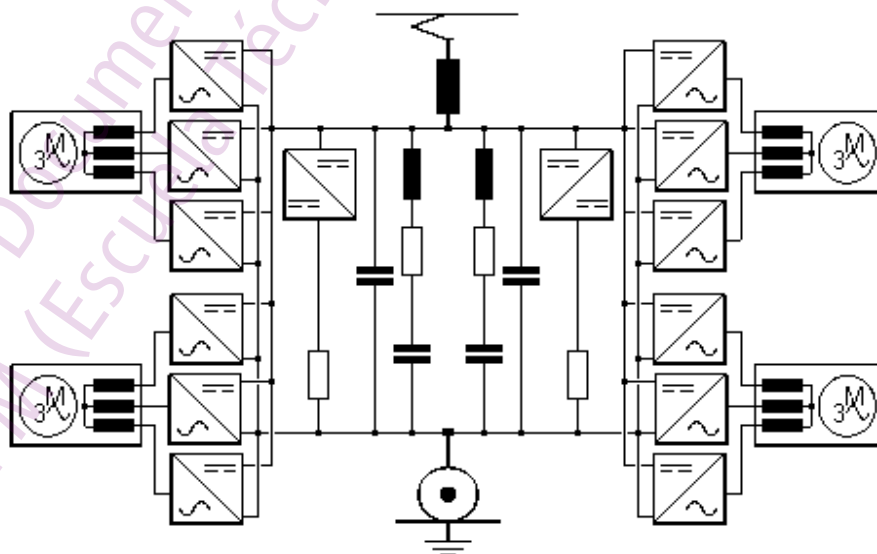
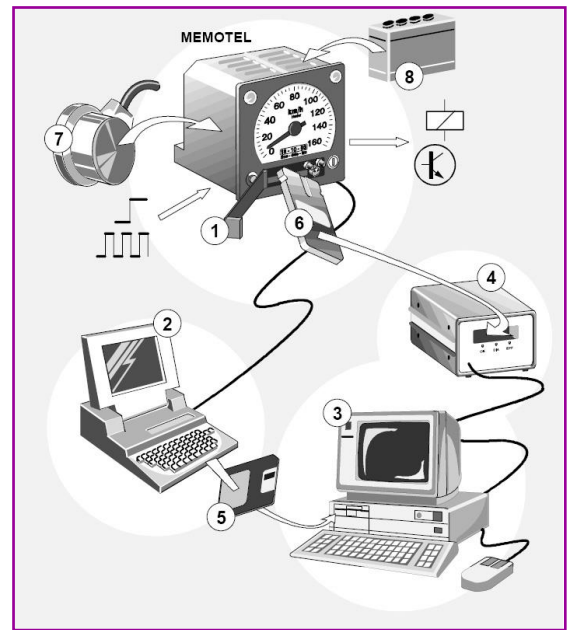
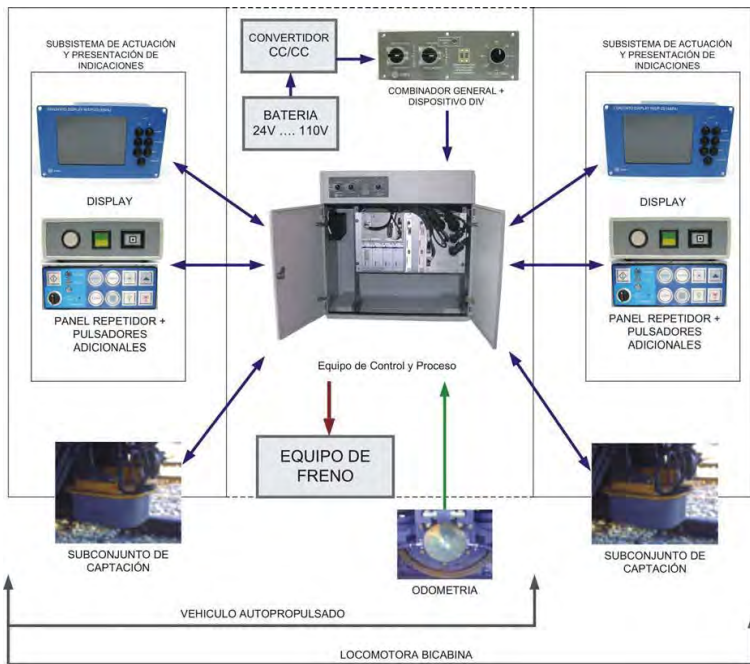


Figura 1-94.



**renfe** Renfe Fabricación y Mantenimiento.  
 G. de A. de Organización y Recursos Humanos.  
 Gerencia de la Escuela Técnica Profesional de  
 Mantenimiento (ETPM).

# FORMACIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS (Sistemas de seguridad y registradores jurídicos)

Edición 0.2







Autor: Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento.

Edita: © Renfe Operadora.

Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.

G. de A. de Organización y Recursos Humanos.

Gerencia de la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento (ETPM).

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA DEL AUTOR.

# ÍNDICE

1.	SISTEMAS DE SEGURIDAD Y REGISTRADORES JURÍDICOS.....	5
1.1	REGISTRADORES JURÍDICOS.....	5
1.1.1	REGISTRADOR JURÍDICO TELOC®2500 .....	6
1.1.2	REGISTRADORES JURÍDICOS CESIS 3G y 4G .....	8
1.1.3	REGISTRADOR JURÍDICO DEUTA .....	13
1.1.4	REGISTRADOR JURÍDICO MEMOTEL.....	14
1.2	ASFA DIGITAL .....	16
1.2.1	DESCRIPCIÓN .....	16
1.2.2	SEÑALES DE ASFA DIGITAL .....	18
1.2.3	COMPONENTES.....	19

Este libro ha sido elaborado por la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento de Renfe Operadora.

Es propiedad de Renfe Operadora.

Queda prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin la autorización expresa del propietario.



# 1. SISTEMAS DE SEGURIDAD Y REGISTRADORES JURÍDICOS

## 1.1 REGISTRADORES JURÍDICOS

Los equipos registradores jurídicos captan y procesan señales de tipo analógico y digital que se generan durante la conducción. Estas señales pueden proceder del propio vehículo, como por ejemplo la señal de velocidad o la presión instantánea en la tubería de freno o por el contrario del exterior como las señales de ASFA.

También se almacenan parámetros propios del vehículo.

Las centrales de registro más modernas están comunicadas al Bus multifunción del vehículo (MVB) y establecen de este modo diálogo con el resto de subsistemas del tren. Por ello algunas señales se toman mediante cableado directo y otras a través de un bus de comunicaciones.

Los registradores jurídicos son equipos informáticos, dotados de sistemas de protección anti-impacto, térmica, etc. según normativa y que recogen la información relativa a la circulación del vehículo y al estado de un gran número de señales y parámetros de funcionamiento del mismo.

Estos datos son almacenados con diferente grado de precisión en memorias de corto y de largo recorrido, que pueden ser utilizadas para fines jurídicos en la investigación de accidentes y también para tareas de mantenimiento.

Normalmente se produce una grabación de todas las señales cuando una señal digital cambia de estado o cuando una señal analógica experimenta una variación en su valor o histéresis previamente determinada. La ventaja de este principio de grabación, en comparación con una grabación continua estriba en la reducción de la masa de datos.

También se realiza una grabación transcurrido un determinado tiempo o espacio recorrido por el tren aunque no exista variación en ninguna de las señales.

Los datos almacenados en las memorias se extraen mediante programas diseñados al efecto y según el tipo de registrador se realiza la conexión del PC de mantenimiento a través de un puerto serie o conexión Ethernet. También existen equipos que incorporan una tarjeta de memoria y otros en los que la extracción de datos de memoria se realiza mediante un Pendrive previamente securizado conectado a un puerto USB.

El análisis de los datos se realiza también con aplicaciones informáticas específicas siendo posible la visualización de los mismos tanto en modo gráfico como textual.

Señal digital: la grabación se produce por cambio de 1 a 0 o a la inversa.

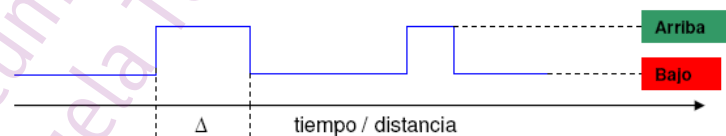


Figura 1-1. Señal digital.

Señal analógica: La grabación se realiza cuando ocurre una variación de la señal en un valor predefinido.

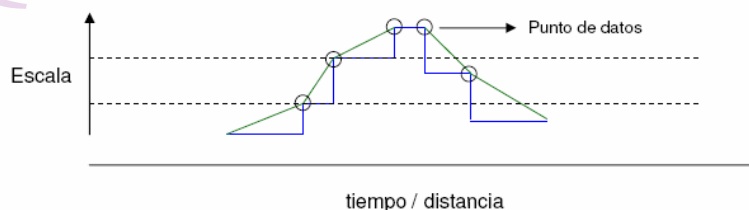


Figura 1-2. Señal analógica.

### 1.1.1 REGISTRADOR JURÍDICO TELOC@2500

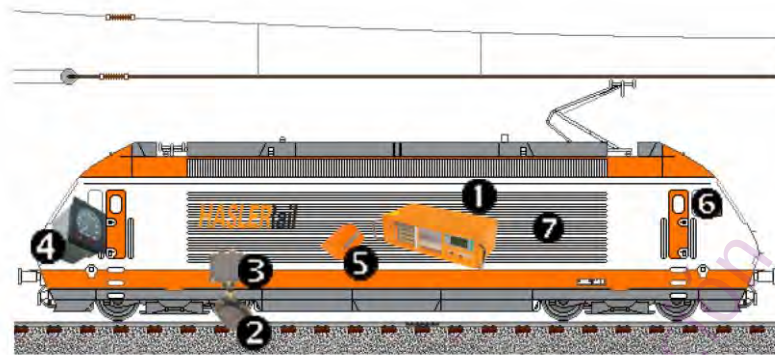


Figura 1-3. Subsistema de registrador jurídico Teloc 2500.

En el subsistema de registrador jurídico TELOC@2500 podemos distinguir las siguientes partes:

- 1.- Central de registro TELOC@2500.
- 2.- Generador de impulsos.
- 3.- Caja de bornes.
- 4.-Indicador de velocidad.
- 5.-Memoria de datos externa a prueba de impacto e incendio (opcional).
- 6.- Terminal del conductor en la cabina.
- 7.- Conexión al bus de tren.

TELOC@2500 es la unidad central del equipamiento a bordo. En ella se graban todos los datos de viaje específicos del vehículo: velocidad y señales analógicas y digitales. Además, procesa y emite las señales de mando y control.

El hardware de la unidad es modular y puede añadirse posteriormente si hay suficiente espacio.

La estructura básica del software es universal, pero por medio de parámetros configurables puede adaptarse a las necesidades del usuario.

La versión básica de la unidad contiene al menos una toma de alimentación (POSUx), una placa secundaria (BUPLx) y una placa de procesador (MAINx).

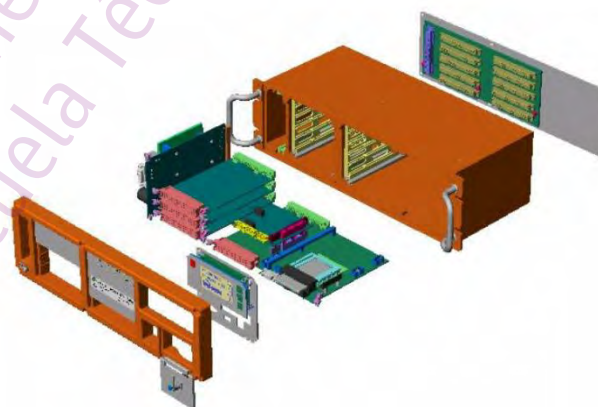


Figura 1-4. Estructura de Central Teloc 2500.

Estructura de una central TELOC@2500

Con un PC que tenga instalado el software de la unidad de servicio Hasler® MultiRec-SG, el usuario se puede comunicar con TELOC®2500 a través de la interfaz RS-232 incorporada, por ejemplo para descargar datos de la memoria interna o de la memoria externa a prueba de impacto e incendio. Otras funciones importantes son la carga de configuraciones nuevas o básicas del software de la unidad, la lectura de mensajes de diagnóstico y la monitorización y simulación de señales analógicas y digitales durante la ejecución de trabajos de servicio generales



Pos.	Designación
1	Medios con software básico
2	Medios con configuración
3	Software de la unidad de servicio
4	Medios con datos descargados
5	Cable de conexión RS232 Número de artículo Hasler® 1.8965.550/01 H
6	Memoria a prueba de fallos

Figura 1-5. SW para configuración y descarga de datos.

A diferencia del SW de la unidad de servicio, que se suministra de serie con el equipamiento estándar, el software de evaluación TELOC®EVA se adquiere por separado. El usuario debe instalar el software en un PC. El software de evaluación permite el análisis de los datos de viaje descargados de TELOC®2500, que se pueden imprimir o visualizar en forma de gráfico o tabla.

Además, las funciones de búsqueda programables permiten buscar los datos de eventos específicos



Pos.	Designación
1	Laptop o PC de escritorio
2	Medios con datos de viaje
3	Memoria USB con datos de viaje
4	Impresora

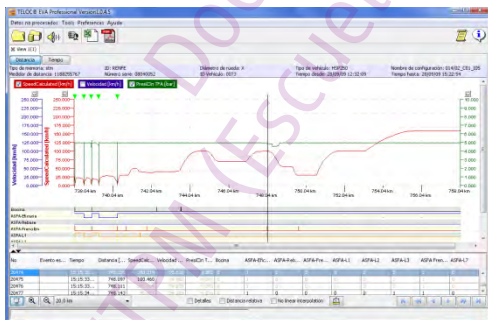


Figura 1-6. SW para análisis de datos.

### 1.1.2 REGISTRADORES JURÍDICOS CESIS 3G y 4G

La Central de Registro Cesis 3G es un equipo dedicado a la exploración, la supervisión y el registro de señales del vehículo, así como cálculo de distancia recorrida y velocidad real del tren.

Realiza por tanto la adquisición y el tratamiento de señales del tren, que bien están directamente cableadas al equipo (entradas digitales y analógicas directas), bien son recibidas desde otro equipo (entradas digitales y analógicas remotas) del tren a través de una línea de comunicaciones de datos, o son señales generadas internamente en el propio equipo (señales calculadas).

La central tiene la capacidad de capturar 48 entradas discretas y 4 entradas analógicas directamente cableadas al equipo y recibe datos remotos de otros equipos conectados en el bus MVB.

El cálculo de la distancia y la velocidad se realizan en tiempo real. El cálculo de distancia recorrida por el tren está basado en el número de pulsos recibidos de dos tacogeneradores y unos parámetros como diámetro de ruedas y número de pulsos por vuelta. El cálculo de velocidad es directo a partir de la distancia y una base de tiempo (RTC).

Los valores de las señales supervisadas se registran por cambios en un archivo denominado Archivo Cronológico de Señales (ACS), que reside en una memoria no volátil denominada Modulo de Registro (MRE), conjuntamente con los datos de referencia temporal, velocidad del tren y distancia recorrida.

El propósito del ACS generado por la central de registro es el de permitir el análisis del funcionamiento del tren en una determinada situación, por ejemplo inmediatamente antes de un fallo o accidente, para así poder determinar la génesis de tal situación.



Figura 1-7. Central de registro CESIS 3G.



El ACS se puede extraer a un ordenador PC a través de una conexión Ethernet para posteriormente realizar el pertinente análisis. Para realizar las operaciones de extracción y análisis del ACS el ordenador compatible PC, denominado Terminal de Extracción, Análisis y Configuración (TEAC) dispone de unos programas de usuario específicos.

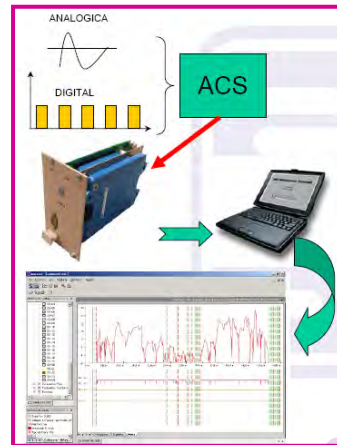


Figura 1-8. Grabación, extracción y análisis de datos.

La central tiene la capacidad de controlar 8 salidas discretas, siete de ellas de contacto de relé y una estática. Dos salidas de relé se activan/desactivan en función de la velocidad del tren. La salida estática se utiliza para controlar la electroválvula de engrase de pestañas.

El sistema dispone de un módulo GPS y una antena que permiten obtener la referencia temporal y mantener mediante su reloj de tiempo real el patrón de fecha y hora para todos los equipos conectados en la red MVB.

El velocímetro es la interfaz principal del sistema CESIS con el maquinista. Muestra la velocidad real del tren, la velocidad prefijada, el modo de conducción, existencia de avisos y fallos.

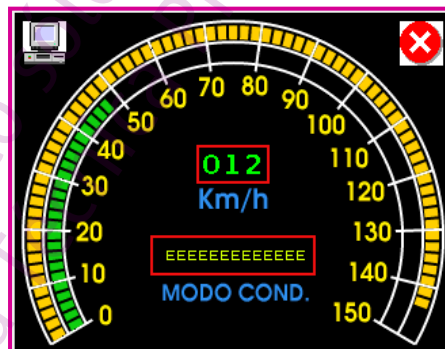


Figura 1-9. Informaciones en el velocímetro.

Los dos velocímetros disponen de una interfaz RS485 y están conectados a una línea de comunicación serie RS485 de la central de registro.

La Central de Registro Cesis 4G realiza las funciones de captación de señales, grabación de señales, cálculo de velocidad, control del resto de equipos del sistema y comunicación con otros sistemas. La central contiene el Módulo de Memoria Rugerizada, con cumplimiento de la norma IEEE 1482.1, donde se realizan las grabaciones de las señales.



Figura 1-10. Central de registro CESIS 4G.



Figura 1-11. Módulo de memoria extraíble.

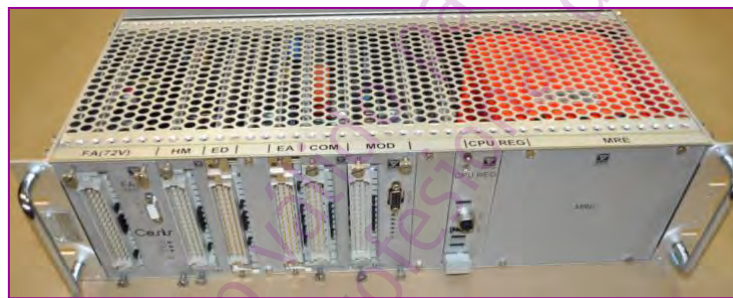


Figura 1-12. Central de registro CESIS 4G.

Para prevenir que una tarjeta pueda ser insertada en un conector de la placa base que no es el correcto, todas las tarjetas / módulos de inserción disponen de unos codificadores mecánicos.



Figura 1-13. Detalle del codificador mecánico de tarjetas.

En la central de registro Cesis 4G, la extracción de datos se realiza mediante un pendrive securizado



Figura 1-14. Pendrive securizado.

Registro de un paquete de información.

Se realiza un doble registro en memoria rugerizada de 64 mb y memoria no rugerizada SD de 1Gb. Este archivo contiene la siguiente información:

El número de serie del coche en el que está instalada la central de registro (identificación del coche y/o tren al que pertenecen los datos).

El código identificador de registro (CIR) que relaciona el registro con una configuración determinada de señales registradas y su identificación.

Valor de las variables digitales, analógicas y/o de determinados parámetros cuyo valor puede ser cualquiera dentro del rango y resolución asignado. Estos parámetros pueden ser, por ejemplo, los diámetros de rueda, el número de conductor, los pulsos por vuelta, etc.

Información del tren a grabar, como por ejemplo las entradas digitales directas, las salidas digitales directas, las entradas digitales recibidas por comunicaciones o los parámetros de conducción.

Fecha y hora de la grabación del registro.

Distancia recorrida desde el instante de grabación anterior.

Se produce el registro de un paquete de información cuando:

Una variable digital supervisada y seleccionada cambia de estado.

Una variable analógica supervisada experimente una variación que sea superior a la histéresis previamente configurada.

Cambio en cualquiera de los parámetros variables supervisados.

Se supera un tiempo configurado sin cambio en las señales.

Un usuario mediante comando, introduce un cambio manual en la fecha o la hora del sistema.

También quedará grabada la señal de desconexión de la alimentación de la central, así como la descarga de eventos.



Figura 1-15. Módulo de memoria rugerizada y Pendrive para la extracción de datos

A continuación podemos observar la pantalla principal de interface con el usuario del programa de análisis de datos Ana3acs, válido para los registradores jurídicos Cesis 3G y Cesis 4G.

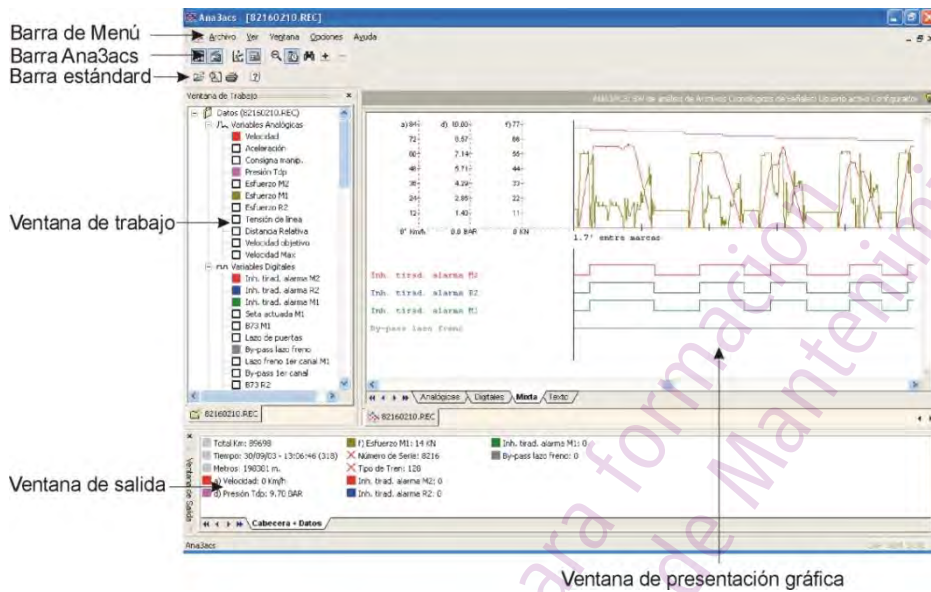


Figura 1-16. Pantalla principal de ANA3ACS.

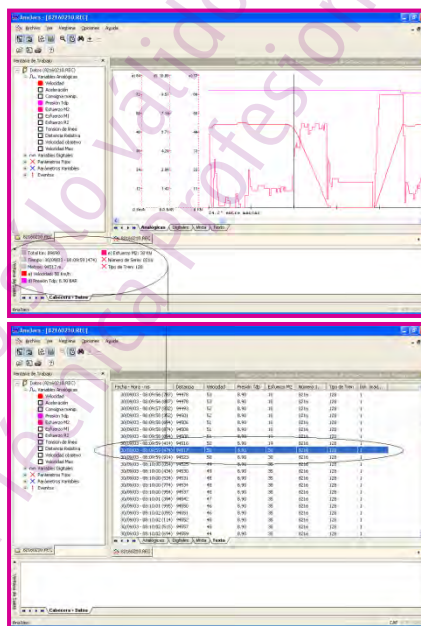


Figura 1-17. ACS en modo gráfico y modo texto.

En la imagen superior vemos la correspondencia existente entre la visualización de un ACS en modo gráfico y en modo textual.

### 1.1.3 REGISTRADOR JURÍDICO DEUTA

El registrador jurídico DEUTA se compone de:

- Equipo de medición.
- Cassete de memorización de datos.
- SW de evaluación de datos.

MA10

DSK10

ADS

El equipo de medición MA10 tiene la tarea de captación tratamiento y envío de señales y transmite a la cassette de grabación de datos, los datos para su registro.

La tarjeta CPF10 es la interface hombre máquina que permite la introducción de parámetros y la diagnosis del equipo.



Figura 1-18. Registrador jurídico DEUTA, parte superior.

La cassette de memorización de datos DSK10 administra y almacena los datos recibidos del MA10 en una memoria de alta resolución (memoria de corto recorrido) y en una memoria de baja resolución (memoria de largo recorrido).

La evaluación de los datos registrados en la DSK10, se realiza con un PC, con el sistema operativo DOS y el programa de evaluación ADS, de la siguiente forma:

Se transmiten los datos de la DSK10 al PC a través del puerto serie.

En el PC los datos se transforman y se representan en forma de gráfica o de tabla.



Figura 1-19. Conexión de PC de servicio y pantallas gráfica y textual.

### 1.1.4 REGISTRADOR JURÍDICO MEMOTEL

El sistema MEMOTEL reúne la tecnología del aparato de indicación con servomando, y la capacidad de almacenamiento de datos de ruta en memorias estáticas alojadas en una caja. Como sucesor de los tacógrafos de franjas RT9, RT12 YRT13, así como de los tacómetros A16, A28 Y A29, puede reemplazar a los mismos, siendo compatibles sus funciones.

Para el almacenamiento de los datos analógicos de ruta así como de los datos digitales de servicio, el aparato dispone, además de la memoria interna, de un dispositivo para alojamiento de una tarjeta de memoria sin contactos ni pilas, cuyas dimensiones equivalen a las de una tarjeta de crédito.

Durante el servicio, MEMOTEL, verifica constantemente su operatividad y la corrección de sus indicaciones con ayuda de circuitos integrados de test y comparación. Actuando sobre el pulsador correspondiente, el visualizador digital combinado puede indicar varias magnitudes como por ejemplo la fecha, la hora, la velocidad, el kilometraje y también avisos de fallos en forma codificada.

El sistema MEMOTEL consta del equipo de a bordo, del equipo de servicio y de un equipo de evaluación. Para la toma de datos desde la tarjeta de memoria Memory Card se necesita un aparato de transferencia de datos especial. La ilustración siguiente muestra el conjunto del sistema.

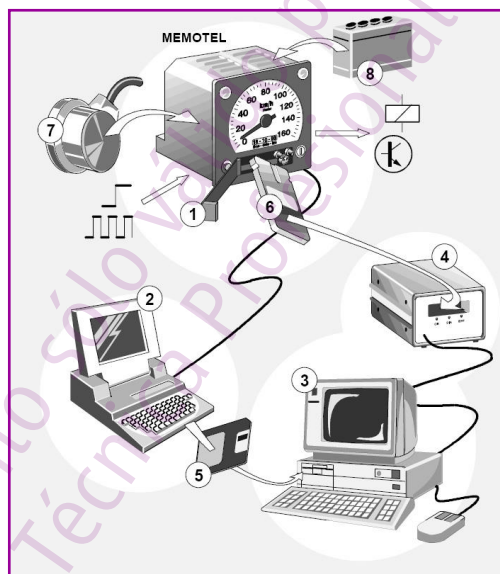


Figura 1-20. Registrador jurídico Memotel.

- 1.-Equipo de a bordo
- 2.- Equipo de servicio
- 3.- Equipo de evaluación
- 4.-Aparato de transferencia de datos
- 5.- Soporte de almacenamiento de datos
- 6.-Memory card
- 7.-Tacogeneradores
- 8.-Batería

Como equipo de servicio se utiliza un PC portátil con software MEMOTEL-SG.

El enlace con MEMOTEL tiene lugar en serie a través del interface RS232 disponible detrás de la tapa. Con ayuda del equipo de servicio puede configurarse MEMOTEL o bien pueden tomarse los datos de ruta de la memoria interna y archivarse. Otras tareas a realizar con el equipo de servicio técnico son la lectura de fallos o errores, el ajuste del factor de corrección del diámetro de las ruedas y el ajuste de la identificación del vehículo.

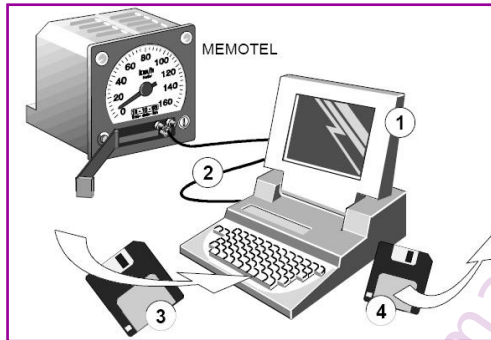


Figura 1-21. Memotel. SW de servicio.

- 1.-PC con software para servicio MEMOTEL –SG
- 2.-Cable de conexión RS232

Como equipo de análisis se utiliza un PC portátil con software MEMOTEL- AS

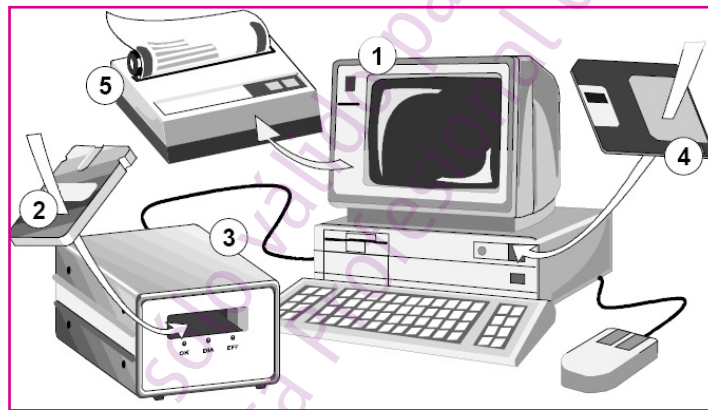


Figura 1-22. Memotel. SW de análisis.

- 1.-PC con software de evaluación MEMOTEL - AS
- 2.-Memory Card
- 3.-Equipo de transferencia
- 4.-Soporte de datos
- 5.- Impresora



Figura 1-23. Memotel. Pantalla de visualización de datos.

## 1.2 ASFA DIGITAL

### 1.2.1 DESCRIPCIÓN

El Sistema Embarcado ASFA Digital es el sistema de a bordo que proporciona un conjunto básico de funciones de Protección Automática de Trenes (ATP).

El Sistema procesa la información procedente de la vía y muestra un conjunto de indicaciones al maquinista para alertarle y facilitar la realización de las acciones requeridas. Cuando el Sistema detecta que no se están respetando los controles de velocidad establecidos, actúa sobre el freno de emergencia del tren.

El Sistema ASFA Digital se incluye en la categoría de los Sistemas ATP semicontinuos:

Ofrece una protección contra sobrevelocidad a lo largo del todo el recorrido del tren, pero recibe la información de manera puntual mediante un sistema de balizas instaladas en la vía.

El Sistema ASFA embarcado del tren es el encargado de recoger la información de la vía, procesar dicha información, mostrar las indicaciones correspondientes al personal de conducción para que este realice las operaciones oportunas y actuar sobre el freno de emergencia si fuese necesario.

Las balizas ASFA instaladas en la vía proporcionan información relativa al aspecto de la señal más próxima al tren en su sentido de marcha, también envían información de los Pasos a Nivel sin Protección y de Limitaciones Temporales de Velocidad. La configuración habitual de balizas en la vía consiste en disponer una baliza previa a unos 300 metros de la próxima señal (para anticipar al equipo de a bordo el aspecto de la señal) y una baliza de pie de señal situada a unos 5 metros de la señal. Además de la información transmitida por las balizas ASFA, el Sistema ASFA Digital requiere que el maquinista confirme, mediante su actuación sobre pulsadores, la información que se ha captado al paso sobre baliza.

La protección proporcionada por el ASFA Digital incluye los siguientes controles:

- Control de velocidad máxima del tren.
- Control de velocidad durante la aproximación a una señal de parada.
- Control de velocidad durante la aproximación a un desvío.
- Control de velocidad durante la aproximación a un paso a nivel sin protección.
- Control de velocidad por limitaciones temporales de velocidad.
- Control de modo en zonas de cambio de ancho de vía.

CONCEPTOS:

**BALIZA** Elemento del sistema instalado en la vía, utilizado para la transmisión de información puntual de la vía al tren.

**CASO DE SEGURIDAD** La demostración documentada de que el proceso cumple con los requisitos de seguridad especificados.

**CURVA DE INTERVENCIÓN DE FRENADO** Curva de velocidad en función del tiempo, definida para cada control del sistema. En caso de que el tren rebase el valor instantáneo de velocidad definido por esta curva, el sistema ASFA Digital solicitará la aplicación del freno de emergencia y anunciará este hecho mediante las indicaciones ópticas y acústicas asociadas al freno de emergencia.

**CURVA DE VELOCIDAD DE CONTROL** Curva de velocidad en función del tiempo, definida para cada control del sistema. La velocidad del tren debe, a efectos del control que esté realizando el sistema, mantenerse siempre por debajo del valor instantáneo de velocidad definido por esta curva.



**FASE 1** Primer estado de implantación del nuevo Sistema ASFA Digital, correspondiente a la operación con las balizas e información de vía del actual sistema ASFA: L1, L2, L3, L7 y L8. Durante esta fase el sistema también será capaz de procesar las nuevas balizas que se vayan incorporando.

**FASE 2** Segundo estado de implantación del nuevo Sistema ASFA Digital, correspondiente a la operación con las balizas e información de vía del nuevo sistema ASFA Digital: L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8 y L9.

**FRECUENCIA PERMANENTE** Señal de comprobación del Subsistema de captación ASFA.

**TIPO DE TREN** Clasificación de los trenes a efecto de composición, velocidad, régimen y frenado. Se expresa mediante un número múltiplo de 10 que indica la velocidad máxima que puede alcanzar el tren en las condiciones más favorables de trazado y clase de vía.

**VELOCIDAD DE AVISO** Límite de velocidad establecido en cada instante, en función del control activo, que en caso de ser rebasado provocará que el equipo ASFA Digital anuncie que el vehículo circula con sobrevelocidad mediante indicaciones ópticas y acústicas. Se calcula en función de las curvas definidas de velocidad de control y de intervención.

**VELOCIDAD DE CONTROL** Límite de velocidad establecido en cada instante, en función del control activo, que no debe superar el tren a efectos del control que esté efectuando el sistema ASFA Digital. Se trata de cada uno de los distintos valores de la curva de velocidad de control y clase de vía.

**VELOCIDAD DE CONTROL FINAL** Es la velocidad de control una vez transcurrido el tiempo correspondiente al intervalo decreciente de la curva de velocidad de control.

**VELOCIDAD DE INTERVENCIÓN DE FRENADO** Límite de velocidad establecido en cada instante, en función del control activo, que en caso de ser rebasado provocará que el equipo ASFA Digital solicite la aplicación del freno de emergencia. Se trata de cada uno de los distintos valores de la curva de intervención de frenado.

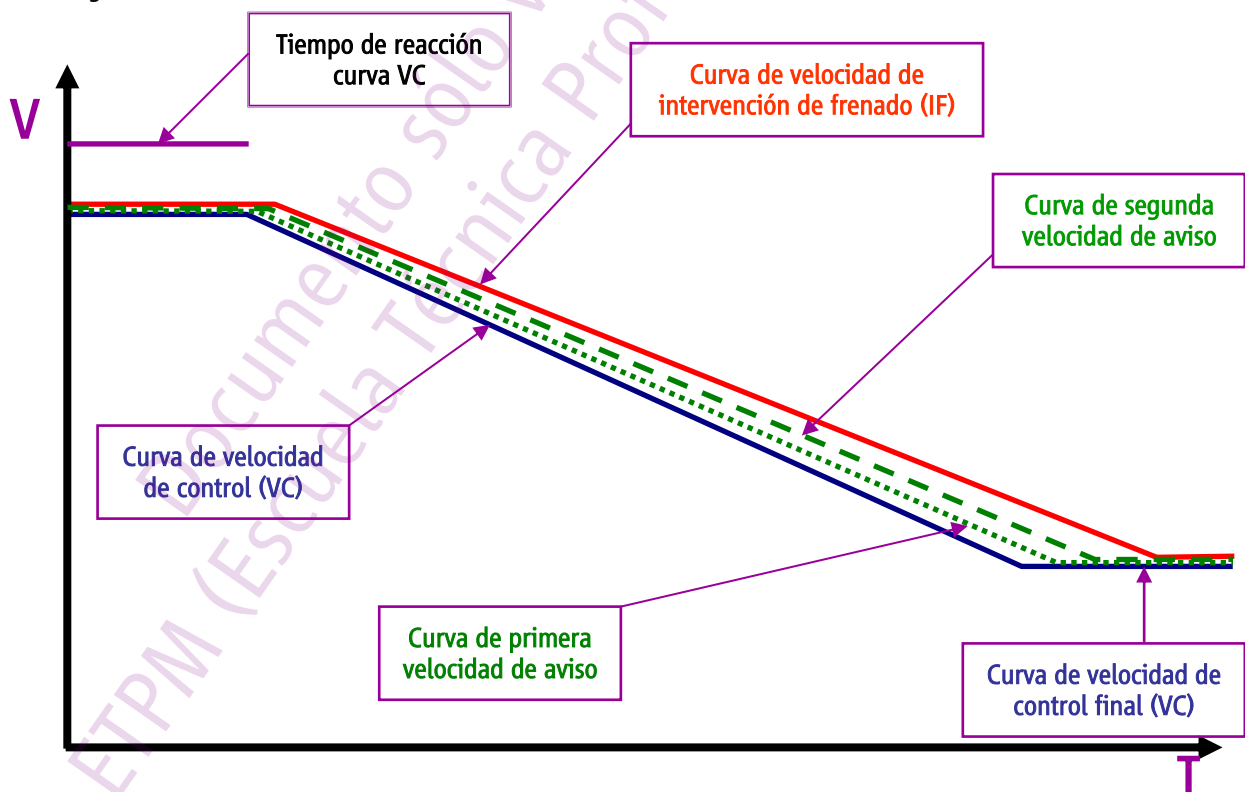


Figura 1-24. Supervisión y control.

### 1.2.2 SEÑALES DE ASFA DIGITAL

L1 Frecuencia correspondiente a:

Fase 1. Anuncio de parada, anuncio de parada inmediata, preanuncio de parada, anuncio de precaución, paso a nivel sin protección y a limitación temporal de velocidad.

Fase 2. Anuncio de parada y anuncio de parada inmediata.

L2 Frecuencia correspondiente a vía libre condicional y preanuncio de limitación temporal de velocidad.

L3 Frecuencia correspondiente a:

Fase 1. Vía libre y paso a nivel protegido.

Fase 2. Vía libre.

L4 Frecuencia correspondiente a paso a nivel protegido y fin de paso a nivel sin protección. Dos balizas con esta frecuencia, situadas a corta distancia, indican al sistema la situación de cambio de ancho de vía.

L5 Frecuencia correspondiente a:

Fase 2. Preanuncio de parada.

L6 Frecuencia correspondiente a:

Fase 2. Anuncio de precaución.

L7 (Control de velocidad antes de parada) Frecuencia correspondiente a baliza previa de señal con aspecto de parada, movimiento autorizado, rebase autorizado y señal apagada.

L8 Frecuencia correspondiente a baliza de pie de señal con aspecto de parada, movimiento autorizado, rebase autorizado y señal apagada.

L9 Frecuencia correspondiente a:

Fase 2. Paso a nivel sin protección y a anuncio de limitación temporal de velocidad.

ACTUAL	L 3	L 2	L 1					L 7	L 8	
FASE	L 3	L 2	L 1	L 1	L 1	L 1	L 1	L 1	L 7	L 8
			+ REC A	+ REC A+N	+ REC V/A	+ REC PN	+ REC LTV			
FASE 2	L 3	L 2	L 1	L 5	L 6	L 9	L 9	L 7	L 8	
						+ REC PN	+ REC LTV			

DE ACUERDO CON CONSIGNA C EXP. N° 7, LA SEÑAL DE PREANUNCIO DE LTV, SE RECONOCERA EN EL PULSADOR/INDICADOR DE LTV EN EL NUEVO SW

Figura 1-25. Transición de 5 a 9 frecuencias.

### 1.2.3 COMPONENTES

El ASFA Digital embarcado está formado por:

- Equipo de Captación, encargado de la detección de la presencia de balizas, amplificación de la señal resultante de esta detección y envío ECP.
- Equipo de control y presentación de información ASFA Digital que está formado por:
  - Equipo de control y proceso (ECP) contiene los módulos electrónicos responsables de la ejecución de las diferentes funciones de protección e indicación del sistema embarcado y de procesar la información recibida realizando los cálculos de odometría correspondientes.
  - Equipo de actuación y presentación de indicaciones de la información: Este subsistema está ubicado en el pupitre de conducción y constituye el elemento de interacción con el personal de conducción mediante indicadores, pulsadores y conmutadores. Incluye:
    - Panel repetidor: Contiene los dispositivos ópticos necesarios para dar a conocer al personal de conducción informaciones provenientes del sistema de vía (balizas) y determinar las actuaciones que deben realizar.
    - Conjunto Display: El propósito de este elemento es suministrar información de forma visual al maquinista, a través de un display. Hay una Pantalla de visualización de Datos por cabina de conducción. Este elemento realiza las siguientes funciones: suministro de información de forma visual al maquinista a través de un display, control desde el Equipo de Control y Proceso (ECP), autocomprobación continua y facilidades de mantenimiento.
    - Pulsadores adicionales: Estos pulsadores son los de uso más habitual en la conducción, es decir los de reconocimiento por paso de señal.
  - Combinador General: Permite configurar el sistema; sus principales funciones son las siguientes: conexión / desconexión del ASFA digital, selección del tipo de tren y anulación del ASFA Digital.
  - Unidad de Odometría: Proporciona la información al ECP para el cálculo de la velocidad.
  - Convertidores: Estos elementos convierten la tensión de batería de los trenes a los 72 V que necesita el Sistema ASFA.

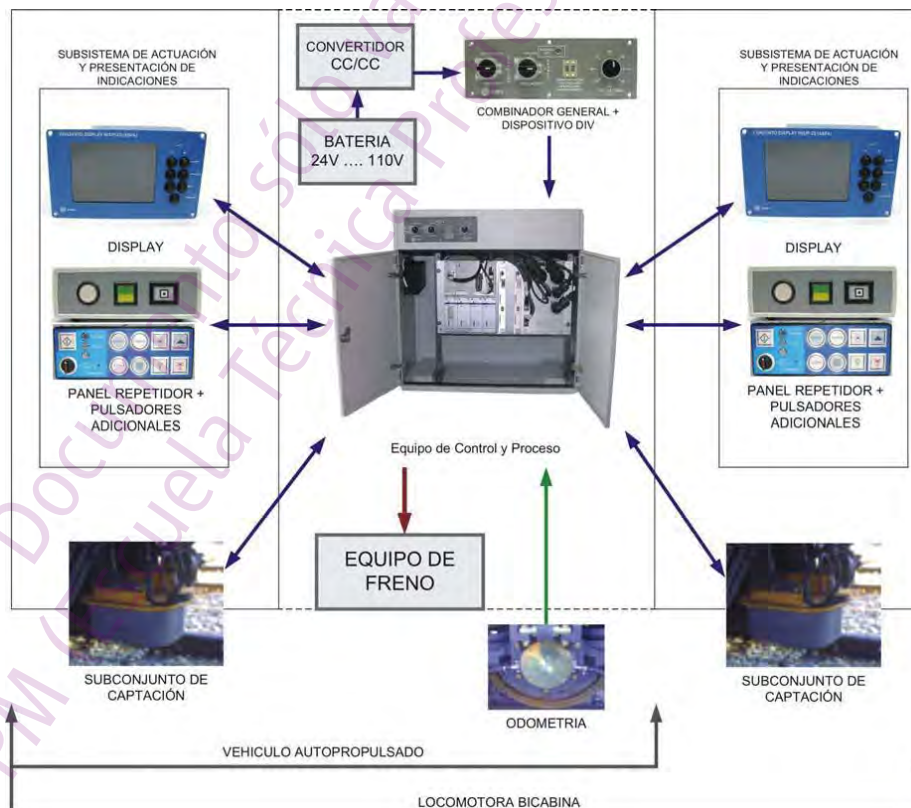


Figura 1-26. Arquitectura del subsistema.

### 1.2.3.1 PANEL REPETIDOR

Existe uno en cada cabina de conducción.

Está constituido por los siguientes pulsadores/indicadores:

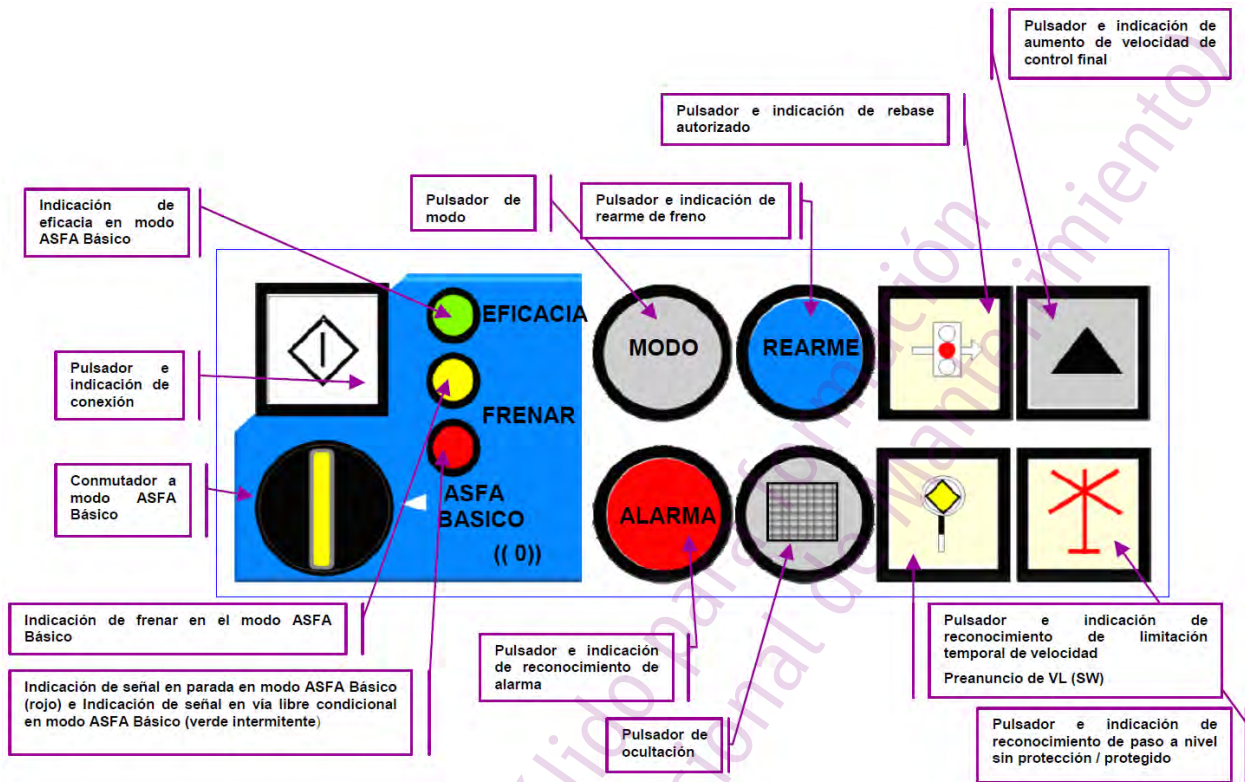


Figura 1-27. Funcionalidades del panel repetidor.



Figura 1-28. Panel repetidor.

1.2.3.2 DISPLAY

La Figura muestra la disposición general de indicaciones en el display.

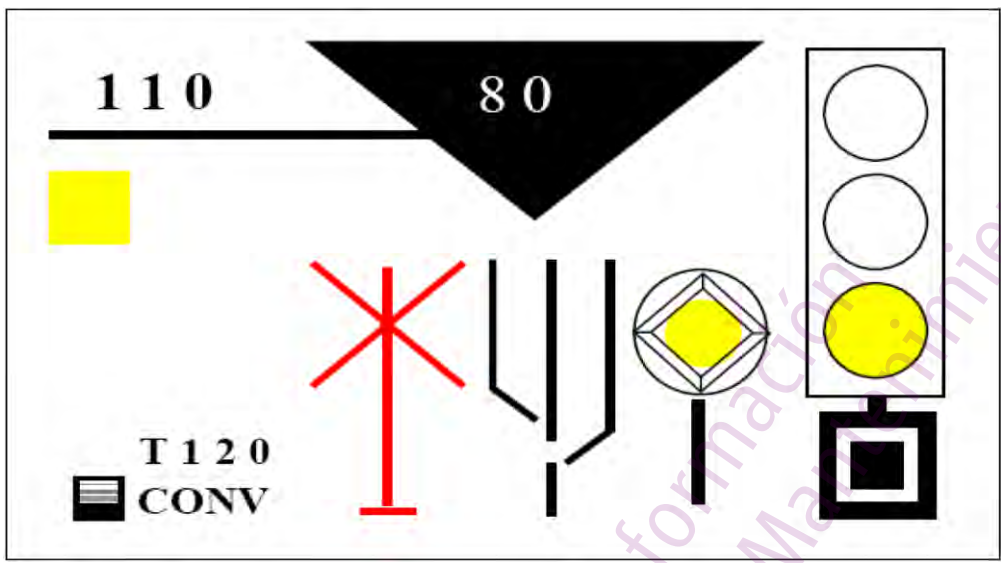


Figura 1-29. Display.

Pantalla Gráfica

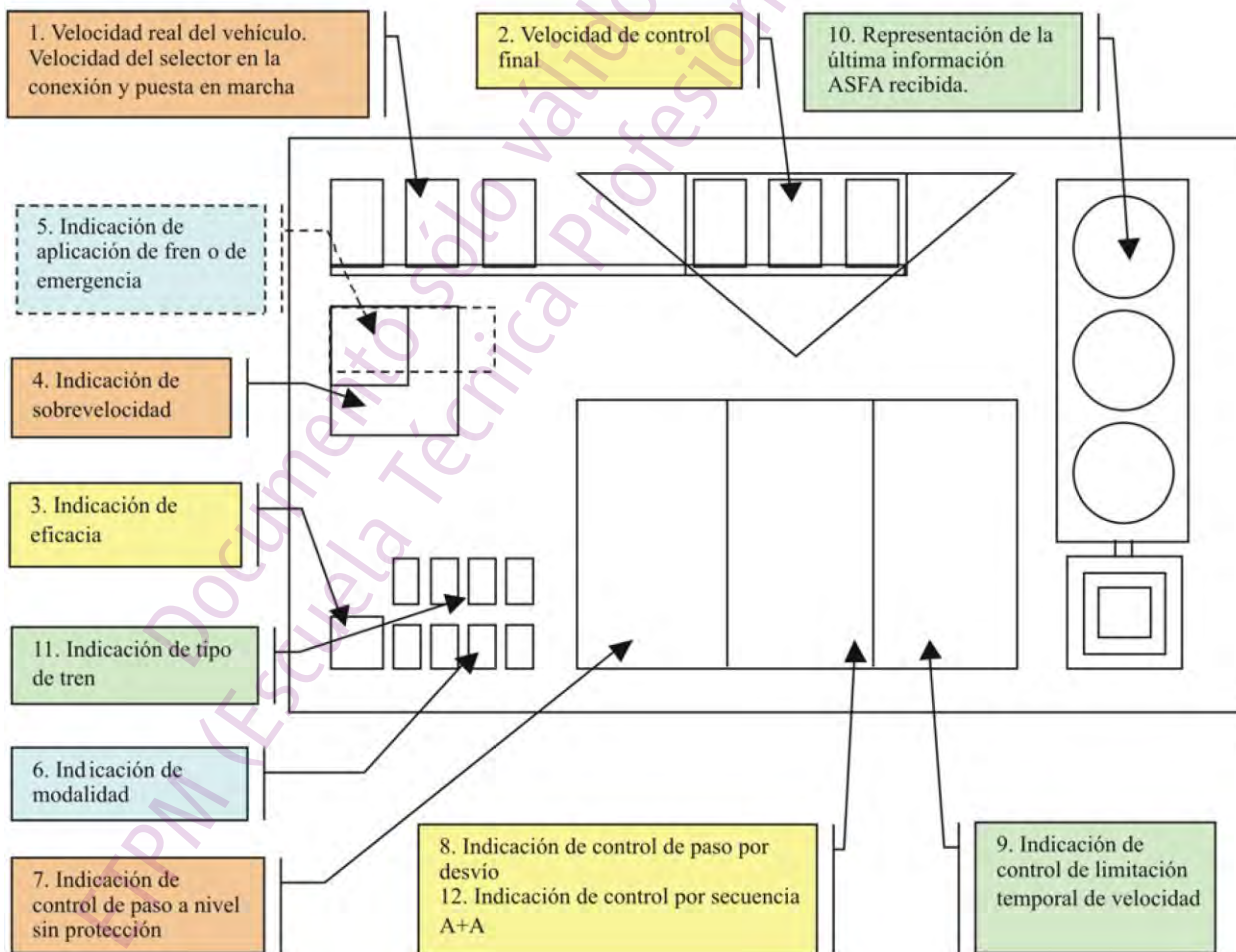


Figura 1-30. Display - Áreas de representación.

### 1.2.3.3 PULSADORES ADICIONALES

Los Pulsadores Adicionales se encuentran en la cabina de conducción incorporados al pupitre de conducción.



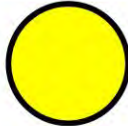


	Anuncio de parada Anuncio de parada inmediata.	Anuncio de precaución	Reconocimiento de Vía libre condicional y Preanuncio
Pulsadores	En modo ASFA Básico para: Anuncio de parada Anuncio de parada inmediata Anuncio de precaución Preanuncio de parada	No es operativo en modo ASFA Básico	Preanuncio de parada no es operativo en modo
Aspecto			

Figura 1-31. Pulsadores adicionales.

Para garantizar la eficacia del reconocimiento el pulsador correspondiente debe ser accionado al menos durante 0,5 segundos.

### 1.2.3.4 UNIDAD DE ODOMETRÍA

La Unidad de Odometría está instalada en el interior de las cajas de grasas instaladas en el exterior del tren. La Figura muestra un sensor de velocidad dentro de una caja de grasa abierta y la caja de grasa instalada en el tren.



Figura 1-32. Unidad de odometría.

### 1.2.3.5 COMBINADOR GENERAL

Conecta el equipo, selecciona el tipo de tren o anula el equipo.

Está constituido por:

Conexión general. Se utiliza para conectar y desconectar el sistema.

Selector del tipo de tren. Se pueden seleccionar 8 tipos diferentes de tren para cubrir todo el parque de vehículos existente.

Interruptor de anulación. Se utiliza para anular el equipo conjuntamente con el de conexión.



Figura 1-33. Combinador general.

Existen equipos que incorporan, para uso exclusivo en operaciones de mantenimiento:

- Dispositivo de Identificación del Vehículo (DIV).
- Led indicador de eficacia del DIV (no requiere actuación del maquinista).
- Codificadores mecánicos para el ajuste del diámetro de rueda.



Figura 1-34. Combinador general.

Conexión, puesta en marcha y anulación del equipo.

1º.- Selección del tipo de tren, actuando sobre el selector de 8 posiciones o tipos (según versión).

2º.- Conexión de alimentación del equipo de control y proceso.

3º.- Alimentación del panel repetidor actuando sobre el interruptor de conexión de la cabina que se desee seleccionar.

Se activa la indicación de eficacia y se presenta la indicación de tipo de tren en la ubicación de la velocidad real del vehículo. Al mismo tiempo se realiza la prueba de lámparas y sonería.

4º.- Dependiendo SW, muestra en pantalla:

ASFA OK: Sistema sin ningún fallo funcional.

ASFA Operativo: El sistema tiene un fallo leve de funcionamiento.

ASFA No Operativo. El sistema no puede funcionar correctamente.

En modo Básico: Estado Operativo: Oscilación indicador eficacia; No Operativo: Ausencia eficacia.

5º.- Accionar el pulsador de rearme de freno.

El tipo de tren se pasa a mostrar en la indicación de tipo de tren y se permite el afloje del freno.

Se establece el control de arranque. En función SW el equipo muestra el icono de focos con interrogación.

6º.- Selección de modo de conducción, si fuese necesario establecer un modo distinto al que se establece automáticamente por defecto.

## Control de arranque

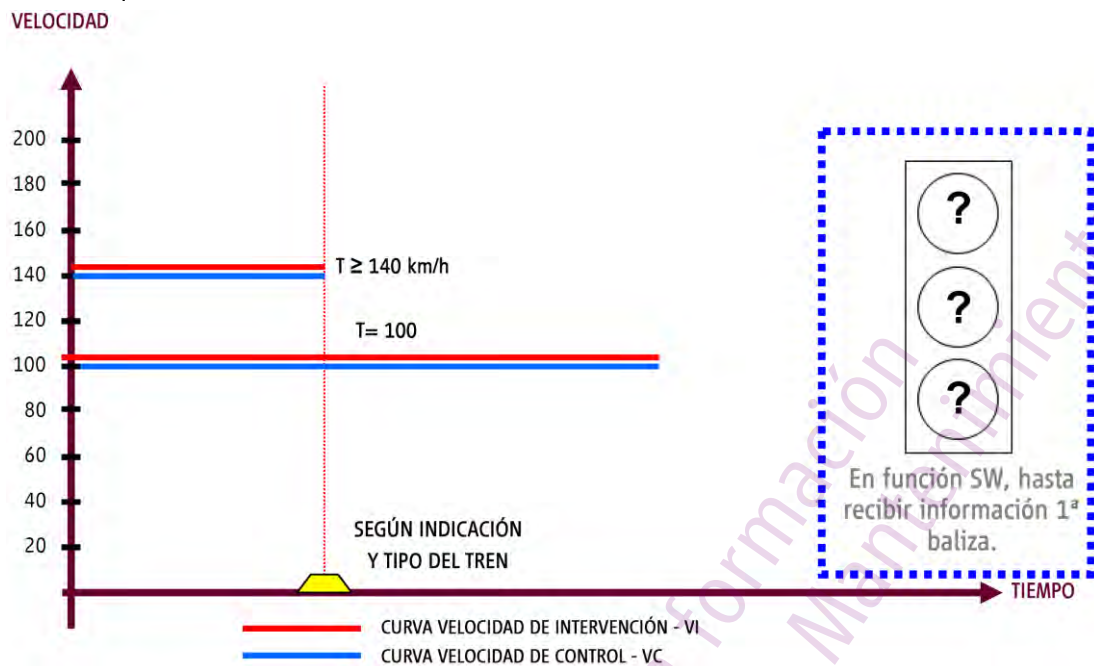


Figura 1-35. Control de arranque.

Cambio del tipo de tren.

El sistema sólo permite el cambio de tipo de tren cuando la selección vaya acompañada de una posterior conexión de cabina.

Anulación del equipo.

Para anular el equipo se realizarán las siguientes operaciones:

- 1º.- Situar el interruptor de conexión del combinador general en la posición desconectado.
- 2º.- Situar el conmutador de anulación del equipo en la posición anulado

Desconexión del equipo.

Para efectuar la desconexión del equipo, se realizan las siguientes operaciones:

- 1º.- Colocar el pulsador de conexión de la cabina activa en OFF.
- 2º.- Situar el interruptor de conexión del combinador general en la posición desconectado

Cambio de cabina.

Debe efectuarse a tren parado y siguiendo las siguientes operaciones:

- 1º.- Colocar el pulsador de conexión de cabina activa en OFF.
- 2º.- Accionar el pulsador de conexión de la otra cabina.
- 3º.- Accionar el pulsador de rearme de freno.

Modos de conducción

Modo ASFA Convencional.

Modo ASFA Alta Velocidad.

Modo Bloqueo Telefónico Supletorio (BTS).

Modo de Maniobras (MBRA).

Modo ASFA Básico Convencional.

Modo ASFA Básico Alta Velocidad.

Modo EXT.



Los modos BTS y Maniobras estarán disponibles para cualquier tipo de tren, aunque no se realiza lectura de balizas.

Las transiciones entre los distintos modos (salvo a/desde modo EXT.), se realizará siempre a tren parado.

Excepcionalmente, en vehículos de ancho variable o que circulen por líneas dotadas de tercer carril (ancho mixto), se podrán realizar en movimiento las transiciones de modo ASFA AV y ASFA CONV y entre ASFA Básico CONV y ASFA Básico AV.

Transiciones entre ASFA digital y ERTMS/ETCS

Transición de ASFA digital a ERTMS

Requiere que el sistema ASFA Digital este operativo.

Secuencia:

- Inhibición de la solicitud por parte del ASFA Digital del frenado de emergencia.
- Desconexión o inhibición de la operación del sistema ASFA Digital.
- ASFA Digital indicará mediante la eficacia la correcta conmutación.
- La pantalla no mostrará indicaciones, excepto el modo de conducción EXT.

Transición de ERTMS a ASFA digital

Requiere que el sistema ASFA Digital este operativo.

Secuencia:

- Conexión de la operación del sistema ASFA Digital.
- Activación del control del frenado de emergencia por el ASFA Digital.
- El sistema ASFA Digital se activa mostrando la velocidad de control.
- Mostrará el icono de focos con interrogantes (en función del SW).
- Si se produce avería en el equipo estando protegido por el LZB/ERTMS a ASFA Digital, se aplicará el freno de emergencia.

Registrador de datos.

Registrador jurídico: Es el equipo de registro externo del ASFA Digital. Registra las señales emitidas por el sistema ASFA-Digital.

Registrador interno del ASFA Digital: Registrador interno que registra las señales de funcionamiento del ASFA Digital.

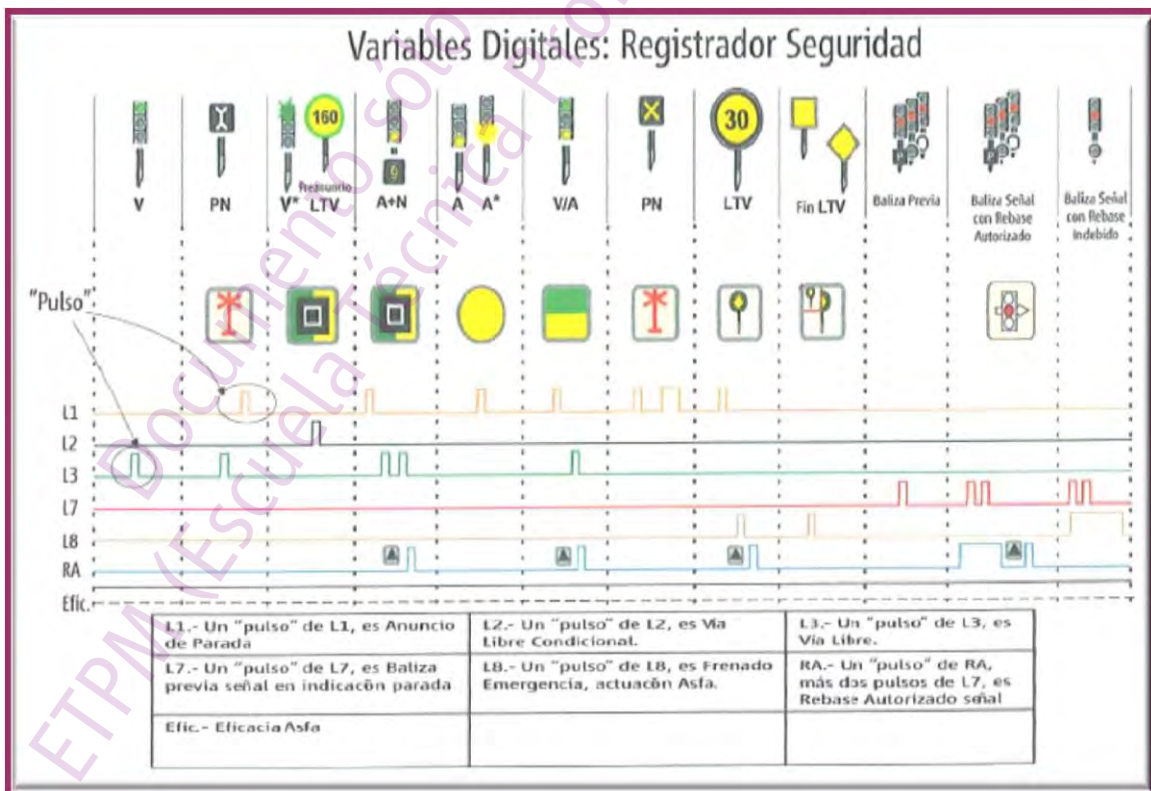
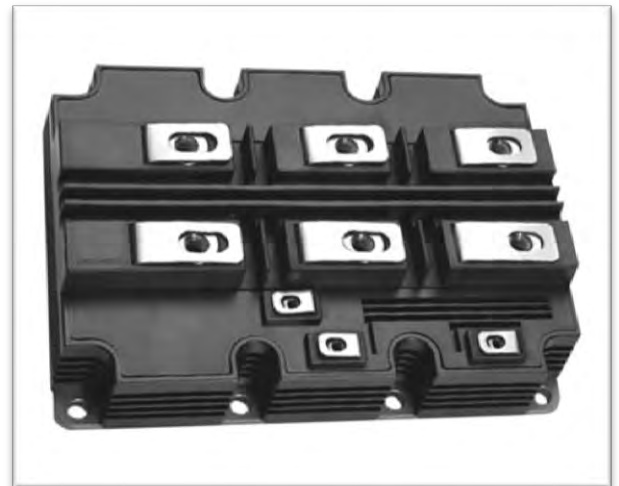


Figura 1-36. Registros de señales de ASFA.



**renfe** Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.  
G. de A. de Organización y Recursos Humanos.  
Gerencia de la Escuela Técnica Profesional de  
Mantenimiento (ETPM).

# FORMACIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS (Alta tensión)

Edición 0.2





Autor: Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento.

Edita: © Renfe Operadora.

Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.

G. de A. de Organización y Recursos Humanos.

Gerencia de la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento (ETPM).

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA DEL AUTOR.

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN A SISTEMAS DE ALTA TENSIÓN .....	5
1.1	EQUIPOS DE ALTA TENSIÓN .....	5
1.1.1	PANTÓGRAFO .....	6
1.1.2	DERIVADORES O PARARRAYOS DE ALTA TENSIÓN .....	8
1.1.3	SECCIONADORES Y PUESTA A TIERRA .....	9
1.1.4	DISYUNTOR PRINCIPAL .....	10
1.1.5	TRANSFORMADORES.....	11

Este libro ha sido elaborado por la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento de Renfe Operadora.  
Es propiedad de Renfe Operadora.  
Queda prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin la autorización expresa del propietario.



## 1. INTRODUCCIÓN A SISTEMAS DE ALTA TENSIÓN

### 1.1 EQUIPOS DE ALTA TENSIÓN

El equipo de alta tensión, tiene como misión tomar la corriente de catenaria y alimentar mediante los componentes necesarios a los motores de tracción, equipos auxiliares y líneas de alta tensión del tren. Por tanto, estos equipos intervienen directamente en el desarrollo de la potencia del vehículo, tanto en tracción como en freno eléctrico.

La configuración del equipo variará en función de la tecnología aplicada. Las características generales que intervienen en el equipo de alta tensión se pueden observar en los siguientes esquemas:

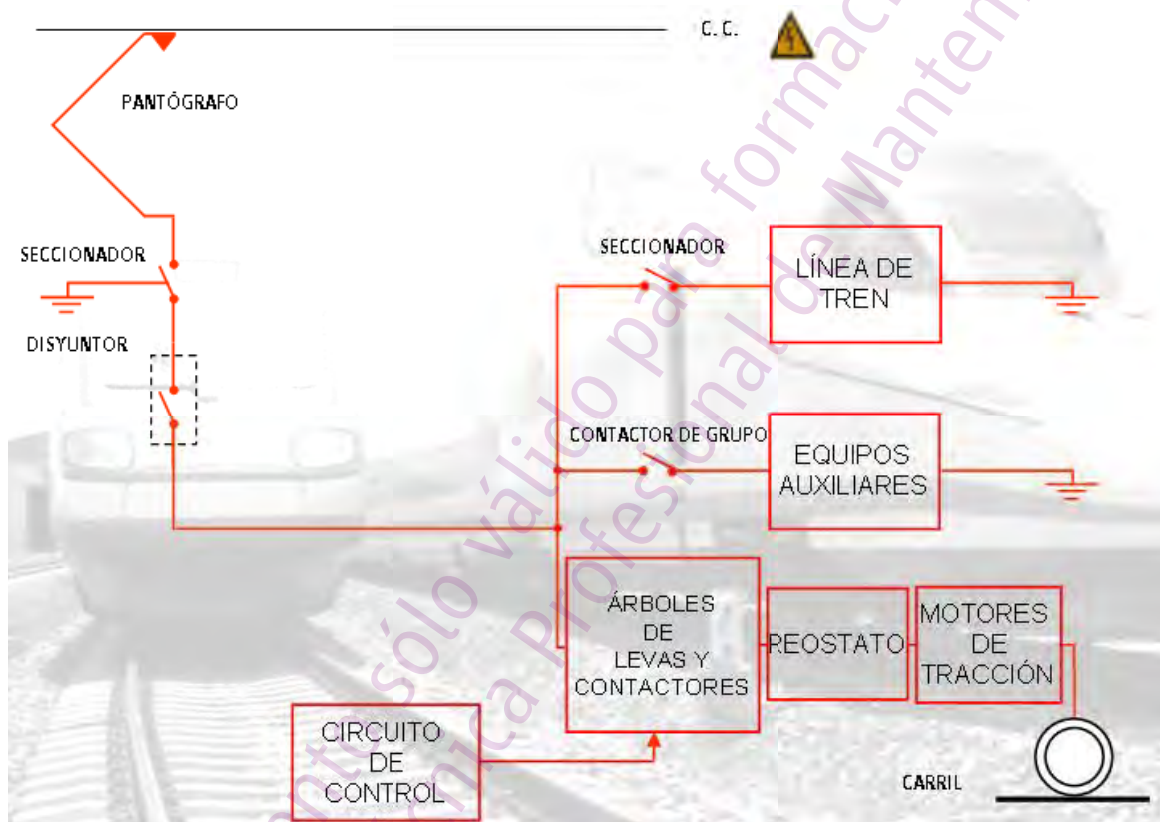


Figura 1-1. Circuito tipo de alta tensión para vehículos de corriente continua (c/c 3000 v.)

El circuito de potencia queda establecido cuando el pantógrafo contacta con la catenaria y se cierra el disyuntor. En este instante, la tensión de catenaria 3.000 voltios de corriente continua, está presente en el vehículo.

En el apartado de sistemas de electrificación de corriente continua y motores de corriente alterna, encontramos una gran cantidad de vehículos, debido a la evolución en la electrónica de potencia aplicada a motores de corriente alterna.

En el caso de vehículos de corriente alterna, la alimentación eléctrica es de 25.000 voltios, 50 Hercios monofásica.



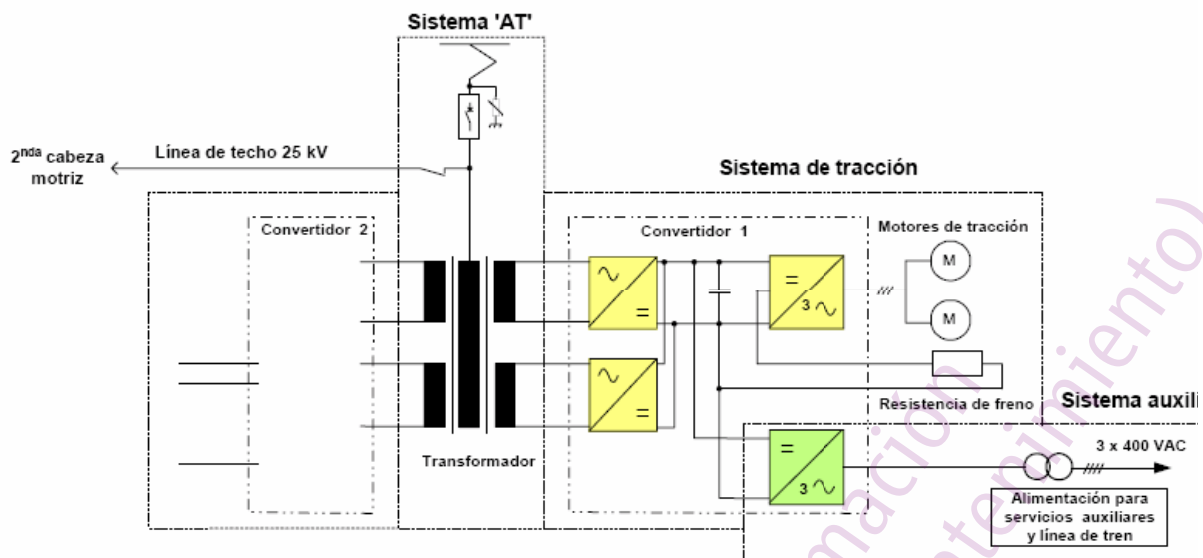


Figura 1-2. Circuito tipo de alta tensión para vehículos de corriente alterna (c/a 25000 v.)

Los vehículos motores de corriente alterna, disponen de un transformador, que además de sus devanados para la tracción, pueden llevar los transformadores trifásicos para los servicios auxiliares y para línea de alimentación del tren, las inductancias y bobinas para filtrado.

Bajo el bastidor, según el tipo de vehículos se pueden encontrar distintos elementos de alta tensión como pueden ser, los grupos motores alternadores, resistencias, transformadores, reactancias, convertidores de tracción, convertidores auxiliares entre otros.

### 1.1.1 PANTÓGRAFO

El pantógrafo es el componente del equipo de alta tensión destinado a captar la corriente de catenaria.

Está sujeto al techo del vehículo mediante aisladores. El paso de la corriente al interior del mismo se realiza a través de pasamuros aislantes.

El conjunto de los elementos que lo componen, deben aportar la suficiente estabilidad y rigidez para permitir la captación de corriente en cualquier situación aerodinámica y de velocidad para la que ha sido diseñado.

El bastidor es el armazón que soporta el sistema articulado, el mecanismo de elevación y la mesilla.

Está formado por largueros metálicos que apoyan sobre aisladores en el techo del vehículo.



Figura 1-3. Pantógrafo de los años 70/80.

Para conseguir la elevación y mantenimiento del pantógrafo, es necesaria la presión suficiente de aire comprimido, proporcionada por la instalación neumática del vehículo.

Ésta se aplica sobre un accionamiento neumático, que a veces se complementa con resortes. La pérdida de presión, provocará el descenso del pantógrafo.

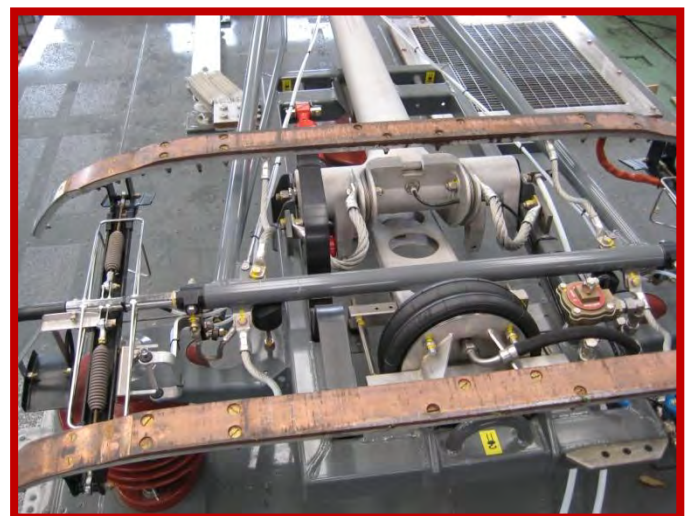


Figura 1-4. Pantógrafo de la S/253.

Cada pantógrafo tiene una o dos mesillas, situadas en la parte superior del sistema articulado, disponen de un mecanismo de suspensión que las estabilizan y amortiguan, permaneciendo lo más paralelas posible respecto al techo del vehículo.

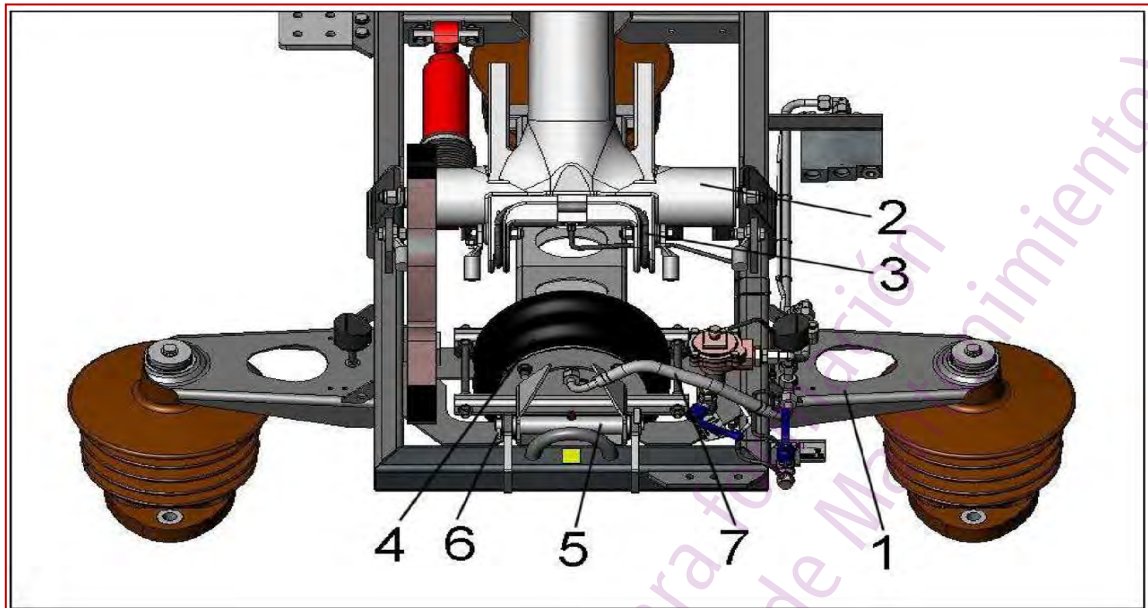


Figura 1-5. Ejemplo de elementos de Pantógrafo: (serie 253).

- 1 Bastidor de base
- 2 Brazo inferior
- 3 Cable metálico
- 4 Accionamiento de la elevación.
- 5 Eje de inserción
- 6 Pasador de aletas
- 7 Manguera de conducción de aire comprimido

Entre otros elementos que pueden disponer los pantógrafos, se encuentran los siguientes:

- **Sistemas de amortiguación:** Garantizan un buen comportamiento de contacto entre mesilla y catenaria, corrigiendo las pequeñas variaciones de altura entre ellos. En unos casos tienen amortiguadores entre el bastidor y el sistema articulado, pudiendo también disponer de amortiguadores ubicados entre las mesillas y el sistema articulado.
- **Detectores de desgaste o impacto de frotadores:** Son dispositivos automáticos de descenso, de efecto neumático e inmediato, en los que el pantógrafo baja automáticamente en caso de daños o desgaste excesivo en frotadores, evitando así, daños mayores en la catenaria y en el pantógrafo. Consiste en un tubo colocado en la mesilla, que contiene aire comprimido, en caso de rotura del tubo el aire comprimido se escapa y el accionamiento neumático del pantógrafo desciende por la pérdida de aire.
- **Válvula de doble etapa:** Se utilizan para conseguir la elevación o el descenso del pantógrafo en dos impulsos, uno inicial de elevada presión; y el segundo, más moderado, que facilita un contacto suave sobre el hilo de contacto o sobre su propio bastidor. Permiten la elevación y descenso de pantógrafo con independencia de la velocidad del vehículo.
- **Limitadores de altura:** Acota la altura de trabajo del pantógrafo a un valor regulable en el mecanismo de elevación, evitando la posible inutilización del pantógrafo por falta de contacto con la línea.

Debido a que las características mecánicas y geométricas de la catenaria, son distintas para los sistemas de electrificación de corriente continua y corriente alterna, es necesario que el pantógrafo se adapte a dichas diferencias, sobre todo en función de su geometría de mesilla y sus propiedades eléctricas (intensidad de trabajo, tensión, etc.). Existiendo pantógrafos para CC y para CA.

### 1.1.2 DERIVADORES O PARARRAYOS DE ALTA TENSIÓN

El pararrayos o derivador de alta tensión, es un elemento de protección específico diseñado para vehículos eléctricos, montados generalmente en el techo, próximos a los disyuntores o seccionadores de línea de techo, protegen de descargas atmosféricas, y de sobretensiones transitorias que puedan presentarse, tanto en la catenaria, como por la apertura del disyuntor principal o seccionadores.

Existen variantes para su funcionamiento, tanto en corriente continua como en corriente alterna. Debido a que están sometidos a condiciones climáticas extremas y vibraciones, deben cumplir exigentes requisitos en cuanto a la estabilidad térmica, mecánica y eléctrica. Además, en caso de actuar, debe ser resistente a la rotura, para garantizar la seguridad de las personas.



Figura 1-6. Pararrayos S/465.

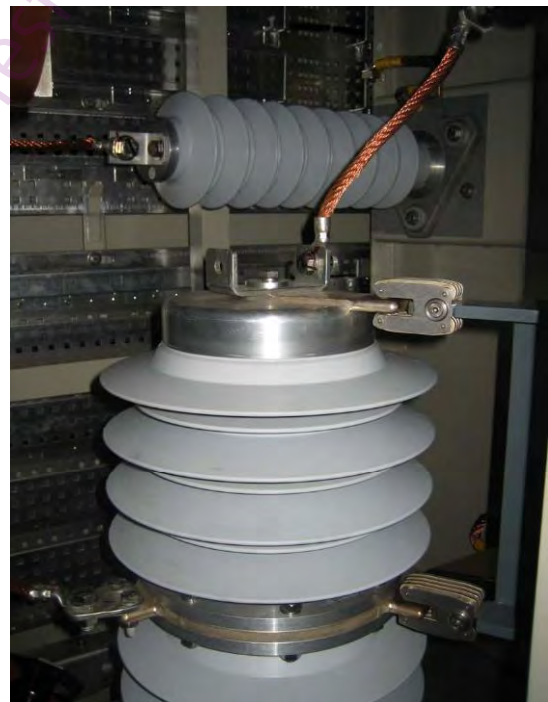


Figura 1-7. Pararrayos de C/A., derivador de alta tensión. S/130.

### 1.1.3 SECCIONADORES Y PUESTA A TIERRA

Los seccionadores son los elementos encargados de interrumpir la tensión en un circuito. El seccionador puede actuarse de forma manual o automáticamente mediante actuadores neumáticos o eléctricos. Esta exclusión puede deberse a una posible avería o inutilización en algún componente del vehículo, siendo necesario excluirlo para poder seguir prestando servicio en condiciones degradadas. Por ejemplo, seccionador de pantógrafo, seccionadores de puesta a tierra en disyuntor principales, seccionador de línea de techo, seccionador de motores de tracción, entre otros.

En vehículos aptos para circular por los dos tipos de sistemas de corriente, C.C y C.A, estos elementos, permiten aislar la parte del circuito de alta tensión que no permanezca operativa, impidiendo la alimentación eléctrica de los circuitos excluidos.

También se utilizan en determinadas operaciones para garantizar la seguridad de las personas, particularmente, en los vehículos eléctricos se utilizan para la puesta a tierra.



Figura 1-8. Seccionadores de pantógrafos

Con las diferentes llaves, se puede tener acceso a armarios de convertidores y cámara de alta para seccionamiento de pantógrafos y todas las operaciones de reparación y mantenimiento necesarias.

Para proporcionar seguridad y evitar cualquier riesgo de electrocución, las cámaras de alta tensión, los armarios o cofres de alta y media tensión, suelen estar cerrados mediante llaves. Para poder acceder a su interior, se proporciona en los vehículos eléctricos un proceso conocido como puesta a tierra. Consiste en obtener dichas llaves de una forma secuencial, mediante una serie de pasos que garantizan la falta de tensión en los emplazamientos correspondientes en el momento de abrirlos. Del mismo modo se evita una manipulación indebida, impidiendo la actuación de determinados elementos, como por ejemplo, el bloqueo neumático al sistema de elevación de pantógrafos.



Figura 1-9. Regleta o Caja de llaves.

### 1.1.4 DISYUNTOR PRINCIPAL

Es un interruptor, destinado a establecer y proteger el circuito de alta tensión en los vehículos eléctricos. Reacciona de forma muy rápida, interrumpiendo la conexión entre catenaria y vehículo, evitando posibles daños. Se conoce también como disyuntor extrarrápido.

De forma directa, la tensión captada de catenaria por medio del pantógrafo, se transmite al circuito principal de corriente del disyuntor principal. Esto se consigue mediante cables llamados pasamuros, que pasan al interior del vehículo por unos aislantes integrados en el techo de la caja.

Generalmente, los disyuntor principales están compuestos de los siguientes elementos:

- **Bastidor aislante.** Estructura que soporta los distintos componentes del disyuntor.
- **Circuito principal de corriente.** Consta de dos contactos, uno fijo y otro móvil llamados labio móvil y labio fijo.
- **Sistema de aproximación.** Mediante accionamientos de tipo neumático, eléctrico, electromagnético, etc.
- **Sistema de mantenimiento.** Proporciona la fijación de los contactos fijo y móvil.
- **Dispositivo de disparo.** Mediante resortes antagonistas, electromagnéticos...
- **Dispositivo de soplado.** La apertura con carga eléctrica en sus contactos, produce arco eléctrico que debe extinguirse, generalmente mediante soplado magnético y antenas de dispersión.

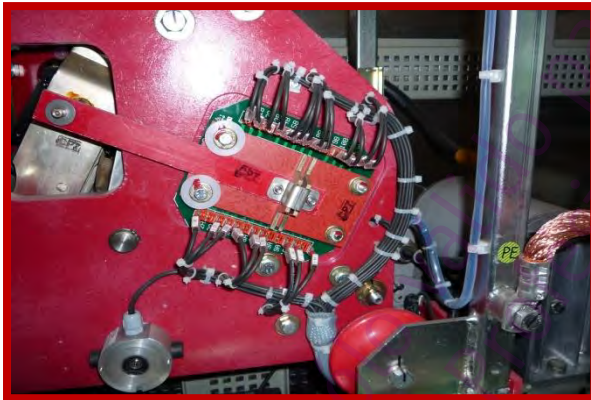


Figura 1-11. Disyuntor de la serie 253.

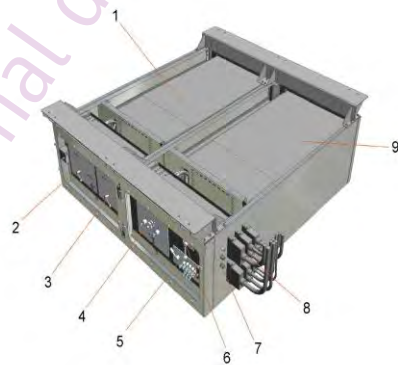


Figura 1-10. Disyuntor de Civia.

- 1 Disyuntor principal 2, tipo UR26
- 2 Fusible de desconexión del pantógrafo 1
- 3 Fusible de desconexión del pantógrafo 2
- 4 Fusible de desconexión de puesta a tierra
- 5 Caja de llaves
- 6 Fusible de desconexión neumática de los pantógrafos
- 7 Conexiones neumáticas
- 8 Conectores externos BT y HT
- 9 Disyuntor principal 1, tipo UR26

### 1.1.5 TRANSFORMADORES

Es el elemento de alta tensión, que permite el funcionamiento del vehículo en las líneas alimentadas tanto a tensión de 25 Kv 50 Hercios de corriente alterna monofásica como también en las de 3000 V. de corriente continua, reduciendo dicha tensión hasta los valores más adecuados para el funcionamiento del vehículo. Para ello, dispone de un devanado primario conectado a la toma de línea procedente del pantógrafo, y de varios devanados secundarios conectados a los distintos convertidores.



Figura 1-12. Transformador de 3000v. S/253.

Los transformadores de elevada potencia, están

dotados de un sistema de refrigeración para mejorar el rendimiento y evitar problemas en los devanados por exceso de temperatura. Para ello, el transformador se integra dentro de un esquema hidráulico que se compone normalmente de los siguientes elementos:

- **Cuba:** Contiene el aceite sintético donde se sumerge la parte activa del transformador, devanados de cobre pertenecientes al primario y secundarios arrollados en un núcleo de material ferromagnético, e inductancias de filtro y auxiliares.
- **Sistema de refrigeración:** Sirve para evacuar el calor producido en los devanados. Se compone de bombas que impulsan el aceite sintético por un circuito hidráulico a la unidad de refrigeración, y un vaso de expansión que permite la dilatación libre del aceite en el sistema.
- **Controladores:** Que permiten vigilar el buen funcionamiento del sistema, formado por presostatos, válvulas de seguridad, sondas de temperatura, indicadores de nivel en el vaso de expansión, relé Buchholz, etc., para evitar problemas de cortocircuitos, derivaciones, sobrepresión y sobretensión. La actuación de uno de estos elementos produce, según los casos, desde la limitación de potencia hasta la apertura del disyuntor.
- **Relé Buchholz:** Relé detector de gases procedentes del deterioro de las inductancias del transformador. Activa una alarma y se produce corte de alimentación.



Figura 1-13. Relé de Buchholz.

Cuando el vehículo dispone de dos transformadores, se dispone de un seccionador que permitiría aislar el transformador averiado trabajando con el otro en condiciones degradadas.

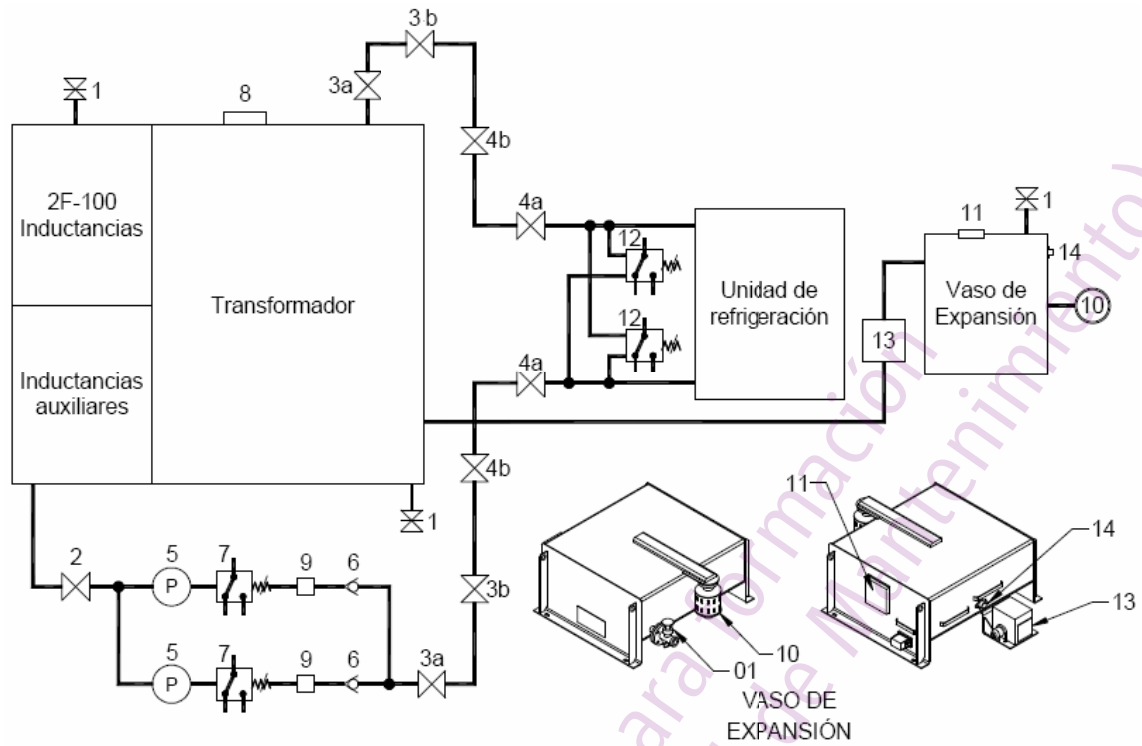


Figura 1-14. Esquema de transformador suministro 25000 V.

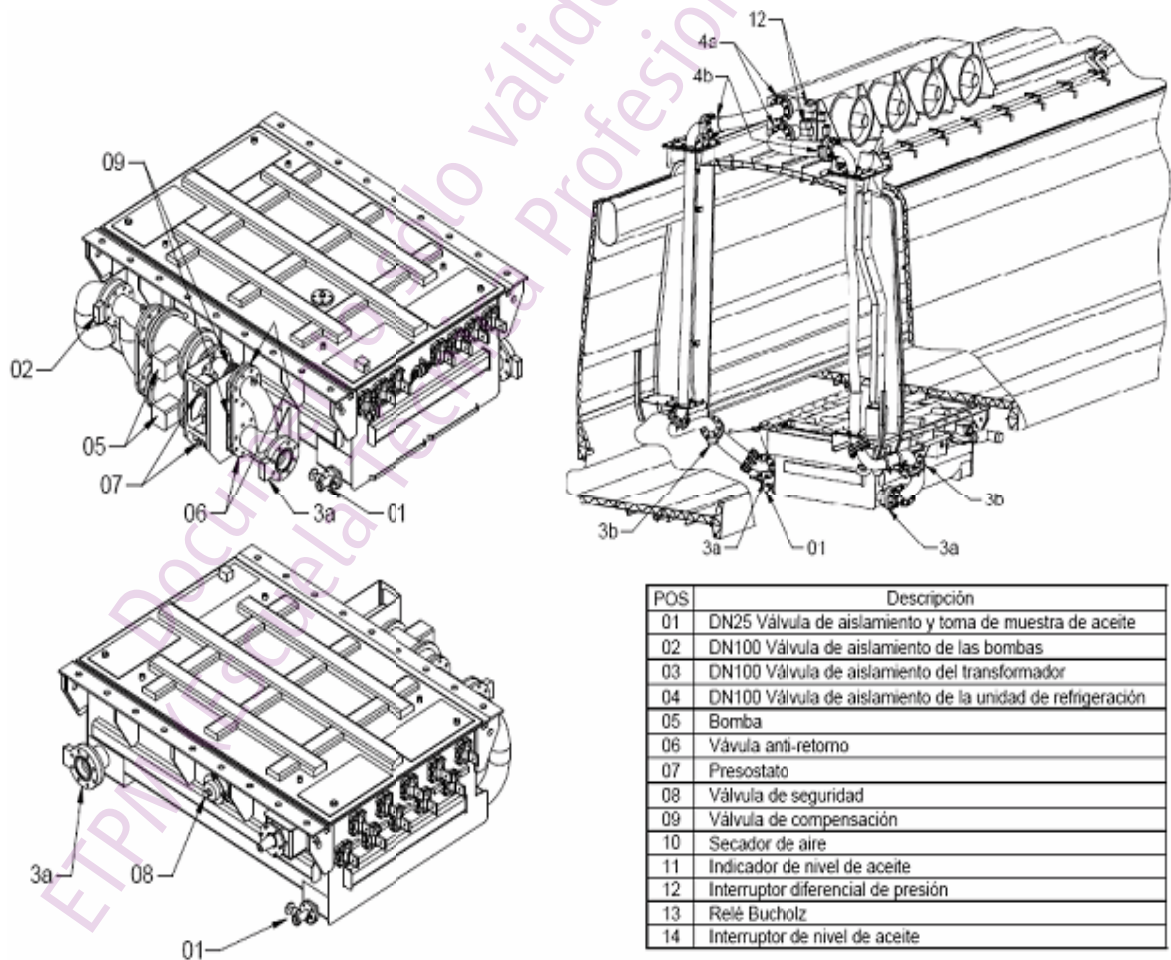


Figura 1-15. Transformador S/104. Suministro de línea de 25000 V C/A.

También podemos observar el diagrama de un transformador (tanque de inductancias) como subsistema de Alta Tensión de un vehículo con suministro de energía de 3000 V. de C/C.

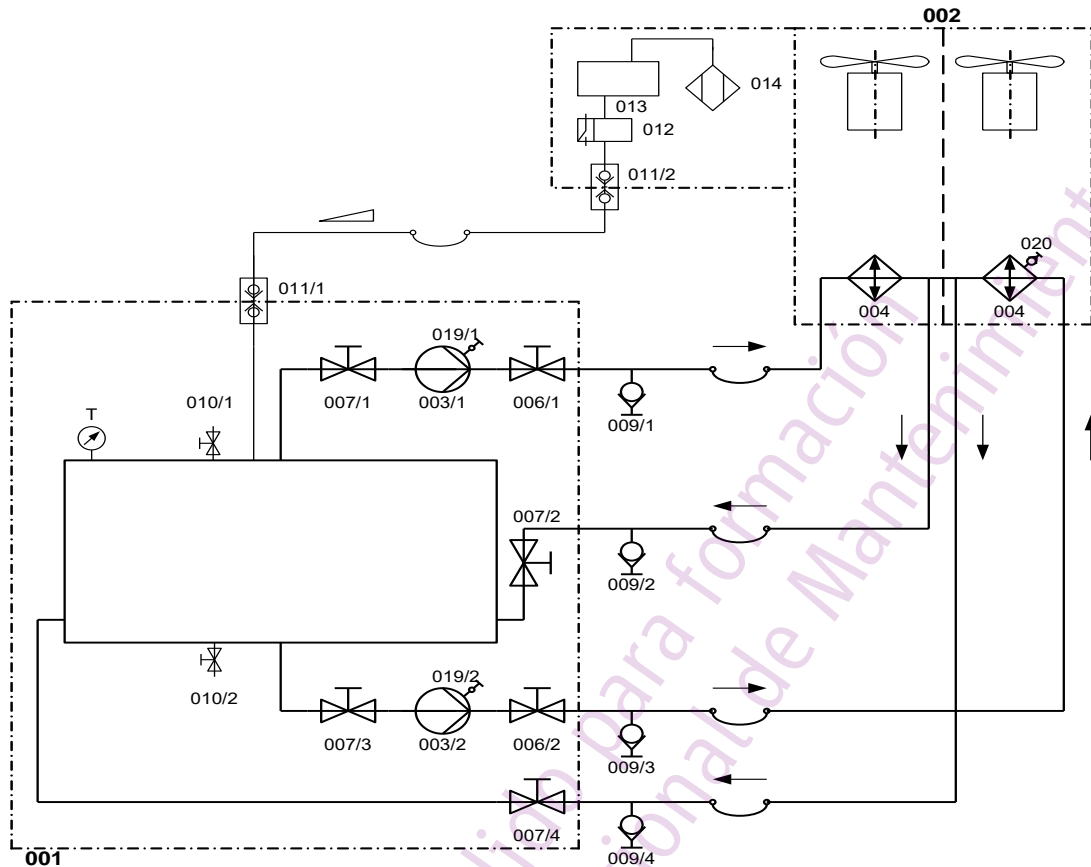


Figura 1-16. Esquema de transformador suministro 3000 V.

- 001 Tanque con elementos magnéticos
- 002 Torre de refrigeración
- 003/1,2 Bomba 1,2
- 004 Radiador
- 006 Válvula para bomba
- 007 Válvula de entrada /salida
- 009 Conexión para llenado
- 010 Válvula para vaciado
- 011 Conexión para tubo hacia vaso de expansión
- 012 Relé Buchholz
- 013 Vaso de expansión
- 014 Secador de aire
- 019 Tornillo para evacuación del aire de la bomba
- 020 Tornillo para evacuación del aire del radiador





*renfe*