

porcione corriente cuando un tren entre en el bucle.

El segmento de separación que hay en el bucle de retorno ha de alimentarse siempre con una polaridad determinada que fije el sentido de la marcha, independientemente de la polaridad variable de la tensión de tracción que hay fuera del bucle. Por lo tanto, lo más apropiado es la utilización de un circuito rectificador; lo mejor, un puente rectificador (ver capítulo 5). Con esta solución no hay ningún punto de paro determinado. La utilización de este circuito es apropiada para equipos en los cuales el bucle de retorno esté en una posición visible. La inversión de polos de la tensión de tracción puede llevarse a cabo en el momento deseado, aunque todos los vehículos con tomas de corriente deben encontrarse en el tramo de separación.

En diagonales y triángulos de vía hay los mismos problemas que con los bucles de retorno. En este caso, debido al tramado de las vías, las vías de distinta polaridad también se tocan forzosamente. Por ello se pueden trasladar las soluciones presentadas anteriormente a estas formas de vía. Las zonas de separación han de colocarse en las partes en diagonal, o en una del triángulo.

Sin embargo, no es necesario hacer el cambio de polaridad manualmente, ya que este proceso se puede automatizar con unas pocas piezas. Para ello sólo se necesita un relé biestable que se controla desde un punto de contacto. Las dos piezas están descritas en el capítulo 8; a los diodos ya nos hemos referido anteriormente. El mayor rendimiento se obtiene de un relé biestable polarizado. Es un tipo de relé que, según la polaridad de la tensión utilizada (+ o -), toma una u otra posición de reposo y la conserva incluso después de desconectar la tensión.

Tomando como base el circuito de la figura 6.17, se representa la versión ampliada en la figura 6.18. El relé se ha conectado como un inversor de polos. Para

establecer unas relaciones claras, se recomienda cambiar el sentido de la marcha sólo con el relé. Para ello sirven los pulsadores T1 y T2 en conexión con los diodos D1 y D2. El diodo D (tipo 3A) se encarga de que la tensión de tracción que haya en el relé siempre tenga la misma polaridad.

Para un entendimiento más claro del circuito, hay que suponer que el relé toma la posición indicada si la tensión que llega a la bobina es positiva, por lo tanto se activa el pulsador T1. El punto de contacto, que aquí se ha realizado con un interruptor *reed* (rojo) (ver capítulo 8), debe cumplir la misma función; con ello está fijado el sentido en el que hay que colocar el diodo D3.

Se puede ver directamente que a los contactos de conmutación (T1/D1, T2/D2, D3 interruptor *reed*) pueden añadirse otros en conexión paralela. Por lo tanto, es muy fácil ampliar el circuito con otros dispositivos automáticos de bucles de retorno.

El lugar de colocación del rectificador se puede elegir a voluntad, pero como muestra la figura 6.18, el montaje directo en una de las zonas de separación del bucle de retorno es muy práctico. Para este fin se utiliza un circuito en puente como el que muestra la figura 5.5 de la página 57.

## Resumen:

*Los interruptores mecánicos realizan funciones sencillas, pero la gran variedad de modelos hace difícil tener una perspectiva general. Son imprescindibles para los procesos de conmutación y la separación de los equipos en segmentos aislados eléctricamente. El problema del bucle de retorno puede solucionarse con la ayuda de interruptores y diodos, la elección del circuito apropiado debería llevarse a cabo teniendo en cuenta las respectivas condiciones de funcionamiento.*

# 7

## La práctica: primeros consejos

Al construir una instalación no mediará un ferrocarril, los trabajos eléctricos consisten en conectar los wires, los conductores, las reglas y todo lo demás de tal manera que haga todo funcionar como estaba previsto. El objetivo tiene que ser fácil y ha de carecer de contactos débiles, además de presentar una estructura clara para facilitar los cambios y reparaciones que hagan falta. Las siguientes páginas pretenden servir de ayuda en este tema.

### Las herramientas: el equipo básico

La mayor parte del trabajo consiste en cortar cables y conectarlos, más que en soldar o soldaduras. Muchos fabricantes quieren anclar a sus clientes la tarea de soldar, de modo que ofrecen conexiones con bombas. Sin embargo, el que haya recorrido alguna vez el soldador se dará cuenta rápidamente de que esto puede ahorrarse bastante espacio, tiempo y dinero.

Las herramientas de buena calidad no son baratas, pero son esenciales si se necesitan. Para los principiantes porque se manejan mejor. La figura 7.1 muestra un equipo básico. Aquí, de izquierda a derecha, podemos ver un escople para quitar el aislante de los extremos de los cables (también pueden servir unas tijeras muy desgas-

das, las hojas cortan las vainas que no llegan a cortar el hilo metálico, pero al el aislante); las pinzas y los alicates no hacen para sí veces (en parte de cortar y sostener el cable (ver cortadas), unos alicates de corte sólido de buena calidad a ver para cortar cables y alambres grueso en sitios de difícil acceso; además, los destornilladores no demasiado buenos: uno con una punta de 2,5 mm de ancho para bombas y otro de 5 mm para tornillos de acero.

En esta hay una lima plana y un cuchillo de bricolaje; pueden ser de ayuda para cortar material a la parte y para limpiar puntos de soldadura.

Aunque tenemos las herramientas para soldar. Para trabajo en la mayoría de ferrocarril, un soldador con una potencia de 20 W es el más adecuado. Un soldador de esta potencia es el suficiente mente pequeño y manejable para

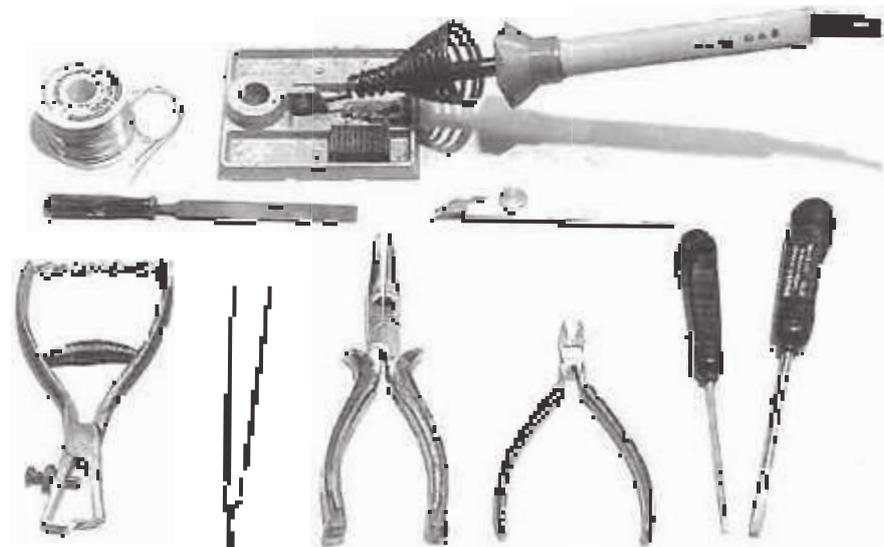


Figura 7.1 Este equipo básico de herramientas puede ser adquirido por 12.000 pesos.

realizar diligencias, pero también en la  
pequeñeces de calentamiento, por ejemplo, es  
suficiente rapidez. Para evitar desperdicios  
y quemaduras, es imprescindible un soporte  
adecuado.

Comprar sólo los conductores con punta de  
larga duración, que no precisa de cuidados  
especiales. Los soldadores con punta  
de cobre son más baratos, pero estas  
puntas tienden a desmenuillarse y necesi-  
tan un tratamiento especial después de  
cada uso. El material de soldadura en  
forma de alambre es una aleación de estaño  
y plomo; contiene un fundente que  
hace que, una vez fundido, quede muy li-  
cudo y pueda entrar en los orificios más  
pequeños. Utilizar sólo aleación de primer  
calidad (estando para electrónica en hilos  
de 1 mm de diámetro, que contienen  
un 60% de estaño y cuyas propiedades  
de fundido son especialmente buenas).

Al soldar los elementos con un  $\text{W}$ , los  
se calientan a unos  $300\text{ }^\circ\text{C}$  y forman  
con el estaño fundido una aleación su-  
perficial. Es decir, la soldadura penetra  
en su superficie formándose una unión  
insoluble.

Si una de las partes no alcanza la  
temperatura suficiente, la soldadura su-  
perficial no llega a producirse: entonces

se crean las juntas soldaduras frías  
en las que el contacto éstricto puede o  
no establecerse.

Se puede soldar el cobre —como  
con los otros— y las aleaciones con ésto,  
tales como el estaño y la alpaca, que son  
tales como material de contacto. El latón  
es una aleación de cobre y zinc; la alpa-  
ca contiene, además, un 5% de estaño  
en total. Al contrario de lo que se afir-  
ma en muchos catálogos de modo  
ferroviario, la conductividad del estaño es  
mayor que la de la alpaca; la ventaja de  
este último metal reside en que no se  
forma una capa en la superficie —es  
no en el cobre y el latón— que dificulta  
la conductividad. Por este motivo, las  
ruedas de las locomotoras también suelen  
estar maquinadas.

## El trato correcto de hilos y cables

Para las conexiones eléctricas sólo se  
debe utilizar cable trenzado. Éste se  
compone de hilos finos de cobre que se  
doblan fácilmente sin romperse. El al-  
ambre tiene una sección de entre  $0,25$  y  
 $0,25\text{ mm}^2$ ; los cables más gruesos son  
más difíciles de colocar y no son necesa-  
rios, excepto en el caso de barras co-  
lectoras.

Cuando se  
trate de hilo de cobre  
«triple» —como el  
que ofrece, por ejem-  
plo, Trix— hay que  
tener bastante cuidado,  
ya que después de do-  
blarlo varias veces ten-  
de a romperse y el ma-  
terial más débil que se  
rompe primero.

En la figura 72, a  
la derecha, se ven dife-  
rentes formas de pre-  
sentar el cable. Se  
necesita mucho ca-  
ble, lo más práctico es  
optar por los lámbo-  
res. No siempre se ne-

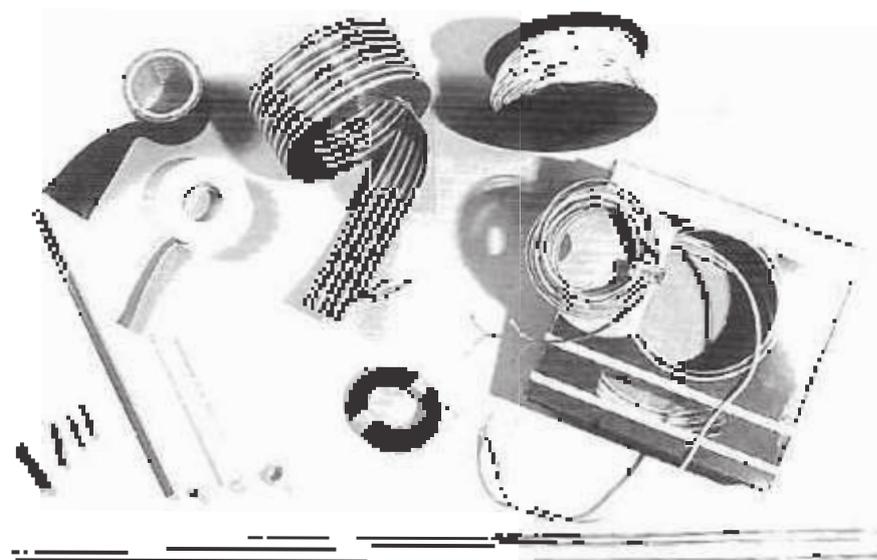


Figura 72. Cables (derecha) y material usado de frecuencia para el  
reparación de cables.

debería utilizarse el material «origina» en las tiendas de material electrónico se suele encontrar mejor calidad por menos dinero.

En los cables paralelos (figura 7.10) antes de ir al centro) hay varios conductores de colores e incluso disposiciones de forma paralela. A lo largo de trayecto del cable se pueden disponer conductores en un lado u el punto, así que se pueden conectar, por ejemplo, todas las agujas y zonas de separación de una vía de aparatos té sea con un solo cable paralelo; esto ahorra tiempo y permite una disposición más ordenada.

Siempre se debería seguir el mismo código de colores en todos los cables, así que esto facilita el trabajo. Así, por ejemplo, se pueden utilizar los siguientes colores: rojo/azul para la corriente de tracción, amarillo/verde para conectar las agujas con el punto de control y negro/blanco para la corriente de iluminación; rosa o naranja puede servir para la alimentación de las zonas de separación.

El hilo de acero bañado en cobre (figura 7.11) también es práctico: se puede utilizar como vía de alimentación cerca de varias lámparas o bombillas. Las cables de conexión de éstas se pueden se conectar fácilmente en cualquier punto del hilo (figura 7.11c) normal).



Figura 7.3. Quitar el aislamiento de un cable.

El hilo de plata sin aislamiento (0,8 mm) o un hilo de cobre bañado en plata que se suelda muy bien (ver figuras 21.13 y 21.14) es muy adecuado, por ejemplo, para conectarlos en la cámara de control del cuadro luminoso de control.

Muchas veces se tiene que colocar, posteriormente, un alfiler en las soldaduras y en el hilo de plata para evitar que se loquen directamente. En la figura 7.4, a la izquierda, se muestran diferentes tipos de boquillas aislantes. Estas boquillas o boquillas aislantes de diferentes diámetros. Las boquillas de goma son muy prácticas ya que se adaptan perfectamente a la forma de elemento que han de aislar y no se mueven.

Pasemos ahora a algunos trucos de soldado muy frecuentes. Primero se trata de extrañar el extremo de un cable trenzado, por ejemplo, para poder introducirlo con más facilidad en un borne de panel. Primero hay que quitar unos 5 mm de aislamiento. Luego se trenzan los hilos entre dos dedos para que no se desalga ninguno. Mientras tanto, el soldador se ha calentado. Se limpia el punto con una esponja u un pedo de lino o algodón para quitar cualquier resto de suciedad. Luego se suelda la punta con un cable de estaño. Lo hecho para cubrir el extremo de cable con estaño se necesitan tres manos: para el hilo, el estaño y el soldador. En este caso la

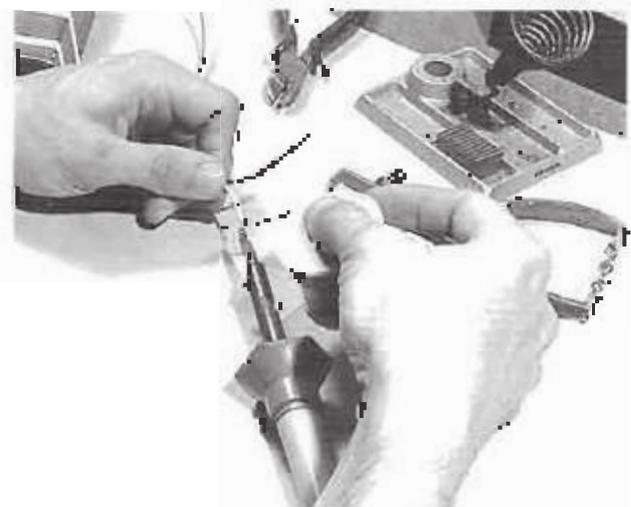


Figura 7.4. Aplicar el estaño al extremo de un cable.

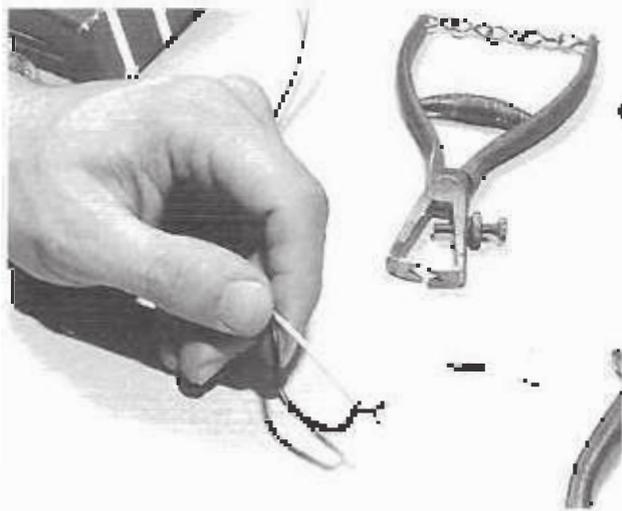


Figura 7.4. Mezclar los extremos de los cables.

mejor solución es separar el soldador en su soporte térmico y como muestra la figura 7.4. Primero calentamos el extremo de cada hilo tocando la punta del soldador recién cubierta de estaño. A cabo de dos o tres segundos acercamos el extremo del hilo de estaño de tal modo que toque que la punta del soldador y el extremo del cable al mismo tiempo, si la temperatura es correcta, el extremo absorbe el estaño fundido inmediatamente — como un paño seco a agua—. Retirar el cable del soldador, esperar unos segundos (sin soplar) y justificar el extremo ha sido esterilizado totalmente cubierto de estaño, no debe sobresalir ningún hilo.

Ahora unamos los cables. Se quitará de unos 10 a 15 mm de aislamiento de los extremos de ambos cables y se trenzarán. Luego los dos se trenzan entre sí (ver la figura 7.5 cómo trenzados a medias) y como se describe en el párrafo anterior, la unión se cubre de estaño, se deja enfriar y se verifica que no haya sido ganancia de hilos. Esta unión soporta una carga mecánica normal. En la figura 7.6 la unión se está envolviendo con cinta aislante. Si se utiliza tubo aislante, no hay que olvidarse de colocarlo sobre uno de los dos cables antes de soldar.

Una tarea importante es conectar, por ejemplo, la parte inferior del cuadro luminoso de maniobras, muchas veces

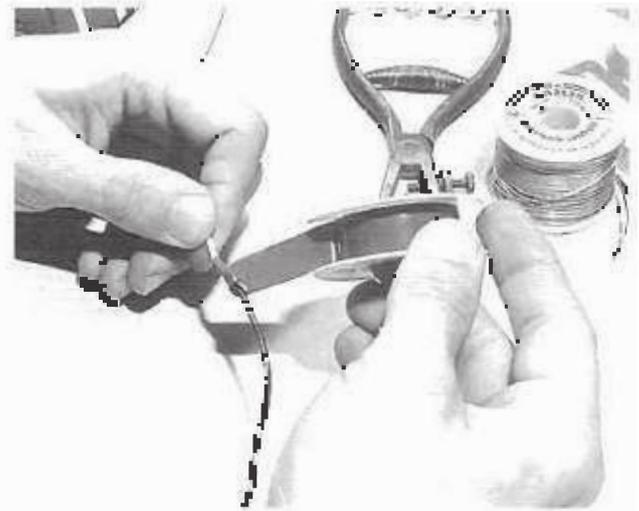


Figura 7.5. Atar los extremos soldados.

algunas de las sondas tienen pequeñas conchetas para medir el estado de conexión.

Antes de hacer caliente el mismo de modo la concheta y el extremo de cable ya estañado con la punta del soldador (un paño ligeramente estañado); acercar el extremo del hilo de estaño, que debería tocar simultáneamente el extremo del cable, la concheta y la punta de soldadura. Una vez alcanzada la temperatura adecuada, el estaño se condensa alrededor de la concheta y del extremo de cable como si de una gota de cera se tratara; retirar el soldador y capturar un

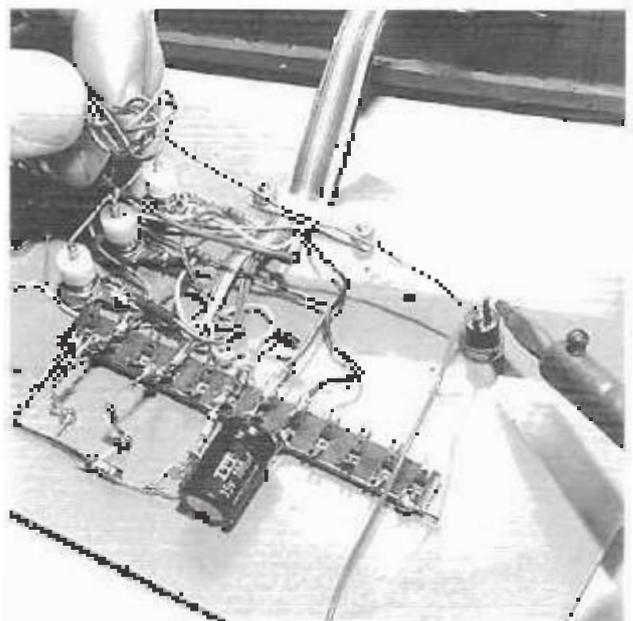


Figura 7.6. Conectando un parámetro.

momento. Una soldadura correcta creará una superficie lisa y brillante, como se vea.

Cuando se suelda, hay que prestar atención. Si se calienta demasiado, el fundente se evapora y el estaño se vuelve demasiado espeso. Al retirar la punta, la soldadura no tendrá forma de gota, sino que tendrá un extremo puntiagudo, como una espina, y la superficie será mate.

Los restos de estaño viejo y no funcionan tan bien y no se pueden volver a utilizar —sueñe causar soldaduras más—. Por lo que hay que calentarlos y quitarlos por completo, por ejemplo, al desoldar la placa en cuestión.

Un trabajo que requiere especial habilidad es soldar cable estañado en rai-les.

Hasta que los rai-les, que son relativamente gruesos, alcancen la temperatura necesaria, hay que calentarlos durante bastante tiempo, pero sin que se fundan las traviesas de plástico. El estaño recién fundido aumenta la superficie de contacto entre la punta del soldador y el rail y permite así una mejor transmisión del calor.

Fijándose bien, se puede ver claramente el momento en que el estaño fluye uniformemente sobre el rail y ya no cae de él en pequeñas gotas. Entonces hay que retirar el soldador inmediatamente.

En la figura 7.8, abajo, los cables están soldados por debajo de los rai-les; uno en el extremo de conexión a la siguiente vía. Éste, entre dos traviesas después de cortar la unión de plástico entre ellas con un cutter. Primero hay que dejar caer una diminuta gota de estaño en el rail; así, resulta más fácil soldar el cable. Si los rai-les ya están perforados, los cables sólo se pueden soldar desde la zona (figura 7.8 arriba). En este caso, también podemos extraer soldaduras buenas, que quedan mejor selladas con un estañado previo realizado por dedicación. En las vías de escala A,

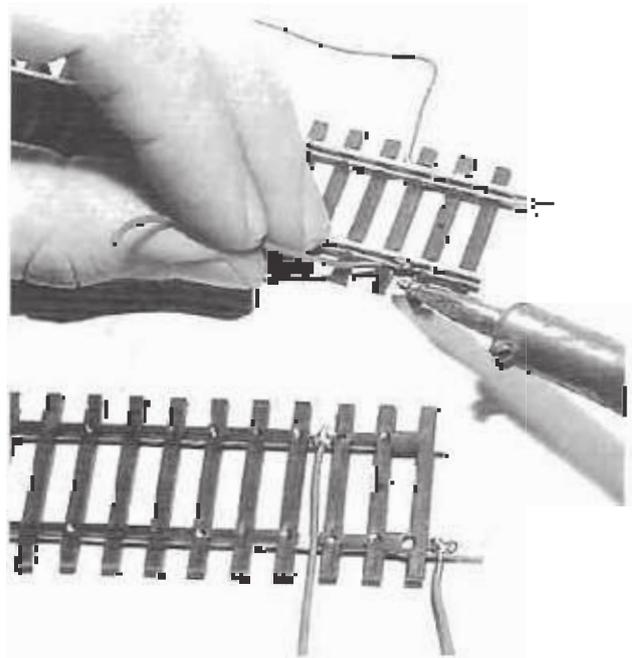


Figura 7.8. Conectar cables a los rai-les.

muchas veces hay que alisar la superficie de los rai-les con una lima. En los rai-les de escala K de Märklin sólo se puede soldar en los ojos de los extremos de conexión entre vías, ya que los propios rai-les son de aluminio, y no se pueden soldar.

## ¿Dónde colocar los diferentes elementos?

Muchas de las conexiones presentadas en este libro incorporan diodos, resistencias y condensadores. Estos elementos se tienen que colocar con cuidado y oportunamente para asegurar buenas conexiones eléctricas y evitar cortocircuitos. Una particularidad son las barras de soldadura, como en la figura 11.14 (parte trasera del cuadro) en caso de multiplicar. También se pueden utilizar rosetas, como muestra la conexión del rectificador de onda completa de la figura 7.9.

Muy ventajoso es el uso de las placas de pistas de conductores, que se emplean mucho en electrónica. Se suelen ofrecer en formato de tarjeta europea (100 mm x 110 mm) y disponen de 39 pistas de cobre separadas.

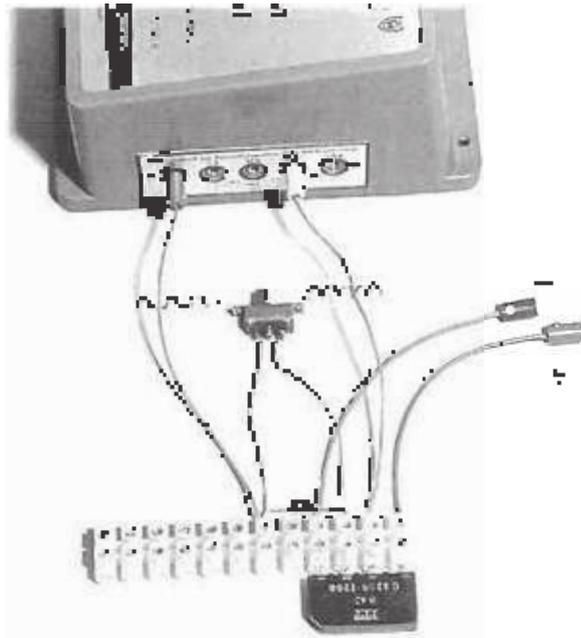


Figura 7.13 La conexión de la figura 9.28 con una regleta.

Las placas se colocan en el lado opuesto al de las pistas y sus patillas o hilos de conexión se introducen en las perforaciones —que hay cada 2.5 mm— de tal manera que las pistas de cobre en el otro lado establezcan el mayor número posible de conexiones necesarias. Luego hay que soldar cada patilla con la pista correspondiente, cuidando de que no se hagan conexiones indeseables entre pistas vecinas por estar sobrando. El tamaño de los pines se puede reducir a las necesidades deseadas sellándolas.

## El cableado: orden en vez de caos

No es aconsejable tener los cables siguiendo el principio de utilizar la distancia más corta entre dos puntos. Entonces, se trataría una especie de maraña imposible de desmenuar. En la figura 7.10 se muestra una parte de lado inferior de una instalación con varias formas de disponer los cables, adecuadamente.

Arriba vemos el alambre de acero inoxidable —del que va se ha hablado— (para colocarlo, atornillar con tornillos bajados en la madera, meter el alambre y soldarlo), que sirve de barra colectora para la alimentación de corriente. En el lugar en que se requiere se pueden conectar cables que llevan al consumidor —una bomba o a la conexión control de un relé— las demás conexiones han de ir a panel de control o a puntos de contacto en las vías. En el caso de relés y agujeros apropiados colocar una regleta de tres bornes o de terminales para soldar antes de que «desaparezcan» entre los demás cables. Así, se puede comprobar fácilmente si se accionan p. badenos o puntos de contacto a través de rotulación llega realmente a las bobinas; además, esto facilita un eventual desmontaje. Los cables cruzados en los

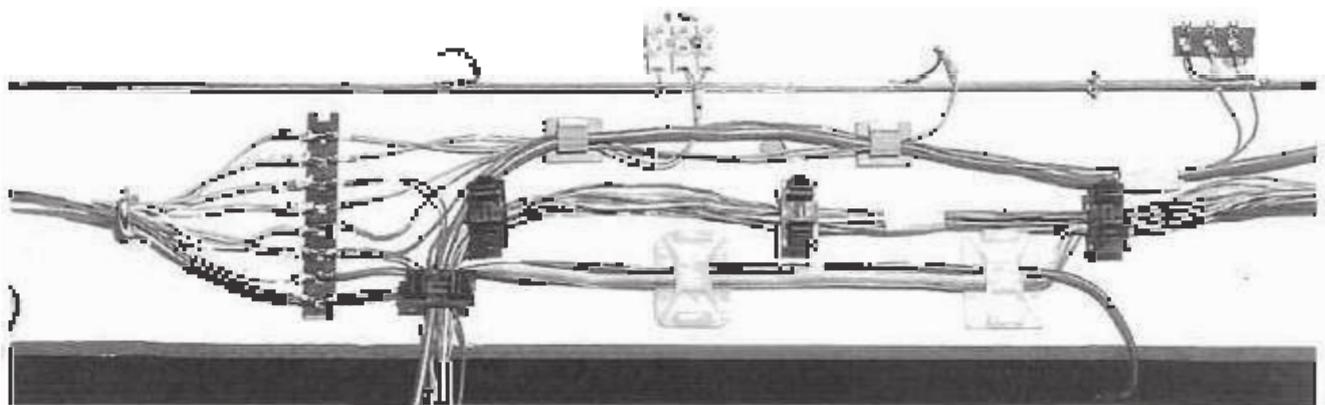


Figura 7.14 Conexión ordenada de cables.



Figura 7.10 Herramientas de conexión eléctrica.

Los terminales de los elementos se unen en grupos y se fijan en un trayecto rectilíneo a cuadros de no obras. Varios cables se pueden juntar fácilmente con bocanillas de antes de gran diámetro para fijar el tramo, así como clips autoadhesivos o con tornillos para cables. Estas ideas se encuentran entre las condiciones que ofrecen el ejemplo Bucci y Amici, pero también se pueden comprar en tiendas de material electrónico. Al montar los cables, el obrero muere tiempo en caso de averías: no puede trabajar con boquillas, tornillos o cables, por ejemplo, por Bressy que se colocan a un lado y el del de cada cable. También se puede recurrir al cinta aislante rotunda con hilografía (un poco queda menos estética).

Después de reunir todos los cables de una parte de la instalación, se debe de poder pasar todos los cables por una regleta de terminales para soldar (ver figura 7.10) que puede tener de cinco a veinte pares para los dos o tres metros de trazo hasta el panel de control.

Lo mismo vale para el otro extremo, es decir, antes de montar antes del panel de control. Además, esto tiene la ventaja de que todos los cables para el mismo interruptor tienen la misma longitud.

No instale todas las conexiones al mismo tiempo esperando que luego ya

funcionará todo. Se levantó una conexión y la búsqueda de posibles fallos se desespera. De hecho, colocar los cables uno por uno, comprobar la función de elemento conectado (por ejemplo, lámpara, etc.) y volver a conectar todo lo anteriormente conectado entonces, y sólo entonces, se puede seguir con más conexiones nuevas. Es la única forma de detectar y reparar los errores enseguida.

## Conectar y desconectar fácilmente

Es posible que la instalación se pueda desmontar en varias piezas, el cableado también se puede desconectar en los sitios adecuados. Esto se puede conseguir con la ayuda de conexiones más o menos extraíbles. Los conectivos no tienen que ser muy compactos —como el suero de los expresos en electrónica— para el mecanismo de rotación es más importante fijarse en el precio y en la facilidad de soldado.

Las condiciones por tipo de herramienta, de hasta 30 pines, son muy recomendables, si siquiera de primer punto que evitar problemas en soldar la gran cantidad de cables. Si se trata de pines de placa también a ver, es económica regleta de pines.

Para más ya a las clavijas y tornillos: así en electrónica y en la técnica de medida se aproxima el diámetro de 4 mm, en el mecanismo ferroviario 2,8 mm es lo usual. Los pines correspondientes se venden en tiendas de material electrónico con el número de mi-

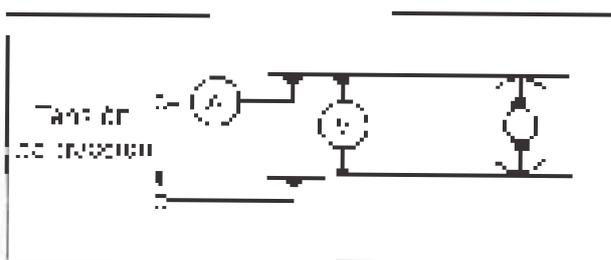


Figura 7.12 Así se puede conectar de un interruptor de conexión a la lámpara entre los pines.

hierchukas para la toma de corrientes baratas para agujetas).

Para comprobar el buen funcionamiento de una nueva conexión, para hacer mediciones o para buscar averías, se ha de tener un medio de poder establecer conexiones eléctricas provisionales fáciles y eficientes. La figura 7.11 muestra diferentes posibilidades para el ejemplo de medir la tensión de los rails. Abajo se ven las comunes puntas de prueba con pinzas que se conectan con cables de 1 mm; a la izquierda, pequeñas puntas de prueba; las varillas de arriba son barras para comprobar las bobinas. También son muy prácticas los cables a cuyos extremos se les soldado pinzas como lo figura 7.11 venimos, las cuales se manejan de forma cómoda a las pinzas de la boca.

## Técnica de medición: lo que se necesita y lo que hay que saber

Cuando nos acercamos más a fondo con la construcción del modelismo ferroviario, a menudo tendremos que necesitar saber cuánta corriente sale del transformador con cuánta tensión en una determinada bobina de locomotora o cuánta resistencia tiene la bobina de un relé. En todo caso, como en muchos otros, el experimento realizado por uno mismo es el mejor camino para aprender o comprender.

Para ello es preciso un aparato de medición adecuado para cada caso. Generalmente, un multímetro es el instrumento de precisión, pero ha de saber cómo de medir las

corrientes y tensiones continuas y alternas, y también las resistencias que se nos presentan en las maquetas de ferrocarril.

Hay que recordar el aparato de forma distinta según si se trata de medir la tensión o la corriente. Esta última ha de circular por el aparato para poder medirla, mientras que en el caso de la tensión se conecta el aparato al transformador, a la bobina o a los rails; así, se mide la tensión entre ambos puntos.

A medir la corriente, lo que circula a través del multímetro puede estar ser notable; para esta medición suele haber bornes de conexión propios. En todos los aparatos hay que presenciar si se mide valores continuos o alternos, ya que el principio por el cual funciona la medición es distinto. Para medir la resistencia el elemento que hay que comprobar (por ejemplo, una bobina) se conecta a una batería incorporada al multímetro a un nivel de corriente que llueve (ver de Ohm) es, averiguando el valor de resistencia.

Los multímetros se dividen en analógicos con aguja móvil y escala numérica, y digitales en los que el resultado se

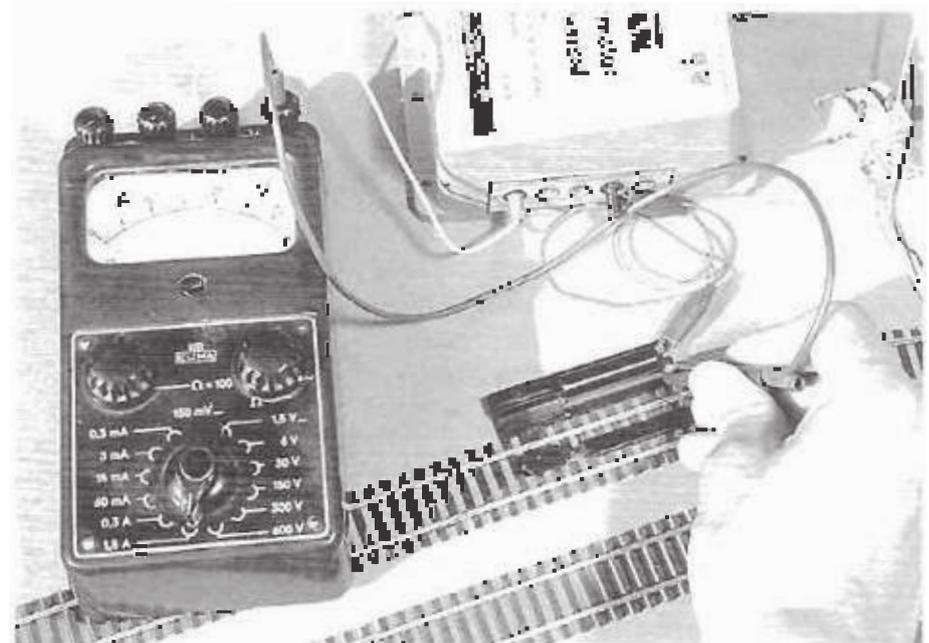


Figura 7.13 Medición de la corriente en la corriente de un relé de desactivación de un modelo de ferrocarril analógico.

no ca en síñas, como si de una calculadora de bolsillo se tratara.

Los multímetros analógicos sencillos para bricolaje son más baratos que los digitales, pero también resulta más difícil de leer el resultado. Para medir tensiones continuas con polaridad invertida simplemente que invertir también las varillas de medición; con polarización equivocada, la aguja se desvía al extremo izquierdo (se comienza de forma similar que al de un motor de coque). Los aparatos digitales son más fáciles de manejar y de leer. La complicada electrónica de los multímetros digitales ha progresado al modo que actualmente cada vez más se puede adquirir un buen aparato por poco dinero.

Para el principiante, el movimiento de la aguja del multímetro analógico es más fácil de comprender; aunque las varillas no tengan un contacto perfecto con el elemento que se quiere medir, la aguja sufre un valor aproximadamente correcto gracias a su inercia. El aparato digital, en cambio, ya sólo nos ofrece una indicación enalada de cifras en este caso. Sin embargo, después de bastante tiempo y de reunir mucha experiencia, ó finalmente alguien cambie a su multímetro digital por uno analógico.

## **Pasemos ya a la práctica: cómo construirse uno mismo un comprobador de tensión**

En el caso de la tensión no suele ser necesario saber el valor exacto, generalmente basta con comprobar si hay o no



Figura 7.10. Un tipo de comprobador de un multímetro digital. La tensión de la pila se muestra en el display de pantalla de una aguja.

tensión entre dos secciones. Para esto es suficiente un comprobador de tensión sencillo, que uno mismo se puede construir en casa con dos diodos luminosos y una resistencia.

La figura 7.10 muestra el esquema de conexiones. Un diodo luminoso rojo y uno verde se han de conectar en antiparalelo, añadiendo una resistencia limitadora común al ánodo. Con tensión continua positiva se enciende el rojo, si es negativa, el verde, con tensión alterna se encienden ambos. Para verificar si los diodos están soldados correctamente, lo mejor es probar el instrumento en una pila o en un panel de control con corriente continua de baja tensión. La conexión antiparalela impide también que se sobrepase la alta tensión de bloqueo de 5 V; de ahí que se deben realizar pruebas, con cuidado—antes de utilizarlo normalmente.

La figura 7.11 muestra cómo llevar el circuito a la práctica: cabe en un trocito de plástico transparente, en vez de la mina hay una varilla de latón de 2 mm de diámetro con un extremo puntiagudo que nos servirá como punto



Figura 7.13 Un comprobador de tensión fabricado usando un cable de electrodo vacío.

de prueba. El otro contacto se establece mediante un cable con diámetro pequeño.

Para conseguir un instrumento tan compacto y estable como el mostrado en la figura 7.13, se necesita la siguiente habilidad con el soldador. Es aquí cómo proceder: estar firmemente los hilos de conexión, agarrar un cable (por ejemplo, con una pizca de alfiler) y dejarlo en la mesa; luego el soldador, acabado de esta forma, en una mano y el otro diodo, en la otra, tantea y se mueven puesto todas las patillas en la posición adecuada; soldarlas. Ahora se agarran los dos diodos unidos con la pizca, se suelda a resistencia y luego los hilos de conexión.

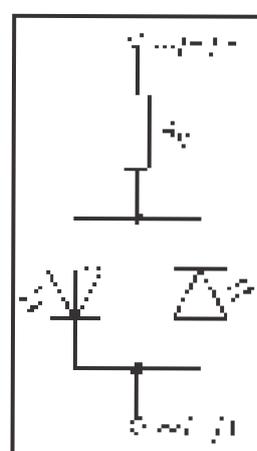


Figura 7.14 Esquema de conexión del comprobador de tensión.

Con la ayuda de una pila de 4,5 o 9 V, el comprobador de tensión se convierte en un detector de corriente que indica si existe una corriente eléctrica entre dos puntos.

## Resumen:

Los trabajos de cableado en una instalación de boquillas de tomacorriente suelen ser bastante voluminosos y requieren un equipamiento básico de herramientas de calidad; además, es preciso proceder de forma ordenada y metódica al colocar los diferentes cables de conexión. El manejo correcto del soldador y el empleo adecuado de buen material garantizan un funcionamiento silencioso y tranquilo. Para detectar errores en las conexiones, los aparatos de medición y comprobación son imprescindibles, aunque en general basta con un simple comprobador de tensión y de continuidad. El multímetro nos brinda más posibilidades, y utilizarlo es la mejor manera de llegar a conocer y comprender la electricidad.

# 8

## Los elementos para el funcionamiento automático

Para el funcionamiento automático de la instalación, dos elementos son de especial importancia: por un lado, el relé, un conmutador que reacciona a la corriente eléctrica. El flujo de esta corriente de control es accionado por un tren en marcha, o sea, éste la activa en ciertos puntos mediante contactos de conmutación especiales en la vía. Este capítulo se ocupará de los relés y los puntos de contacto.

### Así funciona un relé

En la época de los carruajes de caballos, el *relais* era un lugar donde se cambiaban los caballos cansados por otros

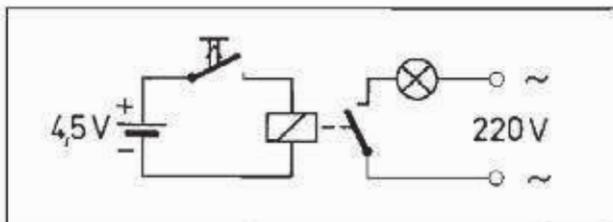


Figura 8.1 Bombilla alimentada por la red a 220 V conmutada por un relé.

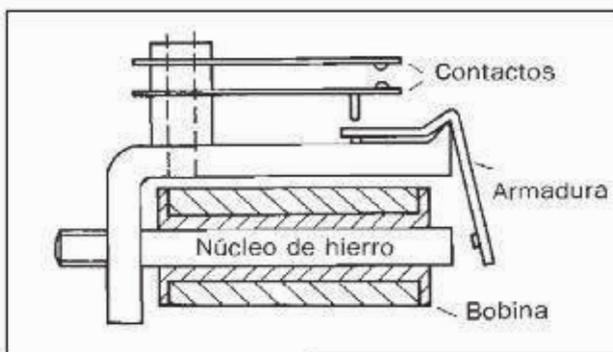


Figura 8.2 Relé monoestable con armadura angular.

que no lo estuvieran. En los primeros tiempos de la telegrafía, se adoptó este nombre para el dispositivo eléctrico en cuestión, ya que con él se podía «refrescar», es decir, amplificar, las señales y encaminarlas para la próxima etapa.

En el relé, la corriente de conmutación crea un campo magnético en una bobina; este campo atrae una pieza de hierro móvil, la ya conocida armadura, abriendo o cerrando, así, contactos. No existe conexión eléctrica alguna entre el circuito de conmutación o control y el circuito que abre o cierra el relé. En la figura 8.1 un relé conecta una bombilla a la red a 220 V. La corriente de conmutación proviene de una batería. El pulsador no entra en ningún caso en contacto con la tensión de 220 V.

La inmensa mayoría de relés atrae la armadura mientras fluya la corriente de conmutación. Al interrumpirse ésta, un muelle coloca la armadura en su posición original. Este tipo de funcionamiento se llama monoestable.

La estructura de un relé de este tipo se puede ver en la figura 8.2.

La figura 8.3 muestra diferentes posibilidades de contacto. El contacto de trabajo es producido por la armadura en posición atraída. El contacto de reposo, en cambio, está interrumpido cuando la armadura se halla en esta posición. El contacto inversor es una combinación de ambos. A los diferentes contactos inversores se les suele designar con letras minúsculas.

La mayoría de relés tienen contactos inversores, con los que se tiene a dis-

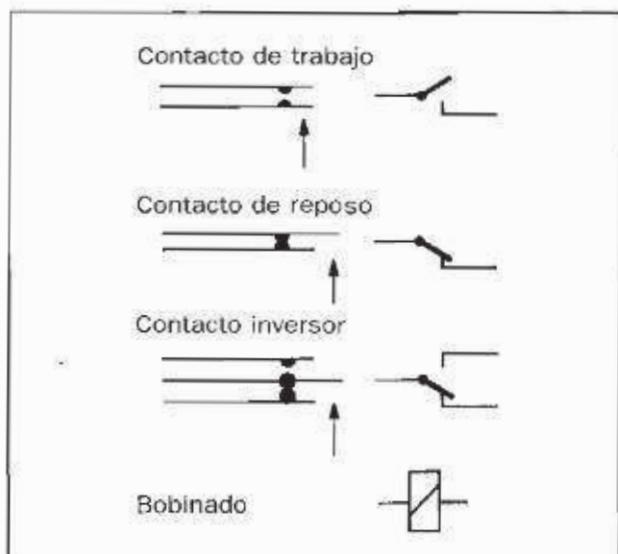


Figura 8.3 Contactos de relé y sus símbolos.

posición el contacto de reposo o el de trabajo según las necesidades. A menudo, se encuentran incluso varios contactos inversores. Entonces, se habla de un contacto inversor de, por ejemplo, tripolar; en tablas y catálogos, se suele encontrar la abreviatura «3UM».

Entre los complementos que ofrecen los fabricantes de maquetas de ferrocarril no hay relés monoestables; resulta que una locomotora sólo puede dar un breve impulso de corriente de conmutación, pero éste ha de conseguir que algo permanezca conectado durante cierto espacio de tiempo. Por otro lado, con los habituales puntos de contacto en las vías, las agujas y señales se pueden conmutar directamente. Sin embargo, el valor de corriente de los impulsos de conmutación a través de puntos de contacto es limitado; más adelante veremos que, en este contexto, los relés monoestables nos pueden servir de ayuda.

A diferencia de la alimentación de elementos magnéticos realizada por los transformadores del modelismo ferroviario, la gran mayoría de relés funcionan con corriente continua: son más pequeños y más baratos, y la conmutación es más fiable. La corriente en la bobina suele ser de entre 20 y 100 mA; puede

fluir de forma permanente sin que se produzcan desperfectos. Contrariamente a lo que ocurre en el caso del accionamiento de las agujas con dos bobinas, en los relés el movimiento de la armadura es mínimo, tal vez 1 mm: la fuerza que se crea es ínfima.

Si se conecta un relé de este tipo a una tensión alterna, se suele oír un zumbido agudo; el campo magnético y la fuerza no son constantes y la armadura cambia de posición 100 veces por segundo, dada su mínima inercia mecánica. Este problema se puede solucionar sencillamente empleando un rectificador, que nos permite alimentar un relé a tensión continua de 12 V desde el transformador.

Al escoger un relé en una tienda de material electrónico o en un catálogo, no sólo hay que fijarse en la tensión de la bobina y en el número de contactos inversores, sino también en la corriente de conmutación admisible; ésta es la corriente que fluye durante la conexión. Si se quiere conectar y desconectar sectores de vía (en los que ocasionalmente también fluye corriente cortocircuitada), o si se quiere mover varias agujas a la vez, la corriente de conmutación nominal no debe ser inferior a 2 A.

En un catálogo se encuentra, por ejemplo, lo siguiente:

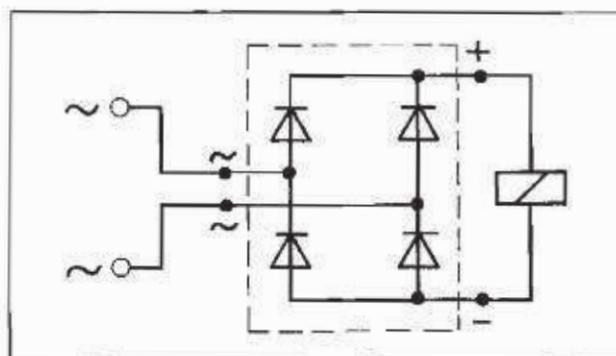


Figura 8.4 Un relé de tensión continua, conectado a la salida de corriente alterna (corriente de iluminación) del transformador.

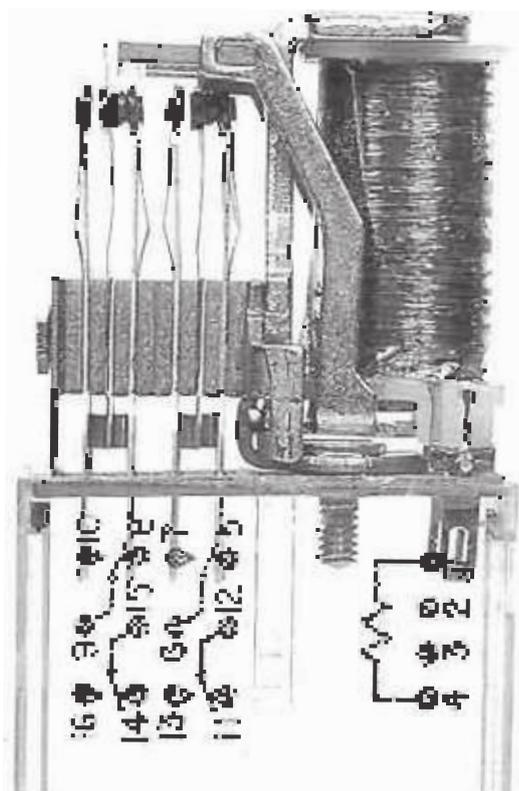


Figura 8.5. Interior de un relé de una bobina con varios contactos.

Relé pequeño 12 V DC, 4 con 250 V/2.5 A.

Esto significa que la tensión de la bobina es de 12 V y continua (DC) es la corriente que ingresa para controlarla, AC para controlarla a tierra, que el relé tiene 4 contactos inversores que éstos soportan una tensión de hasta 250 V y que el corriente admisible es de 2.5 A. Otro ejemplo:

12 V, 2a 2r, 250 V/2.0 A.

La corriente se conmuta en el relé puede ser a tierra: dispone de dos contactos de trabajo y de reposo, respectivamente. Muchas veces también se indica la resistencia de la bobina en ohms, se puede calcular fácilmente la corriente de la bobina.

Las conexiones se pueden hacer en el mismo relé ya que pueden llegar a ser muchos: en el caso de uno de cuatro contactos inversores, por ejemplo son 14: dos para la bobina y tres para

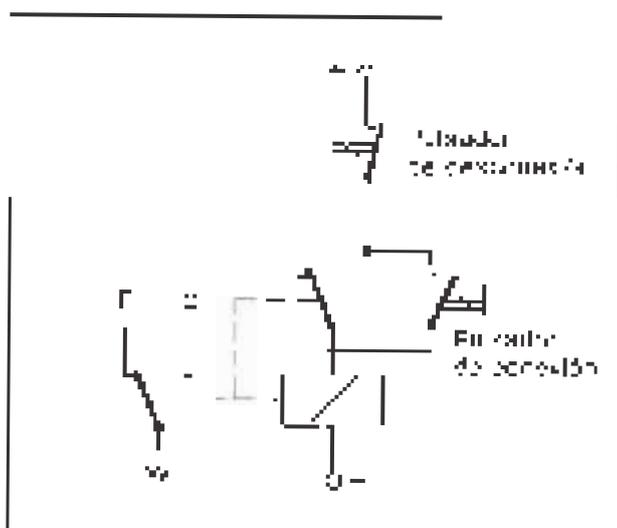


Figura 8.6. El dispositivo de una bobina se conecta como se muestra en el diagrama.

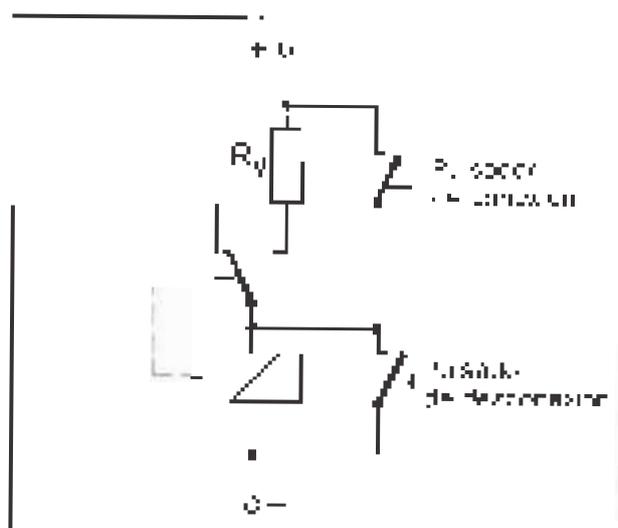


Figura 8.7. Con dos pulsadores o cuatro de contacto se usan los contactos de reposo y de trabajo.

cada contacto inversor. Al lado de dichas indicaciones se lee a menudo *bottom view*, o sea, visto desde abajo. Si no se indican las conexiones, nos ayuda la medición de la resistencia con el multímetro o el uso de un comprobador de continuidad (ver capítulo 7). Todos los contactos inversores están abiertos, o bien cerrados sin presentar resistencia, mientras que entre las conexiones de la bobina se mide una resistencia de entre 100 y 500  $\Omega$ . Una vez detectados los contactos de la bobina, ésta se pone en tensión; entonces, se puede averiguar qué conexiones están abiertas y cuáles están cerradas.

## Mantener la armadura en su posición

Con un simple truco de conmutación se puede conseguir que la armadura se mantenga en su posición de forma permanente, después de un breve impulso recibido desde un pulsador o un punto de contacto. Sólo se necesita un contacto de trabajo libre, cerrado por el impulso de la corriente de la bobina, que se ha de conectar en paralelo con el pulsador o el punto de contacto. Entonces, la corriente de la bobina sigue fluyendo a través del contacto de trabajo, aunque ya no llegue el impulso desde el pulsador o punto de contacto.

Para desconectar, sólo se precisa una breve interrupción del circuito: el relé se abre y no se vuelve a cerrar. En vez del contacto de reposo de la figura 8.6 también se puede utilizar el de otro relé.

En otra variante, el dispositivo de autorretención se conecta y desconecta con dos contactos de trabajo diferentes sin que haga falta un segundo relé. En este caso, con un puente a través del segundo contacto de trabajo se sortea la bobina, con lo que ésta ya no atrae la armadura (figura 8.7). Sin embargo, entonces tiene que haber una resistencia

limitadora entre la bobina y la tensión de alimentación para limitar la corriente de cortocircuito; si ésta es demasiado grande, la bobina ya no será capaz de atraer la armadura.

Por regla general, la resistencia limitadora  $R_V$  no debería superar una quinta parte de la resistencia de la bobina. Conectando de forma adecuada el pulsador de conexión, la resistencia limitadora se sortea durante la conexión, por lo que entonces fluye la corriente total por la bobina.

La resistencia limitadora no necesita estar preparada para tolerar potencias muy altas: cortocircuitando la bobina con el pulsador de desconexión, se abre el contacto de trabajo y se interrumpe el circuito.

Se pueden presentar problemas con este tipo de relés si se mueven agujas con el mismo transformador; entonces puede producirse una pérdida de tensión tan importante que el relé desconecta indebidamente.

En este caso hay que utilizar un transformador propio para los dispositivos de accionamiento con dos bobinas o un circuito de protección de agujas (ver figura 5.13).

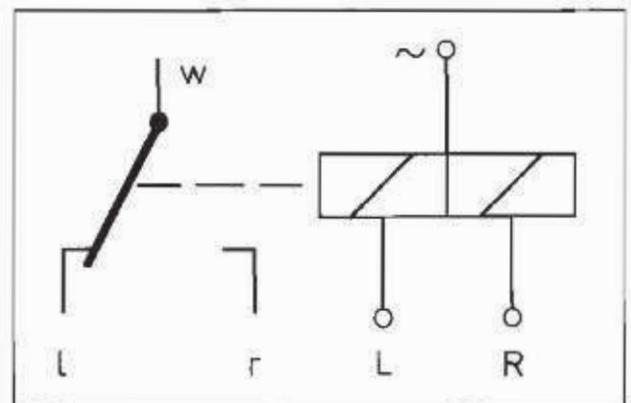


Figura 8.8 Esquema de un relé de dos bobinas.

## Los relés de dos bobinas

Los relés ofrecidos como complementos por los fabricantes de maquetas de ferrocarril poseen dos bobinas y funcionan como los dispositivos de accionamiento con dos bobinas de las agujas. Ya se ha hablado de que muchos de estos dispositivos, además de su función principal, abren y cierran contactos de conmutación, por ejemplo, para polarizar los co-razones de las agujas.

La gran ventaja del mecanismo de dos bobinas es que la armadura es movida por impulsos de corriente de la bobina —o sea, también directamente por un punto de contacto— y que luego se mantiene en la nueva posición. Este comportamiento se denomina «biestable».

En el diagrama del relé de dos bobinas biestable hay que tener en cuenta que sólo existen contactos de reposo. La figura 8.8 ilustra como el contacto izquierdo l está conectado de forma permanente con w después de un impulso de corriente de la bobina izquierda (conexión L); después de un impulso por la bobina derecha (conexión R), el contacto izquierdo l está abierto y el derecho r está conectado con w de forma permanente.

Los inconvenientes de los relés de dos bobinas biestables ya se han mencionado en el apartado sobre los mecanismos de accionamiento de agujas: corriente elevada en las bobinas y, a me-

nudo, poca capacidad para resistir la corriente permanente, a no ser que haya un dispositivo de apagado final. La tabla da una visión global sobre los modelos más habituales ofrecidos como complementos por los fabricantes de maquetas de ferrocarril.

El relé de Roco destaca por sus cuatro contactos inversores y su bajo precio. No obstante, a la larga no resistirá cargas de corriente para más de dos agujas.

Aun orientándonos en el económico relé de Roco, un relé monoestable con autorretención resultará más barato, siempre y cuando no se necesiten más de dos contactos de conmutación; y si, por ejemplo, se necesitan cinco en vez de cuatro contactos inversores, sale más a cuenta añadir un relé monoestable con 2 x UM en lugar de un segundo relé de Roco.

## Puntos de contacto accionados por el tren

Acabamos de presentar diferentes relés. Ahora se trata de conseguir que un tren en marcha cierre el circuito de conmutación accionando así agujas y señales de forma autónoma sin intervención manual. Existen dos posibilidades: impulsar las bobinas de accionamiento directamente o a través de un relé.

| Fabricante  | Denominación en catálogo         | Contactos de conmutación      | Apagado final; resistente a corriente permanente |
|-------------|----------------------------------|-------------------------------|--|
| Trix        | Relé de conmutación              | 4 x UM                        | No   |
|             | Relé electrónico                 | 4 x UM                        | Sí   |
| Fleischmann | Relé universal                   | 2 x UM                        | Sí   |
| Roco        | Relé universal                   | 4 x UM                        | Sí   |
| Märklin     | Conmutador a distancia universal | 1 x UM, 2 contactos de cierre | No   |
| Conrad      | Relé inversor de dos bobinas     | 5 x UM                        | Sí   |
| Lauer       | Relé universal                   | 2 x UM                        | Sí   |

Tabla 8.1 Relés de dos bobinas como complementos en el modelismo ferroviario

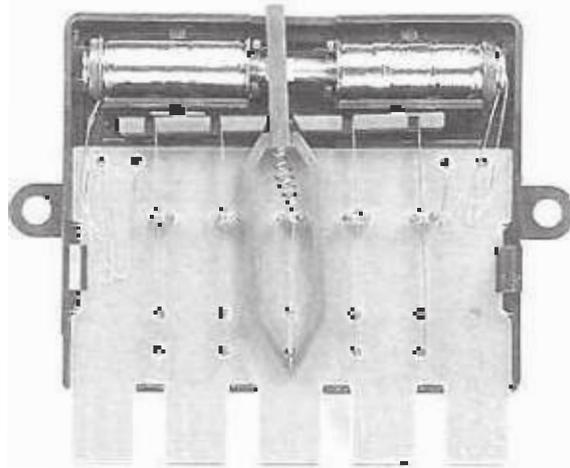


Figura 8.8. Vista frontal de un rele de tipo en cascada de tipo fijo.

Los fabricantes ofrecen varias posibilidades de establecimiento de conexiones eléctricas mediante un tren en cascada.

Una distinción básica es si el circuito es controlado en tanto o no en contacto eléctrico con el circuito de tracción. En el primer caso, ambos circuitos utilizan una vía común como cable de retorno común; en otros, se habla de puntos de contacto que no están sin potencial, es que los dos circuitos están eléctricamente acoplados. En es último, si el tren tiene un punto de conmutación que no tiene contacto eléctrico alguno con las raíles, se trata de un punto de contacto sin potencial.

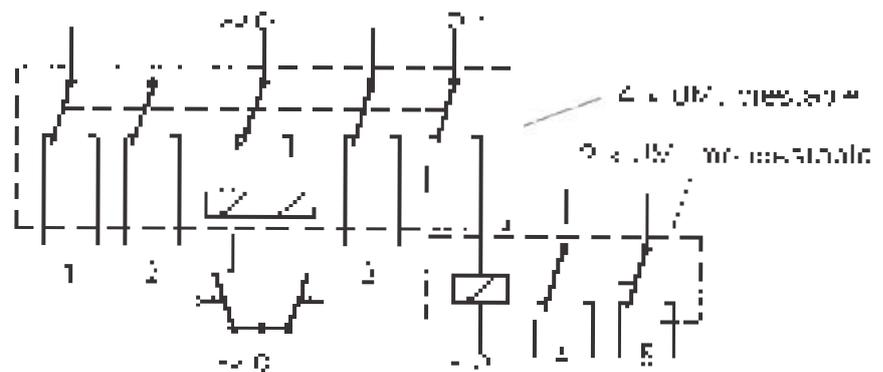
Retardar los puntos de contacto con cable de retorno común resulta más delicado, por lo que los trataremos primero.

El principio de funcionamiento es el siguiente: por las raíles, a la hora de corriente, circulan una pata montada aislada de la vía, con uno de los raíles.

El sistema de tres raíles y dos cables (Márkin) es un caso especial: en él, a diferencia de los puntos de corriente continua, existe un contacto eléctrico entre el circuito de tracción y el de luminación en el transformador, así que no está sin potencial. El cable de retorno común es formado por ambos raíles. El punto de contacto sólo necesita un conductor (bobina, bobina de relé o de accionamiento de seguridad), que en el caso de la relé viene conectado con la salida de 3 segmentos de luminación del transformador con los raíles; así, se cierra el circuito.

La figura 8.11 lo demuestra con un ejemplo de ejemplo de conmutación. Si un carril va de izquierda a derecha, al pasar por el primer punto de contacto, una señal que tiene por delante debe ponerse en la posición "vía libre", más adelante, al pasar por el segundo punto de contacto, la señal deberá volver a la posición "pata". La conexión central de mecanismos de accionamiento está en conexión permanente con la tierra (la L para este caso) luminación del transformador; la otra conexión de cada una de las bobinas se conecta a las raíles (o sea, el cable de retorno) a través de punto de contacto respectivo, de forma parecida a lo que ocurre cuando se acciona un pulsador manualmente.

Figura 8.10  
 $4 \times 150^{\circ} + 2 \times 150^{\circ} = 8 \times 150^{\circ}$   
 así se multiplica los  
 contactos inversores de un  
 rele de vía de solenoide con un  
 rele inversor.



Máximo es el único fabricante que ofrece un único punto de contacto que depende del sentido de la marcha del tren. Esto es posible gracias a un cursor situado encima de los puntos de contacto, que empuja una báscula (véase figura 8.12) hacia la izquierda o a la derecha, dependiendo del sentido de la marcha. De manera que para cerrar un contacto o el otro. Con el tiempo se pueden desgastar el muelle del cursor, lo que puede causar raras incidencias que nos pueden agotar la lista.

En los sistemas de dos raíles no existe memoria respecto al centro del contacto de contacto. En este caso, hay una regla especial que está fija que indica los contactos. Los producidos por el tren deben cerrarse en el mismo raíl. Este raíl es entonces el raíl de retorno común para la corriente contra la dirección y el comienzo a la izquierda de los raíles magnéticos.

En la figura 8.14 se muestra un contacto con la misma función que el de la figura 8.11, pero en el sistema de dos raíles.

¿Cómo son los puntos de contacto de los sistemas de tres raíles? En el sistema de Henschelmann hay un raíl de contacto especial que transmite paralelamente a la vía; la conexión entre ambos se establece mediante un cursor debajo de la locomotora. Cuando se va hacia atrás, no funciona. Arnold ofrece una pieza más alta con muelle que entra en contacto con el eje interior de una rueda que gira a  $v_s$  y, si ésta es metálica, establece así el contacto con el raíl.

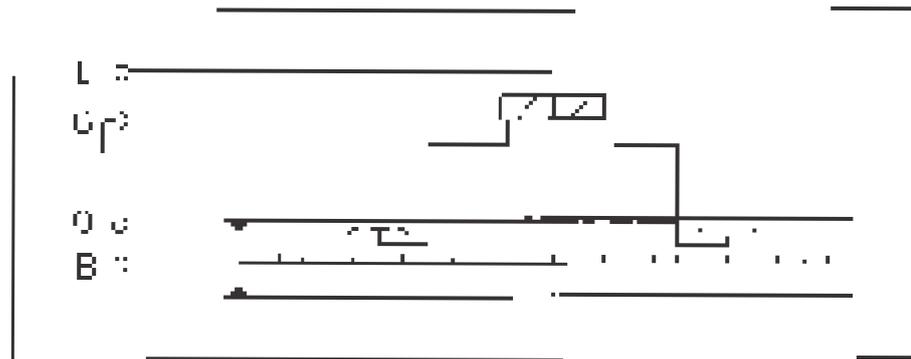


Figura 8.12 Avanzamiento de una señal en el sistema de Máximo

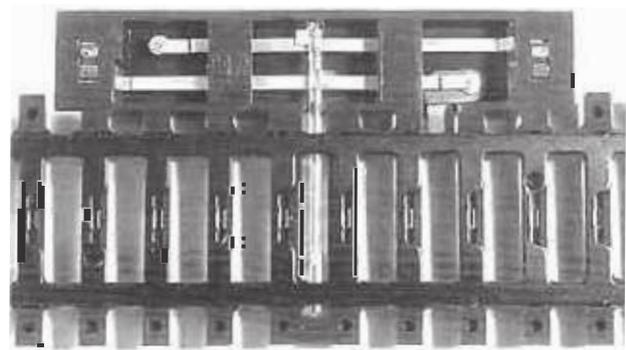


Figura 8.13 Raíl de contacto de Máximo con los dos puntos de contacto necesarios de sentido de la marcha. Visto desde abajo.



Figura 8.13 Un punto de contacto en un raíl de tres raíles.



Figura 8.14 Avanzamiento de una señal en el sistema de dos raíles con un contacto de retorno común

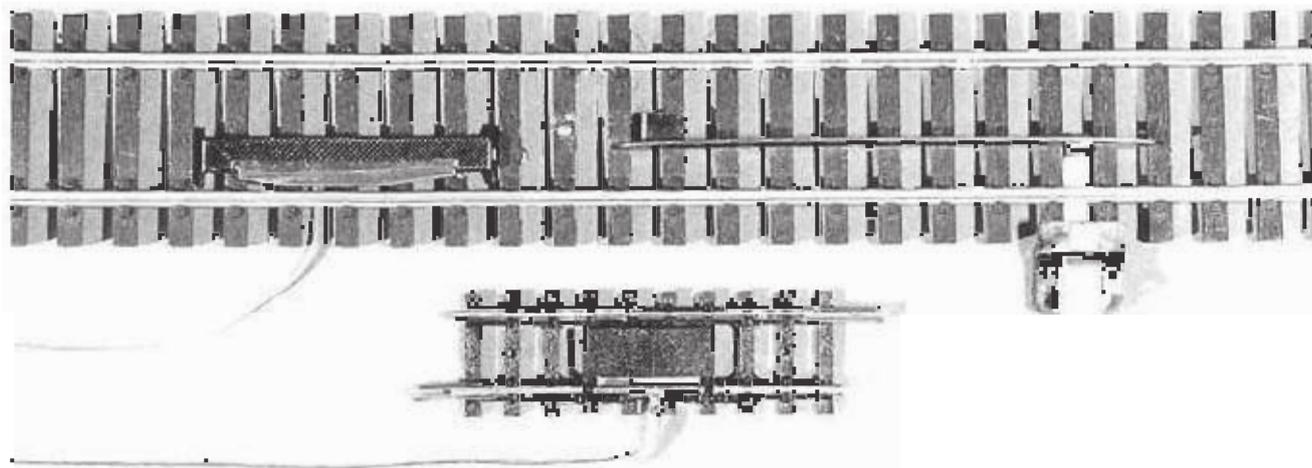


Figura 8.15 Puntas de contacto de Gersoni (arriba) y de Minilik (abajo) en una zona de modo AC, donde se permite el uso de un contacto de múltiples agujas.

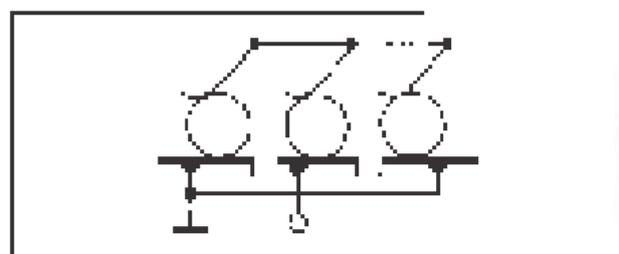


Figura 8.16 Un ejemplo de Minilik, las ruedas de la rueda de impulsión se deslizan sobre el rail mediante la acción de un resorte.

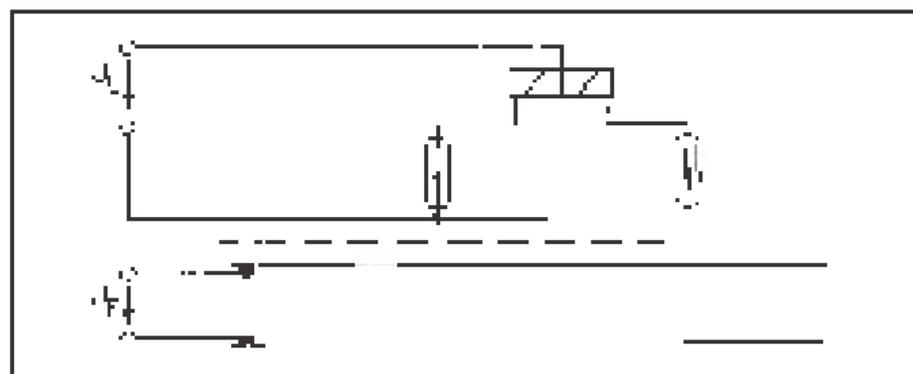


Figura 8.17 El funcionamiento de una rueda de impulsión como en la figura 8.14, con un contacto de contacto de impulsión.

Esta pieza también se puede montar con el uso de habilidad, en vías de la escuela 40. No obstante, como se describe mecánicamente a todas las ruedas que circulan, se debe ajustar cuidadosamente. Si, por un contacto de impulsión

de la pieza o puntal contacto entre la rueda y el rail, no se produce una contaminación mecánica, puede ocurrir que una aguja sólo se mueva a medida, al igual que se muestra en el mecanismo de accionamiento. Las posibles correcciones ya se han comentado anteriormente.

En este contexto, los puntos de contacto de Minilik son al menos fiables: un trocito de rail a lado se tiene que conectar con los tramos de vías vecinos a través de las ruedas de la locomotora, que están conectadas entre sí por tramos de corriente (Figura 8.13).

Después de haber visto, la forma de corriente a través de las ruedas y, por consiguiente, el funcionamiento de las agujas no siempre se realiza correctamente, si se trata de una aguja se ha de accionar un circuito electrónico, el asunto ya es menos problemático porque basta con un impulso mínimo, es,

Por eso, no es de extrañar que sea usualmente más fácil que de un relé electrónico que reacciona de forma muy rápida. En cambio, algunos motores de gas no logran establecer ningún contacto y el caso se paran por falta de contacto.

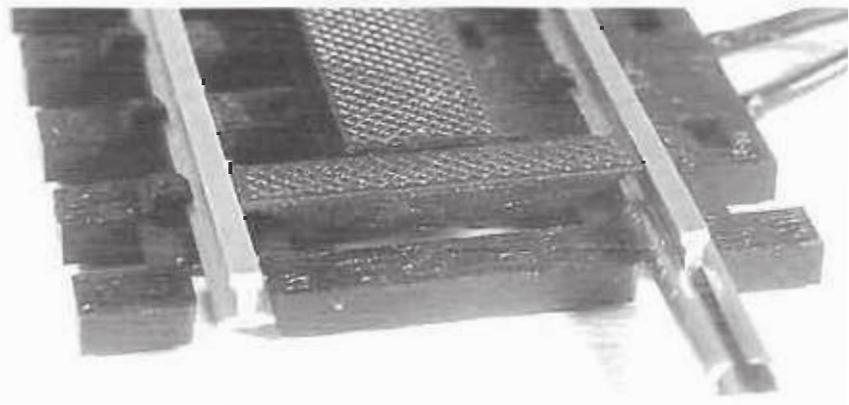


Figura 8.13 Como como un pulsador las láminas aprietan a las láminas transversales.

Podemos ir a los detalles de contacto sin potencial exteriormente se reconocen porque siempre disponen de sus conexiones, ya que a  $V_0$  no forma parte de circuito. La Figura 8.17 muestra cómo se realiza el ejemplo de la figura 8.14 con puntos de contacto sin potencia. El circuito de conmutación y el de tracción están totalmente separados.

Primero cabe mencionar el sistema de Roso en el que las tiras aprietan una lámina o placa transversal entre los cables avanzando así el contacto. En este caso se pueden presentar problemas con vagones demasiado ligeros.

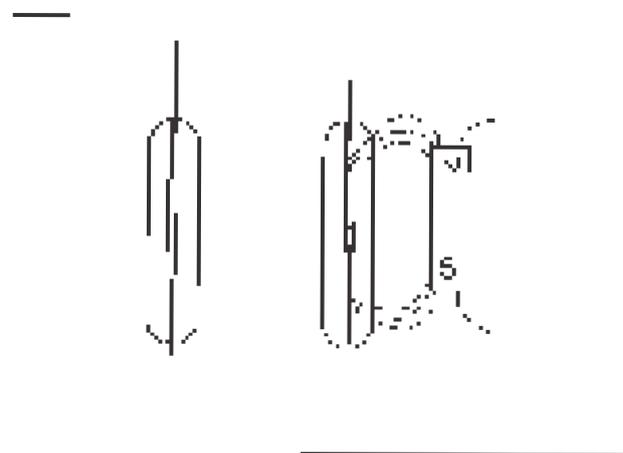


Figura 8.16 Las tiras de un relé real de acero inoxidable magnético, con el cable, ya el cable magnético de la bobina, provocando el mismo efecto a se juntan.

Figura 8.20 El montaje real en el sistema de Roso, al ser instalado, perfectamente distribuido para sus tiras con un ancho de 10 mm.



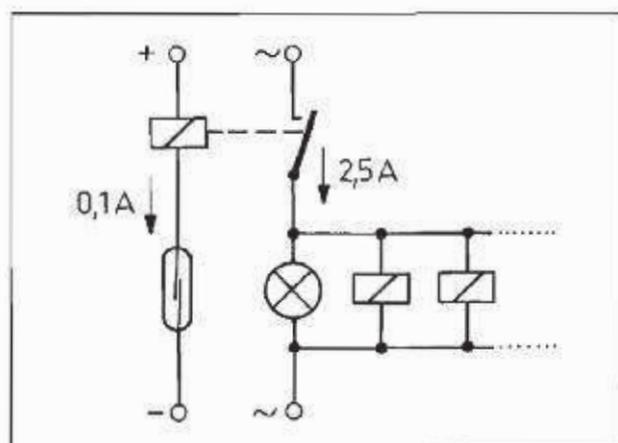


Figura 8.21 Un relé electromagnético amplifica la corriente de conmutación del relé reed.

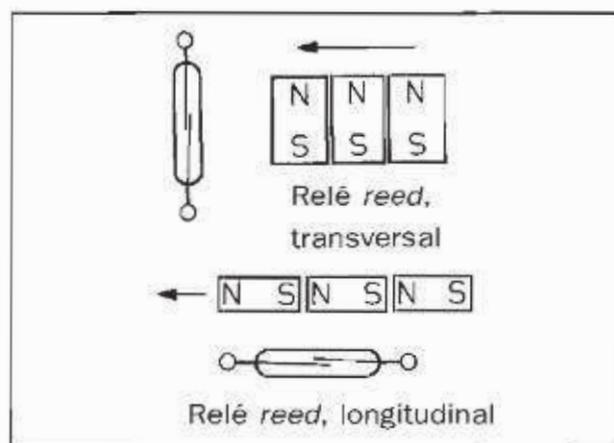


Figura 8.22 Con la ayuda de varios imanes se puede prolongar la duración del contacto.

## Los relés reed ofrecen muchas ventajas

Los llamados relés *reed* —o interruptores de láminas elásticas— son elementos de conmutación casi idóneos, que han llevado la técnica de los relés a un notable progreso en los últimos años.

Se componen de finísimas láminas metálicas de forma alargada, hechas de acero inoxidable magnético y elástico (*reed* = lengüeta, en inglés), que se encuentran en un tubo de cristal; en el centro del tubo se solapan un poco, pero sin llegar a tocarse. Acercando un imán permanente en posición paralela al tubo o introduciendo el tubo en el interior de una bobina, el campo magnético atraviesa las láminas y hace que se junten. En el interior del tubo hay un gas que impide la formación de chispas.

Si se coloca un relé *reed* en una vía y se fija un imán permanente debajo de una locomotora, las láminas se juntan cuando la locomotora pasa por encima. Las ventajas son evidentes: los contactos están sin potencial, no hay repercusiones en la toma de corriente de tracción de la locomotora y el proceso no requiere ningún contacto mecánico.

En la escala HO no representa problema alguno fijar los imanes en una locomotora; en la escala N, en general, tampoco. Dado que en este caso la distancia entre la parte inferior de la locomotora y la vía es menor, basta con imanes más pequeños. Tanto los imanes como los relés *reed* son bastante baratos, ya que se producen en grandes cantidades.

Muchos fabricantes ofrecen los relés *reed* integrados en un bloque y con bornes de conexión, muy fáciles de colocar, pero éstos son más caros que los ejemplares «sencillos» que ofrece, por ejemplo, Herkart, y también los comercios de material electrónico. Ahora bien, necesitan cables de conexión y cuesta algo más de trabajo instalarlos.

Al instalar un relé *reed*, hay que tener presente que los extremos de conexión están sellados en cristal muy fino, que se rompe fácilmente. Los tornillos (o clavos) de latón —como en la figura 8.20—, por ejemplo, permiten una fijación eléctrica y mecánica satisfactoria. Soldando los hilos de conexión con ellos, ya no hay riesgo de que éstos toquen la base del raíl. Si los tornillos son lo suficientemente largos, ya sirven como conductor eléctrico hacia el lado opuesto de la tabla de madera, desde donde se pueden cablear oportunamente.

Ya es hora de mencionar una restricción importante para el uso de los relés *reed*: el valor de corriente que pueden conmutar es relativamente bajo. En los catálogos de los fabricantes de maquetas de ferrocarril se indican valores de entre 0,5 y 0,8 A; esto basta, como mucho, para una aguja. Si la corriente de conmutación es demasiado elevada —por ejemplo, cuando se quiere accionar varias agujas de un trayecto—, el relé *reed* resultará pronto inservible: las láminas se pegarán de forma permanente. La solución es un relé que nos servirá de amplificador para la corriente de conmutación.

En lo que a los imanes permanentes se refiere, aparte de los redondos también hay pequeñas placas alargadas, que se colocan y disimulan mejor debajo del vehículo. Hay que tener en cuenta que un imán que está en posición longitudinal debajo del coche no puede accionar un relé *reed* que se encuentra de forma transversal en la vía. El relé *reed* y el imán siempre deben estar en posición paralela. Esto nos abre la posibilidad de accionar algunos de los relés *reed* con un tren y los demás, con otro, según

la posición de los relés y de los imanes. Por ejemplo, los relés transversales se podrían accionar con locomotoras de maniobras, los que están en posición longitudinal, con locomotoras de línea. Otra posibilidad sería accionar unos con la locomotora, otros con el último vagón.

Puede suceder, particularmente en el caso de un relé *reed* en posición transversal, que con velocidades elevadas la duración del contacto sea insuficiente para accionar una aguja.

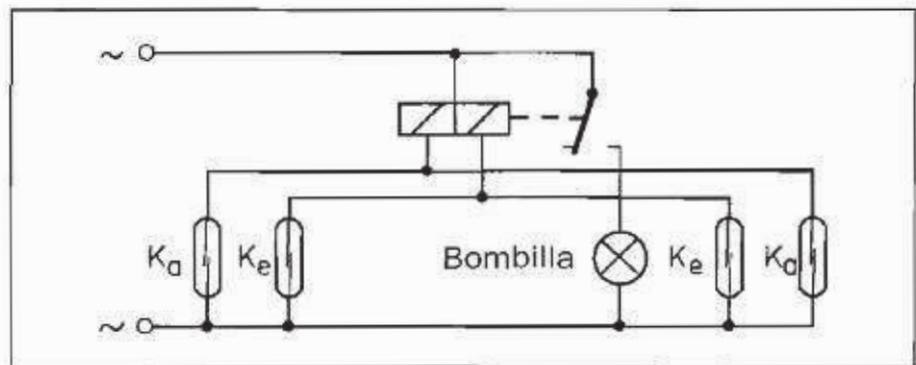


Figura 8.23 La luz intermitente funciona, independientemente del sentido de marcha, mientras hay un tren en el tramo en cuestión.

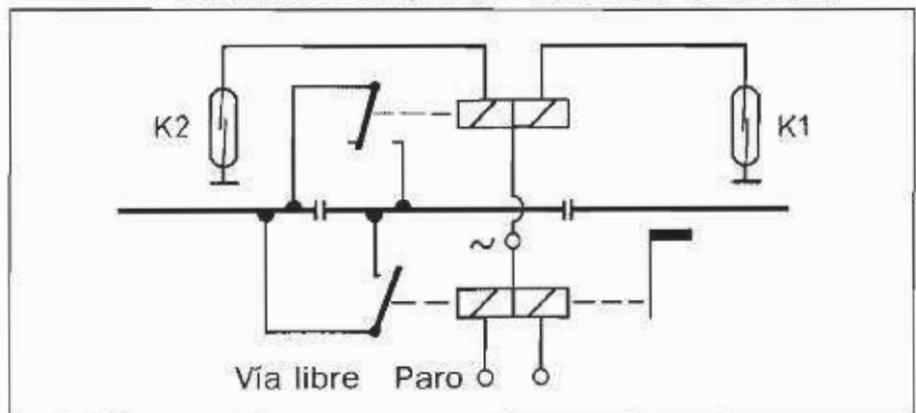


Figura 8.24 Circulación sin obstáculos en la dirección opuesta de la señal.

| Longitud del tubo | Diámetro del tubo | Corriente de conmutación | Observaciones                 |
|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 14,5 mm           | 2,0 mm            | 0,6 A                    | Una aguja como máximo         |
| 18,0 mm           | 2,3 mm            | 0,8 A                    | Cabe transversal en la vía H0 |
| 26,5 mm           | 3,7 mm            | 1,5 A                    | Sólo longitudinal             |

Tabla 8.2 Tamaño y corriente de conmutación de los relés reed habituales

Entonces, se pueden colocar varios imanes juntos para «ampliar» el campo magnético y, por consiguiente, prolongar el contacto. Naturalmente, esto es también posible con imanes y contactos en posición longitudinal.

## Ejemplos: los relés y puntos de contacto en acción

Con dos ejemplos sencillos queremos ilustrar la interacción entre los relés y los puntos de contacto. Primero se quiere encender la señal de luz intermitente en un paso a nivel de un tramo de vía única. Mientras los trenes circulen en un solo sentido, todo es muy sencillo. Un contacto de conexión  $K_e$  accionado en primer lugar por el tren en marcha, impulsa un relé que enciende la luz intermitente. El contacto de desconexión  $K_a$  está conectado con la otra bobina del relé y desconecta la luz. Si han de circular trenes en ambos sentidos, podemos ayudarnos con cuatro relés *reed*, como muestra la figura 8.23. Los dos exteriores son relés de desconexión, los interiores, de conexión. Cuando una locomotora entra en este tramo de la vía, se impulsa primero un contacto de desconexión (que no cambia nada), y luego un relé de conexión. Cuando la locomotora abandona el tramo —en el

sentido que sea—, el último relé que se acciona siempre es uno de desconexión. Con este método, también se puede hacer funcionar a la perfección una señal de «vía ocupada»; mientras no entren dos locomotoras en el mismo tramo.

El otro ejemplo tratará el siguiente problema: una locomotora ha de pasar, en dirección contraria, por una señal cerrada sin pararse en el tramo de vía sin tensión delante de la señal. En el capítulo 5 encontrará la explicación de cómo solucionarlo, en modelos que funcionan con corriente continua, mediante un diodo. En cambio, si se quiere evitar las «trampas» de este tipo de circuito —también descritas en el capítulo 5—, hay que recurrir a puntos de contacto y relés. La figura 8.24 muestra el esquema de conexiones; en el caso de marcha en dirección contraria, el tramo de vía desconectado recibe la tensión de tracción a través del relé de dos bobinas en vez de obtenerla del mecanismo de accionamiento de la señal. Se conecta a través del punto de contacto  $K_1$  y se desconecta por  $K_2$ . Cuando llegue el próximo tren en la dirección controlada por la señal, sólo dependerá de ésta si el tren se para o no.

Pasemos ya a una ampliación interesante. Hemos visto cómo una locomotora desactiva una señal de «paro» y vuelve a activarla con la ayuda de dos

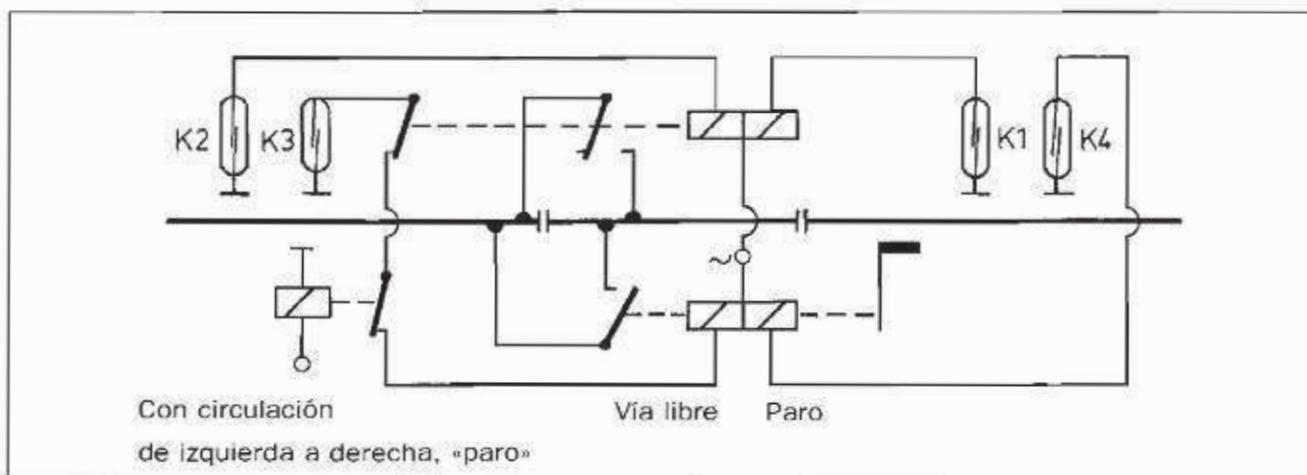


Figura 8.25: Una combinación de los circuitos de las figuras 8.24 y 8.17; si hay tensión en el relé  $R$ , la locomotora que circula de izquierda a derecha se para en la señal.

puntos de contacto. Ahora añadimos dos puntos de contacto más en la vía, K3 para activar la señal y K4 para desactivarla.

Si el tren circula de izquierda a derecha, coloca la señal en «vía libre» mediante K3; éste alimenta el tramo de vía en cuestión. Si la locomotora circula de derecha a izquierda, acciona el relé de dos bobinas a través de K1; o sea que ahora el tramo es alimentado por el relé. La locomotora que circula hacia la derecha pone la señal en posición de «paro» con K4; en el caso de circulación hacia la izquierda, se desactiva el relé mediante K2.

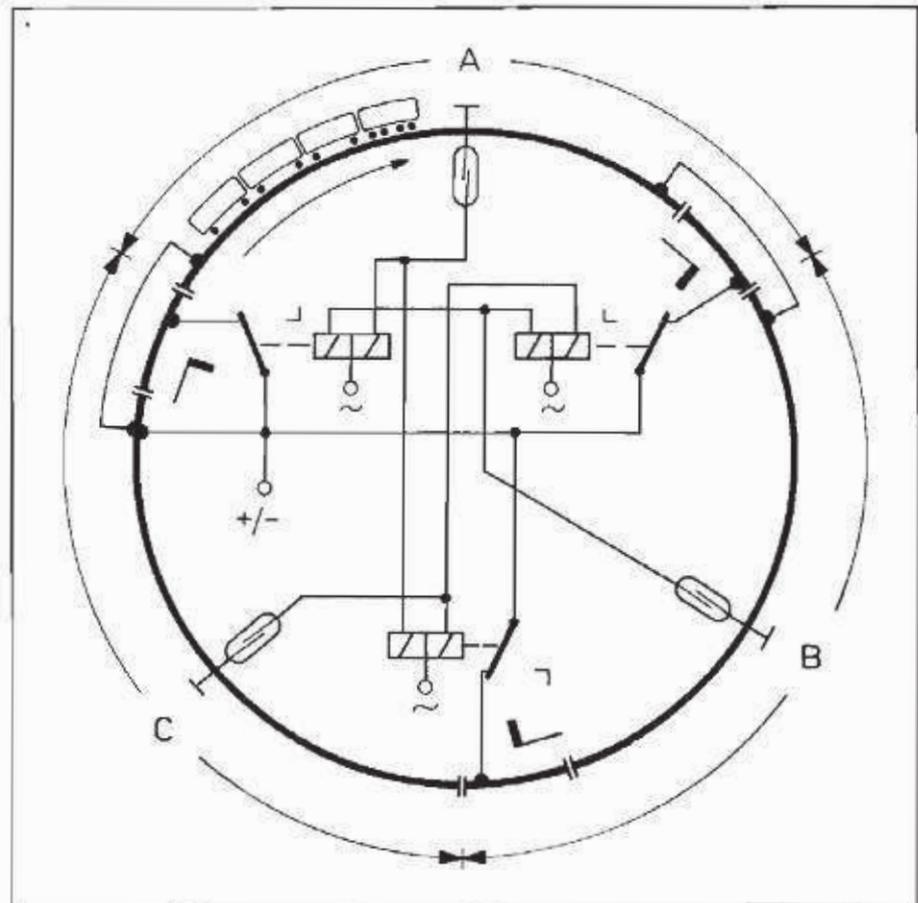


Figura 8.26 Bloqueo automático para dos trenes en un trayecto circular.

Hay que evitar que la locomotora que va hacia la izquierda active, en K3, la señal de «vía libre» para la dirección opuesta. Para ello, la conexión entre K3 y la bobina de accionamiento de la señal se interrumpe mediante un contacto inversor del relé, que está activado mientras haya una locomotora en dirección opuesta a la señal entre K1 y K2. Si se quiere que una locomotora que vaya en la dirección controlada por la señal se detenga delante de ella, sólo hay que añadir un contacto de desconexión que interrumpa la conexión entre K3 y la bobina de accionamiento de la señal; entonces, la locomotora no puede poner la señal en posición de «vía libre» y se queda parada hasta que la señal se accione a través de otro punto de contacto o manualmente. El contacto de desconexión puede ser el contacto de reposo de un relé monoestable. Si hay corriente en su bobina, el próximo tren se detendrá delante de la señal.

El bloqueo automático está estrechamente vinculado con las conmutaciones que acabamos de ver. Con él, los trenes reales imposibilitan que trenes siguientes entren en el tramo en que se encuentran; no se da vía libre hasta que abandonan el tramo en cuestión. En el caso del modelismo, esto significa hacer circular dos trenes en un trayecto circular sin que se embistan.

Para ello, hay que dividir el trayecto en tres tramos; se necesitan tres relés *reed* y tres relés de dos bobinas que, al mismo tiempo, conmutarán las señales luminosas. La longitud máxima de cada tren no debe sobrepasar la mitad de la longitud de un tramo.

En el trayecto de la figura 8.26 el tren acaba de abandonar con el último vagón el tramo C, y se está acercando a un punto de contacto cuya distancia, del

# 9

## Alimentación: los transformadores

*En este capítulo, por fin, nos ocuparemos de los aparatos que nos sirven como fuente de tensión continua o alterna. Ya se ha hablado varias veces del transformador y del panel de control sin explicar su funcionamiento. Además, se trata de un sector de la electrónica en el que abundan los términos, y no siempre los más acertados. No todos se podrán comentar en este capítulo, pero muchos de ellos figuran en el índice alfabético. Sin embargo, buscará en vano aquellas denominaciones de algunos catálogos que se acercan más a la publicidad de detergentes que a la descripción objetiva de un aparato técnico cuya función no resulta exactamente fácil de comprender. No obstante, con algunos parámetros objetivos y valores numéricos, que expondremos a continuación, se pueden describir y valorar de forma accesible para el modelista.*

### El corazón del sistema: el transformador

El transformador regulable es el aparato que alimenta la maqueta del ferrocarril con energía eléctrica que recibe, por su parte, de la red de suministro eléctrico a 220 V. Suele disponer de dos salidas; una es la fuente de la tensión de tracción, que suministra tensión continua o alterna de valor regulable entre 0 y 16 V (ver figura 9.1).

La segunda salida es de tensión alterna de valor fijo (14 V/16 V) que sirve para alimentar los mecanismos de accionamiento electromagnético y las instalaciones fijas de iluminación. A través de la tensión de tracción no sólo se pue-

de controlar la velocidad, sino también cambiar el sentido de marcha de los trenes. En el caso de corriente continua, esto se realiza invirtiendo los polos; con corriente alterna, mediante la conmutación de un relé (electromecánico o electrónico) con un impulso de sobretensión de 28 V.

El elemento central es el transformador; se llama así porque «transforma» la tensión de 220 V de la red doméstica en una tensión adecuada para el funcionamiento de las maquetas ferroviarias (unos 16 V). También se requieren unas medidas de protección para excluir que se generen tensiones peligrosamente altas en la instalación.

La estructura básica y el principio de funcionamiento de un transformador ya se conocen, puesto que el esquema de la figura 3.5 (ver también figura 9.2) es, en efecto, el de un transformador, pero no se ha indicado esta denominación, ya que el objetivo era simplemente ilustrar la ley de la inducción. Ésta, de hecho, describe los procesos físicos que se producen en un transformador; basándonos en esta ley, será muy fácil explicar su funcionamiento.

El transformador consta de una bobina 1, denominada primaria, y una bobina 2, llamada secundaria. Ambas bobinas están acopladas mediante un núcleo de hierro, por el que transcurre el flujo magnético  $\Phi$ . Como veremos más adelante, en el modelismo ferroviario abundan los transformadores con dos bobinados secundarios.

La bobina primaria está conectada a la tensión de la red  $U_1 = 220 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ ;

nas o planchas finas, cuya superficie está cubierta de un material aislante. Esto es necesario para evitar que el flujo magnético alterno  $\Phi$  induzca corrientes parasitarias en el núcleo (también llamadas corrientes de Foucault).

En el día a día del modelismo se producen, con cierta frecuencia, cortocircuitos; para el transformador esto significa que los bornes de la bobina secundaria están conectados entre sí sin práctica-

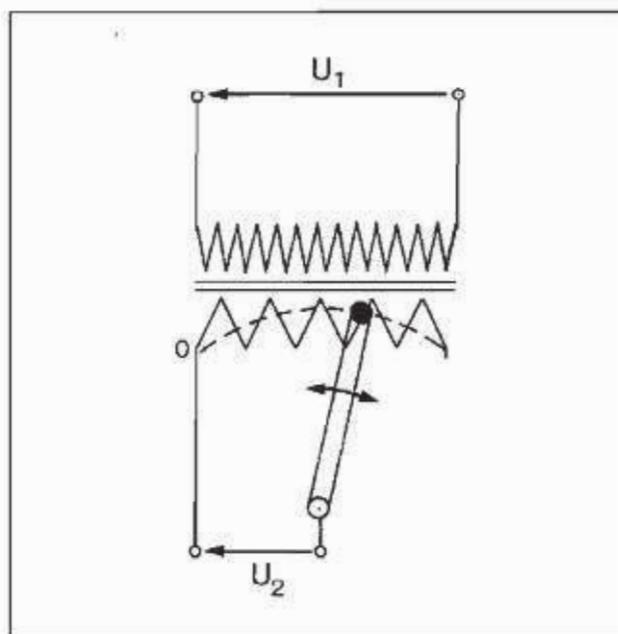


Figura 9.3 Ilustración esquemática de la estructura de un transformador con tensión regulable.

mente resistencia. Comparado con la corriente nominal —la corriente máxima tolerable para el funcionamiento permanente—, fluye una corriente muy alta, que calentaría mucho el transformador y acabaría destruyéndolo. Para evitarlo se utiliza una pieza llamada cortacircuitos.

## Protección: el cortacircuitos

Existen varios tipos de cortacircuitos; en la instalación doméstica (red a 220 V) encontramos los fusibles y/o los auto-

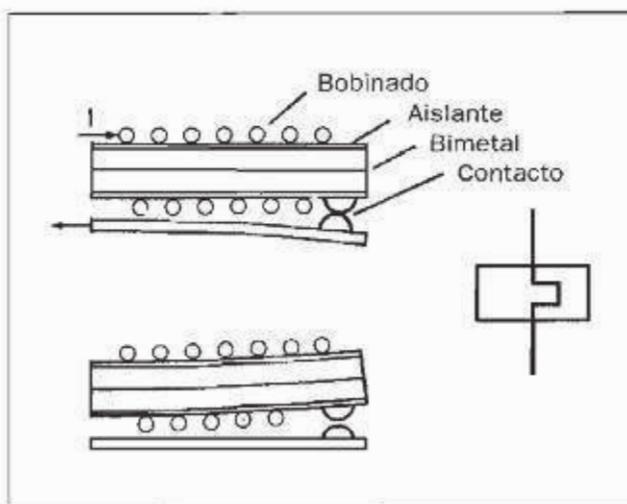


Figura 9.4 Cortacircuitos térmico.

máticos. Si la corriente sobrepasa el valor nominal durante un tiempo determinado, el cortacircuitos reacciona. En el caso del fusible, esto significa que se quema el hilo que tiene en su interior y hay que sustituir el fusible. En el cortacircuitos automático se dispara un interruptor electromagnético; después de remediar la causa, el interruptor se puede volver a conectar. Ambos tipos no sirven para los transformadores del modelismo; los automáticos son demasiado caros y aparatosos, los fusibles se tendrían que sustituir con demasiada frecuencia (intervención que, además, no sería conforme a las prescripciones de seguridad).

En el transformador se emplean interruptores térmicos. Constan de dos tiras metálicas («bimetal») envueltas de un material que, si bien es un aislante eléctrico, absorbe el calor producido por el bobinado y lo transmite a las tiras metálicas. El grado de expansión por calor de cada una de las tiras es diferente; como están estrechamente unidas, esto lleva a una flexión de las tiras, por lo que el contacto acaba abriéndose. El calentamiento depende de la potencia de disipación que se produce en el bobinado y que, por su parte, depende de la corriente  $I$ :

$$P_V = R_W \cdot I_2^2;$$

$R_W$  es la resistencia del bobinado.

final del bloque A, corresponde a la longitud máxima de un tren. Como el bloque C ahora está libre, otro tren puede entrar en él: la señal al final del bloque B, se coloca en «verde» el tramo desconectado recibe de nuevo tensión de tracción en cuanto la locomotora llegue al punto de relé del tramo A. Al mismo tiempo, se asegura que no entren más trenes en el tramo A desconectando el último tramo de C, donde la señal se coloca en «rojo». Un hipotético tren siguiente que antes estaba parado al final del tramo B podría circular ahora hasta el final de C, donde tendrá que esperar de nuevo hasta que el tren anterior haya abandonado el tramo A por completo, es decir, hasta que active el relé *reed* del tramo B.

Este sistema de bloqueo sólo funciona en un sentido. Si se quiere circular también en sentido opuesto, hay que modificar las funciones de conmutación con la ayuda de más relés *reed* y electromagnéticos. En el ejemplo anterior ya hemos visto cómo enfocar esta tarea.

Con la técnica de los relés se pueden realizar encadenamientos lógicos completos, combinaciones de conmutación sofisticadas en las que intervienen un gran número de factores a la hora de decidir si se acciona o no una determinada aguja cuando un tren pasa por cierto relé *reed*. Sin embargo, queríamos limitarnos a unos pocos ejemplos básicos y a dar algunas ideas de cómo ir creando, poco a poco, un sistema complejo.

Para acabar, cabe decir que las conmutaciones con varios relés no son lo que se dice baratas, mientras que las mismas funciones se realizan por unas pocas pesetas con elementos electrónicos. Hoy en día, las conmutaciones complicadas a base de relés ya no se llevan.

## Resumen:

*Los puntos de contacto y los relés son los elementos más importantes para el funcionamiento automático de la instalación. Se distingue entre los relés monoestables y los biestables. Los monoestables sólo conectan o desconectan un circuito mientras en su bobina circula corriente. Los relés biestables suelen tener dos bobinas, al igual que los mecanismos de accionamiento de agujas; después de un impulso eléctrico en una de las dos bobinas, la armadura cambia de posición. Los impulsos eléctricos necesarios son provocados por un tren en marcha, que cierra el circuito eléctrico al pasar por un punto de contacto en la vía. Aparte de los puntos de contacto mecánicos, se hace mención, sobre todo, a los relés reed, que funcionan sin contacto mecánico mediante un imán permanente colocado debajo de una locomotora o un vagón.*

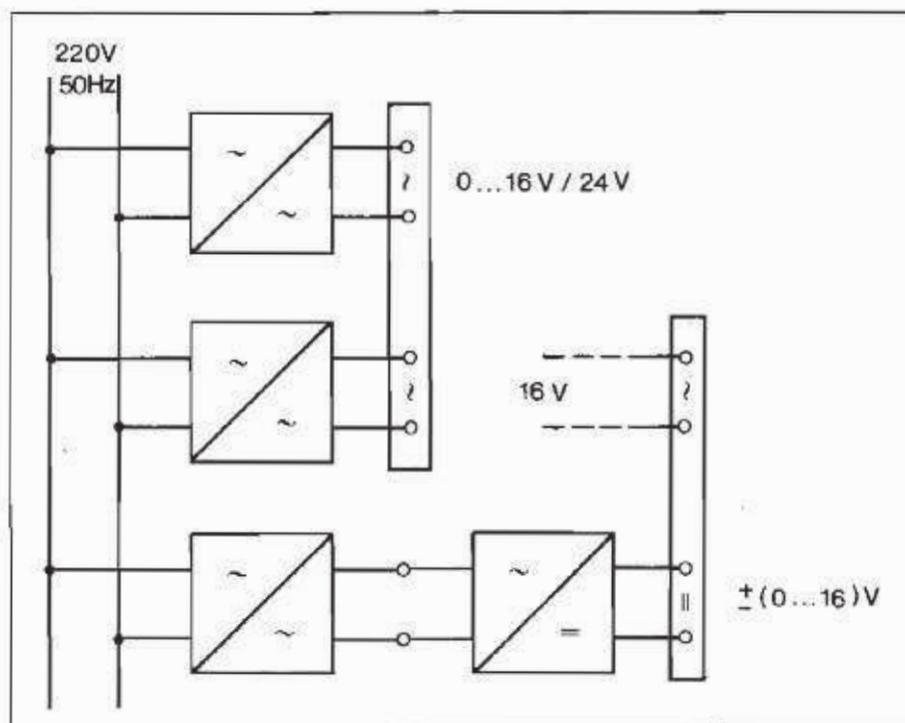


Figura 9.1 Esquema de un transformador regulable para la alimentación de corriente alterna (arriba) y continua (abajo).

la corriente en la bobina,  $I_1$ , crea un flujo alterno  $\Phi$  en el núcleo de hierro, que, por su parte, induce una tensión alterna de la misma frecuencia del valor eficaz  $U_2$  en la bobina secundaria. Según la ya conocida ley de la inducción, para esta tensión vale lo siguiente:

$$U_2 = N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Recordemos que  $N_2$  es el número de espiras en la bobina 2. Sin embargo, el flujo magnético  $\Phi$  induce también una tensión en la bobina 1, con el número de espiras  $N_1$ ; este proceso, como ya se sabe, se llama autoinducción:

$$U_1 = N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Así, la tensión secundaria  $U_2$  se puede calcular partiendo de  $N_1$ ,  $N_2$  y la conocida tensión de la red,  $U_1$ :

$$U_2 = N_2/N_1 \cdot U_1$$

Dada una tensión primaria  $U_1$  fija, la tensión secundaria  $U_2$  depende directa-

mente del número de espiras  $N_2$ , ya que  $N_1$  —en que influyen otros criterios— no se puede utilizar para calcular la tensión secundaria. Con  $N_1 = 1.500$  espiras, el número de espiras  $N_2$  para una tensión  $U_2 = 16$  V es

$$\begin{aligned} N_2 &= N_1 \cdot U_2/U_1 \\ &= 1.500 \cdot 16 \text{ V}/220 \text{ V} \\ &= 109. \end{aligned}$$

La regulación de la tensión de salida  $U_2$  se consigue cambiando el número efectivo de espiras  $N_2$ ; la figura 9.3 muestra, de forma esquemática,

la estructura de un transformador de este tipo.

Las bobinas de un transformador están hechas de hilo esmaltado (tratado con laca aislante) bobinado sobre un carrete aislante. En el bobinado secundario, la laca aislante falta en los puntos en los que hay contacto con el cursor. Esta estructura se parece a la del potenciómetro giratorio.

El núcleo de hierro no es una pieza maciza, sino que consta de varias lámi-

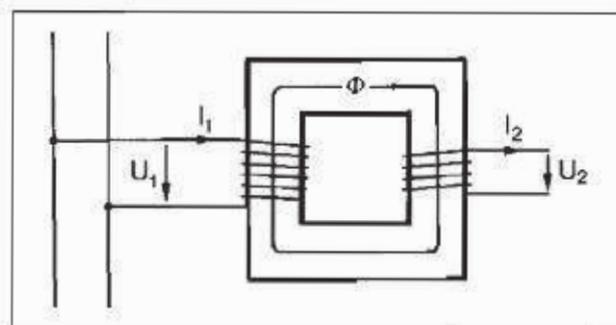


Figura 9.2 Estructura de un transformador.

El cortacircuitos no sólo reacciona a un cortocircuito, sino siempre que la corriente sobrepasa el valor nominal del transformador. Cuanto mayor sea el valor de corriente, más deprisa reaccionará el cortacircuitos; cuando hay un cortocircuito, desconecta en pocos segundos, pero si sólo hay una ligera sobrecarga, tardará minutos en interrumpir la corriente. Cuando, al cabo de un tiempo, las tiras se han enfriado, el contacto se vuelve a cerrar. Si el fallo no se ha solucionado mientras tanto, el cortacircuitos volverá a reaccionar. Mientras no se elimine la causa del cortocircuito o se reduzca la carga desconectando consumidores, esto se repetirá las veces que haga falta.

Si el transformador posee dos bobinados secundarios eléctricamente aislados entre sí, cada uno de ellos está protegido con un interruptor térmico propio. Si sólo hay un bobinado secundario, el interruptor se encuentra a menudo en el bobinado primario.

## El panel de control a corriente alterna y los transformadores para accesorios

Los transformadores cuya tensión de salida se puede regular se suelen llamar

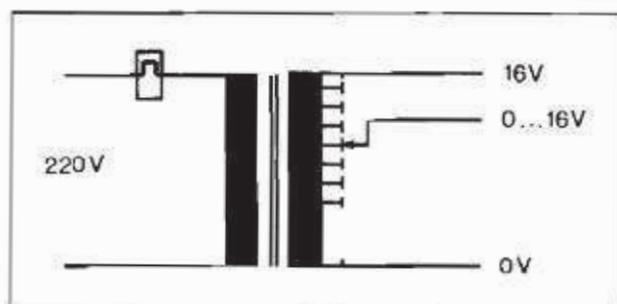


Figura 9.5 Esquema de un panel de control para trenes que funcionan con corriente alterna.

transformadores regulables. El margen en el que se puede reducir o elevar la tensión de salida se llama campo de regulación. Esta terminología es poco exacta; de hecho, sólo se podría hablar de una regulación de la tensión si un dispositivo adecuado asegurase que la tensión se mantuviera constante, independientemente de si el transformador funciona en vacío ( $I_2 = 0$ ) o en el de la corriente máxima tolerable ( $I_2 =$  corriente nominal). De todos modos, esto es innecesario y, además, irrealizable sin recurrir a la electrónica. El transformador representa, básicamente, una fuente de tensión con resistencia interna (ver, en el capítulo 3, «Condensadores»); entre la posición de paro y la de corriente nominal, la tensión puede reducir unos 2 V.

En la figura 9.6 se representan otros dos tipos de transformadores, muy útiles para el modelista, que sólo disponen de salidas de tensión alterna fija. El aparato representado arriba tiene un bobinado secundario con tres salidas adicionales, así que se dispone de diez valores de tensión entre 2 y 25 V. Siempre se encontrará, pues, un valor adecuado para una iluminación realista de señales luminosas; entonces, se puede prescindir de las resistencias limitadoras descritas en el capítulo 1.

Si se aprovechan, de forma consecuente, todas las ventajas que brinda un

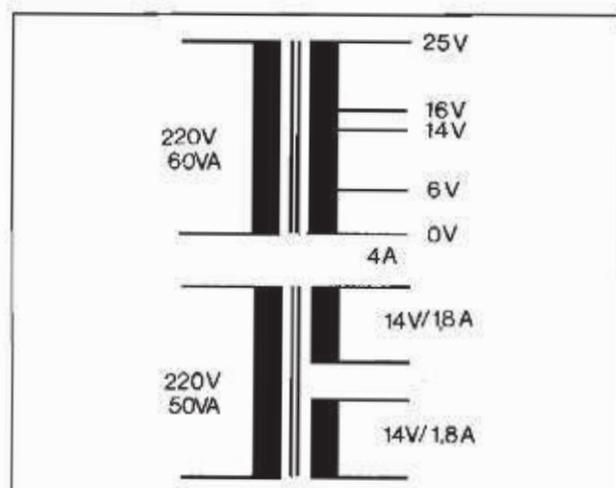


Figura 9.6 Transformadores con salidas de tensiones fijas (Titan, Trix).

cable de retorno común para todos los consumidores, hay que conectarlo a una salida. Optando por la salida de 6 V, se puede disponer de alimentaciones de 6 V, 8 V, 10 V y 19 V.

Si se elige la salida de 16 V, se dispone de 2 V, 9 V, 10 V y 16 V.

Para el borne de 14 V vale lo mismo de forma correspondiente.

El transformador representado en la figura 9.6, abajo, posee dos bobinados secundarios aislados entre sí. Aquí, cabe mencionar que, naturalmente, el bobinado primario y el secundario siempre tienen que estar aislados entre sí; si no, el transformador no podría cumplir con su función de proteger la instalación de la alta tensión de la red. Las dos fuentes de tensión, alimentadas por los dos bobinados secundarios, se pueden conectar en serie, formando así una fuente de 28 V de tensión de salida. Conectándolas en paralelo, se dispone de una corriente de salida de 3,6 A. En este caso, una conexión en paralelo no acarrea los peligros —descritos en el apartado «Funcionamiento en paralelo de transformadores»— que se producirían al conectar en paralelo dos transformadores. Esta disposición de bobinados también es de gran utilidad para la alimentación de circuitos electrónicos.

La descripción completa de un transformador incluye, aparte de las tensiones de entrada y salida, la potencia y la corriente nominal. En el capítulo 1 ya hemos hablado de la potencia eléctrica  $P = U \cdot I$  en el contexto de circuitos eléctricos que contienen exclusivamente resistencias óhmicas. En ese caso, da lo mismo si  $U$  e  $I$  son valores continuos o valores alternos eficaces. Ahora bien, un transformador no es simplemente una resistencia óhmica, sino más bien un circuito con resistencias e inductancias. Aquí, la potencia también se calcula como el producto de corriente y tensión, pero en vez de la potencia efectiva  $P$  se ha-

bla de la potencia aparente  $S$ , que no se indica en vatios (W) si no en voltamperios (VA):

$$S = U \cdot I.$$

La potencia aparente indica el rendimiento de un transformador. Si en un catálogo encontramos la indicación «corriente alterna 16 V/16 VA», esto significa que en el bobinado secundario la tensión es de 16 V y que la corriente es de

$$I = \frac{S}{U} = \frac{16 \text{ VA}}{16 \text{ V}} = 1 \text{ A}.$$

La potencia aparente del bobinado primario y del secundario son —casi— iguales:

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 ; 0$$

$$I_1 = I_2 \cdot U_2 / U_1.$$

Sustituyendo la tensión por el número de espiras, obtenemos

$$I_1 = I_2 \cdot N_2 / N_1.$$

Aplicado a un transformador de modelo ferroviario, esto significa que la corriente de la red  $I_1$  es notablemente menor que la corriente secundaria  $I_2$ ; en el caso de nuestro ejemplo del apartado anterior (1.500 espiras en el bobinado primario, 109 en el secundario) y con  $I_2 = 1 \text{ A}$  resultaría lo siguiente:

$$I_1 = 1 \text{ A} \cdot 109 / 1.500 = 0,073 \text{ A}.$$

El aparato de Titan representado en la figura 9.6 tiene una potencia de 60 VA; de ello se podría deducir que, con una tensión de 2 V obtenida entre los bornes de 14 V y 16 V, la corriente nominal sería de

$$I = 60 \text{ VA} / 2 \text{ V} = 3 \text{ A}.$$

No tendría sentido preparar el bobinado para una corriente tan alta, ya que, con la misma potencia y 25 V, sólo se obtendría una corriente de

$$I = 60 \text{ VA} / 25 \text{ V} = 2,4 \text{ A.}$$

El transformador presentado está preparado para una corriente de 4 A; al superar este valor, reacciona el cortacircuitos térmico.

Así pues, en la carcasa de un transformador se debería encontrar la siguiente información: la tensión de conexión a la red (220 V), las tensiones secundarias disponibles, la potencia (aparente) y la corriente secundaria nominal —si ésta no concuerda con el valor calculable a base de los valores de potencia y tensión—.

## Funcionamiento en paralelo de transformadores

¿Qué hacer si un transformador está sobrecargado? Este caso se puede produ-

cir rápidamente en instalaciones de tamaño medio. En un solo transformador (14 V/14 VA) se pueden conectar, a duras penas, 20 bombillas (14 V/0,05 A), un número que se alcanza enseguida. Ya hemos apuntado una solución: la conexión en paralelo de bobinados secundarios. Esto puede conllevar problemas y no siempre está exento de peligro.

Antes de realizar una conexión en paralelo, hay que comprobar la diferencia de fases de la tensión secundaria. Suponiendo que disponemos de dos transformadores realmente idénticos y que ambos están correctamente conectados a la fase de la red, no se presentarán problemas. Pero la conexión correcta no es del todo fácil, ya que las clavijas *euro* de dos polos se pueden enchufar de una manera o de otra. Esto significa que se obtiene una conexión según la figura 9.7 o según la figura 9.8 sin poder controlarlo directamente. En el

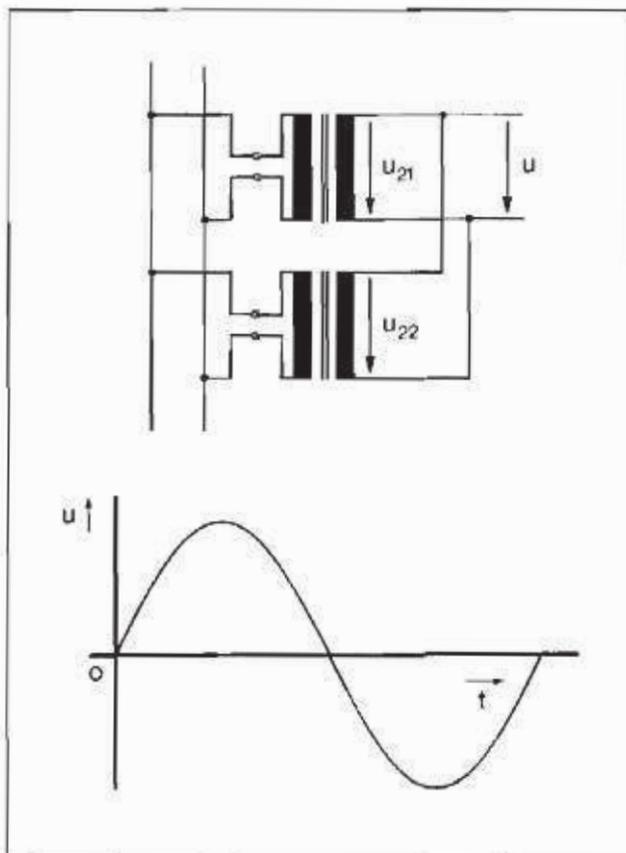


Figura 9.7 Conexión en paralelo de dos transformadores idénticos con conexión correcta a la fase de la red.

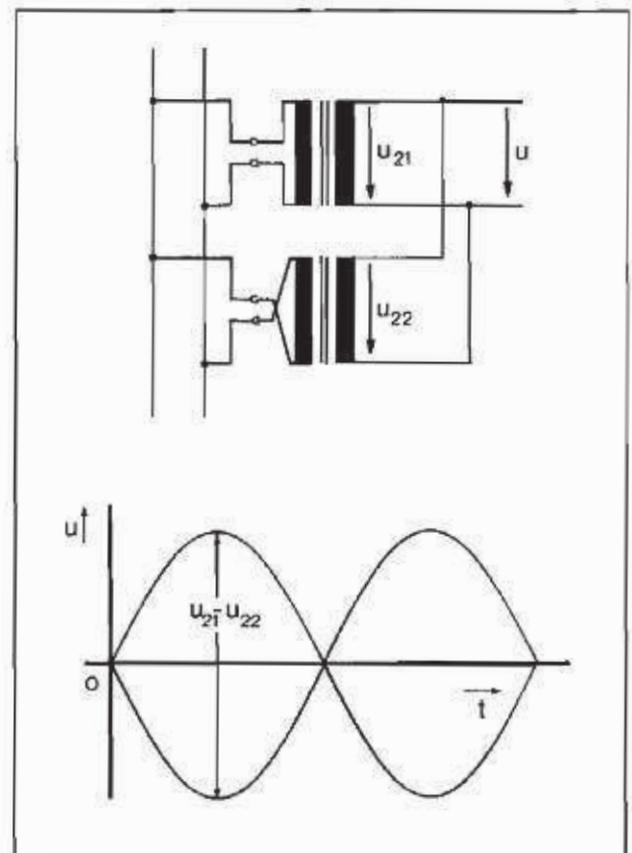


Figura 9.8 Esquema de la conexión incorrecta a la red de uno de los bobinados primarios.

segundo caso fluye una corriente de compensación muy alta impulsada por la diferencia entre las tensiones  $U_{21}$  y  $U_{22}$ , que corresponde al doble del valor eficaz de las tensiones en las bobinas y que sólo se ve limitada por las bajísimas resistencias internas  $R_i$ . El diagrama equivalente ilustra la situación.

En un esquema equivalente, los elementos no se representan con sus símbolos sino con su circuito equivalente. Éste describe las propiedades reales de los elementos basándose en elementos idóneos. Así, una bobina representa una inductancia  $L$ , aunque sin duda también posee una resistencia óhmica  $R$ . Por lo tanto, el circuito equivalente es una conexión en serie de una inductancia  $L$  (sin resistencia) y de una resistencia  $R$  (sin inductancia). El caso del transformador es similar; ya se ha comentado que su tensión de salida depende de la carga. El transformador como elemento real se puede sustituir por una fuente de tensión ideal cuya dependencia de la carga se tiene en cuenta mediante la resistencia interna  $R_i$ . El esquema equivalente también es de gran importancia para describir diodos. Concluamos, pues, que el diagrama de conexiones con los símbolos de cada elemento representa las diferentes conexiones y el cableado; el diagrama equivalente, en cambio, describe el comportamiento físico de los elementos.

Para la conexión en paralelo de transformadores vale, por tanto:

$$U_{21} - U_{22} - R_i \cdot I - R_i \cdot I = 0;$$

$$\text{o también } I = \frac{U_{22} - U_{21}}{2 R_i}$$

En caso de una conexión correcta de las fases, resulta que  $U_{22} = U_{21} = U$ ; o sea,  $I = 0$ . En caso de una polaridad equivocada de la alimentación o conexión equivocada de los dos bobinados secundarios, en cambio, tenemos  $U_{22} = -U_{21} = U$ ; es decir,

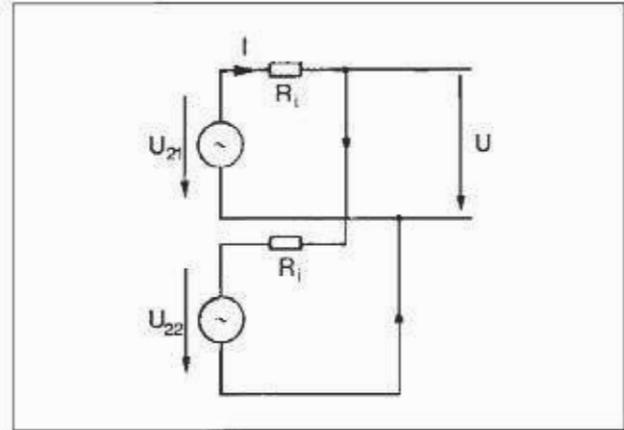


Figura 9.9 Esquema de la conexión en paralelo de los transformadores

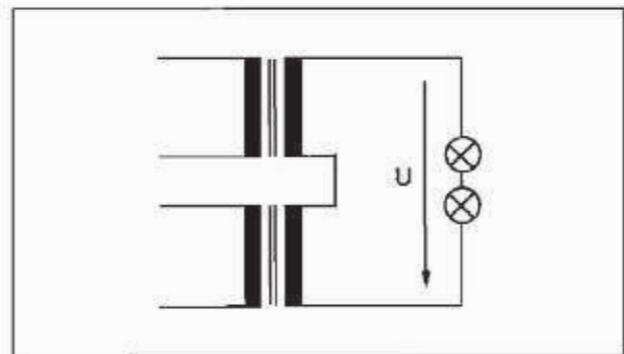


Figura 9.10 Comprobación para detectar la conexión correcta de la fase.

$$I = \frac{2 U}{2 R} = \frac{14 \text{ V}}{2 \Omega} = 7 \text{ A}$$

con  $U = 14 \text{ V}$  y  $R_i = 2 \Omega$  la tensión de salida es

$$U = U_{21} - R_i \cdot I = 14 \text{ V} - 2 \Omega \cdot 7 \text{ A} = 0 \text{ V}.$$

Se puede detectar la conexión correcta de la fase realizando una comprobación tal y como muestra la figura 9.10. Dado que, en caso de diferencia entre las fases, la tensión  $U$  corresponde a la suma de las tensiones de los dos bobinados, la conexión de comprobación ha de constar de la conexión en serie de dos bombillas usuales de  $14 \text{ V}$ , a no ser que se disponga de un medidor de tensión. Si las bombillas no producen luz, sabemos que  $U = 0$  y los transformadores están conectados correctamente. Entonces, podemos realizar la conexión en paralelo. De lo contrario, hay que in-

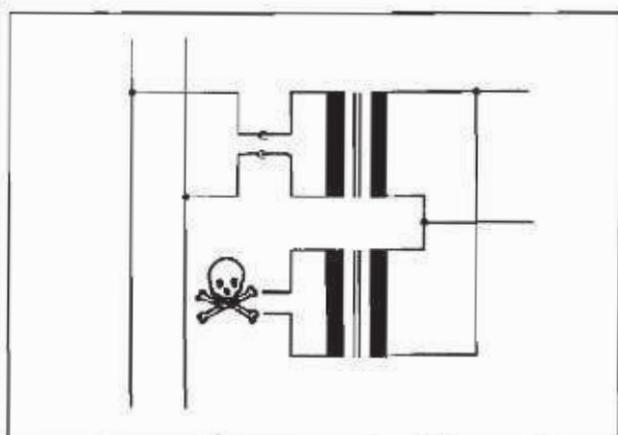


Figura 9.11: Tensión peligrosamente alta en la clavija de enchufe de un transformador conectado en paralelo con otro

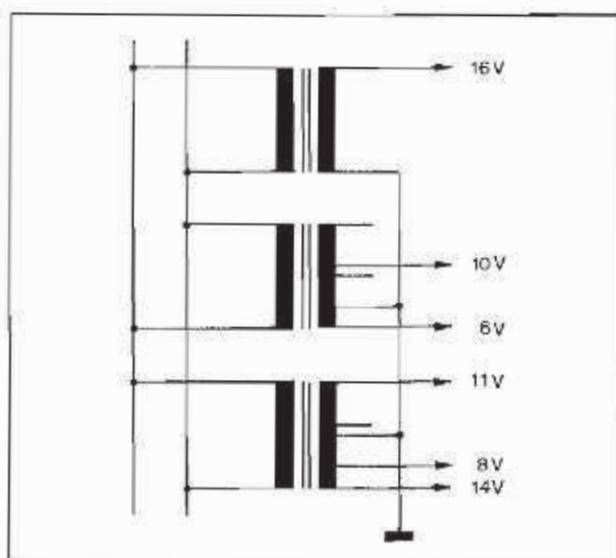


Figura 9.12: Conexión para la alimentación de consumidores con tensiones escalonadas.

vertir los polos de una de las clavijas de conexión enchufándola al revés.

No obstante, quizá se presenten más problemas: ¿qué pasa si las tensiones de los dos transformadores no son totalmente idénticas; por ejemplo,  $U_{21} = 14,5 \text{ V}$  y  $U_{22} = 13,5 \text{ V}$ ? En este caso, los transformadores se cargan con una corriente que no contribuye a la alimentación de los consumidores. De forma correspondiente al esquema equivalente del que hemos hablado, esta corriente es

$$I = \frac{14,5 - 13,5 \text{ V}}{2 \cdot 2 \Omega} = 0,25 \text{ A.}$$

Si la corriente nominal es de 1 A, así ya se ha malgastado el 25 % de la potencia. Por ello, hay que fijarse sin falta en que sólo los transformadores idénticos se conecten en paralelo.

Aparte de los problemas ya tratados, la conexión en paralelo incluso puede llegar a entrañar un peligro de muerte: si la clavija de uno de los transformadores se saca de la base de enchufe, en las varillas metálicas de la clavija hay una tensión de ¡220 V! Y ¿quién sospecha de un aparato que, aparentemente, ni siquiera está conectado a la red?

Resumamos, pues, que la conexión en paralelo de transformadores conlleva problemas y peligros que hacen aconsejable prescindir de ella. Si un transformador está sobrecargado, se debería sustituir por uno más potente, o bien dividir los consumidores en varios grupos.

Esto último se puede hacer siguiendo criterios de proximidad física, pero parece más lógico hacerlo según los tipos de consumidores; por ejemplo, todos los faroles de agujas, la iluminación de edificios o las señales luminosas. Ésta viene a ser la mejor solución, especialmente si los diferentes tipos de consumidores precisan de tensiones diferentes para conseguir cierto realismo. En este caso, también se crea una conexión en paralelo de los transformadores si se utiliza un cable de retorno común, aunque sea de forma indirecta a través de los consumidores. Sin embargo, las tensiones en la clavija desconectada son notablemente más bajas que en la conexión en paralelo directa, de la que —insistimos— se debería prescindir.

Para disminuir los peligros descritos, se debería conectar todos los transformadores a una misma base de enchufe múltiple provista de una advertencia correspondiente. De todas formas, la mejor protección es el uso exclusivo de corriente continua en todos los consumidores; el rectificador acoplado entre el transforma-

dos y la inductancia impide que la tensión pueda pasar del lado secundario (esta acción) al primario (conexión a la red).

## Transformadores (paneles de control) de corriente continua

La conexión de un transformador regulable, un rectificador (conexión en puente) y un inversor de polos forma la forma de la tensión de tracción que —en parte al completarla por una serie de tensión alterna— se denomina panel de control a tensión continua.

El inversor de polos. Un conmutador bipolar es necesario para poder invertir la polarización de la tensión de tracción en los bornes de salida y por consiguiente, el sentido de marcha de los vehículos. Por regla general, el inversor de polos forma una sola unidad con el tema de corriente regulable, así que se puede regular la tensión e invertir el sentido de la marcha con un mismo botón giratorio. Los bornes de salida deben estar protegidos contra sobrecargas mediante un interruptor térmico.

Como se ve claramente en el esquema, la forma de tracción se regula por medio de la amplitud de la tensión alterna. En este caso, se renuncia a nivelar la tensión por medio de condensadores.

res. La regulación de la tensión continua por medio de la amplitud de tensión se llama regulación por amplitud y se aplica de forma parecida en la realidad.

Ya hemos hablado de los valores que caracterizan el funcionamiento de un panel de control o transformador. Aparte de la potencia (aparece en la corriente nominal es de suma importancia) de cada dependiente de cuántos vehículos los nodos circuitos térmicos. Se debe calcular la potencia aproximada que debe tener el inversor de polos para poder manejar una idea de la potencia que no debe tener el transformador. Los valores de la tabla 9.1 dan una idea del consumo de corriente con 14 V. Se puede ver que los paneles de control pé-

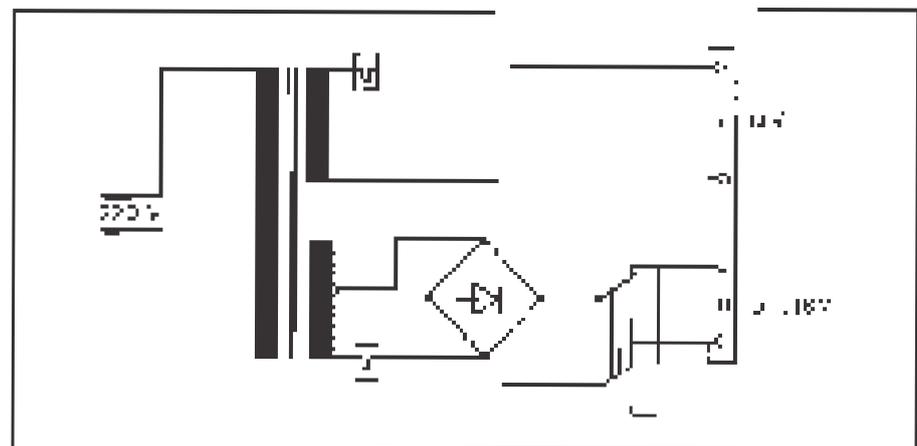


Figura 9.13 Esquema de un panel de control a tensión continua.

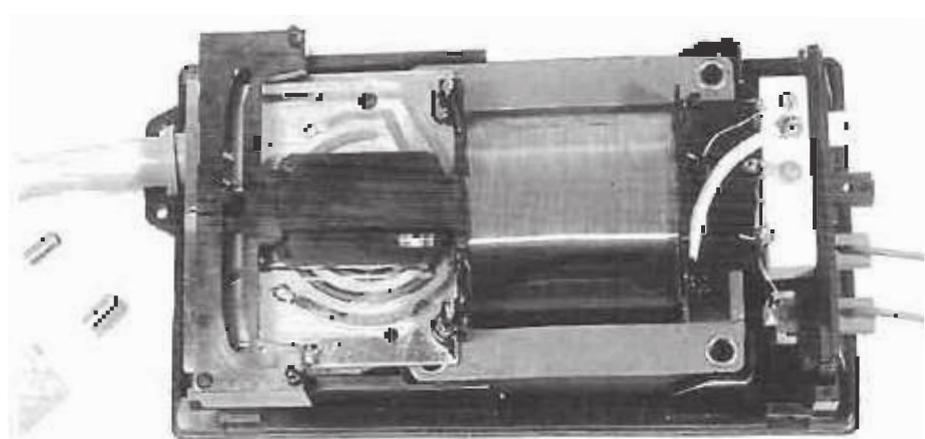


Figura 9.14 El eje de un control de control a corriente continua es (30-0-30) 1000/150.

cuerpos (7 VA/0,5A) se o permiten: La alimentación de una locomotora con iluminación (250 mA) o de tres vagones con iluminación en interior (100 mA cada uno).

|   |          |
|---|----------|
| Locomotora pesada III.                    |          |
| 3 motores (1,5 VA cada uno)               | 2.250 mA |
| Locomotora pesada III. (sin carga)        | 750 mA   |
| Locomotora pesada IV. (sin carga)         | 250 mA   |
| Mecanismo de accionamiento<br>por bobinas | 500 mA   |
| Dinamos                                   | 60 mA    |
| Dinamos más                               | 20 mA    |
| Bobinas (motores C.F.D.)                  | 20 mA    |

Tabla 9.1 Consumo de corriente de diferentes de la red de la ferrocarril

La salida de tensión a toma de los mismos vértices puede alcanzar diez bridas de 50 mA cada una, lo que hasta a duras penas para las señales luminosas y los relés de agujas de una pequeña estación; y con este carga ya no hay garantía de que el transformador pueda suministrar la corriente de conmutación suficiente para impulsar los elementos electromagnéticos. Si bien el cortocircuito térmico no maximiza en segundos, la tensión en los bornes se reduce sensiblemente (fuente de tensión con resistencia interna). Naturalmente, el consumo bajo si se disminuye la tensión de una alimentación en los consumidores a un valor inferior a la tensión nominal (14 V); esto se consigue, por ejemplo, mediante un elemento de regulación o utilizando un transformador con varios tomas en el bobinado secundario (ver figura 11.11).

Para los paneles de control de tracción de Industrias existen detalladas normativas e instrucciones de seguridad. Cada aparato ha de llevar una placa que garantice el cumplimiento de todas las normas. Estas se refieren a valores nominales, inscripciones, protección contra descargas, función de salida de emergencia, protección contra cor-

tos, ruidos y sobrecarga, resistencia mecánica, conexión a la red, normas de construcción, etc.

El hecho de que, según la normativa, los paneles del modelismo ferroviario se denominen transformadores para juguetes no debería molestar al modelista. A fin y al cabo, esta misma normativa garantiza un máximo de seguridad en el lugar de separación entre la red con su peligrosa tensión de 220 V y la instalación, en la que se puede tocar cualquier pieza sin correr el riesgo de sufrir una descarga eléctrica. Conforme a la normativa de seguridad, los caracteres de los paneles no se pueden ocultar ni borrar con las manos. Si se observa el impreso o caso de duda, a pesar de un buen contacto, el panel presentará un defecto para la reparación, se debe acudir a un experto con motivo de un establecimiento especial para el modelismo, sin olvidar muchos consi-

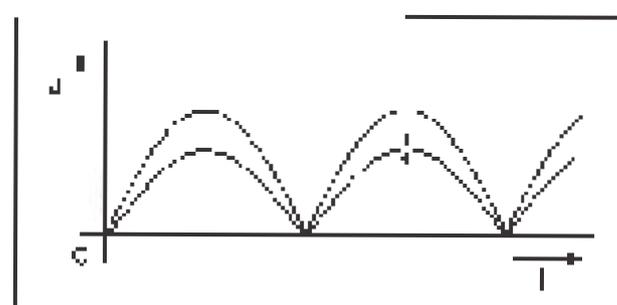


Figura 9.15 Tensión con regulación por bobinado en diferentes posiciones

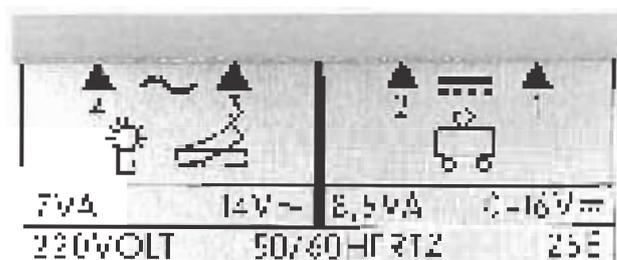


Figura 9.16 Interruptor de regulación en el etiquetado de un panel de tracción de ferrocarril modelista.

jos y trucos para aligerar el presupuesto del modelista. Sin embargo, hemos renunciado expresamente a describir circuitos y construcciones que conllevarían una intervención (prohibida) en el panel de fabricación industrial o que incitarían a construirlo uno mismo.

## Funcionamiento con semiondas

Los paneles de control a corriente continua suministran una tensión ondulada (figura 9.15) que contiene las dos semiondas de la tensión alterna que hay en el otro lado del rectificador. Se prescinde de nivelarla con la ayuda de un condensador. Éste aumentaría el valor medio de la tensión rectificada, lo que a su vez aumentaría la velocidad media de los vehículos motores. Sin embargo, esto es superfluo, ya que los modelos alcanzan una velocidad máxima que es, proporcionalmente, de dos a cuatro veces superior a la de los trenes reales. Por otro lado, la menor velocidad posible suele superar —también en proporción, claro está— los 30 km/h. Los motivos se exponen en el capítulo 10, donde también se muestran posibilidades de mejorar el comportamiento de los trenes en marcha.

Una de estas posibilidades tiene que ver con la forma de la tensión de tracción, que debería ser rectangular (ver figura 9.19) o formarse de sólo una de las dos semiondas de

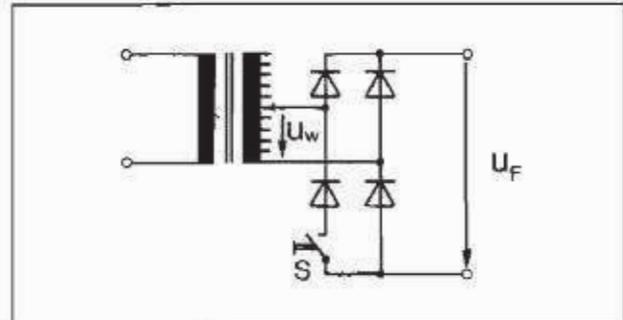


Figura 9.17 Circuito de un panel de control con funcionamiento con semiondas (*S* abierto) y ondas completas (*S* cerrado).

la tensión alterna. Una tensión de este tipo se obtiene con un rectificador de semionda (figura 5.12). El funcionamiento con semiondas se suele denominar marcha de maniobras, con ondas completas se habla de marcha de línea. Para una co-

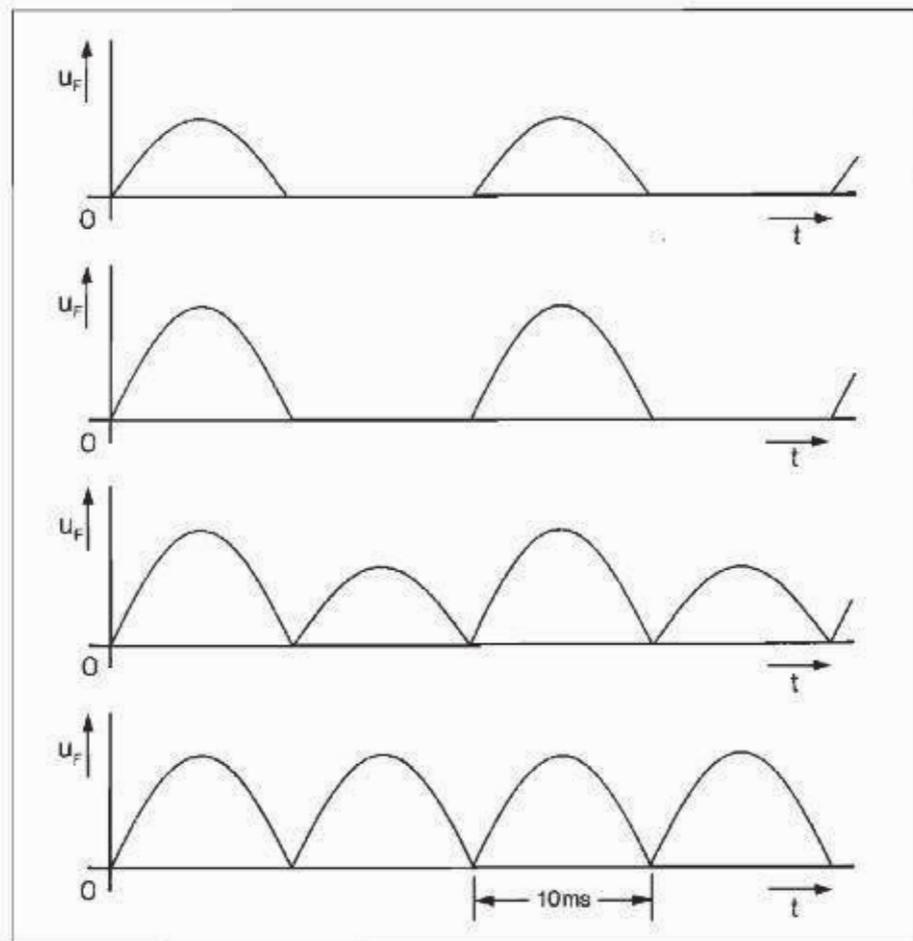


Figura 9.18 Trayecto temporal de la tensión de tracción con velocidad creciente.

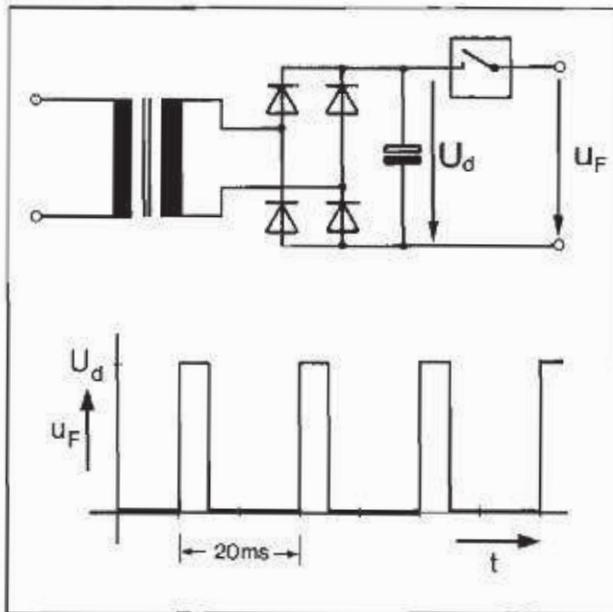


Figura 9.19 Diagrama y trayecto temporal de la tensión de tracción con regulación electrónica.

nexión de este tipo se necesita una fuente de tensión alterna regulable, un rectificador en puente construido con cuatro diodos (piezas sueltas) y un interruptor unipolar.

Sustituyendo el interruptor S por un potenciómetro conectado como resistencia regulable (aproximadamente  $50 \Omega/25 \text{ W}$ ), el paso de semionda a onda completa se puede realizar de forma acompasada. La figura 9.18 muestra cómo cambia la forma de tensión con un valor medio  $U_F$  creciente. Sólo cuando la semionda alcanza su mayor amplitud (por regulación en el panel), entra la segunda semionda por un cambio en la resistencia.

La adaptación de un panel a corriente continua ya existente es imposible, ya que requeriría una intervención en el interior de la carcasa. Una posibilidad de construirlo uno mismo es utilizar un panel a corriente alterna (Märklin, Titan), al que se conectan —como ya se ha descrito— un rectificador con un interruptor

o un potenciómetro a la salida de corriente continua para conseguir así una tensión alterna regulable.

Los fabricantes de maquetas ferroviarias también ofrecen paneles con funcionamiento con semiondas. El paso a la onda completa se realiza de forma automática al girar el botón regulador, las tensiones generadas se parecen más o menos a la de la figura 9.18. Los aparatos tienen nombres tan pretenciosos como «regulador de precisión multi-sensible».

El próximo paso para mejorar la tensión de tracción y, así, la marcha de los trenes, es el uso de tensiones rectangulares. En este caso, el valor medio depende del tiempo durante el cual el interruptor S (figura 1.19, arriba) se mantiene en posición cerrada. Para lograr una marcha uniforme, las conmutaciones han de producirse unas 50 veces por segundo. Con interruptores mecánicos, esto es prácticamente imposible; hay que emplear un conmutador electrónico (transistor).

## Resumen:

*La función del panel de control es alimentar la instalación con energía. El hecho de que suelen llamarse transformadores demuestra la gran importancia de esta pieza para el panel. El transformador es completado por cortacircuitos, interruptores y, en caso de funcionamiento con corriente continua, un puente rectificador. Como elemento de conexión entre la red y la instalación, estos aparatos han de cumplir severas prescripciones de seguridad que siempre se deberían respetar.*

# 10

## Motores para los trenes

Los motores de las locomotoras dan movimiento a la instalación de modelismo ferroviario. Si no existiesen, no habría hecho falta escribir este libro. Desgraciadamente, el comportamiento en marcha de numerosos modelos deja mucho que desear: alguna que otra locomotora preciosa, realista hasta en el último detalle, se mueve por la vía de forma basta y torpe. Este capítulo examinará, de forma crítica, la electromecánica de los modelos actuales. En ocasiones también desviaremos la mirada hacia los trenes reales; es curioso cuántas similitudes, pero también cuántas diferencias hay entre la maqueta y el original.

### Así se produce un par de giro

Vamos a hacer algunas reflexiones que ayudarán a comprender mejor el funcionamiento de los motores eléctricos. Todos funcionan gracias al siguiente efecto físico: cuando un hilo por el que fluye una corriente se encuentra en un campo magnético, se ejerce una fuerza sobre él. El campo magnético puede provenir de un imán permanente o de una bobina. La fuerza depende de la cantidad de corriente y de la densidad del campo magnético, pero también de la longitud del hilo:

Fuerza = corriente x longitud x densidad magnética

$$F = I \times l \times B.$$

Los experimentos físicos demuestran que la fuerza llega a su máximo cuando el flujo magnético se acerca al hilo verticalmente; entonces, el efecto

de la fuerza es tal que parece querer empujar el hilo hacia un lado para sacarlo del campo magnético, como se puede ver en la figura 10.1.

Cuando se forma un bucle con el hilo y se le coloca de tal manera que puede girar, se obtiene un movimiento giratorio, es decir, un par de giro. Con piezas de hierro se consigue que el campo magnético llegue al bucle en todas las posiciones de éste, como ilustra la figura 10.2. Las piezas de hierro forman dos semicírculos alrededor del bucle que gira. Se habla de zapatas polares, ya que los semicírculos corresponden a los polos norte y sur, respectivamente, y cubren la trayectoria del bucle giratorio.

Dado que el sentido del flujo de corriente es opuesto en el conductor de

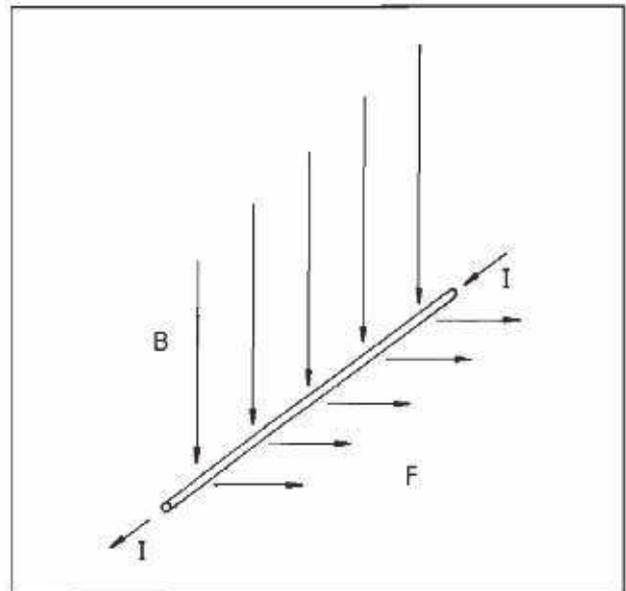


Figura 10.1 Un campo magnético ejerce una fuerza sobre un conductor por el que fluye corriente.

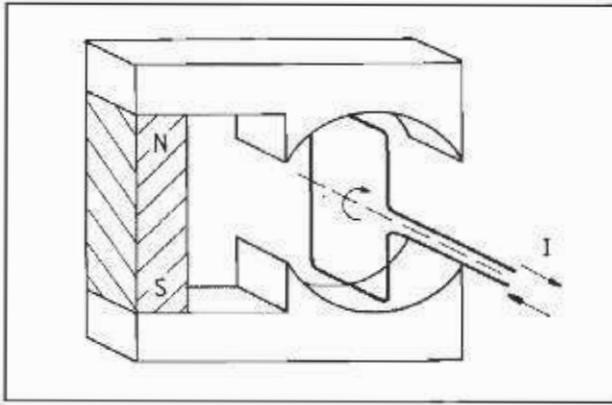


Figura 10.2 En un bucle conductor entre las zapatas polares se crea un par de giro.

ida y el de retorno, el sentido de la fuerza ejercida sobre cada uno de ellos también es diferente. Ambas fuerzas forman, en conjunto, el par de giro. En un motor no hay un solo bucle sino numerosas espiras. El hilo tiene el diámetro justo para no calentarse demasiado con la corriente máxima. Un cilindro con ranuras hecho de capas de chapa de hierro sirve como soporte de las espiras. Para que no se produzcan cortocircuitos, los hilos han sido tratados con laca aislante. Así, el bobinado está colocado de forma estable y el campo magnético atraviesa las diferentes espiras, contribuyendo cada una lo suyo al par de giro. La parte móvil del motor se llama rotor o inducido, la parte fija con imán y zapatas polares se denomina estátor.

Sin embargo, en este simple modelo falla algo. Mientras el conductor de ida y el de retorno se encuentren debajo de una zapata polar, todo va bien; pero cuando el bucle se encuentra en posición paralela a las dos zapatas y, por lo tanto, en la zona neutra, el par de giro desaparece. Entonces, el bucle gira algo más por la inercia, la parte que estaba bajo la influencia del polo norte entra en el campo del polo sur y viceversa, por lo que se invierte el efecto y el bucle gira en el sentido opuesto. Así, un bucle como el de la figura 10.2 oscilaría unas cuantas veces para acabar quedándose inmóvil en la zona neutra.

Este problema se soluciona con un sencillo dispositivo mecánico: éste, llamado conmutador o colector, provoca la inversión del sentido del flujo de corriente cuando el bucle atraviesa la zona neutra. Utilizando el mismo ejemplo de un solo bucle, se puede ilustrar más claramente cómo funciona. En la figura 10.3 el colector consta de dos elementos curvados de cobre aislados entre sí, fijados en el eje del rotor y conectados con el conductor de ida y de retorno del bucle; el rotor se alimenta de corriente mediante dos cursores. En la figura 10.3a hay un par de giro que impulsa el bucle. Cuando éste entra en la zona neutra, llega un momento en que los cursores

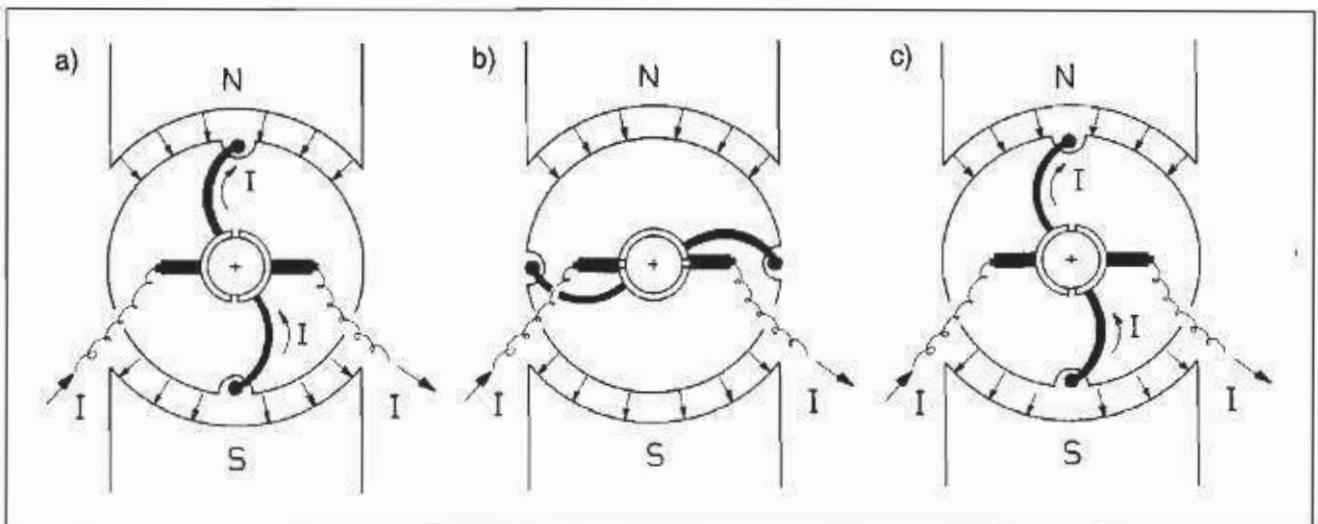


Figura 10.3 El colector invierte el sentido del flujo de corriente en el bucle conductor.

crean un puente entre los dos elementos de cobre, cortos circuitando así el bobinado (figura 10.36).

Por lo tanto, la corriente ya no puede salir al bucle, si éste sigue girando el rotor cuando se enlaza. Al mismo tiempo el sentido del flujo de corriente se ha invertido, lo que significa que el rotor sigue girando en la misma dirección que antes. El rotor de este tipo ya servirá a la inercia siempre fuera suficientemente para superar la zona neutra. Sin embargo, es algo que no ocurre un par de grados en cualquier posición del rotor, el bobinado o el arrollamiento no se ha de distribuir en dos ranuras sino en muchas, uniformemente distribuidas alrededor del rotor; así, siempre hay el mismo número de bucles en las zonas polares. Ahora bien, esto cumple la estructura de un rotor. Conforme al número de pares de ranuras, el colector presenta numerosas subdivisiones.

En este caso, se habla de las láminas del colector; estas se pueden ver en la figura 10.4.

En lo que a alimentación de corriente se refiere, inicialmente se utilizaban cables de hilo de cobre que tocaban el colector. Se sigue haciendo de escobillas, aunque ahora se utilizan los de carbón o grafito. Cuando los cables del colector se conectaban en la zona

neutra mediante las escobillas, la alta resistencia de paso del grafito disminuía notablemente el chispileo que se producía con cables metálicos y que desgastaba rápidamente el colector. En los grandes motores, como los de las locomotoras eléctricas reales, hay que añadir más elementos para garantizar el funcionamiento a toda carga. En los diminutos motores del modelo, como es innecesario.

Algunos motores de modelos de trenes tienen una escobilla de carbón y otra de cobre, con corrientes tan diferentes, el carbón tiende a ensuciar el colector o escoba metálica la que se limpia.

## Motores en miniatura para trenes en miniatura

Al construir motores para las locomotoras, tanto las reales como las del modelo, los ingenieros se encuentran con una falta de espacio. En el original, lo que se debe cubrir en el bastidor del bogie: los modelistas, por su parte, quieren ver el tren al interior de la cabina de mando; hasta se procura de quedar invisible. Comparado con las potencias reales con las que se trabaja en la ingeniería industrial (generadores de centrales eléctricas con una potencia de 2 millones de kW), motores de locomotoras de 1.000 kW, el motor es una manija de tren con sus pocos vatios (figura como ejemplo en miniatura).

Mientras que el ensamblamiento de un diámetro de motor de 20 mm real se monta manualmente, los ejes pares del modelismo son fabricados por máquinas. La industria produce inmensas cantidades de motores diminutos que están diseñados para la banda fabricada en masa. De hecho, los modelos más sencillos, que están contruicidos para realizar, de forma variable, 10.000 revoluciones por minuto, no sirven para mover trenes, ya que la velocidad de éstos debe ser variable.

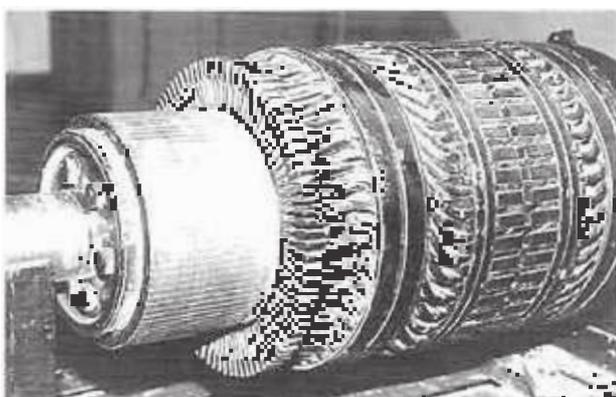


Figura 10.4 El rotor de un motor de 10.5 W con un gran número de bucles y de ranuras del colector. La distribución periódica creada se ve.

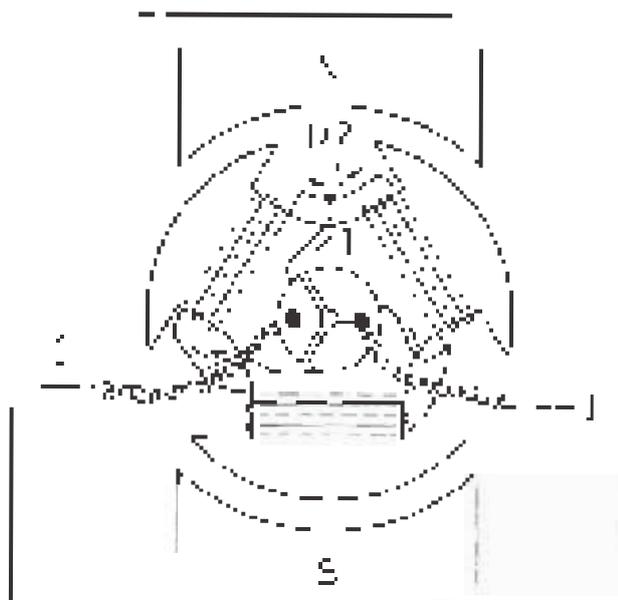


Figura 10.5 Mecanismo de escape y tambor para un reloj automático de bolsillo.

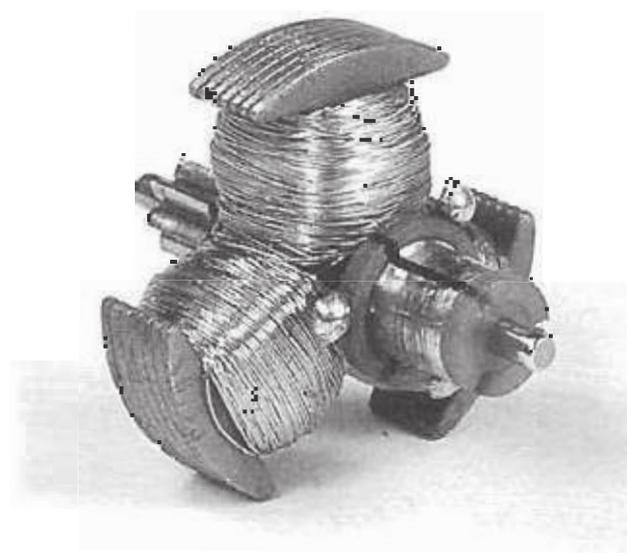


Figura 10.6 Rotor de escape y rotor de tambor con eje de escape y eje de tambor.

No obstante, incluso los fabricantes los ofrecen. El modelo más primitivo que usa un eje de eje en el eje de escape solo tiene tres ranuras. En éstas hay tres tornillos y el colector tiene tres aristas separadas.

Aparte del colector de tambor, en el que las láminas están en posición alrededor de eje del rotor, también existe el colector plano, en el que las láminas forman un disco que rodea la longitud de eje. La figura 10.5 representa un ejemplo de un rotor de este tipo. Se ve claramente que en

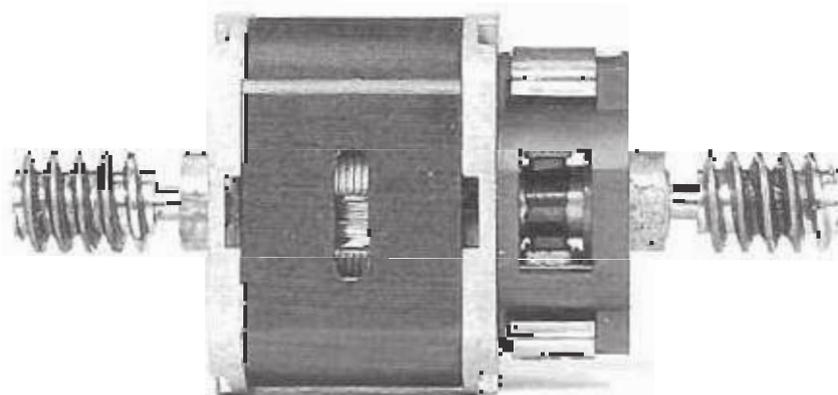


Figura 10.7 Rotor de escape y rotor de tambor con eje de escape y eje de tambor.

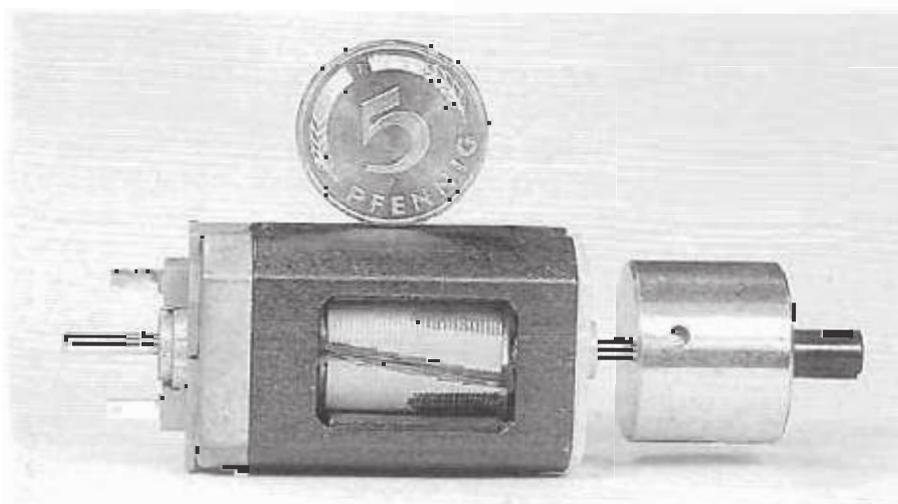


Figura 10.8 Rotor de escape y rotor de tambor con eje de escape y eje de tambor. Se muestra una moneda de 5 pesetas encima del rotor de escape.

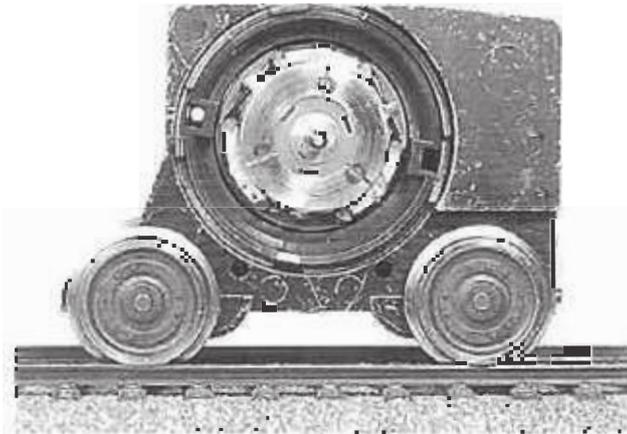


Figura 10.9 Motor de corriente continua de 40 W de Boschmann. Se ve la placa que está, con los tres polos con aislamiento de plástico.

cualquier posición hoy, por lo menos, una ranura en las zapatas; en el dibujo, la ranura de arriba está en el polo norte y las otras dos están en la zona neutra y el bobinado que hay entre ellas se conecta mediante las escobillas. Un instante después el conectorcito se moverá y con las tres bobinas dividida corriente. De ello ya se desprende que el polo de giro de un rotor así no puede ser uniforme.

Entre rotors también se les manejan bipolares —ya que la superficie de cada lámina del colector encaja perfectamente en las zapatas de acero. En consecuencia, el motor sólo tiene dos polos —norte y sur—, por lo que el eje así es una denominación incorrecta. Sin embargo, está muy difundida, así que lo usaremos, aunque sea entre comillas. Un motor de polo sur de colector plano se puede ver en la figura 10.9. La figura 10.7 muestra un modelo con colector de tambor.

Si bien en motores de gran diámetro requieren restricciones de la vista libre en la cabina del maquinista, su par de giro es notablemente mayor que el de los motores de consiguiente alargamiento —engranaje reductor se puede realizar fácilmente con ruedas dentadas, o

o en los ejes de los tornillos sin fin no reversibles.

El otro efecto que, con número bajo de revoluciones, impide las rotaciones uniformes del rotor es el así. Girando el rotor manualmente en ciertas posiciones se nota una resistencia menor o exactamente cuando un polo del rotor está frente a la zapata; esto quiere decir, en esta posición por revolución. A igual que un imán atrae el hierro, el rotor tiende a colocarse en posiciones en las que no hay ranura en, por lo menos, una de las zapatas.

Se habla de los «momentos de enclavamiento», que se superponen al par de giro. Con un número alto de revoluciones, no se podrá sentir, pero una marcha lenta correcta resulta sencillamente imposible. En este sentido, el rotor de cinco polos con el bobinado distribuido entre cinco ranuras y con colector de cinco láminas es algo mejor: los momentos de enclavamiento son más débiles al pasar de giro de pocas vueltas, pero para nuestros fines tampoco se trata de un motor como he de ser.

## Motores con excitación eléctrica

El campo magnético que ejerce el fuerte sobre el rotor también puede ser excitado por una bobina por la que fluye corriente. Se denomina excitación eléctrica de campo. Se puede alimentar de una fuente de tensión propia como, por ejemplo, una pila; entonces se habla de motores de excitación independiente. Pero también puede estar conectado con el rotor, ya sea en serie o —común cuando se trata de un motor de excitación en paralelo— en paralelo —entonces se habla de un motor de excitación en serie—. La figura 10.10 muestra un esquema de ambas tipos; en el esquema de conexiones, el tipo de conexión entre armadura y rotor se ve claramente. Mientras que en la maquinaria industrial predominan los motores de excitación

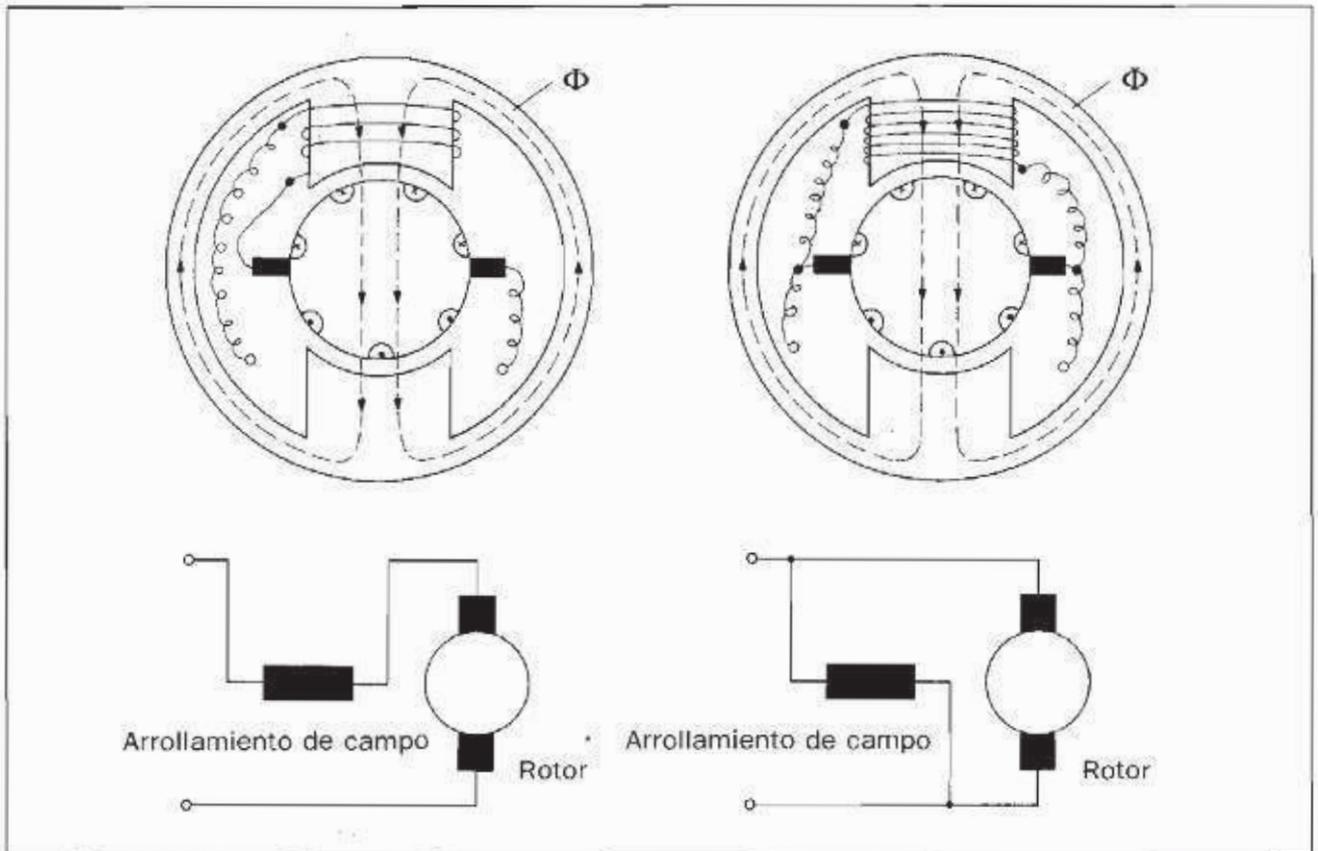


Figura 10.10 Un motor con excitación en serie y otro con excitación en paralelo con sus respectivos esquemas equivalentes

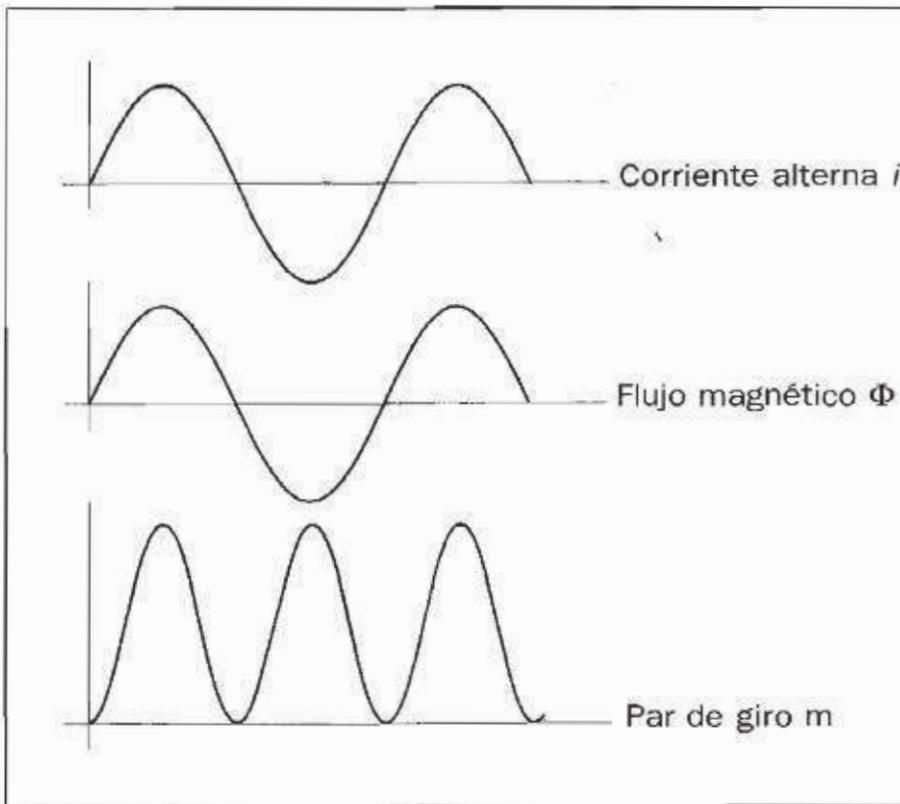


Figura 10.11 En el motor de excitación en serie la corriente alterna y el campo magnético alterno dan un par de giro positivo.

independiente y en paralelo, en los trenes —tanto en los reales como en los del modelismo— sólo son relevantes los motores de excitación en serie.

Es importante saber que el sentido de giro de un motor de excitación en serie o en paralelo no se puede invertir con un simple cambio de polaridad de las conexiones exteriores, lo que sí es posible en los motores con imán permanente de las locomotoras de corriente continua. Puesto que se invierte el sentido del flujo de la corriente y el del campo magnético, el senti-

do de giro se mantiene aun invirtiendo los bornes de conexión. En cambio, el motor de excitación en serie tiene la ventaja de que se puede alimentar también con corriente alterna. Si el rotor de un motor con imán permanente se alimentase con corriente alterna, el par de giro cambiaría de sentido 50 veces por segundo, al igual que la corriente; el rotor, en cambio, permanecería inmóvil.

Sin embargo, en el motor de excitación en serie la corriente del motor y el campo magnético tienen una conexión directa y cambian de sentido al mismo tiempo; así, siempre hay un par de giro, tal y como se ve en la figura 10.11.

Como el motor de excitación en serie puede funcionar con corriente alterna y continua, también se llama motor universal. Ahora muchos pensarán en Märklin, cuyas locomotoras contienen este tipo de motores; pero no hay que pasar por alto que la práctica totalidad de locomotoras reales, ya sean a corriente continua o alterna, tanto tranvías como locomotoras diesel-eléctricas, están equipadas con este tipo de motores. Su ventaja es que adaptan el campo magnético de forma automática a la carga. Cuando la corriente del rotor aumenta para producir mayor fuerza de tracción o de aceleración, el flujo magnético aumenta al mismo tiempo, por lo que el par de giro se refuerza doblemente.

Aprovechamos la ocasión para explicar brevemente por qué en los trenes a corriente alterna reales se emplea una frecuencia de  $16 \frac{2}{3}$  Hz, que es tan sólo una tercera parte de los 50 Hz de frecuencia de la red de alimentación de las empresas suministradoras de energía eléctrica.

Ya se ha dicho que, durante la inversión del sentido del flujo de corriente, las escobillas de carbón cortocircuitan los bobinados. Si un bobinado cortocircuitado se encuentra —aunque sea por muy poco tiempo— en un campo mag-

nético alterno, lo que aquí es el caso, el efecto es el mismo que el de un transformador cortocircuitado: las corrientes que fluyen son muy altas, lo que supondría una carga adicional para el colector. Bajando la frecuencia, este efecto disminuye a niveles tolerables.

No obstante, las redes de ferrocarriles de electrificación reciente —como en Dinamarca— emplean ya frecuencias de 50 Hz; actualmente existen rectificadores de alto rendimiento para la corriente alterna que alimenta las locomotoras, lo que soluciona este tipo de problemas. Así, los ferrocarriles pueden prescindir de una red de alimentación propia, como la necesitan los ferrocarriles alemanes al igual que todos los que funcionan con  $16 \frac{2}{3}$  Hz.

Volvamos con el sistema de Märklin. Para posibilitar el cambio de sentido de la marcha, el motor de Märklin posee dos arrollamientos de campo que están bobinados en sentido opuesto. Según el arrollamiento por el que fluye la corriente, se produce un sentido de giro u otro. La inversión se realiza mediante un relé biestable con contacto inversor unipolar, que reacciona a una tensión alterna de

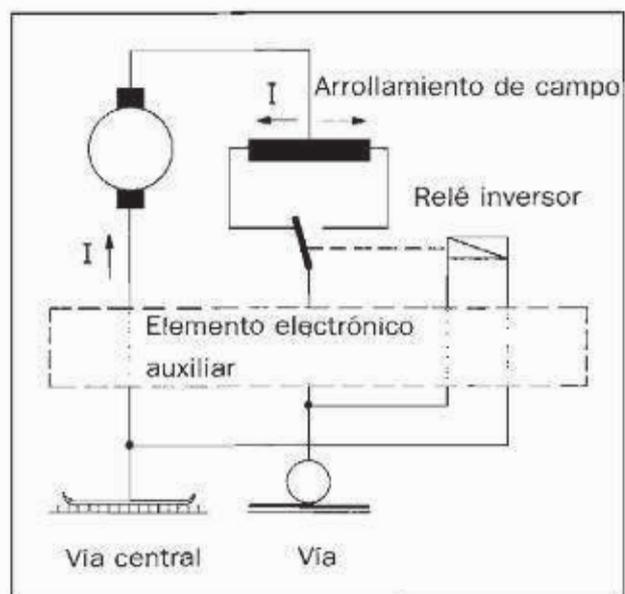


Figura 10.12 Cambio de sentido en una locomotora a corriente alterna.

28 V. Para el cambio de sentido se aplica brevemente esta sobretensión.

Un mecanismo ingenioso interrumpe la alimentación del rotor durante el impulso de sobretensión; ésta, no obstante, llega parcialmente al motor, lo que se manifiesta en que la locomotora da un salto más o menos grande en el momento de la inversión. En los primeros inversores, que se utilizaban principalmente durante los años cincuenta, incluso hacían falta dos impulsos de sobretensión, lo que la locomotora «agradeció» con un salto hacia delante y otro hacia atrás.

Hoy en día, un elemento electrónico auxiliar se encarga de que el motor y la iluminación se desconecten durante el ínfimo instante del impulso de sobretensión. Este dispositivo también asegura la alimentación constante de las luces independientemente de la tensión de tracción y controla la iluminación en función del sentido de la marcha.

Esta pieza también se puede comprar suelta para incorporarla en modelos más antiguos —siempre y cuando quepan—. No detallaremos más su funcionamiento, ya que pertenece al campo de la electrónica.

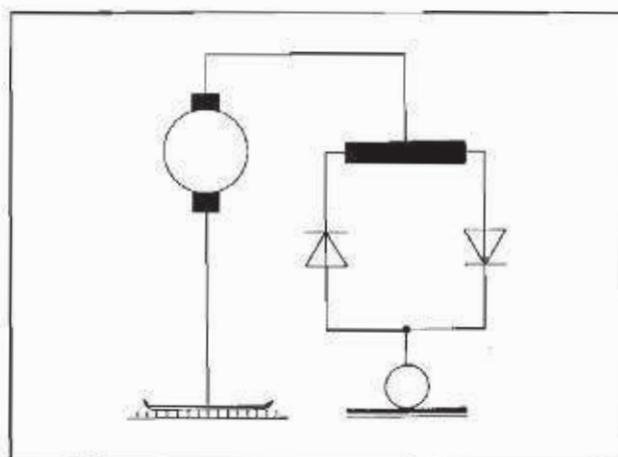


Figura 10.13 Con esta conexión con diodos el motor de Märklin cambia el sentido de la marcha al invertir los polos.

## Superar los límites entre los sistemas

Por falta de espacio para el inversor, el sistema a corriente alterna no sirve para las escalas N y Z. En la escala H0 los diferentes sistemas de corriente de tracción limitan la posibilidad de intercambiar locomotoras.

Sin embargo, no pocos quisieran ver circular trenes de Fleischmann o de Trix en su instalación de Märklin, o viceversa.

Para que una locomotora a corriente continua funcione con corriente alterna, en primer lugar se tiene que equipar con un rectificador. Además, el sentido de marcha ha de ser invertible; para ello, el inversor unipolar de Märklin no sirve. Se necesita un inversor bipolar que se pueda acoplar al motor como inversor de polos. Dado que no existe ningún relé bipolar que reaccione exactamente a la sobretensión del sistema de Märklin, hay que recurrir de nuevo a una pieza electrónica que impida, al mismo tiempo, que el impulso de sobretensión llegue al motor. La empresa Lauer, por ejemplo, ofrece una pieza adecuada de dimensiones mínimas.

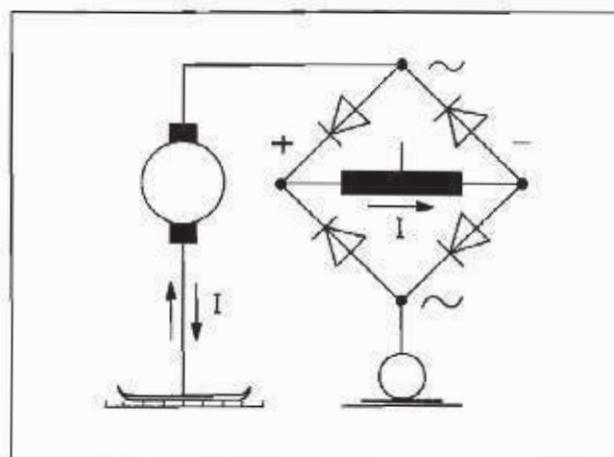


Figura 10.14 Una conexión rectificadora para adaptar locomotoras de Märklin al funcionamiento con corriente continua.

Quien posee muchas locomotoras a corriente continua, pero no quiera renunciar a las ventajas de la vía central, debería plantearse la posibilidad de cambiar toda la instalación para adaptarla a corriente continua.

Así, uno se ahorra la costosa adaptación a corriente alterna de las locomotoras que funcionan con corriente continua, y se evitan los problemas de espacio en el interior de las mismas. Sólo hay que montar en el cursor. Esto puede llegar a ser un problema mecánico realmente complicado, pero no presenta grandes dificultades a nivel eléctrico.

Para adaptar las locomotoras de Märklin al sistema de corriente continua, sólo hay que realizar una modificación poco problemática: se puede prescindir del var inversor y del elemento a motor en su lugar sólo se han de conectar los extremos de los dos arrollamientos de campo, por medio de dos diodos correctamente polarizados, con la carcasa de la locomotora, que tiene conexión eléctrica con las ruedas (ver figura 10.13).

Los diodos se encargan de que la corriente atraviese un arrollamiento u otro, mientras que el sentido del campo magnético permanece siempre igual. Esto corresponde al campo magnético de un motor con imán permanente, cuyo campo también es invariable.

El motor de Märklin se puede mejorar todavía segunda pasar la corriente por ambos arrollamientos. Con el doble de espiras se refuerza el par de giro, lo que mejora la marcha lenta. Los extremos de los arrollamientos que quedan libres se conectan a la salida positiva y negativa respectivamente, de un puente rectificador. La conexión entre el rotor y el centro de ambos arrollamientos se desconecta. El rotor se conecta a una de las dos entradas de corriente alterna de rectificador, mientras que la otra entrada se conecta a la carcasa. En cualquier caso, el sentido del flujo de corriente en los arrollamientos también permanece invariable independientemente de la polaridad de la corriente al cable.

Lo que queda por hacer para adaptar las locomotoras de Märklin al sistema de corriente y corriente continua es:

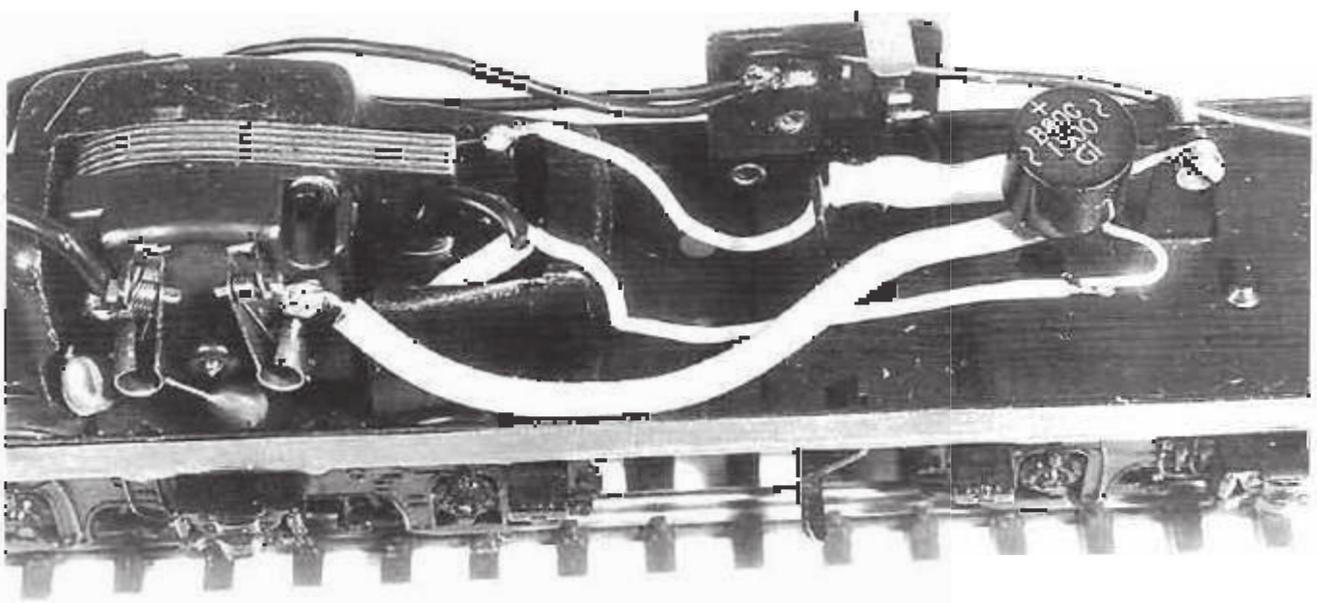


Figura 10.13 El rectificador en puente ha sustituido al var inversor.

lo» un problema mecánico: hay que aislar las ruedas, que están eléctricamente interconectadas; de lo contrario, se produciría un cortocircuito entre los raíles. La receta de serrar la mitad de los radios de las ruedas, pegarlas con pegamento bicomponente y, cuando éste está duro, hacer lo mismo con la otra mitad, debería considerarse con muchas reservas. ¿Por qué? Para empezar, cuente las ruedas...

En las locomotoras tipo HAMO (sistema de dos rieles) se utilizan bujes de plástico en los ejes. Aplicar el mismo para aislar las ruedas del sistema de tres rieles requiere habilidad y un torno muy bueno. Será mejor no meterse en líos y comprar directamente la variante HAMO.

## La tensión y el número de revoluciones

Los apartados anteriores han mostrado la estructura de los motores eléctricos y cómo producen el par de giro; pero un motor no sólo ha de girar; también se debe poder regular y controlar el número de revoluciones. Las relaciones entre el comportamiento del motor, la tensión, la corriente, el par de giro y el número de revoluciones se demuestran con sencillas ecuaciones. Empecemos con el par de giro: al principio de este capítulo ya se ha dado una fórmula para calcular la fuerza del conductor en el campo magnético. De la misma forma, se puede estipular lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Par de giro} = & \\ \text{const.} \quad \times & \text{ corr. del rotor} \quad \times \quad \text{flujo mag.;} \\ m = k \quad \times & \quad I_A \quad \times \quad \Phi. \end{aligned}$$

En la constante  $k$  se incluye el número de espiras del rotor.

Es bien sabido que el número de revoluciones de un motor se puede manipular con la tensión de salida del panel de control: cuanto mayor es la tensión,

más rápido será el motor. Hay que tener en cuenta el efecto de que en un bucle que gira dentro de un campo magnético se induce una tensión. En el arrollamiento del rotor también se induce una tensión cuando el rotor gira. Ésta se denomina tensión inducida o interna  $U_i$  y se puede registrar en las escobillas. Para  $U_i$  también hay una simple fórmula:

$$\begin{aligned} U_i = & \text{ const.} \quad \times \quad \text{flujo mag.} \quad \times \quad \text{núm. de rev.;} \\ U_i = & \quad k \quad \times \quad \Phi \quad \times \quad n. \end{aligned}$$

Si el motor debe trabajar con un número de revoluciones determinado, la tensión aplicada debe ser algo más alta que  $U_i$ , ya que la corriente aún ha de superar la resistencia de paso de las escobillas. Esta resistencia,  $R_A$ , se puede medir fácilmente con un ohmímetro colocando las varillas de medición en los portaescobillas. En el motor de una maqueta de tren esta resistencia es de unos 10 ohmios.

Una sencilla fórmula puede reflejar la relación entre la tensión aplicada, el número de revoluciones y la corriente del rotor. Estipula que la tensión aplicada es la siguiente suma: la corriente del rotor multiplicada por la resistencia del rotor más la tensión inducida del rotor, o sea:

$$U_A = R_A \cdot I_A + U_i.$$

Sustituyendo la tensión inducida por el producto indicado más arriba, obtendremos:

$$U_A = R_A \cdot I_A + k \cdot \Phi \cdot n.$$

Si el motor tiene un imán permanente, el flujo magnético es constante, por lo que la tensión inducida sólo depende del número de revoluciones.

Ahora bien, ¿qué es lo que pasa cuando se aplica una tensión de, por ejemplo, 6 V a los raíles en que se encuentra una locomotora? Al principio, la locomotora no se mueve; el número de revoluciones y, por consiguiente, la ten-



Tensión de tracción 15.000 V 15 000 Hz

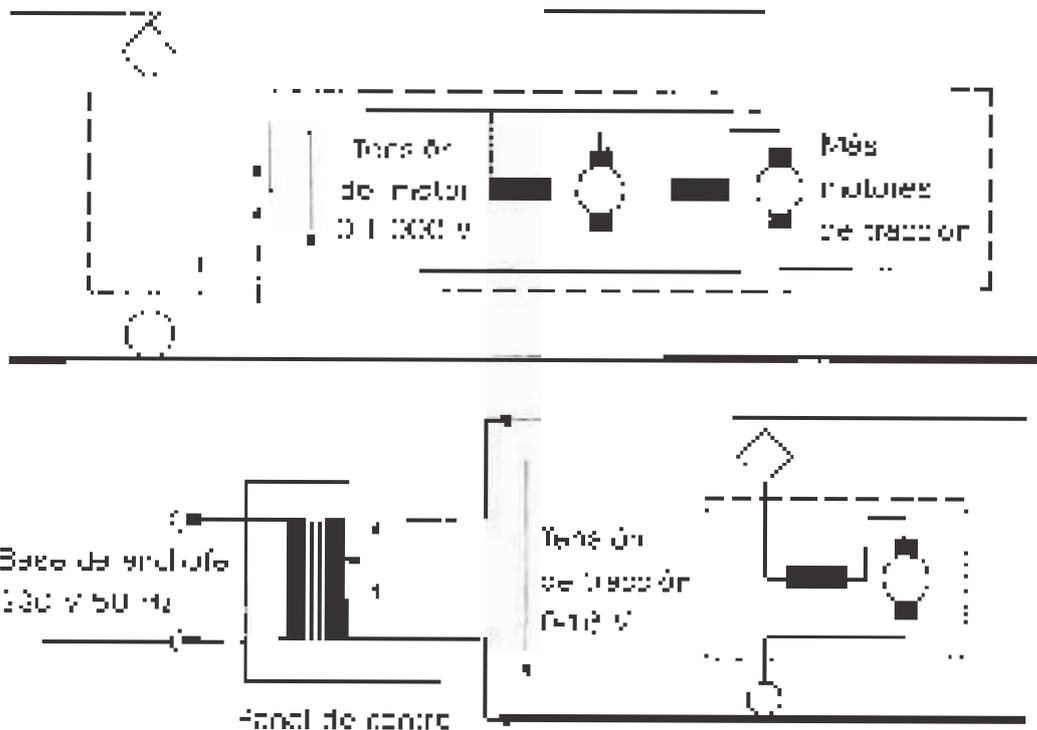


Figura 10.16 Conexión de corriente del modelo UH 112, que proporciona la alimentación eléctrica de tracción. La alimentación se realiza con medio de un transformador denominado "Panel de control" que proporciona del mismo un nivel de tensión de tracción de 15 kV. Este nivel asegura el funcionamiento de los transformadores de potencia.

sión inducida es cero. Fluye una corriente en el rotor que sólo es limitada por la resistencia del rotor, es decir,

$$I_A = 6 V/R_A.$$

Esta corriente, junto con el flujo magnético, crea un par de giro que pone la locomotora en movimiento; al mismo tiempo, con el aumento del número de revoluciones sube la tensión interna; la corriente en el rotor desciende.

Todo ello llega rápidamente a un punto de trabajo estable, en el que la tensión inducida (y el número de revoluciones correspondiente) sigue siendo lo suficientemente inferior a la tensión aplicada como para permitir que siga fluyendo bastante corriente para garantizar un par de giro adecuado. Cuando hay que subir una pendiente, el par de giro ya no basta: la locomotora pierde velocidad, la corriente en el rotor aumenta un poco y compensa el mayor esfuerzo con un par de giro más fuerte con un número menor de revoluciones. Si la locomotora ha de subir la pendiente con el mismo número de revoluciones que antes, o sea, que la tensión inducida se debe mantener constante, hay que aumentar la tensión aplicada. De forma análoga, se tiene que disminuir esta tensión al bajar una pendiente para evitar que el tren baje disparado.

Queda por mencionar que, para regular el número de revoluciones, hay que adaptar la tensión a la carga que la locomotora ha de arrastrar. Un regulador técnicamente correcto —a diferencia de los paneles de control de los fabricantes de maquetas— realiza esto de forma automática. Registra el número de revoluciones con la ayuda de elementos electrónicos y regula la tensión aplicada de forma correspondiente. Con un regulador de este tipo incluso se pueden compensar en parte las imperfecciones de la marcha lenta, como los momentos de enclavamiento ya mencionados y las resistencias mecánicas irregulares en la

transmisión. No entraremos más en este tema, ya que pertenece al campo de la electrónica.

En los motores de los trenes reales también hay que adaptar la tensión del rotor al número de revoluciones, aunque por otro motivo: si en una locomotora parada se aplicase la tensión total, no saldría disparada como un tren de maqueta, sino que fluirían corrientes enormes que producirían de golpe sobretensiones peligrosas en el rotor; un par de giro inmenso se transmitiría a las ruedas, que acabarían por embalsarse. Por ello, al arrancar hay que incrementar la tensión paulatinamente, conforme al aumento de velocidad para que la corriente del rotor se mantenga dentro de lo tolerable. Esto se consigue, por ejemplo, en la locomotora eléctrica del modelo E-141 mediante varias tomas en la bobina secundaria del transformador, que se van conectando poco a poco.

Con corrientes tan elevadas, esto no se hace con un cursor como en los transformadores del modelismo; se utilizan pesados conmutadores que funcionan con aire comprimido y producen un fuerte chasquido al accionarlos. En las locomotoras modernas, este sistema se ha sustituido por elementos electrónicos de alto rendimiento.

En la figura 10.16 se compara la técnica de la locomotora real y la de la maqueta. En el fondo, la función de una locomotora eléctrica convencional y de su maqueta es la misma, sólo que en el original el transformador está en la locomotora, el modelo está conectado a los raíles: a falta de una «maqueta de maquinista», la tensión se regula desde el exterior.

## Las locomotoras del modelismo como emisoras de señales parasitarias

En todos los motores de las maquetas ferroviarias se puede constatar, con un

número alto de revoluciones, un chisporroteo más o menos intenso. El colector no es otra cosa que un inversor de polos en rotación; con 12.000 revoluciones por minuto la corriente se invierte 200 veces por segundo. Ya hemos dicho que en estos motores no se suprime el chisporroteo porque no daña el colector.

Sin embargo, hay un desagradable efecto secundario: en una radio cercana este chisporroteo se manifiesta con interferencias permanentes.

Siempre que un conmutador mecánico abre un circuito eléctrico con inductancia, se produce una chispa; cuando la corriente ya no puede fluir, la energía magnética acumulada en la bobina se desintegra instantáneamente convirtiéndose en calor —en forma de una chispa en el punto de interrupción del circuito—. En este punto se crea una tensión muy alta; de lo contrario, no podría haber ignición. Estos impulsos de tensión, que duran menos de una milésima de segundo, y similares se llaman impulsos de aguja.

Las vías de la maqueta tienen la forma de una antena emisora casi idónea que emitiría estos impulsos parasitarios de forma óptima. Para evitarlo, se monta un condensador lo más cerca posible de los portaescobillas. Debería ser un condensador de cerámica de poca capacidad, por ejemplo 22 nF. Éste cortocircuita las puntas de tensión en el mismo lugar de su creación, mientras que la corriente del rotor, incluso la corriente alterna lenta de los motores de Märklin, sigue fluyendo debidamente.

Para evitar que, a pesar de todo, llegue el mínimo impulso parasitario a los raíles, el flujo de ida y el de retorno de la corriente del rotor se realiza a través de sendas bobinas de pequeña reactancia con núcleo de hierro, que oponen una alta resistencia a las puntas de tensión mientras que dejan pasar la corriente del rotor. A veces, se añade otro condensador entre el colector y el bloque del motor. En muchos modelos de locomotoras los con-

densadores antiparasitarios y las reactancias se encuentran en pequeñas pletinas encima del motor. Estas pletinas también pueden llevar los diodos para la iluminación, dependiente del sentido de marcha y, a veces, incluso las mismas bombillas. La figura 10.17 muestra el diagrama.

## La transmisión

Abandonemos temporalmente la electrotecnia para ocuparnos de aquellas partes mecánicas que transforman el alto número de revoluciones del motor en un bajo número de revoluciones de las ruedas: por ejemplo, las ruedas dentadas, los tornillos sinfín y los árboles de transmisión. Las locomotoras reales también tienen un engranaje de ruedas dentadas. El motor, con su rueda, pequeña, mueve una rueda grande, que está en conexión directa con el eje de la locomotora; es decir, sólo con dos ruedas dentadas se consigue disminuir el número de revoluciones del motor al número de revoluciones de las ruedas.

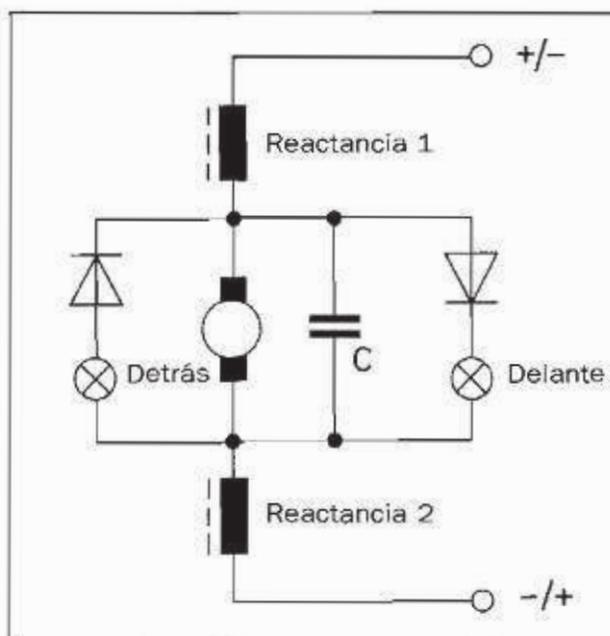


Figura 10.17 El esquema completo del interior electrotécnico de una locomotora a corriente continua con dispositivo antiparasitario e iluminación dependiente del sentido de la marcha.

Para transmisiones tan sencillas, el número de revoluciones de los motores en minutos es demasiado alto. El alto grado de reducción conlleva un efecto de fricción en el engranaje es mucho mayor que en el original. Sin embargo, esto no es el motivo de la mala calidad en la marcha de muchos modelos. Lo importante es que la marcha sea lo bastante uniforme.

Usaremos un caso típico del engranaje de los trenes de helicoides. El tornillo sin fin permite grandes reducciones en una sola etapa, además, hace posible que el árbol de transmisión se posicione en un ángulo de 90° respecto al eje. Esto posibilita el montaje longitudinal de motores de ejes y alargados. La fricción entre la rueda helicoidal y la rueda de dacha que impulsa es especialmente grande. No obstante, hay locomotoras con engranaje helicoidal cuya marcha es satisfactoria; pero existen otras cuyo comportamiento en la marcha es un desastre. La causa suele ser la falta de precisión en el montaje del motor, el tornillo sin fin y la rueda dentada que causa fricciones regulares adicionales.

Los motores con colector plano cuyo ór-

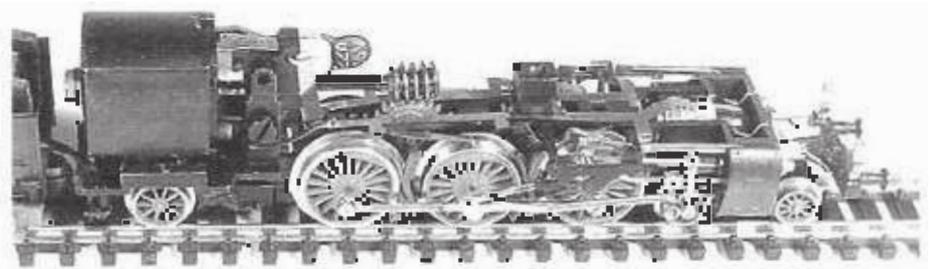


Figura 10.18 Un motor en posición longitudinal con un engranaje helicoidal. Este tipo de montaje, visto en la foto superior, es el más frecuente, pero en la inferior se puede ver que una de las ruedas dentadas conlleva un juego de dientes. En las dachas se refuerza con el centro de las dachas y permiten así, dentro de un juego normal, los cambios para la locomotora cuando se usan como motor. Como que algunas ruedas de motor no están tan bien ajustadas, el funcionamiento de este modelo no puede decirse que sea perfecto.

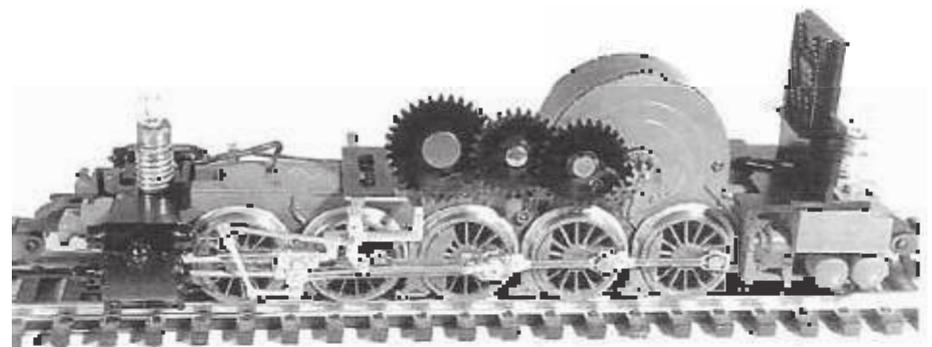


Figura 10.19 Un motor de colector plano con engranaje de ruedas dentadas rectas. Se impulsa un solo eje — como en el original mediante una rueda dentada. Los otros ejes resistentes se mueven mediante las ruedas de un volante, pero que tiene las dachas refuerzadas. En la foto inferior se ve un juego de dachas de buena calidad. La transmisión mediante ruedas dentadas rectas funciona bastante bien. La que impulsa en esta foto una máquina de pistones rotativos es el motor eléctrico.

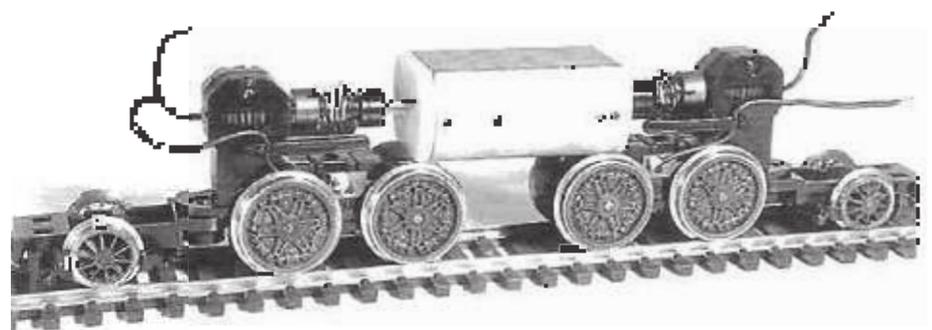


Figura 10.20 Un sistema de transmisión para la locomotora de tipo motor. El motor en el centro del vehículo impulsa los ejes de los dos extremos del eje y de los ejes de las ruedas de cada una de las dachas de la locomotora. Por desgracia, el acoplamiento mediante molinos de cemento sólo funciona bien cuando se mueve en vez de empujarse. En los modelos más nuevos los molinos se separan sistemáticamente de la locomotora.

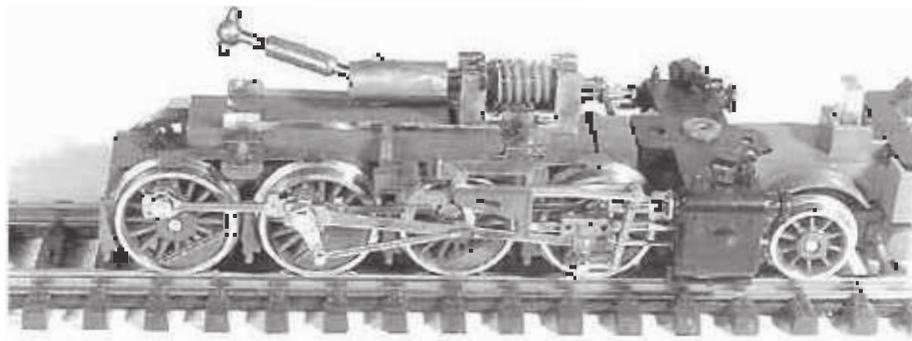


Figura 10.21 Con el cambio al eje de guía se consigue un aumento considerable de la capacidad de tracción. En este modelo solo se mueven los dos más pequeños mediante ruedas dentadas. Los extremos se mueven por los bridas de movimiento, estas bridas sirven también de que la guía se brida de guía. Aunque a veces se producen bridas de movimiento longitudinal.



Figura 10.22 En este modelo de engranajes las bridas están en el exterior, desde el motor las ruedas dentadas están directamente en el centro de los ejes, por lo que disponen de un índice de engranaje vertical.

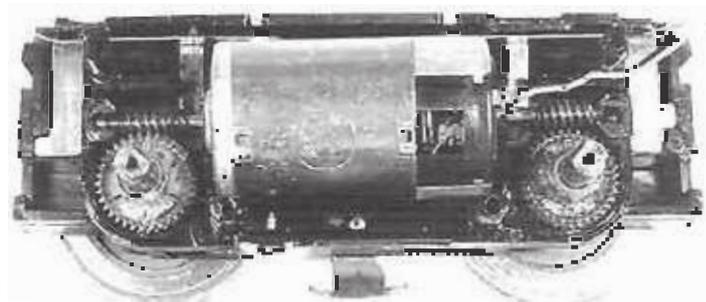


Figura 10.23 En los sistemas de transmisión de L&N el motor está situado directamente en los ejes de las ruedas. A este tipo de sistema se le llama directamente en tracción y, debido a la falta de transmisión lateral longitudinal, los ejes de L&N también son conocidos por movimientos longitudinales para la gama de potencia de este tipo de sistemas. Estos se quedan muy bien establecidos, pero los movimientos longitudinales a L&N los hacen mejores.

bol está en posición paralela con los ejes de las ruedas, por ejemplo los de Martin y los de Fleischmann, suelen trabajar con un engranaje de ruedas dentadas rectas. En este caso, el número de ruedas de tracción es notablemente mayor que en los engranajes helicoidales y la posibilidad de que se creen fuerzas indeseadas no es necesariamente menor.

A menudo, se utilizan ruedas dentadas metálicas con bridas de plástico, lo que produce un efecto de sustitución en y a menudo el ruido a fin y a veces una fricción de tracción no debería ser como un modelo de café.

Como todo cuando se trata de engranajes de ruedas dentadas rectas, es los que los árboles de transmisión y los ejes de las ruedas se encuentran en un mismo bloque, aunque también en otros casos, los ejes de las ruedas —intercambiables a presión mediante ruedas dentadas— tienen cierta juego lateral, pero no vertical. En el sistema de los raios, esto suele tener la consecuencia desagradable de que la abrasión de cemento es insuperable, es decir, con la más mínima irregularidad

en los railes, parte de las ruedas pierden el contacto con la vía. Si se da el caso de que un riel se rompa, además, un poco de soló hacen las ruedas que den quedas o ras de la alineación. Es posible, en principio, que haya algún juego vertical, es decir, un juego en el sistema de los railes. El engranaje ha de combinar buenas características de transmisión con una buena forma de contacto. Hay que recordar que muchos fabricantes ni siquiera se han dado cuenta todavía de esta problemática.

A fin de conseguir modelos que sean lo más realistas posibles, pero también para reducir el coste de la forma de transmisión, en los últimos años han ido en aumento los modelos con impulsión por bielas. En este sistema sólo un eje es impulsado por una rueda de riel, las demás, como en el original, son bielas de acoplamiento. Para que este sistema funcione bien, se requiere muchísima precisión en el mecanismo, o bien con bielas subdivididas, como en las locomotoras reales, para permitir cierto juego vertical de cada una de las ruedas. Los sistemas actuales no que en este tal aspecto ya se han mejorado.

El punto más débil de la impulsión por bielas es que éstas sólo transmiten la fuerza, pero no el par de giro. Así, hay dos proximidades de las ruedas en que el par de giro transmitido desaparece. Cuando los muñones de impulsión están exactamente a la altura del eje de las ruedas, las fuerzas no tienen efecto y el par de giro transmitido es igual a cero. La posición de la

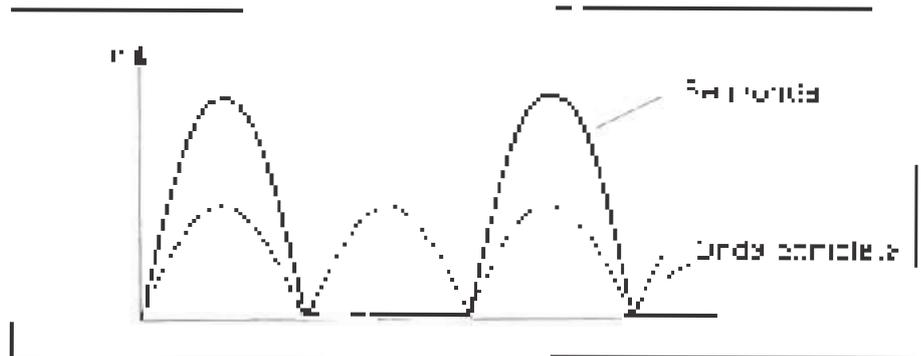


Figura 10 24 Eje de giro con segmentos de riel completos

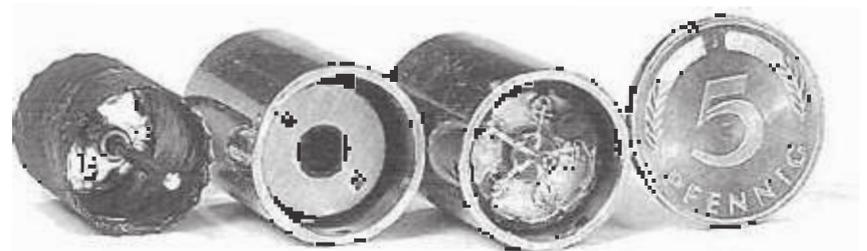
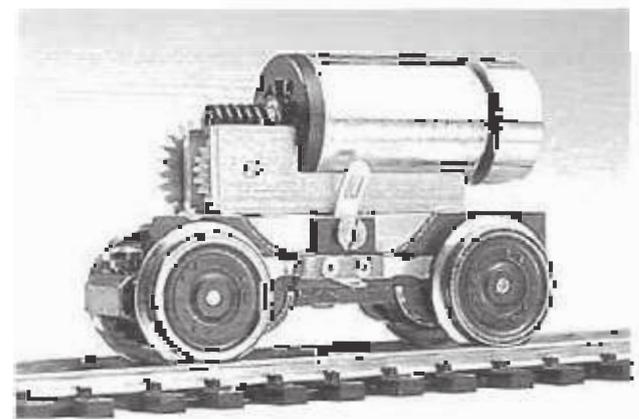


Figura 10 25 Un modelo de Eisenberg desmontado. Se ven parte de los segmentos de riel completos, como fuerza de transmisión, bien coordinados con el eje de impulsión del modelo de Eisenberg, sistema



rueda correspondiente del otro lado presenta una diferencia de 90°, así que los muñones de este lado están exactamente encima o debajo del eje, por lo que el par de giro transmitido está en su máximo. Este desfase es el causante del efecto balanceo de las cortas locomotoras de manillar, reales con impulsión por bielas. En las manivelas se producen friccio-

nes e irregularidades en el movimiento, que dependen de la posición de las ruedas y que sólo se pueden limitar con mecanismos de gran precisión.

Las figuras 10.18 a 10.23 quieren dar una visión general de los diferentes sistemas mencionados con modelos a varias escalas.

## Cómo sortear el problema de las fricciones

El arranque de las locomotoras del modelismo se puede comparar con el proceso siguiente: estamos viajando en tren y queremos abrir un poco la ventana; está algo encallada, así que tiramos con más y más fuerza hasta que finalmente se suelta y se abre disparada —y mucho más de lo que queríamos—. Entonces, damos pequeños golpes contra las manillas en la dirección opuesta hasta que esté en la posición deseada. De una forma muy similar actúa el funcionamiento a semionda tratado en el capítulo 9. Durante la semionda el motor recibe un fuerte impulso del par de giro, luego hay una breve pausa; como promedio, el par de giro ha de ser poco fuerte y el tren debe circular a marcha lenta. Así se explica por qué la velocidad mínima de los trenes llega a ser menor con semionda que con onda completa —que es la única que hay en la mayoría de paneles de con-

trol—. Los circuitos electrónicos trabajan todavía mejor; conectan y desconectan el motor hasta cien veces por segundo a una tensión continua nivelada de unos 15 V (ver figura 9.19). En este caso, el motor se impulsa como un clavo que se introduce en la madera a martillazos; aun con el mínimo de revoluciones se superan así las fricciones en el mecanismo de transmisión.

Este método tampoco puede anular los defectos esenciales de los motores, y ni siquiera la electrónica más sofisticada convertirá una estructura mecánica mal hecha en el súmmum de la perfección; lo único que puede hacer es aliviar.

## Tecnología punta al alcance de la mano

Para terminar este capítulo echaremos un vistazo a las posibilidades de mejorar notablemente el comportamiento en marcha de los modelos. El primer paso es instalar un motor aceptable que produzca un par de giro alto y uniforme, que no cree muchas fricciones y que aproveche al máximo el escaso espacio.

Los fabricantes deberían decidirse de una vez por todas a despedirse de los bastos motores de tres o cinco «polos» que son dañinos para el interior de sus

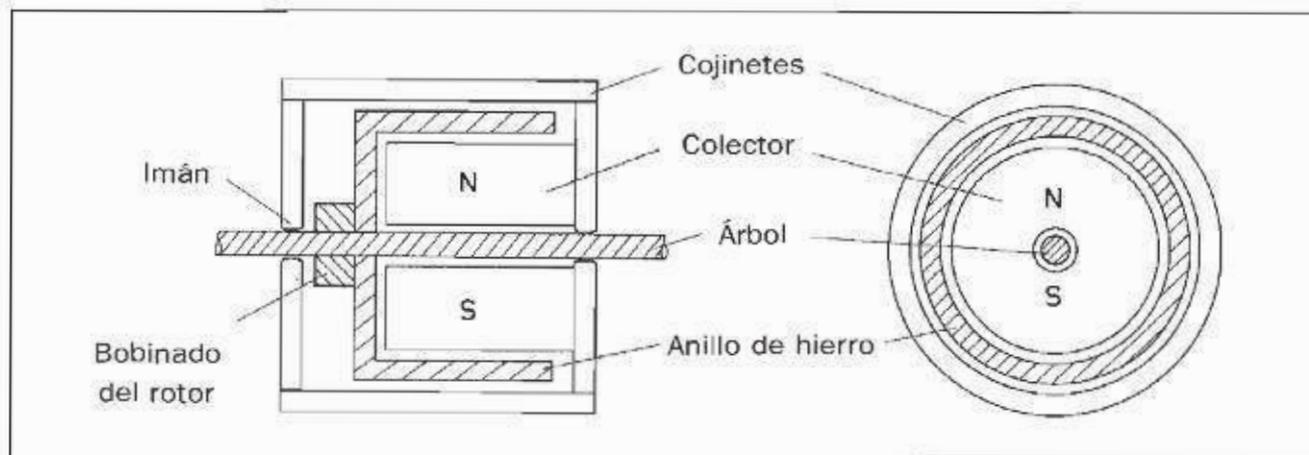


Figura 10.26 Sección longitudinal y transversal de un motor de rotor de campana; las partes móviles están sombreadas.

fantásticos modelos. En lo que al precio se refiere, hay que tener en cuenta lo siguiente: en muchos productos fabricados en masa, como los radiocasetes o las cámaras de vídeo, se encuentran motores de alta precisión sin que su coste influya de forma exagerada en el precio total del producto. Hay que preguntarse si los fabricantes de maquetas ferroviarias no debieran renunciar totalmente a la producción de motores y buscarse proveedores que entiendan algo de la construcción de estas piezas.

Uno de ellos podría ser, por ejemplo, la empresa Faulhaber con sus mundialmente famosos motores de rotor de campana. A pesar de su gran calidad se trata de un motor producido en masa que, al por mayor, se puede adquirir por muy poco dinero. El rotor del motor de Faulhaber no consta de una pila de chapas de hierro con bobinas sueltas, sino que el bobinado es totalmente uniforme y está entretejido y distribuido por toda la circunferencia. Gracias a un procedimiento muy especial, el bobinado es autoestable y tiene la forma de una copa o una campana, en cuyo interior hay un imán permanente fijo. Visto desde fuera el bobinado está envuelto de un cilindro hueco de hierro. Estas piezas se pueden ver en la figura 10.25; la figura 10.26 muestra la sección longitudinal y transversal. Introduciendo un imán permanente en el interior de la campana, se ahorra mucho espacio, que se malgasta en los motores convencionales con el imán dispuesto en el exterior. Dado que este motor no tiene ningún tipo de ranura, también desaparecen los momentos de enclavamiento.

En muchos motores de Faulhaber es posible reducir el número de revoluciones del motor directamente en el árbol del rotor al número de revoluciones deseado de las ruedas. Este sistema tra-

baja sin sacudidas y de forma muy silenciosa. Sin embargo, para la transmisión de la fuerza a las ruedas no existe una solución estandarizada; es una asignatura pendiente de los expertos técnicos.

## Resumen:

*En la interacción entre un campo magnético y una corriente eléctrica se crean fuerzas que se aprovechan en los rotores de los motores eléctricos para producir un par de giro. En los motores a corriente continua el campo magnético se crea con un imán permanente; en el sistema a corriente alterna de Märklin, así como en las locomotoras reales, se emplea un arrollamiento de campo conectado en serie con el rotor. Con sencillas conexiones de diodos las locomotoras de Märklin se pueden adaptar al funcionamiento con corriente continua, incluida la inversión del sentido de marcha. Todos los fabricantes utilizan en sus locomotoras rotores muy sencillos que impiden una marcha lenta correcta. Un sistema que sea aceptable ha de cumplir tres condiciones: el motor ha de producir un par de giro fuerte y uniforme, el mecanismo de transmisión ha de presentar una fricción mínima y uniforme, libre de irregularidades, y, finalmente, la toma de corriente ha de estar garantizada incluso con leves irregularidades o un poco de suciedad en las vías mediante una disposición de las ruedas que les dé cierto juego vertical. Un paso más hacia la perfección se puede dar con la ayuda de la electrónica, empleando un regulador automático de la tensión del motor.*

# 11

## Fuentes de luz: bombillas y diodos luminosos

En este capítulo nos ocuparemos nuevamente, de forma breve y resumida de las bombillas y sus aplicaciones para presentar a su «sucesor», el diodo luminoso, una pieza electrónica moderna. Tiene tanta importancia y ha alcanzado tal expansión que no podía dejar de nombrarse en este volumen de introducción. Para aprovechar la gran fiabilidad que ofrece esta pieza, hay que tener en cuenta algunas normas generales.

### Condiciones de funcionamiento: todo depende de la tensión

En el primer capítulo ya hemos introducido el tema de las bombillas para que el lector se familiarizara con palabras como corriente y tensión. Se habló de la posibilidad de poder disminuir la tensión de la bombilla con una resistencia de forma que su intensidad luminosa imitara la de un modelo real. En el capítulo sobre transformadores también se apuntó la posibilidad de utilizar un transformador con distintas tensiones secundarias. Éstas y otras soluciones están recopiladas en la figura 11.1.

El comportamiento de los diodos luminosos, de los que nos ocuparemos a continuación, es básicamente igual al de los diodos presentados en el capítulo 5. En general, sólo se diferencian en los valores característicos para la tensión directa  $U_D$ , la corriente tolerable y la tensión máxima de bloqueo.

El mecanismo de los diodos luminosos, abreviado LED (Light Emitting Diode), para generar luz, se diferencia totalmente del utilizado por las bombillas. En los filamentos de estas últimas, se pueden llegar a alcanzar temperaturas de hasta  $1.000\text{ }^\circ\text{C}$ , sin embargo, en el LED no se puede apreciar ningún calentamiento. Por ello, también se habla de luz fría de los diodos, no por su color sino por el procedimiento de generación de la luz.

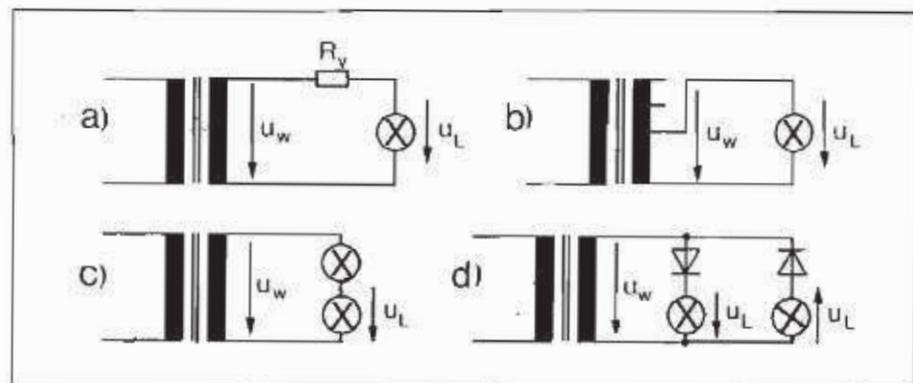


Figura 11.1 Posibilidades para reducir la tensión en un consumidor (bombilla): a) resistencia limitadora  $U_L = U_w - R_v \cdot I$ ; b) transformador con varias tomas del bobinado secundario  $U_L = U_w$ ; c) conexión en serie de los consumidores  $U_L = U_w/2$ ; d) funcionamiento con semionda:  $U_L = U_w/2$ .

Para la potencia transformada de una bombilla (14 V/0,05 A) vale la siguiente fórmula:

$$P = U_L \cdot I = 14 \text{ V} \cdot 0,05 \text{ A} = 0,7 \text{ W}.$$

Los diodos luminosos tienen tensiones directas  $U_D =$  de 1,8 V a 2,7 V, dependiendo del material semiconductor utilizado (ver más abajo) y funcionan con una corriente de 20 mA:

$$P = U_D \cdot I = 1,8 \text{ V} \cdot 0,02 \text{ A} = 0,03 \text{ W}.$$

Los 1- $\Omega$  resisten perfectamente las variaciones y su vida es prácticamente

ilimitada (superior a 100 años) a ser respeten las reglas del juego.

Hoy en día, es dudoso si tipos más importantes son los que emiten luz roja, amarilla o verde. En las bombillas se consigue dar color a la luz emitida colocando el cuerpo de vidrio, funcionando como un filtro que solo deja pasar la porción correspondiente a cada color de la luz generada por la bombilla. En cambio, los diodos generan luz de un solo color, por lo que es imposible obtener, por ejemplo, luz azul incorporando un filtro de este color en la trayectoria del haz de un diodo luminoso simple. El color de la luz generada por un LED depende exclusivamente del material semiconductor utilizado.

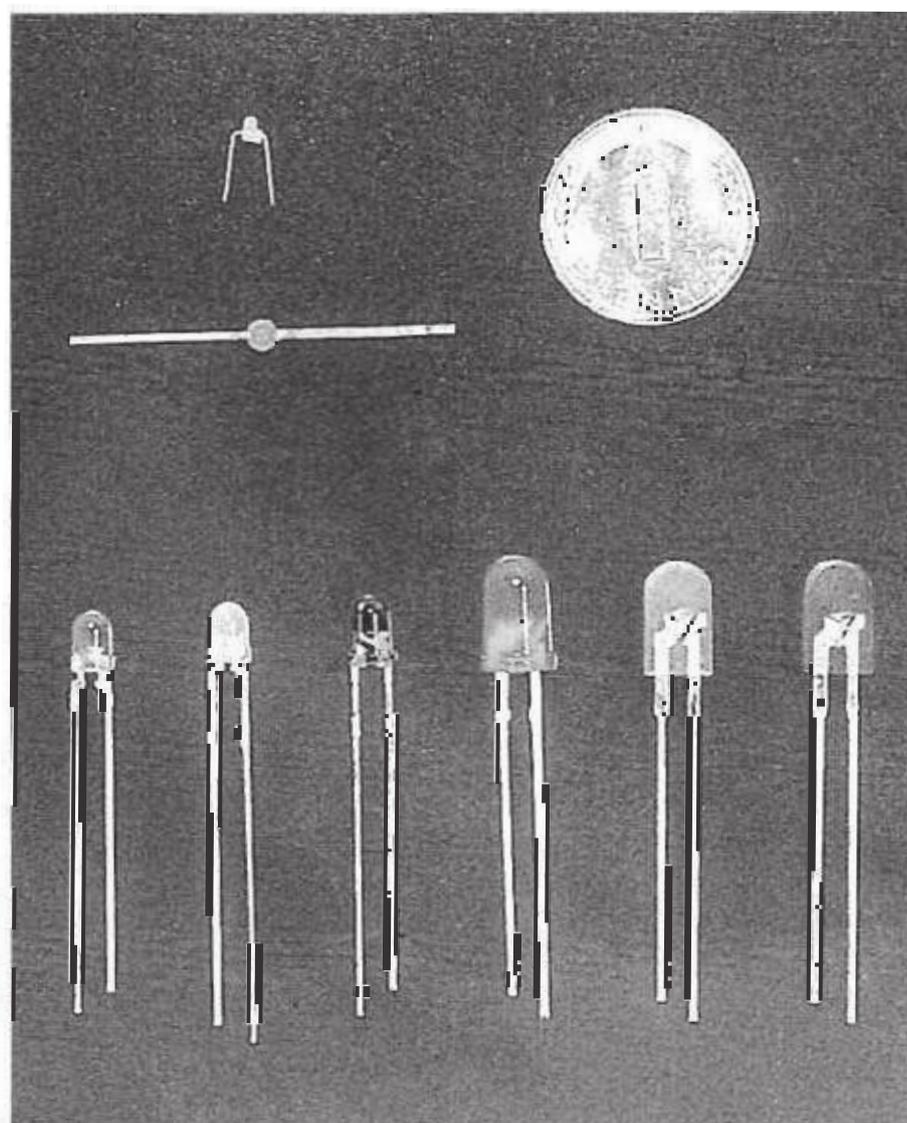


Figura 11.9. Ejemplos de luz para el mundo de los dispositivos luminosos. Sólo se muestran algunas formas y colores de LEDs.

Los diodos luminosos son extremadamente sensibles a las sobretensiones. Su curva característica tiene el mismo comportamiento que un diodo semiconductor (ver figura 5.8), por lo que siempre debe haber un resistor limitador  $R_L$ . Sus magnitudes pueden calcularse con la siguiente fórmula:

$$R_L = \frac{U - U_D}{I}.$$

Por regla general hay que elegir  $I = 20$  mA, aunque a menudo ya es suficiente con 10 mA para conseguir un efecto luminoso satisfactorio. Las tensiones directas para los distintos LEDs:

- LED rojo: 1,6 V

- LED amarillo: 2,0 V

- LED verde: 2,4 V

Por lo tanto, para los diodos luminosos rojos que funcionen a una tensión  $U = 16 \text{ V}$ :

$$R_v = \frac{16 \text{ V} - 1,6 \text{ V}}{0,02 \text{ A}} = 720 \Omega;$$

se recurrirá al valor normalizado  $R_v = 820 \Omega$ . La resistencia debe tolerar como mínimo una potencia de

$$P = \frac{U_2}{R_v} = \frac{(16 - 1,6)^2 \text{ V}^2}{820 \Omega} = 0,25 \text{ W}.$$

Los diodos luminosos sólo resisten pequeñas tensiones de bloqueo de como máximo, 5 V. Por ello, hay que fijarse en que la fuente de tensión continua no se conecte con la polaridad incorrecta. Si no se puede descartar esta posibilidad o si el diodo luminoso funciona con tensión alterna, hay que conectar al LED de forma antiparalela un diodo (luminoso) (ver figura 11.3) que limite la tensión que aparece en el sentido de bloqueo al valor de su tensión directa. Para la identificación de las tomas (ánodo = +, cátodo = -) puede ayudarnos la forma de los electrodos (ver figura 11.2). Si esto no fuera posible, habrá que conectar el diodo a modo de prueba a través de una resistencia limitadora (aproximadamente  $220 \Omega$ ) a una fuente de tensión continua de no más de 5 V (panel de control) de la que se conozca la polaridad. Los diodos luminosos pueden conectarse en serie. La conexión directa en paralelo no es posible porque se sobrecargarían algunos LEDs. Lo mismo vale para la conexión en serie concerniente a la carga de la tensión de bloqueo: debería conectarse un diodo de forma antiparalela.

En el modelismo ferroviario existen infinidad de aplicaciones para los diodos luminosos. Debido a su reducido consumo y su larga vida son muy apropiados para las señales de control de las diferentes tensiones de funcionamiento de un equipo. Si se conectan en paralelo a la fuente de tensión, cuando se apaguen será indicio de que se ha producido un

cortocircuito o de que se ha activado el interruptor de protección contra sobrecarga en el transformador.

Los LEDs apenas se calientan y sus dimensiones son muy reducidas, por lo

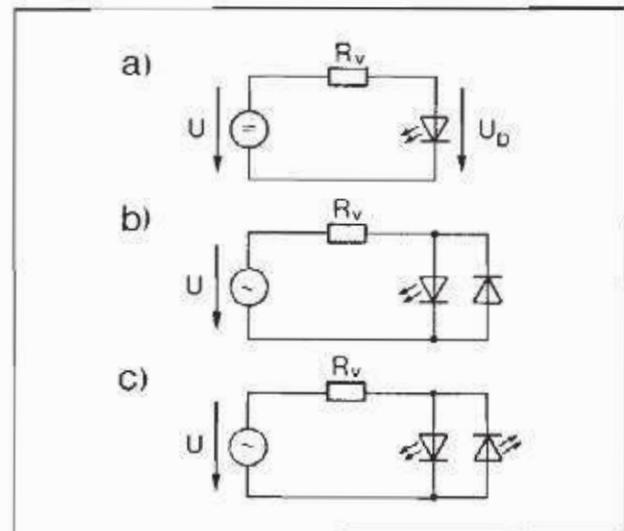


Figura 11.3 Circuitos para el funcionamiento de LEDs con tensión continua y alterna.

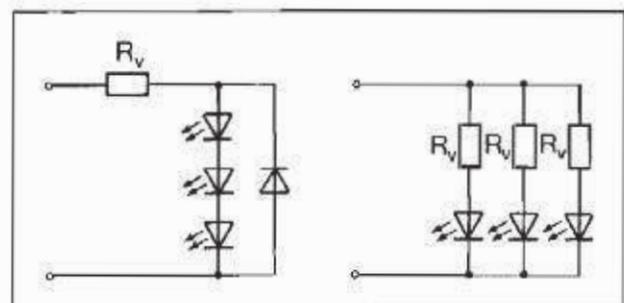


Figura 11.4 Conexión en serie y en paralelo de diodos luminosos.

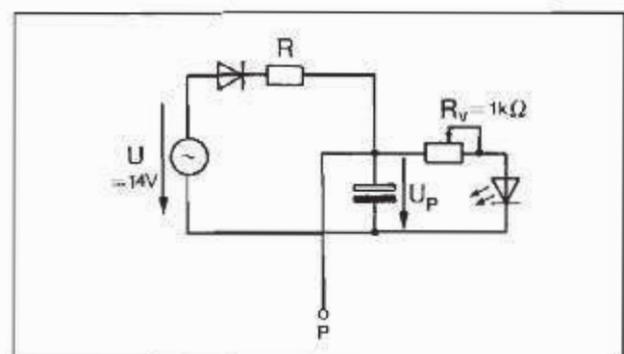


Figura 11.5 Señales para indicar la tensión de funcionamiento.

que son ideales para utilizarlos en la iluminación de los extremos de los trenes. Una de las ventajas es su propiedad de poder brillar de forma visible con pequeñas corrientes (aproximadamente 2 mA).

La industria del modelismo utiliza diodos luminosos de forma masiva en todo tipo de señales. Como reúnen las propiedades de una bombilla y un diodo, se pueden conectar a una fuente de tensión bipolar (ver figura 5.16); el LED rojo y el LED verde de una señal principal se conectan tal y como muestra la figura 11.3c.

El uso de diodos luminosos como instrumento de control se mostrará para el circuito de mando de mecanismos de accionamiento con bobinas (figura 5.14 y 5.15). Si la resistencia limitadora  $R_v$  necesaria para el diodo luminoso se hace regulable utilizando un potenciómetro

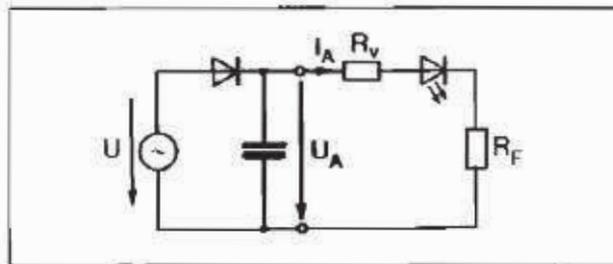


Figura 11.6 Circuito de una señal de vía ocupada.

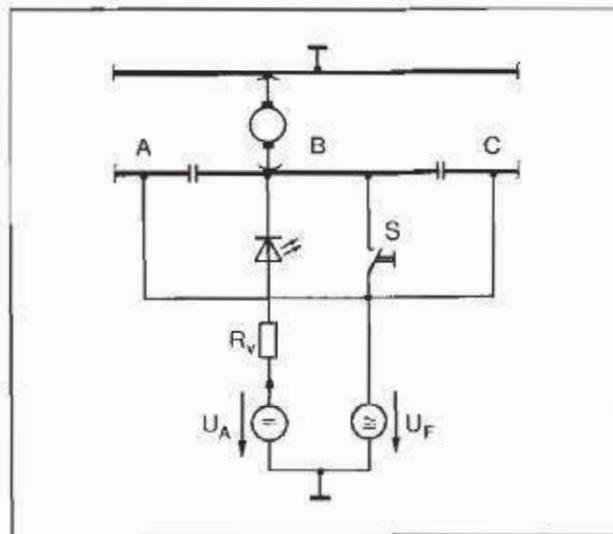


Figura 11.7 Señal de vía ocupada con diodo luminoso.

conectado de forma correspondiente, también se consigue que la tensión de salida  $U_p$  sea regulable. En este caso, el condensador sólo se carga con la tensión que se pierde en el circuito en serie de  $R_v$  y el LED (figura 11.5).

Se debería utilizar un diodo luminoso verde, ya que el ojo humano es especialmente sensible a su luz y, por lo tanto, con  $R_v = 1 \text{ k}\Omega$  puede apreciarse perfectamente. El LED se apaga al accionar el mecanismo de bobinas, porque se descarga el condensador, para volver a encenderse al finalizar el proceso de conmutación de forma correspondiente a la subida de tensión en el condensador. El LED permanecerá apagado en el caso de que el mecanismo de bobinas sea activado permanentemente, por ejemplo, por un vehículo situado sobre un punto de contacto.

Las señales para el control de partes del equipo no visibles son de especial importancia. Un ejemplo es la vía de aparcamiento falso que sirve de estación oculta para la colocación de vagones o trenes que no se necesitan durante un tiempo. Para un funcionamiento seguro es imprescindible saber qué vías están ocupadas. Con la ayuda de diodos luminosos se puede construir una señal de vía ocupada de forma sencilla. El circuito presentado puede utilizarse tanto para el funcionamiento con corriente continua como con corriente alterna.

El circuito es apropiado para ambos sentidos de la marcha, independientemente del valor de la tensión de tracción. Una única limitación es que sólo avisa correctamente de si la vía está ocupada cuando el segmento de vía correspondiente está desconectado. Aunque para su funcionamiento en un apartadero falso esto apenas tiene importancia.

La función de la conmutación consiste en cerrar el circuito que controla el segmento de vía mediante el vehículo que se encuentra en ese segmento. Los vehículos provistos de motor y/o dispo-

sitivo de iluminación tienen una resistencia  $R_f$  que es menor de  $150 \Omega$ . Si se alimenta el circuito desde la salida de tensión alterna del transformador con un rectificador de semionda, con condensador de nivelación, con  $U_w = 14 \text{ V}$  se obtiene una tensión máxima de  $U_A = 19 \text{ V}$  para el circuito de la señal. La resistencia limitadora ha de ser entonces de

$$R_V = \frac{19 \text{ V} - 1,6 \text{ V}}{0,02 \text{ A}} = 870 \Omega,$$

se puede elegir una del valor normalizado  $R_V = 1 \text{ k}\Omega$ . Este valor es tan grande que la resistencia del vehículo es obvia- ble. La reducida corriente de la señal  $I_A = 20 \text{ mA}$  puede fluir permanentemente a través de los motores de vehículos pa- rados sin ponerlos en movimiento ni da- ñarlos.

Si no hay ningún vehículo en el segmento de vía que se ha de controlar, y si el interruptor S está abierto, el circuito de la señal está interrumpido, de mane- ra que el diodo luminoso permanece apagado. Cuando el tren entra, se gene- ra un puente en la zona de separación entre los segmentos A y B; así, la co- rriente de la señal  $I_A$  puede fluir tanto por la resistencia del vehículo como por la fuente de tensión de tracción y el LED se enciende. Cuando el vehículo ha en- trado por completo en el segmento B, se queda parado (S abierto), la corriente  $I_A$  fluye ahora exclusivamente por la resis- tencia del vehículo. Si se cierra el inte- rruptor S, el tren abandona de nuevo el segmento de paro.

Aunque el segmento de vía esté li- bre, la señal dará vía ocupada en el ca-

so de que el interruptor S no vuelva a abrirse. Éste es el ya mencionado de- fecto de este circuito tan sencillo como polifacético. Este pequeño defecto ten- drá menos importancia para el funciona- miento práctico si se sustituye el inte- rruptor S por un pulsador que vuelva automáticamente a su posición de repo- so y con ello asegure el funcionamiento correcto del circuito.

## Del esquema de conexiones al aparato

Con el circuito presentado para la señal de vía ocupada y una fuente de tensión bipolar mostraremos la construcción de un mando de control para un apartadero falso de tres vías. Por una fuente de tensión bipolar, hay que entender una fuen- te de tensión que —medida en relación con el potencial de referencia (= cable de retorno común, masa)— proporciona tanto tensión positiva como negativa.

Una ampliación del circuito a una es- tación de más de tres vías no presenta ninguna dificultad; ya se hace referencia a esta posibilidad en el esquema de co- nexiones.

Hay que utilizar una fuente de ten- sión bipolar para poder conectar las agu- jas con un solo cable. Esto reduce con- siderablemente la cantidad de cable en el aparato de control y en la distribución por debajo del equipo. Se puede cons- truir una fuente de tensión de este tipo utilizando la salida de tensión de trac- ción de un panel de control si ésta no se necesita para la alimentación. De forma

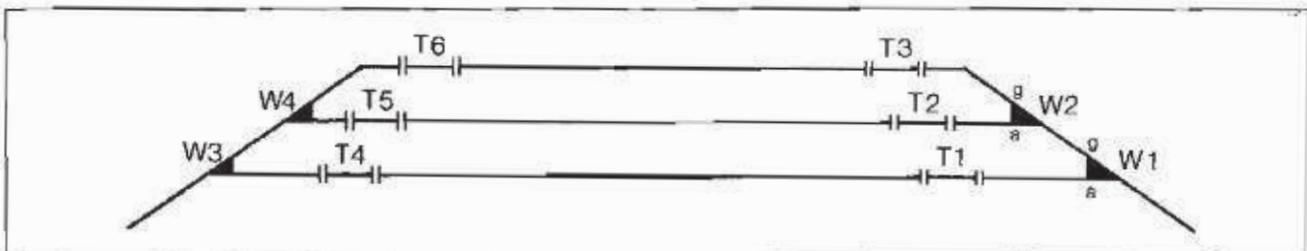


Figura 11.8 El esquema de vías del apartadero falso.

correspondiente vale lo mismo para la salida de tensión alterna del panel de control al que se conecta un rectificador en puente. Se puede añadir un condensador electrolítico para nivelar la tensión. No obstante, hay que tener en cuenta cuando se utiliza este circuito que no puede conectarse ningún polo de la tensión alterna o la tensión rectificadada con el cable de retorno común, ya que éste va alternando entre el polo + y el - de la tensión continua.

En la práctica, la mejor solución es la del circuito de la figura 5.14, que, tras añadir una resistencia  $R$  puede ejercer una función de protección adicional para el mecanismo, y toma las corrientes de conmutación, relativamente altas, del

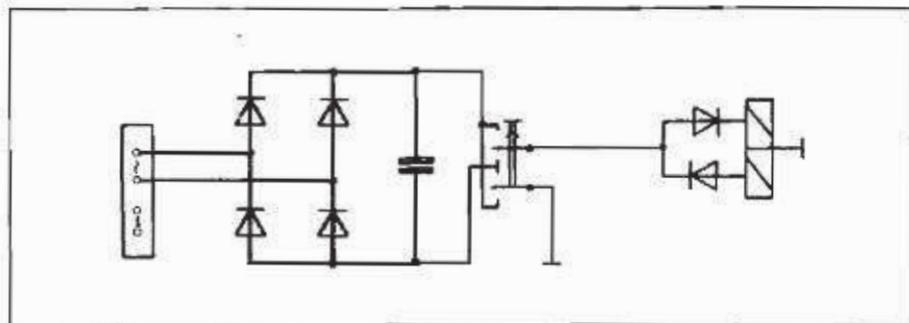


Figura 11.9 Estructura de la fuente de tensión bipolar con puente rectificador e inversor de polos; rectificador: B 40 C 3.200/2.200 C = 2.200  $\mu$  F/40 V.

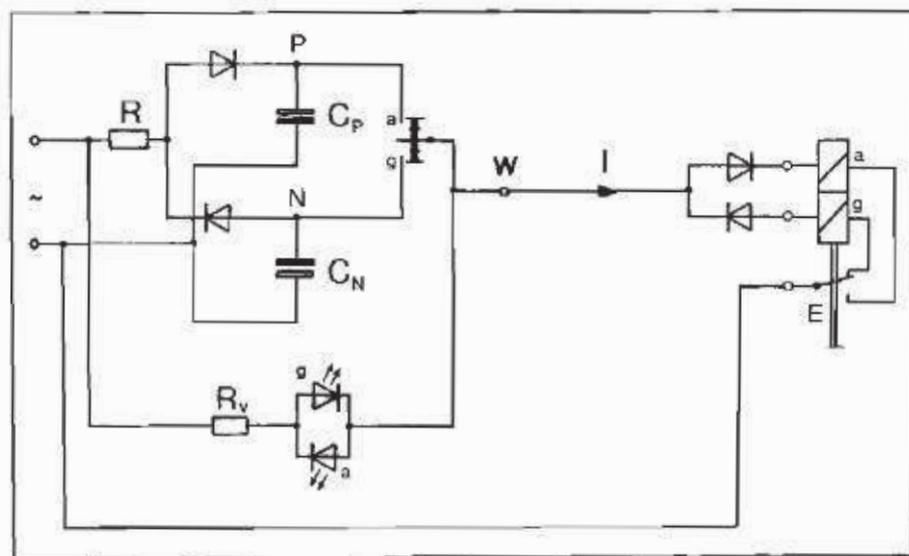


Figura 11.10 Circuito de control y de retroalimentación para un mecanismo (de agujas) con apagado final.

condensador en vez del transformador. Si se utilizan mecanismos con apagado final, además, se puede realizar fácilmente una retroalimentación de la posición del mecanismo.

El circuito se conecta a la salida de tensión alterna del panel de control (de 14 V a 16 V). Los condensadores  $C_p$  y  $C_N$  se cargan a través de la resistencia y los diodos a una tensión de, aproximadamente,  $\pm 20$  V, que se puede conectar al mecanismo alternativamente mediante los contactos del pulsador.

Para indicar la posición de las agujas sirven dos diodos luminosos conectados de forma antiparalela, que se conectan directamente a la tensión alterna por medio de una resistencia limitadora  $R_v$ .

Si se parte de la posición de agujas que muestra la figura 11.10, es decir, que la aguja esté en la posición «desvío», el conmutador E del dispositivo de apagado final ha unido la bobina g con el polo común de la fuente de tensión para el próximo proceso de conmutación, por lo tanto, la posición «recto» de la aguja; entonces, puede fluir una corriente en forma de semionda a través del diodo luminoso a en el circuito RV-LED a-W-diodo-bobina g; el diodo luminoso indica «aguja en posición de bifurcación».

Si se une el punto N con el punto W accionando el pulsador, la tensión del condensador impulsa una corriente a través de la

bobina g del mecanismo de tal manera que éste conmuta. El contacto E interrumpe automáticamente la corriente de regulación y conecta la bobina a. En esta posición sólo puede haber corrientes positivas debido al diodo acoplado a la bobina a. Con ello, el diodo luminoso g está en funcionamiento, la semionda positiva de la tensión alterna impulsa la corriente del diodo. Debido al alto valor de  $R_V (> 470 \Omega)$  el propio mecanismo no reacciona.

Si no es necesaria una protección del mecanismo de agujas contra sobrecargas térmicas (ver capítulo 3), todavía se puede simplificar más el circuito. En este caso se puede prescindir de los condensadores  $C_P$  y  $C_N$ , así como de la resistencia  $R$ . No obstante, es posible que entonces no conmuten de forma segura mecanismos «que van duros» y que necesitan una gran cantidad de potencia.

Una solución podría consistir en aumentar la tensión alterna de alimentación por encima del valor nominal dado (14 V-16 V), utilizando, por ejemplo, el transformador de Titan (figura 9.6). También se puede utilizar el circuito que se acaba de presentar para los mecanismos de agujas motorizados (ver capítulo 4).

El esquema de conexiones reproducido en la figura 11.11 describe el control de un extremo del apartadero falso —o el control en funcionamiento en una sola dirección—. Este tipo de funcionamiento se da cuando el apartadero falso está colocado dentro de un bucle de retorno.

Para los apartaderos que no son utilizados por trenes con la locomotora por detrás (trenes de sentido reversible y trenes automotor), se puede automatizar aún más el funcionamiento. En este caso, la primera zona de separación, mi-

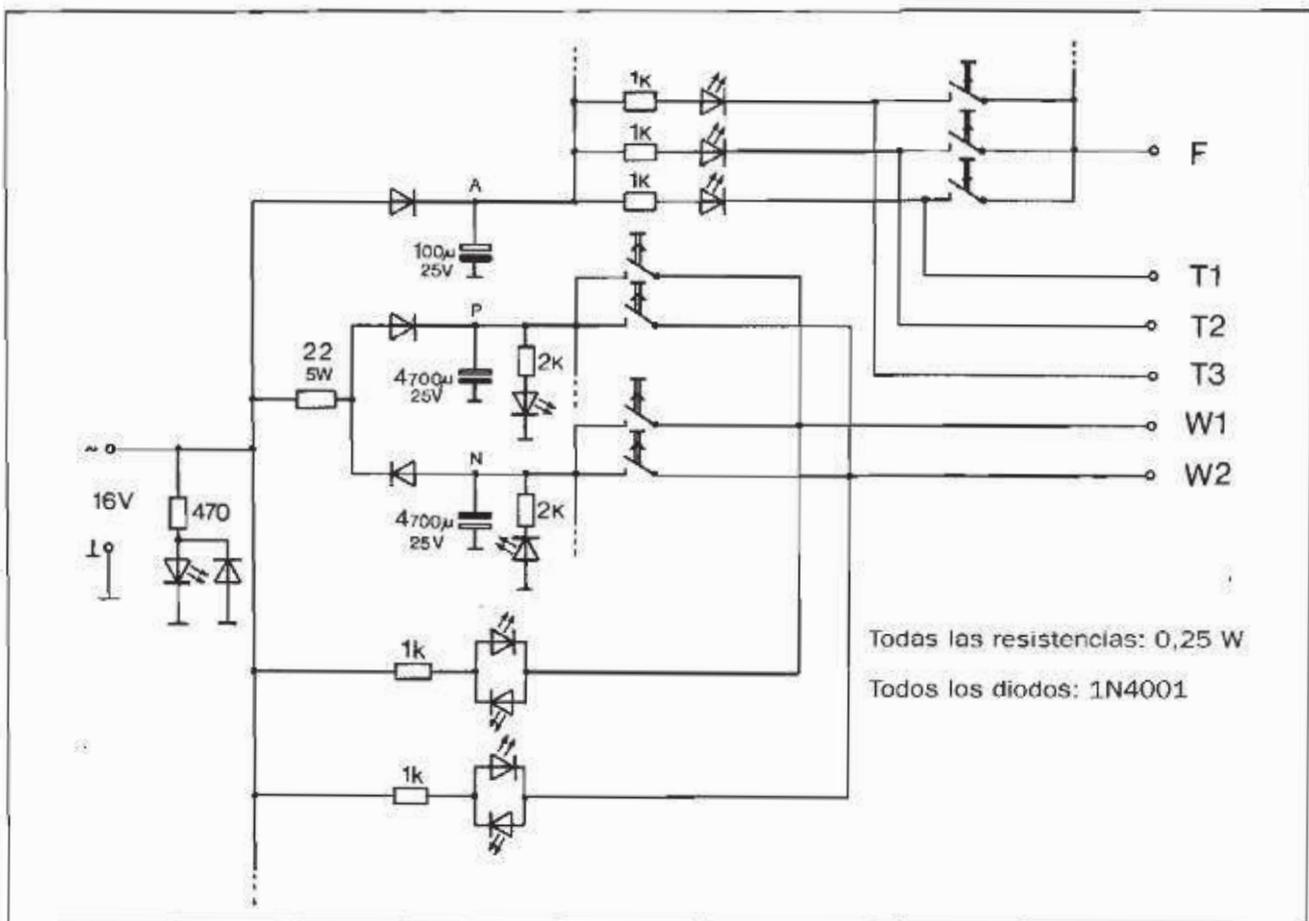


Figura 11.11 El diagrama de conexiones para el control de la estación subterránea.

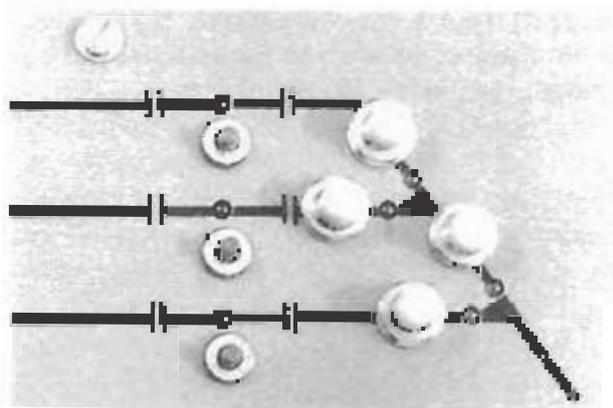


Figura 11.13 Conexión de un tablero de montaje.

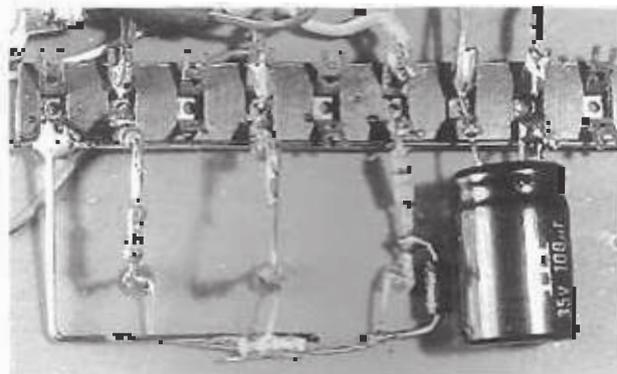


Figura 11.14 Listón de soldadura como serie de puntos de empalme eléctricos.

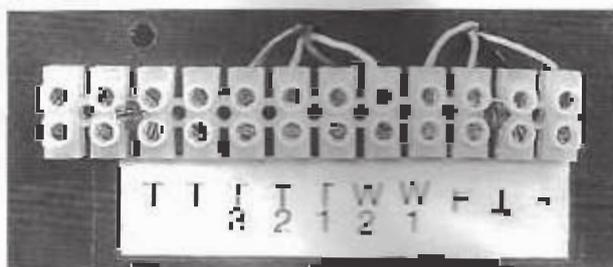


Figura 11.16 Como soporte para el empalme de cables. Una etiqueta de conexión con tornillos. La numeración de los puntos corresponde a la de la izquierda.

iendo en el sentido de la marcha, es inútil, se puede hacer un puente mediante un diodo. De la figura 5.2 se puede deducir cómo hacerlo.

En los libros de modo como *Electronica* y en las revistas especializadas de electrónica se encuentran diagramas de conexiones del tipo de la figura 11.12.

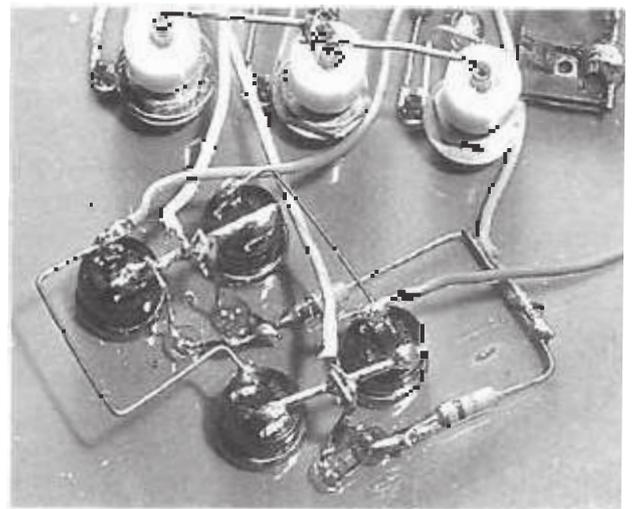


Figura 11.19 Conexión de la parte inferior del tablero de montaje correspondiente a la de la figura 11.17.

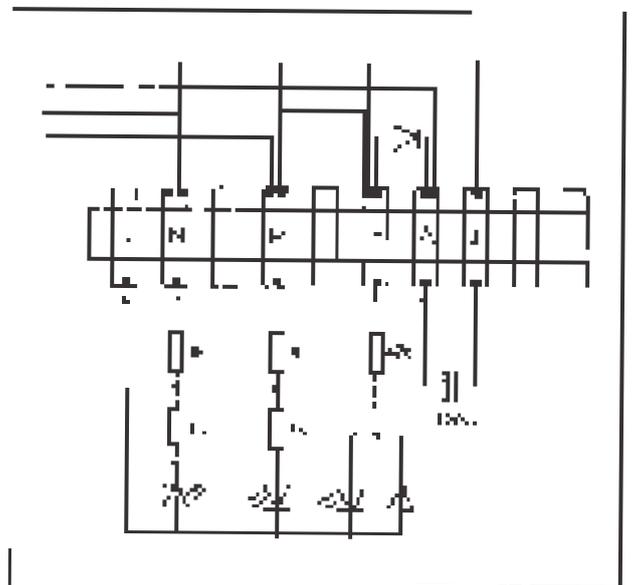


Figura 11.18 El estudio de la distribución para la figura 11.14 ha de clasificarse como el diagrama de conexiones y el circuito incorporado.

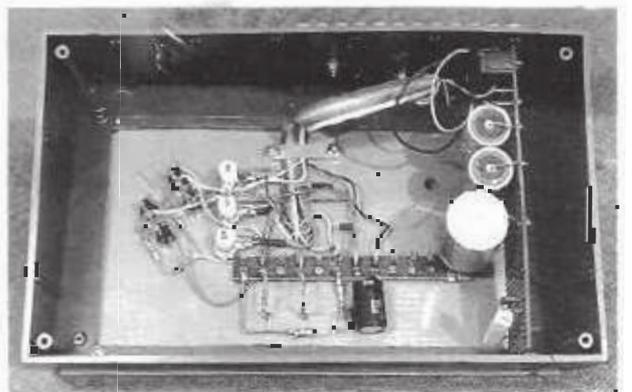


Figura 11.17 Vista global de un motor.

Para poder leer estos diagramas hay que dominar algunas reglas.

Para facilitar una perspectiva general de los esquemas de conexiones, los valores de las piezas se indican de forma directa o abreviada. Cuando la indicación es indirecta, es vs otros números se encuentran en una lista especial, por ejemplo  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = 5 \text{ nF}$  o  $D_1, D_2 = 1N4001$ . En el esquema de conexiones solo están las denominaciones  $R_1, R_2, \dots, C_1, C_2, \dots, D_1, D_2, \dots$ . Si los valores numéricos están indicados en el esquema, lo están en forma abreviada, por ejemplo, 1K (= 1 k $\Omega$ ) o 22 (= 22  $\Omega$ ); en las resistencias, 100  $\mu/25 \text{ V}$  (= 100  $\mu\text{F}$ , 25 V tensión de funcionamiento); en los condensadores.

Los valores de la tensión y la capacidad de carga de las resistencias también pueden indicarse de forma global mediante una nota con todas las resistencias 1/4 W. Los valores diferentes se especifican entonces en las respectivas piezas.

La utilización del símbolo para el cable de retorno común (conductor neutro,

masa) y en vez de los tipos ampulmas a la fuente de tensión también continúa ya a la cantidad de caquema

A excepción de la resistencia de 22 $\Omega/5 \text{ W}$ , el circuito para el control de la estación subterránea se construye con piezas e incluso materiales de trenes con una poca disponibilidad de electrónica en reserva lo dice lo tanto, aunque también se pueden obtener sin ningún problema en comercios especializados. A planificar un determinado surtido de piezas, o más concretamente el material a un de pocos tipos, por ejemplo, diodos empujados para 1 A aunque sólo se carguen con pocos miliamperios.

Los valores de resistencia máxima para el circuito se pueden crear, a excepción del valor de 22  $\Omega$  con un solo valor (1 k $\Omega$ ) mediante o varios en serie o en paralelo (ver la tabla 1).

Para la indicación de las tensiones de funcionamiento (P y N), las diodos verdes son preferibles a los rojos y amarillos, ya que también se pueden ver fácilmente con corrientes reduci-

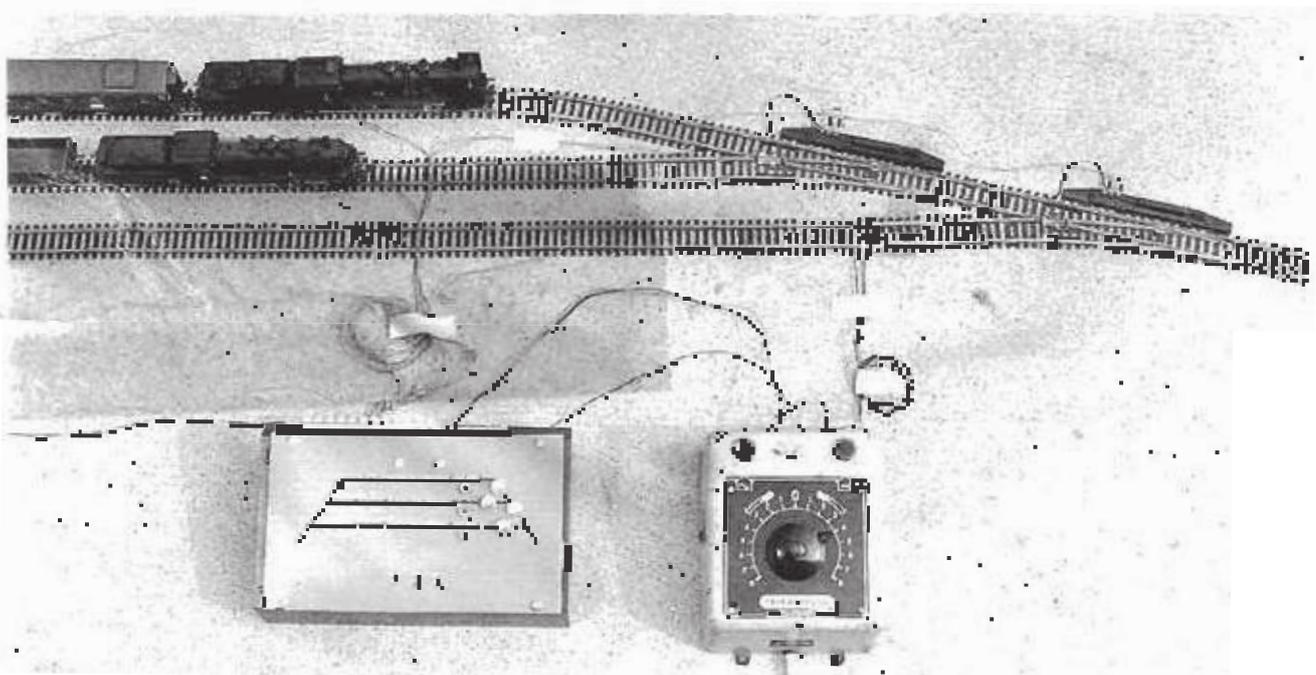


Figura 11.16 El extremo derecho de la estación subterránea y el aparato de regulación del control de la estación subterránea con panel de control.

dos. Para la señalización de la posición de las agujas se suelen utilizar LEDs amarillos, para el aviso de vía ocupada LEDs rojos.

El aparato de control debe ser un pequeño cuadro luminoso de manobras. Sobre una placa de plástico o a un lado de la carcasa que albergará el circuito se hace un plano de las vías. Para el modelo aquí presentado se ha utilizado una técnica de frotación. Se utilizan hojas que llevan los símbolos necesarios (letras, cifras, líneas, símbolos técnicos, etc.). Frotando, pasan a la hoja en la que ha de ir la inscripción y ésta se protege con aerosol de laca mate.

En la placa con el plano de las vías se hacen agujeros en los que se colocan diodos luminosos y pulsadores. Excepto los pulsadores de corriente de tracción, que se van colocado junto con la señal de «vía ocupada», están ordenados en el plano de «vía correspondiente». En la parte de abajo se coloca un listón de soldadura; sirve como punto de empalme y conexión.

Después de montar las piezas, se establecen las conexiones eléctricas. Para ello se utilizan tanto hilos plateados como cables flexibles. Las resistencias limitadoras se soldan directamente al diodo luminoso correspondiente. Los empalmes cortos se realizan con hilo sin aislar sin aislante, al que primero hay que darle la forma correcta. (En el hilo desnudo se pueden soldar directamente a veces de piezas que pertenezcan a un punto de empalme.

Mientras que la fuente de tensión bipolar, que se compone de resistencia limitadora, un diodo y un condensador electrolítico por polo, se monta sobre una alatina de pistas conductoras que se coloca verticalmente a la placa de soporte en pequeños rieles guía de la pared de la carcasa, el rectificador de semiconductores con condensador de nivelación (100 µF, punto A en el esquema de conexiones) se monta con la ayuda del listón de soldadura.

El empalme entre las piezas montadas en la placa de soporte, las partes de circuito en la carcasa y una regleta de conexiones controladas en la pared trasera exterior de la carcasa se realiza con un cable paralelo de 10 conductores, cada uno de los que se le tiene una sección de 0,2 mm<sup>2</sup> y un aislante plástico de aluminio no oxidante; esto permite una identificación rápida de los diferentes conductores.

Como elemento de empalme al extremo de los cables se utilizan regletas de conexión. Cada uno de los bornes tiene la misma identificación que figura en el esquema de conexiones. A las regletas con dispositivo de apretado (para legar cables de un solo conductor, por los que fluye tanto la corriente de computación como la de retroalimentación). El segundo polo de mecanismo de agujas está unido a través de un contacto a la vía que sirve de cable de retorno común.

En los mecanismos con un interruptor adicional para la polarización de bobinas, este empalme se puede realizar dentro de la carcasa del mecanismo.

Entre el panel de control y la unidad de control de manobras existe un empalme de tres polos; la conexión de los polos de la tensión alterna se hace al polo de la tensión de tracción, que no está empalmado al cable de retorno común.

## Resumen:

El camino de aplicación de las tarjetas de la construcción de grandes circuitos, mientras que para casi todos los demás casos es más recomendable la utilización de módulos terminados. No utilización de planchas ni regletas tipo de pruebas sino por que se prescriben algunas partes. A menudo permiten circuitos que serían realizables con bombillas, el cuadro luminoso de manobras es un ejemplo.

# Epílogo y perspectivas

Este volumen ha elegido algunas temáticas de extenso campo de la electrónica que pueden encontrar aplicación en los equipos de maquetas de ferrocarril. Siempre hay que saber un poco de física para poder de entender qué ocurre en los transformadores, bobinas, relés y motores. Junto a las múltiples piezas estándar de los componentes del modelo ferroviario, se han examinado también circuitos especiales que hacen el funcionamiento de una maqueta más apasionante y segura.

En este sentido, los relés ofrecen posibilidades muy interesantes. Aunque no pertenecen a la electrónica clásica, se usan desde hace muchos años en el funcionamiento de las maquetas y son muy fáciles de manejar por el principiante.

El paso definitivo a la electrónica se realiza cuando en vez de conectar y desconectar corrientes eléctricas con interruptores y relés, se controla con transistores y tiristores sin ningún contacto

mecánico adicional y además, con menor consumo de energía y posibilidades casi ilimitadas.

Entretanto, el campo con miles de circuitos de transistores y diodos en la electrónica hoy va en la punta de una uña, se está imponiendo también entre los fabricantes de maquetas de gran serie y está abriendo al modelismo de ferrocarriles nuevas e interesantes horizontes.

Del mismo modo que la electrónica no de un gran equipo de modelismo se compone de muchos circuitos sencillos individuales, el chip también está formado por circuitos básicos que no encierran tantos secretos como mucho gente cree.

Todo lo contrario, algunos circuitos del modelo son de ferrocarriles que se realizan con los microchips - relés con la estructura configurable o cuestan al modelista que utiliza la electrónica apenas 200 pesetas y menos soldaduras.

# Apéndice

## Recopilación de los símbolos de conexión utilizados

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|    | Fuente de tensión continua   |    | Transformador con núcleo de hierro                                 |
|    | Fuente de tensión alterna  |    | Motor  |
|    | Fuente de tensión general (tensión continua o tensión alterna)     |    | Diodo  |
|    | Cable de retorno común, conductor neutro, masa                     |    | Diódo lumínico   |
|    | Cable general  |  | Bobinado (de relé)   |
|  | Empalme no fijo (bornte)   |  | Bobinado (de relé) con bobinados con el mismo efecto, bobina doble |
|  | Punto de empalme general   |  | Contacto de reposo   |
|  | Cruce de conductores sin empalme eléctrico                         |  | Contacto de trabajo  |
|  | Cruce de conductores, empalmados eléctricamente (punto de empalme) |  | Inversor   |
|  | Resistencia (ohmica)   |  | Punto de conexión, con orientación                                 |
|  | Resistencia regulable  |  | Clavija de contacto  |
|  | Condensador  |  | Punto de contacto de la vía, controlado mecánicamente              |
|  | Condensador electrolítico  |  | Contacto de relé   |
|  | Bobina, bobinado   |  | Bombilla   |
|  | - con núcleo de hierro   |   |  |
|  | - con núcleo de ferrita  |   |  |

## Lista de los símbolos literales utilizados

La selección de los símbolos se llevó a cabo siguiendo los criterios habituales de la electrónica. Como norma de aparición magnitudes mecánicas, un símbolo puede tener varios significados. Las magnitudes eléctricas se escriben con letras mayúsculas y minúsculas. Las minúsculas indican que se trata de un valor temporal de una magnitud variable en el tiempo. Las mayúsculas son un valor medio temporal, en magnitudes a tomar en cuenta eficaz. Para una característica de más concreción se utilizan los índices que se añaden a las denominaciones (ver ejemplo, Fig.).

|           |   |
|-----------|---|
| A         | acción  |
| B         | densidad de flujo magnético (flujos por superficie)         |
| C         | capacidad   |
| F         | fuerza  |
| f         | frecuencia  |
| I, i      | corriente   |
| $i_m$     | corriente del motor, corriente de escape                    |
| $i_r$     | corriente de entrada  |
| L         | inductancia   |
| l         | longitud  |
| M, m      | par de giro   |
| n         | número de espiras   |
| n         | número de revoluciones                                      |
| E         | energía   |
| $e_p$     | energía de pérdida  |
| R         | resistencia (óhmica)  |
| $R_m$     | resistencia del motor                                       |
| $R_{lim}$ | resistencia limitadora                                      |
| S         | potencia aparente   |
| s         | segundo   |
| T         | duración de periodo   |
| t         | tiempo  |
| $u, U$    | tensión   |
| $U_m$     | tensión de salida   |
| $U_c$     | tensión del condensador                                     |
| $U_d$     | tensión directa   |
| $U_{ef}$  | valor eficaz de una tensión trifásica. Tensión de los pines |
| $U_f$     | tensión de entrada  |
| $U_g$     | tensión de salida   |
| $U_i$     | tensión inducida  |

|          |                                    |
|----------|------------------------------------|
| $U_p$    | tensión del motor                  |
| $U_R$    | caída de tensión en la resistencia |
| $U_a$    | tensión alterna                    |
| v        | velocidad                          |
| X        | reactancia                         |
| Z        | impedancia                         |
| $\Phi$   | flujo magnético                    |
| $\tau$   | resistencia eléctrica              |
| T        | constante de tiempo                |
| $\omega$ | constante (= 3.1416...)            |

### Abreviaturas

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| o | rama, contacto de trabajo       |
| n | toro central (bobinas de polos) |
| g | foto (posición de agujas)       |

## Las unidades de medida

Nuestro sistema métrico se basa originalmente en el metro y hoy en día se utiliza para todas las demás magnitudes físicas. Múltiplos y fracciones de unidades se marcan con los siguientes prefijos para las unidades de medida:

| Nombre | abreviatura | factor numérico      |
|--------|-------------|----------------------|
| Pico   | p           | $10^{-12}$           |
| Nano   | n           | $10^{-9}$            |
| Micro  | $\mu$       | $0.000001 = 10^{-6}$ |
| Mili   | m           | $0.001 = 10^{-3}$    |
| Kilo   | k           | $1.000 = 10^3$       |
| Mega   | M           | $1.000.000 = 10^6$   |
| Giga   | G           | $10^9$               |

Los múltiplos y fracciones son, por tanto  $\pm 000$  m,  $\pm$  mm,  $\pm$   $\mu$ m,  $\pm$  cm,  $\pm$  m, etc. Ejemplos para magnitudes eléctricas: 1 mA (miliamperio) es una milésima de amperio, 15 kV (kilovoltio) son 15.000 voltios, 10  $\mu$ F (microfaradio) son 10 milionesimos de faradio, y, finalmente, 47 M $\Omega$  son 47 millones de ohmios.

## Series normalizadas de piezas

Las resistencias y los condensadores sólo se encuentran con valores determinados. Éstos no se diferencian por un valor fijo, sino por un factor determinado. Por tanto, se puede, por ejemplo, crear el inmenso campo de valores de algunos ohmios hasta varios millones con relativamente pocas resistencias. Por ejemplo, en la serie E6 que se suele encontrar a menudo, se distinguen dos valores de resistencia sucesivos en aproximadamente el factor 1,5. En este sentido, existen los valores 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8; 10; 15 ohmios, etc. Por decimal (por lo tanto, por ejemplo, de 1 hasta 10 ohmios o de 10 hasta 100 kilohmios) hay exactamente 6 valores. También hay series normalizadas muy precisas, como ejemplo: la serie E24 con 24 valores por decimal con, por ejemplo:

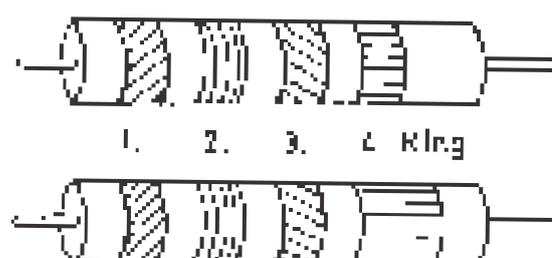
100; 110; 120;.....; 750; 820; 910 ohmios.

## Identificación cromática de las resistencias

Las 4 minutas resistencias de pequeñas potencias suelen llevar anillos de colores que a modo de código indican el valor de la resistencia y, además, la exactitud (tolerancia) con la que se mantiene también este valor. Los diferentes colores indican las cifras de 0 a 9, los múltiplos decimales (multiplicadores) así como las tolerancias, es decir, las posibles diferencias que puede haber entre el valor de la resistencia real y el indicado.

La mayoría de resistencias llevan 4 anillos, de los cuales, los dos primeros indican las cifras, el siguiente el multiplicador y el último (a veces el más ancho) la tolerancia.

| Color    | Cifra Multiplicador | Tolerancia |
|----------|---------------------|------------|
| Negro    | 0                   | ± 0,1%     |
| Marrón   | 1                   | ± 0,5%     |
| Rojo     | 2                   | ± 0,5%     |
| Naranja  | 3                   | ± 0,5%     |
| Amarillo | 4                   | ± 1,0%     |
| Verde    | 5                   | ± 1,0%     |
| Azul     | 6                   | ± 1,0%     |
| Lila     | 7                   | ± 1,0%     |
| Gris     | 8                   | ± 1,0%     |
| Blanco   | 9                   | ± 1,0%     |
| Dorado   |                     | ± 5%       |
| Plata    |                     | ± 10%      |



Ejemplo:

Amarillo, verde, rojo, plata significa 47 0 ohmios con una tolerancia del 10 %.

Marrón, negro, amarillo, dorado significa 10 x 10<sup>3</sup> ohmios, por tanto 100 kilohms con una tolerancia del 5 %.

Hoy en día existen, por un procedimiento más exacto, resistencias de alta precisión (una décima de película) multiplicadas con una tolerancia del 1 %. Debido a su gran precisión suelen llevar cinco anillos de los cuales los tres primeros indican exactamente el valor numérico en tres posiciones. En vez de eso, como en el caso de las resistencias de película, se grafan inexactas.

Incluso existen tolerancias con siete anillos: en estos casos, el último indica

de temperatura adicional, en que tanto el valor como varia la resistencia a una temperatura de 100 grados centígrados.



representación de una resistencia de 10 kΩ con una tolerancia del 1 %

Colores marrón negro rojo dorado  
 Variedad 1% 0,5% 0,25% 0,15%

Mientras que las resistencias de terminales de cobre normal su tolerancia aproximada y los anillos dorados y plateados son bastante fáciles de leer, en las resistencias de precisión esto no resulta muy sencillo, ya que se describe la tolerancia y la dependencia de la temperatura con colores que también se utilizan para las cifras. Para eliminar cualquier duda, lo más sencillo es utilizar un aparato digital para medir resistencias.



# Índice de palabras clave

## A

AC 86

Ámpere (unidad: A) 8, 19

Ámpere 19

Ángulo 81, 82

Ángulo 99

Atollamiento 115

## B

Barra de soldadura 78

Batida 19, 39, 99, 114

Batida de inductancia; v. inductancia

Batida primaria 98

Batida secundaria 98

Bobinado; v. bobina

Bombilla 9

Bornes 79, 80

Botton view 87

## C

Cable 75, 79

Cable de retorno común 24, 26

Cable de retorno; v. cable de retorno común

Cable trenzado 75

Capacidad 35

Cálculo 53

Circuito controlador de tensión 62

Circuito en cuenta (diodos) 64, 73

Colector 111

Colector de rambor 114

Colector plano 117

Combinar; v. cable de retorno común

Compresión de tensión 40

Condensador 35, 38, 40

Condensador autogenerado 122

Condensador electrolítico; v. condensador

Conductor neutro; v. cable de retorno común

Conexión antiparalela (diodos) 54, 60, 80,

130

Conexión en serie 28, 130

Contra-veloz; v. bobinado

Consumidor 7

Consumo de corriente 105

Contacto de trabajo 83, 84

Corriente nominal 100, 106

Corriente permanente 34

Corrosión 100

## D

DC 85

Diode 55

Diode luminoso 128, 129

Diode semiconductora; v. diode

## E

Electrónica 37

Enchufes banano 81

EPL 33, 34

Escobillas 112, 114

Excitación inductiva en serie 115

## F

Ferrita (núcleo) 11, 13

Frecuencia 20

Fricción 124, 136

Fuente de tensión 7, 36, 38

Fuente de tensión bipolar 60, 112

## H

Henry (unidad: H) 32

Hertz (unidad: Hz) 20

Hilo de pasta 16

## I

Imán permanente 118, 119

Impulsión por choque 125

Inductancia 32

Interrupción 65, 67  
Interrupción eléctrica 65  
Interrupción mecánica 109  
Interrupción térmica 109

## L

LED  
Ley de inducción 32  
Ley de Ohm 30, 31  
Ley de Ohm 12, 32  
Línea aérea 24

## M

Motor (motor control) 43  
Marcha de línea 100  
Marcha de manobras 108  
Módulo de cable de retorno control  
Material aislante 76  
Material de bobinado 75c  
Momentos de enclavamiento 114  
Morsecode 84  
Motor universal 116  
Motor de excitación en paralelo 115  
Motor de excitación en serie 115  
Motor de rotor de carbón 127

## N

Número de espiras 29

## P

Panel de control y transformado  
Par de giro 114, 116  
Pérdida de potencia 2  
Pizarra oxidada 81  
Platina 78  
Potencia 33, 35  
Potencia aparente 102  
Potencia 89



Potencialémetro 15  
Potenciador 68

## R

Reactancia capacitiva 39  
Rebobinado de motor 62  
Rectificador 61  
Relé 64, 65  
Resistencia (óhmica) 31  
Resistencia interna 38  
Resistencia regulable v. potenciómetro  
Resistencias de contacto 10  
Rotor 111, 112, 114

## S

Señal de sincronización  
Símbolo 7, 8  
Soldaduras 77

## T

Tensión alterna 19, 35  
Tensión de línea 19, 27  
Tensión inducida 31, 116  
Tensión interna 119  
Transformador 90, 99, 100, 101  
Transformadores para accesorios 101  
Transformadores regulables v. transformador

## V

Valor eficaz 20  
Valores temporales 13  
Válvula (unidad V) 10  
Voltio (unidad V) 6

## Z

Zona neutra 112



# MODELISMO FERROVIARIO



Este libro será de gran ayuda para todos aquellos que por primera vez emprenden la tarea de construir una maqueta ferroviaria. Paso a paso y de manera sistemática, se les ofrecen los conocimientos básicos de la

electrotecnia aplicada al modelismo ferroviario. Por otro lado, el aficionado experto encontrará muchos consejos prácticos para ampliar sus conocimientos.

Gracias a las explicaciones claras y sencillas, el lector podrá empezar a asimilar aquellos conceptos fundamentales de la electrotecnia para ir creando poco a poco su propia instalación hasta convertirla en un gran sistema que haga funcionar la maqueta. Se ha puesto especial énfasis en combinar productos de las diferentes marcas comerciales especializadas en modelismo ferroviario, y también en aprovechar piezas y componentes que no han sido concebidos expresamente para este hobby.

Temas de la colección

- Planos y proyectos
- Planificación de la maqueta
- + Infraestructura de la maqueta
- Electrotecnia

ISBN 84-359-1270-2



9 788432 912700