

MODELISMO **4** FERROVIARIO

Axel vom Heede
Friedrich Löser



Electrotecnia

Conceptos básicos y consejos
prácticos para el funcionamiento
de la maqueta

libros
cúpula



MODELISMO FERROVIARIO

Electrotecnia

Axel vom Heede
Friedrich Löser

Asesoramiento: Joan Carles Casas, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Diseño de cubierta: Víctor Viano
Fotografía de cubierta: Image Bank

Título original: *Modellbahn Elektrotechnik: Grundlagen
und Praxis für den Modellbahnbau*

Traducción: JPV Serveis Editorials

© 1996 Alba Publikation Alf Teloeken GmbH & Co. KG Düsseldorf

© Grupo Editorial Ceac, S.A., 1996

Para la presente versión y edición en lengua castellana

Libros Cúpula es marca registrada por Grupo Editorial Ceac, S.A.

ISBN: 84-329-1278-6

Depósito legal: B. 8.901-1999

Industria Gráfica Domingo, S.A.

Impreso en España - Printed in Spain

Grupo Editorial Ceac, S.A. Perú, 164 - 08020 Barcelona

Internet: <http://www.ceacedit.com>

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni el registro en un sistema informático, ni la transmisión bajo cualquier forma o a través de cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación o por otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.

Índice

1

Sin esto no funciona: algunos aspectos fundamentales 7

La primera iluminación: el circuito eléctrico sencillo 7

Unidas por la ley de Ohm: tensión, corriente y resistencia 9

Conexión en serie y en paralelo 10

La potencia no puede faltar 12

Resistencias en el modelismo ferroviario: formas y valores 13

Las variables: resistencias en forma de potenciómetros 15

2

Variedad: sistemas de corriente de tracción 19

Las sutiles diferencias: parámetros de corrientes y tensiones 19

Cables y vías 21

Algo en común: el cable de retorno 23

Funcionamiento con línea aérea 26

3

Bobinas y condensadores 27

La naturaleza de la corriente y de la tensión 27

Elementos electromagnéticos: las bobinas 28

Inducción y autoinducción 30

La corriente genera fuerza 33

Los condensadores 33

Condensadores y bobinas: ejemplos de uso 39

4

Conexión y ajuste de fuerzas magnéticas 42

El mecanismo de dos bobinas para el accionamiento de agujas y señales 42

Protección de bobinas mediante el dispositivo de apagado final 45

Corazones polarizables evitan paros no deseados 47

Las agujas de paro «inteligentes» 48

Aviso al jefe de estación 50

Influencia de las señales sobre el control del tren 51

Las agujas se mueven lentamente 52

Un nuevo giro para el tren del jardín 53

Sobre tres vías 54

5

Electrónica: diodos 55

El diodo como interruptor electrónico 55

Los diodos en circuitos de corriente alterna 61

Funcionamiento con corriente continua para mecanismos de bobinas 63

6

Mecánica: interruptores y pulsadores 65

Sencillo y complicado a la vez:
variedad de funciones y modelos 65

De la A a la Z: circuitos de corriente
de tracción 67

Solución para el problema del bucle
de retorno 70

7

La práctica: primeros consejos 74

Las herramientas: el equipo básico 74

El trato correcto de hilos y cables 75

¿Dónde colocar los diferentes
elementos? 78

El cableado: orden en vez de caos 79

Conectar y desconectar fácilmente 80

Técnica de medición: lo que se
necesita y lo que hay que saber 81

Pasemos ya a la práctica: cómo
construirse uno mismo un compro-
bador de tensión 82

8

Los elementos para el funcionamiento automático 84

Así funciona un relé 84

Mantener la armadura en
su posición 87

Los relés de dos bobinas 88

Puntos de contacto accionados por
el tren 88

Los relés *reed* ofrecen muchas
ventajas 93

Ejemplos: los relés y puntos de con-
tacto en acción 95

9

Alimentación: los transformadores 98

El corazón del sistema:
el transformador 98

Protección: el cortacircuitos 100

El panel de control a corriente
alterna y los transformadores para
accesorios 101

Funcionamiento en paralelo de
transformadores 103

Transformadores (paneles de
control) de corriente continua 106

Funcionamiento con semiondas 108

10

Motores para los trenes 110

Así se produce un par de giro 110

Motores en miniatura para trenes
en miniatura 112

Motores con excitación eléctrica 114

Superar los límites entre
los sistemas 117

La tensión y el número
de revoluciones 119

Las locomotoras del modelismo
como emisoras de señales
parasitarias 122

La transmisión 122

Cómo sortear el problema
de las fricciones 126

Tecnología punta al alcance de la
mano 126

11

Fuentes de luz: bombillas y diodos luminosos 128

Condiciones de funcionamiento:
todo depende de la tensión 128

Del diagrama de conexiones
al aparato 132

Epílogo y perspectivas 138

Apéndice 139

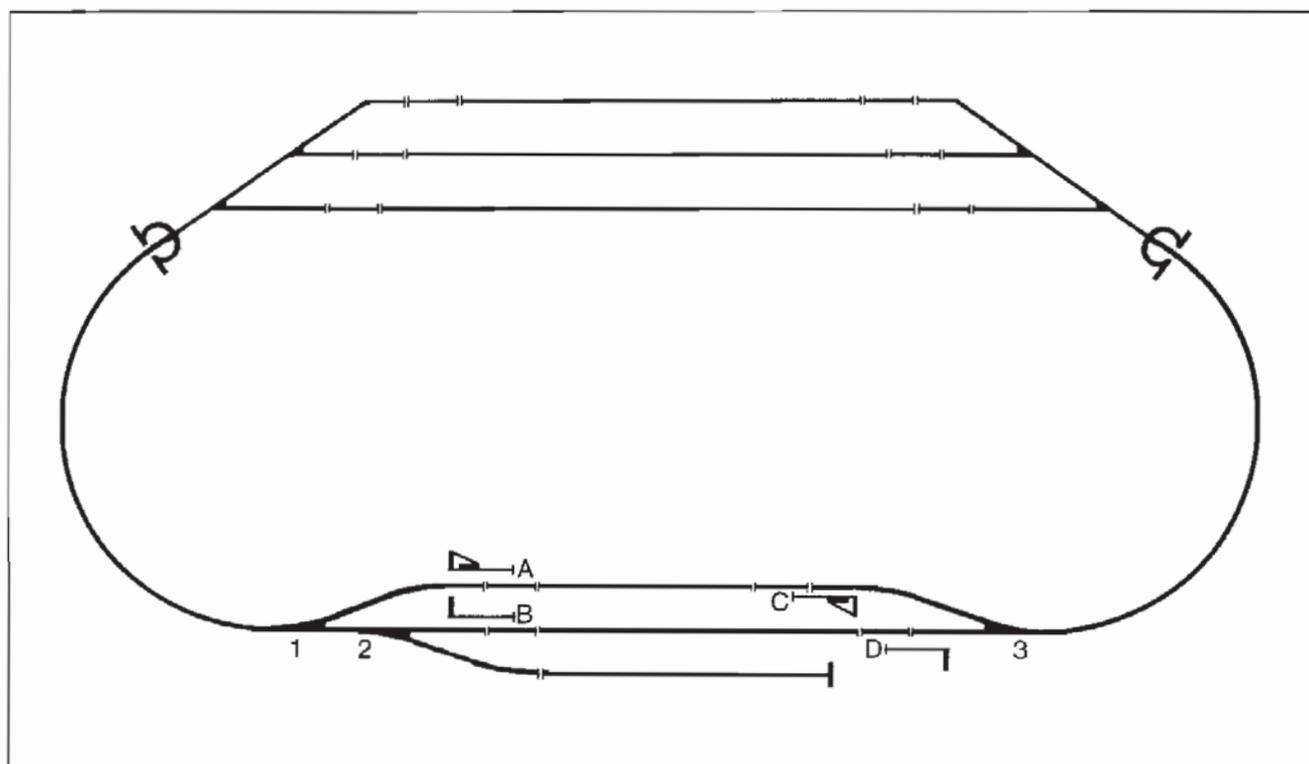
Índice terminológico 143

Introducción

Este libro comienza con lo que la mayoría de modelistas de ferrocarriles han empezado alguna vez: con la caja de elementos básicos. Por regla general, la caja contiene una locomotora, algunos vagones, vías curvadas y rectas con las que se puede construir un sencillo circuito oval, y, a todo esto, hay que añadir un transformador. Unir las vías y conectar el transformador no es difícil. Clavijas y hembrillas de colores especifican lo que ha de ir junto. En algún caso, un cable demasiado corto puede crear algunos problemas a la hora de conectar el transformador. El encarrilamiento de la locomotora y los vagones se hace en

un momento, y así ya puede empezar la diversión. El mando giratorio del transformador permite, desde el punto cero, aumentar y reducir la velocidad del tren hacia delante o hacia atrás. Si la locomotora dispone de iluminación en la parte frontal, ésta se iluminará dependiendo del sentido de la marcha. Desgraciadamente, la intensidad de la luz dependerá siempre de la velocidad del vehículo, por lo que deberemos buscar una solución.

La diversión a la que nos referíamos hace un momento no durará mucho con sólo lo que contiene la caja principal.



Éste podría ser el aspecto de un equipo de maqueta de ferrocarriles: una pequeña estación con posibilidad para hacer maniobras y —fuera de la vista— otra estación para colocar las unidades de tren que no se necesiten. Hay que reconocer que la disposición del tramo carece de imaginación, y es que aquí se precisa de iniciativa propia.

Pronto, el circuito oval se verá ampliado con una vía de aparcamiento. Ésta se compone de una aguja con accionamiento eléctrico y algunas vías rectas y curvas. La conexión del mecanismo de agujas mediante un conmutador es tan sencilla como la conexión de las vías. Con toda seguridad, no faltará una primera señal; por ejemplo, una señal luminosa accionada eléctricamente. Las señales tienen la misión de proteger unos trenes de otros, por lo que ya tenemos otro tren y con él también una vía de aparcamiento, etc.; poco a poco el modelista se va convirtiendo en un auténtico «jefe de estación».

Mientras el equipo y las aspiraciones no sean demasiado grandes, uno se conformará con los complementos de un fabricante de maquetas de ferrocarril, y a la hora de montar los elementos eléctricos se dejará guiar por los colores de los puntos de conexión. Como cada fabricante tiene su propio código de colores, en los que cada color pertenece a un elemento eléctrico, cuando se utilice una señal de otro fabricante puede darse el caso de que aparezcan dificultades, a priori insalvables, aunque ambos sistemas puedan combinarse sin ningún problema. También nos ocuparemos de esto ampliamente. Al final, la creatividad y la imaginación que se le supone a todo modelista de ferrocarriles no soportarán ser esclavas de los planos de vías y conexiones del fabricante.

Por todo lo dicho anteriormente, este libro ha de explicar el conocimiento electrónico básico necesario para manejar una maqueta ferroviaria. Incluso aunque uno mismo no coja el soldador y los alicates, este conocimiento ayuda a analizar mejor la amplia oferta de complementos eléctricos y a ahorrarse, así, algunos disgustos y dinero.

A veces, será inevitable utilizar en algunos párrafos términos que se explican más detalladamente en capítulos posteriores. Este aspecto queda compensado con el índice terminológico al final del libro, que debe servirle como una buena guía, complementada por las remisiones a otros términos del mismo significado.

Las conexiones presentadas han sido puestas a prueba, y algunas han demostrado su eficacia durante años en las maquetas de los autores. Muchas ya han sido publicadas como conexiones estándar en libros y revistas de modelismo especializadas, así como en las instrucciones de los fabricantes.

Los comentarios y las críticas pueden dirigirse a los autores por medio de la editorial. Se leerán atentamente y se tendrán en cuenta para una posterior edición.

Axel vom Heede
Friedrich Löser

1

Sin esto no funciona: algunos aspectos fundamentales

Seguramente, el circuito eléctrico más sencillo de un equipo de maquetas de ferrocarril es aquél que se compone del transformador, dos cables y una bombilla. Estos circuitos se utilizan, por ejemplo, para la iluminación de las maquetas de casas, los vagones de pasajeros y los faroles de agujas y señales; incluso en equipos pequeños se encuentran varios de estos elementos.

La primera iluminación: el circuito eléctrico sencillo

Un circuito de este tipo se compone de tres elementos eléctricos:

- la fuente de tensión (transformador),
- el consumidor (bombilla) y
- el cable de conexión (cable de cobre).

Su representación se realiza mediante los denominados símbolos, mientras que sus diferentes conexiones se describen en esquemas o planos de conexiones. En la figura 1.1, el transformador está representado por el símbolo para una fuente de tensión común, y la bombilla por su símbolo correspondiente. En el apéndice encontrará una lista de los símbolos importantes para la electrotecnia del modelo ferroviario.

En contraste con la fuente de tensión y el consumidor, en el esquema de conexiones no existe ningún símbolo explícito para los cables de conexión a los que nos referíamos anteriormente. La razón hay que buscarla en la presuposición técnica de que estos cables están contruidos de tal manera que no influyen en las propiedades eléctricas del circuito en su conjunto, son lo que se denomina «ideales». En la técnica está muy extendida la práctica de desatender los elementos que no influyan de manera esencial. Esto permite una presentación más esquemática y clara de los problemas. Por demostrar queda si una hipótesis simplificada no falsea demasiado la solución.

Volvamos a la fuente de tensión, que aquí describe al transformador de la maqueta del ferrocarril como una fuente de energía. Otras fuentes de energía conocidas de la vida diaria son, por ejemplo, las bases de enchufe en el hogar, las baterías de diferentes modelos o la dinamo de la bicicleta o el coche.

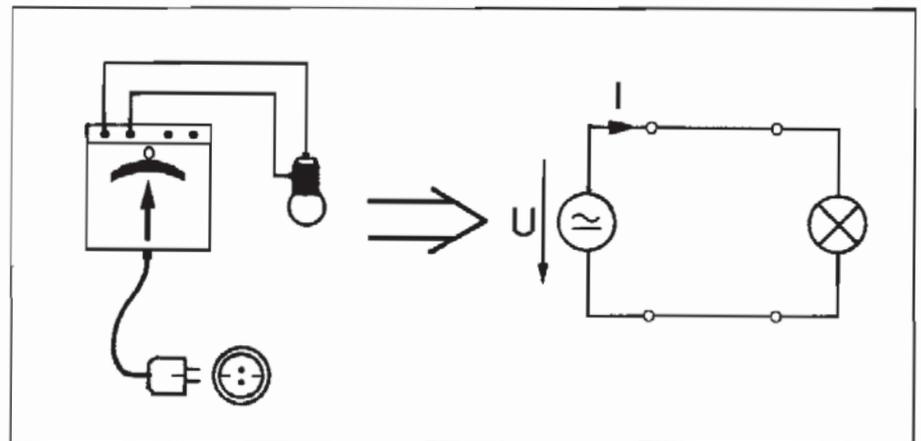


Figura 1.1 Un circuito eléctrico sencillo: de la presentación esquematizada al diagrama de conexiones.

En la técnica, la descripción de una magnitud física se realiza casi siempre en forma de ecuación. Ésta se compone, por una parte, de su símbolo de magnitud (por ejemplo, longitud l ; velocidad v), por otra de un valor numérico y , finalmente, de la unidad de medición (por ejemplo, m; km/h). Para los ejemplos seleccionados las respectivas ecuaciones podrían ser: $l = 26,4$ m o $v = 200$ km/h.

Para las magnitudes eléctricas, tensión y corriente, se utilizan los símbolos U e I así como las unidades voltio, (V), y amperio (A). Ambas magnitudes a menudo se encuentran en la descripción de un transformador para una maqueta de tren: $U = 12$ V con $I = 0,5$ A. Estos datos indican la potencia del aparato.

La descripción de la fuente de energía o tensión corresponde a la del consumidor, la bombilla. En el modelismo ferroviario los valores habituales suelen ser: $U = 14$ V; $I = 0,05$ A. Esto significa que si se conecta la bombilla a una fuente de tensión de $U = 14$ V, por el cir-

cuito eléctrico circulará una corriente de $I = 0,05$ A.

Sin embargo, si se conectara esta bombilla al transformador descrito anteriormente, se produciría —siguiendo una sencilla regla de tres— una corriente de

$$I = \frac{0,05 \text{ A}}{14 \text{ V}} \cdot 12 \text{ V} = 0,043 \text{ A.}$$

Con una tensión de $U = 10$ V la corriente sólo alcanzaría

$$I = \frac{0,05 \text{ A}}{14 \text{ V}} \cdot 10 \text{ V} = 0,036 \text{ A.}$$

Si se aplicara una tensión más alta que la especificada por el fabricante (aquí: 14 V), se produciría una corriente superior a 0,05 A. No obstante, de esta manera se reduce la vida de la lámpara, que en caso extremo, pasará a mejor vida tras un corto destello.

Por otro lado, la disminución de la tensión (por ejemplo a 9 V) sería muy beneficiosa para la vida del elemento consumidor. Aunque, naturalmente, con una corriente reducida de la bombilla, tam-

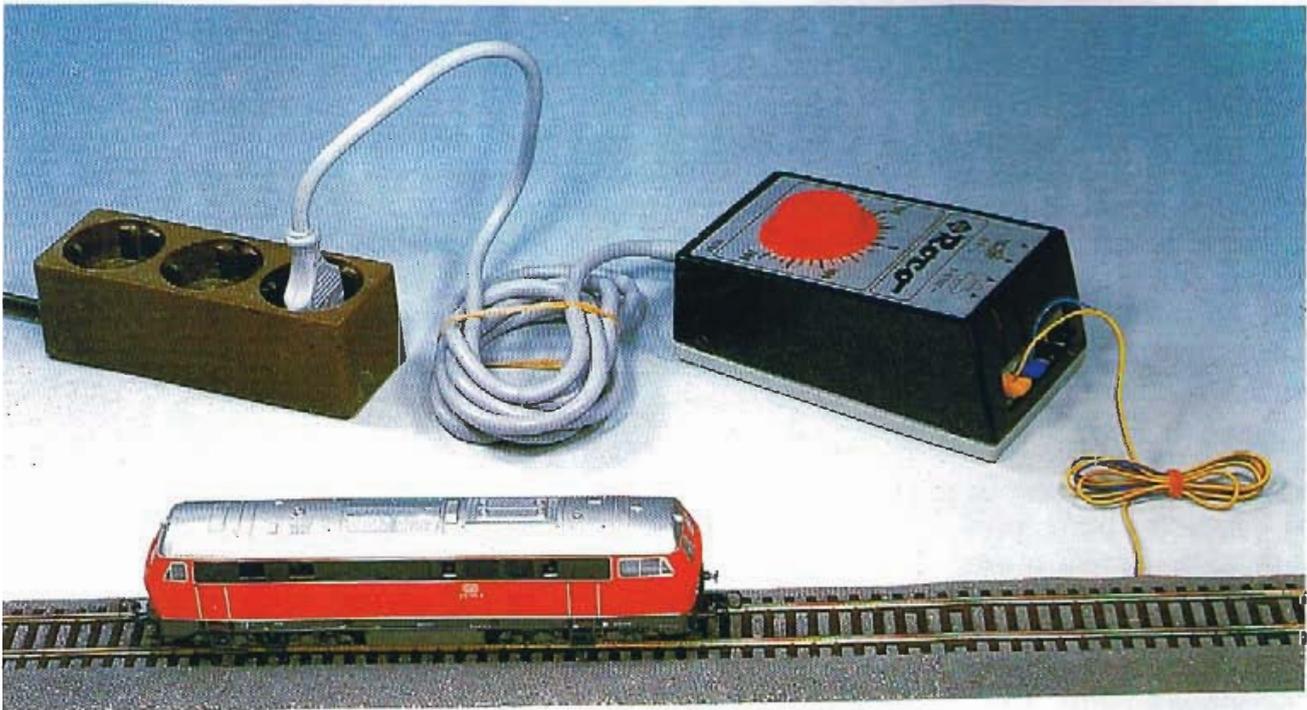


Figura 1.2 También estos circuitos eléctricos son claros: el panel de control está conectado a la red de 220 voltios y alimenta a la locomotora con una tensión regulable.

bién disminuyen los efectos que produce este consumidor: la intensidad de la luz y también la generación de calor asociada.

Unidas por la ley de Ohm: tensión, corriente y resistencia

De los ejemplos numéricos facilitados, se puede deducir que para determinar la corriente que pasa a través de la lámpara se necesitan sus valores como en el quebrado $0,05 \text{ A}/14 \text{ V}$. Su valor inverso, es decir: $14 \text{ V}/0,05 \text{ A}$, se denomina resistencia óhmica (R) del consumidor y su unidad de medición es el ohmio (Ω):

$$R = \frac{14 \text{ V}}{0,05 \text{ A}} = 280 \frac{\text{V}}{\text{A}} = 280 \Omega$$

Si en la ecuación de arriba se colocan las magnitudes comunes, en el lugar de los valores numéricos, de tensión y corriente, es decir, U para la tensión e I para la corriente, se obtiene la ley de Ohm:

$$R = \frac{U}{I}$$

Con esta relación se puede determinar la resistencia de un consumidor si se conocen la tensión U y la corriente I que fluye a través de la resistencia. Del mismo modo se puede calcular la corriente si se conoce la resistencia y la tensión:

$$I = \frac{U}{R}$$

o, finalmente, la tensión si se conocen la corriente y la resistencia:

$$U = R \cdot I$$

El lector atento quizás haya notado que el término «resistencia» no sólo es una magnitud eléctrica, sino que también designa al elemento.

En un equipo de modelismo ferroviario se necesitan las resistencias para

adaptar la tensión fija dada por un transformador a las respectivas necesidades del elemento consumidor.

Todo modelista de ferrocarriles sabe apreciar el placer que proporciona observar el funcionamiento nocturno del tren real y de la maqueta: los trenes iluminados, la señalización con sus luces, las bombillas de las agujas, las farolas de las calles y de los edificios, así como la iluminación interior para los mismos, etc.. Si estas lámparas se conectan directamente al transformador, tal y como describe el fabricante, uno queda decepcionado: las lámparas brillarán de una forma exagerada. Las señales luminosas funcionan como focos de colores, el farol de gas, tiene la intensidad luminosa de un proyector de luz.

Una posible solución es la conexión de una resistencia R_v entre el transformador y la lámpara, tal y como se muestra en la figura 1.3. Estas resistencias, colocadas delante del consumidor, reciben el nombre, más específico, de resistencias limitadoras.

En los esquemas de conexiones, junto a los símbolos para fuentes de tensión y consumidores, se hallan también anotadas las magnitudes eléctricas de corriente y tensión. A través de todos los elementos circula la misma corriente, sólo existe este camino.

La tensión U proporcionada por la fuente (transformador) se divide de la siguiente forma: una parte (U_v) se pierde en la resistencia limitadora, la otra en la bombilla, que tiene la resistencia (R_l). Las pérdidas de tensión se marcan con flechas al lado de las cuales se escriben los símbolos de la magnitud correspondiente. El sentido de las flechas corresponde al sentido de la corriente a través del consumidor. Para la fuente de tensión la ordenación es inversa. Esta ordenación —arbitraria, pero en general muy útil— tiene como consecuencia que se produzcan valores numéricos positivos para las corrientes y las tensiones.

Pero, ¿cómo se determina convenientemente la magnitud de la resistencia R_V ? Su tarea consiste en hacer que la tensión U_L en la bombilla sea menor que la tensión fija U_L de la que se dispone para la iluminación. La magnitud correcta de la tensión U_L se puede determinar mediante un experimento: el panel de control tiene junto a la salida con tensión fija una con tensión variable, que normalmente sirve para alimentar la locomotora.

Se conecta la bombilla a esta tensión variable y se cambia la tensión hasta que la intensidad de la luz de la bombilla tenga un efecto realista. Con la ayuda de un sencillo medidor de tensión se puede determinar entonces la tensión U_L buscada. Naturalmente es igual que la tensión de salida U_A de la fuente de tensión, que varía entre 0 y 14 V.

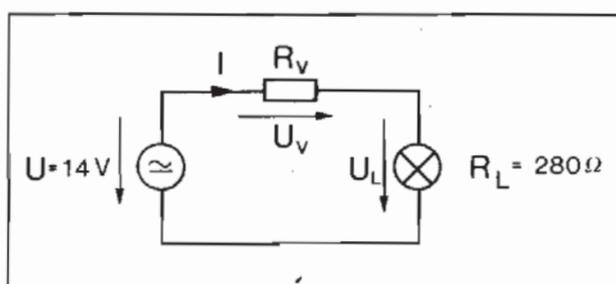


Figura 1.3 Circuito eléctrico con resistencia en serie limitadora para disminuir la tensión en el consumidor.

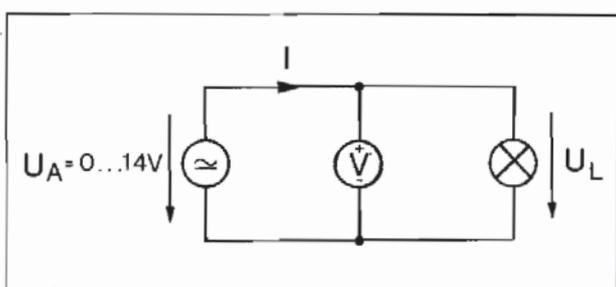


Figura 1.4 Circuito experimental para medir la tensión existente en los bornes de la bombilla.

Si se ha obtenido, por ejemplo, un valor de $U_L = 9$ V, según la ley de Ohm circula una corriente de

$$I = \frac{U_L}{R_L} = \frac{9 \text{ V}}{280 \Omega} = 0,032 \text{ A.}$$

Conociendo estos valores numéricos se puede determinar la resistencia limitadora buscada. La pérdida de tensión U_V es, con una tensión de la fuente $U = 14$ V, y una tensión en la lámpara de $U_L = 9$ V, de $U_V = 14 \text{ V} - 9 \text{ V} = 5$ V, ya que la tensión U se divide en las pérdidas de tensión U_V y U_L :

$$U = U_V + U_L$$

El valor numérico de la resistencia es entonces igual a:

$$R_V = \frac{5 \text{ V}}{0,032 \text{ A}} = 155 \Omega.$$

Conexión en serie y en paralelo

A este tipo de conexiones, como se ha descrito con el ejemplo de dos consumidores, se la denomina conexión en serie (o también conexión en línea). Por todos los elementos de la conexión en serie circula la misma corriente I , la suma de todas las pérdidas de tensión es igual a la tensión de la fuente.

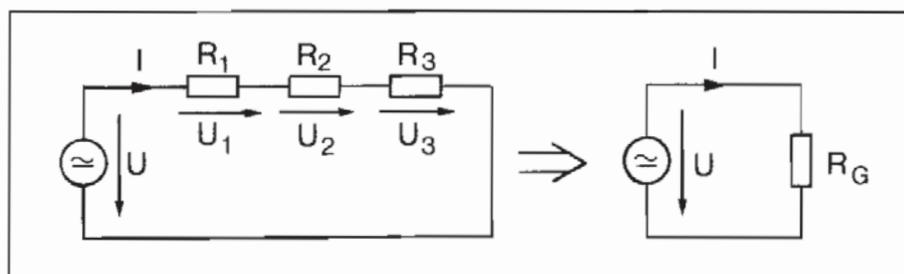
En un circuito eléctrico se pueden encontrar varias fuentes de tensión conectadas en serie. Según lo expuesto anteriormente, también se pueden convertir todas juntas en una única fuente de tensión.

La resistencia total R_G de varias resistencias conectadas en serie es:

$$R_G = \frac{U}{I} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

R_G también recibe el nombre de resistencia equivalente, ya que equivale en el esquema de conexiones a la suma de todas las resistencias en serie.

Figura 1.5 Conexión en serie de (tres) resistencias y sustitución por una resistencia total, correspondiente a la suma de las tres resistencias



Hasta ahora nuestros circuitos sólo se han compuesto de elementos que están conectados en serie. En general, no sólo hay una bombilla implicada en el circuito, sino varias. Éstas están conectadas tal y como se muestra en la figura 1.6.

Todas las bombillas dependen de la misma tensión U , su conexión está especificada por un punto en la zona de empalme. La corriente I suministrada por la fuente de tensión se divide en las corrientes parciales I_1, I_2, I_3 . Aplicando la ley de Ohm queda:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; I_2 = \frac{U}{R_2}; I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

Su suma es igual a la corriente total de carga I :

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Si se toman los mismos datos conocidos, como arriba, para una bombilla, con una tensión $U = 9 \text{ V}$ la corriente que pasa a través de cada consumidor es la misma:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{9 \text{ V}}{280 \Omega} = 0,032 \text{ A}$$

y la corriente total es de:

$$I = 0,096 \text{ A}.$$

El tipo de conexión descrito se denomina conexión en paralelo o derivación. En ella, todos los elementos tienen la misma tensión U ; la corriente que pasa a través del consumidor respectivo viene determinada por la resistencia de éste. La resistencia total resultante R_G se desprende de:

$$R_G = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_1 + I_2 + I_3} = \frac{U}{\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}}$$

$$R_G = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

En el caso especial de que haya resistencias iguales

$$R_1 = R_2 = R_3 = R$$

equivale a

$$R_G = \frac{R}{3}.$$

Para los ejemplos de conexiones en serie y en paralelo se utilizó el número tres naturalmente, las fórmulas expuestas sirven para cualquier cifra.

Para el número elegido como ejemplo se da una resistencia resultante R_G de:

$$R_G = \frac{280 \Omega}{3} = 93,3 \Omega,$$

naturalmente se obtiene el mismo valor con la corriente y la tensión de la resistencia:

$$R_G = \frac{U}{I} = \frac{9 \text{ V}}{0,096 \text{ A}} = 93,3 \Omega.$$

En el diagrama de conexiones, la resistencia resultante R_G puede sustituir las verdaderas resistencias R_1, R_2, R_3 simplificando así el diagrama.

En la figura 1.7 sucede esto. Como la tensión en la bombilla, y por tanto también en la resistencia equivalente,

debe ser de R_G 9 V, en la resistencia limitadora R_V deben perderse 5 V. Así, para R_V hay que elegir el valor:

$$I = \frac{U_V}{R_V} = \frac{9 \text{ V}}{R_G}$$

$$R_V = R_G \cdot \frac{U_V}{9 \text{ V}} = 93,3 \Omega \cdot \frac{5 \text{ V}}{9 \text{ V}} = 51,8 \Omega.$$

La potencia no puede faltar

Hasta ahora nos hemos ocupado de tres conceptos clave de la electrotecnia: la tensión, la corriente y la resistencia. Estas magnitudes están relacionadas entre sí por la ley de Ohm. Para el modelismo ferroviario existe otro concepto de gran importancia: la potencia (eléctrica). Su indicación es necesaria para la identificación clara de piezas electrónicas, ya sean transformadores o paneles de control, locomotoras, mecanismos de agujas y señales o sistemas de iluminación. Con el ejemplo de la bombilla y de la resistencia deberá quedar claro el concepto de potencia que se expone a continuación.

Ya se ha demostrado que utilizando una resistencia limitadora se puede regular la intensidad de luz de una bombilla para adaptarla a nuestras necesidades (figura 1.3). Junto con la disminución de la intensidad de la luz, y con ello, del calor generado por la bombilla, se produce una reducción de la corriente y la tensión de 0,05 A (con 14 V) a 0,032 A (con 9 V). Se puede ver claramente que la corriente y la tensión son una medida para la energía eléctrica que consume la bombilla y que se transforma en luz y calor.

Llegados a este punto, haremos una aclaración sobre una palabra tan utilizada como *consumidor* (eléctrico). En realidad, no es muy acertada, y es que la energía ni se crea ni se destruye, únicamente se transforma en otras energías - calor, luz, movimiento (en los motores). Toda corriente implica una generación de calor, casi siempre no deseada.

La dependencia de la magnitud de la potencia eléctrica P de la cantidad de corriente I y de tensión U queda reflejada en la siguiente fórmula:

$$P = U \cdot I.$$

La unidad de medición de la potencia es el vatio (W).

La indicación de la potencia de una bombilla en vatios es habitual para las lámparas utilizadas en el hogar; los fabricantes de maquetas de tren, en cambio, proporcionan sólo, si es que lo hacen, los datos de la corriente y de la tensión. No obstante, con ellos se puede calcular la potencia eléctrica que se consume. Así la potencia en nuestro ejemplo sería de:

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

o, con la intensidad de luz reducida:

$$P = 9 \text{ V} \cdot 0,032 \text{ A} = 0,29 \text{ W}.$$

Mientras que en la bombilla la energía eléctrica convertida se divide en una parte útil —la energía luminosa— y en una parte de pérdida —energía calorífica—, la potencia convertida en la resistencia limitadora R_V es pura potencia de disipación. Su valor es de:

$$P = 5 \text{ V} \cdot 0,032 \text{ A} = 0,16 \text{ W}.$$

La energía convertida en la lámpara y en la resistencia limitadora es igual a

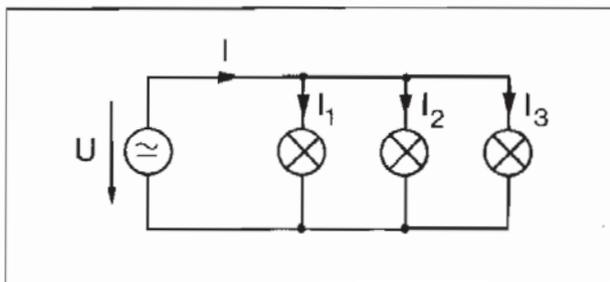


Figura 1.6 Conexión de (tres) bombillas a una fuente de tensión: la conexión en paralelo de consumidores.

la energía suministrada por la fuente de tensión.

A partir de la corriente y de la tensión, se puede saber la potencia de di-

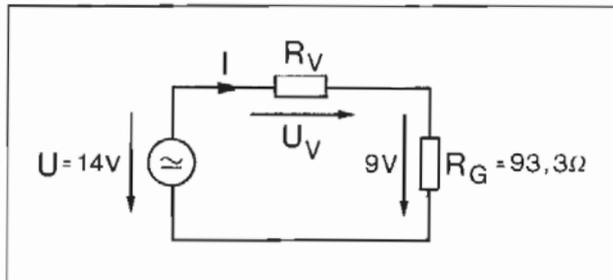


Figura 1.7 Cálculo de la resistencia limitadora R_V .

sipación de las resistencias si se conocen los valores:

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = R \cdot I^2.$$

A la hora de comprar resistencias, la indicación de la potencia de disipación es tan necesaria como la del valor en ohmios. Esto queda claro, si se comparan las potencias de disipación de la resistencia limitadora en las figuras 1.3 y 1.7: ¡se triplica!

Cuando se fijan las potencias de disipación tolerables también se deberá reflexionar en el hecho de que las resistencias se calientan mucho. Cuando se utilizan durante un período prolongado con la potencia tolerable, en la superficie se pueden alcanzar temperaturas de hasta 100 °C. Esto debería tenerse en cuenta a la hora de montar resistencias en las maquetas y elegir una resistencia que tenga una mayor capacidad de carga.

Resistencias en el modelismo ferroviario: formas y valores

Los materiales utilizados para la fabricación de resistencias utilizadas en el mo-

delismo ferroviario son alambres para las resistencias bobinadas y capas de carbón y metal para las resistencias de capas (figura 1.8). Las resistencias de capas de carbón siguen siendo las más utilizadas hoy en día, aunque últimamente se están imponiendo las de capas de metal, que se caracterizan por una menor dependencia de la temperatura y tolerancias pequeñas.

En general, los valores de las resistencias óhmicas dependen de tal manera de la temperatura que éstos aumentan si la temperatura también aumenta. Así, las bombillas, en el momento de conexión, poseen una resistencia más reducida que durante su funcionamiento. En verdad, la resistencia también depende de la corriente y no es del todo constante, como habíamos presupuesto hasta ahora. Con la llegada de los circuitos electrónicos, también han dejado de utilizarse aquellas resistencias especiales (conductores calientes) que gracias a la característica descrita de no ser lineales hacen posible un comportamiento en las tramos de frenado más fiel al del modelo real que el que se consigue con resistencias normales (lineales); ver figura 1.13.

La tolerancia de una resistencia es importante, sobre todo, en circuitos electrónicos de alta calidad. Los datos de tolerancia se dan en tantos por ciento (%); así, 100 Ω/10 % significa que el valor de resistencia puede estar entre los 90 Ω y los 110 Ω. Las resistencias no se pueden conseguir con el valor óhmico que queramos, sino con unos determinados niveles. Una tabla en el anexo aclara esta circunstancia. Si para una determinada aplicación se necesitan valores de resistencia que no estén entre los valores nombrados, éstos casi siempre se pueden obtener mediante circuitos en serie o en paralelo de valores normalizados.

Las resistencias hechas de alambre se prefieren para pequeños valores óhmicos y potencias altas, por lo que se encuentran a menudo en los elementos

electrotécnicos del modelismo ferroviario. El valor de una resistencia de este tipo se puede calcular midiendo el alambre (longitud l en m, sección A en mm^2) y las constantes del material (resistencia específica en mm^2/m):

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}.$$

En la tabla 1.1 se ofrecen los datos de la resistencia específica para algunos materiales habitualmente utilizados. De esta manera se puede calcular, a modo de ejemplo, que un alambre de constantán de 2 m de largo y $0,2 \text{ mm}^2$ de sección tiene un valor de 5Ω , pero si se utiliza cobre sólo tendrá $0,16 \Omega$. Ahora se explica por qué en el circuito eléctrico de la figura 1.1 podía obviarse la resistencia del cable de alimentación: es mucho menor que la resistencia de la bombilla.

Incluso en equipos de mediano tamaño se necesita una considerable longitud de cable, incluso haciendo todo lo posible por ahorrar material. Los costes de adquisición se reducen comprando unidades mayores, por ejemplo, rollos de cable de 100 m en vez de los típicos de 10. También la sección del cobre influye en el precio, aunque aquí no se debería escatimar en gastos.

La resistencia del cable de alimentación aumenta cuando se reduce la sección y con ello también la pérdida de tensión en el cable. Una corriente de $I = 2 \text{ A}$ provoca en un cable de 5 m y $0,01 \text{ mm}^2$ una pérdida de tensión de 1,6 V, lo

que en la tensión de salida del transformador de 12 V lleva ya a una reducción de la tensión en el consumidor a 10,4 V.

Con una resistencia mayor del cable, también aumentan las pérdidas, esto se deja notar por un calentamiento mayor. En especial con cortocircuitos, pueden aparecer altas temperaturas no tolerables. Se habla de cortocircuito cuando las resistencias de consumidores como bombillas, motores, etc. no limitan la corriente que circula por un circuito, sino que son las resistencias de la alimentación, es decir, cables y vías, las que lo hacen en caso de avería. Los cortocircuitos son habituales en los equipos de maquetas de ferrocarril: los vehículos descarrilados provocan muchos, en especial en las agujas; los cables aislados deficientemente en los empalmes y las conexiones provocan

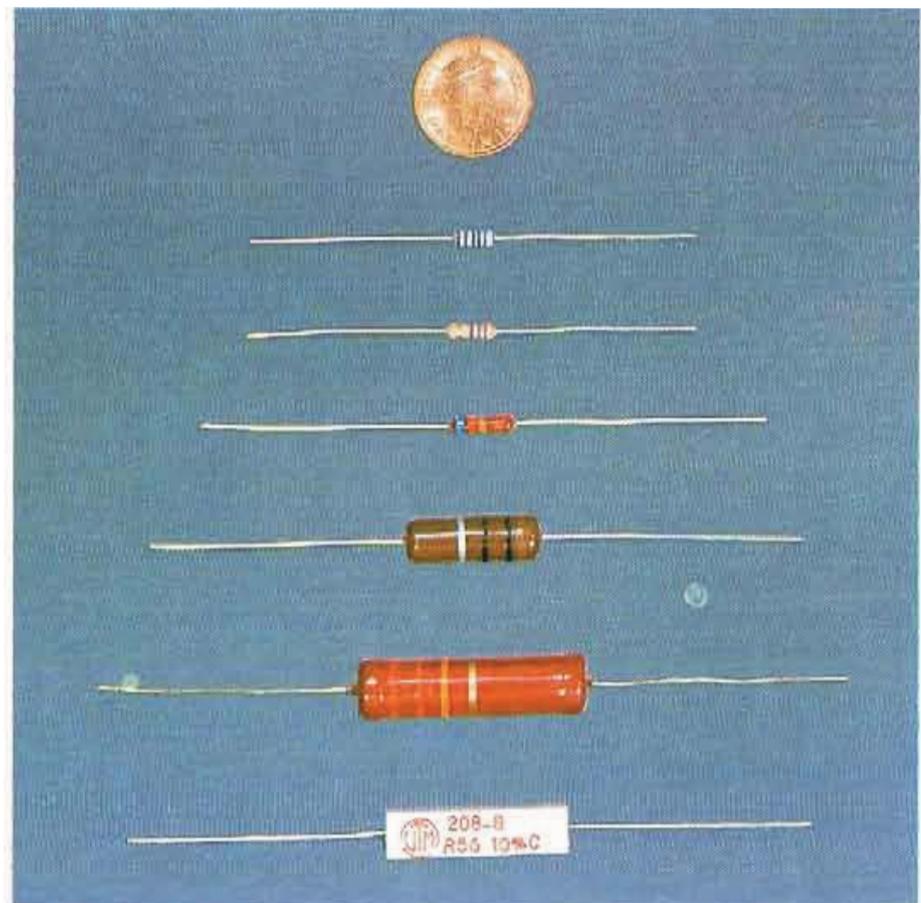


Figura 1.8 Selección de resistencias fijas: se puede ver claramente que los tamaños dependen de la potencia de disipación tolerable.

cortocircuitos en los circuitos de iluminación y conmutación.

Tabla 1.1 Resistencias específicas.

Material	$\rho \left[\frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \right]$	Utilización
Cobre	0,016	cables, bobinados de bobinas y motores
Latón	0,062 ⁺	perfiles de vía
Alpaca	0,3 ⁺	perfiles de vía
Constantán	0,5 ⁺	alambre de resistencia
	10^{10}	material aislante

⁺: este valor depende de la composición de las aleaciones.

Lamentablemente, no todas las resistencias que forman parte de los circuitos de maquetas de ferrocarriles son tan sencillas como puede haber parecido hasta ahora. Cuando se empalman dos vías aparecen resistencias que —dependiendo de muchos factores— pueden adquirir valores que provocan una apreciable disminución de la tensión en el vehículo. Por ello, es aconsejable no colocar la tensión de tracción en un solo lugar de las vías, sino prever distintos puntos de alimentación, como en el ferrocarril de verdad. Se demostrará más adelante que esto no se debe llevar a cabo mediante las caras vías de empalme.

Las variables: resistencias en forma de potenciómetros

En los potenciómetros, una forma especial de resistencias, los dos tipos de co-

nexión, en serie y en paralelo, son importantes. En su estructura, estas piezas son iguales que las resistencias con valores fijos (resistencias fijas). Pero, en contraste con estas últimas, el material de la resistencia no está totalmente recubierto por una materia aislante. De esta manera, se pueden hacer contactos con un cursor movible, que conforma la tercera conexión de esta pieza, al que se le denomina eje.

El material de resistivo puede tener la forma de un círculo parcial, casi siempre más de 270° o de una resistencia bobinada sobre un cilindro hueco de material aislante. El primero se conoce con el nombre de potenciómetro giratorio, y el segundo con el de potenciómetro de accionamiento longitudinal.

En la figura 1.9 está representado el esquema de conexiones del potenciómetro. Su resistencia total R se divide en las partes variables R_1 y R_2 . Para el

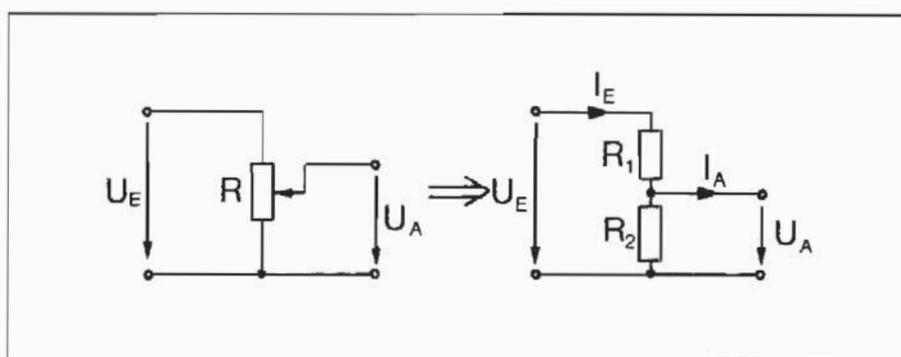


Figura 1.9 Circuito de potenciómetro.

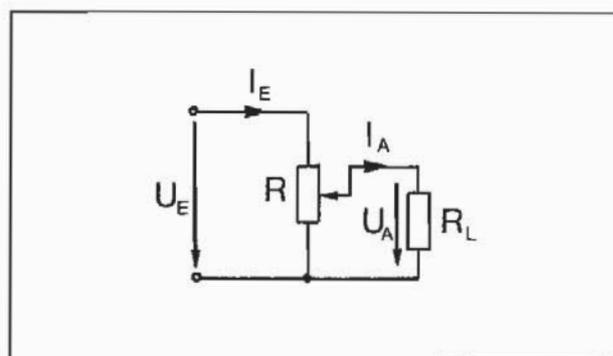


Figura 1.10 Potenciómetro con carga.

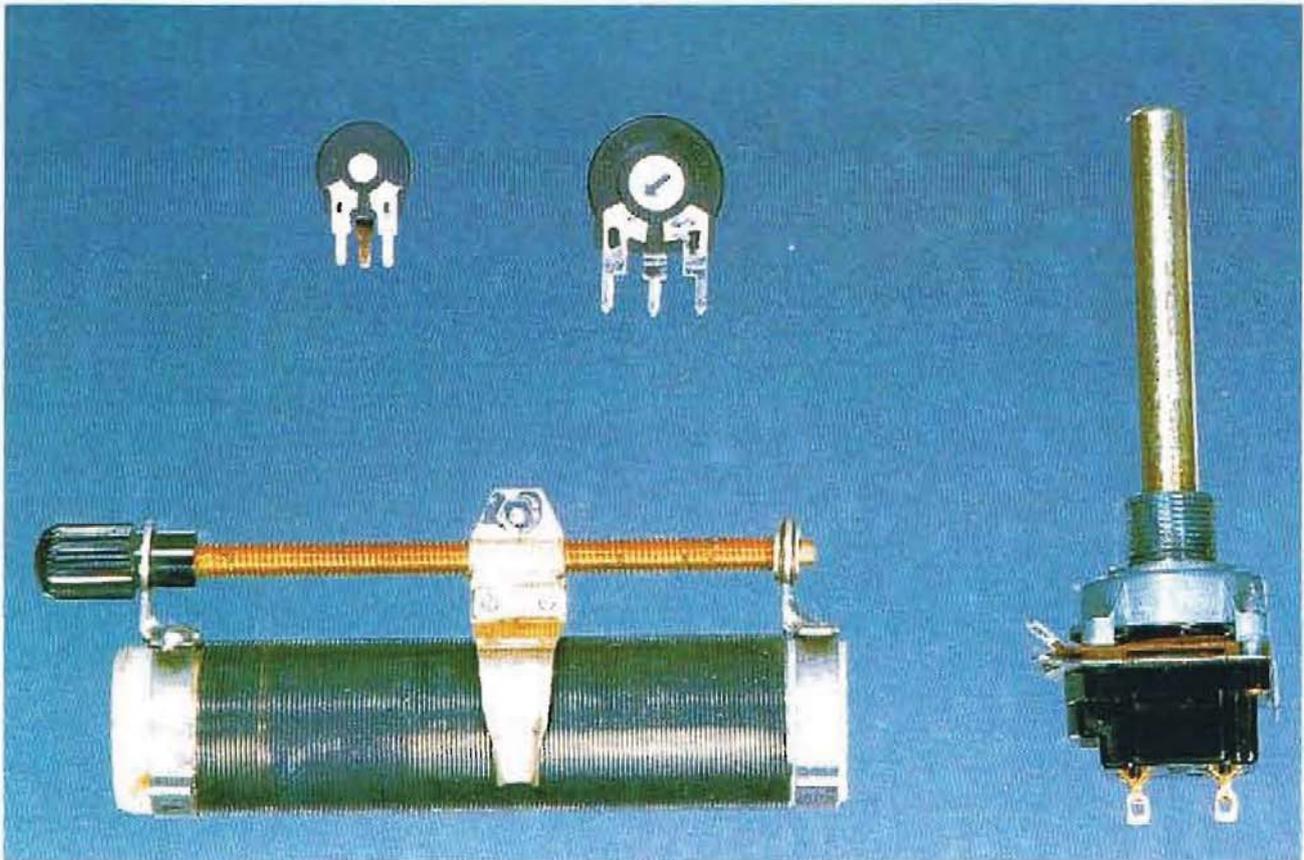


Figura 1.11 Potenciómetro: abajo, potenciómetros bobinados para potencias mayores; arriba, potenciómetros de capas para potencias menores.

divisor de tensión sin carga, es decir corriente de salida $I_A = 0$, vale lo mismo que para el circuito en serie de dos resistencias:

$$U_A = R_2 \cdot I_E = R_2 \cdot \frac{U_E}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R} \cdot U_E.$$

Como R_2 puede variar entre los valores 0 y R , la tensión de salida U_A del potenciómetro se puede regular entre los valores 0 y U_E . Estas relaciones son más difíciles de ver cuando el divisor de tensión (también llamado resistencia regulable o ajustable) tiene carga (ver figura 1.10). Aquí se presentan tensiones de salida más bajas que en un potenciómetro sin carga.

En el próximo apartado trataremos una aplicación del circuito de potenciómetro como elemento regulador de la tensión de tracción. En este punto nos ocuparemos de su utilización como re-

sistencia variable. Permite la adaptación del valor de la resistencia limitadora, por ejemplo en el circuito según la figura 1.6, a un número creciente de consumidores. Solamente habría que reflexionar un poco sobre la resistencia máxima necesaria y su potencia.

En los catálogos de los fabricantes de maquetas ferroviarias, las resistencias variables también reciben el nombre de resistencias de baja velocidad o resistencias de frenado. Sirven para reducir la tensión de tracción U_M en la locomotora y, así, la velocidad del vehículo antes de parar delante de una señal, en lugares de circulación a baja velocidad o en trazados con desnivel. La tensión U_F de la vía se reduce con la pérdida de tensión U_V , que provoca la corriente I a través del motor en la resistencia acoplada R_V :

$$U_M = U_F - U_V = U_F - R_V \cdot I.$$

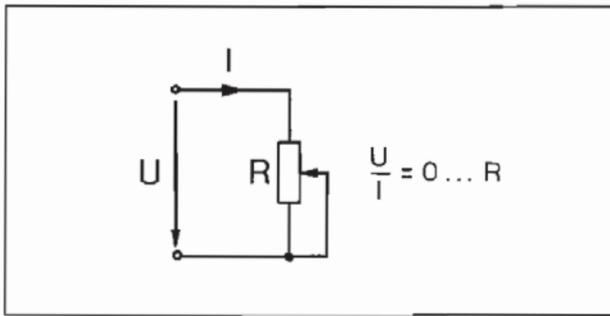


Figura 1.12 Conexión de un potenciómetro como resistencia variable.

La resistencia limitadora debería ser variable para que, haciendo pruebas, se pueda encontrar la regulación que corresponde ampliamente a las distintas propiedades de la marcha de los diferentes vehículos.

Con un potenciómetro, dos interruptores, una pequeña carcasa y un par de metros de cable se puede construir un circuito *walk-around-control*. Este circuito permite el control (*to control* = controlar) de la tensión de tracción no sólo

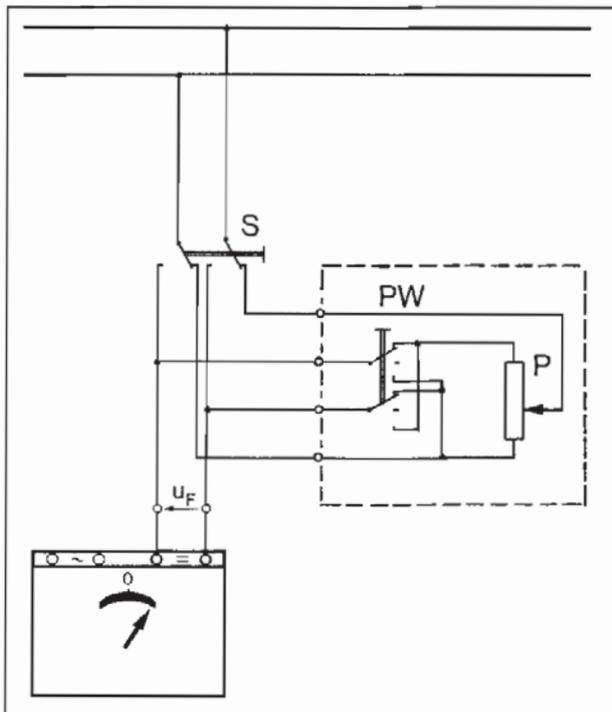


Figura 1.14 Control a distancia de la tensión de tracción (P: 50 Ω / 25 W).

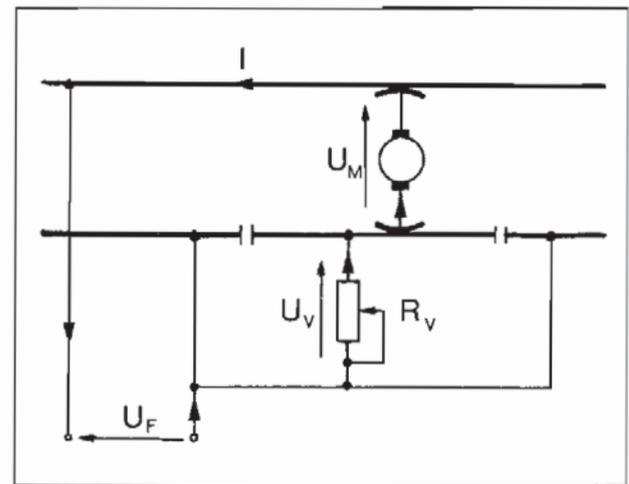


Figura 1.13 Utilización de resistencias regulables como resistencias limitadoras en circuitos de corriente de tracción ($R_V =$ de 50 a 100 Ω , aproximadamente 5 W).

desde el panel de control directamente, sino también desde cualquier lugar elegido, mientras la longitud del cable lo permita. Así se tiene la posibilidad de observar la marcha desde otras perspectivas. El circuito también es útil en el caso de que haya que superar obstáculos en la vía. Realizar marchas a modo de prueba es mucho más sencillo que estar constantemente de un lado para otro entre el lugar de construcción y el panel de control.

Los interruptores necesarios son conmutadores bipolares, de los cuales uno se conecta como inversor de polos (ver capítulo 6). Se encarga de la inversión de polos de la tensión continua necesaria para el cambio del sentido de la marcha. Las locomotoras que funcionan con corriente alterna necesitan para el cambio del sentido de la marcha un impulso de sobretensión (ver capítulo 10); el circuito presentado sólo controla su velocidad. El inversor de polos no tiene ningún efecto.

Con el interruptor S se puede conectar la vía al panel de control o al potenciómetro. El inversor de polos más apropiado es un conmutador de dos polos con posición central. En esta posición el

potenciómetro no tiene tensión, por lo que no carga el panel de control innecesariamente. El potenciómetro debería tener una resistencia de aproximadamente 50Ω . Con una potencia de disipación tolerable de $P_v = 25 \text{ W}$ puede soportar una carga de corriente de

$$I = \sqrt{P/R} = \sqrt{25 \text{ W}/50 \Omega} = 0,7 \text{ A.}$$



Figura 1.15 El regulador de mano para el control a distancia.

Con el circuito de potenciómetro se puede controlar la tensión entre cero y la tensión fijada en el panel de control. No obstante, en la posición más baja del cursor ($= 0 \text{ V}$) la vía está cortocircuitada. Hay que comprobar si esto es compatible con otros componentes del equipo. Dado el caso, se puede utilizar el circuito de potenciómetro como resistencia variable (ver más arriba), aunque con este elemento la tensión no se puede reducir a cero.

Resumen:

Este apartado se centra en la ley de Ohm; con ella pueden especificarse las normas para circuitos en serie y en paralelo. Las resistencias y los potenciómetros se presentan como piezas y sus aplicaciones se muestran en los primeros circuitos sencillos.

2

Variedad: sistemas de corriente de tracción

La mayoría de modelistas de ferrocarriles asocian a los conceptos de sistema de corriente continua y sistema de corriente alterna la división entre dos elementos opuestos cuyas fronteras parecen insalvables. Los dos tipos de corriente de tracción no son, sin embargo, tan diferentes, mientras que sí lo es la manera en la que se realiza la alimentación de tensión a los vehículos, los sistemas de corriente de tracción.

Las sutiles diferencias: parámetros de corrientes y tensiones

En el apartado anterior nos hemos ocupado de cuatro conceptos elementales de la electrotecnia: tensión, corriente, resistencia y potencia. También aparecieron términos como: tensión de tracción, pérdida de tensión y corriente de carga. Sin embargo, aún no se han utilizado vocablos como tensión alterna o tensión continua. Para los circuitos vistos hasta ahora esto no tiene ninguna importancia, ya que funcionan de la misma forma con ambos tipos de tensión.

El grupo nombrado en primer lugar tiene otras palabras asociadas, algunas de ellas muy utilizadas en el ámbito del modelismo ferroviario: expresiones como corriente de conmutación, intensidad de luz o tensión de iluminación se encuentran en casi todos los catálogos e instrucciones de uso. Las palabras asociadas a corriente y tensión indican el campo de aplicación, pero no dicen nada de las propiedades físicas de las magnitudes correspondientes, lo mismo

que ocurre con tensión alterna y tensión continua. No tienen sentido expresiones como «corriente de conexión para iluminación», y también son erróneos datos como «corriente continua 14 V». La unidad de corriente es el amperio (A), la unidad voltio (V) está asociada a la tensión.

Para explicar las distintas propiedades de la tensión continua y la tensión alterna vea la figura 2.1. Del mismo modo, también son válidas para corrientes y magnitudes alternas en general. En el esquema presentado en la figura se indica el valor correspondiente de la tensión, que depende del tiempo t . Los conocidos horarios de salida de trenes en los que se indica el horario de los mismos dependiendo del lugar (trayecto-km) también son esquemas de este tipo.

En el esquema de la tensión continua el valor de la tensión es siempre el mismo: por ejemplo, 10 V. Tampoco varía la polaridad, que se señala mediante el signo + o -. Aquí se habla de una tensión continua pura, que queda totalmente definida mediante la indicación de magnitud y polaridad.

En contraste con lo expuesto anteriormente, la forma de tensión mostrada en la figura 2.1 (b) no tiene ni una magnitud constante ni una polaridad invariable, ya que los valores temporales $u(t)$ de la tensión oscilan dependiendo del tiempo entre el valor máximo positivo (también llamado amplitud) de +10 V y el negativo de -10 V. La tensión tiene en este caso la característica forma senoidal. Se repite cada 20 min, estos lapsos de tiempo se definen como duración de la oscilación o del período T .

Las magnitudes alternas, como la tensión y la corriente, están señaladas mediante la indicación de la forma, la duración de la oscilación T y el valor máximo. En vez de la duración de la oscilación, a menudo se indica el valor inverso. Se denomina frecuencia f y ofrece el número de oscilaciones por segundo:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \text{ ms}} = \frac{1}{0,02 \text{ s}}$$

$$= 50 \frac{1}{\text{s}} = 50 \text{ Hz.}$$

La unidad de frecuencia es por lo tanto el hercio (Hz), el valor de 50 Hz está predeterminado por la red de alimentación.

En los ferrocarriles alemanes pueden encontrarse valores diferentes, las locomotoras eléctricas de la Bundesbahn (la compañía federal de ferrocarriles alemanes) funcionan con una corriente alterna de sólo $16 \frac{2}{3}$ Hz. Las frecuencias esencialmente más altas (aproximadamente $10.000 \text{ Hz} = 10 \text{ kHz}$) se aplican en los equipos de ferrocarriles en miniatura utilizando las denominadas iluminaciones de tren independientes de la tensión de tracción.

En la figura 2.2 se han indicado los valores de una tensión alterna senoidal. Destaca también el valor eficaz U de la tensión. Éste viene definido de tal forma que la tensión alterna con el valor eficaz U —por ejemplo, $U = 10 \text{ V}$ — en una re-

sistencia óhmica provoca el mismo efecto en forma de calor que una tensión continua U de la misma magnitud. Por lo tanto, es muy natural utilizar el mismo símbolo U para tensiones continuas y valores eficaces de tensiones alternas.

En general, para la señalización de una tensión alterna se utiliza el valor eficaz. Cuando se habla, refiriéndonos a la red de alimentación, de la red de 220 V, esto significa que el valor máximo de tensión en la base de enchufe es de $\hat{u} = \sqrt{2} \cdot 220 \text{ V} = 311 \text{ V}$. El valor máximo de

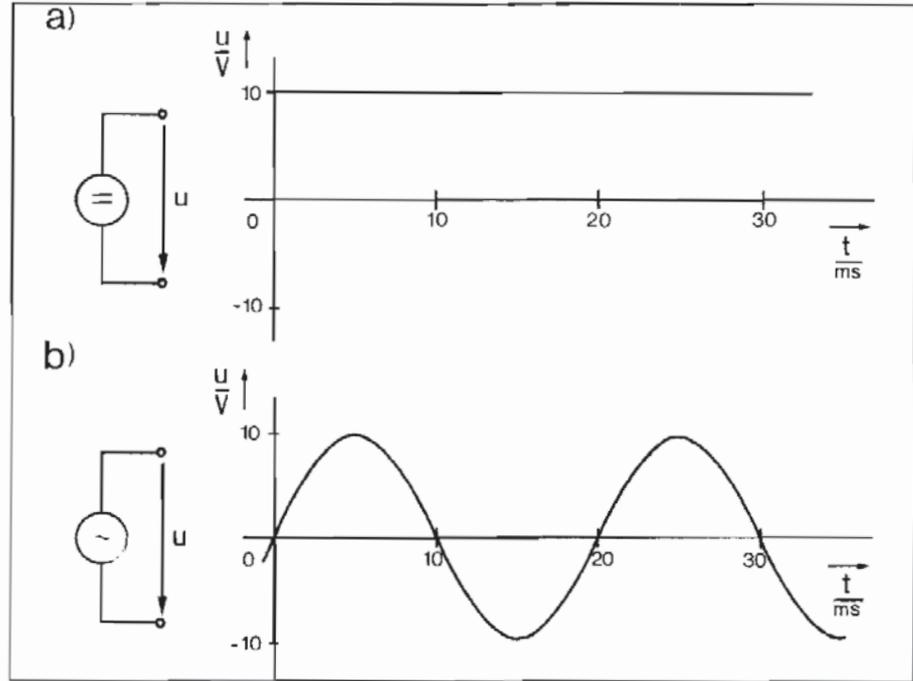


Figura 2.1 Símbolo y trayecto temporal de la tensión de una fuente de tensión continua (a) y de una fuente de tensión alterna (b)

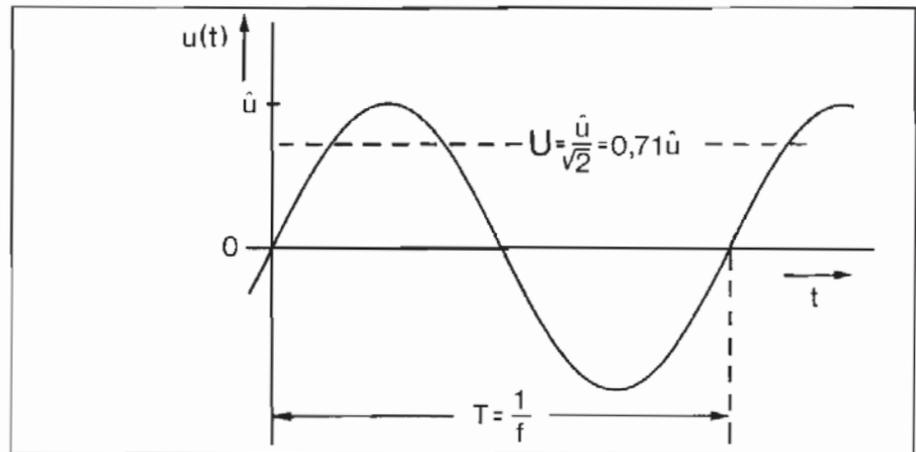


Figura 2.2 Magnitudes de una tensión alterna.

una tensión alterna $U = 14 \text{ V}$, como el que se puede encontrar en la salida del transformador de una maqueta, posee una valor máximo de $19,8 \text{ V}$.

Como ya se ha dicho anteriormente, las relaciones indicadas en el capítulo 1 son igualmente válidas para la tensión o corriente continua y alterna, si sólo se aplican —como es habitual— a los valores eficaces de las magnitudes alternas. También los aparatos de medición que se utilizan en los equipos de modelismo ferroviario, muestran los valores eficaces de corriente y tensión.

Cables y vías

Muchos modelistas de ferrocarriles asocian con los conceptos corriente continua y corriente alterna una división en dos elementos contrapuestos. En una parte se encuentran los vehículos accionados con corriente alterna, representados por los productos de la empresa Märklin con la escala H0. En la otra los productos que funcionan con corriente continua, como los de las empresas Arnold, Fleischmann, Lehmann, Liliput, Roco, Trix, por nombrar algunos. También los trenes de vía Z de Märklin funcionan con este tipo de corriente. La razón para que los vehículos motores y el material rodante de ambos sistemas no puedan ser utilizados conjuntamente si no es haciendo algunas modificaciones, no radica principalmente en el hecho de que las tensiones de tracción sean diferentes, sino más bien en la forma en que se realiza la alimentación de tensión. En la figura 2.3 están representados los dos sistemas de corriente de tracción; se ha renunciado a propósito a señalar las fuentes de tensión. Los sistemas pueden ser utilizados indistintamente con corriente continua o alterna.

Como marca de diferenciación de los sistemas se utiliza el número de raíles (S), aquí se incluyen también los cables centrales en sus diferentes modelos, y el número de cables (L) de los circuitos

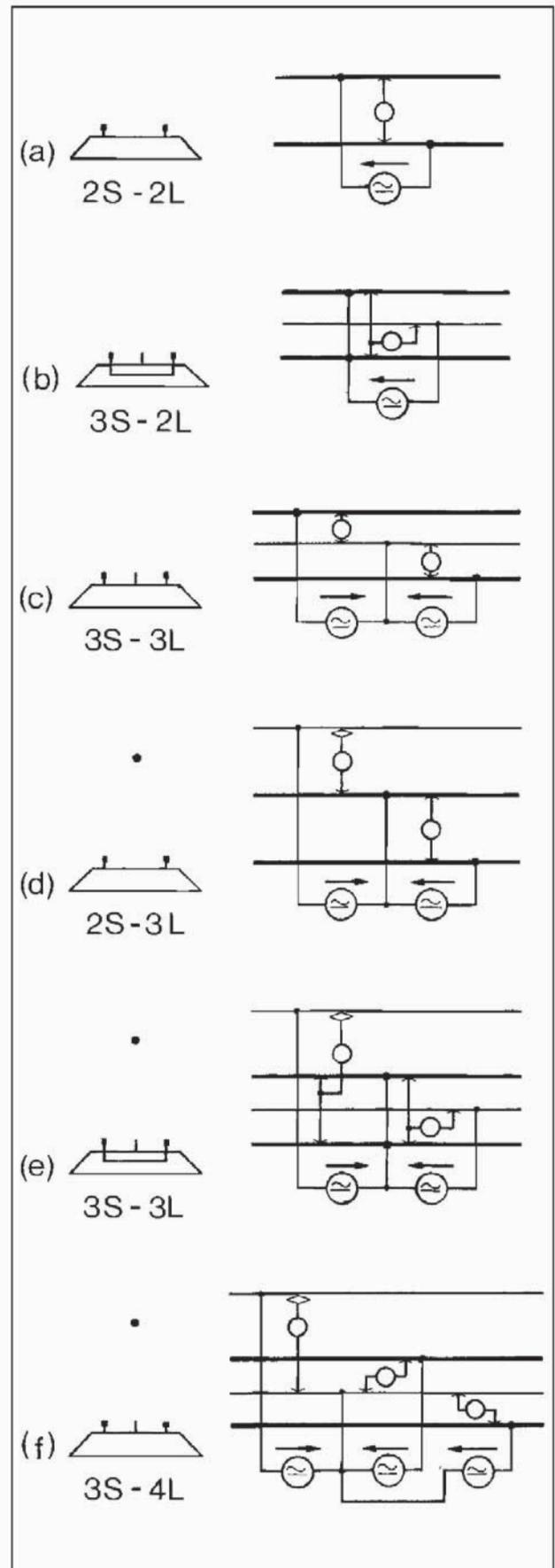


Figura 2.3 Sistemas de corriente de tracción.

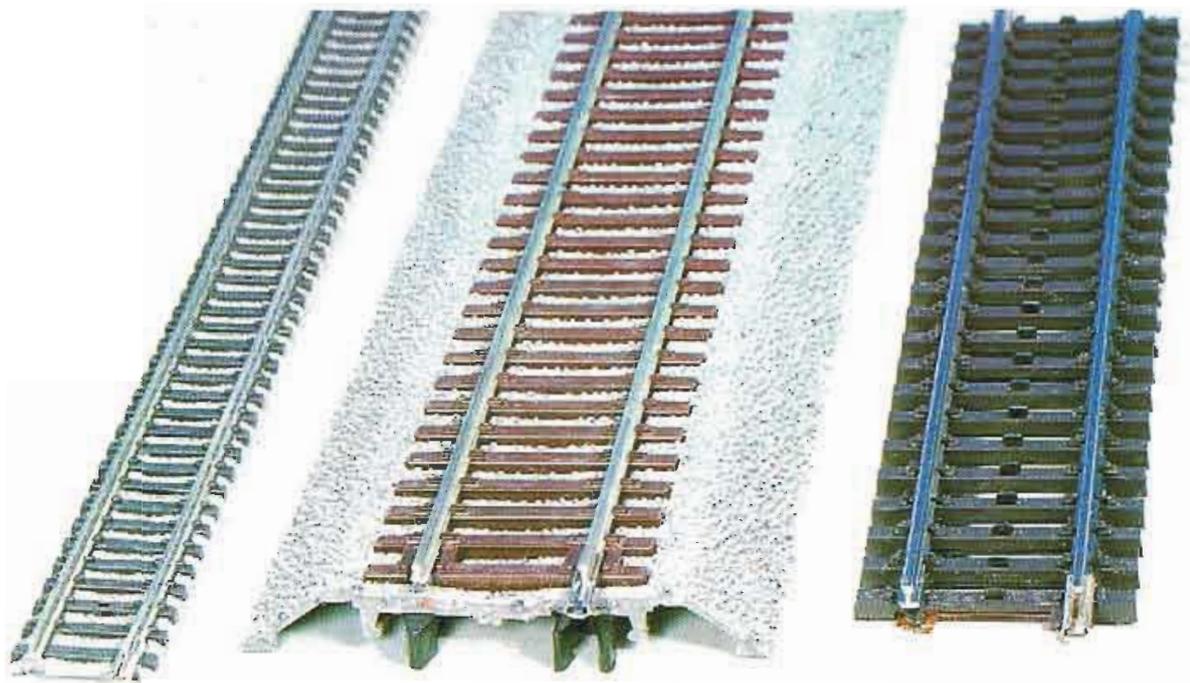


Figura 2.4 Las vías para los sistemas de corriente de tracción: 2S-2L (Arnold, Fleischmann, Liliput, Lima, Piko, Märklin (Z,I), Rivarossi, Roco, Minitrix...); 3S-3L (Trix); 3S-2L (Märklin H0)- se puede utilizar como 3S-3L.

de corriente. En la figura 2.3, (a)-(c) representan los sistemas básicos; (d)-(f) están ampliados con otro cable, la línea eléctrica aérea. Sin ésta, sólo es posible un funcionamiento independiente de dos vehículos en el sistema (c), representado por Trix-Express. Si dejamos aparte las posibilidades que nos brinda la electrónica, un funcionamiento de este estilo, es decir, en el que se puede controlar el sentido de la marcha y la velocidad de ambos vehículos de forma independiente, es impensable sin otro circuito eléctrico separado.

El sistema de dos raíles y dos cables (a) y el de tres raíles y dos cables (b) son los que más se han extendido. Mientras que la mayoría de fabricantes conocidos ofrecen el primero en los diferentes anchos de vía, el sistema (b) se reduce casi exclusivamente a los artículos de la empresa Märklin en la escala H0. A continuación encontrará una breve lista de las ventajas de ambos sistemas. Para el sistema de dos vías y dos conductores:

- Apariencia de vías y vehículos fiel al original, ya que el cable central y los cursores correspondientes no están,
- Sistema homologado internacionalmente con una amplia oferta de todo tipo de vehículos.

Por otra parte, el sistema (b) se caracteriza en condiciones similares por:

- Toma de corriente segura, incluso en condiciones adversas.
- Más fuerza de tracción por la amplia posibilidad de dotar a los vehículos motores de ruedas de mayor adherencia.
- Construcción sin problemas de las configuraciones de vías que se deseen como bucles de retorno y triángulos.

Aplicar estas propiedades ventajosas al sistema de dos raíles requiere un cierto trabajo. Más adelante se explicará lo que puede hacer el modelista de fe-

rocarriles, por ejemplo, en la polarización del corazón de aguja y en la construcción de bucles de retorno.

La figura 2.4 muestra las diferentes formas de las vías que representan los sistemas expuestos. Haciendo una reforma con un cable central se pueden convertir vías de dos raíles en vías de tres. Si además se empalman los exteriores, se obtiene una vía del sistema (b). Los juegos de ruedas de los vehículos en los que éstas no están aisladas entre sí también hacen este empalme. Este principio de construcción es el que hace que no se puedan utilizar vehículos motores de Märklin en otros sistemas sin una adaptación trabajosa. Por otro lado, la utilización del material rodante no suele acarrear ningún problema siempre y cuando se cambien los juegos de ruedas. En el apartado sobre motores se tratará de la adaptación de locomotoras de funcionamiento con corriente alterna a corriente continua y viceversa.

Algo en común: el cable de retorno

En los diagramas de conexión de los sistemas de corriente de tracción se puede ver que cuanto mayor es el número de cables, mayor es también el número

de los vehículos que se pueden controlar de forma independiente. Naturalmente, cada uno de estos vehículos ha de estar asociado a una fuente de tensión propia, que en conjunto constituyen un circuito eléctrico respectivamente. Uno de estos circuitos puede servir también para alimentar los dispositivos de iluminación de los vehículos independientemente de la tensión de tracción.

La conexión entre la unidad de alimentación y el consumidor tiene lugar mediante cables, llamados de alimentación y de retorno. La denominación de estos cables tiene su origen en el sencillo circuito de corriente continua (ver figura 2.5), en el que se puede determinar el sentido de la corriente de la polaridad de una fuente de tensión (por ejemplo, una batería) de forma sencilla, la corriente circula del polo positivo (+) al negativo (-) (ver apartado 3). También se habla de cable de alimentación y cable de retorno cuando la corriente cambia su sentido, y con ello deja de existir la relación entre el sentido de la corriente y la designación. Los términos también se utilizan en los circuitos de corriente alterna, así como también aquí se trabaja con las conocidas flechas de corriente y tensión del funcionamiento con corriente continua. Como ya se ha explicado, en este caso los va-

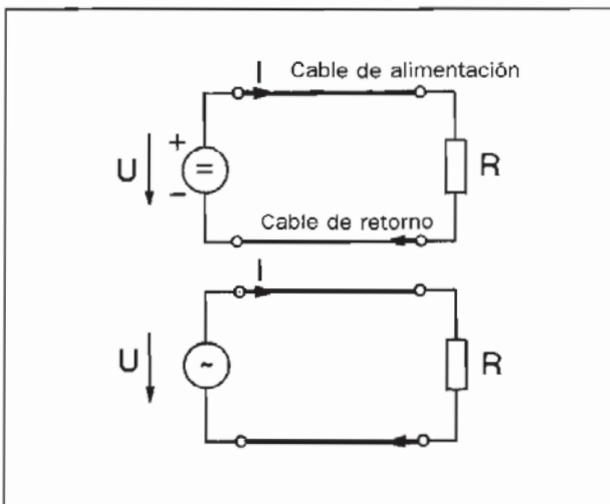


Figura 2.5 Concepto de cable de alimentación y de retorno.

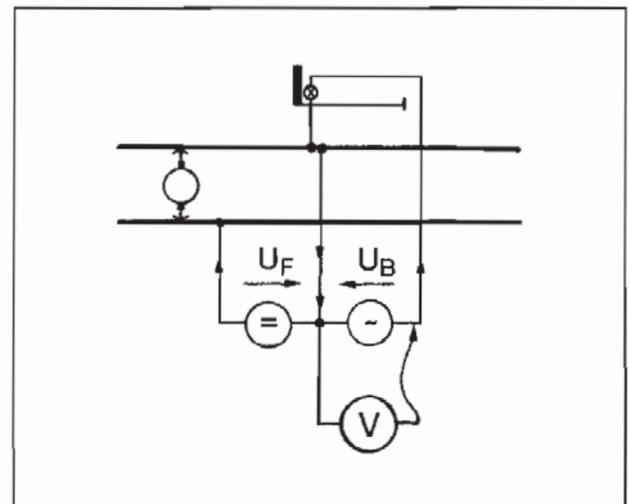


Figura 2.6 Conductor de retorno común para circuitos de iluminación y corriente de tracción.

lores eficaces de la magnitudes alternas son U e I .

Como se puede ver en el esquema de conexiones de la figura 2.3, en los sistemas con dos vehículos accionados de forma independiente sólo se habla de un sistema de tres cables, no de uno de cuatro, como en teoría debería ser el caso: dos cables de alimentación y dos cables de retorno. La razón se puede deducir rápidamente del esquema: los cables de retorno de ambos circuitos están unidos. Al cable generado de esta manera se le llama cable de retorno común, o también neutro común o cable de masa común. Éste no es sólo importante para los circuitos de corriente de tracción, sino también para los circuitos de conmutación y de iluminación, como veremos más adelante.

El principio del cable de retorno común no es exclusivo del modelismo ferroviario. En el modelo real, la línea aérea del ferrocarril eléctrico es el cable de alimentación, el retorno de la corriente a la fuente de tensión se produce a través de los raíles y la tierra. Aunque este cable también sirve para la red de alimentación general y la red de telecomunicación. También es posible utilizar un cable de re-

torno para diferentes circuitos. Así, en la maqueta con los sistemas de corriente de tracción según la figura 2.3 (c)-(f), se podrían utilizar también libremente vehículos de tensión alterna y tensión continua, siempre y cuando no quede cortocircuitada una fuente de tensión debido a juegos de ruedas no aisladas.

El cable de retorno común es parte de todas las fuentes de tensión conectadas, por lo que es normal relacionar todas las tensiones con este cable, es decir, en una medición de tensión, conectando siempre una pinza del aparato de medición con el cable de retorno común. Para este fin se elige la pinza negativa, que también recibe la designación COM (mon) «común». Por lo tanto, el cable de retorno común hace también la función de cable de referencia. El término cable del neutro se basa en el hecho de que se le asocia como cable de referencia una tensión de 0 V. También es habitual el término masa (eléctrica) para el cable de retorno común. Se utiliza, sobre todo, en la electrónica, ya que en los aparatos electrónicos se acostumbra a empalmar el conductor de retorno común y la masa (carcasa).

El cable de retorno común forma parte de varios circuitos eléctricos, y se le

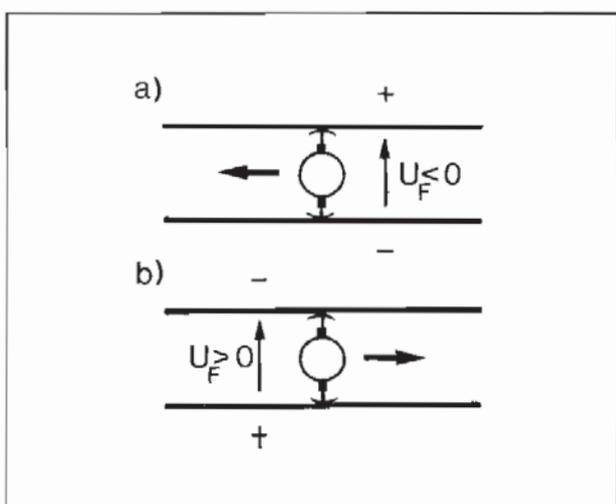


Figura 2.7 Relación entre el sentido de la marcha y la polaridad de la tensión de tracción.

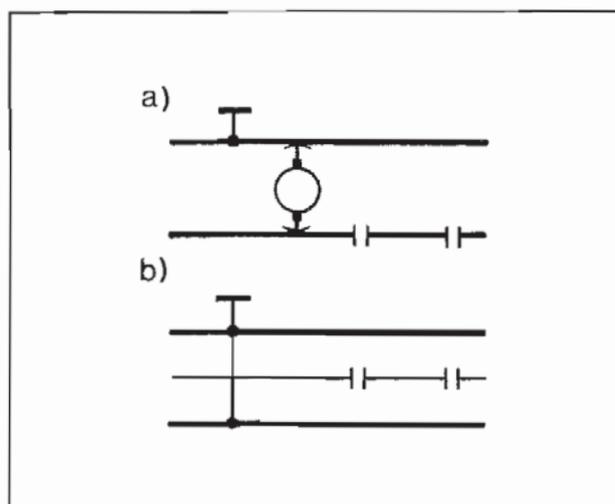


Figura 2.8 Colocación del cable de retorno común y situación de la zona de separación en el sistema normalizado de dos raíles y dos cables (a) y en el de tres raíles y dos cables (b).

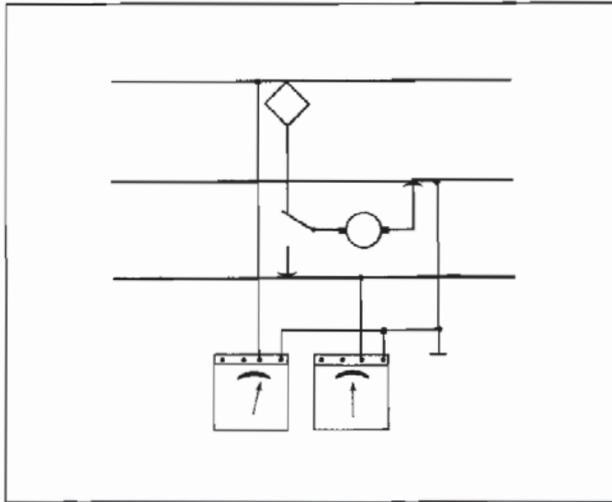


Figura 2.9 El conmutador incorporado en la locomotora permite la alimentación desde el raíl o desde el cable.

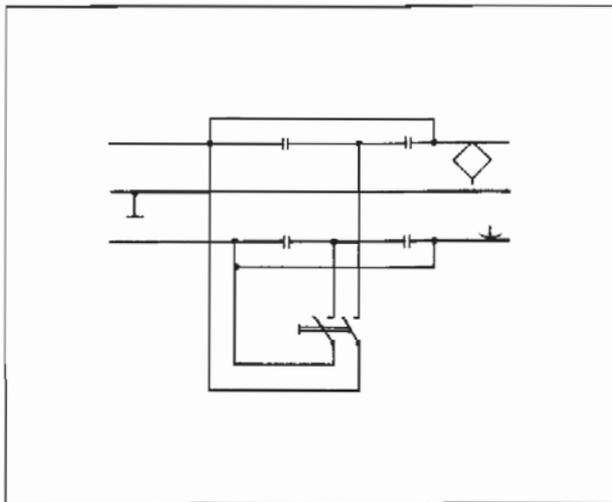


Figura 2.10 La interrupción de un polo de ambos circuitos requiere un conmutador de dos polos.

carga con la suma de todas las corrientes. Su sección de cobre debe ser, por tanto, sensiblemente superior (de 1 mm^2 hasta 2 mm^2) a la de los otros cables, que tienen una sección de sólo $0,14 \text{ mm}^2$. Los cables de conexión con una sección superior se pueden encontrar en las tiendas de electricidad y se utilizan para la instalación de las casas.

Llegados a este punto hay que advertir claramente que el cable de retorno común de una maqueta de ferrocarriles (= masa) en ningún caso puede ser empalmado con el cable de retorno común

de la red de alimentación (= tierra). Haciendo esto se obviaría una medida de protección muy importante que debe evitar que en partes de la maqueta haya altas tensiones que pueden poner en peligro la propia vida.

Como ya se ha explicado, se puede utilizar un raíl como cable de retorno común; pero éste no puede quedar interrumpido, por ejemplo, para lograr segmentos sin corriente delante de las señales o al desconectar una vía de aparcamiento. Por esta razón, siempre habría que tener muy claro cuál de los dos raíles hace las funciones de cable de retorno. En los equipos grandes con trazados de vía complicados esto no es siempre fácil. En el sistema de tres raíles y dos cables (Märklin) no se tiene esta dificultad, en él los dos raíles hacen la función de cable de retorno común. Las zonas de separación son siempre interrupciones del cable central o de la línea aérea o catenaria.

En el sistema de dos raíles y dos cables con alimentación de corriente continua, la ordenación del sentido de la marcha y la polaridad están normalizados: mirando en el sentido de la marcha, la tensión del raíl derecho es siempre positiva.

También es válida, de forma general, la colocación de los raíles que han de hacer las funciones de conductores de retorno comunes. Para dejar clara la designación del conductor de retorno, éste ha de llevar el siguiente signo en los esquemas de conexiones \perp , que en la electrónica general representa el cable de referencia.

Para finalizar, volvamos a señalar la importancia de una ordenación clara de un raíl como cable de retorno común o zona de separación. Esta ordenación se debería tener presente ya en el estadio inicial de las obras de construcción del equipo. Incluso aunque un raíl en general no deba utilizarse como conductor de retorno para circuitos de conmutación o iluminación, un funcionamiento posterior con línea aérea, la utilización de puntos de contacto, y las sencillas señales de vía ocupada, requieren una relación ordenada.

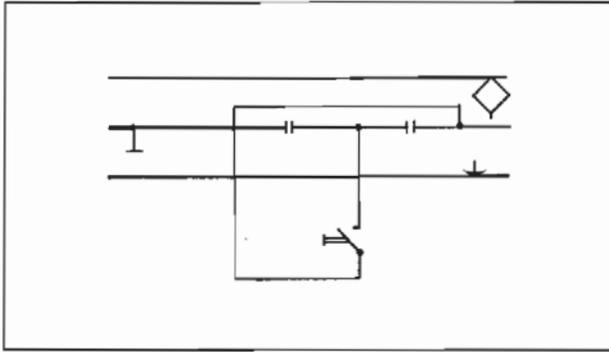


Figura 2.11 Sólo eficaz hasta cierto punto: la interrupción del cable de retorno común.

Funcionamiento con línea aérea

En el modelismo ferroviario se utiliza el término funcionamiento con línea aérea, también denominada catenaria, cuando se utiliza una locomotora eléctrica que se alimenta mediante una toma de corriente de un cable (línea aérea o catenaria). Los modelos están dotados de un conmutador, de tal manera que se pueden alimentar a voluntad también desde ambos raíles.

Con la alimentación de un vehículo desde el cable y otro desde el raíl, nos encontramos con dos circuitos separados que permiten un manejo independiente de los dos trenes.

Los paneles de control necesarios están unidos de forma unipolar, el cable de empalme forma el cable de retorno común. La locomotora eléctrica que toma la corriente del cable debe ser colocada en una determinada dirección sobre la vía en el sistema de dos raíles y tres cables.

Por esta razón, es difícil llevar a cabo el funcionamiento con bucle de retorno, porque en él la locomotora se gira. Ya la construcción de vías desconectables requiere un notable esfuerzo. Una desconexión que funcione con todas las garantías sólo puede conseguirse si to-

dos los conmutadores —si se renuncia a la línea aérea sólo los de un único polo— se sustituyen por otros bipolares.

En principio, se puede interrumpir solamente el cable de retorno común, como hasta ahora, con un interruptor de un único polo. Pero hay que asegurarse de que en la zona separada no haya dos vehículos a la vez, de los cuales uno se alimenta de la línea aérea y el otro del raíl. En este caso, en el circuito en serie de los motores de tracción quedaría la diferencia de las tensiones, que en el peor de los casos serían 28 V con una tensión de tracción nominal de 14 V respectivamente; la zona de separación no tendría ningún efecto.

Además, hay que comprobar la repercusión de una interrupción del cable de retorno sobre los demás componentes del equipo. Para las señales de vía ocupada según la figura 11.7, por ejemplo, se debería superar con un puente —una resistencia de aproximadamente 500 Ω — la interrupción del cable de retorno. Por ello, la interrupción de los dos circuitos es ventajosa, especialmente para las vías de aparcamiento.

Resumen:

Se han presentado los distintos sistemas de corriente de tracción, de los cuales especialmente dos están muy extendidos. Se manejan con tensión continua o alterna. Se explica el principio y la utilidad del conductor de retorno común. En sistemas normatizados de dos raíles y dos cables, el sentido de la marcha y la polaridad de la tensión de tracción están interrelacionados. La selección de la zona de separación no debería hacerse sin una reflexión previa, ya que, de este modo, evitaremos problemas a la hora de ampliar el equipo.

3

Bobinas y condensadores

Las bobinas y los condensadores son elementos que se utilizan principalmente en el ámbito de la corriente alterna; con tensión continua y corriente invariable no funcionarían debidamente, ya que el condensador produciría una interrupción de la corriente y la bobina causaría un cortocircuito. Si, por el contrario, la corriente y la tensión varían con el tiempo, la resistencia interior de ambos alcanza los valores necesarios para que desempeñen su función.

La naturaleza de la corriente y de la tensión

Para aproximarnos a las propiedades físicas de la corriente y de la tensión, volvamos a fijarnos en un circuito eléctrico sencillo que consta de una fuente de tensión continua, una bombilla y un hilo de cobre como conexión entre ambos. En este circuito la tensión U genera una corriente I , que parte del borne de la fuente señalado con +, circula a través del elemento consumidor y vuelve a la fuente por el borne señalado con -. Esta corriente es la descripción del movimiento de portadores de carga eléctrica, los electrones. Estas partículas son componentes de los átomos y, por lo tanto, elementos básicos de la materia.

Los elementos químicos se distinguen por la estructura de sus átomos y, por consiguiente, por el número de electrones. Sin embargo, la capacidad de un elemento para conducir la corriente eléctrica no depende simplemente del número de electrones del átomo, sino de la fuerza de enlace entre los electrones y el núcleo. El grado de movilidad de los

electrones es una característica específica de cada sustancia. Si es alto, las sustancias se denominan conductores; si, por el contrario, es bajo, se les clasifica como aislantes o aisladores. A medio camino entre ambos se encuentran los llamados semiconductores, que son elementos básicos de las piezas electrónicas.

Así pues, en condiciones similares, cada elemento químico presenta una conductividad determinada de la corriente eléctrica; cuanto mayor es la conductividad de la sustancia, menor será su resistencia específica, de la que ya hemos hablado (ver capítulo 1).

Los electrones tienen una carga eléctrica negativa que es atraída por las cargas de signo contrario, o sea, positivas. En un circuito eléctrico los electrones fluyen hacia el polo positivo (+) bajo la influencia de una fuente de tensión.

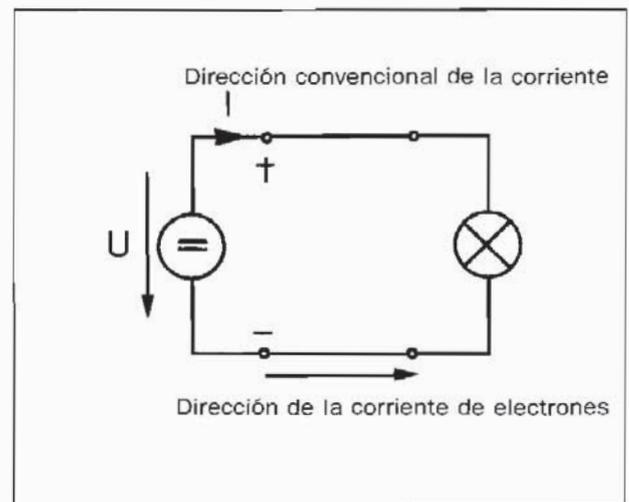


Figura 3.1 Definición del sentido de circulación de la corriente.

La dirección de este movimiento se denomina dirección física de la corriente —o dirección de la corriente de electrones—. No obstante, la dirección de la corriente ya se fijó en el siglo pasado; ignorando los mecanismos de la conducción eléctrica, se estipuló que la corriente fluye del polo positivo al negativo. En este caso, hablamos de la dirección convencional de la corriente.

Elementos electromagnéticos: las bobinas

En este apartado presentaremos los elementos electromagnéticos, de los que se encuentran varios en todas las instalaciones de modelismo ferroviario. Aparte de los motores y transformadores, a los que se dedican capítulos propios, interesan sobre todo las bobinas que, por ejemplo, accionan las señales, desacoplan vagones y realizan los cambios de vía. Presentan una estructura más sencilla que los motores, pero sólo son capaces de realizar un limitado movimiento rectilíneo.

La palabra electromagnetismo ya indica que las propiedades magnéticas son producidas por la corriente eléctrica. Existen también otras formas de magnetismo como, por ejemplo, el campo magnético de nuestro planeta. Por lo demás, todo el mundo conoce los llamados imanes permanentes, que también nos pueden ser útiles en nuestro taller de bricolaje, por ejemplo, para recoger tornillos que se han caído al suelo. Entonces, se pueden observar cosas interesantes, y es que el imán no tiene el mismo efecto con todos los tornillos: por ejemplo, no atrae los de latón; en cambio, los que contienen hierro incluso son atraídos sin que haya contacto directo.

Los imanes de barra presentan la mayor fuerza de atracción en sus extre-

mos, mientras que en el centro apenas tienen efecto.

Una explicación exacta de las bases físicas del magnetismo, que residen en la estructura atómica de la materia, sería ir demasiado lejos. La figura 3.2 puede servir como ilustración, a modo de ejemplo, del campo magnético.

La densidad de las líneas del campo magnético depende de la fuerza del campo: cuanto más fuerte es éste, más densas son las líneas. Éstas tienen una dirección fija: salen del extremo llamado polo norte y entran en el extremo denominado polo sur. Están cerradas, es decir, al igual que un círculo, no tienen principio ni fin. Los términos polo norte y polo sur tienen que ver con el campo magnético de la Tierra: si el imán se puede mover libremente, el extremo llamado polo norte apunta, en efecto, al polo norte. Por lo tanto, no sólo hay una interacción —en forma de una fuerza— entre un imán y las sustancias ferromagnéticas sino también entre un imán y cualquier otro campo magnético.

Como ya hemos dicho antes, también se pueden crear campos magnéticos con la ayuda de corrientes eléctricas.

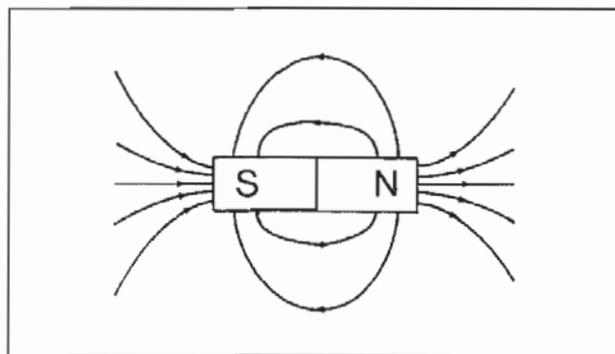


Figura 3.2 Esquema simplificado de las líneas del campo magnético de un imán de barra.

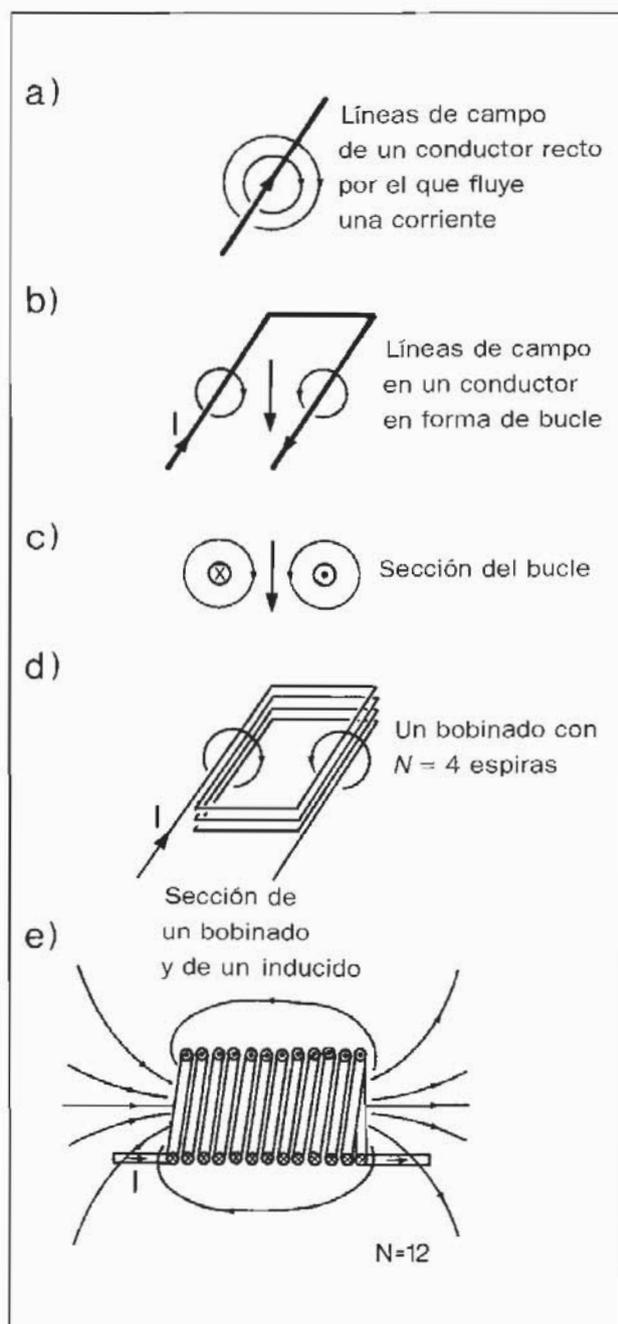


Figura 3.3 Gráficos de las líneas de campo. Campo de fuerzas de un hilo conductor percibido para una corriente eléctrica.

cas. Entonces, hay una relación fija entre el sentido de la corriente y el de las líneas de campo. El campo de un simple conductor recto por el que fluye una corriente I (figura 3.3 a) no forma los polos norte y sur como un imán de barra; sólo cuando el conductor tiene forma de bucle (figura 3.3; b, c), se puede registrar una formación de polos. Si el conductor presenta varias espiras o bucles (figura 3.3; d, e), tenemos lo que se denomina una bobina; las líneas del campo magnético de ésta corresponden casi exactamente a las del imán. El número de espiras se denomina N . La fuerza de un campo magnético generado por una corriente eléctrica depende del valor de la corriente I y del número de espiras N . En este sentido, duplicar el valor de corriente tiene, de forma aproximada, el mismo efecto que duplicar el número de espiras.

El trayecto de las líneas de campo depende esencialmente de las propiedades magnéticas del material que atraviesan; las sustancias ferromagnéticas presentan una conductividad de estas líneas mil veces mayor que el aire. Si una bobina tiene un núcleo de hierro (ver figura 3.4), las líneas de campo transcurren —casi— por completo por este material. El conjunto de las líneas que fluyen por el circuito magnético formado por el núcleo de hierro recibe la denominación de flujo magnético Φ (*phi*, letra griega).

Se podrían establecer paralelismos con el circuito eléctrico: el flujo magnético correspondería a la corriente eléctrica I generada por una tensión U ; el parámetro correspondiente a ésta sería el resultado de la multiplicación del valor de corriente por el número de espiras. En el

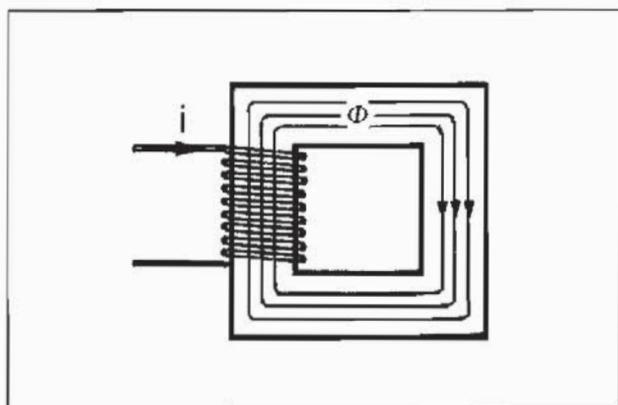


Figura 3.4 Bobina con núcleo de hierro

circuito eléctrico la corriente crea una tensión en una resistencia. Tendríamos que preguntarnos si existe un fenómeno parecido en el circuito magnético, o sea, si se puede generar una corriente eléctrica mediante el flujo magnético Φ .

Inducción y autoinducción

Si ampliamos el circuito magnético colocando una segunda bobina en el núcleo de hierro, obtendremos el elemento que representa la figura 3.5. Dado que los extremos de la bobina 2 no están conectados entre sí, no puede fluir corriente eléctrica, independientemente de la existencia de un campo magnético. La condición previa de dicha corriente sería la existencia de una tensión eléctrica entre los dos extremos de la bobina. Planteémonos, pues, la cuestión de si el campo magnético que se extiende por el núcleo es capaz de generar esta tensión.

La ley de inducción nos da la respuesta. Adaptada a este contexto, estipula lo siguiente: si una bobina se encuentra alrededor de un campo magnético que varía con el tiempo, se induce en ella una tensión; ésta es mayor cuanto más rápidamente varíe el campo magnético y cuantas más espiras tenga la bobina.

Para profundizar más en el proceso de inducción, cabe añadir otra ley física, la de Lenz: la corriente generada por una tensión inducida siempre fluye de tal manera que su campo magnético actúa en contra del cambio de flujo que lo genera.

En la bobina 2 se induce, pues, una tensión si el campo magnético en el núcleo de hierro varía, es decir, aumenta o disminuye. Si la corriente i_1 es continua, el flujo magnético Φ también es continuo y, por consiguiente, no varía con el tiempo. En este caso, según la ley de inducción no se induce ninguna tensión en la bobina 2.

La ley de inducción y la de Lenz también se pueden expresar mediante una ecuación:

$$u_i = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Para ilustrar el quebrado $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,

recurramos en lo que sigue a un ejemplo que todo aficionado a los trenes conoce:

Durante un viaje en tren nos preguntamos a veces cuál es la velocidad v del tren. Como no disponemos de un tacómetro, tenemos que calcularla basándonos en el trayecto recorrido en un espacio de tiempo determinado. Para tal fin, en el momento $t_1 = 0$ determinaremos un lugar con la ayuda de un mojón kilométrico, por ejemplo, $s_1 = 60,8$ km el momento $t_2 = 60$ s, o sea, al cabo de un minuto, leeremos la inscripción de otro mojón, por ejemplo, $s_2 = 62,8$ km.

Entonces ya podremos calcular la velocidad del tren:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{62,8 - 60,8 \text{ km}}{60 \text{ s}}$$

$$= \frac{2 \text{ km}}{1 \text{ min}} = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Averiguaremos la velocidad mediante el trayecto recorrido Δs durante el espacio de tiempo Δt . Cuando el tren está parado ($v = 0$), Δs es igual a cero; cuanto más alta sea la velocidad, mayor será el trayecto recorrido Δs en un tiempo determinado Δt .

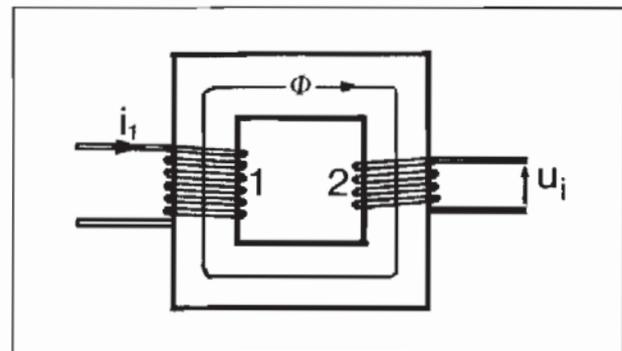


Figura 3.5 Sobre la ley de inducción.

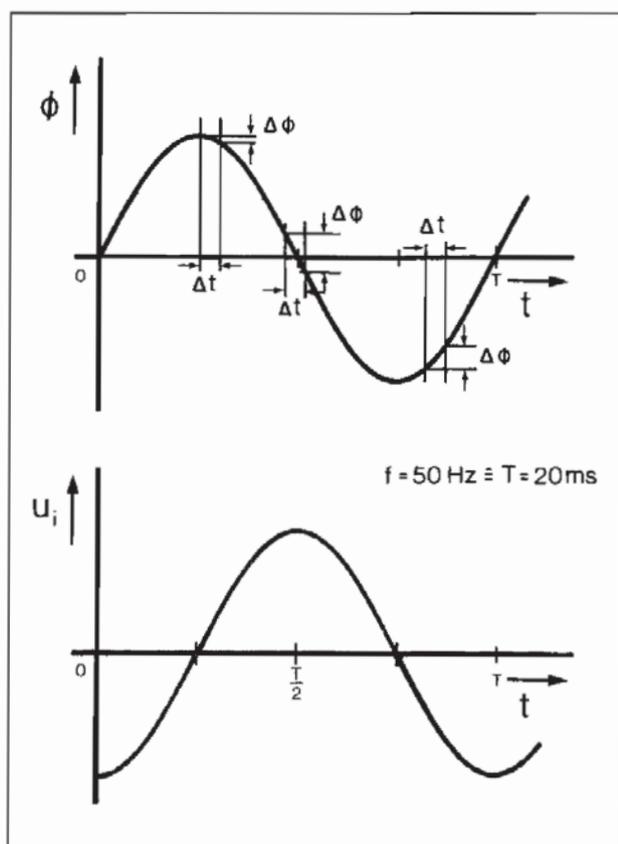


Figura 3.6 Desarrollo temporal del flujo magnético Φ y de la tensión inducida u_i .

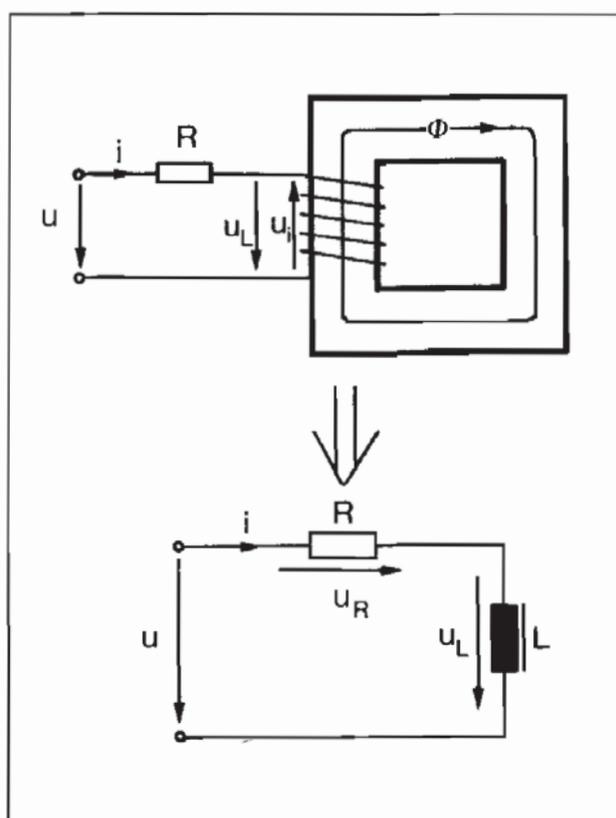


Figura 3.7 Esquema equivalente de una bobina.

La misma operación se puede aplicar al proceso de inducción en la bobina. Si la bobina 1 se alimenta con una corriente alterna senoidal, el flujo magnético Φ también es senoidal. Calculando, como en el ejemplo de arriba, el cambio de flujo $\Delta\Phi$ durante el tiempo Δt en cada momento de un periodo T , se obtiene la tensión inducida u_i en la bobina 2 con la ecuación:

$$u_i = -N_2 \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

En los momentos en que el flujo está al máximo, la variación $\Delta\Phi$ y, con ello, la tensión inducida u_i es igual a cero. Cuando, en cambio, el flujo es igual a cero, su velocidad de variación está al máximo y, por consiguiente, también la tensión inducida. Si bien el flujo y la tensión inducida presentan la misma frecuencia (duración de los periodos), están temporalmente desplazados entre sí, por lo que se habla de un desfase.

La ley de inducción y la de Lenz valen, por supuesto, para todas las bobinas; en la bobina 1, considerada como generadora del flujo magnético Φ , ocurre lo mismo que en la bobina 2, es decir, la bobina 1 reacciona de igual forma que la 2 al campo creado por ella misma. Por ello, este proceso se denomina autoinducción. La tensión inducida u_i actúa, según la ley de Lenz, en contra de su causante.

Las flechas de la corriente y de la tensión inducida están dispuestas de la forma habitual en las fuentes de tensión. Sin embargo, como la bobina es un elemento pasivo —como una resistencia óhmica—, resulta más apropiado trabajar con una pérdida de tensión correspondiente a la resistencia óhmica, o sea, expresar la ecuación así:

$$u_L = -u_i = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Es igualmente oportuno utilizar un parámetro que corresponda a la resistencia óhmica, a saber, que describa la relación entre tensión y corriente en una bobina.

El flujo magnético es directamente proporcional a la corriente i de la bobina; teniendo en cuenta la ley de inducción, el factor de proporcionalidad L también ha de incluir el número de espiras:

$$u_L = N = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = L \frac{\Delta i}{\Delta t}.$$

Si la corriente i es senoidal, también se puede calcular la variación de la corriente con el tiempo ($\Delta i/\Delta t$). Consultando de nuevo la figura 3.6, veremos que el valor de $\Delta\Phi/\Delta t$ o $\Delta i/\Delta t$ depende, por un lado, del valor máximo y, por otro, de la duración T del período, o sea, de la frecuencia de la oscilación. Por ello, aplicando valores eficaces se puede calcular la pérdida de tensión U_L en una bobina por la que fluye la corriente I con la frecuencia f de la siguiente forma:

$$u_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \cdot I.$$

El factor de proporcionalidad L se llama (auto)inductancia de la bobina; su unidad es el henrio:

$$1 \text{ H} = 1 \text{ V s/A}.$$

La inductancia depende, entre otros, del número de espiras N de la bobina ($L \sim N^2$) y del material en el que se halla el campo magnético. Para conseguir una inductancia alta, las líneas de campo tienen que transcurrir por completo por material ferromagnético (núcleo de hierro).

Calcular las inductancias con exactitud resulta difícil cuando no imposible. Sólo en casos excepcionales se encuentran bobinas prefabricadas en el mercado. Por eso, muchas veces tendremos que fabricarlas nosotros mismos. Los componentes necesarios, como el núcleo, el carrete e hilo tratado con laca aislante, se encuentran en las tiendas de material electrónico; las medidas adecuadas se pueden calcular con la ayuda de fórmulas de aproximación, tablas y nomogramas que se encuentran en manuales de electrónica.

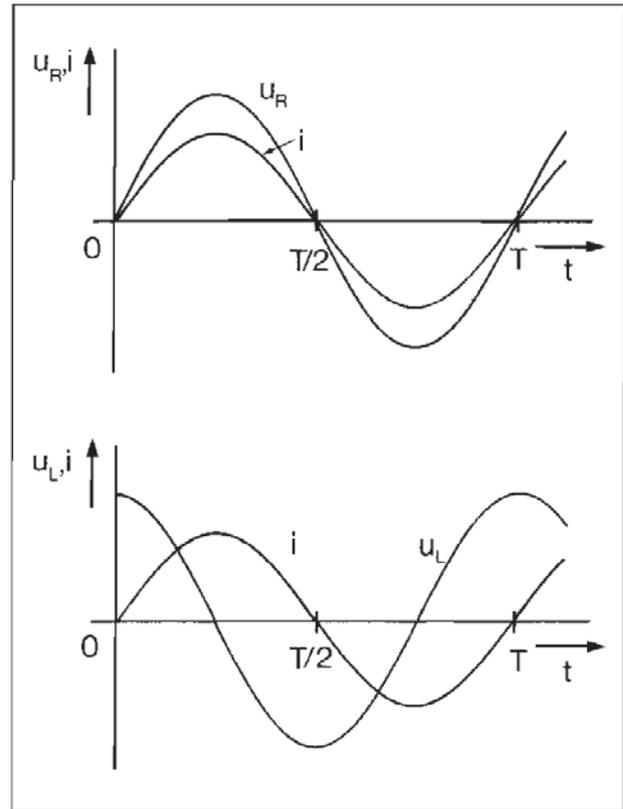


Figura 3.8 Los trayectos temporales de corriente y tensión en una resistencia R (arriba) y en una inductancia L (abajo).

Según la ley de Ohm, $U = R \cdot I$. Esta fórmula se puede aplicar a una bobina de reactancia inductiva X_L :

$$U_L = X_L \cdot I; X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L.$$

A diferencia de la corriente y la tensión en la resistencia óhmica R , en una reactancia X_L estos dos parámetros presentan un desfase de un cuarto de período ($T/4$). Por ello, la resistencia total Z de una resistencia y una inductancia conectadas en serie no es una simple suma, sino que se debe calcular así:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Así pues, las bobinas presentan una resistencia óhmica muy baja cuando se les aplica corriente continua —que podríamos considerar como corriente alterna de la frecuencia $f = 0 \text{ Hz}$ —. Aplicando corriente alterna, la resistencia inductiva aumenta con la frecuencia;

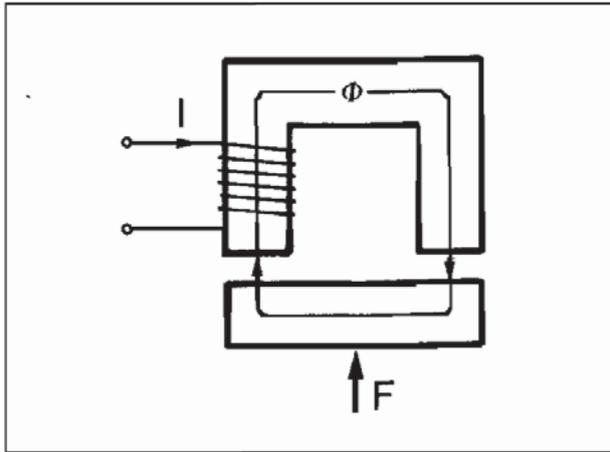


Figura 3.9 Electroimán.

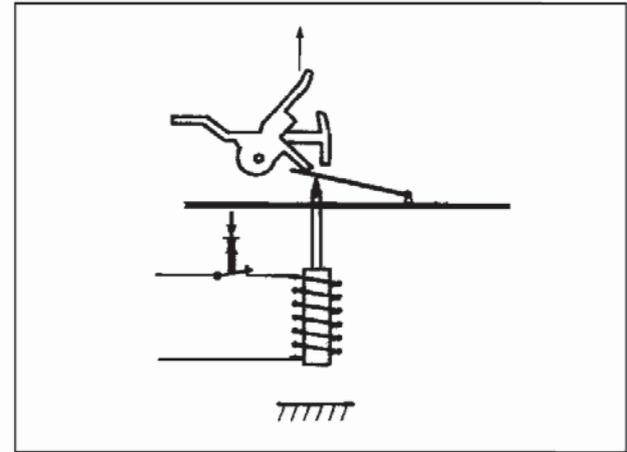


Figura 3.10 Desenganche de vagones mediante accionamiento electromagnético.

normalmente es mucho mayor que la resistencia óhmica.

Las inductancias también se denominan reactancias. Sus propiedades se utilizan para separar las corrientes continuas de las alternas, por ejemplo, en la iluminación de trenes —que es independiente de la tensión de tracción— con corrientes de alta frecuencia (ver también el apartado siguiente), para funciones antiparasitarias en motores y para el control simultáneo de varios trenes mediante una frecuencia portadora. La función principal de la bobina consiste, sin embargo, en la creación de campos magnéticos con los que se generan fuerzas y, con ello, movimientos; éste es el caso de los motores y del accionamiento electromagnético con bobinas. En los motores se utilizan las fuerzas que se crean entre el campo magnético y el conductor eléctrico, en el accionamiento electromagnético con bobinas se emplea la atracción magnética sobre piezas ferromagnéticas.

La corriente genera fuerza

Al principio de este capítulo ya hemos hablado de la fuerza que ejerce el campo magnético de un imán permanente sobre sustancias ferromagnéticas (hie-

rró). Lo mismo ocurre con un campo electromagnético. La figura 3.9 representa, de forma algo modificada, la ya conocida combinación de una bobina y un núcleo de hierro. En este caso, el núcleo consta de dos partes: una en forma de U, la otra en forma de barra; esta última es móvil y se denomina armadura.

Si una corriente I fluye por la bobina y crea, así, un campo magnético, una fuerza F actuará sobre la armadura. La citada fuerza siempre tiene un efecto atrayente, independientemente de la dirección del flujo eléctrico y también de si se trata de corriente alterna o continua. La explicación de este fenómeno es que la dirección de la fuerza que actúa sobre cuerpos ferromagnéticos en un campo magnético siempre es la que permite que la energía contenida en el campo se mantenga en el menor espacio posible; aplicado a los gráficos de las líneas de campo, este hecho significa que la fuerza magnética siempre tiende a acortar las líneas de campo.

Un ejemplo ilustrativo para la aplicación de las fuerzas generadas por un electroimán son las grúas que se utilizan en los desguaces; la grúa giratoria de la casa Märklin funciona según el mismo principio. En el caso del modelismo ferroviario, el accionamiento

electromagnético por bobina es de principal importancia para los cambios de vía, las señales y las vías de desenganche. La figura 3.10 representa el uso de este tipo de accionamiento en una vía de desenganche; basta con una bobina, ya que después de desconectarla la vía vuelve a su posición anterior sencillamente por la fuerza de la gravedad. Para los cambios de vía y para las señales se precisan dos bobinas; trataremos este caso en un capítulo aparte.

El accionamiento electromagnético con bobina no suele estar concebido para estar de forma permanente bajo tensión. Para que se produzca el accionamiento, basta con un breve impulso de corriente. Las piezas aptas para tolerar el paso de la corriente durante mucho tiempo tendrían dimensiones demasiado grandes para encajar en la maqueta. Sólo se pueden utilizar montándolas debajo de la instalación o en los modelos de vía muy ancha. En los demás casos hay que disponer que la corriente se interrumpa después del impulso, por ejemplo, mediante el uso de pulsadores o de forma automática con la ayuda de contactos auxiliares (apagado final).

Sin embargo, si la bobina se acciona desde un tren a través de un carril de conmutación, no se puede descartar la posibilidad de que la bobina reciba corriente durante un largo periodo de tiempo a causa de un tren estacionado en el carril de conmutación. En este caso, hay que utilizar un circuito adicional que suministre la cantidad de corriente necesaria en el momento del accionamiento, pero a la vez poca corriente permanente para evitar que la bobina, cuya resistencia R_{SP} se caliente en exceso.

$$P_V = R_{SP} \cdot I^2$$

Este tipo de circuitos se realizan con los elementos que trataremos a continuación: los condensadores.

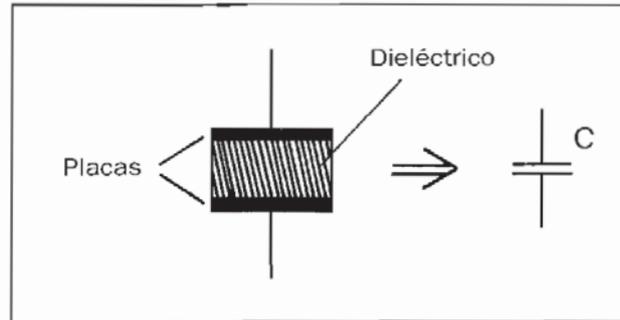


Figura 3.11 El condensador: esquema de la estructura y símbolo.

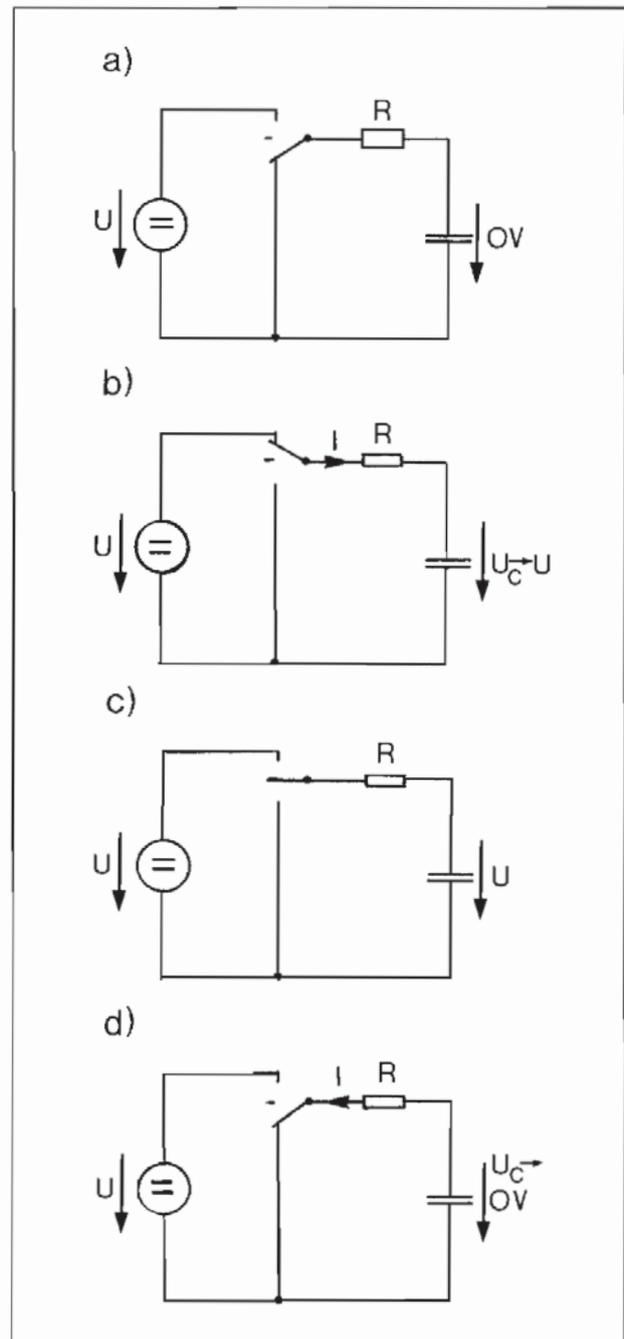


Figura 3.12 Condensador conectado a una fuente de tensión continua: carga (b) y descarga (d).

Los condensadores

Los condensadores presentan una estructura muy sencilla: constan de dos placas metálicas separadas por un aislante eléctrico. Éste puede ser simplemente aire, pero generalmente se trata de un material que aumenta el efecto del condensador: el dieléctrico.

Si conectamos un condensador a una fuente de tensión continua y medimos la corriente I al cabo de unos instantes, veremos que no se produce ningún flujo de corriente; esto es lógico dado que la resistencia del aislante entre las placas es infinitamente alta. No obstante, como el condensador está conectado a una fuente de tensión ($U_c = U$), está cargado.

Incluso después de la desconexión, se puede medir la tensión U en el condensador C .

Conociendo el comportamiento del flujo de corriente, podemos explicarnos este fenómeno. En el circuito de la figura 3.12, un electrodo (polo) —así se suele llamar la placa de un condensador— está conectado de forma fija con el polo negativo de la fuente de tensión continua. Conectando el otro electrodo al polo positivo de la fuente, se crea un

circuito en el que el polo positivo absorbe electrones del electrodo superior del condensador, al mismo tiempo que el polo negativo envía electrones al electrodo inferior. Por consiguiente, en el electrodo inferior sobran electrones mientras que en el superior hay un déficit. El movimiento de electrones sigue hasta que en el condensador haya la misma tensión que entre los polos de la fuente de corriente.

El tiempo que tarda el condensador en cargarse depende de las propiedades de los diferentes elementos del circuito. Si la resistencia óhmica del circuito fuese cero —cosa prácticamente imposible—, el condensador se cargaría instantáneamente con un valor de corriente inmenso. Sin embargo, en la práctica siempre existen resistencias, por ejemplo las de los conductores, que limitan la corriente y retrasan el proceso de carga. En el momento de la conexión, el condensador aparenta tener la resistencia cero mientras que al final del proceso de carga la resistencia parece ser infinitamente alta dado que ya no circula ninguna corriente.

La duración del proceso de carga también depende de la capacidad del condensador. Como valor de referencia se utiliza la constante de tiempo τ (tau, letra griega).

$$\tau = R \cdot C$$

Así, cuanto mayores son la resistencia óhmica R y la capacidad C de un condensador, más tarda en cargarse con una tensión determinada. Todo lo que se ha dicho respecto al proceso de carga también vale, de forma análoga, para la descarga.

La capacidad se indica en faradios (F),

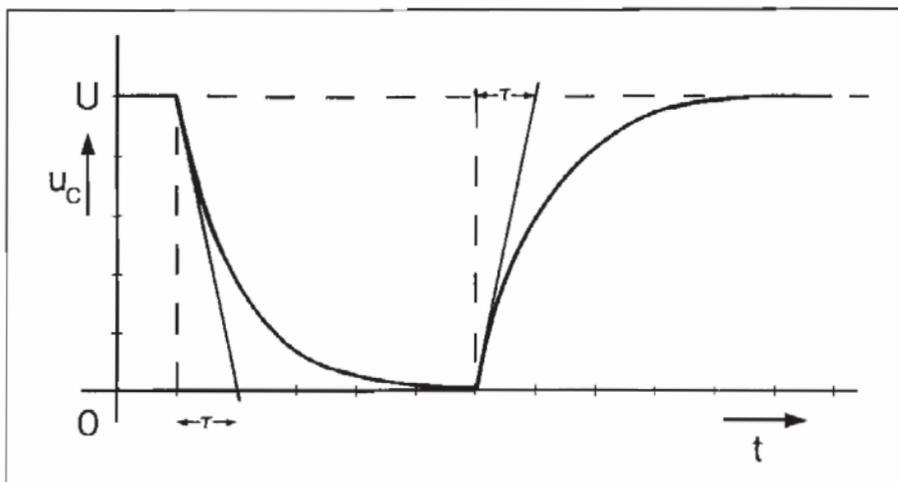


Figura 3.13 Curva de tensión en un condensador durante la carga y descarga.

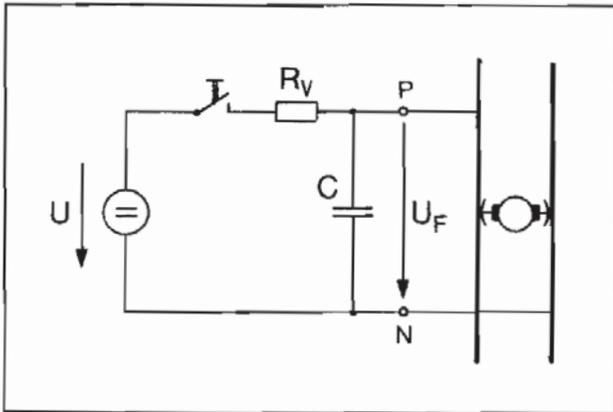


Figura 3.14 Imposible de realizar en la práctica: un circuito para generar, de forma modélica, la tensión de tracción durante la fase de arranque.

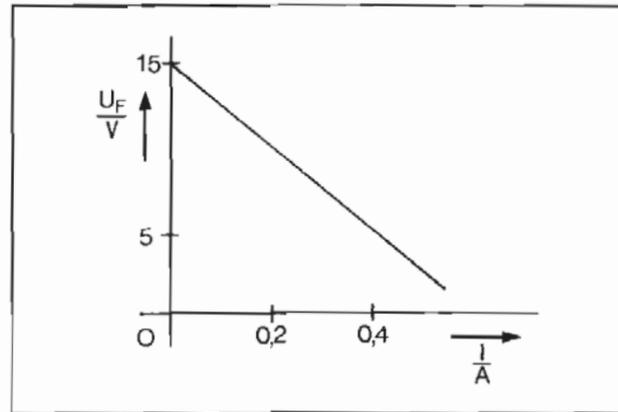


Figura 3.15 Recta característica de una fuente de tensión con resistencia interna demasiado elevada.

cuya relación con las magnitudes ya conocidas es la siguiente:

$$1 \text{ F} = 1 \cdot \frac{\text{As}}{\text{V}}$$

No obstante, un condensador de 1 faradio es prácticamente irrealizable. En el modelismo ferroviario se utilizan condensadores con capacidades en torno a

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

(ver tabla en el apéndice).

Si estudiamos el trayecto temporal de la tensión en bornes del condensador U_C , podríamos sentirnos tentados a utilizarla como tensión de tracción; resulta que la curva coincide casi totalmente con la de la velocidad de un tren durante la fase de arranque. Por desgracia, dada la capacidad insuficiente del condensador, este plan está condenado al fracaso. A causa de la pérdida de tensión en la resistencia limitadora R_V , ésta no puede ser de más de 25Ω , aproximadamente. Con una constante de tiempo τ de 5 s —es decir, al cabo de este tiempo se habría alcanzado el 63 % de la velocidad máxima deseada—, la capacidad C tendría que ascender a

$$C = \frac{\tau}{R} = \frac{5 \text{ s}}{25 \Omega} = \frac{5 \text{ sA}}{25 \text{ V}} = 0,2 \text{ F} = 200.000 \mu\text{F},$$

un valor que no se puede realizar en la práctica. Es la electrónica la que nos da una solución al problema consiguiendo la constante temporal necesaria con una resistencia muy alta:

$$C = \frac{5 \text{ s}}{1 \text{ M}\Omega} = 5 \cdot 10^{-6} = 5 \mu\text{F}.$$

Si consideramos el circuito de la figura 3.14 como fuente de tensión respecto a los bornes P y N, podemos decir que la resistencia R_V es una resistencia interna de la fuente de tensión. Todas las fuentes de tensión tienen este tipo de resistencia interna, pero suele ser tan ínfima que se puede obviar en comparación con las demás resistencias. Los acumuladores (baterías) presentan una resistencia interna especialmente baja, mientras que en los transformadores del modelismo ferroviario se registra un sensible descenso de la tensión en los bornes cuando aumenta la carga. La recta característica de la fuente de tensión de la figura 3.14 con una resistencia interna $R_i = R_V = 25 \Omega$ está representada en la figura 3.15; la ecuación correspondiente es:

$$U_F = U - R_i \cdot I.$$

Si tenemos en cuenta que el motor de una locomotora consume corrientes comprendidas entre 0,2 A y 0,5 A (ta-

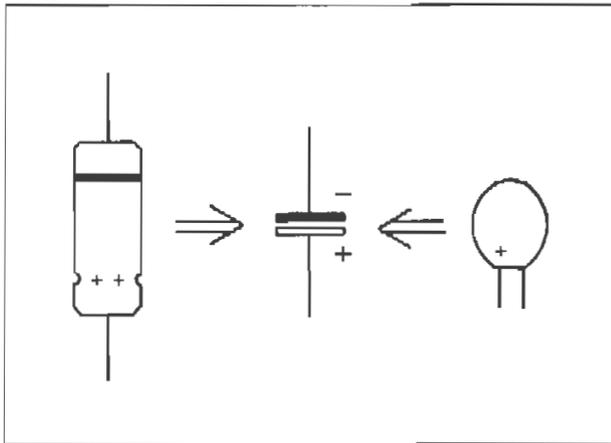
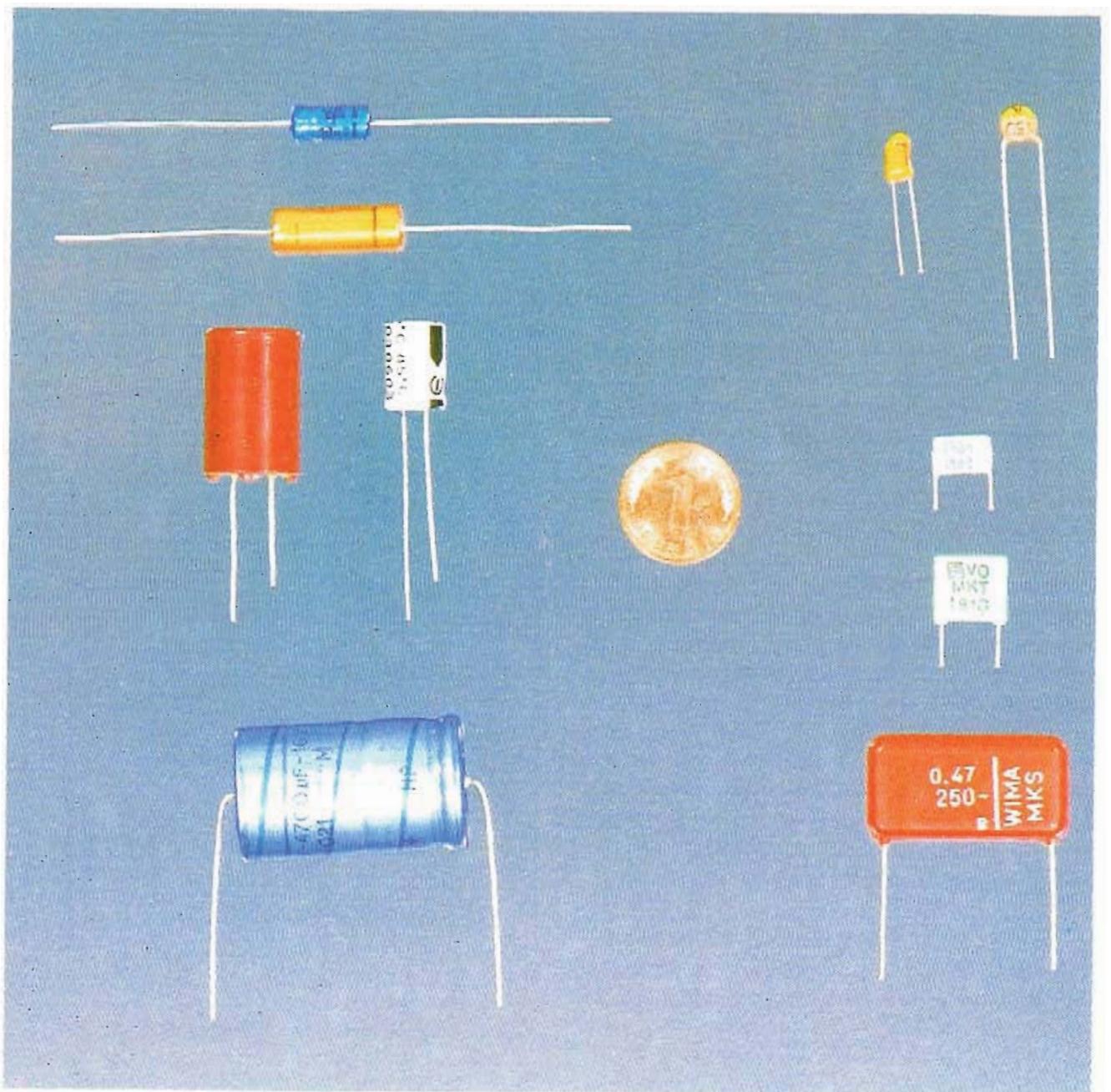


Figura 3.16 Condensadores electrolíticos: símbolo y tipos (izquierda, óxido de aluminio; derecha, óxido de tantalio).

Figura 3.17 Condensadores para el modelismo ferroviario: se ve claramente la interdependencia entre el tamaño y los valores de capacidad y tensión.



maño H0), esta fuente de tensión es sin duda inservible. La solución es un circuito electrónico: el amplificador. Éste absorbe poca corriente (unos mA; alta resistencia de entrada) y dispone de una baja resistencia interna en el circuito de salida. La estructura de este tipo de amplificadores será descrita en un próximo volumen de esta misma serie.

En el comercio especializado se encuentra gran variedad de modelos de condensadores. Se distinguen según el material del dieléctrico (papel impregnado, plástico, cerámica, óxido de tantalio o de aluminio) y la forma de sus electrodos. Hay que escoger el modelo según las condiciones que ha de cumplir el condensador, sobre todo respecto a su capacidad y a la tensión máxima aplicable. Para el condensador, ésta tiene una importancia parecida a la de la potencia de disipación de las resistencias óhmicas, de manera que determina esencialmente su tamaño. De la misma forma que los parámetros que describen la resistencia son el valor óhmico y la potencia de disipación máxima, los parámetros que describen el condensador son la capacidad y la tensión máxima de funcionamiento. Si se sobrepasan estos valores, el condensador puede quedar destruido por un cortocircuito interno o por tensiones de disipación demasiado altas.

Fundamentalmente hay que distinguir entre condensadores con polarizados (con polos fijos) y sin polarizar. Los primeros incluyen los condensadores electrolíticos, que tienen la ventaja de combinar un tamaño reducido con valores de capacidad relativamente altos. Hay que conectarlos siempre a fuentes de corriente continua y respetando la polaridad indicada en la cápsula; de lo contrario, el condensador se destruiría.

Como en el caso de las resistencias óhmicas, no se encuentran condensadores de cualquier valor de capacidad sino series de modelos con valores determinados (ver apéndice). Los valores intermedios se pueden conseguir mediante

conexiones en serie o en paralelo como indica la figura 3.18.

Queremos mencionar especialmente que se pueden conectar dos condensadores electrolíticos en serie, lo que posibilita el funcionamiento con tensión alterna. Para ello, se conectan los polos del mismo valor (+/+ o -/-); el valor de capacidad de esta conexión en serie sólo corresponde a la mitad del valor de cada uno de los condensadores (ver figura 3.18 abajo).

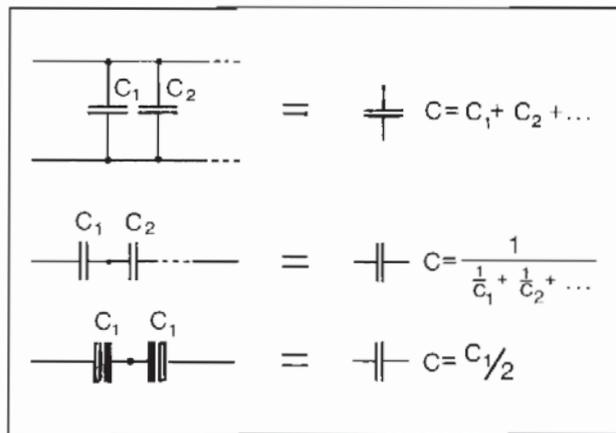


Figura 3.18 Conexión de condensadores en serie y en paralelo.

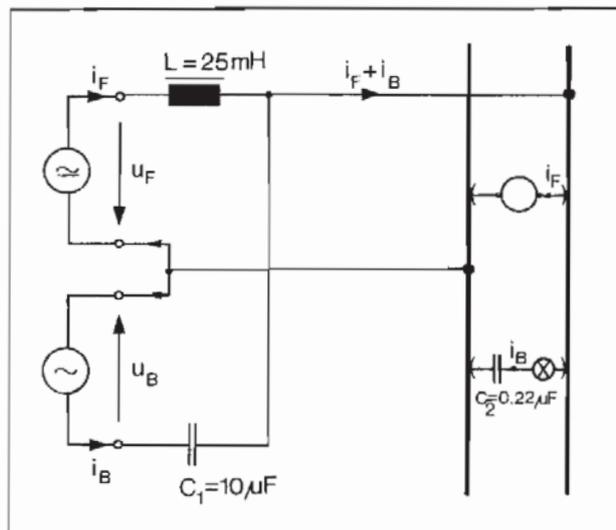


Figura 3.19 Iluminación independiente de la tensión de tracción con tensión alterna a frecuencia de audio.

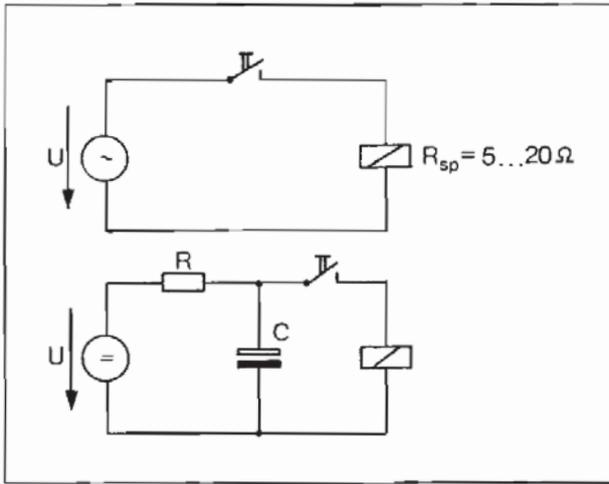


Figura 3.20 Control de un accionamiento con bobina; tensión alterna (a) y tensión continua a través de un circuito de protección (elemento R_C) (b).

Para el funcionamiento con tensión alterna se puede calcular la reactancia capacitiva (X_C) del condensador de forma correspondiente a la reactancia X_L de una bobina:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

Con corriente continua ($f = 0$), el valor de la reactancia es infinitamente grande y decrece con el aumento de la frecuencia f . En el condensador la corriente y la tensión presentan un desfase temporal; mientras que en la bobina la tensión precede a la corriente, en el condensador es al revés; a la tensión u_L de la figura 3.8 le correspondería la tensión $-u_C$.

Condensadores y bobinas: ejemplos de uso

Conociendo las propiedades de los condensadores y de las bobinas que dependen de la frecuencia, se comprende que estos elementos sean necesarios (y, electrónica digital aparte, idóneos) para una iluminación de trenes que no dependa de la tensión de tracción y que funcione con tensión alterna a frecuencia de audio. Así, nos ahorramos el uso de pilas y no tenemos que ocupar un circuito eléctrico exclusivamente con la ilu-

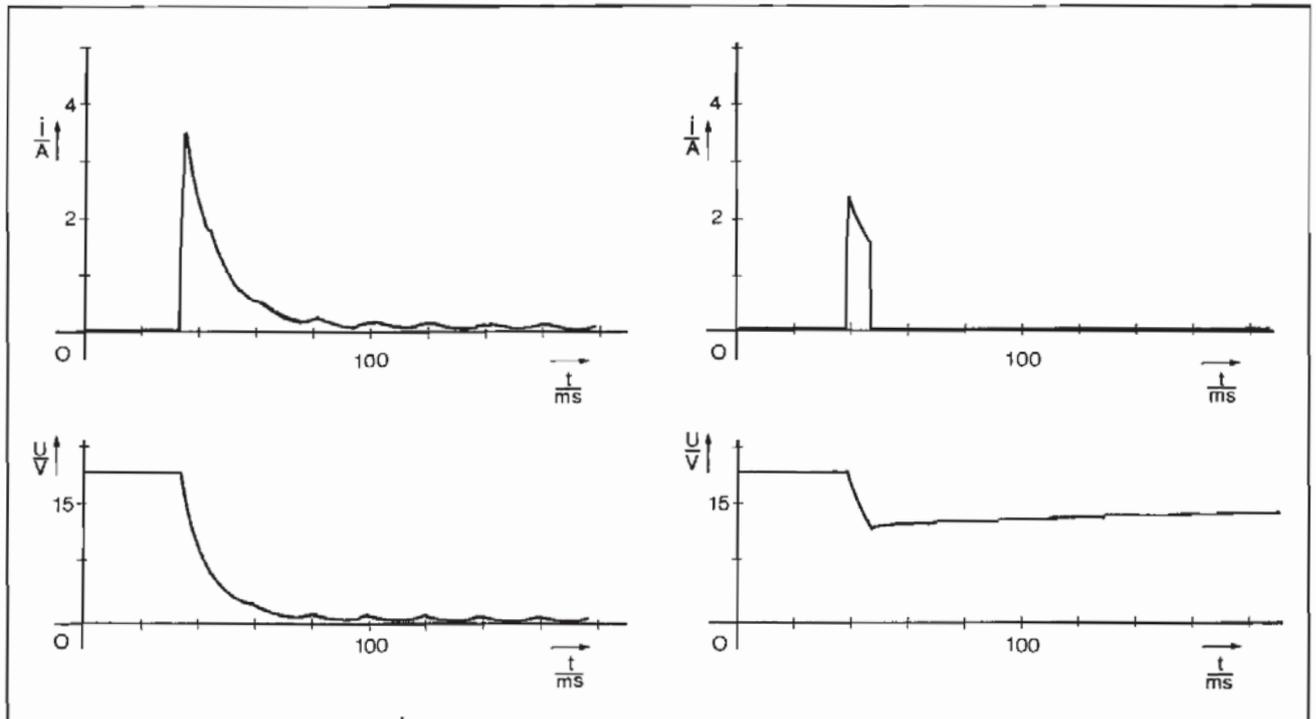


Figura 3.21 Compare con la figura 3.13: el curso temporal de la corriente de conmutación (arriba) y de la tensión en el condensador (abajo) en un accionamiento sin apagado final (izquierda) y con él (derecha).

minación; los diferentes circuitos que puede haber (ver también figura 2.3) se aprovechan mejor como circuitos de tracción.

Se habla de frecuencia audio cuando las frecuencias de tensión se encuentran en el sector de las oscilaciones audibles, o sea, entre 10 Hz y 20 kHz. Respetando las disposiciones legales, que tienen como objetivo evitar interferencias en las telecomunicaciones por ondas, la frecuencia de la tensión para la iluminación —que ha de ser senoidal— se situará entre los 10 kHz y los 15 kHz. Elegir una frecuencia más baja no es oportuno debido a las dimensiones de los elementos de separación entre la tensión de tracción y la de iluminación. Comparada con la frecuencia de la corriente alterna de la red (de 50 Hz), una frecuencia de 10 kHz es muy alta y podría parecer lógico denominarla «alta frecuencia»; sin embargo, en la electrónica se utilizan frecuencias de hasta 109 Hz, por lo que una oscilación de 10 kHz se llama «baja frecuencia» y el aparato que la produce generador de BF.

La tensión de tracción U_F y la de iluminación U_B llegan a los consumidores —motores y bombillas, respectivamente— a través de los mismos conductores, por lo que se han de separar en el tren: la tensión de tracción sólo debe producir una corriente en el motor, y las bombillas sólo deben recibir corriente de baja frecuencia. Además, hay que excluir la posibilidad de interferencias entre ambas corrientes. La tensión de tracción no tiene que ser necesariamente continua, también puede ser alterna (50 Hz) o mixta (ver figura 9.15 y siguientes).

Para una tensión de iluminación U_B con una frecuencia $f = 10$ kHz, una bobina de inductancia $L = 25$ mH representa una reactancia de

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ kHz} \cdot 25 \text{ mH} \\ = 1,57 \text{ k}\Omega.$$

La reactancia capacitiva X_C de los condensadores C_1 y C_2 , en cambio, sólo asciende a

$$X_{C1} \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ kHz} \cdot 10 \mu\text{F}} \\ = 1,6 \Omega$$

y: $X_{C2} = 72 \Omega.$

Así, la bobina evita que la corriente de iluminación circule a través de la fuente de la tensión de tracción. Para la corriente continua, los condensadores representan resistencias infinitamente altas, para la corriente alterna de 50 Hz, sus valores (10 kHz/50 Hz = 200) son 200 veces mayor que los arriba indicados.

Dado que el motor con su arrollamiento de inducido ya presenta una inductancia suficientemente alta, en este caso no es necesario acoplar una bobina. Los condensadores han de ser bipolares. El alto valor de C_1 se puede conseguir con una conexión en serie de dos condensadores electrolíticos como en la figura 3.18. Los condensadores tienen que estar preparados para soportar la suma de la tensión de tracción y la de iluminación (63 V).

Un segundo ejemplo: al final del apartado sobre bobinas y accionamiento electromagnético ya hemos hablado de la necesidad de proteger las bobinas contra sobrecargas térmicas. Un circuito capaz de asumir esta función también se debería utilizar, en algunas circunstancias, en accionamientos con apagado final, ya que este último, en conexión con los puntos de contacto de la vía, no siempre funciona de forma fiable.

Las resistencias óhmicas R_{SP} de los accionamientos por bobina tienen valores comprendidos entre 5 Ω y 20 Ω . Si el pulsador permaneciera siempre cerrado —por ejemplo por una locomotora estacionada en la vía de contacto o por un defecto en el mismo pulsador—, con

una tensión $U = 14 \text{ V}$ y $R_{SP} = 10 \Omega$ circularía una corriente I de

$$I = \frac{14 \text{ V}}{10 \Omega} = 1,4 \text{ A},$$

que seguramente destruiría la bobina. Si, por el contrario, hay una resistencia R conectada en serie con la bobina y el interruptor -como en la figura 3.20-, con $R = 230 \Omega$ la corriente I sólo asciende a

$$I = \frac{14 \text{ V}}{230 \Omega} = 0,06 \text{ A}$$

y la potencia de disipación ya sólo es una pequeña parte del valor anterior.

Con el interruptor abierto, el condensador C se carga a través de la resistencia R . Teniendo en cuenta las indicaciones de la figura 3.13, el proceso de carga con $C = 2.200 \mu\text{F}$ se produciría con una constante de tiempo $\tau = R \cdot C = 0,5 \text{ s}$, así que al cabo de unos 3 s se vuelve a disponer de la tensión total. Un efecto secundario positivo, al hacer uso de este circuito, es que en las iluminaciones alimentadas por la misma fuente de tensión se suprime el parpadeo que suele producirse en cada conmutación. Gracias al bajo valor de tensión (0,06 A), desde un transformador habitual de modelismo ferroviario, se pueden alimentar varios circuitos según la figura 3.20 (b), a diferencia de los de (a).

La figura 3.21 representa el curso temporal de la corriente de conmutación y de la tensión en el condensador, en un accionamiento con apagado final y sin él. Se aconseja comparar con la figura 4.4, que muestra el comportamiento de los accionamientos con tensión alterna. Mientras que en el accionamiento sin apagado final el condensador se descarga casi totalmente, el apagado final hace que la corriente de conmutación se interrumpa al acabar el proceso de accionamiento. La tensión en el condensador sólo desciende, por tanto, a un 60 % del valor inicial. Por consiguiente, queda bastante energía para un nuevo accionamiento al cabo de poco tiempo de carga.

Resumen:

Las bobinas y los condensadores son elementos cuya forma de funcionamiento no se comprende a primera vista. No obstante, son imprescindibles para el modelismo ferroviario y se encuentran, en muchas variantes, en cada equipo. Conociendo las leyes físicas en las que se basa lo que ocurre en una bobina, ya se tiene el conocimiento necesario para llegar a comprender el funcionamiento de transformadores y motores.

4

Conexión y ajuste de fuerzas magnéticas

Este capítulo muestra cómo se utilizan las fuerzas del magnetismo en los denominados elementos magnéticos del fabricante de maquetas de tren para el control a distancia de agujas y señales. Además de mover los espadines de aguja y subir los brazos de señal, hay otras funciones para el control y la seguridad del manejo de los trenes. Se han de explicar algunos conceptos que suelen aparecer en los catálogos del fabricante y que en realidad dejan poco claras las funciones técnicas. Si se quieren combinar productos de distintos fabricantes, el manual de instrucciones no suele ser de mucha ayuda. Entonces se han de comprender los principios de funcionamiento.

Mecanismo de dos bobinas para accionamiento de agujas y señales

Este concepto se puede encontrar en todos los catálogos, y qué sería del mode-

lismo ferroviario sin la posibilidad de manejar, con su ayuda, a distancia agujas y señales con pulsadores o incluso con un tren en movimiento. El principio en sí es sencillo, pero también esconde algunas trampas, y más de una vez ha puesto en un aprieto a algún que otro modelista.

En el capítulo 3 hemos visto que una bobina atrae un núcleo de hierro, de tal manera que el campo magnético se extiende por el aire lo menos posible. En el accionamiento con dos bobinas hay colocadas dos bobinas una al lado de la otra en cuyo interior se encuentra un núcleo de hierro móvil que se denomina armadura. Dependiendo de qué bobina reciba alimentación, la armadura es atraída por la que en esos momentos lleva corriente. Una parte de plástico del núcleo de hierro sale al exterior y mueve con mecánica precisa los espadines de aguja. A menudo un muelle adicional se encarga de que los espadines queden fijos en su posición, lo que procura una protección añadida contra descarrila-

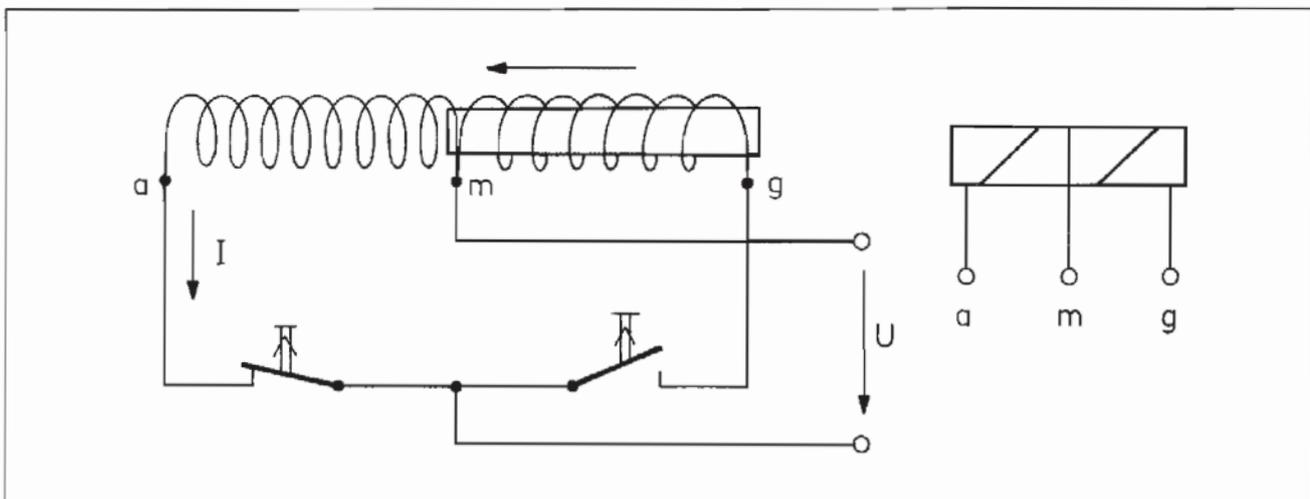


Figura 4.1 El circuito principal del mecanismo de dos bobinas; en estos momentos se tiene activado el pulsador izquierdo. A la derecha de la figura se puede ver el diagrama de conexiones simplificado.

mientos. La figura 4.1 muestra el circuito del mecanismo de dos bobinas. Aquí se tiene accionado el pulsador izquierdo, la bobina izquierda lleva corriente y atrae la armadura de la bobina derecha.

El mecanismo de dos bobinas tiene tres tomas de conexión: la central, que está unida a ambas bobinas, se conecta directamente a un borne de la salida del transformador para elementos magnéticos. Los dos extremos libres del bobinado van a parar a dos pulsadores, y después, en un cable común, al otro borne del transformador.

La toma central se denomina m. La toma de la bobina con la que se colocan los espadines de aguja para la marcha recta se denomina g y la otra que sirve para girar se denomina a.

En la figura 4.2 se muestran dos posibilidades de cómo se puede conectar el mecanismo de las agujas con el pulsador de control. Las dos variantes funcionan bien —es igual si la toma central m está en el cable de retorno común o si las tomas de la bobina a y g están conectadas al cable de retorno mediante el pulsador de control—.

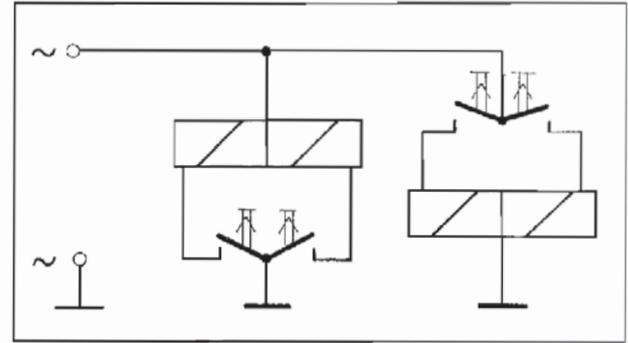


Figura 4.2 Las dos posibilidades de conexión del mecanismo de dos bobinas.

Tal y como se mostrará más adelante, cuando hay muchos puntos de contacto, que permiten que un tren en marcha pueda mover las agujas y las señales, se necesita un cable de retorno común para el circuito de corriente de tracción y el circuito de iluminación y elementos magnéticos. En este caso (y sólo en éste) se deben empalmar las tomas a y g de la bobina con el cable de retorno común a través del pulsador o los puntos de contacto.

Si se tienen que alimentar varias agujas, se puede reducir notablemente la cantidad de cable necesario si se conectan de la misma forma todos los me-

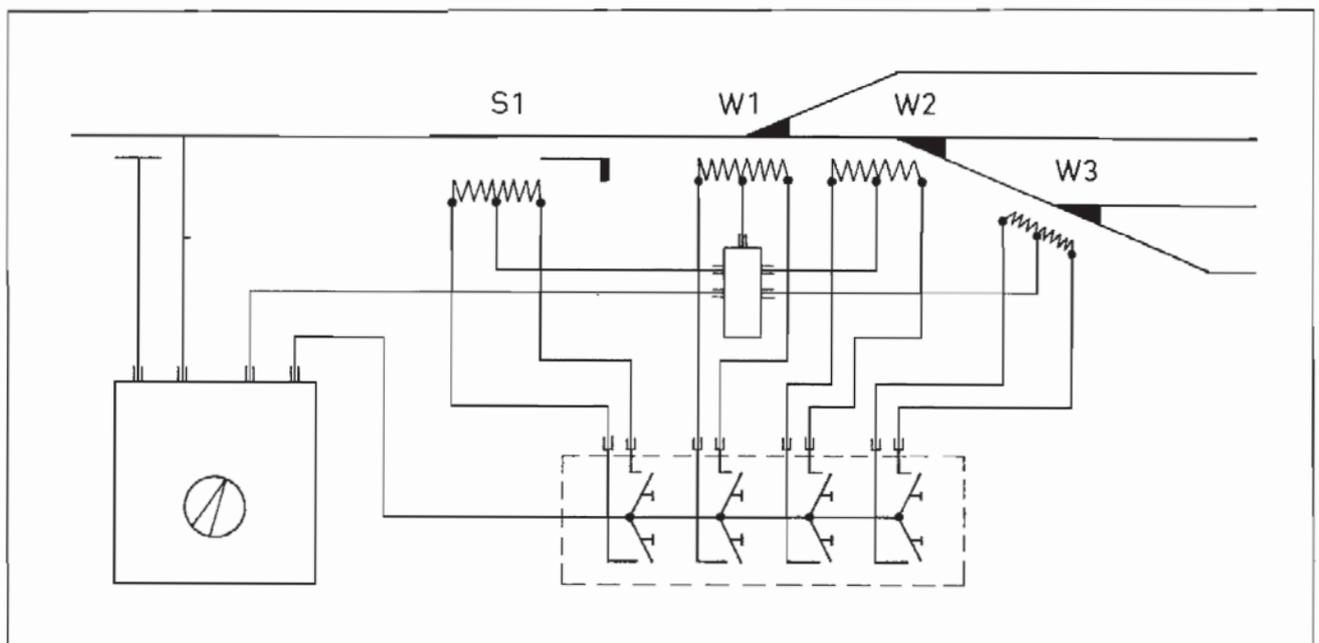


Figura 4.3 Así se conectan los mecanismos de las agujas y los interruptores en el equipo.

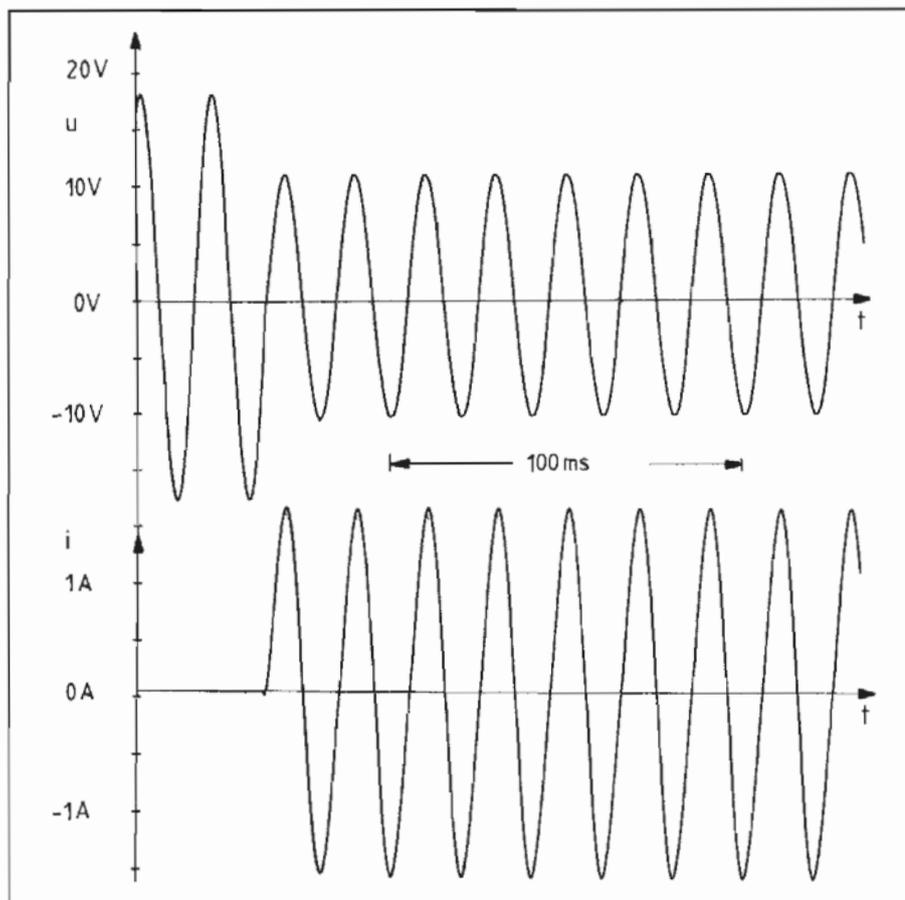


Figura 4.4 Oscilograma al activar un mecanismo de dos bobinas (LGB): arriba, la tensión alterna del transformador, abajo, la corriente que circula por la bobina mientras se mantiene presionado el pulsador.

canismos de agujas y señales. Así, desde el transformador se va con un sólo cable a un punto de ramificación que se encuentra sobre el equipo cerca de las agujas; desde allí se pueden conectar las respectivas tomas centrales de los pares de bobinas de las agujas. De la misma forma, se pueden unir los pulsadores del panel de control en un extremo. Los paneles de control de los fabricantes de maquetas se pueden acoplar a través de esta toma común, de tal manera que sólo se necesita un único cable entre la serie de paneles de control y el transformador.

En el mecanismo de dos bobinas sin dispositivo de apagado final -más adelante nos ocuparemos de este aspecto más detalladamente- se pueden averiguar fácilmente, con un aparato de medición de resistencias, cómo se conectan las tres tomas, incluso aunque no

se conozca el código de colores específico del fabricante y tampoco se desee dar un vistazo al interior del mecanismo. Las dos bobinas tienen una determinada resistencia, y dependiendo de entre cuál de las tomas desconocidas estemos, se comprueba la resistencia de una bobina (por ejemplo, 10 ohmios) o las dos juntas (20 ohmios). En este último caso se han encontrado las dos tomas para los pulsadores en el panel de control; la función de conexión recto (g) o girar (a) se ha de localizar haciendo pruebas.

Para mover la armadura, se ha de superar una considerable resistencia me-

cánica. Para que la armadura cambie su posición de forma segura, se ha de aplicar una gran cantidad de fuerza electromagnética, y esto sólo es posible con la intensidad de corriente adecuada.

Los mecanismos de accionamiento de agujas en las maquetas de ferrocarril han de ser lo más pequeños posible, y la geometría de las vías exige una forma delgada; los mecanismos de agujas no deben bloquear el camino de las vías vecinas. En todos los mecanismos de dos bobinas la corriente de éstas se sitúa en torno a 1 amperio. Una corriente de tal magnitud no puede circular indefinidamente, ya que el calor que produce no se puede disipar correctamente en pequeños mecanismos; tras un lapso de tiempo, las partes de plástico comienzan a derretirse y deformarse hasta que se rompe el alambre del bobinado: el mecanismo se ha quemado. Para que

quede claro, la pérdida de calor de 14 V x (aproximadamente) 1 amperio = 14 vatios, ¡corresponde a la potencia de un pequeño soldador!

En anchos de vía pequeños se pueden utilizar corrientes de conmutación más bajas, aunque los diminutos mecanismos son bastante más sensibles que, por ejemplo, el mecanismo de las agujas de chapa de Märklin.

<i>Fabricante</i>	<i>Resistencia</i>
Arnold	25 Ω
Roco HO	21 Ω
Märklin (señal)	43 Ω
LGB (antiguo)	7 Ω

Tabla 4.1 Resistencias de las bobinas de algunos mecanismos de dos bobinas

Otro problema de la corriente elevada en bobinas se da cuando se quieren mover varias agujas a la vez con un pulsador: los mecanismos producen un ruido débil y los espadines de aguja no se mueven de su sitio. Con demasiados mecanismos en el transformador, la tensión falla de tal forma que ya no puede circular la corriente necesaria. En el caso de transformadores pequeños, de 14 VA, ya se tienen problemas con más de dos agujas. Si el transformador, además, tiene que alimentar una gran cantidad de bombillas, en algún momento la corriente de conmutación no será suficiente para un solo mecanismo de agujas —en este caso se tendría que utilizar un transformador propio sólo para los elementos magnéticos—.

Como seguramente muchos lectores sabrán, con un osciloscopio se pueden «ver» las corrientes y tensiones, y con un aparato apropiado reflejarlas sobre el papel. La figura 4.4 muestra un oscilograma de este tipo que conecta un mecanismo de dos bobinas.

La curva superior muestra el trayecto de la tensión alterna en la salida del

transformador, la inferior representa la corriente que circula al presionar el pulsador y colocar la armadura en su nueva posición. Como se puede ver, la tensión decae, debido a la elevada corriente por la bobina. Si la corriente proporcionada por el transformador no es suficiente, la armadura no se moverá de su sitio.

Protección de bobinas mediante el dispositivo de apagado final

Desgraciadamente no se puede descartar que, por descuido, los mecanismos de agujas o señales tengan tensión durante largo tiempo y con ello corriente permanente. Con interruptores colocados hábilmente en la armadura del mecanismo de dos bobinas, se puede conseguir que sea la misma armadura la

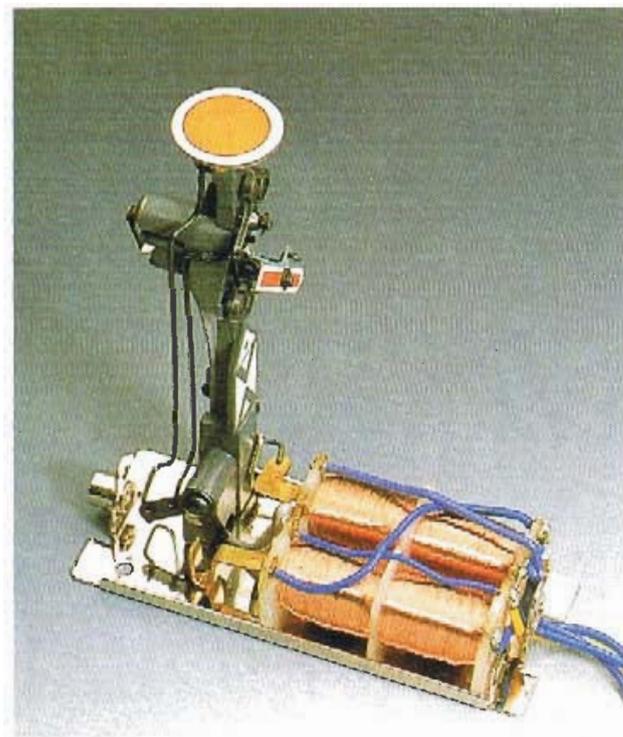


Figura 4.5 Dos mecanismos de dos bobinas permiten la función desacoplada del disco de señales y del brazo adicional en las señales de aviso de Märklin.

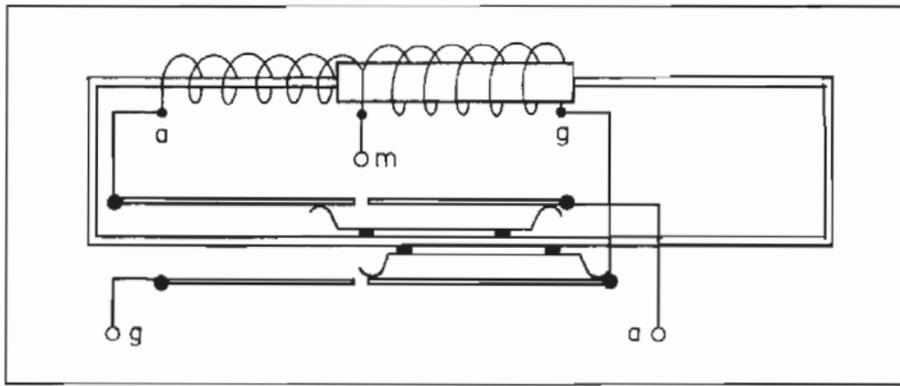


Figura 4.6 Así funciona un mecanismo de dos bobinas con dispositivo de apagado final.

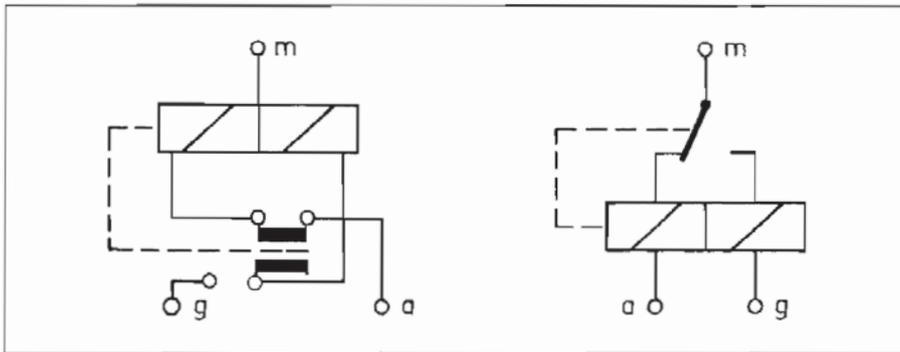


Figura 4.7 Diferentes posibilidades de apagado final.

que interrumpa su alimentación eléctrica tan pronto como haya adoptado la posición final. En estos momentos casi todos los mecanismos de la escala N, aunque también los de la HO están dotados de dispositivo de apagado final. Se puede averiguar fácilmente si un mecanismo de dos bobinas tiene este dispositivo o no, con un aparato de medición de resistencias: entre dos bornes determinados se mide la resistencia de la bobina, entre los otros no existe ningún tipo de conexión eléctrica.

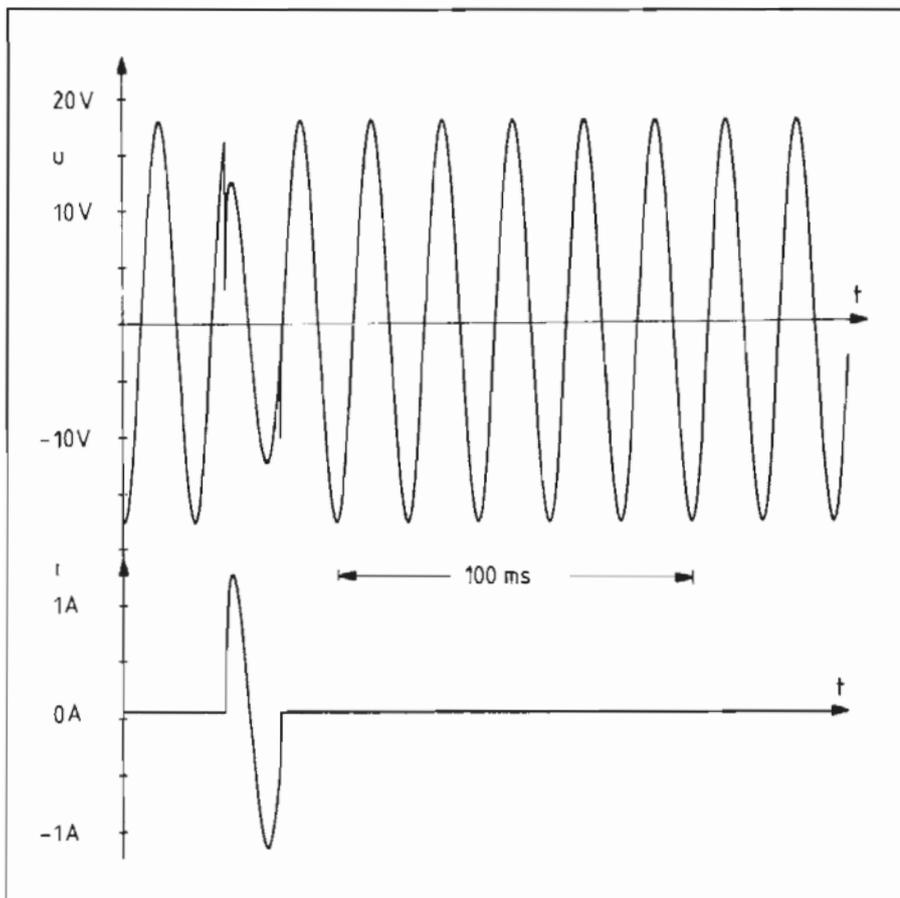


Figura 4.8 Oscilograma al accionar un dispositivo de apagado final de la escala HO de Roco; la corriente alterna de la bobina (abajo) circula durante un corto período de tiempo (20 milisegundos), entonces la aguja ya se ha movido, el circuito eléctrico se interrumpe.

En la figura 4.6 se puede ver el principio de funcionamiento del apagado final. En la armadura hay fijados dos cursores que toman la corriente de la armadura de dos rieles de metal, los cuales quedan interrumpidos justo antes del final del trayecto de la armadura. En conjunto, todo se parece a una vía de aparcamiento en la que los últimos 20 centímetros están aislados eléctricamente delante del tope fijo. Junto al dispositivo de apagado final con contactos de cursor, en los que las tomas de las bobinas a y g quedan interrumpidas, se puede también separar la toma central m y sustituirla por un conmutador inversor controlado por la armadura. La figura 4.7 muestra ambas posibilidades.

En principio, se pueden controlar las agujas desconectadas por el dispositivo de apagado final también con interruptores inversores en vez de pulsadores, ya que éstos desconectan sólo la corriente de la bobina. Los interruptores son más caros que los pulsadores, pero por su posición se puede saber en qué situación está el mecanismo que controlan, lo que en agujas escondidas supone toda una ventaja. No obstante, también hay casos en los que el dispositivo de apagado final no ofrece una protección al cien por cien. Por ejemplo, si un impulso de conmutación generado por un tren en movimiento es demasiado corto, la armadura se moverá, pero no alcanzará su posición final; con ello no se abre ninguno de los dos interruptores de apagado final.

En el próximo impulso de conmutación la fuerza no sería suficiente para que la armadura abandonara su posición central y alcanzara la final, y acabaría estropeándose. Como medida de segu-

ridad, las agujas con dispositivo de apagado final, que también se controlan con el tren en movimiento, se deberían controlar siempre con pulsadores mientras no esté previsto ningún circuito de protección de agujas.

Corazones polarizables evitan paros no deseados

El corazón, el lugar donde se cruzan los raíles de giro exteriores con los raíles rectos opuestos, es siempre la parte más crítica con respecto a la toma de corriente de la locomotora, ya que los raíles que se cruzan deben quedar aislados eléctricamente entre ellos. La solución, a menudo tan recurrida, de utilizar un corazón de plástico, plantea para locomotoras cortas de dos o tres ejes una dificultad casi insalvable. Una solución más práctica consiste en fabricar corazones de metal, colocarlos aislados de los cuatro raíles y empalmarlos eléctricamente al raíl correcto mediante un interruptor inversor, dependiendo de la posición de las agujas; Roco habla de corazones polarizables, mientras que, entre los fabricantes ingleses, Peco lo denomina *electro-frog*.

El interruptor inversor para conmutar la tensión del corazón se puede colocar

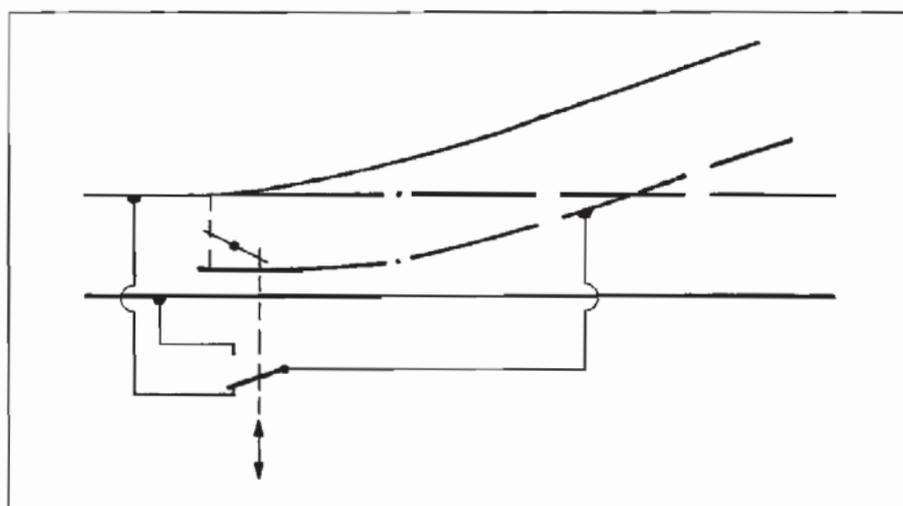


Figura 4.9 Así se conecta el corazón eléctrico polarizable.

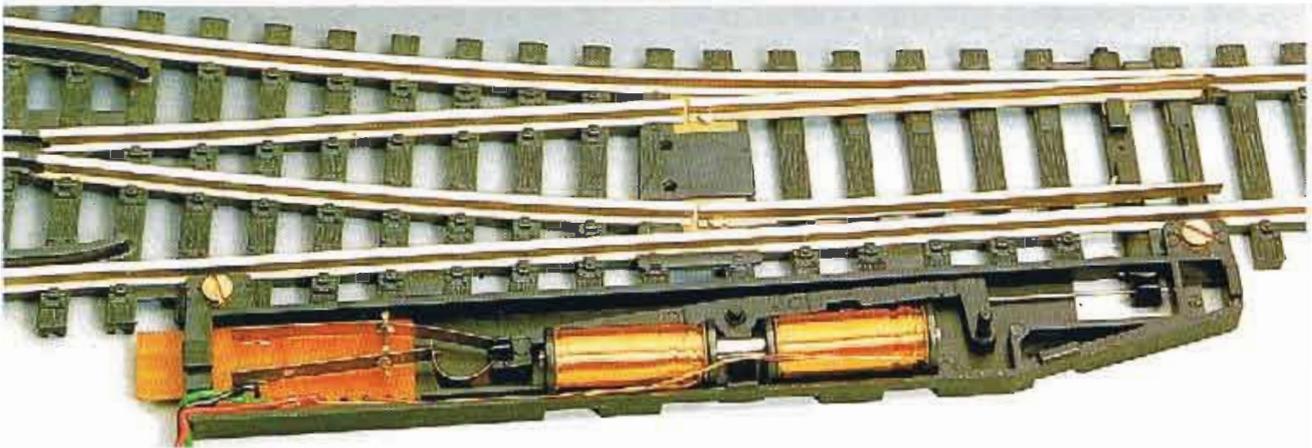


Figura 4.10 El interior de un mecanismo Roco HO con dispositivo de apagado final y polarización de corazones.

de igual forma en la armadura como el interruptor de apagado final.

Los corazones polarizables esconden una gran trampa. Si se quiere «cortar» una aguja, es decir, que la locomotora llegue desde la bifurcación a la aguja que está colocada incorrectamente, por lo tanto en marcha recta, se produce un fuerte cortocircuito en el momento en el que la locomotora llega al corazón. Por esta razón, se debe procurar siempre que la locomotora no pueda acercarse a una aguja que no esté en la posición correcta. El próximo apartado muestra cómo se puede conseguir esto que acabamos de explicar.

Las agujas de paro «inteligentes»

El título de este apartado se refiere a un dispositivo que busca seguridad y simplificación del control en las vías de aparcamiento y las estaciones. La aguja inteligente desconecta de forma automática la tensión de tracción de la vía por la que, según la posición del espaldín de aguja, no se circula.

El principio de funcionamiento es muy sencillo. Los dos raíles interiores, que desembocan en la aguja, están aislados eléctricamente. Si se coloca el es-

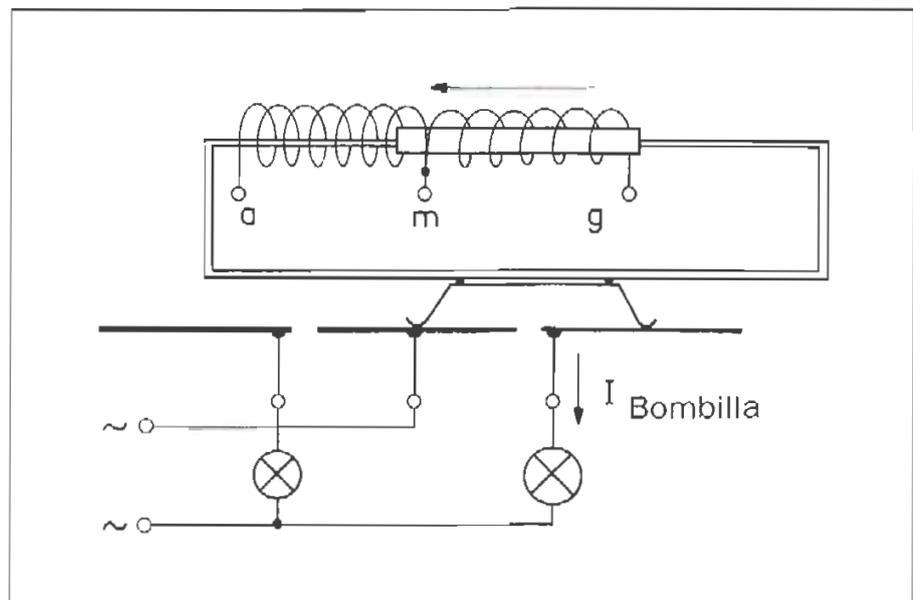


Figura 4.11 Testigo de control con un interruptor inversor para mecanismo de agujas.

padín de aguja en uno u otro raíl, se forma un contacto eléctrico que alimenta con corriente el raíl respectivo.

Por lo tanto, el espadín de aguja es en este caso zona de separación y conmutador en uno. Para vías de aparcamiento falsas esto puede resultar muy práctico: se ahorrará muchas complicaciones y es imposible la circulación no deseada de dos trenes en paralelo, ya que sólo puede circular el tren cuya vía desemboca correctamente en la aguja.

En los productos de Trix y Fleischmann se puede anular la función de las agujas de paro completamente o en parte —por ejemplo, sólo para el sentido de marcha recto— mediante pequeños puentes de cable con los que se pueden empalmar eléctricamente los dos raíles interiores con las exteriores correspondientes de forma permanente.

Si se quiere dotar de una señal de vía ocupada a un apartadero desconectado mediante agujas de paro, tal y como se describe en el capítulo 11, entonces se ha de ir con cuidado. Dependiendo de la posición de la aguja —ya sea de giro o de marcha recta— una de las dos partes de los raíles está interrumpida. Con una señal de vía ocupada

se requiere un cable de retorno común para todas las vías que no puede quedar interrumpido. Esto significa que en todas las vías se debe siempre separar la misma parte de los raíles mientras que el otro queda interconectado. Por lo tanto, aquí no puede utilizarse la función de la aguja de paro.

Las desventajas descritas más arriba no tienen efecto si el mecanismo de agujas tiene un interruptor inversor de conexión libre, como por ejemplo el que se necesita en la polarización de corazones.

Aunque uno mismo tenga que colocar el cableado de conexión necesario, el empalme eléctrico es, en este caso, bastante más fiable y se puede elegir libremente la zona de separación.

Desgraciadamente, entre los «grandes» fabricantes sólo el antiguo mecanismo de Roco posee tres de estas tomas libres para interruptores inversores; y uno se necesita para la polarización del corazón. Pero acabará por desaparecer de los catálogos, ya que debido a deficiencias mecánicas no acaba de ser del agrado de sus poseedores. Los mecanismos de agujas garantizados, por ejemplo de Peco y Repa, también ofrecen contactos de conexión libres.

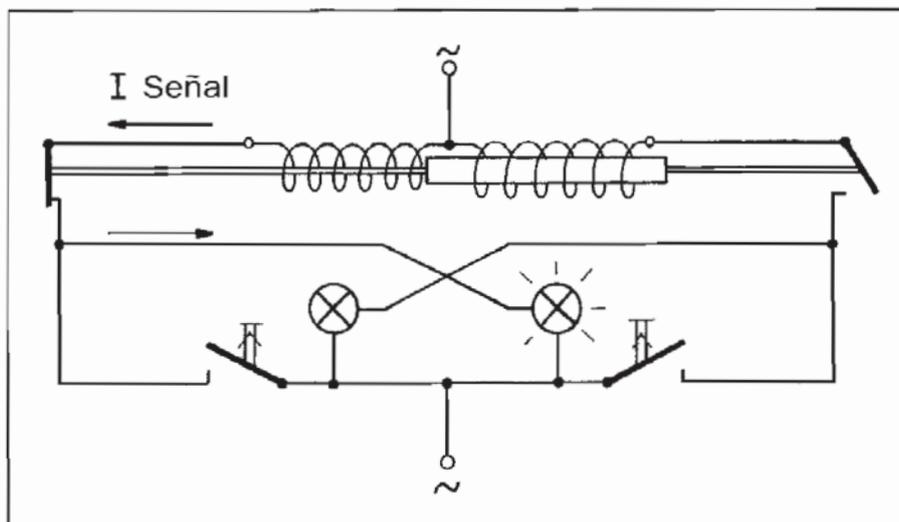


Figura 4.12 Testigo de control de las agujas mediante el interruptor de apagado final.

Aviso al jefe de estación

No siempre puede verse la posición del espadín de aguja. Se necesita, justamente en apartaderos falsos, una señal en el panel de control que muestre la posición de las agujas.

La solución más sencilla, a la que ya se ha hecho referencia, es utilizar en mecanismos con dispositivo de apagado final un interruptor de accionamiento longitudinal en vez de un pulsador. No obstante, esto no es un verdadero testigo de control, sino más bien un apoyo para la memoria. Un testigo de control debe proceder siempre de la propia aguja. Debe informar de que ha cumplido correctamente la orden de cambiar la posición. En este caso, se necesitaría otro interruptor inversor en el mecanismo de agujas, que proporcionara tensión, según la posición final alcanzada, a una u otra bombilla —o que no proporcione la tensión cuando, por alguna razón, no se ha conectado correctamente—. Sin embargo, esta comodidad tiene el precio de dos cables de conexión adicionales por aguja al panel de control —esto debería tenerse en consideración en equipos grandes—.

Una alternativa sencilla, para no tener que utilizar tanto cable, consiste en utilizar para este fin el interruptor de

apagado final de las bobinas. El interruptor luminoso del cuadro de manobras de Arnold funciona según este principio.

Cuando se ha alcanzado una nueva posición final, el dispositivo de apagado final desconecta esta bobina, la otra, no debe estar preparada para la próxima conmutación. A través de esta otra bobina se puede enviar permanentemente la corriente a una pequeña bombilla. Esta corriente es tan pequeña que no activa ni calienta el mecanismo de agujas.

Como testigos luminosos pueden utilizarse bombillitas de 14 a 16 voltios, con toma de corriente reducida (de 20 a 40 mA). Si la aguja cambia de posición, el pulsador crea un puente con el testigo luminoso (que vale para la posición opuesta). La armadura se activa, se desliza hacia la posición opuesta y abre el otro contacto de apagado final. Ahora se enciende la lámpara que antes estaba apagada. Si el mecanismo no alcanza la posición final y ambos interruptores de apagado final permanecen cerrados, se encienden los dos testigos luminosos, una señal clara de alarma.

Si se quieren acoplar señales luminosas a la posición de la aguja, se puede hacer fácilmente conectando las bombillitas, o los diodos luminosos de la señal correspondiente, en paralelo

<i>Fabricante</i>	<i>Dispositivo de apagado final</i>	<i>Función de paro</i>	<i>Contactos de conmutación</i>
Arnold	+	+	–
Minitrix	+	desconectable	–
Roco (nuevo)	+	–	–
Trix Express	–	–	en parte
Fleischmann	+	desconectable	–
Conrad	+	–	+
Märklin K	+	–	–
Märklin Blech	–	–	–
LGB (antiguo)	–	–	–
Peco	–	–	¡sólo con suplemento!
Repa	–	–	+

Tabla 4.2 Agujas eléctricas de diferentes fabricantes de maquetas de ferroviarias.

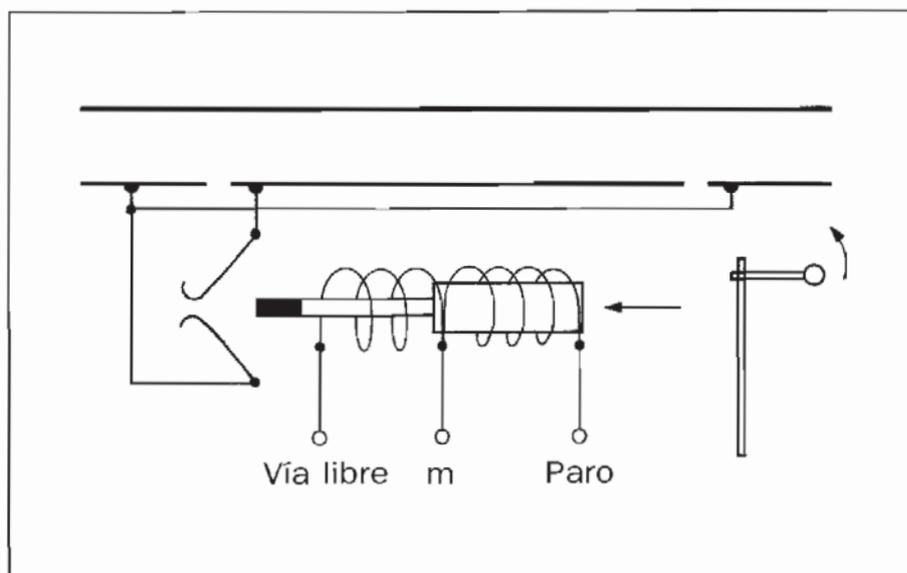


Figura 4.13 Elementos electrónicos de una señal con influencia sobre el control del tren.

con los testigos luminosos. La corriente que llevan es también tan pequeña que no activa las bobinas de las agujas.

El catálogo de Arnold podría hacernos creer que, en este método, en el mecanismo de agujas hay contactos adicionales para los testigos de control. Esto, naturalmente, no es así. Con este método se pueden hacer señales, aunque no se pueden conseguir otras funciones de conmutación como, por ejemplo, el control de otras agujas o la conexión y desconexión de otras secciones de vía.

La tabla 4.2 muestra los mecanismos de aguja de dos bobinas más utilizados y compara sus propiedades.

Influencia de las señales sobre el control del tren

Este concepto aparecerá en casi todos los catálogos cuando se presenten las señales. Si la señal se encuentra en la posición de paro, una sección determinada de la vía se separa automáticamente del circuito de corriente de tracción delante de la señal, y la locomotora que circula en esos momentos se queda parada. El prin-

cipio se asemeja un poco al de las agujas de paro, aunque aquí sólo se controla un contacto de cierre —que depende de la posición de la armadura del mecanismo—. Junto a las tres tomas para el mecanismo de dos bobinas hay dos más para la conexión de la zona de interrupción, así como uno para la conexión de luz de señales que en el caso de un semáforo se cubre con una lámina roja o verde.

La mayoría de señales luminosas no tienen ningún mecanismo de dos bobinas, ya que en ellas no hay que mover nada mecánicamente. Las luces de señales de diferentes colores deben estar controladas por interruptores de inversión en vez de pulsadores de este tipo. La influencia sobre el control del tren se puede llevar a cabo fácilmente utilizando dos interruptores de inversión bipolares que, cuando la señal está en verde, alimentan la sección de vía aislada eléctricamente justo delante de la mencionada señal.

Sólo Märklin controla sus señales luminosas con mecanismos de dos bobinas.

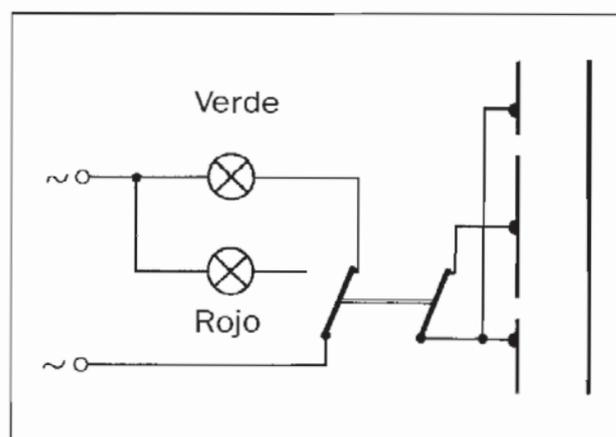


Figura 4.14 Influencia sobre el control del tren con señales luminosas mediante un interruptor de accionamiento longitudinal bipolar.



Figura 4.15 El motor de agujas de una pieza real.

nas y los contactos de conmutación correspondientes. Esto tiene la ventaja de que las señales luminosas se comportan como señales mecánicas y pueden ser controladas mediante los impulsos de un tren en marcha.

Las agujas se mueven lentamente

Las agujas del modelo real accionadas eléctricamente no cambian su posición en un segundo y de forma brusca. Los espadines de aguja se mueven lentamente empujados por un motor eléctrico. Con un mecanismo de dos bobinas no se podría aplicar la fuerza necesaria. Los mecanismos de agujas motorizados tienen cada vez más éxito entre los modelistas de ferrocarriles más individualistas. En especial, en los equipos más pequeños las pocas agujas que haya deben comportarse en su movimiento los más fielmente posible al modelo real. Los meca-

nismos de aguja con motor tienen también la ventaja de que el transformador no se carga repentinamente con elevadas corrientes de conmutación, como pasa en el mecanismo de dos bobinas.

En los mecanismos de aguja motorizados como los de, por ejemplo, Bemo y Fulgurex, un motor de corriente continua empuja con un engranaje helicoidal una cremallera de rosca que se une mediante un barra a los espadines de aguja. Un dispositivo de apagado final lógicamente desconecta el motor una vez conseguido el movimiento adecuado. Además, estos mecanismos de aguja disponen de otros interruptores de inversión libres, por ejemplo, para la polarización del corazón, la función de paro de la vía y muchos otros. El motor de agujas corresponde, en tamaño y forma, al motor de corriente continua de una locomotora. También necesita corriente continua y sólo puede ser alimentado desde la salida de corriente alterna del transformador mediante diodos rectificadores (en el próximo capítulo hablaremos de ellos).

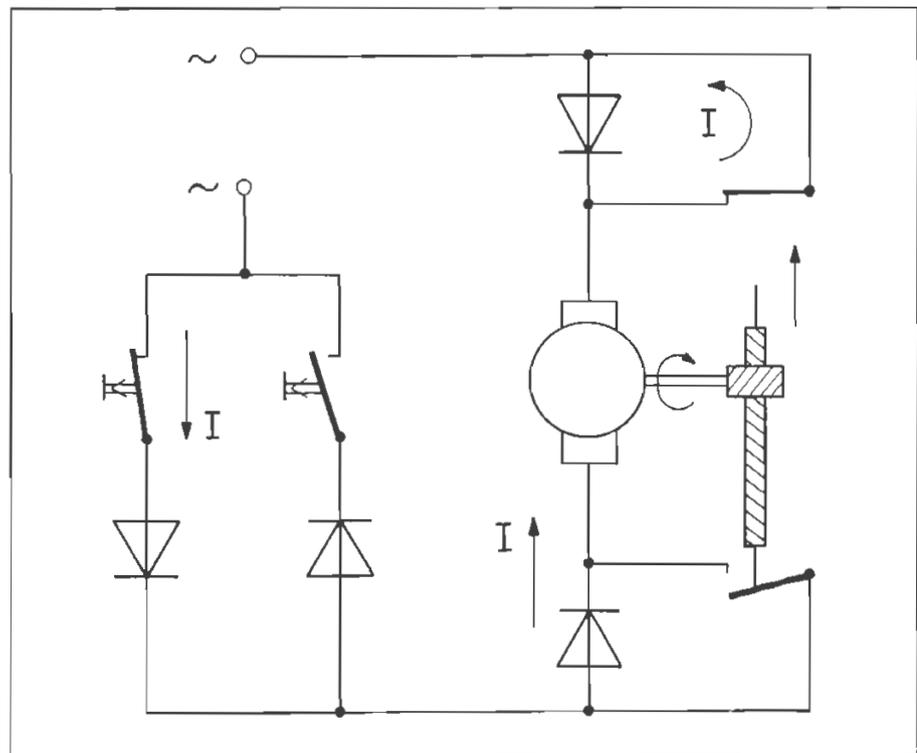


Figura 4.16 El circuito eléctrico de una mecanismo de agujas motorizado.

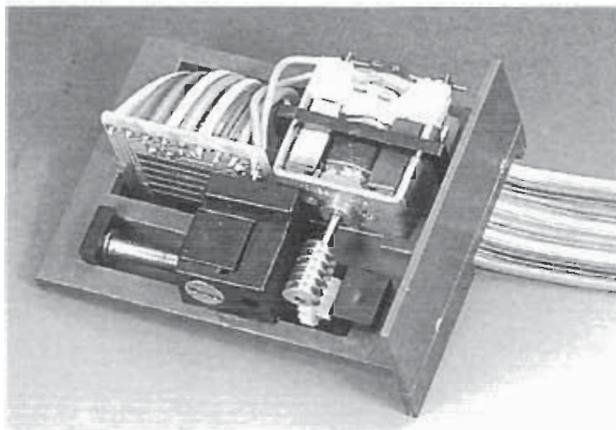


Figura 4.17 El interior de un mecanismo para agujas HO, que también puede utilizarse para agujas N.

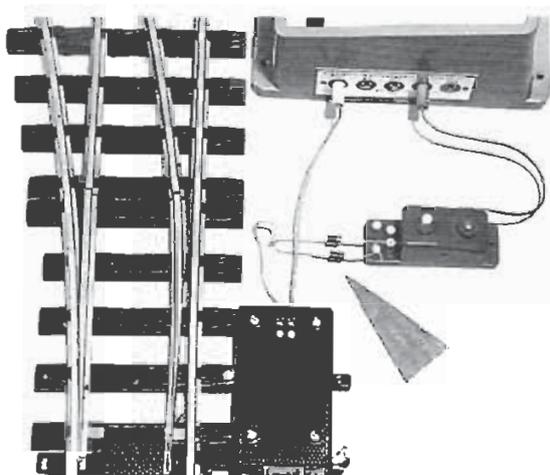


Figura 4.18 Con dos diodos (flecha) se puede controlar el EPL con cualquier panel de control de agujas por menos de 50 pesetas.

El mecanismo motorizado de agujas tiene dos bornes de conexión. El movimiento de las agujas se consigue mediante la inversión de los polos de la corriente continua que llega —exactamente igual que el cambio en el sentido de la

marcha en el motor de corriente continua de la locomotora—. Con dos diodos se puede utilizar el panel de control habitual para las maquetas de ferrocarril, es decir, dos pulsadores para el control del motor de agujas. Los diodos tienen que estar polarizados de forma diferente de manera que, dependiendo de la pulsación, llegue al motor de agujas la semionda positiva o la negativa de la tensión alterna.

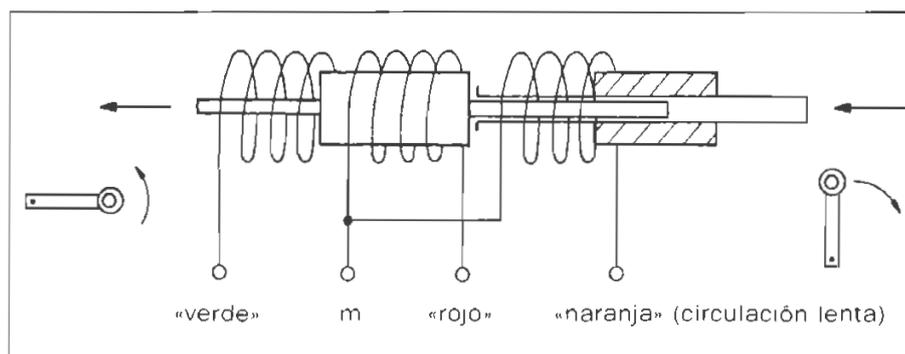
Con unos circuitos de diodos muy bien pensados se puede engañar a los interruptores de apagado final, de tal manera que el mecanismo sólo pueda funcionar en la posición opuesta. La figura 4.16 muestra el funcionamiento interior de un mecanismo de agujas.

En lo que a la mecánica se refiere, el mecanismo de agujas motorizado no se puede «conectar tan fácilmente» como el mecanismo de dos bobinas. Dadas sus dimensiones, es lógico que se tenga que conectar por debajo de la maqueta.

Un nuevo giro para el tren del jardín

Con el nombre EPL existe desde hace poco un nuevo mecanismo de agujas de LGB que debe ser controlado como un motor de agujas, es decir, con corriente continua de diferente polarización según el sentido de conmutación. La mecánica está dispuesta de tal manera que la armadura sólo necesita dar apenas medio giro para alcanzar, mediante la rueda de engranaje y la barra

Figura 4.19 El mecanismo de una señal con dos brazos no acoplados.



dentada, la posición de cambio necesaria de los espadines de aguja. Con ello, se puede hacer que el imán permanente pueda girar y la bobina quede desconectada, al contrario que con los habituales motores de corriente continua. Cuando se cambia la dirección del campo magnético haciendo una inversión de polos de la corriente en la bobina, la armadura de imán permanente también gira. Si la bobina no tiene corriente, su campo magnético mantiene fija en su posición actual la armadura como si fuera un muelle.

El EPL (del alemán, mecanismo lineal polarizado eléctricamente) resiste bien la corriente permanente gracias a una toma de corriente reducida (250 mA). El control puede realizarse con dos diodos como en el motor de agujas de la figura 4.16; no se necesita comprar de forma inmediata el caro panel de control especial para LGB.

Si se acabara imponiendo el EPL en anchos de vía pequeños, estaría colocado, en todo caso, por debajo de la maqueta, ya que no sería posible un modelo lo suficientemente plano y estrecho.

Sobre tres vías

Hasta ahora sólo se habían tomado en consideración agujas sencillas. Las agujas de cruce doble, más complicadas en su mecánica, se comportan eléctricamente del mismo modo. También disponen de un único mecanismo de dos bobinas. Un poco diferente se comportan las agujas de tres vías simétricas que disponen de dos mecanismos de dos bobinas. Desde la posición «girar a la izquierda» no se puede cambiar directamente a la posición «girar a la derecha». Entre ellas, primero se ha de accionar la posición «recto» para evitar una mezcla de espadines. Un caso típico donde es muy necesario el testigo de control.

Un caso especial son las señales con dos brazos que pueden tomar las posiciones de «paro», «vía libre» y «circu-

lación lenta». Para ello, necesitan un mecanismo de tres bobinas en el que la tercera bobina controla el brazo inferior que está en la posición vertical de «paro». Su armadura no está empalmada fijamente a la armadura del mecanismo de dos bobinas de al lado, pero la desplaza de tal manera que la paleta superior también se mueve. Cuando se da la orden de «paro» la armadura de la doble bobina empuja la armadura de la tercera bobina a su posición de salida.

Resumen:

La mayoría de señales y agujas tienen un mecanismo de dos bobinas en el que la armadura móvil, entre las dos bobinas se mueve de un lado a otro. Debido a las elevadas corrientes, las bobinas deben quedar desconectadas rápidamente, para evitar que se quemen. Muchos mecanismos de dos bobinas realizan esta función de forma automática mediante un dispositivo de apagado final. Muchas agujas y sus mecanismos permiten funciones adicionales de conmutación para desconectar segmentos de vía, para mejorar la toma de corriente y para el testigo de control de la posición de las agujas en el panel. Las agujas y los brazos de las señales también pueden moverse lentamente con motores eléctricos mediante cremalleras de rosca siguiendo fielmente el modelo de tamaño real. Cargan al transformador mucho menos que los impulsos de corriente de los mecanismos de dos bobinas, aunque también son más difíciles de acoplar. Las señales luminosas son mucho menos complicadas que las señales mecánicas, ya que sólo se necesita conectar y desconectar la bombilla correcta. La influencia sobre el control del tren sólo puede llevarse a cabo mediante el interruptor correspondiente situado en el panel de control.

5 Electrónica: diodos

Con el diodo dejamos la sección clásica de electrónica, y es que el diodo de cristal semiconductor es una pieza electrónica. Es un elemento imprescindible y que se emplea en grandes cantidades para todos los ferrocarriles que funcionan con corriente continua. Su función principal para el modelismo de ferrocarriles consiste en la obtención de tensión continua a partir de tensión alterna. Con la ayuda del diodo se pueden aprovechar las grandes ventajas que ofrece el funcionamiento con corriente continua; por tanto, el modelista de trenes debería estar familiarizado con sus características y usos.

El diodo como interruptor electrónico

Se ha renunciado a una explicación detallada del mecanismo de flujo de la corriente en materiales semiconductores, ya que no es el objetivo de esta introducción. En un próximo volumen de esta serie se ofrecerá amplia información; aquí sólo se describirá su comportamiento.

El diodo hace las funciones de una válvula. La propiedad básica que le distingue de las demás piezas vistas hasta ahora es que su valor eléctrico característico depende del sentido de la corriente y la tensión. Su resistencia es cero o infinita dependiendo del sentido de la corriente, por lo que podemos utilizar el diodo como un interruptor. Si la tensión U_d en el diodo es mayor que cero, es decir, la toma marcada con la A (ánodo) frente a la marcada con la K (cátodo) es positiva, el interruptor se cierra $U_d = 0$, circula una corriente $I = U/R$. Si se in-

vierten los polos en la fuente de tensión, $U_d = -U$, el interruptor se abre, por lo tanto, $I = 0$.

En las maquetas de ferrocarril accionadas con corriente continua, hay una relación clara entre la polaridad de la tensión de tracción y el sentido de la marcha (ver figura 2.7). Con ayuda de diodos se puede tener un control sencillo del tren que depende del sentido de la marcha; esto queda explicado en el ejemplo del paro automático de los trenes delante de las señales que prohíben el paso.

Las señales mecánicas (señales de brazos) se mueven mediante un meca-

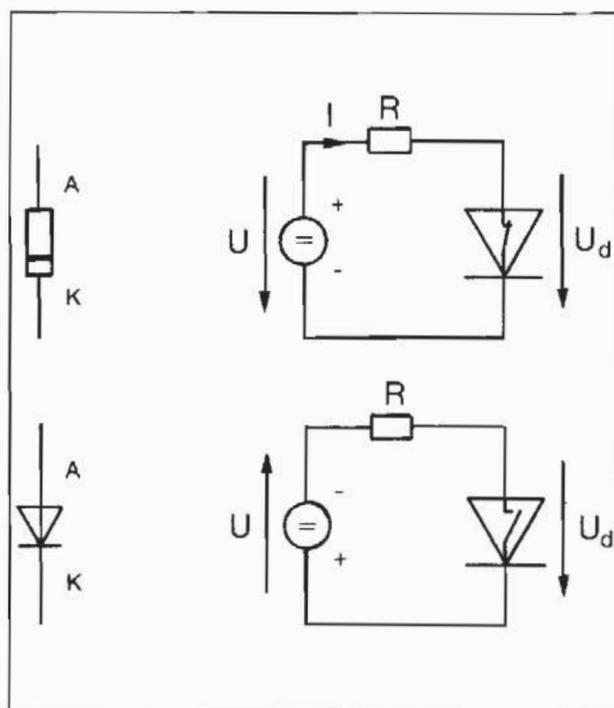


Figura 5.1 Forma, símbolo y esquemas de funcionamiento y equivalente sencillo (interruptor) de un diodo.

nismo electromagnético de dos bobinas, que también acciona el interruptor S.

Cuando la señal prohíbe el paso, el interruptor está abierto, cuando hay vía libre, cerrado. A la altura de donde está situada la señal, el raíl derecho está aislada unos 30 cm mediante dos zonas de separación (ver figura 2.8). Este segmento no tiene tensión cuando la señal prohíbe el paso (S abierto), de tal manera que un vehículo se detiene automáticamente una vez haya entrado por completo en esta zona.

Por desgracia, ocurre lo mismo si el tren se acerca a la señal desde un sentido de la marcha para el que ésta no tiene vigencia (en la figura superior es el sentido de derecha a izquierda). El diodo D proporciona una solución de una forma sencilla: hace de puente para el interruptor S, ya que la corriente puede pasar por el diodo. En la dirección opuesta, sentido de la marcha de izquierda a derecha, la tensión de tracción está polarizada de tal manera que actúa como tensión de bloqueo, por lo que ni por el interruptor ni por el diodo circula corriente y, por lo tanto, tampoco por el segmento de vía aislado. Se puede fijar directamente el diodo al interruptor de la señal, o también hacer un puente con él en una de las zonas de separación de la vía.

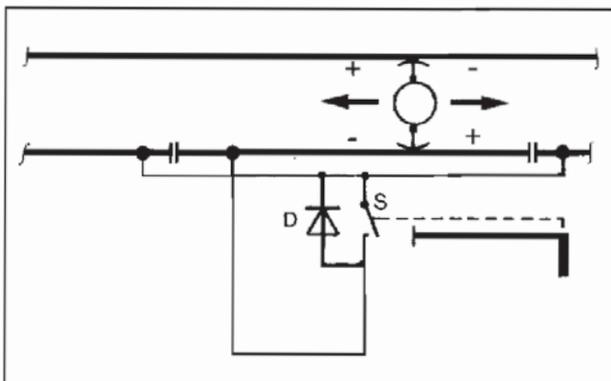


Figura 5.2 Influencia sobre el control del tren dependiente del sentido de la marcha delante de una señal.

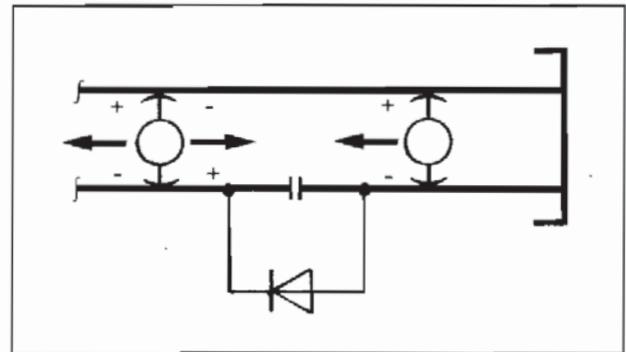


Figura 5.3 Dispositivo de protección para vía muerta o para tope fijo.

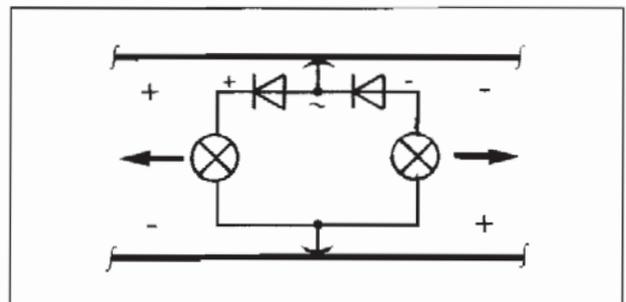


Figura 5.4 Circuito para la iluminación de los extremos de locomotoras y vagones de mando.

El circuito es sencillo y elegante, pero desgraciadamente presenta un pequeño fallo: cuando se invierte la polaridad de la tensión de tracción para accionar otro tren, el que está en la sección de paro delante de la señal se pondrá en marcha en la dirección opuesta. Si se diera esta situación, se ha de recurrir a un circuito de los que se utilizan en el funcionamiento con corriente alterna (ver capítulo 8).

Si en el circuito de la figura 5.2 se sustituye el interruptor S por una resistencia, se obtiene el circuito de la figura 1.13 ampliado con un diodo. Este circuito servía para la reducción de la velocidad de marcha, por ejemplo en trazados con desnivel. Con la ayuda del diodo es posible ahora circular con toda la tensión sobre trayectos ascendentes de una vía, mientras que la tensión y la ve-

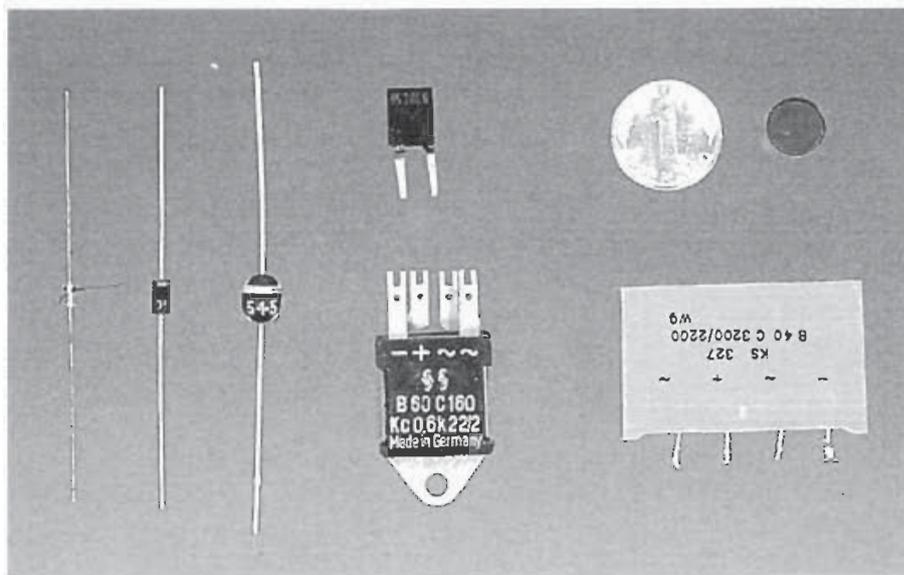


Figura 5.5 Diodos y rectificadores.

locidad se reducen automáticamente cuando se está descendiendo.

En los vehículos que funcionan con tensión alterna, los circuitos de control del tren dependientes del sentido de la marcha son mucho más complicados (ver figura 8.24). La figura 5.3 muestra otro circuito sencillo para trenes que funcionan con tensión continua. En vías muertas trabaja como un tope eléctrico fijo. En la sección de vía entre el tope fijo (verdadero) y la zona de separación sólo permite la marcha en el sentido que se aleja del tope fijo. De esta figura también se puede deducir que, en las convenciones acordadas, existe una sencilla relación entre el sentido de la marcha y la polaridad del diodo: ¡su símbolo apunta hacia el sentido de la marcha!

A menudo, la iluminación de los vehículos que funcionan con corriente continua cambia automáticamente con el sentido de la marcha; de no ser así, se puede conseguir con un sencillo dispositivo. Los dos diodos necesarios suelen estar unidos en una pieza cuyas tres tomas tienen la designación que se muestra en la figura 5.4. El circuito se designa como circuito de punto central. En la figura 5.5 se puede ver un elemento extraído de un vehículo de gran serie, así

como una selección de diodos y rectificadores para el modelo ferroviario.

Un campo de aplicación de los diodos que no se limita sólo a los ferrocarriles de corriente continua, es la reducción de la tensión de tracción en el propio vehículo. En el funcionamiento con tensión de tracción fija, algo habitual en el funcionamiento automático, la diferencia apreciable en la velocidad de dos locomotoras con igual tensión resulta bastante molesta. Una solución podría ser la incorporación de una resistencia limitadora R ; sin embargo, será relativamente grande para la potencia necesaria (aproximadamente 1-2 W). Además, la caída

de tensión en la resistencia R cuando se está descendiendo se reduce automáticamente cuando se está descendiendo.

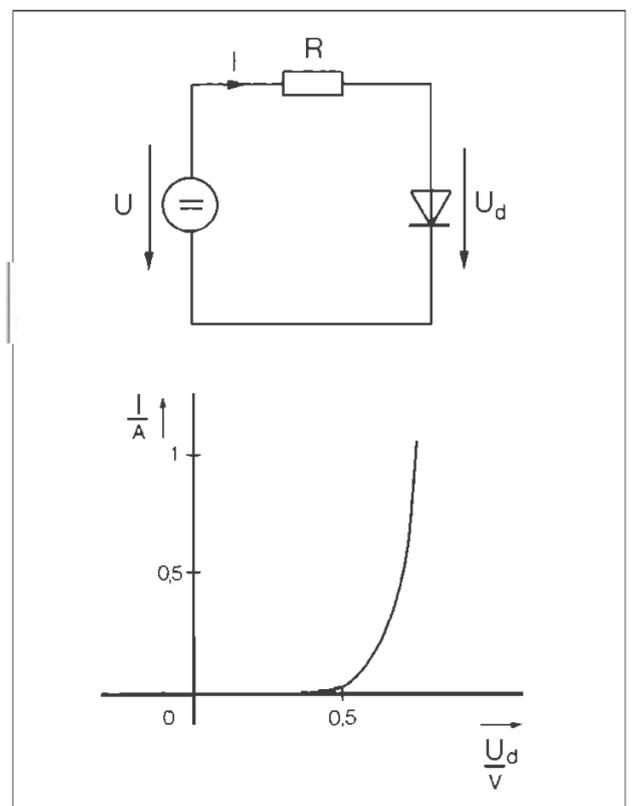


Figura 5.6 Circuito y curva característica del diodo

de tensión eficaz depende de la carga ($U = R \cdot I$). Por ello, lo más apropiado son los diodos que no muestran (casi) esta dependencia. Para poder entender esto, hay que analizar mejor el esquema de conexiones equivalente.

Si en un circuito en serie que se componga de un diodo y una resistencia R para la limitación de la corriente, se aplica una tensión continua variable U , y se miden tanto la corriente I como la caída de tensión U_d en el diodo, se obtiene la curva de la figura 5.6 (abajo). Con tensión negativa ($U_d < 0$), su trayecto corresponde al comportamiento conocido de un interruptor, ya que, independientemente de la tensión, vale: $I = 0$. Sin embargo, con tensión positiva se puede observar un efecto hasta ahora no conocido. Si el diodo fuera un interruptor ideal, éste debería cerrar en el caso de que U_d fuera mayor que cero, y la corriente no podría generar ninguna caída de tensión U_d . No obstante, en la realidad, la corriente sólo comienza a circular cuando la tensión ha alcanzado unos 0,5 V aproximadamente, pero entonces sube de forma muy vertical. Esta subida tan pronunciada de la curva significa, por otra parte, que la caída de tensión en un diodo apenas depende de la corriente.

La magnitud U_d , llamada tensión directa, es uno de los tres valores importantes de un diodo. Su valor para los diodos de silicio, que son los que se emplean exclusivamente en el modelo ferroviario, es de 0,5 a 0,8 V. Otro valor es el de la corriente directa admi-

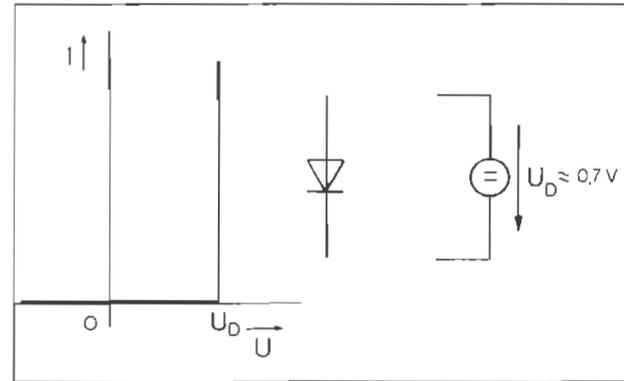


Figura 5.7 Curva y esquema de conexiones equivalente de un diodo (aproximación).

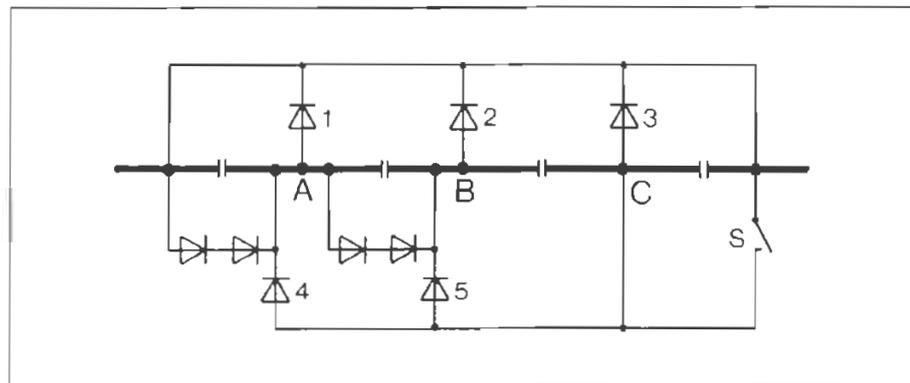


Figura 5.8 Disminución escalonada de la tensión de tracción con diodos.

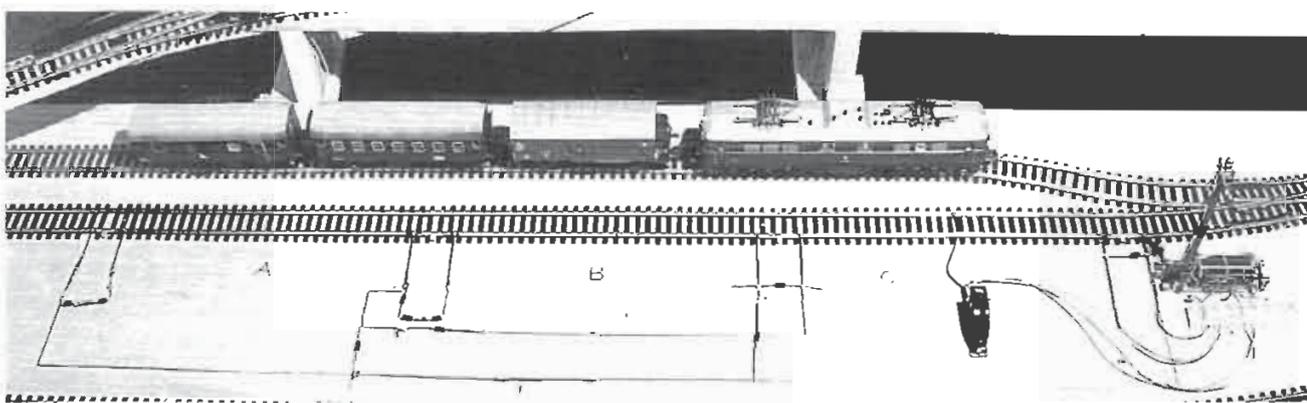


Figura 5.9 El circuito construido según el plano de arriba delante de una señal principal con accionamiento in situ.

sible I , ya que las pérdidas que se generan en el diodo

$$P_v = U_d \cdot I$$

no pueden superar determinados valores, válidos según el tipo, y tienen como misión evitar un fuerte calentamiento y, con ello, la destrucción de la pieza. Para finalizar, hay que nombrar la tensión que puede haber como máximo en el sentido de bloqueo sin que se produzca una descarga, se la designa como tensión de bloqueo máxima. En las listas de productos hay que elegir los diodos en función de la tensión de bloqueo admisible (100 V o más) y de la intensidad de corriente máxima.

Por lo tanto, en los diodos y en las resistencias se produce una caída de tensión si a través de ellos circula corriente. En una resistencia óhmica R la caída de tensión depende de la corriente I : $U = R \cdot I$, el sentido de la corriente en este caso es indiferente. Por otro lado, en el diodo aparece, sólo en el sentido directo, una caída de tensión que casi no depende de la corriente: $U = U_d = 0,7 \text{ V}$; en sentido de bloqueo el diodo actúa como un interruptor. A igual corriente y caída de tensión, las potencias de disipación en ambas piezas son naturalmente las mismas.

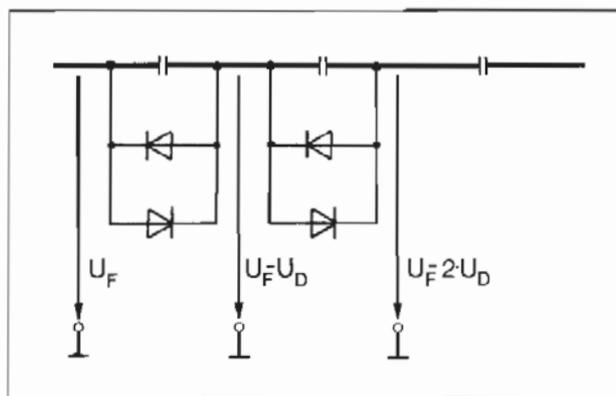


Figura 5.10 Disminución de la tensión mediante diodos en conexión antiparalela y alimentados con corriente alterna.

Si se conectan varios diodos en serie, se multiplica la caída de tensión resultante, en un circuito en serie de por ejemplo cuatro diodos, una bajada de tensión de

$$U = 4 \cdot U_d = 4 \cdot 0,7 \text{ V} = 2,8 \text{ V}.$$

Se puede aprovechar esta circunstancia para disminuir paulatinamente la tensión delante de un segmento de vía que no tiene corriente porque una señal obliga a detenerse. En la figura 5.8 está representado el circuito correspondiente, para facilitar una perspectiva general no se ha dibujado la vía que sirve de cable de retorno común y que queda a la izquierda mirando en el sentido de la marcha. Delante del verdadero segmento de paro C se han añadido otros dos tramos de separación A y B . Con el interruptor de la señal abierto, el primer tramo de separación está alimentado con una tensión

$$U_A = U_F - 2 \cdot U_d = U_F - 1,4 \text{ V}.$$

Con esta tensión menos otras dos tensiones mínimas directas U_d , se alimenta el segmento B :

$$U_B = U_A - 2 \cdot U_d = U_F - 2,8 \text{ V}.$$

Con una tensión de, por ejemplo, 7 V serían todavía $U_B = 4,2 \text{ V}$. Los diodos 1,

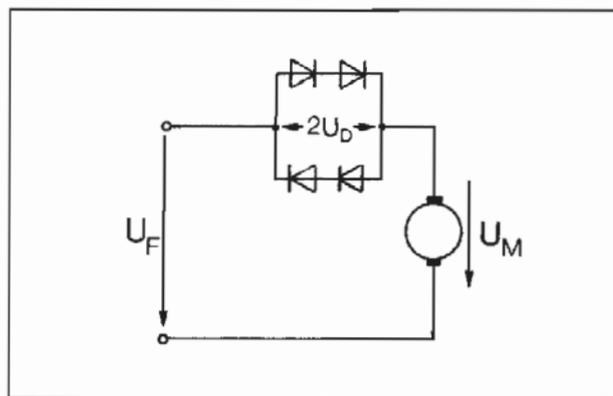


Figura 5.11 Disminución de tensión en el motor de tracción: $U_M = U_F - 2 \cdot U_D$.

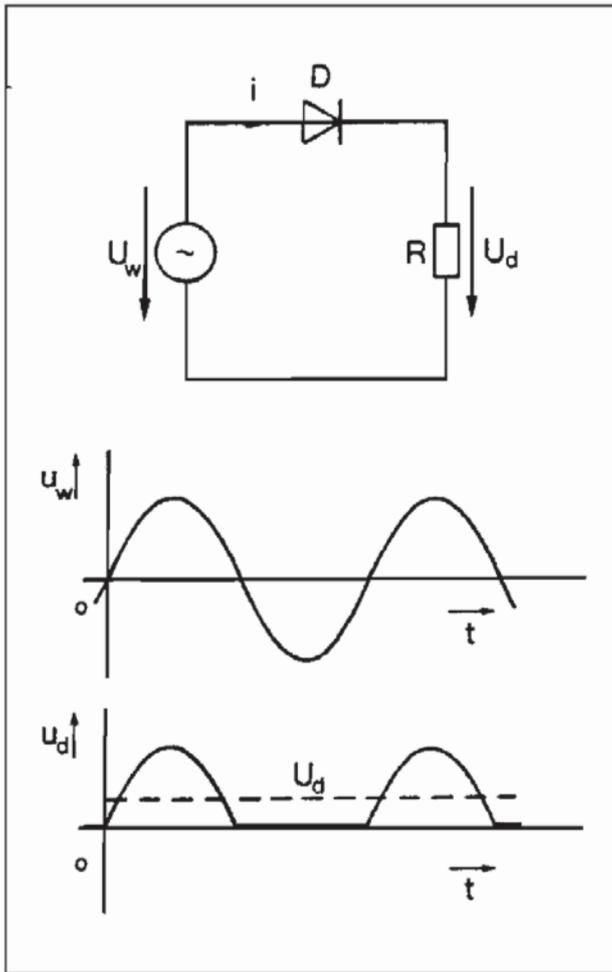


Figura 5.12 Rectificador de semionda: circuito y trayecto temporal de las tensiones ($U_d =$ valor medio de la tensión rectificada).

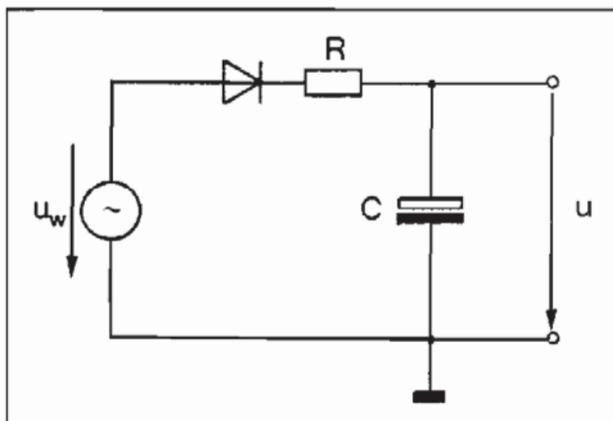


Figura 5.13 Rectificador de semionda para la alimentación de un circuito de protección de bobinas.

2 y 3 tienen la función de alimentar, cuando el sentido de la marcha es opuesto, el segmento de vía con la tensión $U_F = 0,7$ V, que ahora se ha reducido de forma insignificante. Los diodos 4 y 5 evitan que la disminución escalonada de tensión sea efectiva cuando la señal muestra vía libre (S cerrado).

En trazados con desnivel de pendientes distintas, se puede recurrir al mismo principio. Si la tensión de tracción es alterna, hay que unir los diodos en una conexión antiparalela; la dependencia del sentido ya no tiene efecto (ver figura 5.10).

Se puede ocultar todo el circuito debajo de la superficie sin ninguna dificultad.

Como ya se ha dicho anteriormente, se puede utilizar el efecto de los diodos para igualar las diferentes velocidades de marcha de las locomotoras. En este sentido, en aplicaciones con corriente continua también se han de utilizar diodos conectados de forma antiparalela, a no ser que se quiera hacer que la disminución de la tensión del motor dependa del sentido de la marcha.

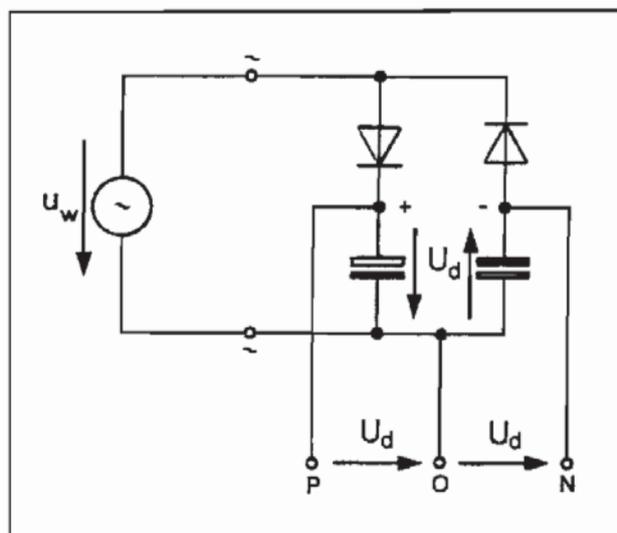


Figura 5.14 Rectificador de tensión alterna (fuente de tensión bipolar) en circuito de doble onda.

Desgraciadamente, no existen normas generales para la colocación de los circuitos, o para el número de diodos que deben ir conectados en serie. Como en el caso de las resistencias limitadoras, se han de ir haciendo pruebas con el vehículo que se vaya a utilizar.

Los diodos en circuitos de corriente alterna

Como ya se ha explicado al principio, el campo de aplicación principal de los diodos es la utilización como rectificadores de tensiones alternas. La figura 5.12 muestra el circuito rectificador más sencillo y el trayecto temporal de la tensión alterna u_w y la tensión rectificada u_d . Cuando la tensión alterna es mayor que cero, el diodo deja pasar la corriente; si es negativa, el diodo la bloquea. Entonces no circula ningún tipo de co-

rriente por la resistencia y la caída de tensión es nula. Si la tensión en la resistencia es siempre mayor o igual a cero, entonces sólo tiene una polaridad, y, por lo tanto, se trata de tensión continua. No obstante, se diferencia de una tensión continua pura (ver figura 2.1a) porque no es constante en el tiempo. Esto no es necesario en las aplicaciones electrónicas del modelismo ferroviario, en el apartado sobre motores de tracción, incluso se muestra que un funcionamiento con tensión continua pulsatoria puede ser positivo para la respuesta del mecanismo.

Una desventaja del circuito llamado rectificador de semionda es el aprovechamiento limitado de la tensión alterna. El valor medio de la tensión rectificada es de solamente

$$U_d = \frac{2}{\pi} U_w = 0,46 U_w$$

(U_w : valor eficaz de la tensión alterna).

Se puede emplear el circuito rectificador de semionda para alimentar un circuito de protección para el mecanismo de bobinas (capítulo 3).

Durante la semionda positiva de la tensión alterna, el condensador se carga con su valor máximo; en el caso ideal ahora el valor medio de la tensión rectificada es de

$$U_d = \sqrt{2} U_w.$$

Se puede considerar también la tensión directa U_D del diodo también con una reducción de 0,7 V, para

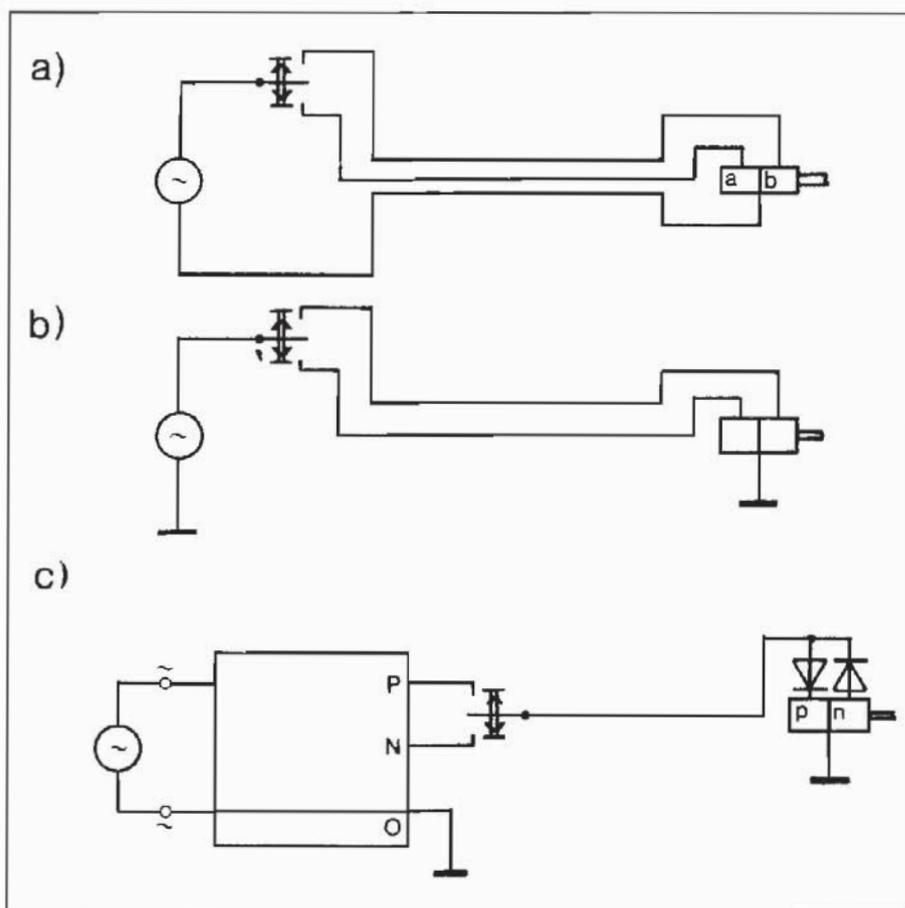


Figura 5.15 Conexión de mecanismos de dos bobinas.

$U_w = 14 \text{ V}$ sería entonces de:

$$U_d = \sqrt{2} \cdot 14 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 19,2 \text{ V}.$$

Frente al circuito rectificador de semionda (figuras 5.4 y 5.5), el circuito de doble onda tiene el doble de diodos. Su comportamiento queda reflejado en la figura 5.14. Un polo de la fuente de tensión continua (transformador) está conectado con la entrada del circuito de doble onda, cuyas sali-

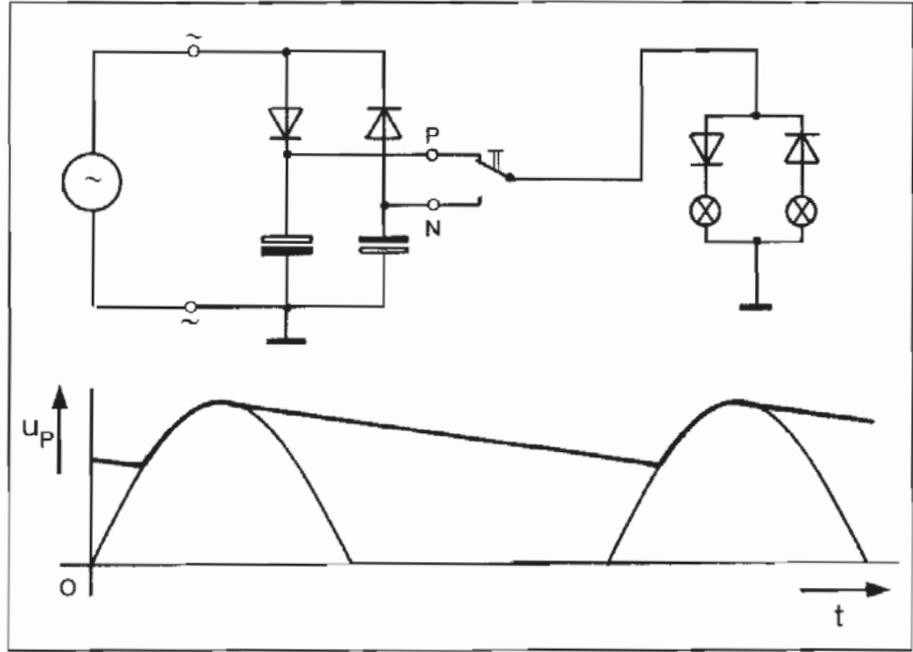


Figura 5.16 Conexión de una señal luminosa con alimentación unipolar.

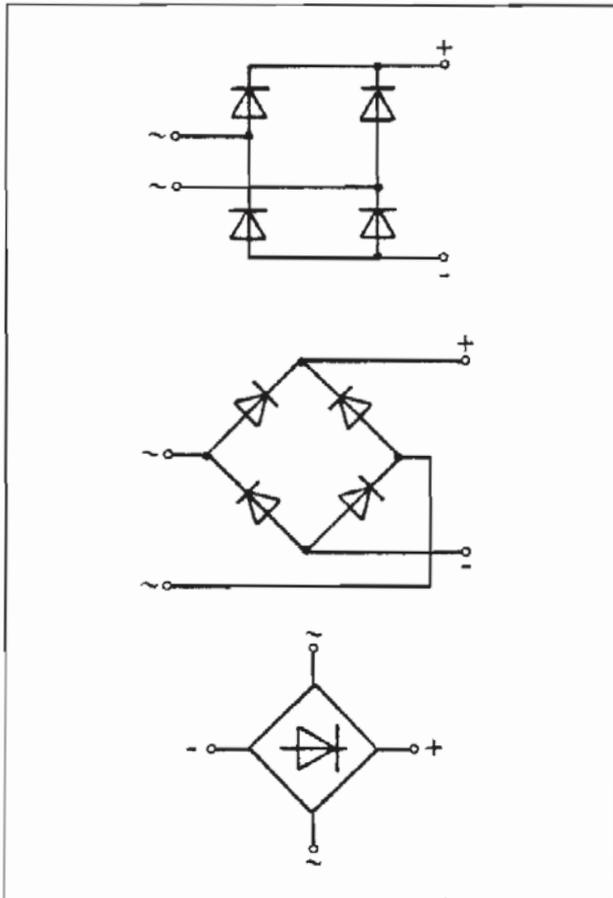


Figura 5.17 Rectificador en circuito puente: dos de las múltiples variantes de esquemas de conexiones y su símbolo.

das, por una parte, están conectadas con el condensador electrolítico polarizado de forma correspondiente, pero, por otra, también forman las salidas del circuito (P, N). La toma de los otros polos del condensador electrolítico cierra los circuitos eléctricos, que básicamente no son otra cosa que la conocida rectificación de semionda.

En condiciones ideales, ambos condensadores se cargan con la tensión $U_d = \sqrt{2} U_w$ de tal manera que entre los puntos P y N del circuito se obtiene una tensión U_{PN} de

$$U_{PN} = 2 U_d = 2 \sqrt{2} U_w;$$

de este modo, la tensión de salida, en comparación con la rectificación de semionda, se ha doblado; por esta razón este circuito también recibe el nombre de circuito doblador de tensión. Este circuito se puede utilizar para generar el impulso de sobretensión para el relé de conmutación de las locomotoras de corriente alterna si en un equipo circulan vehículos a corriente continua y alterna, y la alimentación sólo tiene lugar desde

un panel de control de corriente continua. A veces, también se incorporan los enganches *telex* (de la empresa Märklin) en las locomotoras de corriente continua, pueden, asimismo, ser alimentados con el circuito descrito.

Funcionamiento con corriente continua para mecanismos con bobinas

El mismo circuito también puede utilizarse de forma eficaz en otra función: normalmente, en la conexión habitual del mecanismo de dos bobinas van tres cables del panel de control al consumidor (ver figura 5.15).

Mientras el pulsador, al presionarlo, cierra uno de los dos contactos, una de las bobinas de accionamiento está conectada a la fuente de tensión alterna; el mecanismo conecta y mueve una aguja o cambia una señal.

Si se tiene un equipo con un cable de retorno común, se suprime uno de los tres cables (b). Si se utiliza un circuito

como el de la figura 5.14 se puede suprimir otro cable, aunque entonces se ha de conectar un diodo delante de cada bobina. Si se presiona el pulsador, éste conecta el borne P con el cable de alimentación para el accionamiento. Sólo se activa la bobina p, ya que el punto P tiene frente al neutro (masa) una tensión positiva U_d . Por otro lado, el punto N es negativo frente al cable de retorno común, de tal manera que al cerrar el contacto N es la bobina n la que se activa.

Por lo tanto, es posible colocar un mecanismo de dos bobinas con un solo cable de alimentación. Así, nos podemos ahorrar varios metros de cable, aunque tiene un coste adicional en diodos en el mecanismo; en lo que al precio se refiere, unos dos metros de cable equivalen a los dos diodos. Finalmente, esta medida es de gran ayuda para reducir el lío de cables por debajo del tablero y así simplificar la construcción y la búsqueda de averías. Si, además, se añade en el circuito una resistencia entre la fuente de tensión alterna y el polo \sim del rectificador, se obtiene a la vez el circuito de protección de la figura 3.20, que evita una sobrecarga de las bobinas.

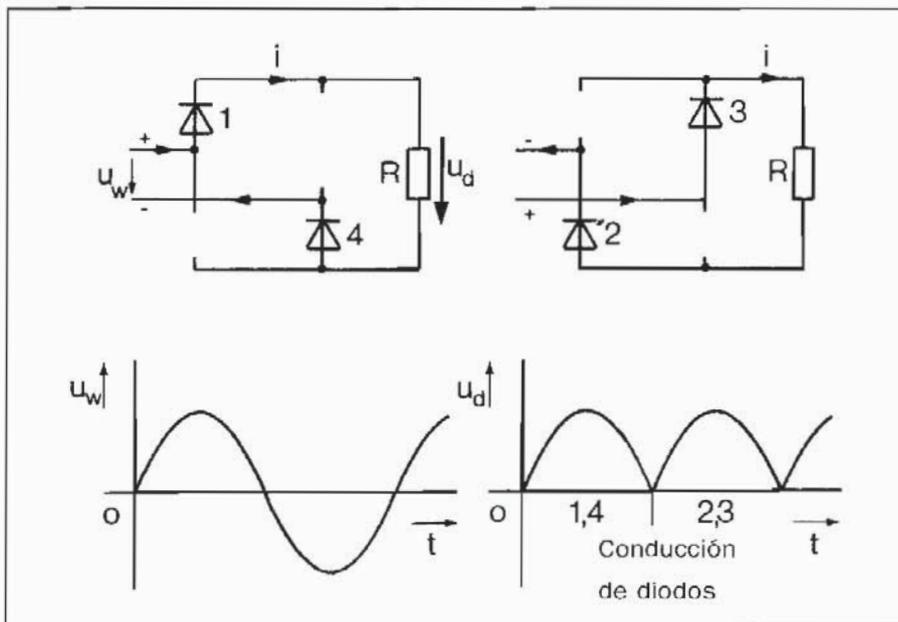


Figura 5.18 Circuito puente: esquemas de conducción de los diodos y trayecto temporal de las tensiones.

A la hora de colocar el circuito, la carga es determinante. En los mecanismos de bobinas pequeñas, con un consumo reducido, basta con la energía acumulada en un condensador electrolítico de $1.000 \mu\text{F}$ para asegurar el accionamiento. Aquí, se necesita una resistencia limitadora relativamente alta (180Ω), ya que estos mecanismos sólo aguantan corrientes permanentes reducidas. Si hay varios de estos mecanismos conectados en paralelo (calle de cambios) o si se tra-

ta de un mecanismo para anchos de vía grandes, hay que seleccionar un condensador mayor (hasta 4.700 μF). La resistencia de protección también puede ser de menor valor (47 Ω) de tal manera que sean efectivos, para ambos elementos RC, en las mismas constantes de tiempo. Con la ayuda de diodos luminosos se puede dotar al circuito de una señal que muestre su disponibilidad (ver capítulo 11).

Naturalmente, el número de cables también puede reducirse al incorporar consumidores que están conectados permanentemente a la fuente de tensión, como por ejemplo una señal luminosa. Entonces los condensadores se descargan a través de la bombilla cuando el valor temporal de la tensión alterna es menor que la tensión del condensador. Así, también el valor medio U_d de la tensión rectificadora disminuye; en caso extremo incluso se puede prescindir completamente del condensador y quizá se obtenga así una intensidad de luz de los faroles de señal fiel al del modelo real. Entonces el trayecto de la tensión corresponde al que muestra la figura 5.12 (funcionamiento con semionda).

El denominado circuito de puente, que se compone de cuatro diodos, se utiliza más que los circuitos rectificadores que hemos visto hasta ahora.

El circuito de puente es un rectificador con el que es posible utilizar las dos semiondas de una tensión alterna para formar corriente continua. El valor medio de la tensión rectificadora es por tanto dos veces mayor que el del rectificador de una semionda:

$$U_d = 2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_w = 0,91 U_w.$$

Si se tiene en cuenta la influencia de la tensión directa del diodo, hay que restar $2 U_D = 1,4 \text{ V}$.

Normalmente, no se construyen circuitos en puente con piezas sueltas, sino que se suelen comprar como piezas únicas (ver figura 5.5). En las cápsulas se pueden encontrar datos sobre la carga tolerable en forma de inscripciones del tipo B 40 C 5.000/3.000. La primera letra designa el tipo de circuito (B = circuito puente, M = circuito de punto central), la primera cifra el valor eficaz de la tensión alterna de entrada tolerable (tensión nominal de la toma). La letra C nos dice que el rectificador puede conectarse con un condensador, aunque lo más importante son el par de cifras del final. Designa la corriente continua tolerable (corriente continua nominal) en mA cuando se monta la pieza sobre una lámina de refrigeración y sin ella. Las cifras dadas a modo de ejemplo más arriba describen, por lo tanto, un puente rectificador que, conectado a una tensión alterna máxima de 40 V, y sin disposiciones especiales, podría proporcionar una corriente continua de 3,3 A.

Resumen:

Los diodos son interruptores electrónicos cuya conmutación depende del sentido de la tensión aplicada. Sus aplicaciones son tantas que acostumbran a ser, junto con los interruptores mecánicos, las piezas más utilizadas en muchos equipos. Por poco dinero permiten una construcción más eficaz con circuitos más sencillos.

6 Mecánica: interruptores y pulsadores

Los interruptores y los pulsadores son aparatos eléctricos de conmutación que tienen como finalidad cerrar o abrir circuitos de corriente. Sin ellos, el funcionamiento del equipo de modelismo ferroviario es imposible, ya que permiten el movimiento de agujas y señales y la conexión, desconexión o conmutación de segmentos de vía. A la multiplicidad de aplicaciones le corresponde una amplia oferta en la que hay que hacer la elección correcta.

Sencillo y complicado a la vez: variedad de funciones y modelos

Mientras que los interruptores, cuando son accionados, permanecen en la nueva posición de conmutación, los pulsadores vuelven a la posición original (posición de reposo). Debido a esta propiedad, se utilizan para el control de consumidores que tienen un funcionamiento de poca duración; un ejemplo tí-

pico para el modelismo de ferrocarriles son los mecanismos de bobinas electromagnéticas sin apagado final. El interruptor S cierra o abre un circuito de corriente cuando es accionado, el pulsador T vuelve automáticamente a su posición de reposo.

Los pulsadores se construyen, sobre todo, como pulsadores de presión, es decir, su accionamiento tiene lugar presionando un botón. Los contactos que cierran con accionamiento se denominan contactos de trabajo, los que abren, contactos de reposo.

Hay muchos modelos de interruptores; se pueden encontrar como interruptores de palanca, de accionamiento longitudinal, de presión y giratorios. Los interruptores de palanca y accionamiento longitudinal, pero en especial los giratorios, se ofrecen con más de dos posibles posiciones de conmutación. Con la combinación de un contacto de trabajo y uno de reposo se obtiene un contacto de conmutación o de cambio.

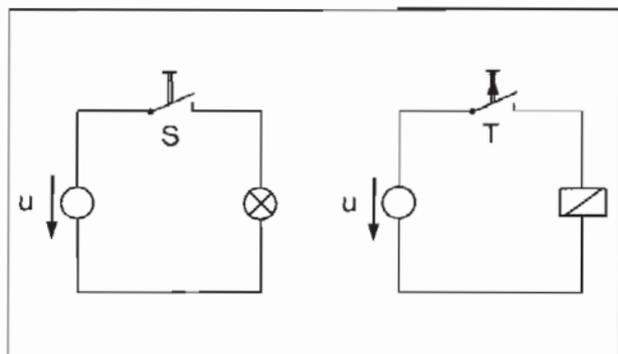


Figura 6.1 Ejemplos típicos para la utilización de interruptores (S) y pulsadores (T) en el modelismo ferroviario.

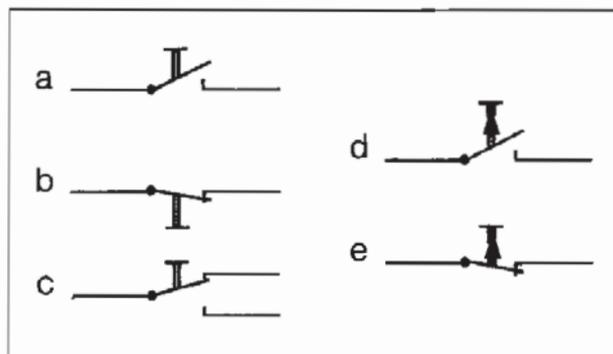


Figura 6.2 Símbolos y denominaciones de interruptores. Interruptores: a) contacto de trabajo, b) contacto de reposo, c) contacto de conmutación; pulsadores, d) contacto de trabajo, e) contacto de reposo

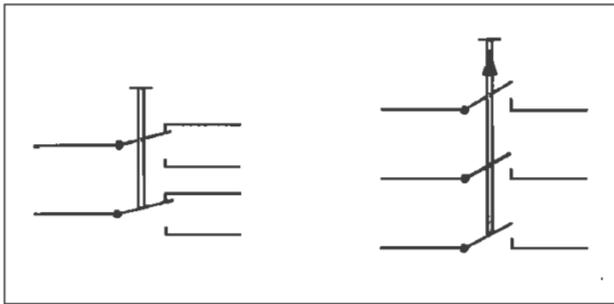


Figura 6.3 Interruptores de varios polos: a) conmutador bipolar, b) pulsador tripolar.

Si se colocan varios contactos separados eléctricamente uno al lado del otro, se habla de interruptores multipolares.

De especial importancia es el conmutador bipolar para los trenes de corriente continua. Se conecta de tal manera que al accionarlo cambia la polaridad de la tensión de tracción en la vía (inversor de polos) y con ello también el sentido de la marcha de los vehículos

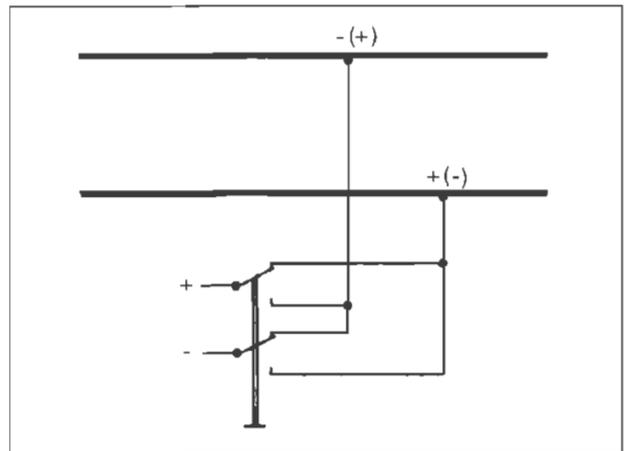


Figura 6.4 Conmutador bipolar como inversor de polos.

motores. Los pulsadores de varios polos son muy apropiados para el control simultáneo de varios mecanismos electromagnéticos, como por ejemplo, para el accionamiento de calles de cambios o de una combinación de mecanismos de señales y agujas.

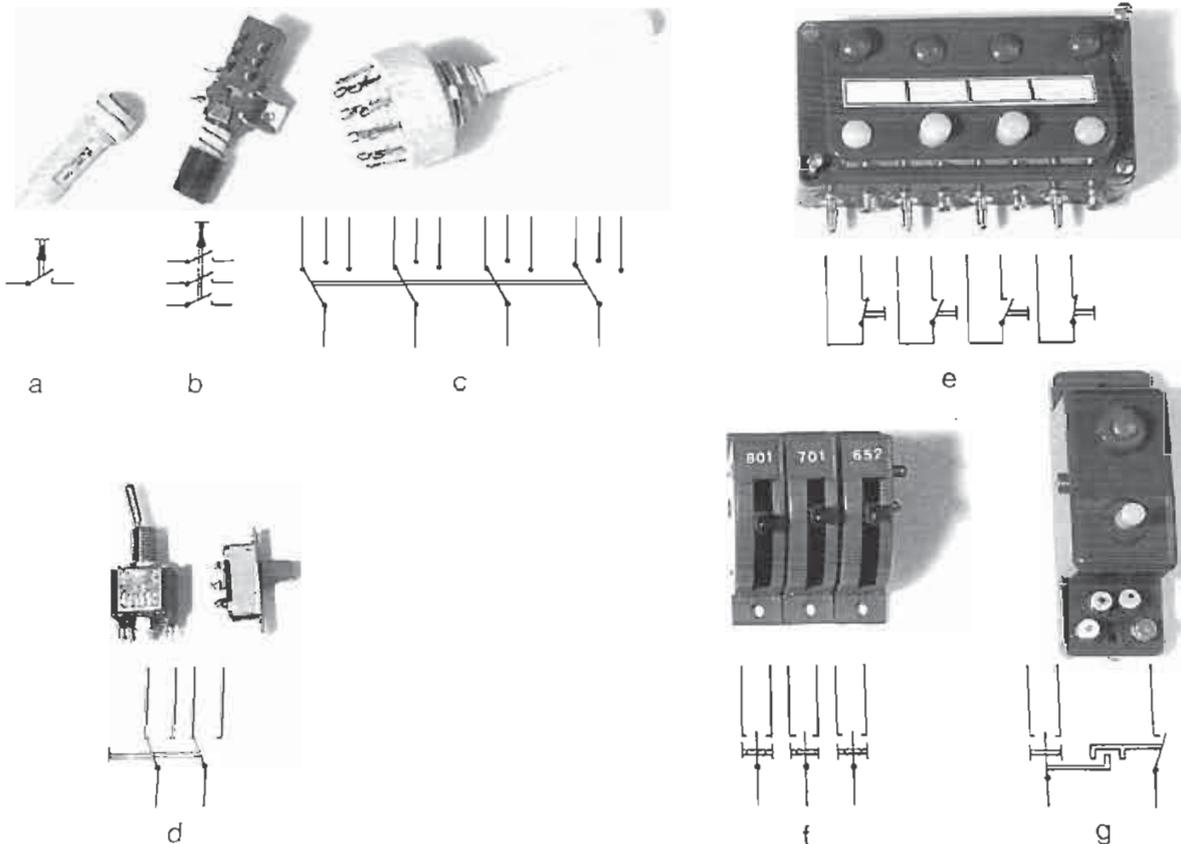


Figura 6.5 Interruptores, pulsadores, inversores y conmutadores para el modelismo ferroviario.

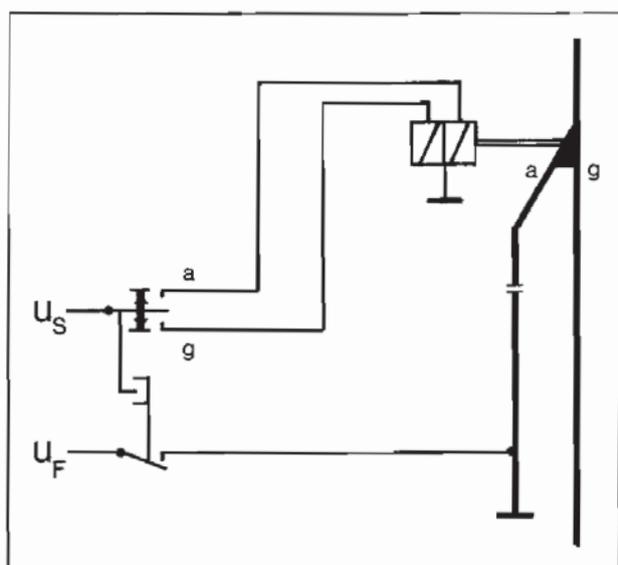


Figura 6.6 Interruptor de función doble: pulsador con contacto de conmutación y contacto de trabajo. La tensión de tracción (U_F) de la vía muerta se conecta dependiendo de la posición de las agujas.

No sólo los fabricantes de maquetas ofrecen interruptores apropiados para el modelismo ferroviario, sino que también se pueden encontrar en el mercado especializado general. Esta clase de artículos se basan, casi exclusivamente, en piezas que están pensadas para el montaje. La toma del cable se realiza con una soldadura. Por tanto, la utilización de estos interruptores exige algún que otro trabajo adicional, pero también permiten el montaje individual de paneles de control y cuadros luminosos de maniobras con una clara disminución de los costes (ver figura 6.5 a-d).

Los interruptores de la maqueta sueltos pueden colocarse en serie. La conexión mecánica genera a la vez una conexión eléctrica. Entonces, la tensión de conmutación U_S sólo debe conectarse una vez. A

menudo también se juntan varios interruptores o pulsadores en una carcasa, esta ordenación se denomina entonces panel de control o de conmutación.

Como en el caso de otras piezas eléctricas, también en los interruptores hay que tener en cuenta valores eléctricos máximos; en este sentido, la corriente tolerable es de especial importancia.

Cuando se compran interruptores que no han sido diseñados especialmente para el modelismo de ferrocarriles hay que fijarse en una capacidad de carga suficiente (aproximadamente 1 A) si no se quiere que los contactos se desgasten demasiado rápidamente.

De la A a la Z: circuitos de corriente de tracción

En la nomenclatura del modelismo ferroviario se distingue entre tres tipos de alimentación de corriente de tracción: el control por desconexión de tramos, el control individual de tramos y el

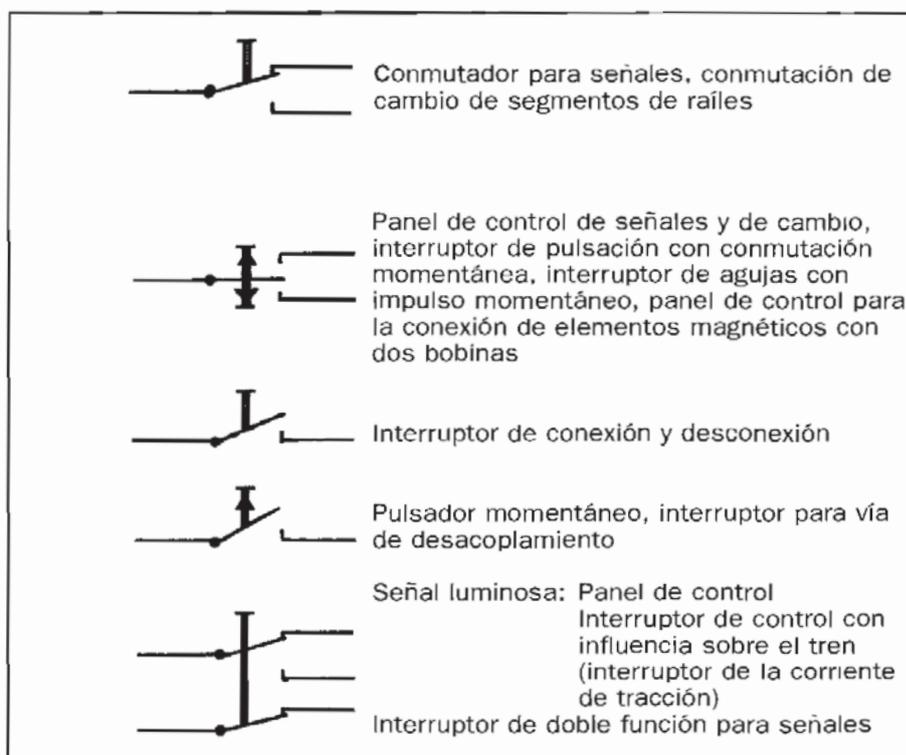


Figura 6.7 Símbolos y denominaciones de interruptores y pulsadores para el modelismo ferroviario.

control individual de trenes. Permiten un funcionamiento con varios trenes bastante discreto si tenemos en cuenta los nuevos controles digitales que empiezan a imponerse en el mercado. Se basan en el principio de la separación de vías en segmentos separados eléctricamente, por lo que no permiten un funcionamiento independiente de dos vehículos motores en un circuito común.

Aun sin conocer el término, el control por desconexión (de tramos) es utilizado por la mayoría de modelistas de ferrocarriles, y es simplemente la utilización de vías desconectables. En la figura 6.8 se ha utilizado el método de la pequeña estación que vimos al comienzo de este volumen. Todas las zonas de separación están colocadas en el raíl que no es utilizado como cable de retorno común.

El control individual de tramos o cantones representa una ampliación del control por desconexión. Se utiliza en las zonas de empalme de dos sectores de vía, que pueden funcionar según el método del control por desconexión. Se encarga de, como mínimo, dos sectores de vía que están separados entre sí eléctricamente y se alimentan de un panel de control propio. De esta manera es posible un funcionamiento independiente de trenes, cuyo número corresponderá al de los sectores de vía y paneles de control individuales. El paso entre los diferentes sectores posibilita un funcionamiento variado.

Los empalmes de vía disponibles se interrumpen en un polo. Cuando una locomotora cambie de un sector de vía a otro, hay que asegurarse de que la tensión de tracción en ambos sectores

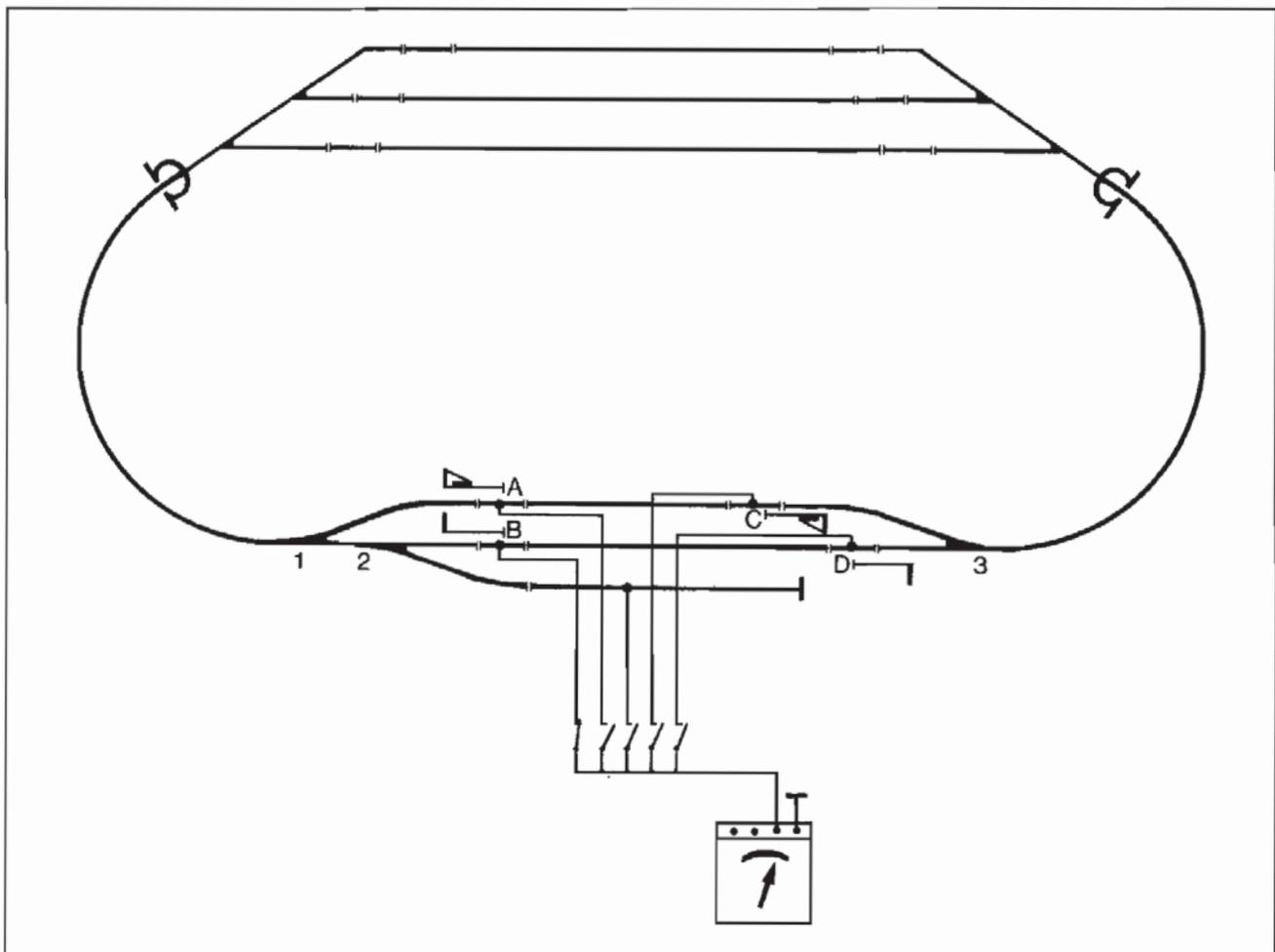


Figura 6.8 Control por desconexión de tramos o cantones.

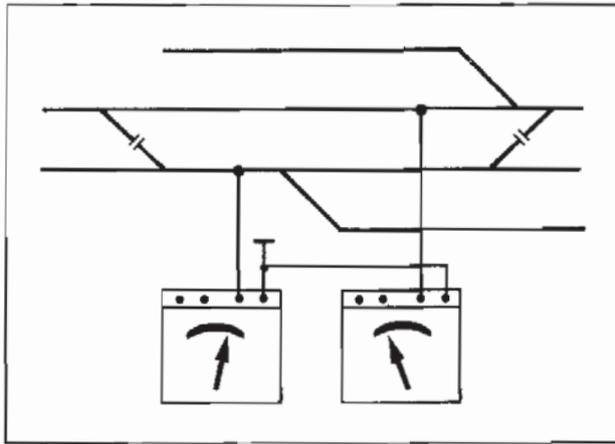


Figura 6.9 Control individual de tramos.

—unidos eléctricamente durante el paso del vehículo— tiene el mismo valor y la misma polaridad. Si no, puede ocurrir que la locomotora vaya adelante y atrás entre ambos sectores de corriente de tracción. Por lo tanto, para el cambio de sector de alimentación, se necesita un instrumento de señalización que indique que las tensiones de tracción son iguales en cuanto a valor y polaridad.

Desgraciadamente, no basta con una bombilla conectada a través de la zona de separación. El motivo son los rectificadores incorporados en el panel de control de corriente continua (ver figura 9.13). La so-

lución es utilizar diodos luminosos en vez de bombillas; la figura 6.10 muestra el circuito correspondiente. Su función queda clara con las explicaciones sobre diodos luminosos del capítulo 11. Se recomienda la utilización de un diodo de luz verde, ya que es especialmente apreciable. Las resistencias ($1\text{ k}\Omega$) conectadas en paralelo a las fuentes de tensión de tracción hacen un puente entre éstas para reducir la corriente que circula por los diodos luminosos (máximo 30 mA) sin cargar los circuitos de corriente de tracción de forma significativa. La polaridad positiva o negativa de la diferencia de ambas tensiones de tracción determina cuál de los dos diodos luminosos conectados de forma antiparalela está en funcionamiento.

En contraste con el control individual de tramos, cada tramo dispone de un panel propio, en el control individual de trenes no existe ninguna correlación fija entre los sectores de corriente de tracción y el panel de control. Con un panel, se puede controlar un tren en todos los sectores de vía, por lo que la correlación se produce entre el tren y el panel de control. El control individual de trenes de los paneles de control a los sectores de vía debe excluir la posibilidad de que varios paneles alimenten simultáneamente un sector;

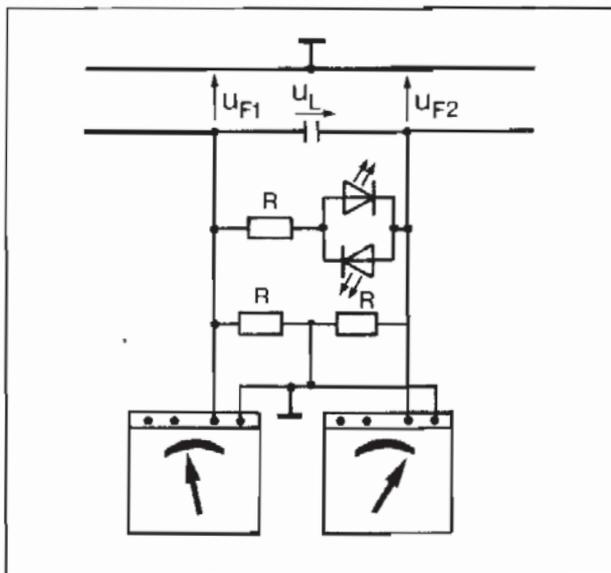


Figura 6.10 Control de la tensión en las zonas de separación entre dos sectores de corriente de tracción.

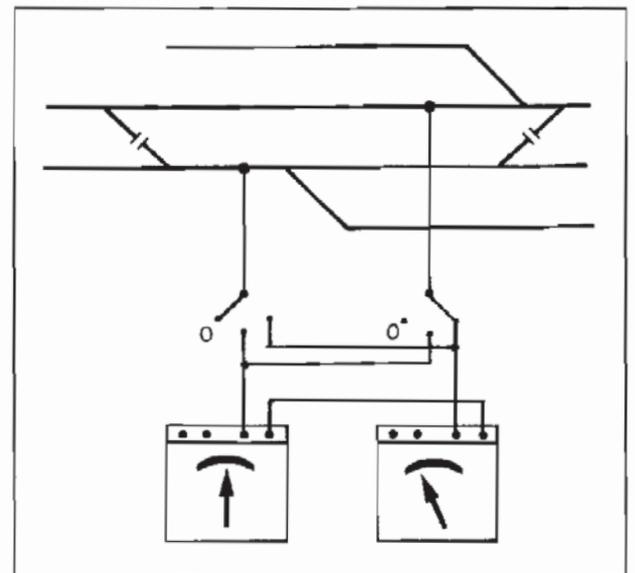


Figura 6.11 Circuito en el que cada tren tiene un panel propio (control individual de trenes).

aquí lo mejor es utilizar interruptores giratorios.

Solución para el problema del bucle de retorno

Sólo los modelistas que hayan construido su equipo con el sistema de dos raíles y dos cables deben preocuparse por los bucles de retorno y de cambio de sentido (ver figura 2.3). En equipos que utilizan el sistema de tres raíles y dos cables no aparecen estos problemas, con independencia de que funcionen con corriente continua o corriente alterna (Märklin).

Dependiendo de las prestaciones de un bucle de retorno pueden necesitarse circuitos de conmutación muy complicados, en especial si también se utiliza el funcionamiento con línea aérea. Por otra parte, también hay circuitos sencillos que permiten un funcionamiento sin problemas.

La conexión de la tensión de tracción puede realizarse fuera o dentro del bucle de retorno. Si se hace en el interior, se puede circular en ambas direcciones sin necesidad de muchas conmutaciones. La desventaja de este tipo de circuitos radica en que entonces la polaridad de la tensión, y con ella el sentido de la marcha fuera del bucle de retorno, se determina mediante el inversor de polos (PW) y el panel de control.

Con ello, en las zonas grandes del equipo ya no existe una correlación clara entre la posición del botón giratorio en el panel de control y el sentido de la marcha. Mientras el tren se encuentre en el sector del bucle de retorno, el cambio de polaridad en la tensión de tracción se realiza a través del inversor de polos. Se puede automatizar este proceso sustituyendo el inversor de polos por un relé correspondiente, que se controla desde el tren por medio de un punto de contacto.

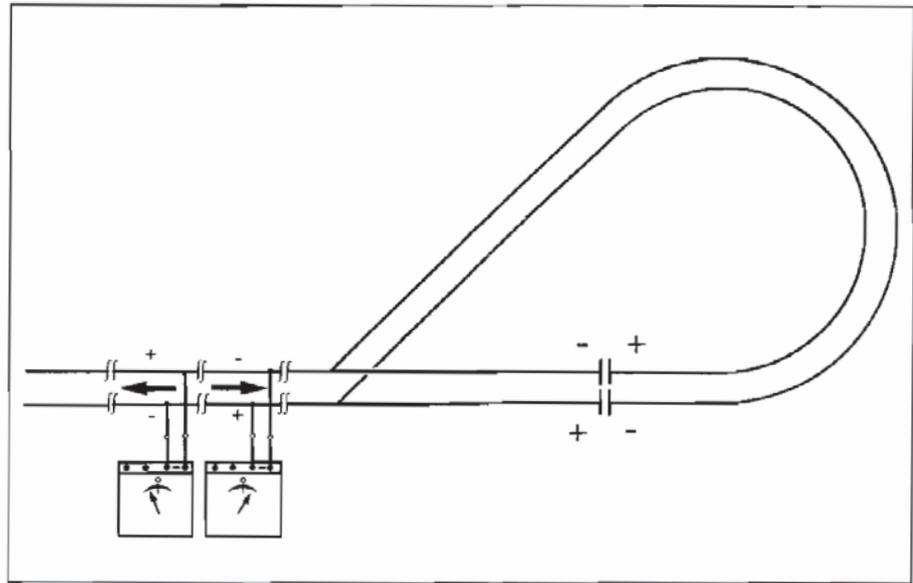


Figura 6.12 El problema del bucle de retorno: sin zona de separación la tensión de tracción se cortocircuitaría.

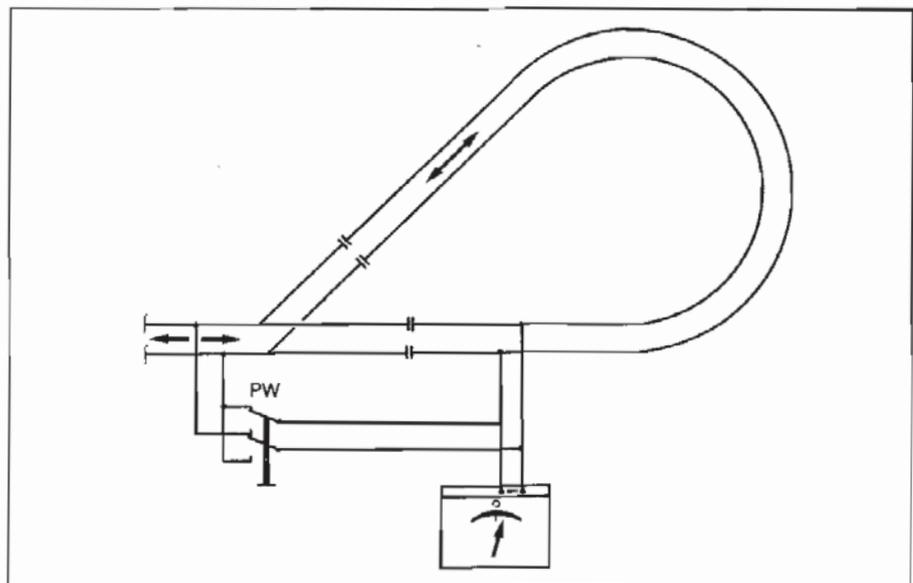


Figura 6.13 Circuito con conexión de la tensión de tracción dentro del bucle de retorno.

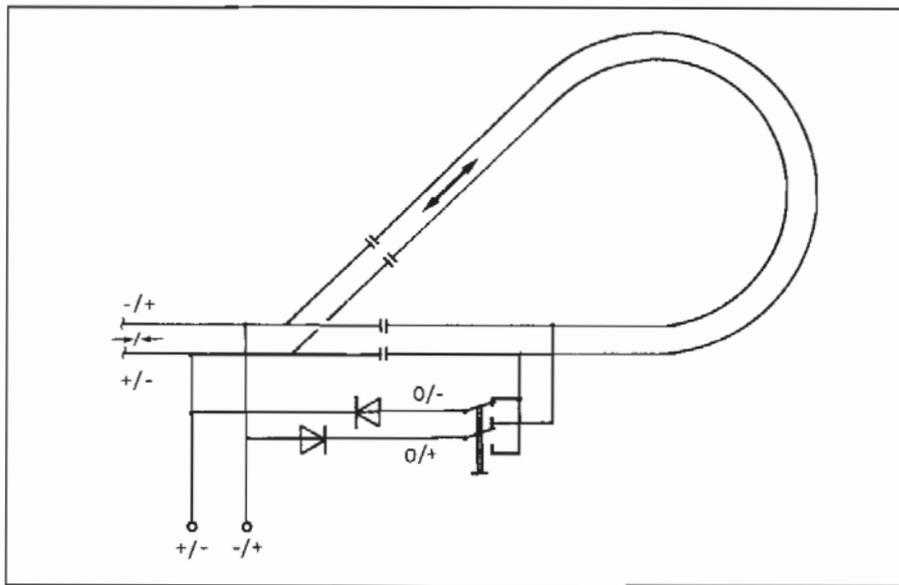


Figura 6.14 Circuito para la circulación en ambos sentidos en el bucle de retorno.

Si se quiere conservar la correlación entre la posición del botón giratorio y el sentido de la marcha, hay que conectar directamente el sector fuera del bucle de retorno. Entonces, al pasar por el bucle de cambio de sentido, el tren se detiene, ya que el cambio de sentido de la marcha debe realizarse moviendo el botón giratorio del panel de control pasando por la posición cero.

También puede efectuarse el cambio necesario de la polaridad de la tensión de tracción en el bucle de retorno, mediante un interruptor mecánico. Para facilitar el control se pueden utilizar dos diodos adicionales.

Las piezas semiconductoras se colocan entre el inversor de polos y la alimentación de corriente de tracción. Su polaridad se elige de tal manera que el tramo de separación sólo tenga tensión cuando ésta esté polarizada de forma que una locomotora salga del bucle o se aleje de él. El inversor de po-

los determina el sentido de la marcha dentro del tramo de separación.

Si un vehículo entra en el segmento desde fuera, queda detenido hasta que se invierte la polaridad de la tensión en el panel de control. Independientemente de en qué dirección abandone la locomotora el segmento —para circular por el bucle de retorno lógicamente se ha de mantener el sentido original—, encon-

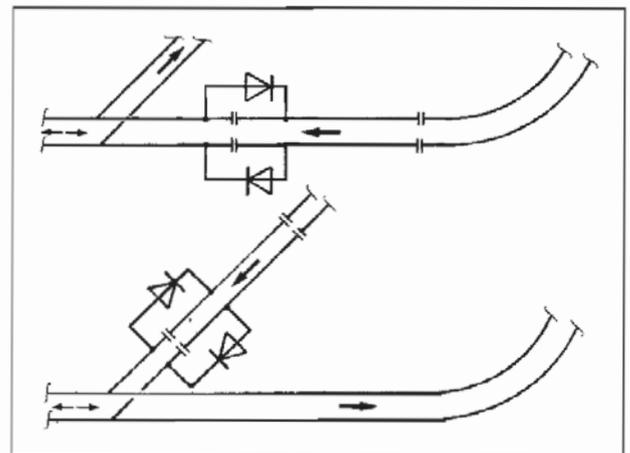


Figura 6.15 Dos diodos son suficientes para la circulación en un sentido en el bucle de retorno.

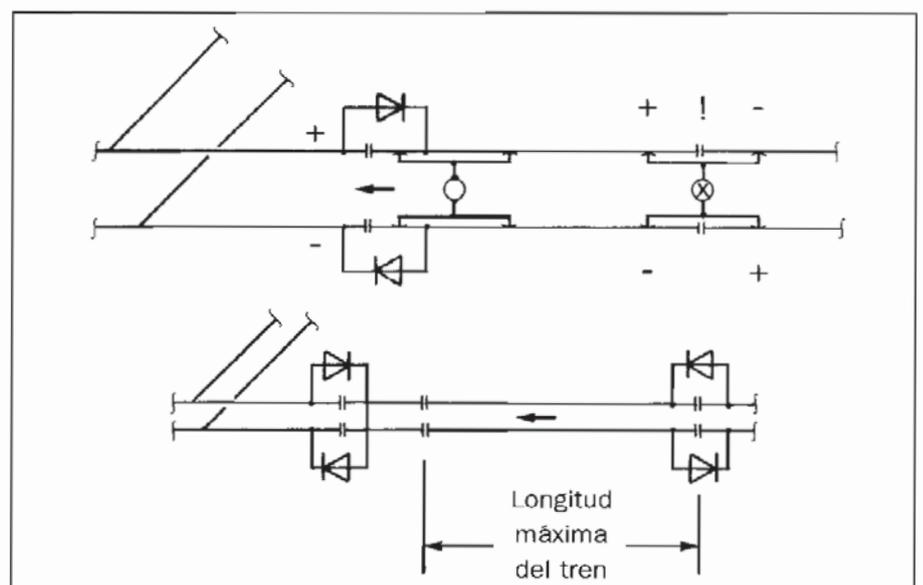


Figura 6.16 Cortocircuito causado por un vagón con iluminación (arriba) y una solución del problema.

trará la polaridad «correcta» tras la zona de separación.

En los casos en los que por el bucle de retorno sólo se circule en un sentido, se puede prescindir del inversor de polos. En este caso, los diodos se pueden soldar directamente a la vía, haciendo un puente en una dirección con las zonas de separación. Un tren que haya entrado en el segmento de paro dentro del bucle de retorno, permanecerá parado hasta que se realice la inversión de polos de la tensión de tracción.

Sin embargo, pueden darse problemas adicionales, y no sólo en los circuitos que acabamos de ver, si los trenes con vagones iluminados utilizan el bucle de retorno. Para conseguir una iluminación sin parpadeos en un vagón, aun de cuatro ejes, la toma de corriente ha de realizarse a través de todas las ruedas. Hasta que se acabe imponiendo este principio de construcción, se puede recurrir al acoplamiento fijo de dos vagones y realizar entre ellos un empalme eléctrico de dos polos. En este sentido puede ser muy útil la utilización de acoplamientos cortos conductores. Pero volviendo al bucle de retorno: los vagones dotados de dispositivos de iluminación y su correspondiente toma de corriente en las ruedas, hacen un puente en las zonas de separación, y cuando salen del bucle de retorno, provocan un cortocircuito de la tensión de tracción. Para resolver este problema se puede incorporar un segmento de separación

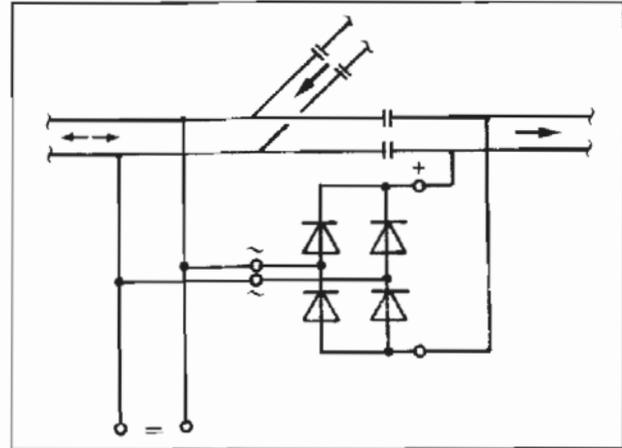


Figura 6.17 Circuito de bucle de retorno con puente rectificador.

adicional, en el sentido de la marcha, colocado delante del segmento de paro. Con la ayuda de dos diodos se ha de polarizar de tal forma que sólo pro-

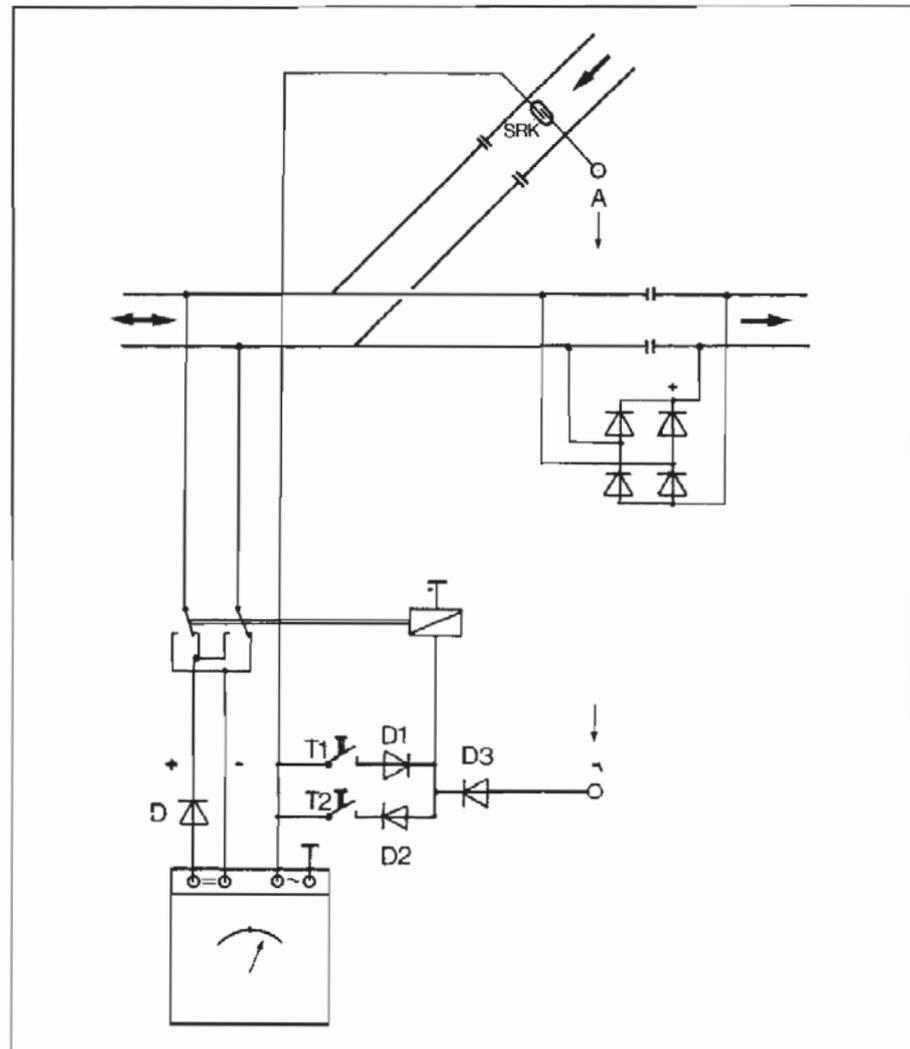


Figura 6.18 Circuito para el funcionamiento totalmente automático de uno o varios bucles de retorno.

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 de modelismo ferroviario, los trabajos eléctricos consisten en conectar las vías, los conmutadores, las agujas y todo lo demás de tal manera que luego todo funcione como estaba previsto. El cableado tiene que ser fiable 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 esta tarea.

Las herramientas: el equipo básico

La mayor parte del trabajo consiste en cortar cables y conectarlos mediante bornes o soldaduras. Muchos fabricantes quieren ahorrar a sus clientes la tarea de soldar, de modo que ofrecen conexiones con bornes. Sin embargo, el que haya recurrido alguna vez al soldador se dará cuenta rápidamente de que éste puede ahorrarle bastante espacio, tiempo y dinero.

Las herramientas de buena calidad no son baratas, pero son especialmente necesarias, para los principiantes porque se manejan mejor. La figura 7.1 muestra un equipo básico. Abajo, de izquierda a derecha, podemos ver un pelacables para quitar el aislante en los extremos de los cables (también pueden servir unas tijeras muy desgasta-

das: las hojas están tan separadas que no llegan a cortar el hilo metálico, pero sí el aislante); las pinzas y los alicates de boca plana se necesitan para colocar y sostener el cable (ver portada); unos alicates de corte oblicuo de boca pequeña sirven para cortar cables y alambres incluso en sitios de difícil acceso; además, dos destornilladores no demasiado cortos: uno con una punta de 2,5 mm de ancho para bornes y otro de 5 mm para tornillos de madera.

Encima hay una lima plana y un cuchillo de bricolaje; pueden ser de ayuda para cortar material aislante y para limpiar puntos de soldadura.

Arriba tenemos las herramientas para soldar. Para trabajos en la maqueta de ferrocarril, un soldador con una potencia de 30 W es el más adecuado. Un soldador de esta potencia es lo suficientemente pequeño y manejable para

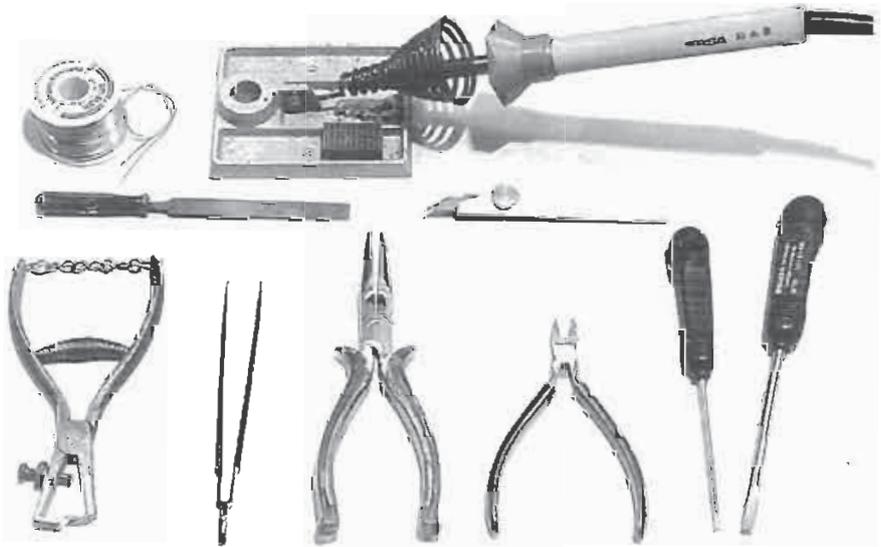


Figura 7.1 Este equipo básico de herramientas puede costar alrededor de 12.000 pesetas.

realizar «filigranas», pero también es capaz de calentar, por ejemplo los raíles, con la suficiente rapidez. Para evitar desperfectos y quemaduras, es imprescindible un soporte adecuado.

Compre sólo soldadores 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 descascarillarse y necesitan 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 líquido y pueda entrar en los orificios más pequeños. Utilice sólo aleación de primera calidad (estaño para electrónica en hilos de 1 mm de diámetro), que contiene un 60 % de estaño y cuyas propiedades de fundición son especialmente buenas.

Al soldar los elementos por unir, éstos se calientan a unos 300 °C y forman con el estaño fundido una aleación superficial, es decir, la soldadura penetra en su superficie formándose una unión inseparable.

Si una de las piezas no alcanza la temperatura suficiente, la aleación superficial no llega a producirse; entonces

se crean las temidas soldaduras frías, en las que el contacto eléctrico puede o no establecer.

Se puede soldar el cobre —como el de los cables— y las aleaciones con cobre, como el latón y la alpaca, que son usuales como material de raíles. El latón es una aleación de cobre y zinc; la alpaca contiene, además, un alto contenido en níquel. Al contrario de lo que se afirma en muchos catálogos de modelismo ferroviario, la conductividad del latón es mayor que la de la alpaca; la ventaja de este último metal reside en que no se forma una capa en la superficie —como en el cobre y el latón— que dificulta la conductividad. Por este motivo, las ruedas de las locomotoras también suelen estar niqueladas.

El trato correcto de hilos y cables

Para las conexiones eléctricas sólo se debe utilizar cable trenzado. Éste se compone de finos hilos de cobre que se doblan fácilmente sin romperse. El alma ha de tener una sección de entre 0,15 y 0,25 mm²; los cables más gruesos son más difíciles de colocar y no son necesarios, excepto en el caso de barras colectoras. Cuando se trata de hilo de cobre «macizo» —como el que ofrece, por ejemplo, Trix—, hay que tener bastante cuidado, ya que después de doblarlo varias veces tiende a romperse, y el aislante impide que se note enseguida.

En la figura 7.2, a la derecha, se ven diferentes formas de presentación de cables. Si se necesita mucho cable, lo más práctico es optar por los tambores. No siempre es ne-



Figura 7.2 cables (derecha) y material aislante (izquierda) para el modelismo ferroviario.

cesario utilizar material «original»; en las tiendas de material electrónico se suele ofrecer mejor calidad por menos dinero.

En los cables paralelos (figura 7.2, arriba en el centro) hay varios conductores de colores diferentes dispuestos de forma paralela. A lo largo del trayecto del cable se pueden desviar conductores en cualquier punto, así que se pueden conectar, por ejemplo, todas las agujas y zonas de separación de una vía de apartadero falsa 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, ya que esto facilita el trabajo. Así, por ejemplo, se pueden utilizar los siguientes pares de colores: rojo/azul para la corriente de tracción, amarillo/verde para conectar las agujas con el panel 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 7.2, abajo) también es práctico: se puede colocar como vía de alimentación cerca de varias lámparas o bobinas; los cables de conexión de éstas se pueden soldar fácilmente en cualquier punto del hilo (figura 7.10, arriba).

El hilo de plata sin aislante (0,8 mm²) —un hilo de cobre bañado en plata que se suelda muy bien (ver figuras 11.13 y 11.14)— es muy adecuado, por ejemplo, para conexiones en la parte trasera del cuadro luminoso de control.

Muchas veces se tiene que colocar, posteriormente, un aislante en las soldaduras y en el hilo de plata para evitar que se toquen directamente. En la figura 7.2, a la izquierda, se muestran diferentes aislantes; cinta aislante, tubo (al metro) o boquillas aislantes de diferentes diámetros. Las boquillas de goma son muy prácticas, ya que se adaptan perfectamente a la forma del elemento que han de aislar y no se mueven.

Pasemos ahora a algunos trabajos de soldado muy frecuentes. Primero se trata de estañar el extremo de un cable trenzado, por ejemplo, para poder introducirlo con más facilidad en un borne del panel. Primero hay que quitar unos 5 mm de aislante, luego se trenzan los hilos entre dos dedos para que no sobresalga ninguno. Mientras tanto, el soldador se ha calentado. Se limpia la punta con una esponja o un paño de lino húmedos para quitar cualquier resto de soldadura. Luego se cubre la punta con un poco de estaño. De hecho, para cubrir el extremo del cable con estaño se necesitarían tres manos: para el hilo, el estaño y el soldador. En este caso, la



Figura 7.3 quitar el aislante de un cable

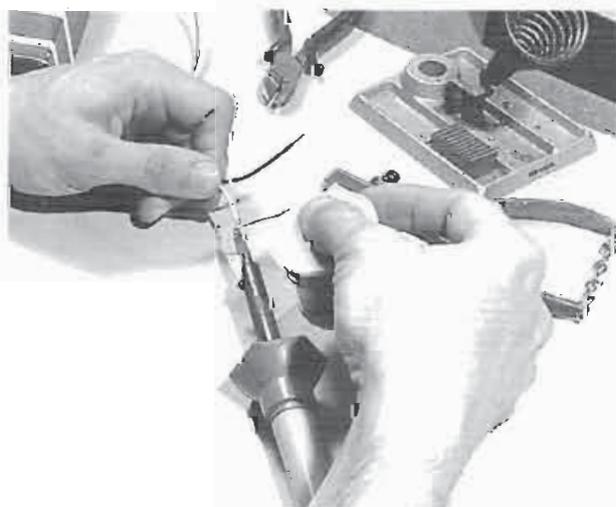


Figura 7.4 estañar el extremo de un cable

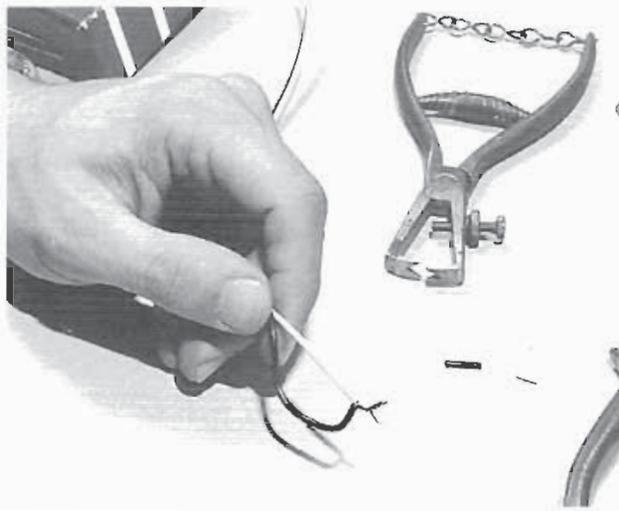


Figura 7.5 Trenzar los extremos de dos cables.

mejor solución es dejar el soldador en su soporte, tal y como muestra la figura 7.4. Primero calentamos el extremo del cable tocando la punta del soldador recién cubierta de estaño. Al cabo de dos o tres segundos acercamos el extremo del hilo de estaño de tal manera que toque 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 el agua—. Retirar el cable en el acto, esperar unos segundos (sin soplar) y ¡listo! El extremo ha de estar totalmente cubierto de estaño, no debe sobresalir ningún hilo.

Ahora uniremos dos cables. Se quitan de unos 10 a 15 mm de aislante de los extremos de ambos cables y se trenzan, luego los dos se trenzan entre sí (en la figura 7.5 están trenzados a medias); tal y como se describe en el párrafo anterior, la unión se cubre de estaño, se deja enfriar y se verifica que no sobresalga ningún hilo. 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.

Otra tarea importante es conectar, por ejemplo, la parte inferior del cuadro luminoso de maniobras: muchas cone-

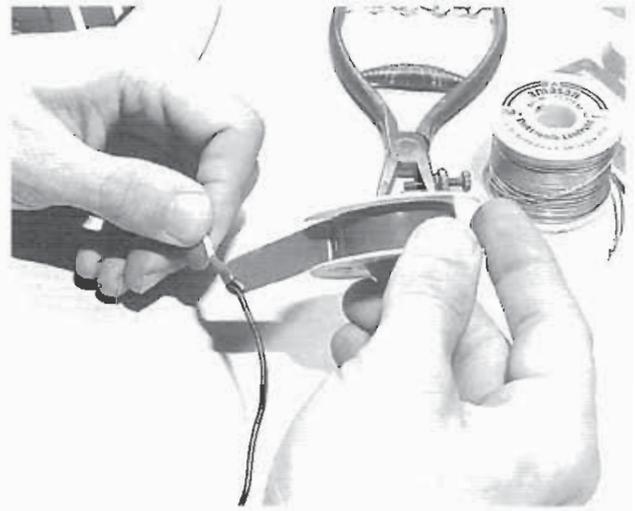


Figura 7.6 Aislar los extremos soldados.

xiones de pulsadores tienen pequeñas corchetes para meter el cable o hilo de conexión.

Así se hace: calentar al mismo tiempo la corcheta y el extremo del cable ya estañado con la punta del soldador limpia y ligeramente estañada; acercar el extremo del hilo de estaño, que debería tocar simultáneamente el extremo del cable, la corcheta y la punta del soldador; una vez alcanzada la temperatura adecuada, el estaño se pondrá alrededor de la corcheta y del extremo del cable como si de una gota de cera se tratara: retirar el soldador y esperar un

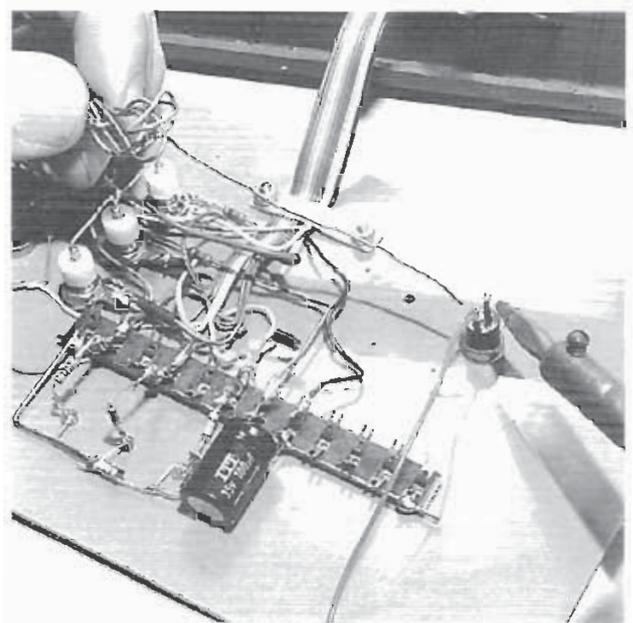


Figura 7.7 Conectando un pulsador.

momento. Una soldadura correcta presenta una superficie lisa y brillante, como plateada.

Cuando se suelda, hay que proceder deprisa. Si se tarda 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 ya no contienen fundente y no se pueden volver a utilizar —suelen causar soldaduras frías—, por lo que hay que calentarlos y quitarlos por completo, por ejemplo, sacudiendo la pieza en cuestión.

Un trabajo que requiere especial habilidad es soldar cable estañado en raíles.

Hasta que los raíles, 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 raíl, y permite así una mejor transmisión del calor.

Fijándose bien, se puede ver claramente el momento en que el estaño fluye uniformemente sobre el raíl 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 raíles; uno en el extremo de conexión a la siguiente vía, el otro, entre dos traviesas después de quitar la unión de plástico entre ellas con un cuchillo. Primero hay que dejar caer una diminuta gota de estaño en el raíl; así, resulta más fácil soldar el cable. Si los raíles ya están bien fijados, los cables sólo se pueden soldar desde los lados (figura 7.8 arriba). En este caso, también podemos evitar soldaduras bastas, que quedan muy feas, con un estañado previo realizado con delicadeza. En las vías de escala N

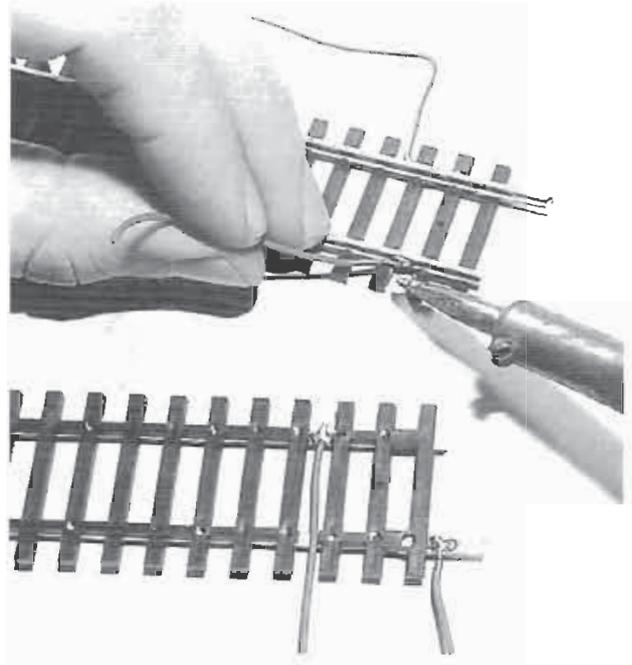


Figura 7.8 Conectar cables a las vías.

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

¿Dónde colocar los diferentes elementos?

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

Muy ventajoso es el uso de las pletinas de pistas de conductores, que se emplean mucho en electrónica. Se suelen ofrecer en formato de tarjeta europeo (100 mm x 160 mm) y disponen de 39 pistas de cobre separadas.

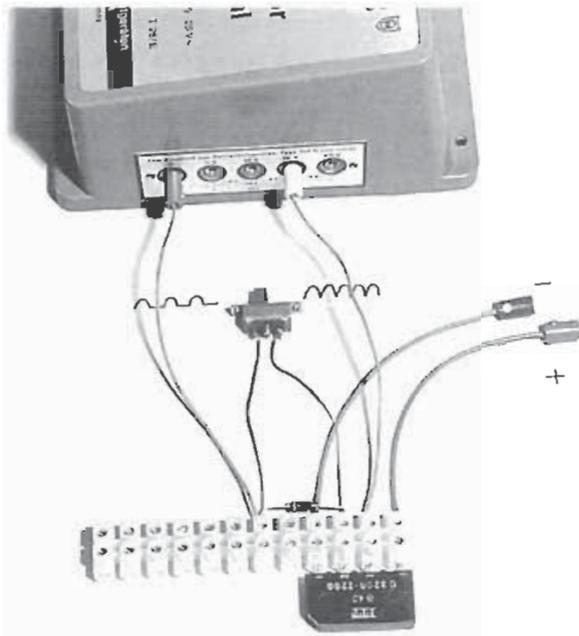


Figura 7.9 La conmutación de la figura 9.18 con una regleta.

Las piezas 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 creen conexiones indeseables entre pistas vecinas por estaño sobrante. El tamaño de las pletinas se puede reducir a las medidas deseadas serrándolas.

El cableado: orden en vez de caos

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

Arriba vemos el alambre de acero cobreado —del que ya se ha hablado— (para colocarlo, atornillar corchetes bañados en latón en la madera, meter el alambre y soldarlo), que sirve de barra colectora para la alimentación de corriente. En el lugar en que se quiera, se pueden conectar cables que llevan al consumidor —una bombilla o la conexión central de un relé—. Las demás conexiones han de ir al panel de control o a puntos de contacto en las vías. En el caso de relés y agujas es aconsejable 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, al accionar pulsadores o puntos de contacto, la tensión de conmutación llega realmente a las bobinas; además, esto facilita un eventual desmontaje. Los cables procedentes de los

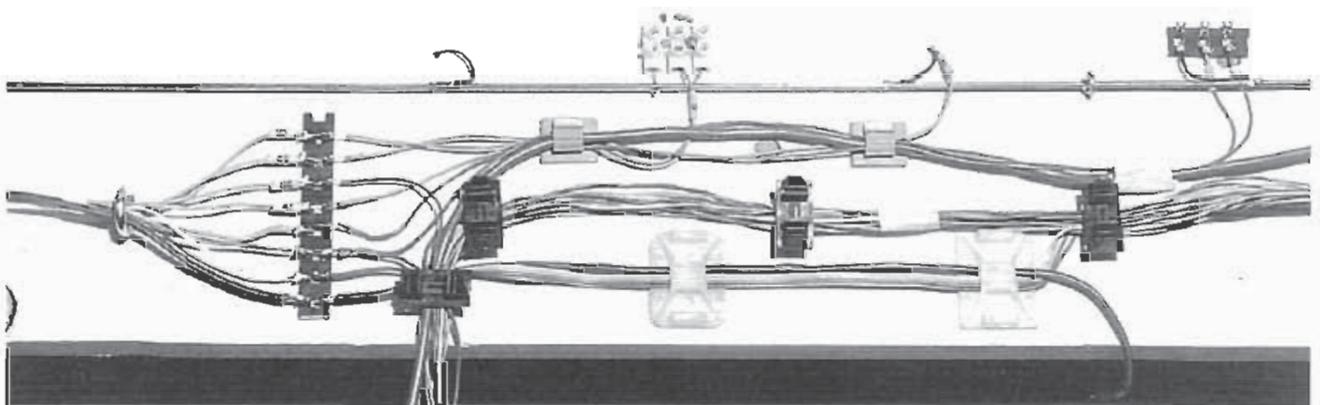


Figura 7.10 Colocación ordenada de cables.



Figura 7.11 Pinzas de comprobación en la vía.

diferentes elementos se juntan en tramos y se llevan en un trayecto rectilíneo al cuadro de maniobras. Varios cables se pueden juntar fácilmente con boquillas aislantes de gran diámetro; para fijar el tramo, se utilizan clips autoadhesivos o con tornillos para cables. Estos clips se encuentran entre los complementos que ofrecen, por ejemplo, Roco y Arnold, pero también se pueden comprar en tiendas de material electrónico. Numerar los cables ahorrará mucho tiempo en caso de averías; se puede hacer con boquillas numeradas (ofrecidas, por ejemplo, por Brawa) que se colocan al principio y final de cada cable. También se puede recurrir a cinta aislante rotulada con bolígrafo —aunque queda menos estético—.

Después de reunir todos los cables de una parte de la instalación, se debería dejar pasar todos los cables por una regleta de terminales para soldar (ver figura 7.10 izquierda) antes de encaminarlos para los dos o tres metros de trayecto hasta el panel de control.

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

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

funcionará todo: se llevará una decepción, y la búsqueda de posibles fallos le desesperará. Es mejor colocar los cables uno por uno, comprobar la función del elemento conectado (relé, bombilla, etc.) y volver a comprobar todo lo anteriormente conectado; entonces, y sólo entonces, se puede seguir con más conexiones nuevas. Es la única forma de detectar y remediar los errores enseguida.

Conectar y desconectar fácilmente

Si quiere que la instalación se pueda desmontar en varias piezas, el cableado también se ha de poder desconectar en los sitios adecuados. Esto se puede conseguir con la ayuda de conexiones múltiples enchufables. Los dispositivos no tienen que ser muy compactos —como lo suelen exigir los expertos en electrónica—; para el modelismo ferroviario es más importante fijarse en el precio y en la facilidad de soldado.

Las conexiones por ficha hembra, de hasta 30 polos, son muy recomendables; ni siquiera los principiantes suelen tener problemas en soldar la gran cantidad de cables. Si se trata de pocos cables, también sirven las económicas regletas de bornes.

Pasemos ya a las clavijas y hembra; en electrónica y en la técnica de medición predomina el diámetro de 4 mm; en el modelismo ferroviario, 2,6 mm es lo usual; las piezas correspondientes se venden en tiendas de material electrónico con el nombre de mi-

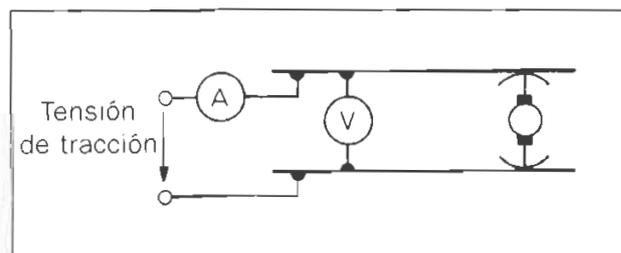


Figura 7.12 Aquí se mide la corriente de un motor de locomotora y la tensión entre las vías.

nienchufes banana (o enchufes banana para juguetes).

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 fácil y rápidamente. La figura 7.11 muestra diferentes posibilidades para el ejemplo «medir la tensión de los raíles». Abajo se ven las conocidas puntas de prueba con pinzas que se conectan con clavijas de 4 mm; a la izquierda, pequeñas puntas de prueba; las varillas de arriba son idóneas para comprobar las soldaduras. También son muy prácticos los cables a cuyos extremos se han soldado pinzas cocodrilo (figura 7.11 centro), las cuales se manejan de forma parecida a las pinzas de la ropa.

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

Cuando nos ocupamos más a fondo con la electrotecnia del modelismo ferroviario, a menudo queremos o necesitamos saber cuánta corriente sale del transformador, con cuánta tensión arranca un determinado modelo de locomotora o cuánta resistencia tiene la bobina de cierto relé. En este caso, como en muchos otros, el experimento realizado por uno mismo es el mejor camino para «aprender a comprender».

Para ello es preciso un aparato de medición adecuado para cada caso, generalmente un multímetro; no tiene que ser un instrumento de precisión, pero ha de ser capaz de medir las

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

Hay que conectar 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 raíles; así, se mide la tensión entre ambos puntos.

Al medir la corriente, la que circula a través del multímetro puede llegar a ser notable; para esta medición suele haber hembrillas de conexión propias. En todos los aparatos hay que preseleccionar si se miden valores continuos o alternos, ya que el principio por el que 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; la cantidad de corriente que fluye (ley de Ohm) es, invertida, el valor de resistencia.

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

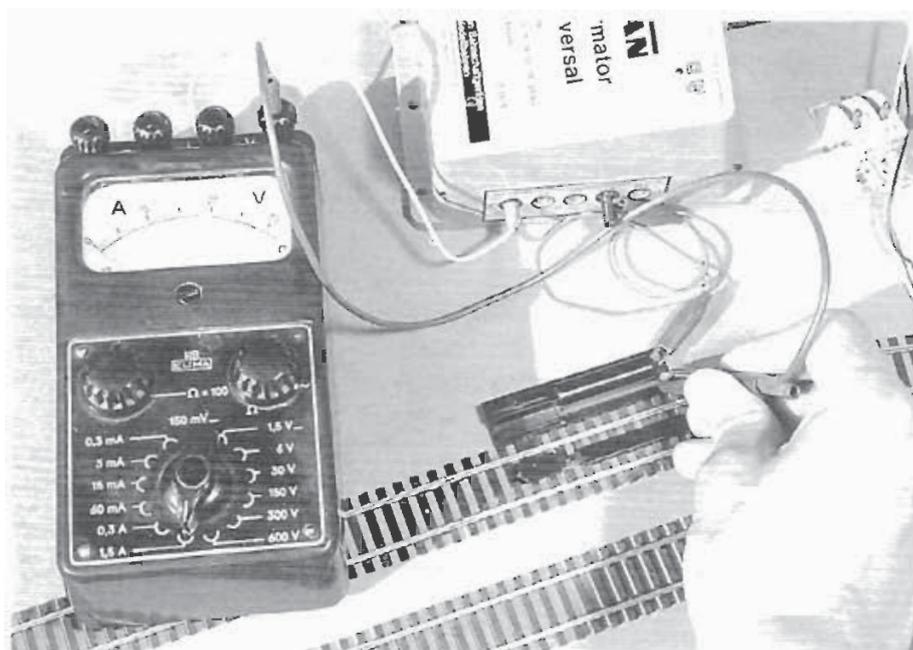


Figura 7.13 Medición de la corriente en la bobina de una vía de desacoplamiento con un multímetro con indicador analógico.

indica en cifras, 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 invertible siempre hay que invertir también las varillas de medición; con polarización equivocada, la aguja se dispara al extremo izquierdo (se comporta de forma similar que al de un motor de locomotora). Los aparatos digitales son más fáciles de manejar y de leer. La complicada electrónica de los multímetros digitales ha progresado de tal 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 suele indicar un valor aproximadamente correcto gracias a su inercia. El aparato digital, en cambio, ya sólo nos ofrece una indigesta ensalada de cifras en este caso. Sin embargo, después de acostumbrarse y de reunir cierta experiencia, difícilmente alguien cambiará 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

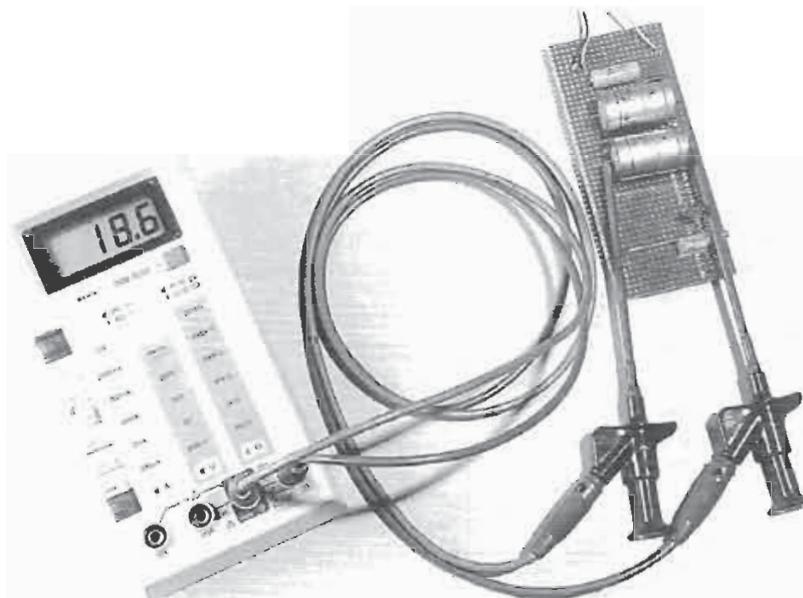


Figura 7.14 Aquí se comprueba, con un multímetro digital, la tensión en el condensador del circuito de protección de una aguja.

tensión entre dos soldaduras. 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 7.16 muestra el esquema de conexiones: un diodo luminoso rojo y uno verde se han de conectar en antiparalelo, añadiendo una resistencia limitadora común (1 k Ω). Con tensión continua positiva se enciende el diodo 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 baja tensión de bloqueo de 5 V; de ahí que se deben realizar pruebas —con cuidado— antes de utilizarlo normalmente.

La figura 7.15 muestra cómo llevar este circuito a la práctica: cabe en un bolígrafo 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 punta

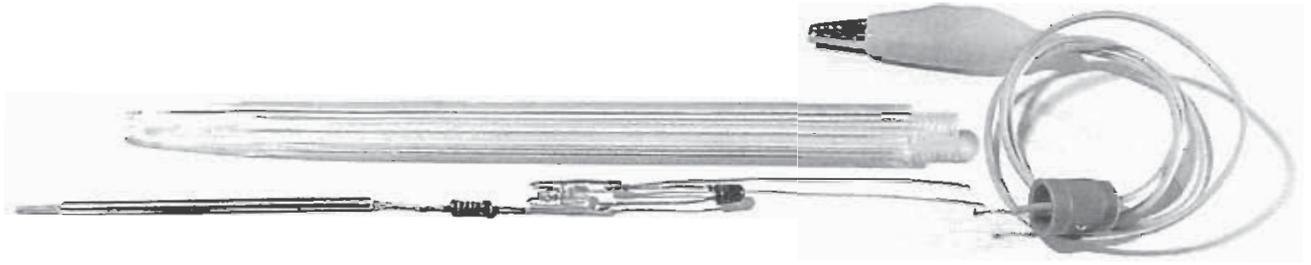


Figura 7.15 Un comprobador de tensión fabricado usando un bolígrafo de plástico vacío.

de prueba. El otro contacto se establece mediante un cable con pinza cocodrilo.

Para conseguir un instrumento tan compacto y estable como el mostrado en la figura 7.15, se necesita cierta habilidad con el soldador. He aquí cómo proceder: estañar previamente los hilos de conexión; coger un diodo —por ejemplo, con una pinza de la ropa— y dejarla en la mesa; coger el soldador, acabado de estañar, en una mano y el otro diodo, en la otra (antes ya se habrán puesto todas las patillas en la posición adecuada), soldarlos. Ahora se cogen los dos diodos unidos con la pinza, se suelda la resistencia y luego los hilos de conexión.

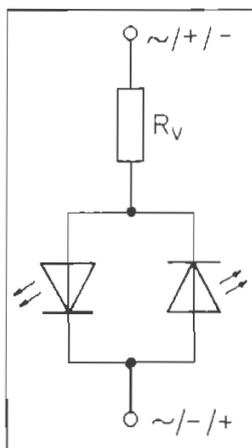


Figura 7.16 Esquema de conexiones del comprobador de tensiones.

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

Resumen:

Los trabajos de cableado en una instalación de maquetas de ferrocarril 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 exclusivo de buen material garantizan un funcionamiento impecable y duradero. 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 electrotecnia.

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

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-

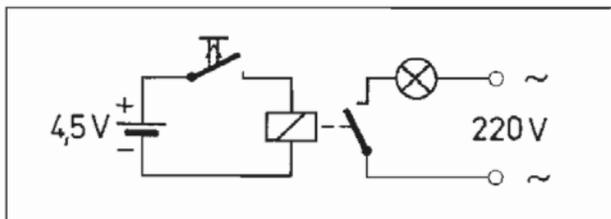


Figura 8.1 Bombilla alimentada por la red a 220 V conmutada por un relé.

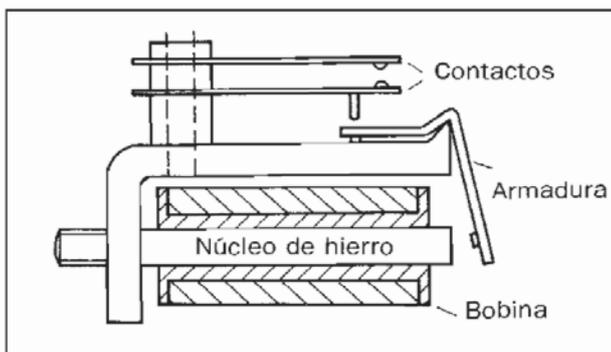


Figura 8.2 Relé monoestable con armadura angular.

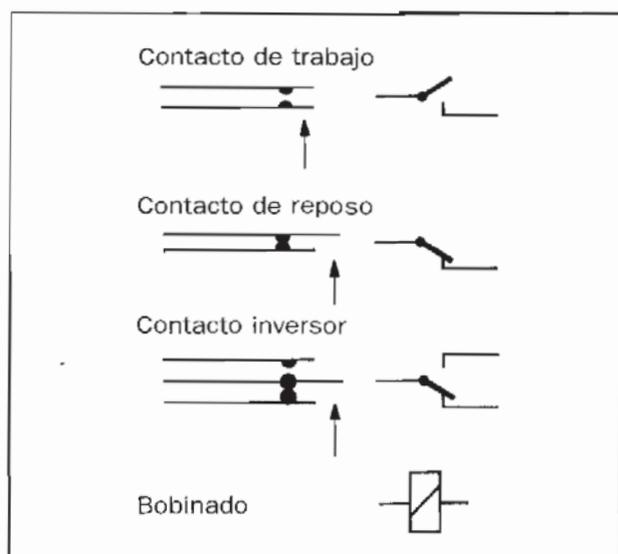


Figura 8.3 Contactos de relé y sus símbolos.

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:

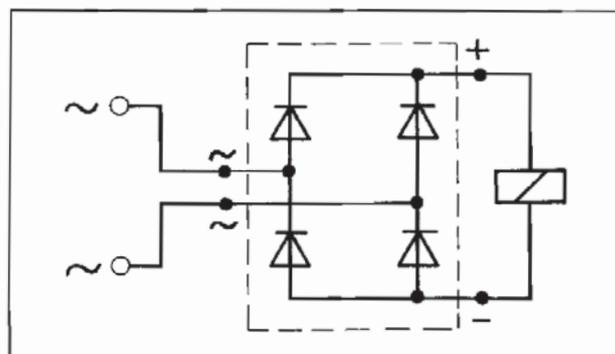


Figura 8.4 Un relé de tensión continua, conectado a la salida de corriente alterna (corriente de iluminación) del transformador.

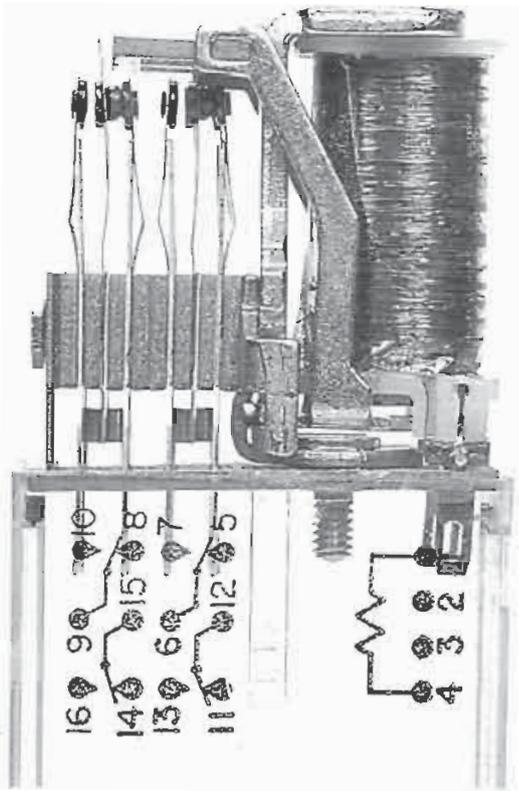


Figura 8.5: Interior de un relé de una bobina con contactos inversores.

Relé pequeño 12 V DC, 4 um, 250 V/2,5 A.

Esto significa que la tensión de la bobina es de 12 V y continua (DC es la abreviatura inglesa para corriente continua, AC para corriente alterna), que el relé tiene 4 contactos inversores, que éstos toleran una tensión de hasta 250 V y que la corriente admisible es de 2,5 A. Otro ejemplo:

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

La corriente de conmutación de este relé puede ser alterna; dispone de dos contactos de trabajo y de reposo, respectivamente. Muchas veces también se indica la resistencia de la bobina; entonces, se puede calcular fácilmente la corriente de la bobina.

Las conexiones se suelen indicar 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

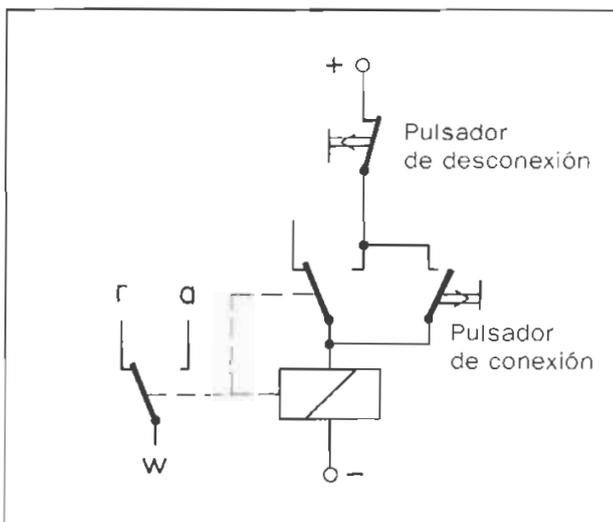


Figura 8.6 El dispositivo de autorretención se comporta como un conmutador accionado por pulsadores.

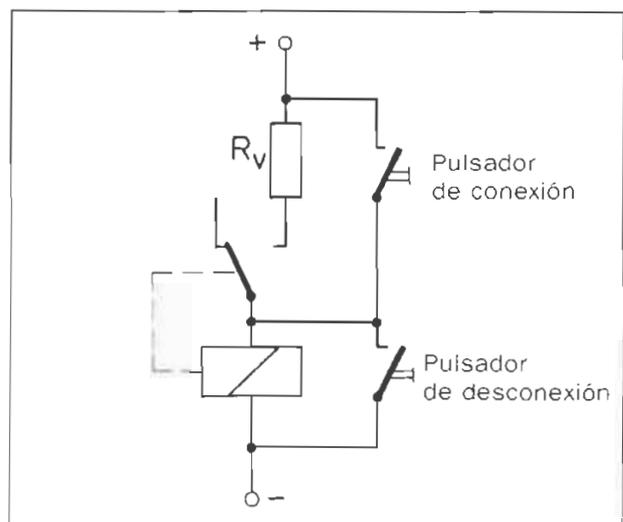


Figura 8.7 Con dos pulsadores o puntos de contacto se dan los impulsos de conexión y desconexión.

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 Ω . 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).

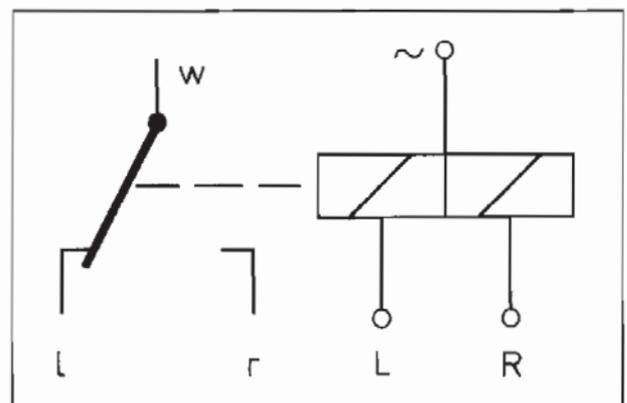


Figura 8.8 Esquema de un relé de dos bobinas.

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 corrientes 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.

<i>Fabricante</i>	<i>Denominación en catálogo</i>	<i>Contactos de conmutación</i>	<i>Apagado final; resistente a corriente permanente</i>
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

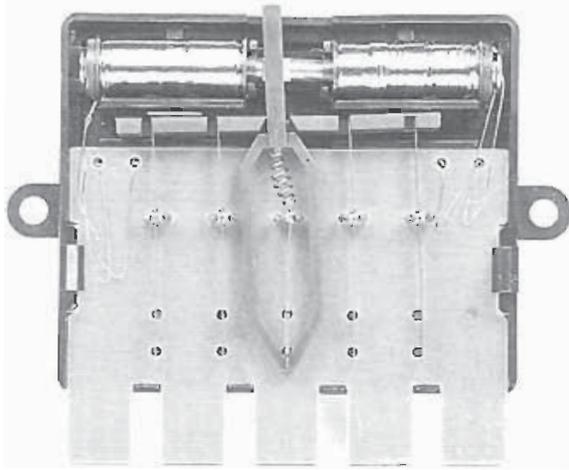


Figura 8.9 El interior de un relé de Roco en posición de apagado final.

Los fabricantes ofrecen varias posibilidades de establecer contactos eléctricos mediante un tren en marcha.

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

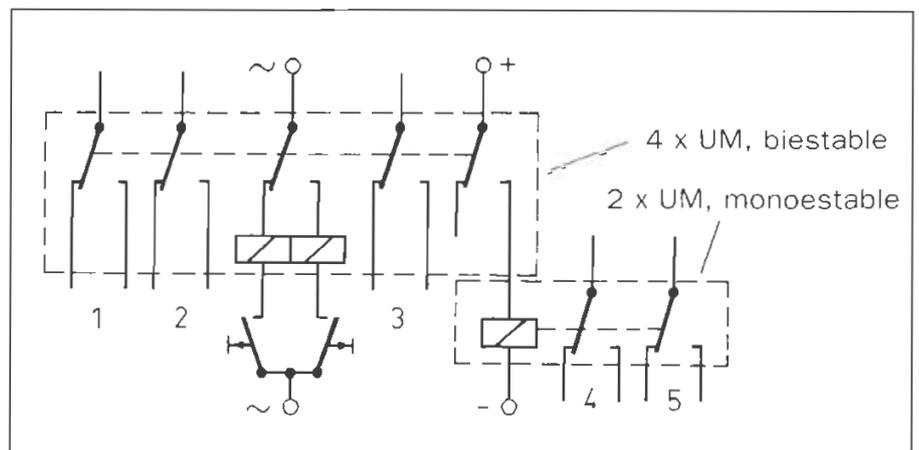
Instalar los puntos de contacto con cable de retorno común resulta más delicado, por lo que los trataremos primero.

El principio de funcionamiento es el siguiente: las ruedas, o la toma de corriente, conectan una pieza metálica, aislada de la vía, con uno de los raíles.

El sistema de tres raíles y dos cables (Märklin) es un caso especial; en él, a diferencia de los paneles de corriente continua, existe un contacto eléctrico entre el circuito de tracción y el de iluminación en el transformador, así que no están sin potencial. El cable de retorno común es formado por ambos raíles. El punto de contacto sólo conecta un consumidor (bombilla, bobina de relé o de accionamiento de aguja), que en el otro lado está conectado con la salida de la corriente de iluminación del transformador, con los raíles; así, se cierra el circuito.

La figura 8.11 lo demuestra con un sencillo ejemplo de conmutación. Un tren circula de izquierda a derecha; al pasar por el primer punto de contacto, una señal que tiene por delante deberá ponerse en la posición «vía libre»; más adelante, al pasar por el segundo punto de contacto, la señal deberá volver a la posición «paro». La conexión central del mecanismo de accionamiento está en conexión permanente con la hembrilla L (corriente de iluminación) del transformador; la otra conexión de cada una de las bobinas se conecta a los raíles —o sea, al cable de retorno— a través del punto de contacto respectivo, de forma parecida a lo que ocurre cuando se acciona un pulsador manualmente.

Figura 8.10
 $4 \times UM + 2 \times UM = 5 \times UM$;
 así se multiplican los
 contactos inversores de un
 relé de dos bobinas con un
 relé monoestable.



Märklin es el único fabricante que ofrece auténticos puntos de contacto que dependen 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 de plástico a la izquierda o a la derecha, dependiendo del sentido de la marcha, de manera que ésta cierra un contacto o el otro. Con el tiempo se puede desgastar el muelle del cursor, lo que puede causar paros no deseados que nos pueden aguar la fiesta.

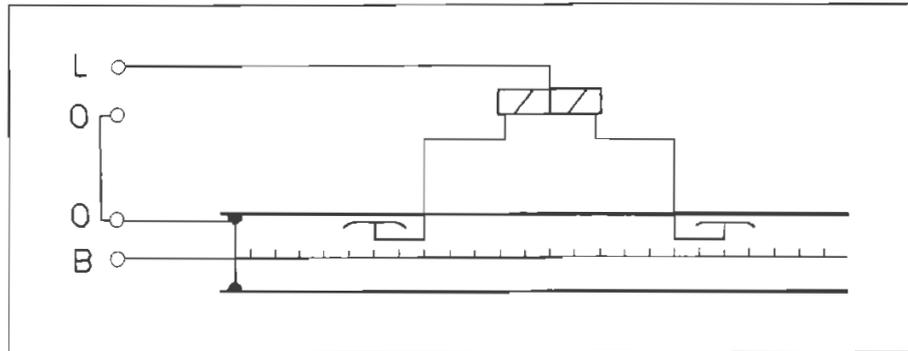


Figura 8.11 Accionamiento de una señal en el sistema de Märklin.

En los sistemas de dos raíles no existe simetría respecto al centro del punto de contacto. En este caso, hay una regla estricta que estipula que todos los contactos producidos por el tren deben cerrarse en el mismo raíl. Este raíl es entonces el cable de retorno común para la corriente continua de tracción y la corriente alterna de los elementos magnéticos.

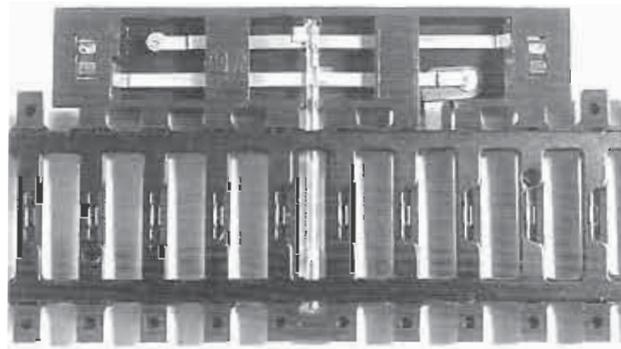


Figura 8.12 Raíl de contacto de Märklin con los dos puntos de contacto dependientes del sentido de la marcha, visto desde abajo.

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



Figura 8.13 Un punto de contacto en un raíl de una vía férrea real.

Y ¿cómo son los puntos de contacto de los diferentes fabricantes? En el sistema de Fleischmann hay un raíl de contacto especial que transcurre paralelamente a la vía; la conexión entre ambos se establece mediante un cursor debajo de la locomotora; cuando se va marcha atrás, no funciona. Arnold ofrece una pieza metálica con muelle que entra en contacto con el lado interior de una rueda que circula y, si ésta es metálica, establece así el contacto con el raíl.

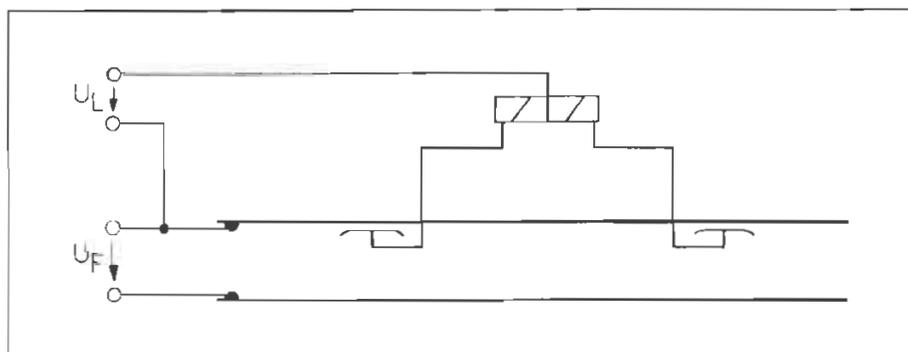


Figura 8.14 Accionamiento de una señal en el sistema de vías con cable de retorno común.

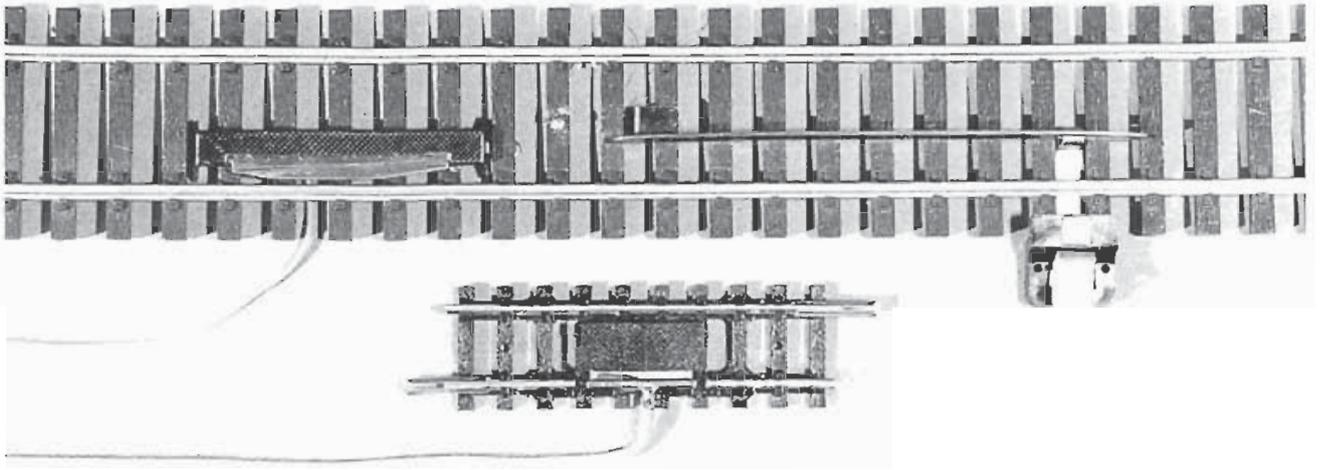


Figura 8.15 Puntos de contacto de Fleischmann y de Arnold en una vía a escala HO (arriba) y puntos de contacto de Minitrix (abajo).

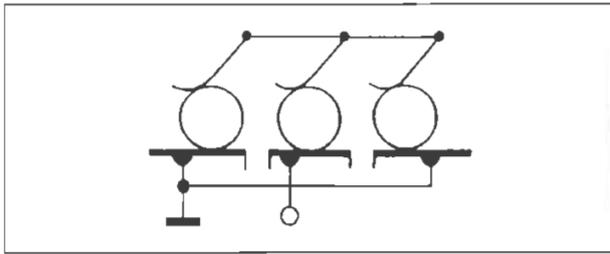


Figura 8.16 En el sistema de Minitrix, las ruedas de la locomotora establecen el contacto con el raíl mediante tomas de corriente.

de la pieza o por mal contacto entre la rueda y el raíl, no se produce una conmutación correcta, puede ocurrir que una aguja sólo se mueva a medias, al igual que la armadura en el mecanismo de accionamiento. Las posibles consecuencias ya se han comentado anteriormente.

En este contexto, los puntos de contacto de Minitrix son aún menos fiables: un trocito de raíl aislado se tiene que conectar con los tramos de vía vecinos a través de las ruedas de la locomotora, que están conectadas entre sí por tomas de corriente (figura 8.16).

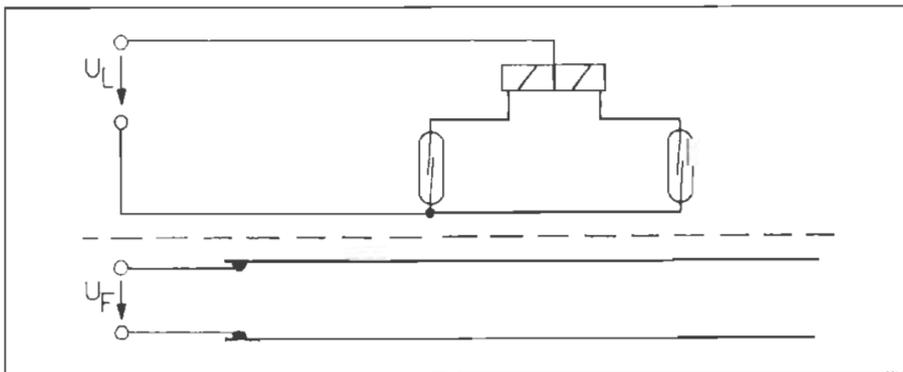


Figura 8.17 El accionamiento de una señal como en la figura 8.14, pero con puntos de contacto sin potencial.

Esta pieza también se puede montar, con algo de habilidad, en vías de la escala HO. No obstante, como reacciona mecánicamente a todas las ruedas que circulan, se desgasta con cierta rapidez. Si, por un contacto débil interno

Desgraciadamente, la toma de corriente a través de las ruedas y, por consiguiente, el accionamiento de las agujas, no siempre se realiza correctamente. Si, en vez de una aguja, se ha de accionar un circuito electrónico, el asunto ya es menos problemático porque basta con un impulso «minúsculo».

Por eso, no es de extrañar que sea justamente Trix quien ofrece un «relé electrónico» que reacciona de forma muy rápida. En cambio, algunas locomotoras cortas no llegan a establecer ningún contacto; incluso se paran por falta de contacto.

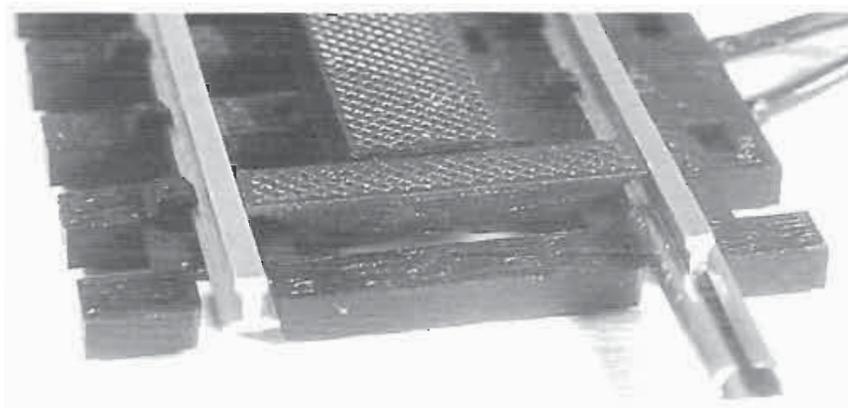


Figura 8.18 Casi como un pulsador: las ruedas aprietan una placa transversal.

Pasemos ya a los puntos de contacto sin potencial. Exteriormente se reconocen porque siempre disponen de dos conexiones, ya que la vía no forma parte del circuito. La figura 8.17 muestra cómo se realiza el ejemplo de la figura 8.14 con puntos de contacto sin potencial. El circuito de conmutación y el de tracción están totalmente separados.

Primero cabe mencionar el sistema de Roco, en el que las ruedas aprietan una báscula o placa transversal entre los raíles cerrando así el circuito. En este caso, se pueden presentar problemas con vagones demasiado ligeros.

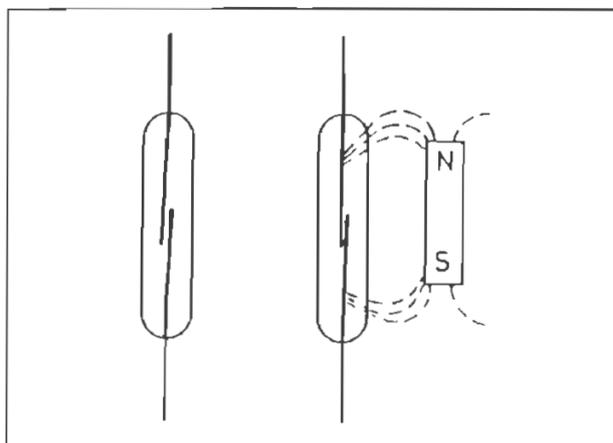
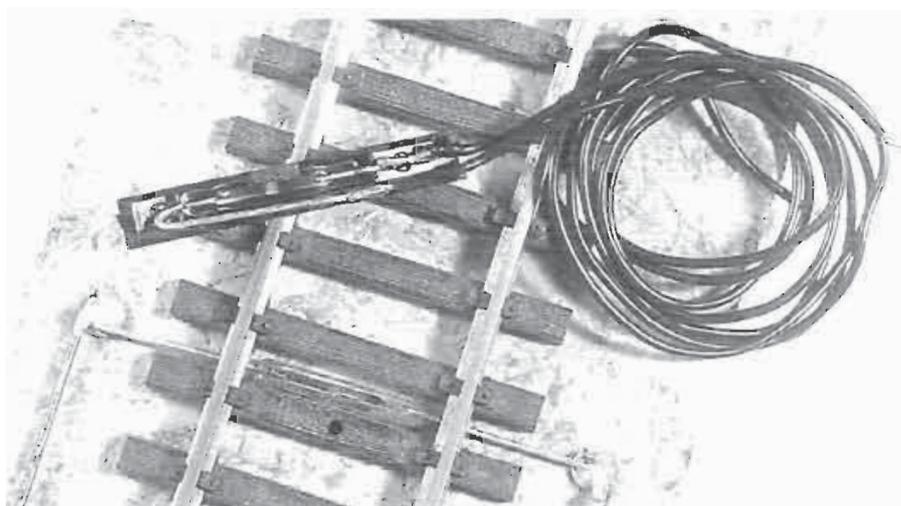


Figura 8.19 Las láminas de un relé reed de acero inoxidable magnético son atraídas por el campo magnético de un imán permanente, al mismo tiempo y se juntan.

Figura 8.20 Un contacto reed en la vía flexible de Roco; otro ya instalado, perfectamente disimulado entre dos traviesas, con sus cables de conexión.



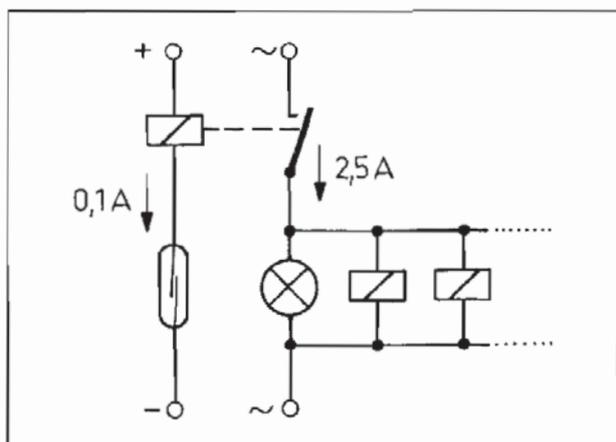


Figura 8.21 Un relé electromagnético amplifica la corriente de conmutación del relé reed.

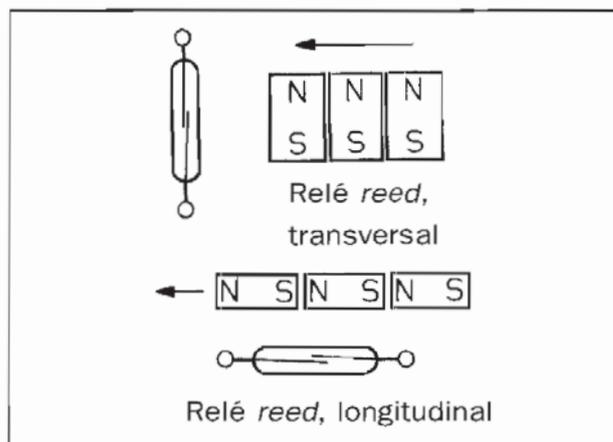


Figura 8.22 Con la ayuda de varios imanes se puede prolongar la duración del contacto.

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 H0 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.

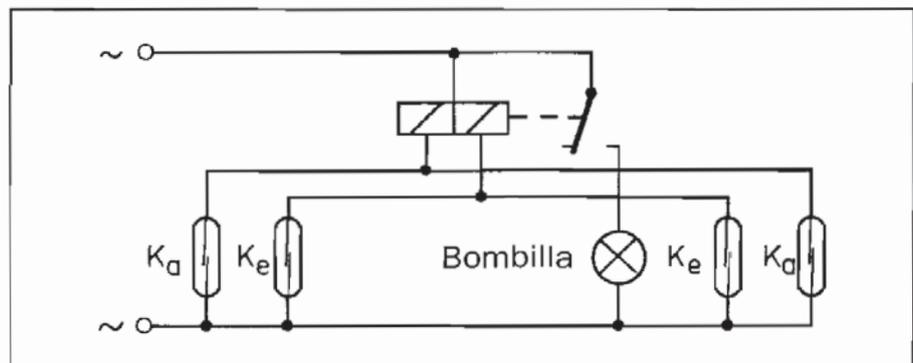


Figura 8.23 La luz intermitente funciona, independientemente del sentido de marcha, mientras hay un tren en el tramo en cuestión.

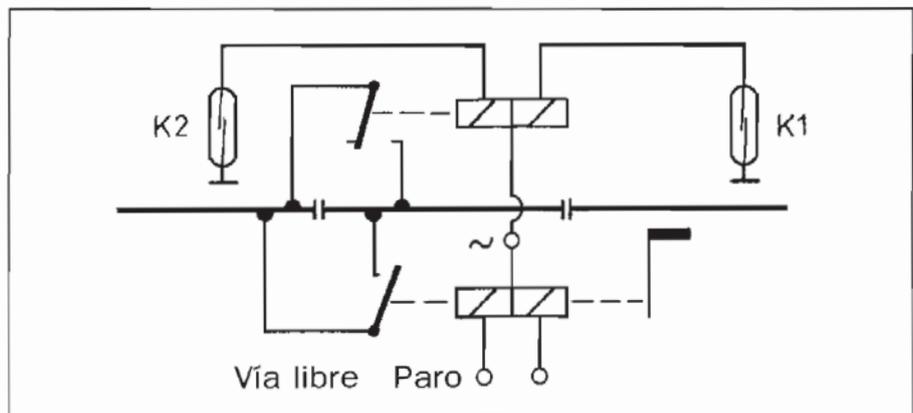


Figura 8.24 Circulación sin obstáculos en la dirección opuesta de la señal.

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

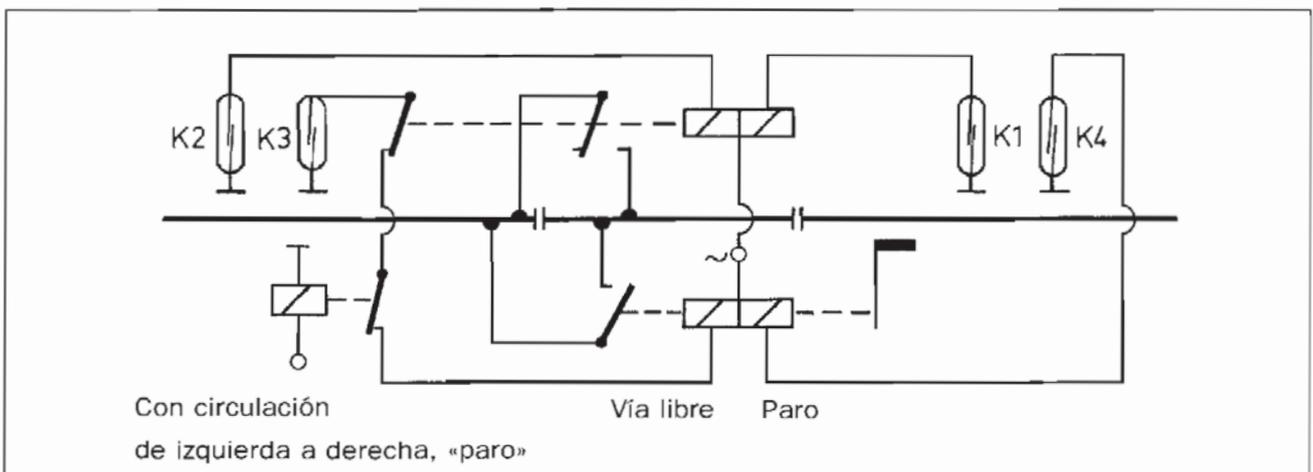


Figura 8.25: Una combinación de los circuitos de las figuras 8.24 y 8.17; si hay tensión en el relé R , la locomotora que circula de izquierda a derecha se para en la señal.

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.

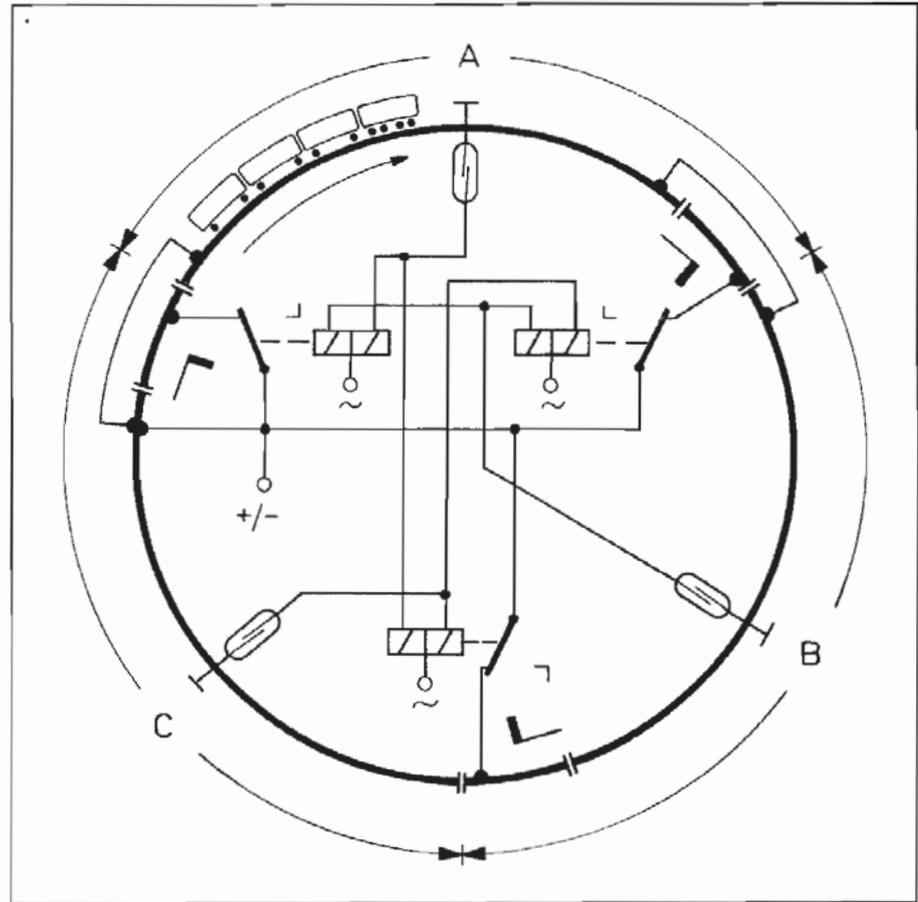


Figura 8.26 Bloqueo automático para dos trenes en un trayecto circular.

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 Φ . 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 Φ 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-

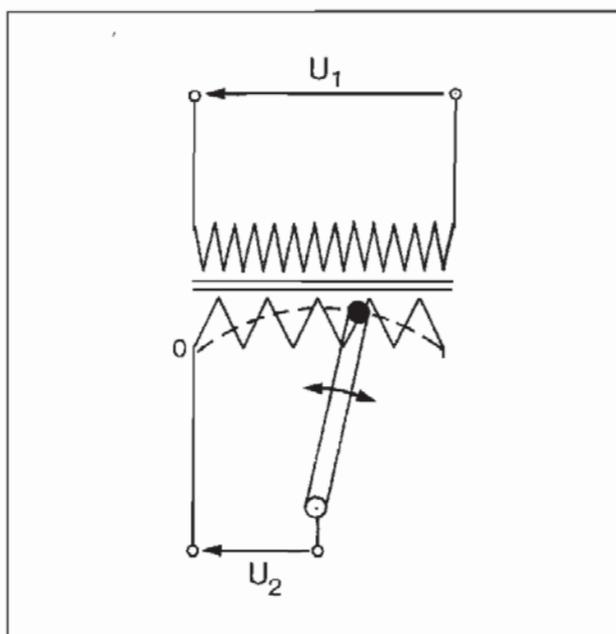


Figura 9.3 Ilustración esquemática de la estructura de un transformador con tensión regulable.

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-

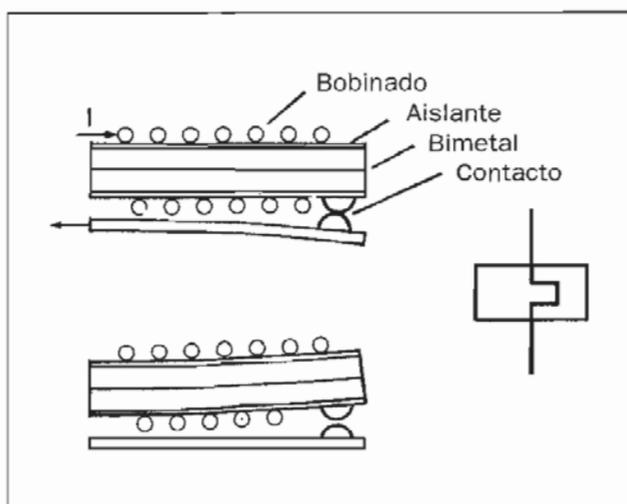


Figura 9.4 Cortacircuitos térmico.

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 :

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

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.

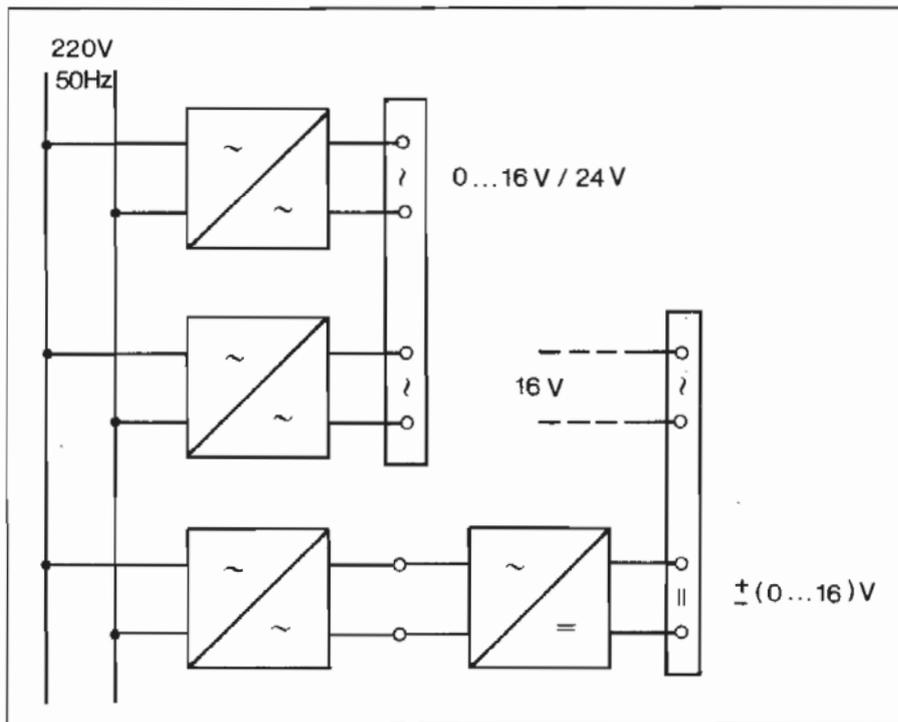


Figura 9.1 Esquema de un transformador regulable para la alimentación de corriente alterna (arriba) y continua (abajo).

la corriente en la bobina, I_1 , crea un flujo alterno Φ 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 Φ 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-

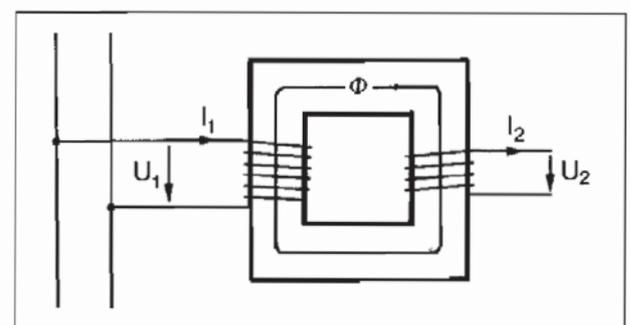


Figura 9.2 Estructura de un transformador.

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

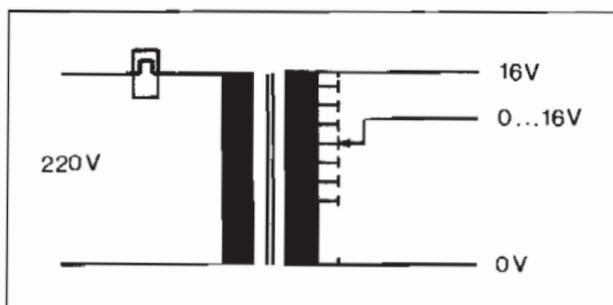


Figura 9.5 Esquema de un panel de control para trenes que funcionan con corriente alterna.

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

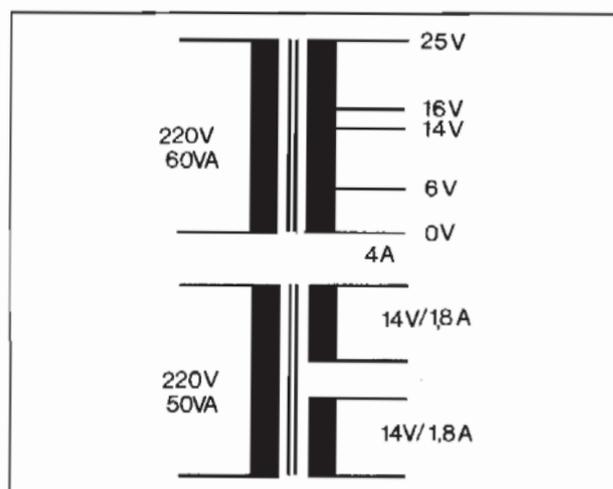


Figura 9.6 Transformadores con salidas de tensiones fijas (Titan, Trix).

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

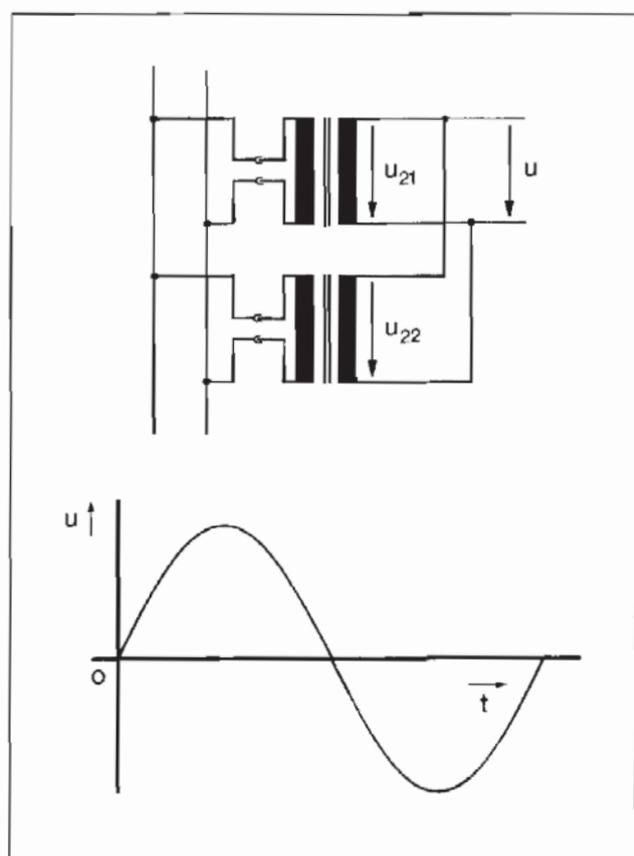


Figura 9.7 Conexión en paralelo de dos transformadores idénticos con conexión correcta a la fase de la red.

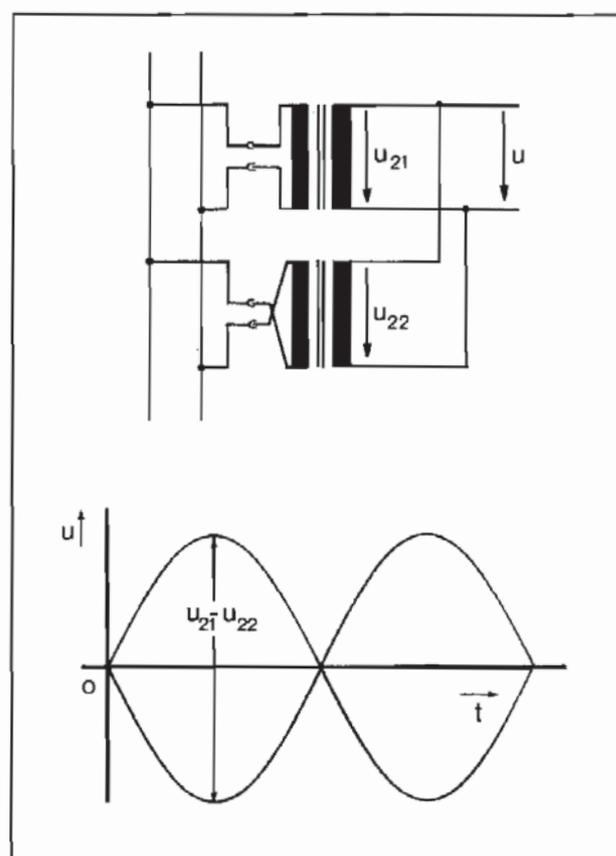


Figura 9.8 Esquema de la conexión incorrecta a la red de uno de los bobinados primarios.

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,

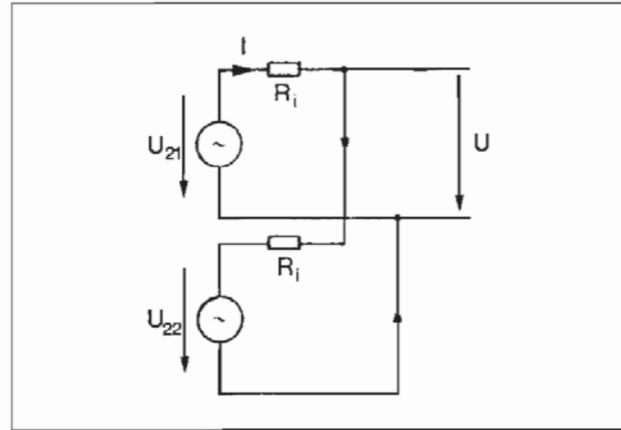


Figura 9.9 Esquema de la conexión en paralelo de los transformadores

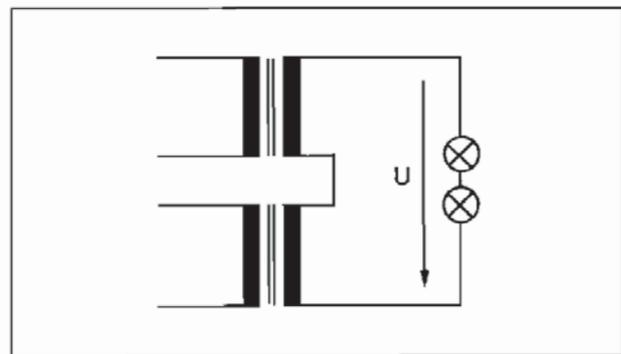


Figura 9.10 Comprobación para detectar la conexión correcta de la fase.

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

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 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-

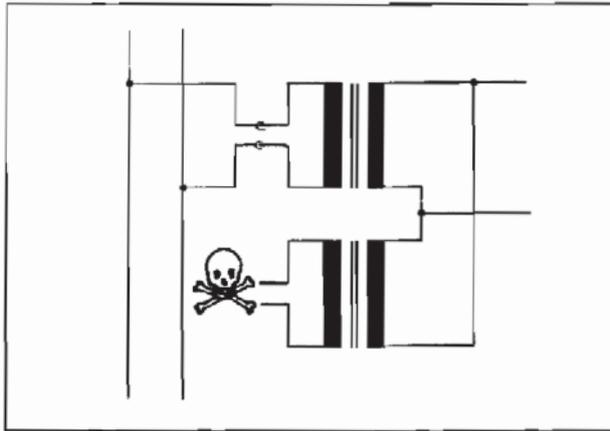


Figura 9.11: Tensión peligrosamente alta en la clavija de enchufe de un transformador conectado en paralelo con otro

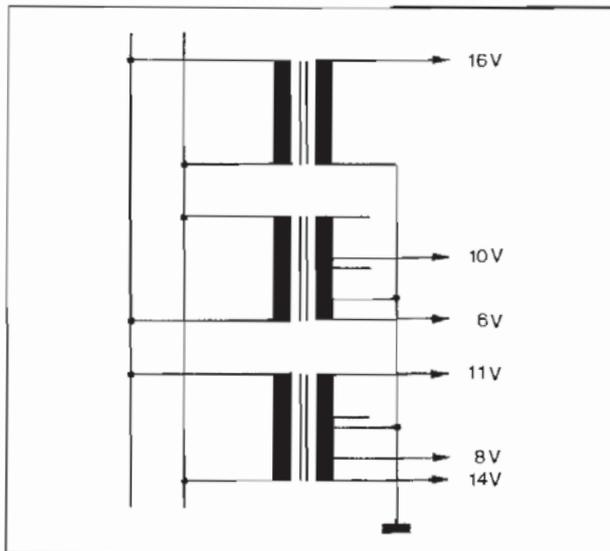


Figura 9.12: Conexión para la alimentación de consumidores con tensiones escalonadas.

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-

dor y la instalación impide que la tensión pueda pasar del lado secundario (instalación) 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 fuente de la tensión de tracción que —en general completada por una salida 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 la toma de corriente regulable, así que se puede regular la tensión e invertir el sentido de la marcha con un mismo botón giratorio. Los bobinados secundarios están protegidos contra sobrecargas mediante un interruptor térmico.

Como se ve claramente en el esquema, la tensión 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 condensado-

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 rendimiento de un panel de control o transformador. Aparte de la potencia (aparente), la corriente nominal es de suma importancia; de ella depende cuándo reaccionan los cortacircuitos térmicos. Se debería calcular la potencia aproximada que necesitará la instalación para poder hacerse una idea de la potencia que ha de 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 pe-

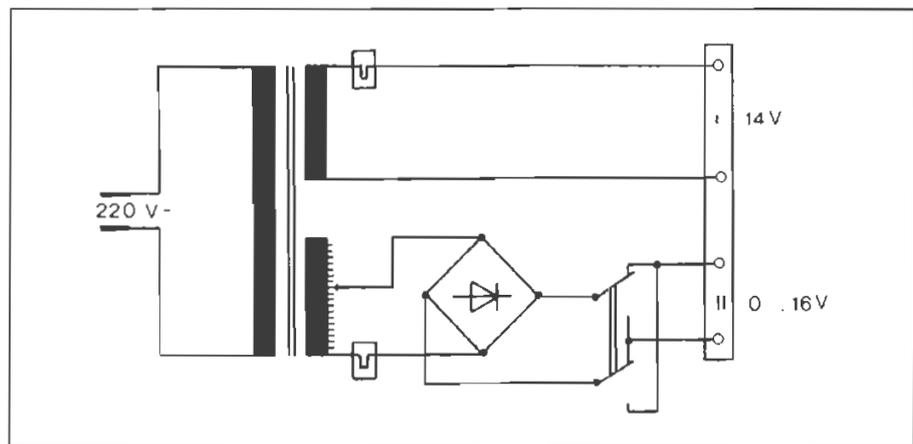


Figura 9.13 Esquema de un panel de control a corriente continua.

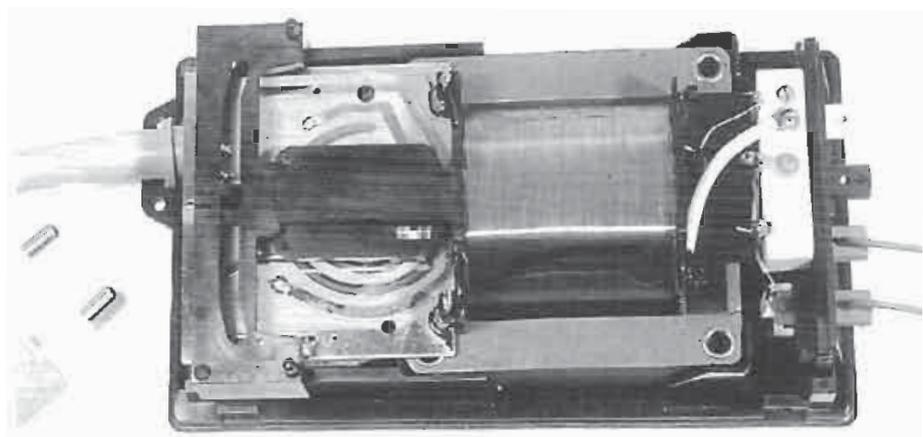


Figura 9.14 El interior de un panel de control a corriente continua es bastante complejo.

queños (7 VA/0,5A) sólo permiten el funcionamiento de una locomotora con iluminación (250 mA) y de tres vagones con iluminación interior (100 mA cada uno).

Locomotora (escala IIm, 2 motores, iluminación, electrónica de sonido)	1.500 mA
Locomotora (escala IIm, iluminada)	750 mA
Locomotora (escala H0, iluminada)	250 mA
Mecanismo de accionamiento con bobinas	500 mA
Bombillas	60 mA
Bombillas <i>mini</i>	30 mA
Diodos luminosos (LED)	20 mA

Tabla 9.1 Consumo de corriente de elementos de la maqueta ferroviaria.

La salida de tensión alterna de los mismos valores puede alimentar diez bombillas de 50 mA cada una, lo que basta a duras penas para las señales luminosas y los faroles de agujas de una pequeña estación; y con esta carga ya no hay garantía de que el transformador pueda suministrar la corriente de conmutación suficiente para impulsar los elementos electromagnéticos. Si bien el cortacircuitos térmico no reaccionará en seguida, la tensión en los bornes se reducirá sensiblemente (fuente de tensión con resistencia interna). Naturalmente, el consumo baja si se disminuye la tensión de funcionamiento en los consumidores a un valor inferior a la tensión nominal (14 V); esto se consigue, por ejemplo, mediante funcionamiento con semionda o utilizando un transformador con varias tomas en el bobinado secundario (ver figura 11.1).

Para los paneles de control de fabricación industrial existen detalladas normativas y prescripciones de seguridad. Cada aparato ha de llevar una placa que garantice el cumplimiento de todas las normas. Éstas se refieren a valores nominales, inscripciones, protección contra descargas, tensión de salida, calentamiento, protección contra cor-

tocircuitos y sobrecarga, resistencia mecánica, conexión a la red, normas de comprobación, etc.

El hecho de que, según la normativa, los paneles del modelismo ferroviario se denominen transformadores para juguetes no debería molestar al modelista. Al 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 peligro de sufrir una descarga eléctrica. Conforme a la normativa de seguridad, las carcassas de los paneles no se pueden quitar con herramientas habituales. Si se produjese el improbable caso de que, a pesar de un uso correcto, el panel presentara un defecto, para la reparación se debe recurrir a un experto por medio de un establecimiento especializado). En este libro hay, sin duda, muchos conse-

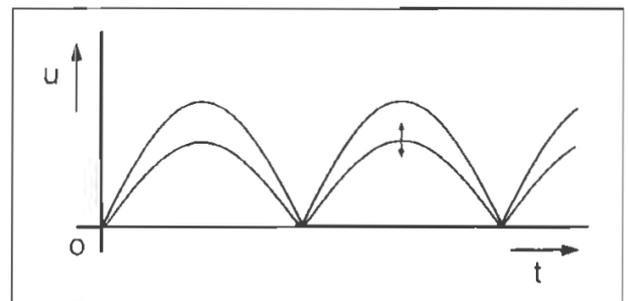


Figura 9.15 Trayecto temporal de la tensión de tracción con regulación por amplitud en diferentes posiciones.

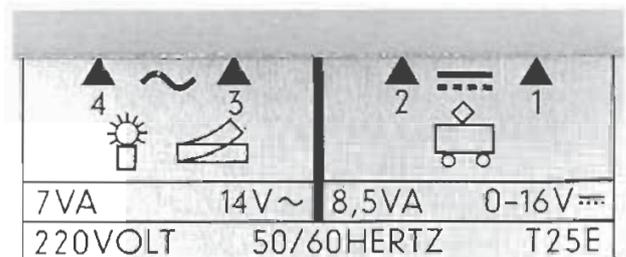


Figura 9.16 Instrucciones normativas en la etiqueta de un panel de control de fabricación industrial.

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

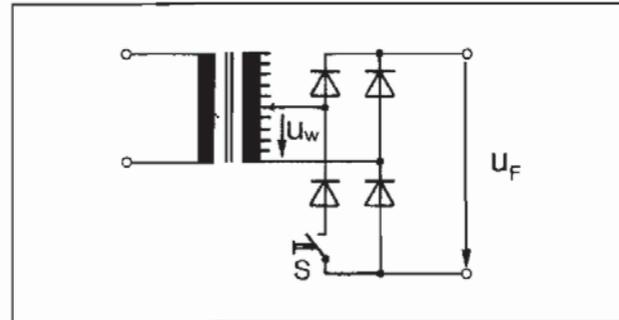


Figura 9.17 Circuito de un panel de control con funcionamiento con semiondas (S abierto) y ondas completas (S cerrado).

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-

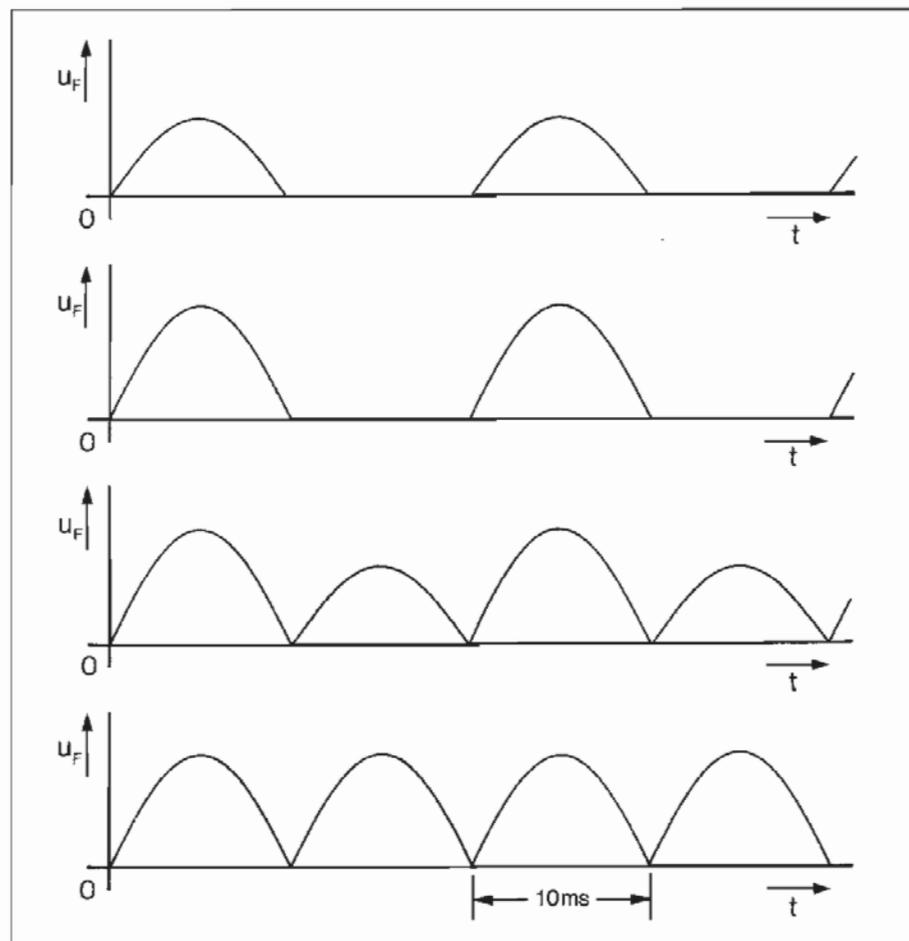


Figura 9.18 Trayecto temporal de la tensión de tracción con velocidad creciente.

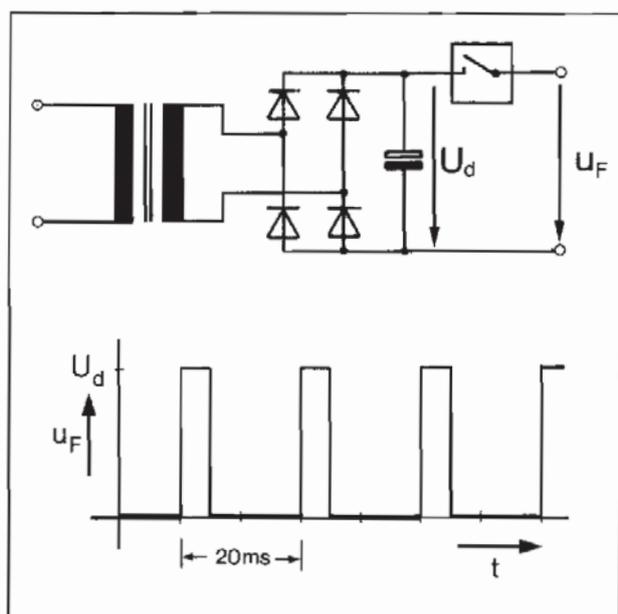


Figura 9.19 Diagrama y trayecto temporal de la tensión de tracción con regulación electrónica.

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 Ω /25 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

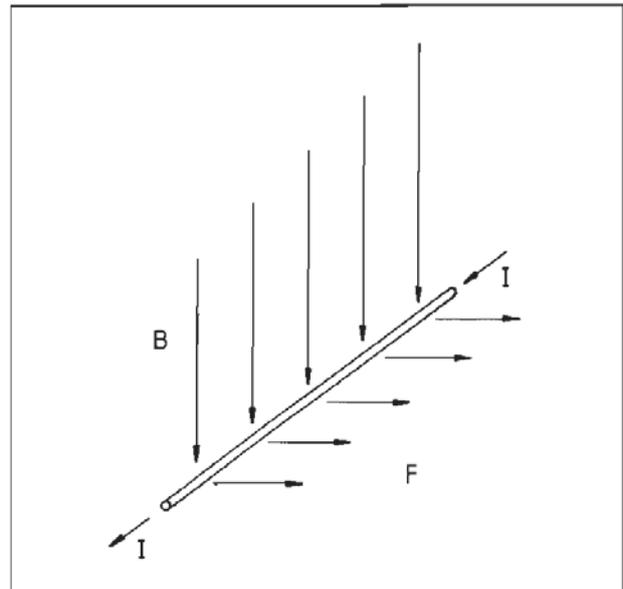


Figura 10.1 Un campo magnético ejerce una fuerza sobre un conductor por el que fluye corriente.

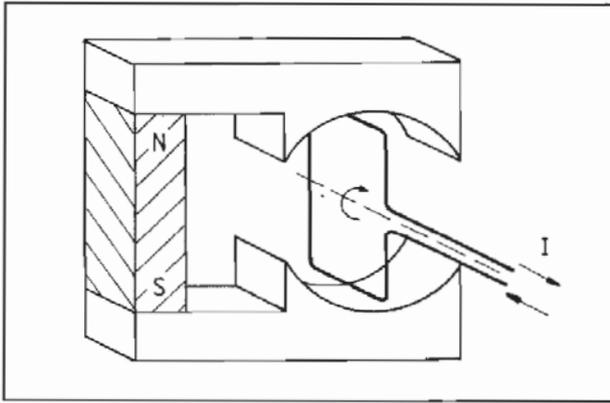


Figura 10.2 En un bucle conductor entre las zapatas polares se crea un par de giro.

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

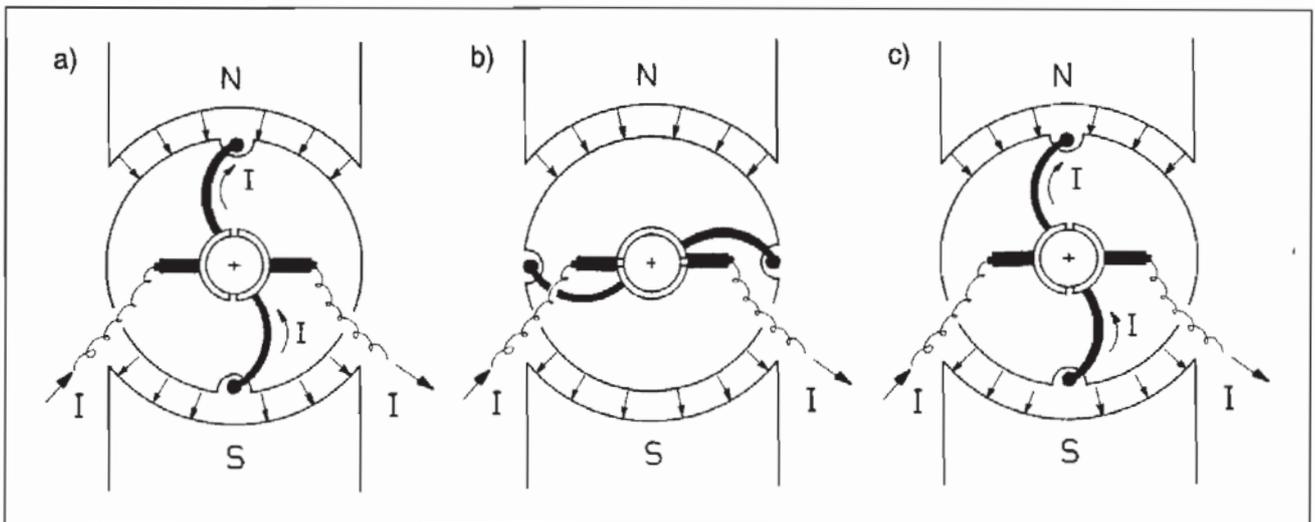


Figura 10.3 El colector invierte el sentido del flujo de corriente en el bucle conductor.

crean un puente entre los dos elementos de cobre, cortocircuitando así el bobinado (figura 10.3b).

Por lo tanto, la corriente ya no atraviesa el bucle; si éste sigue girando, el cortocircuito se anulará. 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. Un rotor de este tipo ya serviría si la inercia siempre fuera suficiente para superar la zona neutra. Sin embargo, si se quiere tener un par de giro en cualquier posición del rotor, el bobinado —o 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 zapatas polares. Ahora bien, esto complica la estructura del colector. Conforme al número de pares de ranuras, el colector presenta numerosas subdivisiones.

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

En lo que a alimentación de corriente se refiere, inicialmente se utilizaban escobillas de hilo de cobre que rozaban el colector. Se sigue hablando de escobillas, aunque ahora se utilizan bloques de carbón o grafito. Cuando dos láminas del colector se cortocircuitan en la zona

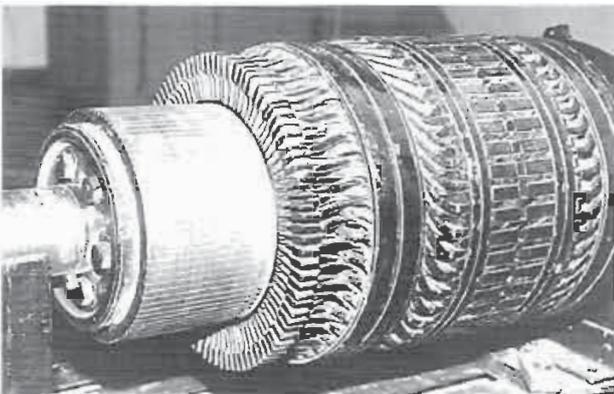


Figura 10.4 El rotor de un motor de 10 kW con un gran número de bucles y de láminas del colector uniformemente distribuidas alrededor de él.

neutra mediante las escobillas, la alta resistencia de paso del grafito disminuye notablemente el chisporroteo que se produciría con escobillas metálicas y que desgastaría rápidamente el colector. En los grandes motores, como los de las locomotoras eléctricas reales, hay que añadir más elementos para garantizar un funcionamiento sin chispas. En los diminutos motores del modelismo, esto es innecesario.

Algunos motores de modelos de trenes tienen una escobilla de carbón y otra de cobre: con corrientes tan diminutas, el carbón tiende a «ensuciar» el colector; la escobilla metálica lo vuelve a limpiar.

Motores en miniatura para trenes en miniatura

Al construir motores para las locomotoras, tanto las reales como las del modelismo, los ingenieros se encuentran con problemas de espacio. En el original, todo ha de caber en el bastidor del bogie; los modelistas, por su parte, quieren vista libre al interior de la cabina del maquinista: el motor ha de quedar invisible. Comparado con las potencias colosales con las que se trabaja en la ingeniería industrial (generadores de centrales eléctricas con una potencia de 1 millón de kW, motores de locomotoras de 1.000 kW), el motor de una maqueta de tren con sus pocos vatios figura como ejemplar en miniatura.

Mientras que el arrollamiento de inducido del motor de un tren real se monta manualmente, los ejemplares del modelismo son fabricados por máquinas. La industria produce inmensas cantidades de motores diminutos que están diseñados para la barata fabricación en masa. De hecho, los modelos más sencillos, que están contruidos para realizar, de forma invariable, 10.000 revoluciones por minuto, no sirven para mover trenes, ya que la velocidad de éstos debe ser variable.

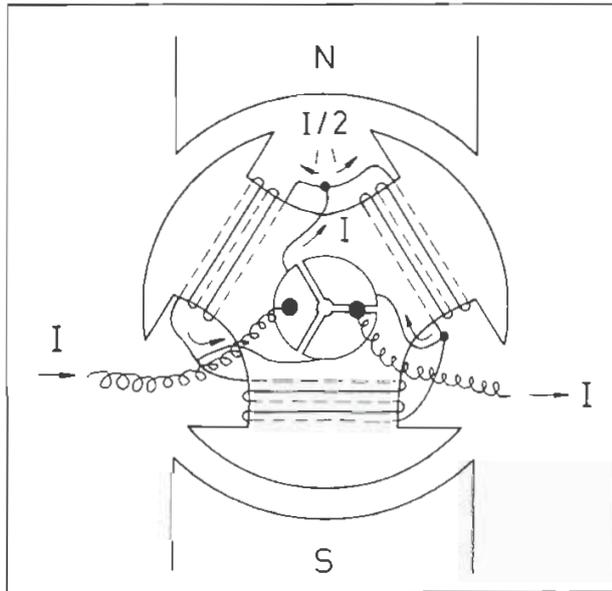


Figura 10.5 Motor «tripolar», estándar para muchos modelos de locomotoras.

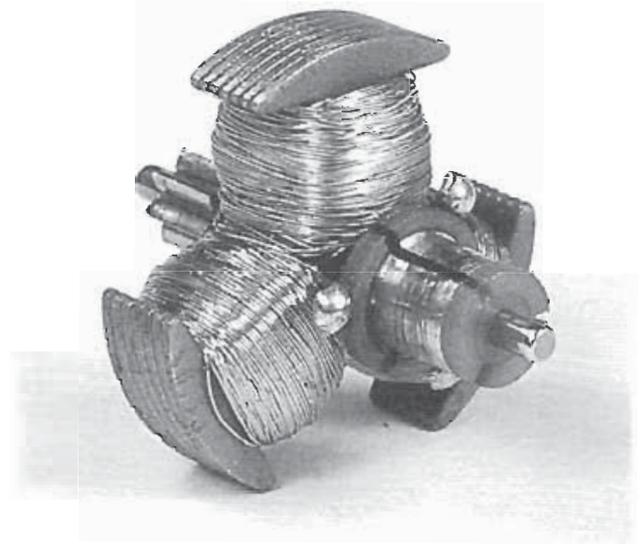


Figura 10.6 Rotor de la escala HO de Märklin con colector de tambor.

No obstante, todos los fabricantes los ofrecen. El modelo más primitivo que crea un par de giro en cualquier posición sólo necesita tres ranuras. En éstas hay tres bobinados y el colector tiene tres láminas separadas.

Aparte del «colector de tambor», en el que las láminas están colocadas alrededor del eje del rotor, también existe el colector plano, en el que las láminas forman un disco, lo que reduce la longitud del rotor. La figura 10.5 representa esquemáticamente un rotor de este tipo. Se ve claramente que en

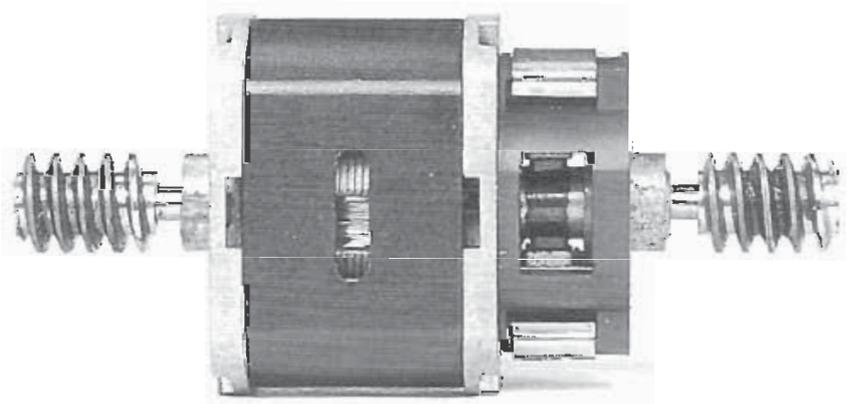


Figura 10.7 Motor HO de Trix con los dos extremos del árbol de transmisión y tornillos sin fin.

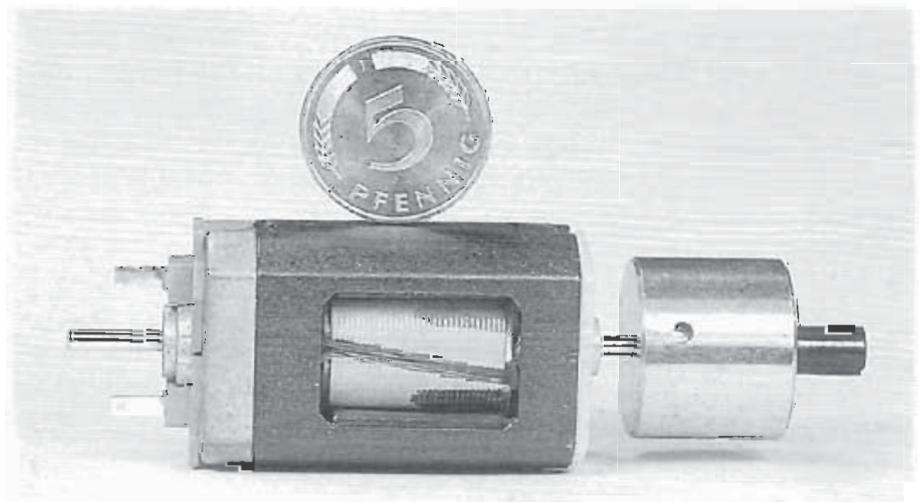


Figura 10.8 Motor HO de Roco con rotor de cinco «polos» con ranuras inclinadas, dos extremos y disco volante de latón.

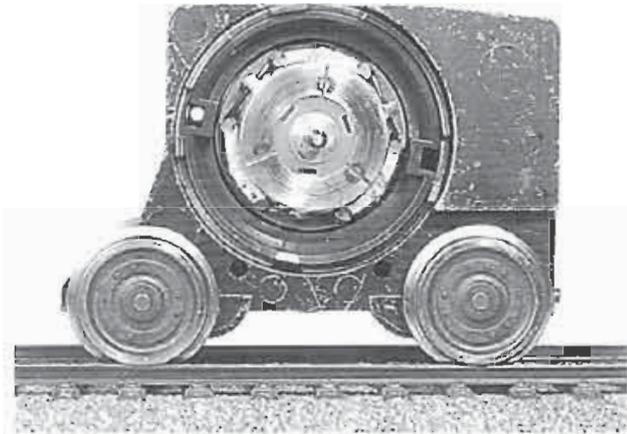


Figura 10.9 Motor redondo para H0 de Fleischmann, con la placa quitada; rotor de tres «polos» con relleno de plomo.

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

Estos rotores también se llaman «tripolares», ya que la superficie de cada lámina del colector encaja perfectamente en las zapatas polares. Evidentemente, el motor sólo tiene dos polos —norte y sur—, por lo que «tripolar» es una denominación incorrecta. Sin embargo, está muy difundida, así que la adoptaremos, aunque sea entre comillas. Un rotor «tripolar» de colector plano se puede ver en la figura 10.9. La figura 10.7 muestra un modelo con colector de tambor.

Si bien los rotores 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 rotores de construcción alargada. El engranaje reductor se puede realizar exclusivamente con ruedas dentadas, pu-

diendo prescindir de los tornillos sinfín no reversibles.

Hay otro efecto que, con número bajo de revoluciones, impide las rotaciones uniformes del rotor «tripolar». Girando el rotor manualmente, en ciertas posiciones se nota una resistencia mecánica: exactamente cuando un «polo» del rotor está frente una zapata; esto quiere decir, en seis posiciones por revolución. Al 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 perciben, 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, el par de giro es menos irregular, pero para nuestros fines tampoco se trata de un motor como ha de ser.

Motores con excitación eléctrica

El campo magnético que ejerce su fuerza sobre el rotor también puede ser creado por una bobina por la que fluye corriente. Se denomina bobina o arrollamiento 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 paralelo —entonces se trata de un motor de excitación en paralelo— o en serie —entonces se habla de un motor de excitación en serie—. La figura 10.10 muestra un esquema de ambos tipos: en el esquema de conexiones, el tipo de conexión entre arrollamiento y rotor se ve claramente. Mientras que en la maquinaria industrial predominan los motores de excitación

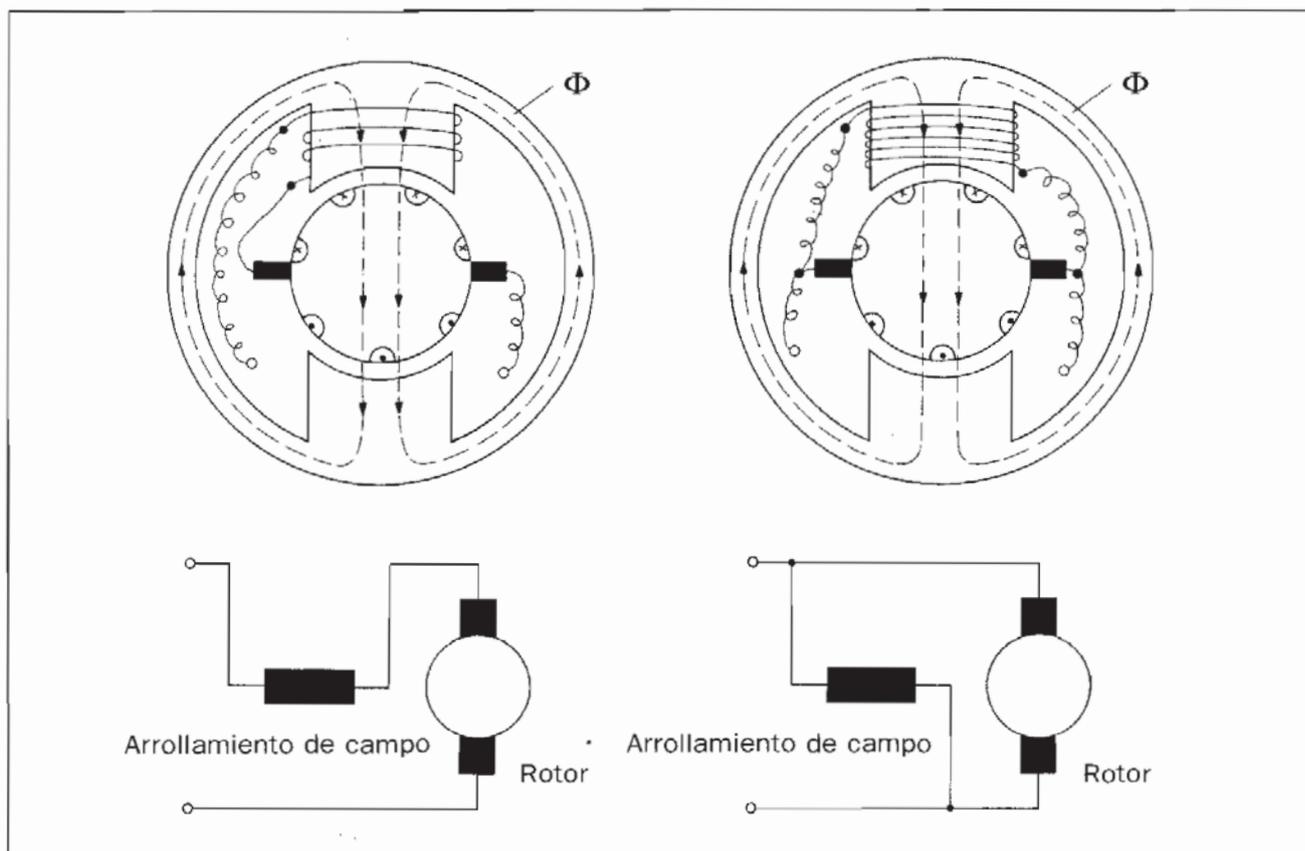


Figura 10.10 Un motor con excitación en serie y otro con excitación en paralelo con sus respectivos esquemas equivalente

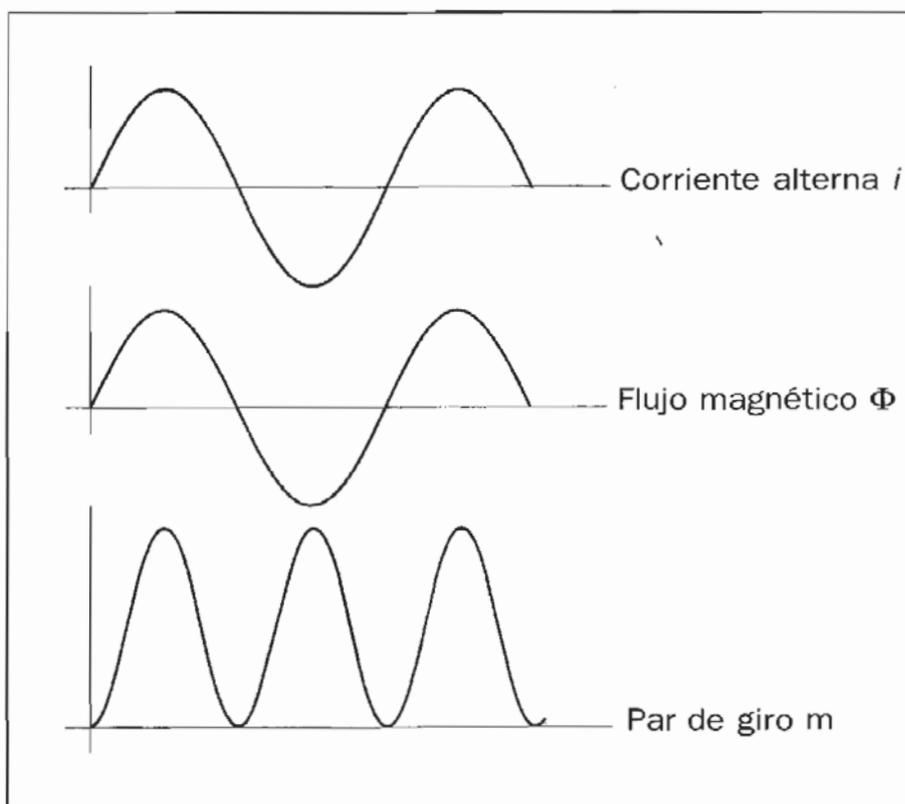


Figura 10.11 En el motor de excitación en serie la corriente alterna y el campo magnético alterno dan un par de giro positivo.

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

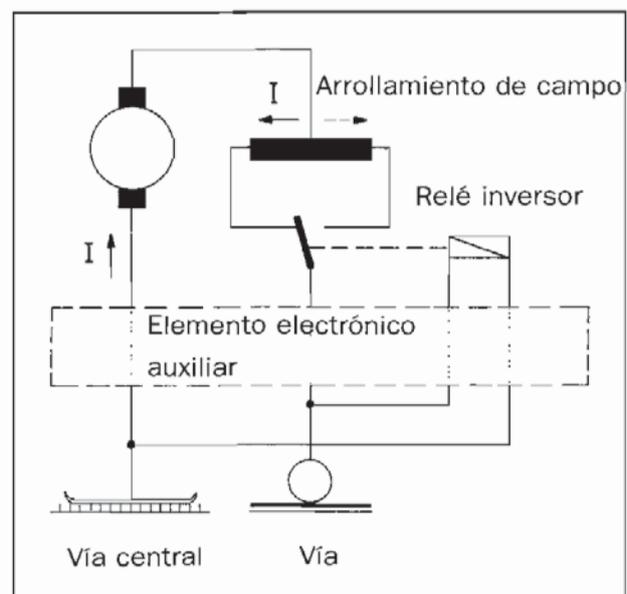


Figura 10.12 Cambio de sentido en una locomotora a corriente alterna.

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.

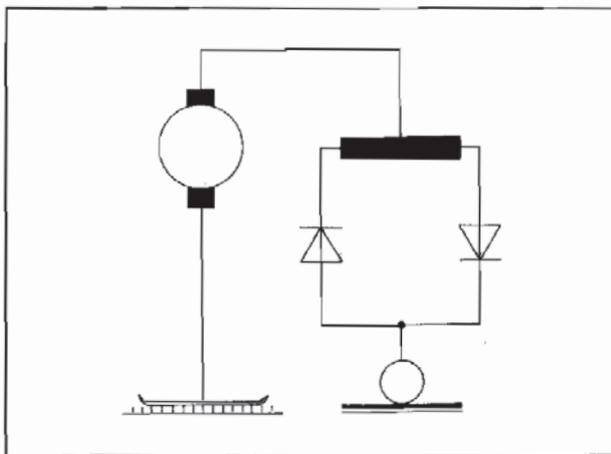


Figura 10.13 Con esta conexión con diodos el motor de Märklin cambia el sentido de la marcha al invertir los polos.

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 HO 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.

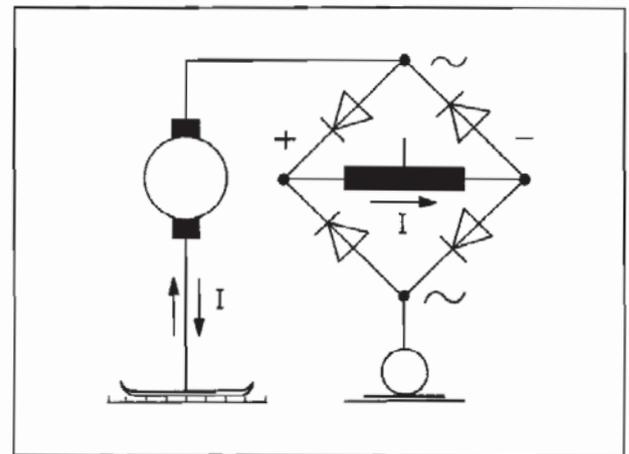


Figura 10.14 Una conexión rectificadora para adaptar locomotoras de Märklin al funcionamiento con corriente continua.

Quien posea 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 montarles 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 relé inversor y del elemento electrónico auxiliar; 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 dejando 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 del rectificador, mientras que la otra entrada se conecta a la carcasa. En este caso, el sentido del flujo de corriente en los arrollamientos también permanece invariable independientemente de la polaridad de la corriente aplicada.

Lo que queda por hacer para adaptar las locomotoras de Märklin al sistema de dos vías y corriente continua es «só-

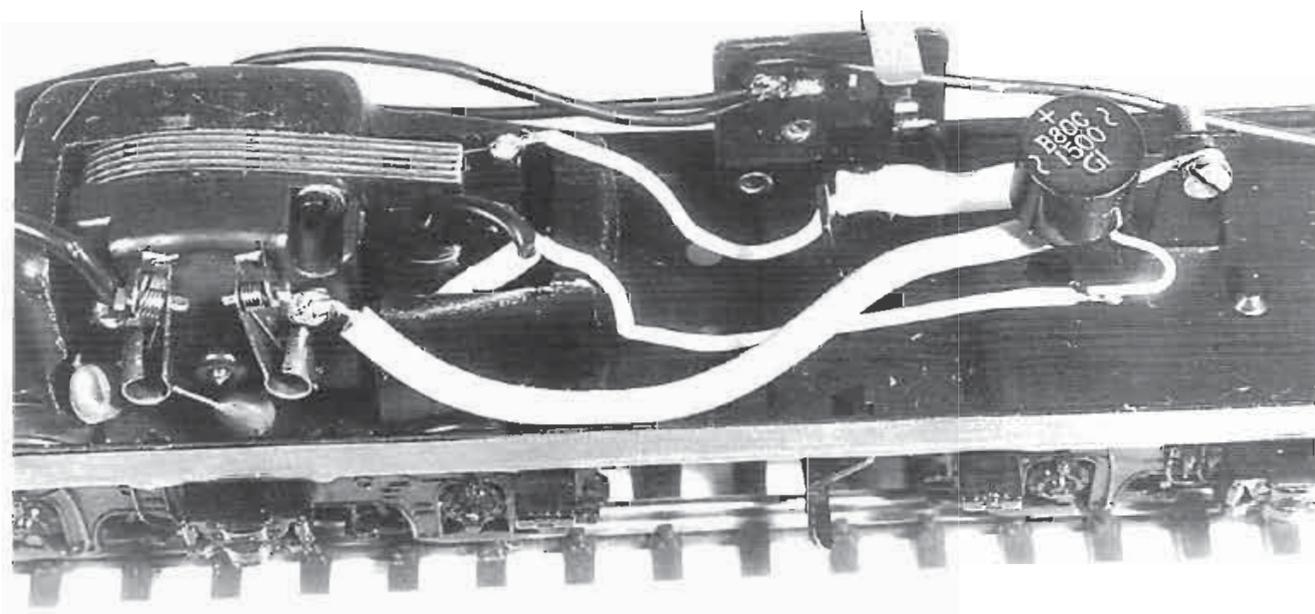


Figura 10.15 El rectificador en puente ha sustituido el relé inversor.

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:

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

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:

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

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 maquina 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 $16 \frac{2}{3}$ Hz

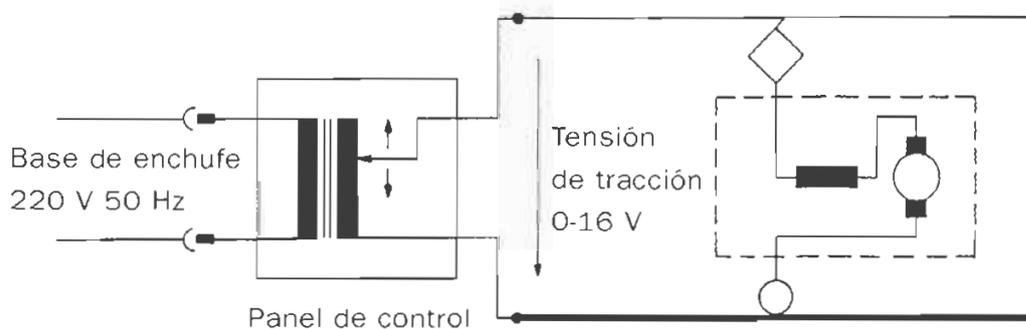
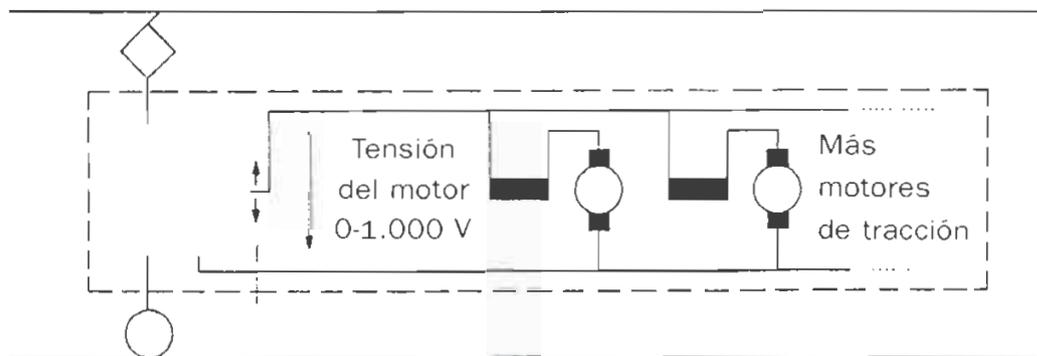


Figura 10.16 Versión de cercanías del modelo BR-111, muy difundido, en la estación central de Düsseldorf. La alimentación se realiza por medio de un pantógrafo monomástil. En el centro: esquema del funcionamiento de una locomotora eléctrica real. Abajo: esquema del funcionamiento de una locomotora de modelismo.

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.

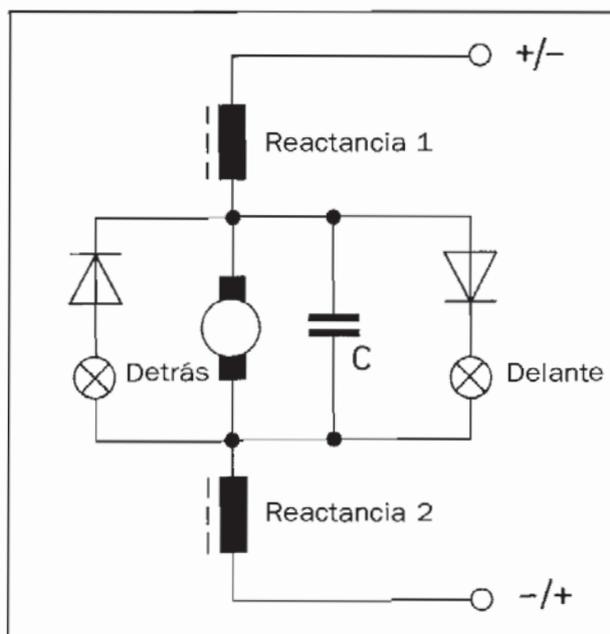


Figura 10.17 El esquema completo del interior electrotécnico de una locomotora a corriente continua con dispositivo antiparasitario e iluminación dependiente del sentido de la marcha.

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

Usaremos como ejemplo el engranaje de tornillo sinfín o helicoidal. El tornillo sinfín 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 delgados y alargados. La fricción entre la rosca helicoidal y la rueda dentada que impulsa es especialmente grande. No obstante, hay locomotoras con engranaje helicoidal cuya marcha es satisfactoria; pero existen otras cuyo comportamiento en marcha es un desastre. La causa suele ser la falta de precisión en el montaje del motor, el tornillo sinfín y la rueda dentada, que causa fricciones irregulares adicionales.

Los rotores con colector plano, cuyo ár-

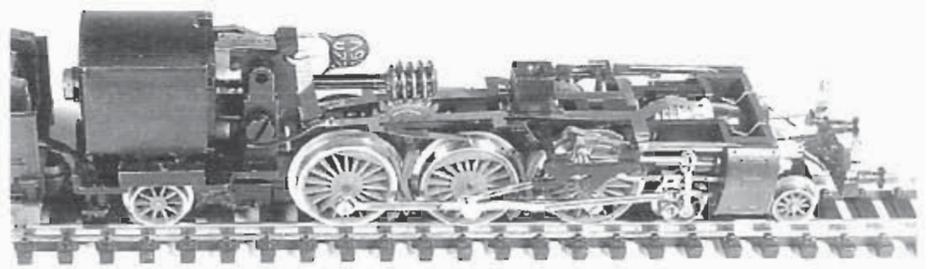


Figura 10.18 Un motor en posición longitudinal con engranaje helicoidal es lo más frecuente, sobre todo en la escala N. En este modelo, los tres ejes motrices están acoplados mediante ruedas dentadas. Éstas están exactamente en el centro de los ejes y permiten, así, cierto juego vertical. Los cursores para la toma de corriente actúan un poco como muelles. Dado que algunas ruedas de los ejes del tender también toman corriente, el comportamiento de este modelo es bueno incluso en calles de cambio.

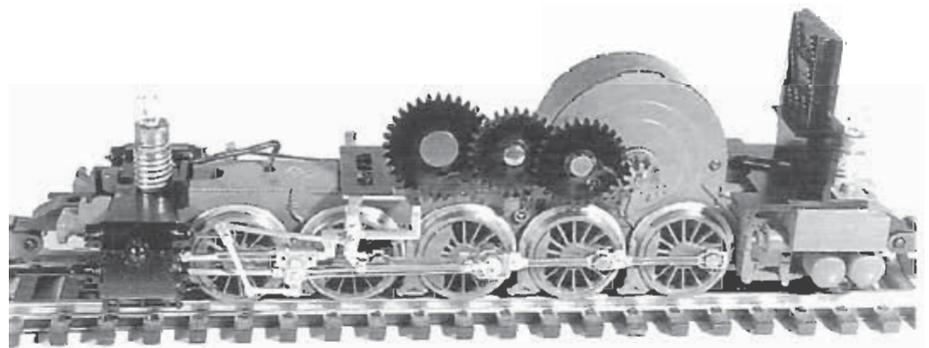


Figura 10.19 Un motor de colector plano con engranaje de ruedas dentadas rectas. Se impulsa un solo eje —como en el original— mediante una rueda dentada, los cuatro ejes restantes se mueven mediante las bielas de acoplamiento; dado que todas las ruedas están totalmente fijas, la toma de corriente deja mucho que desear. De hecho, la transmisión mediante ruedas dentadas rectas funciona bastante bien; lo que impide en este caso una marcha de maniobras satisfactoria es el rotor «tripolar».

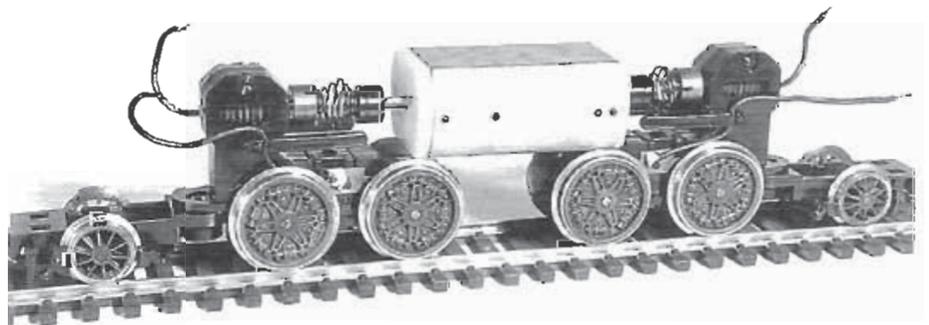


Figura 10.20 Un sistema de transmisión para locomotoras de bogie: el motor, en el centro del vehículo, mueve, por medio de los dos extremos del árbol y un muelle espiral, tornillos sinfín encima de cada bloque de bogie. Por desgracia, el acoplamiento «blando» mediante muelles aumenta aún más las sacudidas durante la marcha en vez de amortiguarlas. En los modelos más nuevos los muelles ya se han sustituido por pequeños cárdanes.

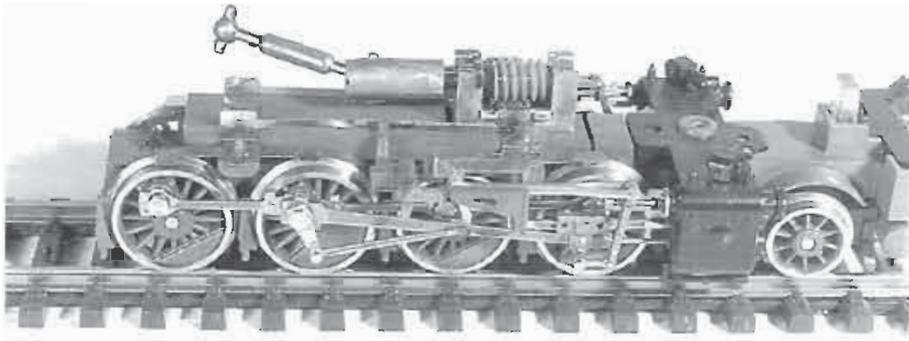


Figura 10.21 Con el cardán el par de giro se transmite limpiamente a elementos de transmisión móviles. En este modelo sólo se mueven los dos ejes interiores mediante ruedas dentadas. Los exteriores se impulsan con las bielas de acoplamiento; estos ejes son móviles, lo que facilita la toma de corriente, aunque a veces se producen fricciones y movimientos irregulares.

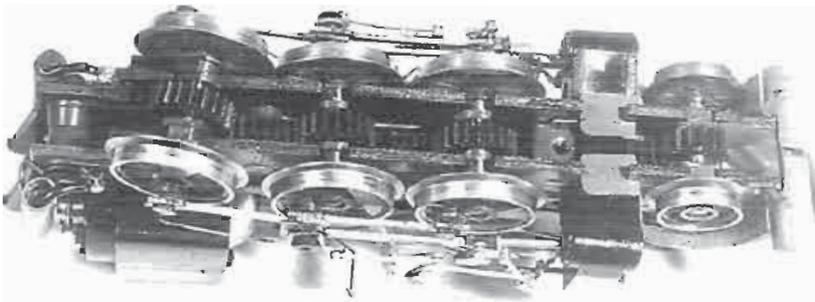


Figura 10.22 En este modelo se impulsan todos los ejes, incluso el delantero, desde el motor. Las ruedas dentadas están exactamente en el centro de los ejes, que incluso disponen de cojinetes con juego vertical.

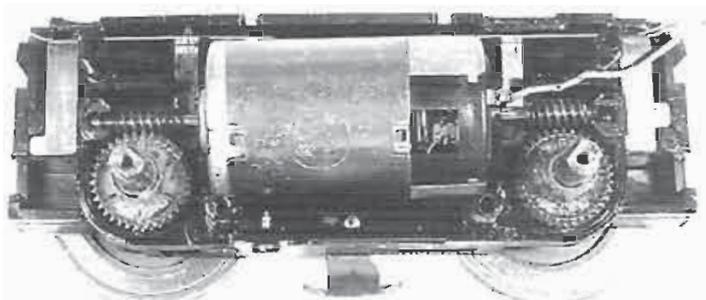


Figura 10.23 En los sistemas de transmisión de LGB el motor está colocado directamente en los ejes de las ruedas. A escala real este sistema se encuentra frecuentemente en tranvías y metros; se habla de transmisión biaxial longitudinal. Los ejes de LGB también son inmóviles: los problemas resultantes para la toma de corriente se solucionan con cursores. Éstos no quedan muy bien estéticamente, pero los modelistas aficionados a LGB los aprecian mucho.

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

A menudo, se alternan ruedas dentadas metálicas con otras de plástico, lo que produce un efecto de autolubricación y disminuye el ruido; al fin y al cabo, una maqueta de tren no debería sonar como un molinillo de café.

Sobre todo cuando se trata de engranajes de ruedas dentadas rectas, en 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 —interconectadas a precisión mediante ruedas dentadas— tienen cierto juego lateral, pero no vertical. En el sistema de dos raíles, esto suele tener la consecuencia desagradable de que la absorción de corriente es insuficiente, ya que, con la más mínima irregularidad

en los raíles, parte de las ruedas pierden el contacto con la vía. Si se da el caso de que en este punto hay, además, un poco de polvo todas las ruedas pueden quedar aisladas de la alimentación. Es, pues, imprescindible que haya cierto juego vertical, especialmente en el sistema de dos raíles. El engranaje ha de combinar buenas características de transmisión con una buena toma de corriente. Parece que muchos fabricantes ni siquiera se han dado cuenta todavía de este problema.

A fin de conseguir modelos que sean lo más realistas posible, pero también para reducir el coste del sistema 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 dentada, las demás, como en el original, por bielas de acoplamiento. Para que este sistema funcione bien, se requiere muchísima precisión en el mecanismo. Lo ideal son bielas subdivididas, como en las locomotoras reales, para permitir cierto juego vertical de cada una de las ruedas. Los sistemas actuales no suelen dar la talla; las consecuencias para la toma de corriente ya se han comentado.

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 posiciones de las ruedas en que el par de giro transmisible desaparece. Cuando los muñones del cigüeñal 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

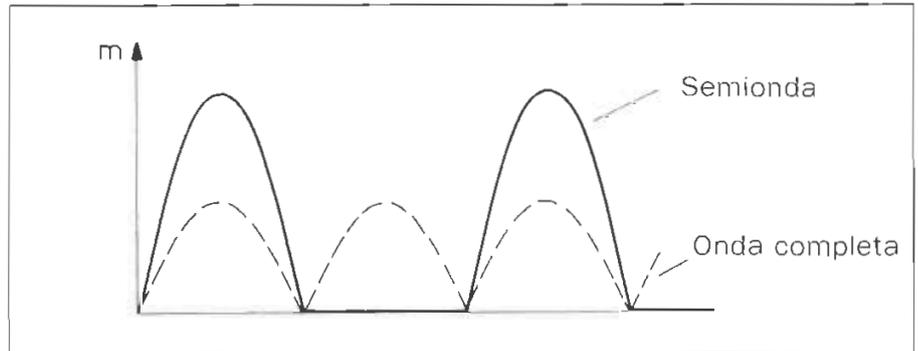


Figura 10.24 El par de giro con semionda y onda completa

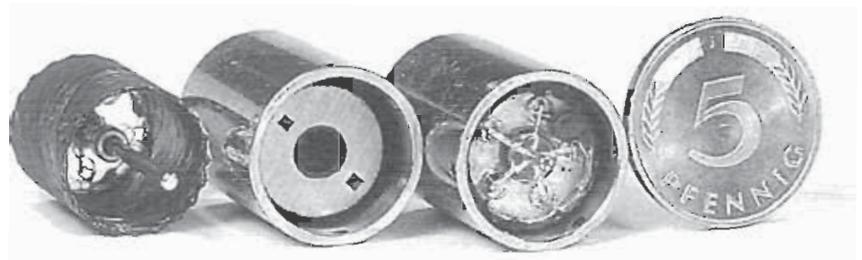
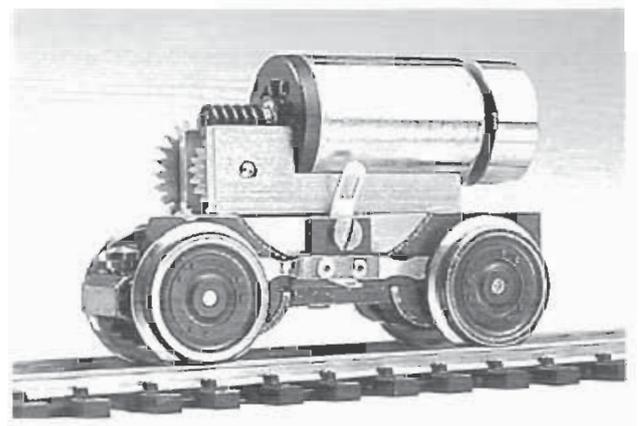


Figura 10.25 Un motor de Faulhaber desmontado. De izquierda a derecha, rotor de campana, cilindro hueco de hierro con imán permanente, lado opuesto del rotor de campana con colector; abajo, motor de Faulhaber montado.



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 transmisible está en su máximo. Este desfase es el causante del típico balanceo de las cortas locomotoras de maniobras reales con impulsión por bielas. En las maquetas 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

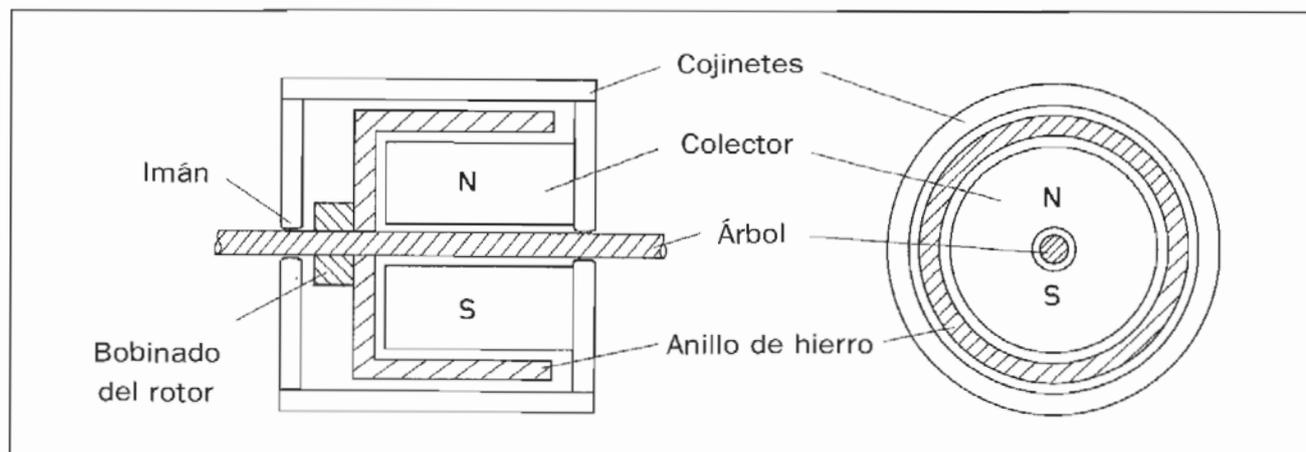


Figura 10.26 Sección longitudinal y transversal de un motor de rotor de campana; las partes móviles están sombreadas.

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.

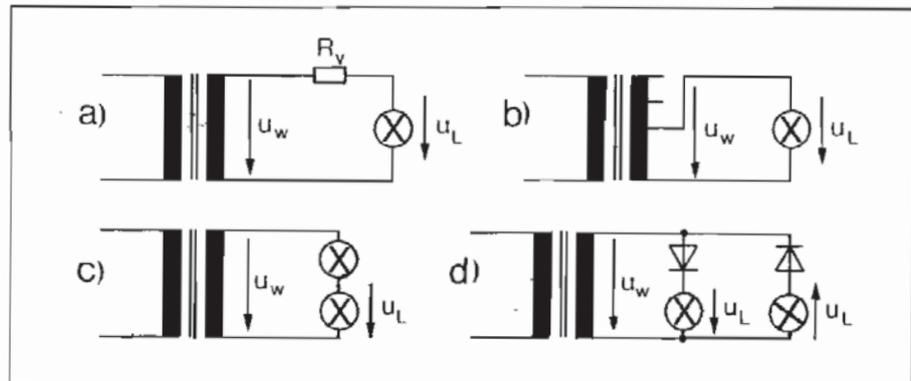


Figura 11.1 Posibilidades para reducir la tensión en un consumidor (bombilla): a) resistencia limitadora $U_L = U_w - R_V \cdot I$; b) transformador con varias tomas del bobinado secundario $U_L = U_w$; c) conexión en serie de los consumidores $U_L = U_w/2$; d) funcionamiento con semionda: $U_L = U_w/2$.

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 1,6 V a 2,7 V, dependiendo del material semiconductor utilizado (ver más abajo), y funcionan con una corriente de 20 mA:

$$P = U_D \cdot I = 1,6 \text{ V} \cdot 0,02 \text{ A} = 0,03 \text{ W.}$$

Los LED resisten perfectamente las vibraciones y su vida es prácticamente

ilimitada (superior a 100 años) si se respetan las «reglas del juego».

Hoy en día, los diodos luminosos más importantes son los que emiten luz roja, amarilla o verde. En las bombillas se consigue dar color a la luz emitida coloreando el cuerpo de vidrio. Funciona como un filtro que sólo deja pasar las porciones correspondientes a ese 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 amarillo. El color de la luz generada por un LED depende exclusivamente del material semiconductor utilizado.

Los diodos luminosos son extremadamente sensibles a las sobretensiones. Su curva característica tiene el mismo trayecto que un diodo sencillo (ver figura 5.6), por lo que siempre tiene que trabajar con una resistencia limitadora R_V . Sus magnitudes pueden calcularse con la siguiente fórmula

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

Por regla general hay que elegir $I = 20 \text{ mA}$, 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: 2,2 V
- LED verde: 2,4 V.

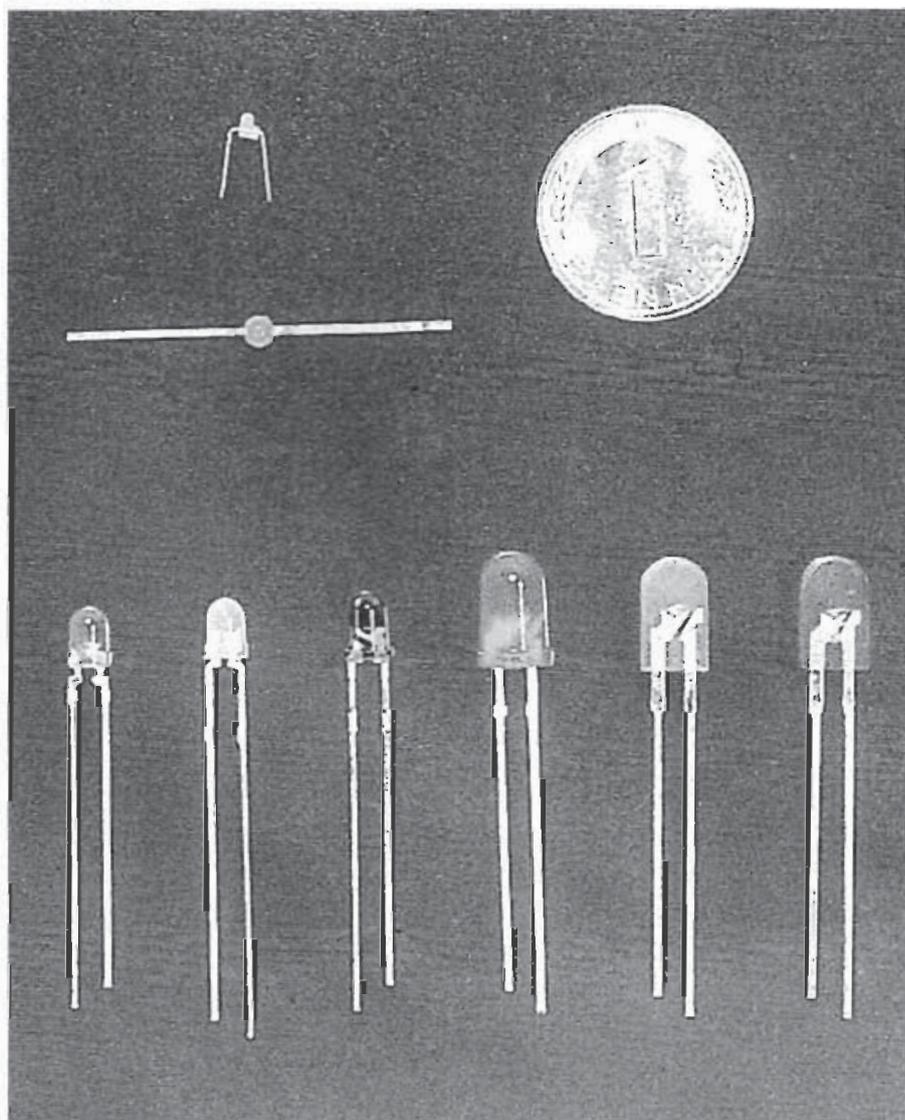


Figura 11.2 Fuentes de luz para el modelismo ferroviario: diodos luminosos. Sólo se muestran algunas formas y colores de LEDs.

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 220Ω) 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

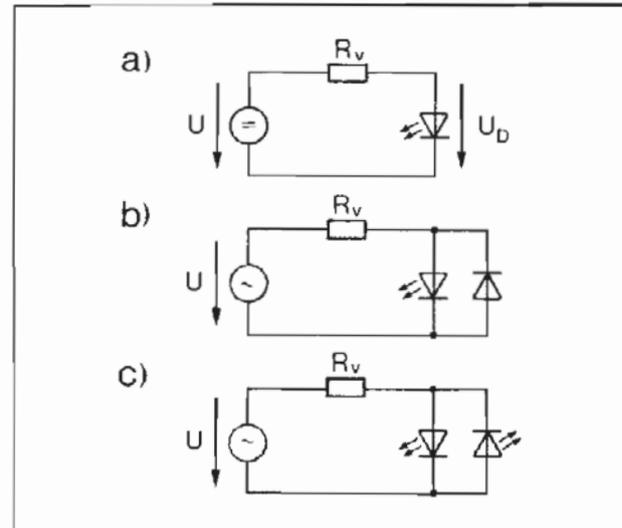


Figura 11.3 Circuitos para el funcionamiento de LEDs con tensión continua y alterna.

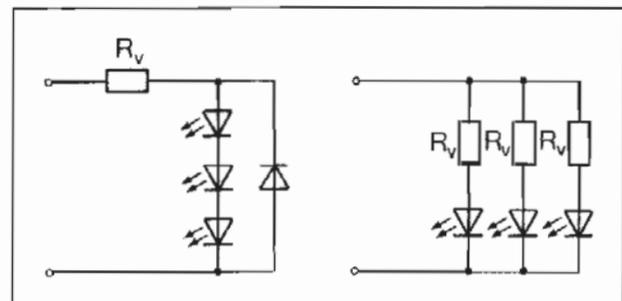


Figura 11.4 Conexión en serie y en paralelo de diodos luminosos.

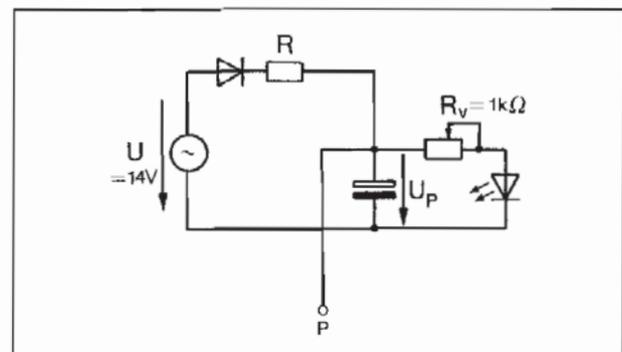


Figura 11.5 Señales para indicar la tensión de funcionamiento.

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

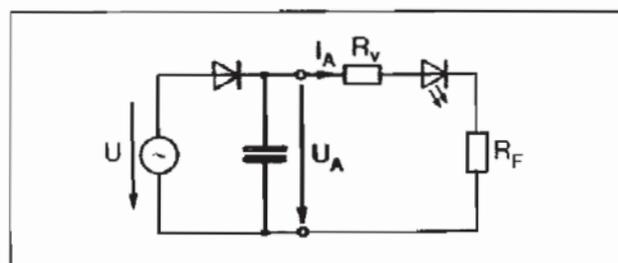


Figura 11.6 Circuito de una señal de vía ocupada.

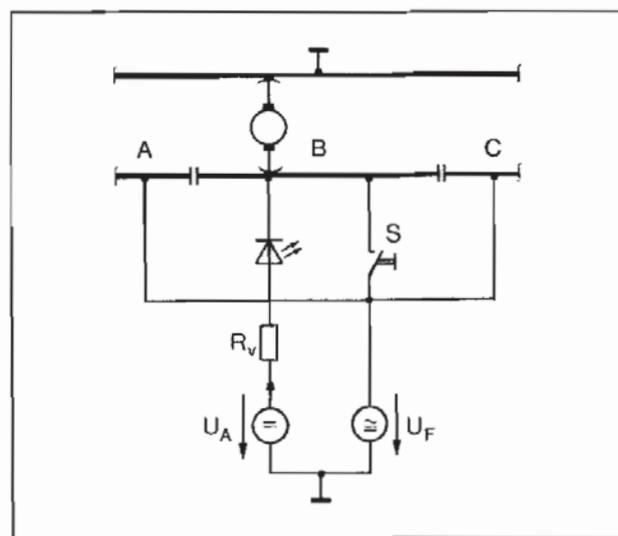


Figura 11.7 Señal de vía ocupada con diodo luminoso.

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 150Ω . 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 seg- mento 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

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, ± 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

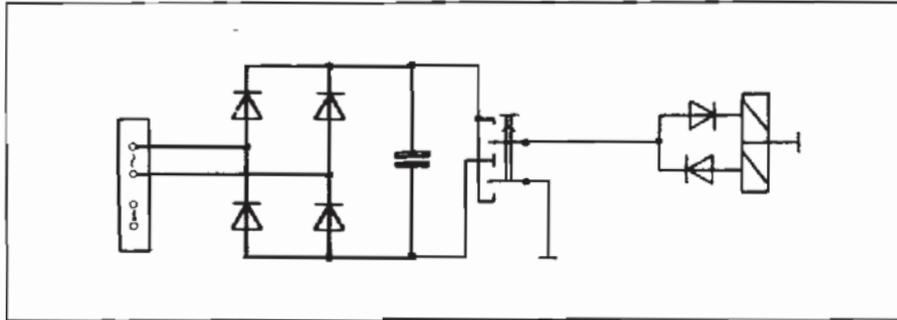


Figura 11.9 Estructura de la fuente de tensión bipolar con puente rectificador e inversor de polos; rectificador: B 40 C 3.200/2.200 C = 2.200 μ F/40 V.

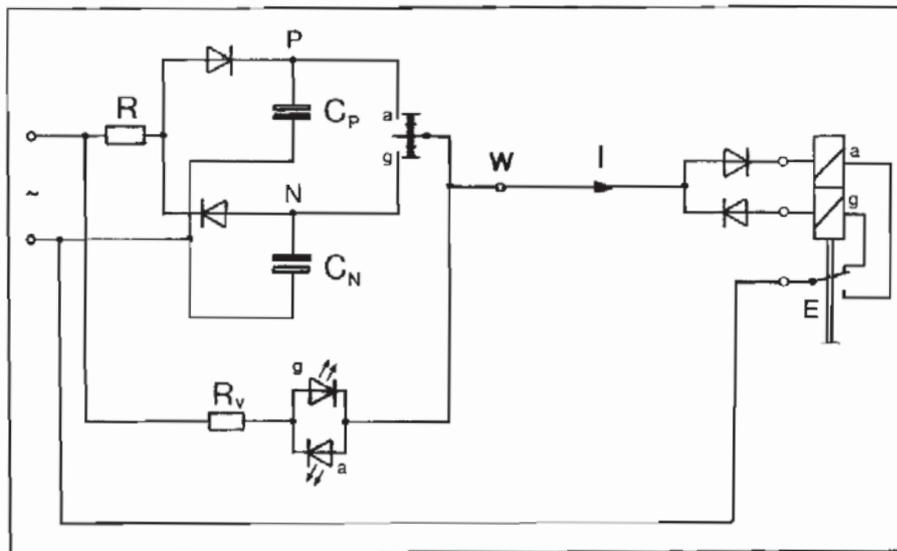


Figura 11.10 Circuito de control y de retroalimentación para un mecanismo (de agujas) con apagado final.

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-

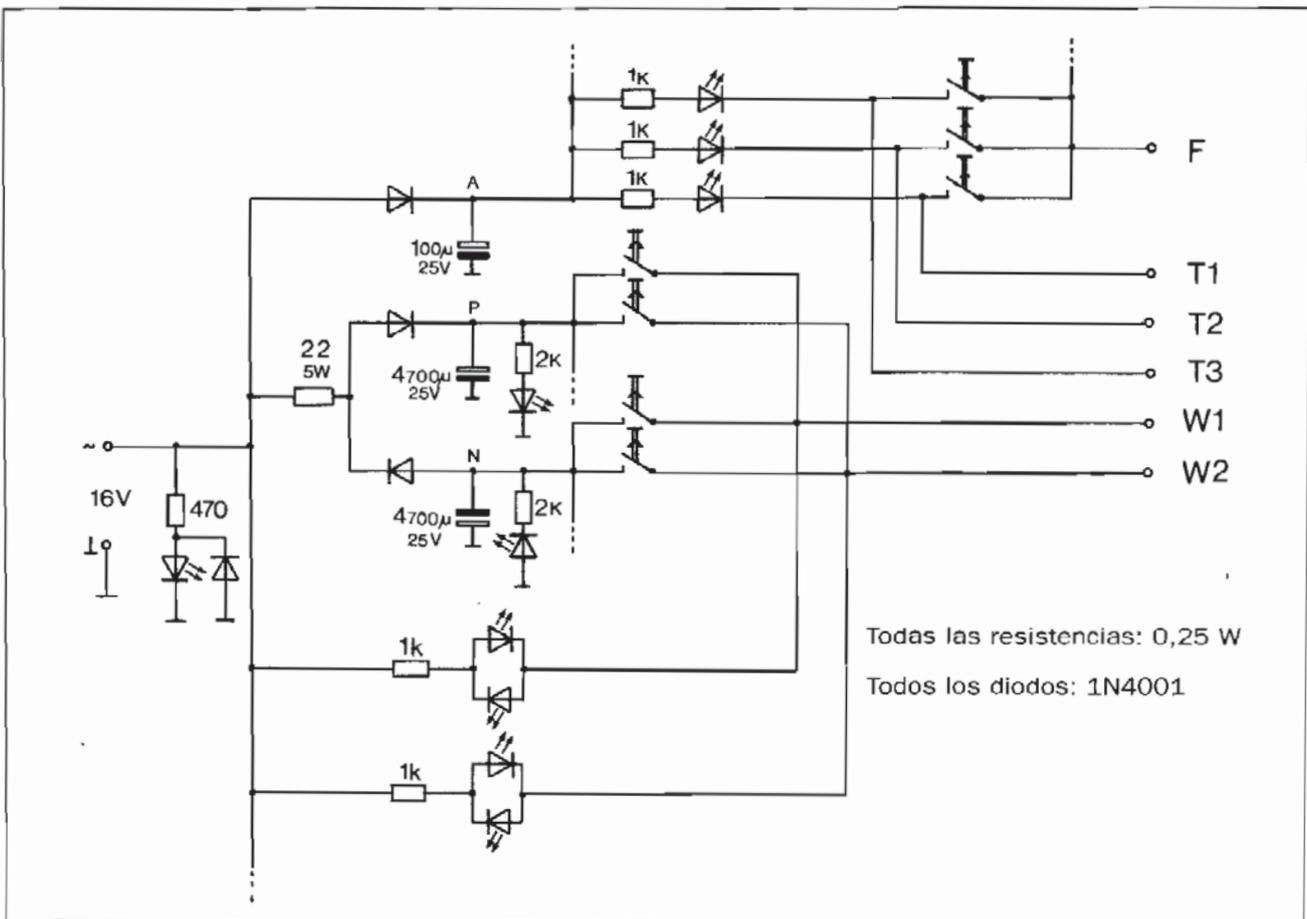


Figura 11.11 El diagrama de conexiones para el control de la estación subterránea.

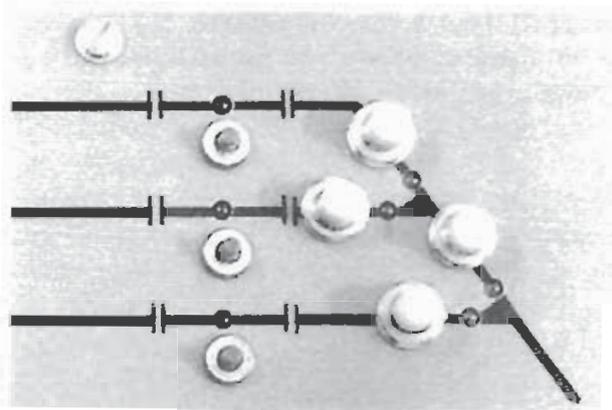


Figura 11.12 Sección de un tablero de mando.

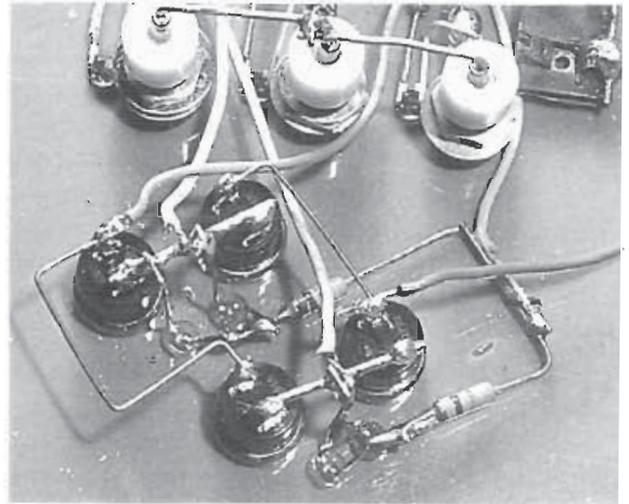


Figura 11.13 Visión de la parte inferior del tablero. La sección corresponde a la de la figura 11.12.

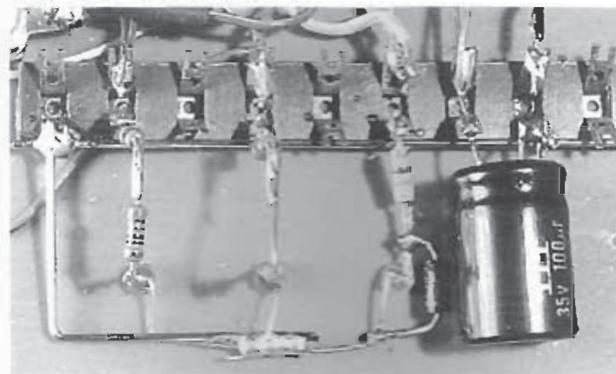


Figura 11.14 Listón de soldadura como serie de puntos de empalme eléctricos.

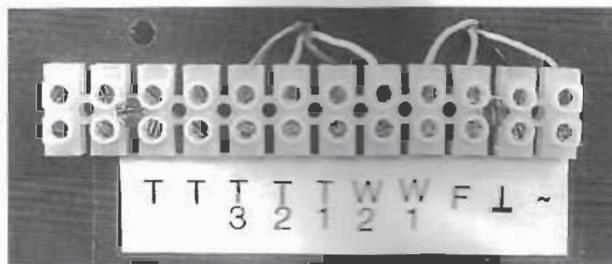


Figura 11.16 Como soporte para el empalme de cables sirve una regleta de conexión con tornillos. La denominación de los puntos corresponde a la del esquema.

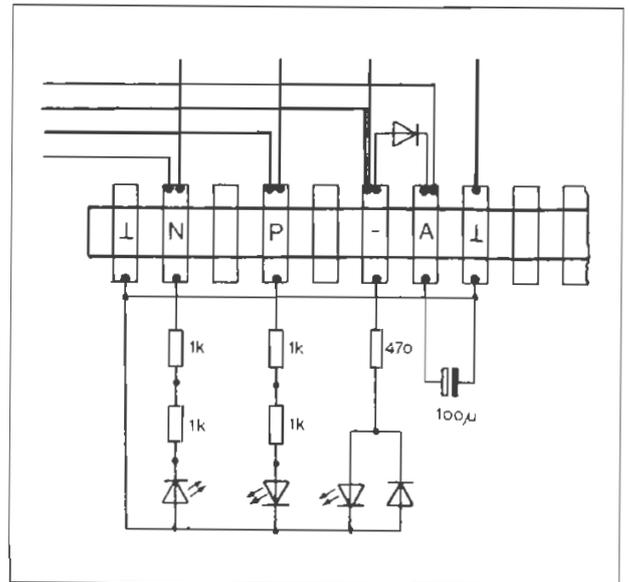


Figura 11.15 El esbozo de la distribución para la figura 11.14 ha de clarificar la relación entre el diagrama de conexiones y el circuito incorporado.

rando 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 modelismo ferroviario y en las revistas especializadas de electrónica se encuentran diagramas de conexiones del tipo de la figura 11.11.

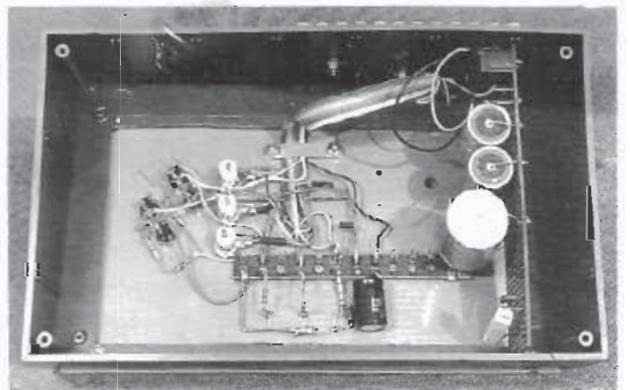


Figura 11.17 Vista global del interior.

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 indirecta o abreviada. Cuando la indicación es indirecta, los valores numéricos se encuentran en una lista especial, por ejemplo $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 5 \text{ nF}$ o D_1 , $D_2 = 1\text{N}4001$. En el diagrama de conexiones sólo 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 estarán de forma abreviada, por ejemplo, 1K ($= 1 \text{ k}\Omega$) 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 del tipo «todas las resistencias $1/4 \text{ W}$ ». Los valores diferentes se especifican entonces en las respectivas piezas.

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

masa) \perp en vez de múltiples empalmes a la fuente de tensión también contribuye a la claridad del esquema.

A excepción de la resistencia de $22 \Omega/5\text{W}$, el circuito para el control de la estación subterránea se construye con piezas que todo modelista de trenes con unos pocos conocimientos de electrotecnia tiene en reserva (o debería tener), aunque también se pueden obtener sin ningún problema en comercios especializados. Al planificar un determinado surtido de piezas, lo más coherente es limitarse a unos pocos tipos, por ejemplo, utilizar siempre diodos para 1 A aunque sólo se carguen con pocos miliamperios.

Los valores de resistencia necesarios para el circuito se pueden crear, a excepción del valor de 22Ω , con un solo valor ($1 \text{ k}\Omega$) mediante circuitos en serie o en paralelo (ver capítulo 1).

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

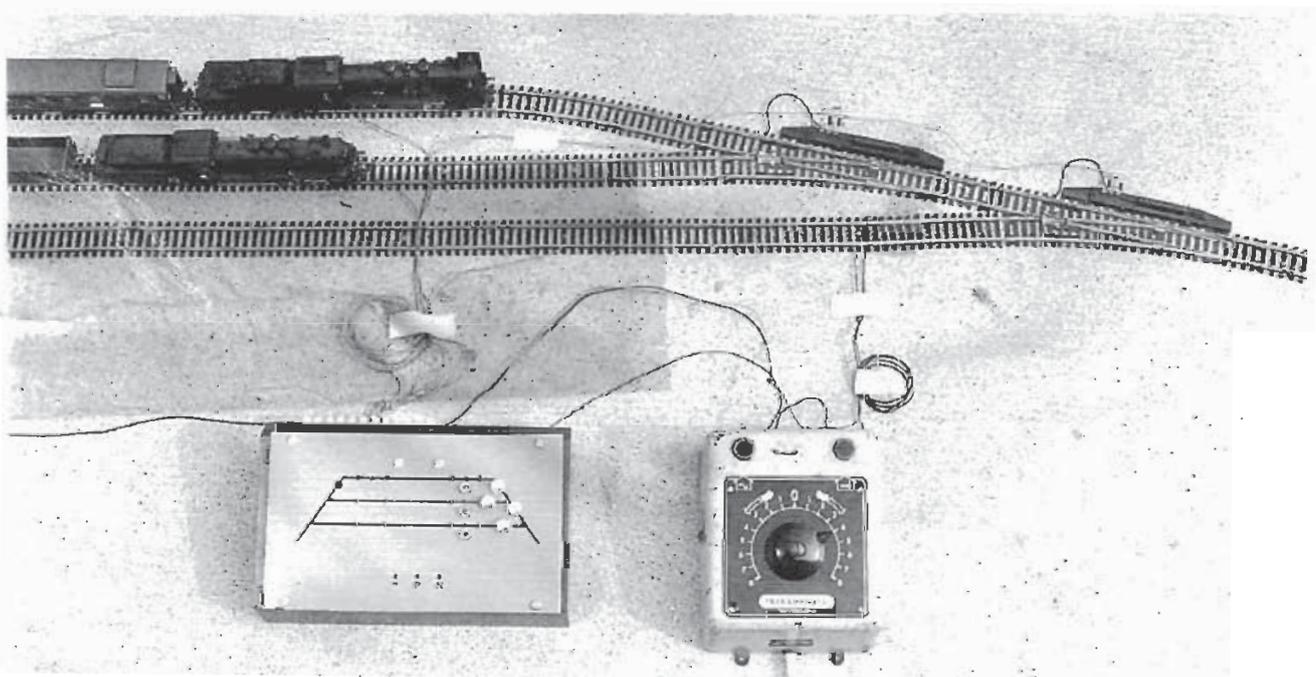


Figura 11.18 El extremo derecho de la estación subterránea y el aparato de regulación del cuadro luminoso de maniobras con panel de control.

das. 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 maniobras. 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 han colocado junto con la señal de «vía ocupada», están ordenados en el ramal 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 plateado sin aislante, al que primero hay que darle la forma correcta. En el hilo desnudo se pueden soldar directamente el resto de piezas que pertenezcan a un punto de empalme.

Mientras que la fuente de tensión bipolar, que se compone de resistencia limitadoras, un diodo y un condensador electrolítico por polo, se monta sobre una pletina 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 semionda con condensador de nivelación (100 μ F, 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 del circuito en la pletina y una regleta de conexiones con tornillos en la pared trasera exterior de la carcasa se realiza con un cable paralelo de 10 conductores, cada uno de los cuales tiene una sección de 0,2 mm² y un aislante plástico de diferentes colores; esto permite una identificación rápida de los diferentes conductores.

Como elemento de empalme al tramado de las vías se utilizan regletas de conexión. Cada uno de los bornes tiene la misma identificación que figura en el esquema de conexiones. A las agujas con dispositivo de apagado final llegan cables de un solo conductor, por los que fluye tanto la corriente de conmutación como la de retroalimentación. El segundo polo del mecanismo de agujas está unido a través de un cable corto a la vía que sirve de cable de retorno común.

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

Entre el panel de control y la unidad de control de maniobras existe un empalme de tres polos: a la conexión de dos polos de la tensión alterna se añade el polo de la tensión de tracción, que no está empalmado al cable de retorno común.

Resumen:

El campo de aplicación de las bombillas es la iluminación de grandes objetos, mientras que para casi todos los demás casos es más recomendable la utilización de diodos luminosos. Su utilización no plantea ningún tipo de problemas siempre que se respeten algunas normas. A menudo permiten circuitos que serían irrealizables con bombillas; el cuadro luminoso de maniobras es un ejemplo.

Epílogo y perspectivas

Este volumen ha elegido aquellos temas del extenso campo de la electrotecnia que pueden encontrar aplicación en los equipos de maquetas de ferrocarril. Siempre hay que saber un poco de física para acabar de entender qué ocurre en los transformadores, bobinas, relés y motores. Junto a las múltiples piezas estándar de los complementos del modelismo ferroviario, se han examinado también circuitos especiales que hacen el funcionamiento de una maqueta más apasionante y seguro.

En este sentido, los diodos ofrecen posibilidades muy interesantes. Aunque no pertenecen a la electrotecnia «clásica», se usan desde hace muchos años en el funcionamiento de las maquetas y son muy fáciles de instalar 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 controlan con transistores y tiristores sin ningún contacto

mecánico adicional y, además, con menor espacio, un coste reducido y posibilidades casi ilimitadas.

Entretanto, el «chip», con miles de circuitos de transistores y diodos en la superficie equivalente a la punta de una uña, se está imponiendo también entre los fabricantes de maquetas de gran serie y está abriendo al modelismo de ferrocarriles nuevos e interesantes horizontes.

Del mismo modo que la electrotecnia 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 mucha gente cree.

Todo lo contrario: algunos circuitos del modelismo de ferrocarriles que se realizan con los «acreditados» relés con un esfuerzo considerable, le 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		Diodo luminoso
	Cable general		Bobinado (de relé)
	Empalme no fijo (borne)		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)		Clavija de conexión, acoplamiento
	Resistencia regulable		Clavija de contacto
	Condensador		Punto de contacto de la vía, controlado mecánicamente
	Condensador electrolítico		Contacto de relé <i>reed</i>
	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 electrotecnia. Como también aparecen 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 señalan un valor medio temporal, en magnitudes alternas su valor eficaz. Para una caracterización más concreta se utilizan los índices que se añaden a las denominaciones (por ejemplo, R_V).

A	sección
B	densidad del flujo magnético (flujo por superficie)
C	capacidad
F	fuerza
f	frecuencia
i, I	corriente
I_A	corriente del rotor, corriente de salida
I_E	corriente de entrada
L	inductancia
l	longitud
M, m	par de giro
N	número de espiras
n	número de revoluciones
P	potencia
P_V	potencia de pérdida
R	resistencia (óhmica)
R_A	resistencia del rotor
R_V	resistencia limitadora
S	potencia aparente
s	camino
T	duración de periodo
t	tiempo
u, U	tensión
U_A	tensión de salida
U_C	tensión del condensador
U_D	tensión directa
U_d	valor medio de una tensión rectificadora, tensión de los diodos
U_E	tensión de entrada
U_F	tensión de tracción
U_i	tensión inducida

U_M	tensión del motor
U_R	caída de tensión en la resistencia
U_w	tensión alterna
v	velocidad
X	reactancia
Z	impedancia
Φ	flujo magnético
ρ	resistencia específica
τ	constante de tiempo
π	constante (= 3,1416...)

Abreviaturas:

a	ramal, contacto de trabajo
m	toma central (bobinas dobles)
g	recto (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 (millonésimo) se marcan con los siguientes prefijos para las unidades de medida:

nombre	abreviatura	factor numérico
Pico	p	10 ⁻¹²
Nano	n	10 ⁻⁹
Micro	μ	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

1 km (kilómetro) son, por tanto 1.000 m, 1 mm una milésima de metro. Ejemplos para magnitudes eléctricas: 1 mA (miliamperio) es una milésima de amperio, 15 kV (kilovoltio) son 15.000 voltios, 10 μ F (microfaradio) son 10 millonésimas de faradio, y, finalmente, 47 M Ω 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, cubrir 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

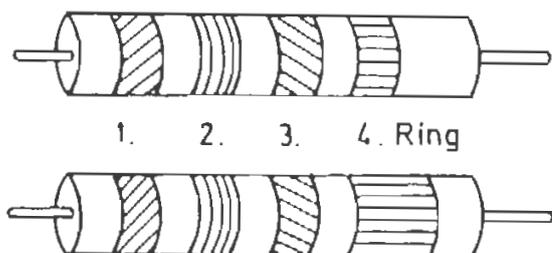
100; 110; 120;.....; 750; 820; 910 ohmios.

Identificación cromática de las resistencias

Las diminutas 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	1 ohmio	
Marrón	1	10 ohmios	1 %
Rojo	2	100 ohmios	2 %
Naranja	3	1 kilohmio = 1.000	
Amarillo	4	10 kilohmios = 10.000	
Verde	5	100 kilohmios = 100.000	
Azul	6	1 Megaohmio = 1.000.000	
Lila	7	10 Megaohmios	
Gris	8	100 Megaohmios	
Blanco	9	1.000 Megaohmios	
Dorado		100 miliohmios	5 %
Plateado		10 miliohmios	10 %



Ejemplo:

Amarillo, violeta, negro, plateado significa 47,0 ohmios con una tolerancia del 10 %.

Marrón, negro, amarillo, dorado significa 10 x 10 kilohmios, por tanto 100 kilohmios con una tolerancia del 5 %.

Hoy en día existen, por un precio no demasiado alto, resistencias de alta precisión (resistencias de película metálica) 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 en dos como en el caso de las resistencias de capas de grafito inexactas.

Incluso existen resistencias con seis anillos: en estos casos, el último indica

de forma adicional, en qué tanto por ciento varía la resistencia a una temperatura de 100 grados centígrados.

Colores	marrón	rojo	amarillo	verde
Variación	1 %	0,5 %	0,25 %	0,15 %



Identificación de una resistencia de 10 kW con una tolerancia del 1 %.

Mientras que las resistencias de láminas de carbón con 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
Amperio (unidad: A) 8, 19
Amplitud 19
Analógico 81, 82
Ánodo 55
Arrollamiento 115

B

Barras de soldadura 78
Bobina 29, 33, 99, 114
Bobina de reactancia; v. inductancia
Bobina primaria 98
Bobina secundaria 98
Bobinado; v. bobina
Bombilla 8
Bornes 79, 80
Bottom 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
Cátodo 55
Circuito doblador de tensión 62
Circuito en puente (diodos) 64, 73
Colector 111
Colector de tambor 114
Colector plano 114
Common; v. cable de retorno común
Comprobador de tensión 82
Condensador 35, 38, 40
Condensador antiparasitario 122
Condensador electrolítico; v. condensador
Conductor neutro; v. cable de retorno común
Conexión antiparalela (diodos) 59, 60, 82, 130

Conexión en serie 38, 130
Conmutador; v. colector
Consumidor 7
Consumo de corriente 106
Contacto de trabajo 65, 84
Corriente nominal 100, 106
Corriente permanente 34
Cortocircuito 100

D

DC 86
Diodo 55
Diodo luminoso 128, 129
Diodo semiconductor; v. diodo

E

Electroimán 33
Enchufes banana 81
EPL 53, 54
Escobillas 112, 114
Excitación independiente 115

F

Faradio (unidad: F) 35
Frecuencia 20
Fricción 124, 126
Fuente de tensión 7, 36, 38
Fuente de tensión bipolar 60, 112

H

Henrio (unidad: H) 32
Hercio (unidad: Hz) 20
Hilo de plata 76

I

Imán permanente 28, 116
Impulsión por bielas 125
Inductancia 32

Interruptor 65, 67
Interruptor giratorio 65
Interruptor mecánico 109
Interruptor térmico 100

L

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

M

m (= toma central) 43
Marcha de línea 108
Marcha de maniobras 108
Masa; v. cable de retorno común
Material aislante 76
Material de soldadura 75a
Momentos de enclavamiento 114
Monoestable 84
Motor universal 116
Motor de excitación en paralelo 115
Motor de excitación en serie 115
Motor de rotor de campana 127

N

Número de espiras 29

P

Panel de control; v. transformador
Par de giro 114, 116
Pérdida de tensión 9
Pinzas cocodrilo 81
Pletina 78
Polaridad 23, 25
Potencia aparente 102
Potencial 89



Potenciómetro 15
Pulsador 65

R

Reactancia capacitiva 39
Reactancia inductiva 32
Rectificador 61
Relé 84, 85
Resistencia (óhmica) 9
Resistencia interna 36
Resistencia regulable; v. potenciómetro
Resistencias de frenado 16
Rotor 111, 112, 114

S

Señal de vía ocupada
Símbolo 7, 8
Soldadores 74

T

Tensión alterna 19, 38
Tensión continua 19, 27
Tensión inducida 31, 119
Tensión interna 119
Transformador 98, 99, 100, 101
Transformadores para accesorios 101
Transformadores regulables; v. transformador

V

Valor eficaz 20
Valores temporales 19
Vatio (unidad: W) 12
Voltio (unidad: V) 8

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.

Títulos de la colección:

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

ISBN 84-329-1278-6



9 788432 912788