

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

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

Diseño de cubierta: **Victor Viano**
Fotografía de cubierta: **Image Bank**

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

Traducción: **JPV Serveis Editorials**

© 1996 Alba Publikation Ali Telesken 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

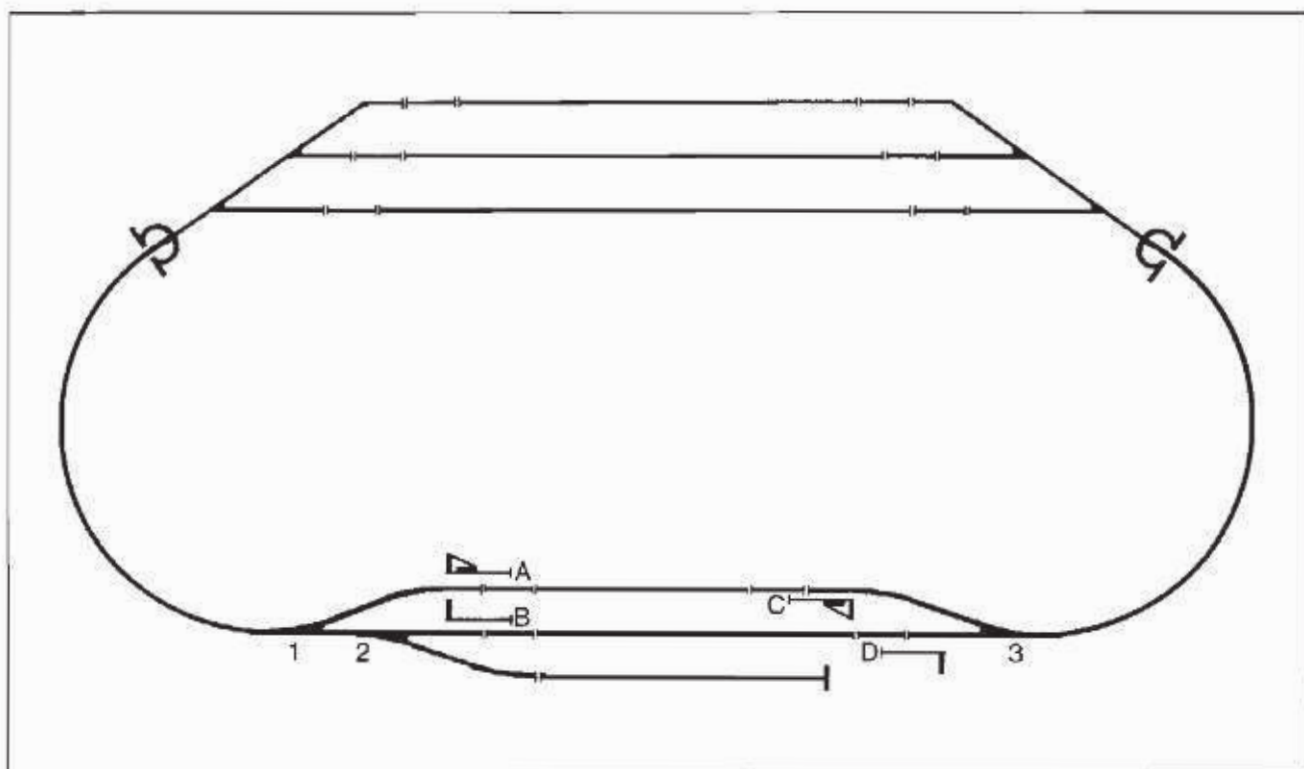
Índice terminológico 143

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.

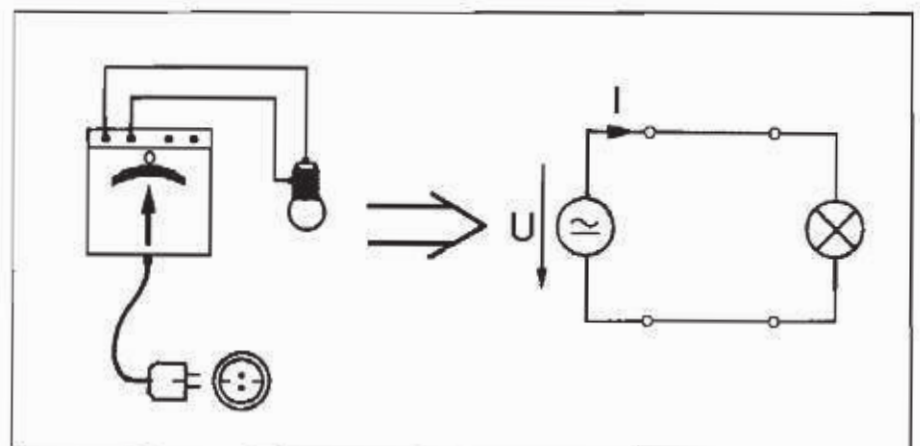


Figura 1.1 Un circuito eléctrico sencillo: de la presentación esquematizada al diagrama de conexiones.

En la técnica, la descripción de una magnitud física se realiza casi siempre en forma de ecuación. Esta 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: $l = 26.4 \text{ m}$ y $v = 200 \text{ km/h}$.

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 máquina de vent: $U = 12 \text{ V}$ con $I = 0.5 \text{ A}$. Esos datos indican la potencia del aparato.

La descripción de la fuente de energía o tensión corresponde a la del consumidor, la bombilla. En el mismo formato los valores habituales suelen ser: $U = 14 \text{ V}$; $I = 0.05 \text{ A}$. Eso significa que si se conecta la bombilla a una fuente de tensión de $U = 14 \text{ V}$, por el cir-

cuito eléctrico circulará una corriente de $I = 0.05 \text{ A}$.

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

$$I = \frac{0.05 \text{ A} \cdot 12 \text{ V}}{14 \text{ V}} = 0.043 \text{ A}.$$

Con una tensión de $U = 10 \text{ V}$ la corriente sólo alcanzaría

$$I = \frac{0.05 \text{ A} \cdot 12 \text{ V}}{14 \text{ V}} = 0.038 \text{ A}.$$

Si se aplicara una tensión más alta que la especificada por el fabricante (es decir, 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 perjudicial para la vida del elemento consumidor. Aunque, naturalmente, con una corriente reducida de la bombilla, tam-

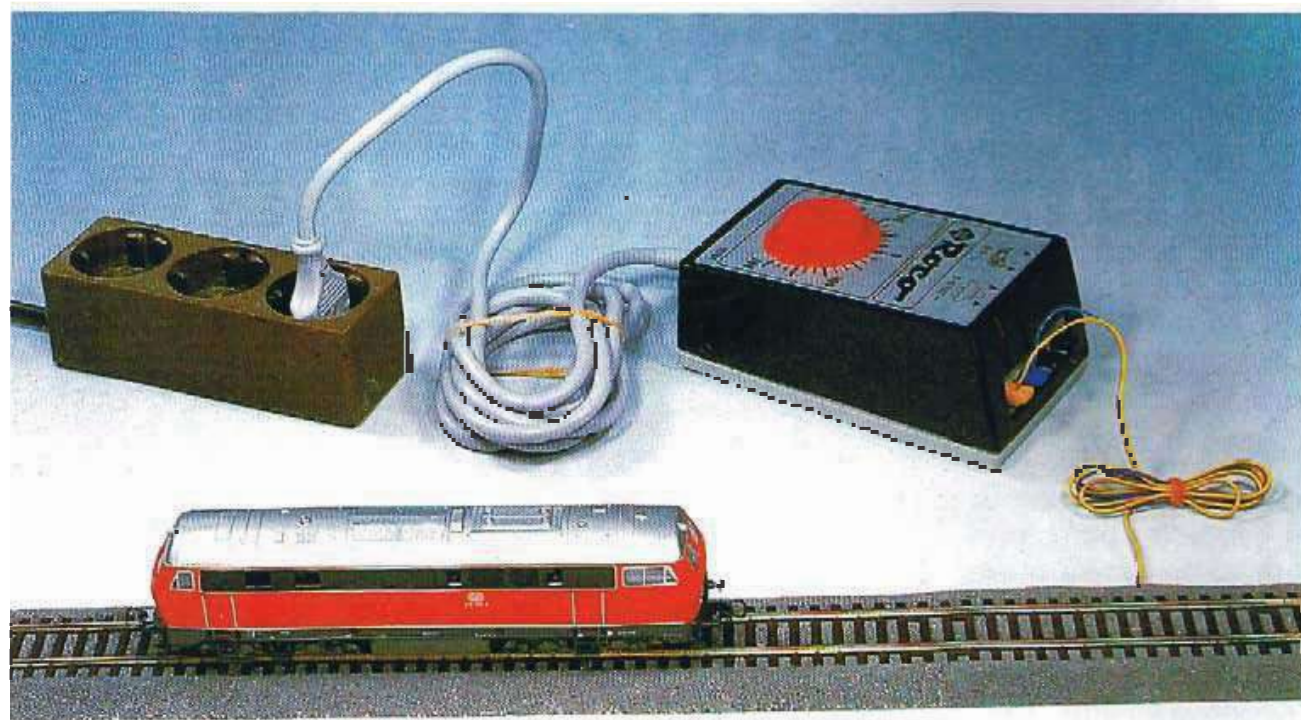


Figura 1.2 También estos circuitos eléctricos son accesibles al panel de control, está conectado a la red de 220 voltios y alimenta a la locomotora con una tensión regulable.

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.

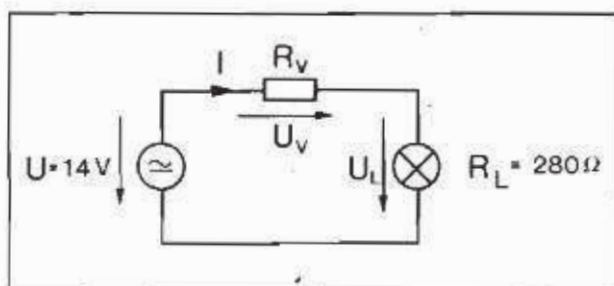


Figura 1.3 Circuito eléctrico con resistencia en serie limitadora para disminuir la tensión en el consumidor.

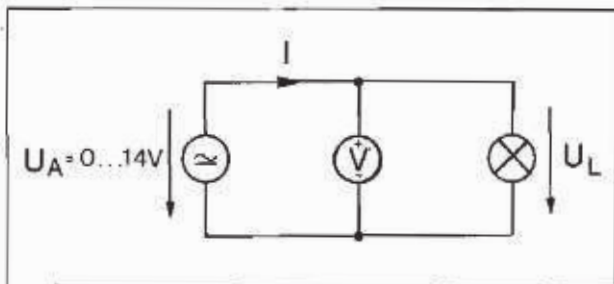


Figura 1.4 Circuito experimental para medir la tensión existente en los bornes de la bombilla.

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 $U_v = 14 \text{ V} - 9 \text{ V} = 5 \text{ V}$, 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.

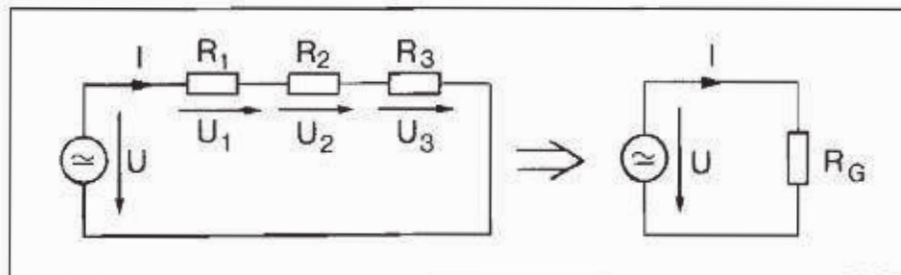
En un circuito eléctrico se pueden encontrar varias fuentes de tensión conectadas en serie. Según lo expuesto anteriormente, también se pueden convertir todas juntas en una única fuente de tensión.

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

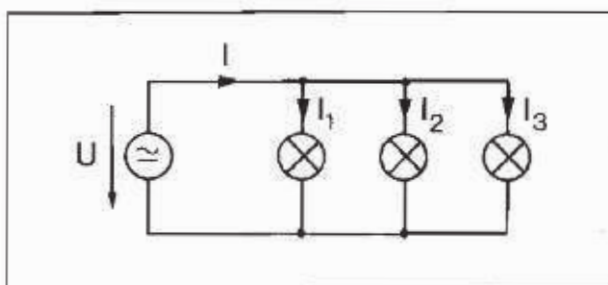


Figura 1.6 Conexión de (tres) bombillas a una fuente de tensión; la conexión en paralelo de consumidores.

la energía suministrada por la fuente de tensión.

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

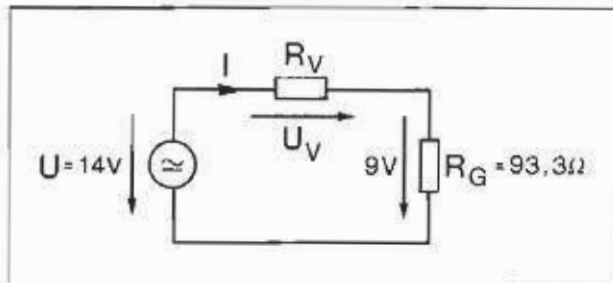


Figura 1.7 Cálculo de la resistencia limitadora R_V .

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 la constante del material (resistividad específica en $\text{mm}^2/\Omega\text{m}$):

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

En la tabla 1.1 se ofrecen los datos de la resistencia específica para algunos materiales habidos mente utilizados. De esta manera se puede calcular, a modo de ejemplo, que un alambre de constantán de 2 m de largo y 0,2 mm de sección tiene un valor de 5 Ω , pero si se utiliza cobre sólo tendrá 0,10 Ω . Ahora se explica por qué en el circuito de la figura 1.1 podía observarse la resistencia del cable de alimentación es mucho menor que la resistencia de la bombilla.

En los 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 cables mayores, por ejemplo, no 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 mm^2 una pérdida de tensión de 1,6 V, es

que en la tensión de salida de transformador de 12 V lleva ya a una reducción de la tensión en el consumo de un 14 %.

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

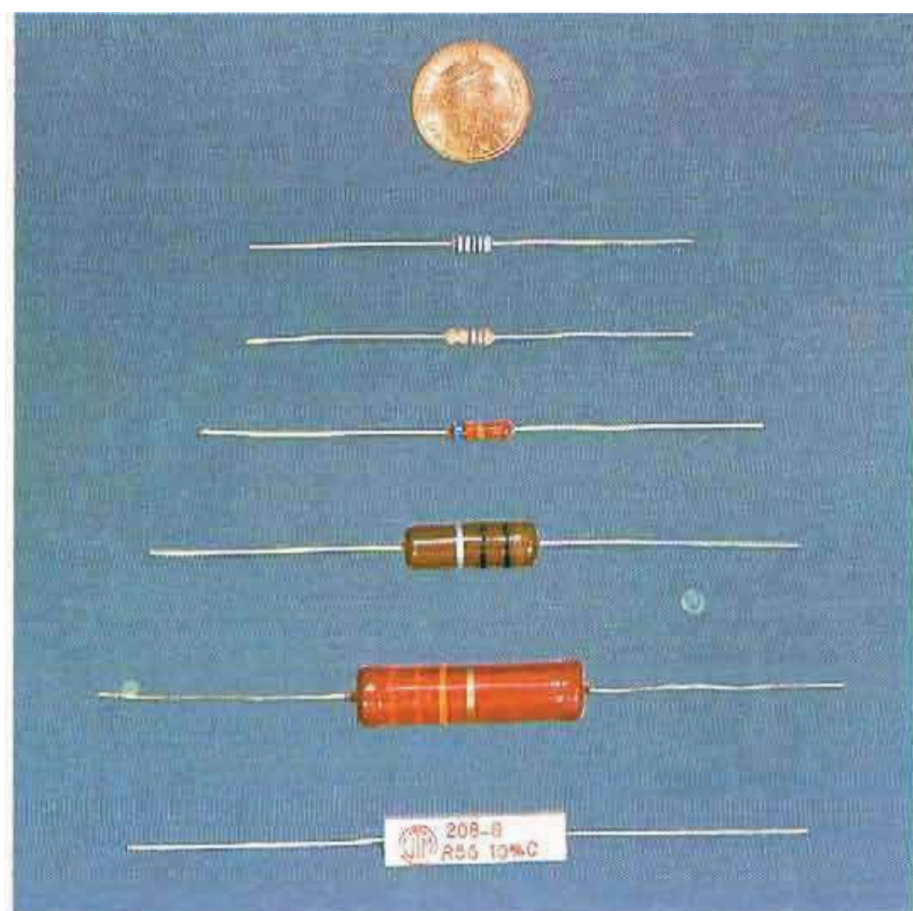


Figure 1.6 Selección de resistencias que no provocan calentamiento con los valores disponibles en la mayoría de dispositivos comerciales

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 movable, 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

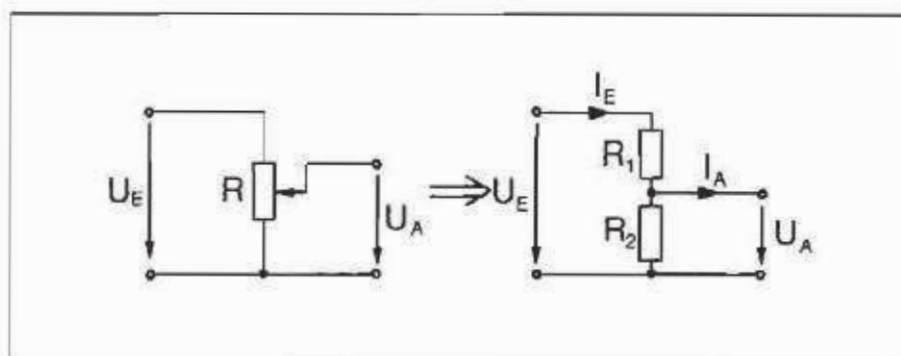


Figura 1.9 Circuito de potenciómetro.

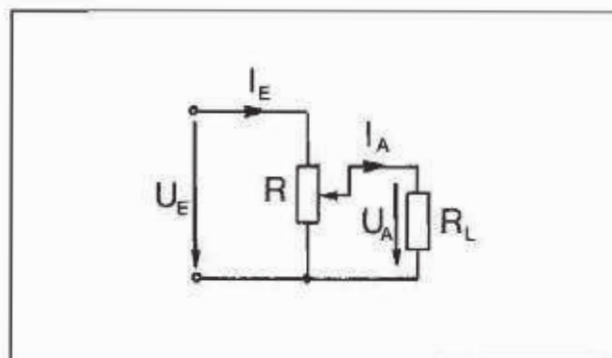


Figura 1.10 Potenciómetro con carga.

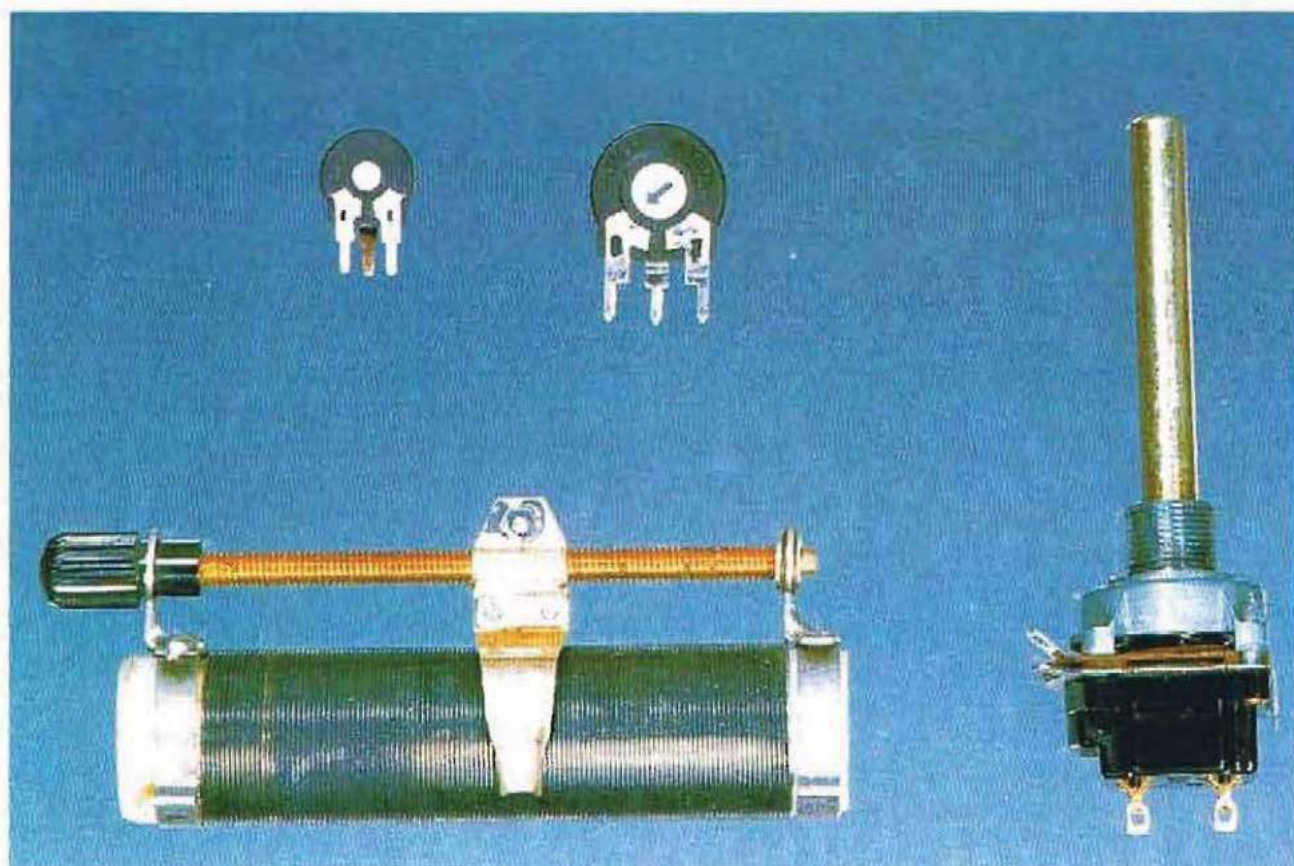


Figura 1.11 Potenciómetro: abajo, potenciómetros bobinados para potencias mayores; arriba, potenciómetros de capas para potencias menores.

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 :

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

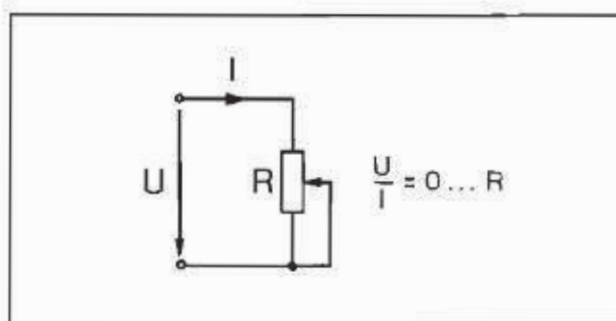


Figura 1.12 Conexión de un potenciómetro como resistencia variable.

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

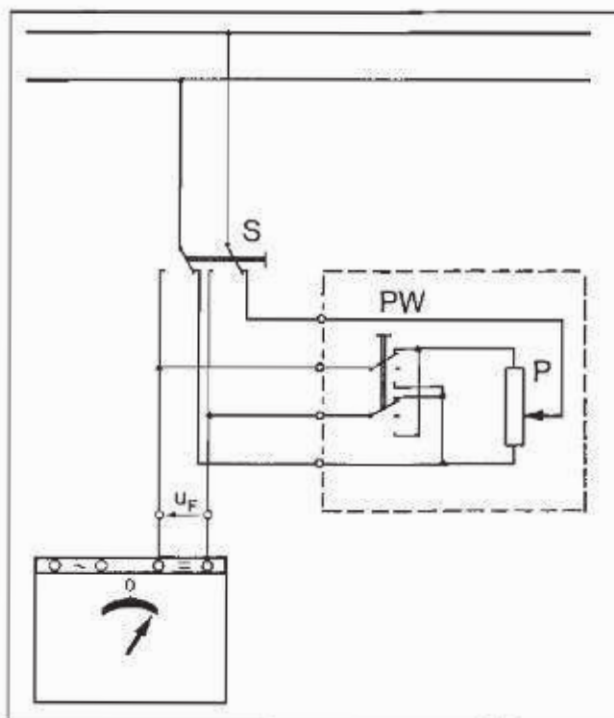


Figura 1.14 Control a distancia de la tensión de tracción (P: 50 Ω / 25 W).

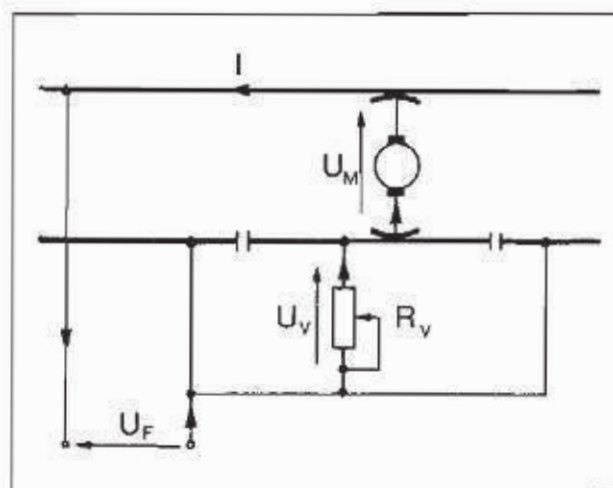


Figura 1.13 Utilización de resistencias regulables como resistencias limitadoras en circuitos de corriente de tracción (R_v = de 50 a 100 Ω , aproximadamente 5 W).

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 $50\ \Omega$. 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 alternas, 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 $16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$. 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

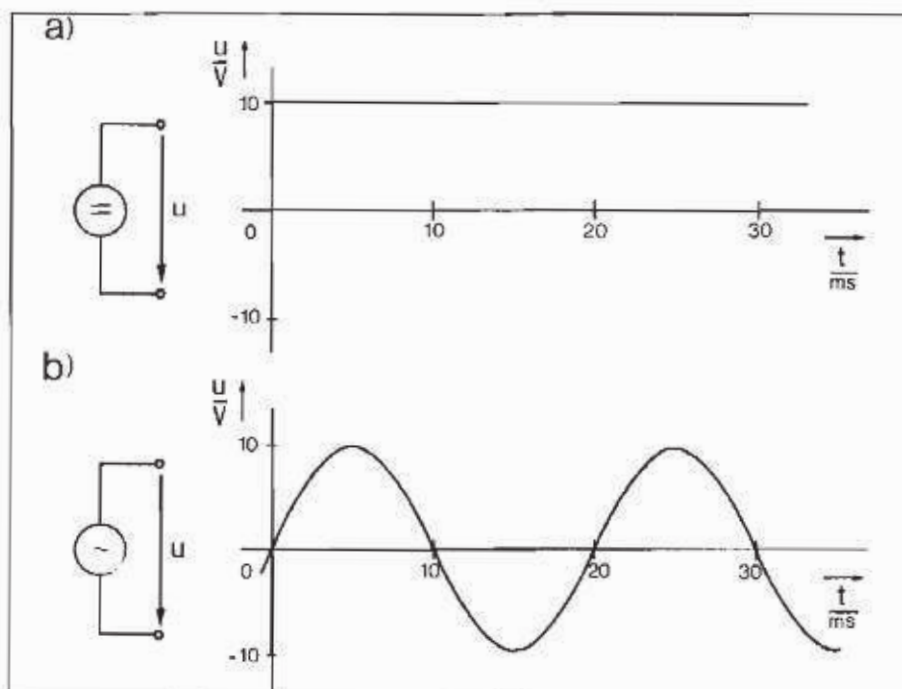


Figura 2.1 Símbolo y trayecto temporal de la tensión de una fuente de tensión continua (a) y de una fuente de tensión alterna (b)

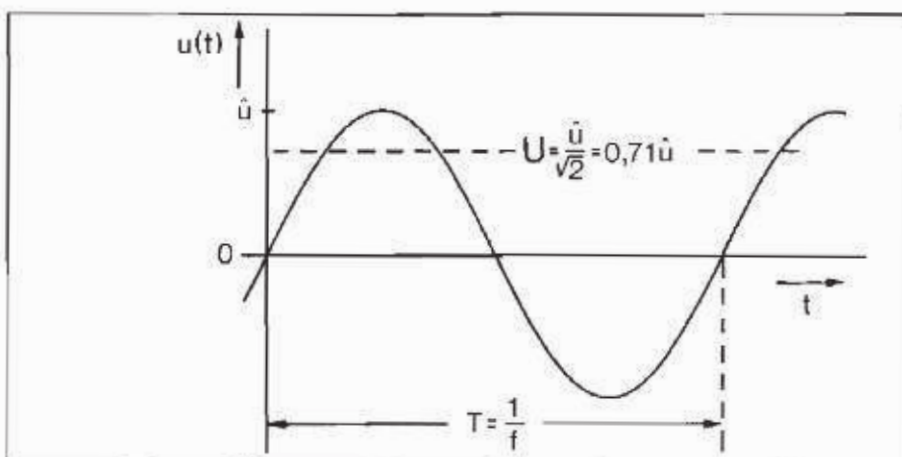


Figura 2.2 Magnitudes de una tensión alterna.

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

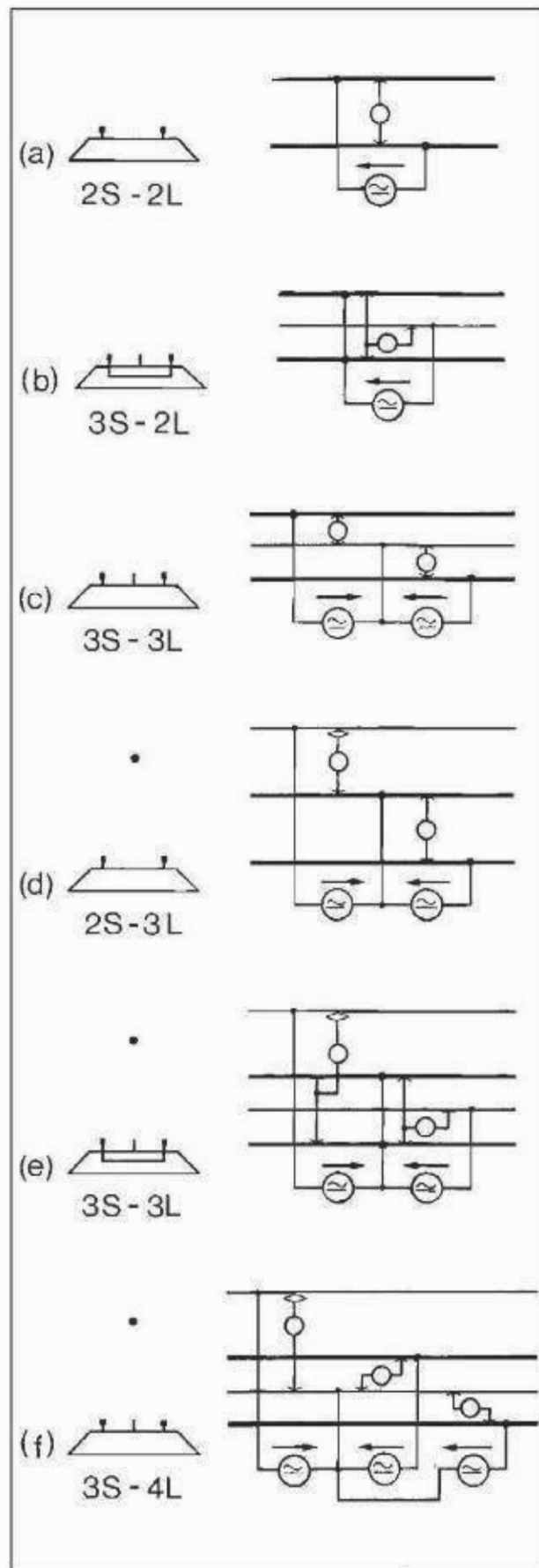


Figura 2.3 Sistemas de corriente de tracción.

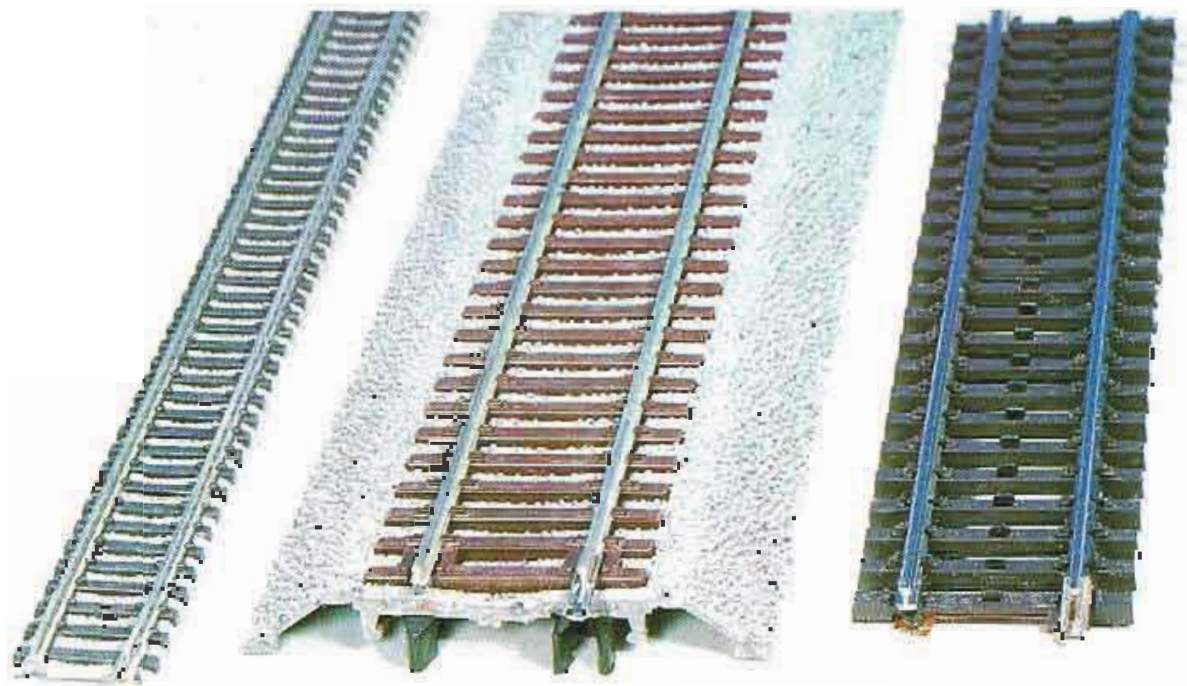


Figura 2.4 Las tres variaciones de sistemas en servicio de tracción 25kV (izquierda: Pöschmann, Olin, G&S, D&G, Märklin (2), J. Álvarez, Hoco, Minotaur...); 33-2L (Trix); 33-2L (Märklin) hoy se puede usar como 33-3L

de corriente. En la figura 2.3, (a)-(c) representan los sistemas básicos; (d)-(f) están en el arco 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 tipo, es decir, en el que se puede controlar el sentido de la marcha y la velocidad de ambos vehículos de forma independiente, es imposible sin otro circuito eléctrico separado.

• 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 los 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 en vías y vehículos fiel al original, ya que el cable central y los conductores correspondientes no están.

- Sistema homologado internacionalmente con una amplia oferta de todo tipo de vehículos.

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

- Toma de corriente segura, incluso en condiciones adversas.

- Alta 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 rectos y triángulos.

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

rocarrailes, 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 railes 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-

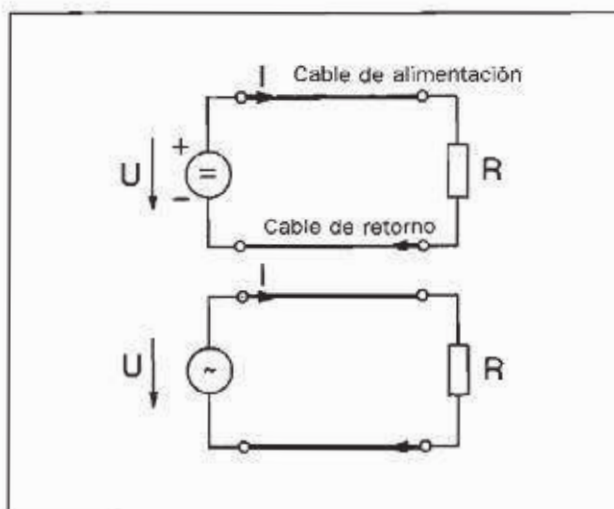


Figura 2.5 Concepto de cable de alimentación y de retorno.

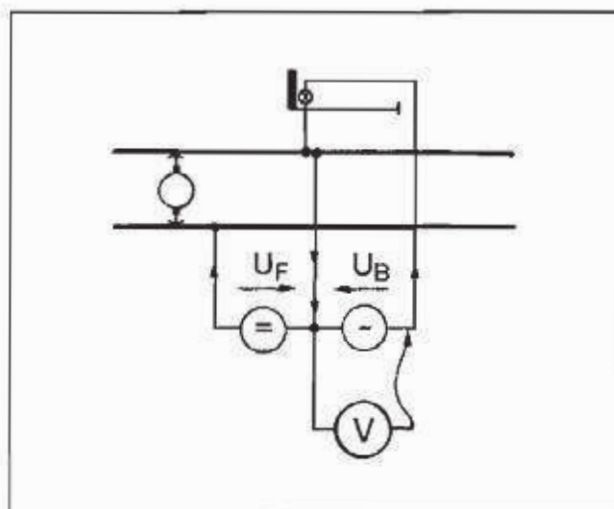


Figura 2.6 Conductor de retorno común para circuitos de iluminación y corriente de tracción.

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

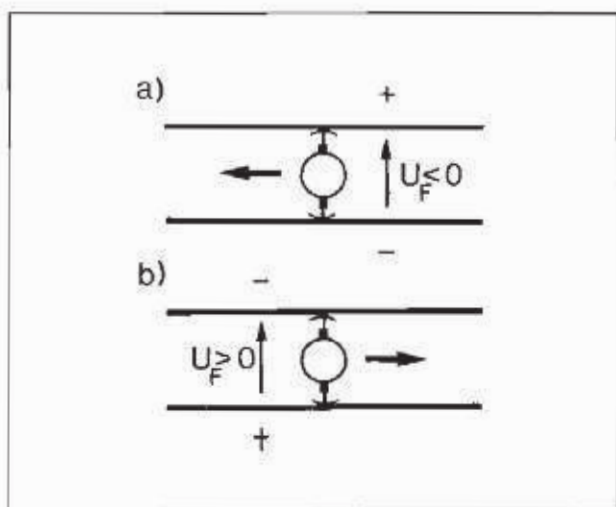


Figura 2.7 Relación entre el sentido de la marcha y la polaridad de la tensión de tracción.

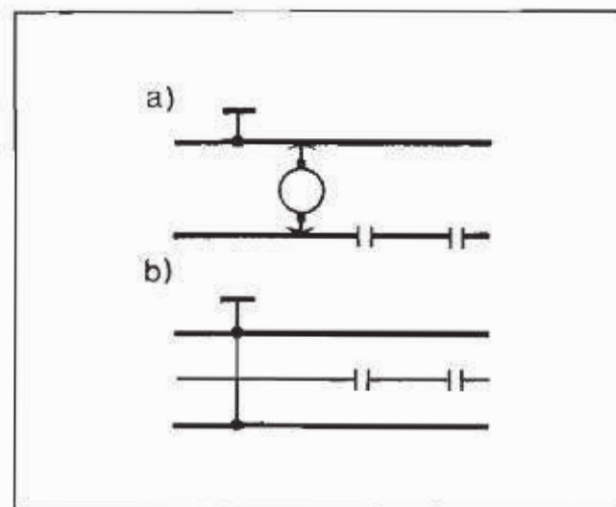


Figura 2.8 Colocación del cable de retorno común y situación de la zona de separación en el sistema normalizado de dos raíles y dos cables (a) y en el de tres raíles y dos cables (b).

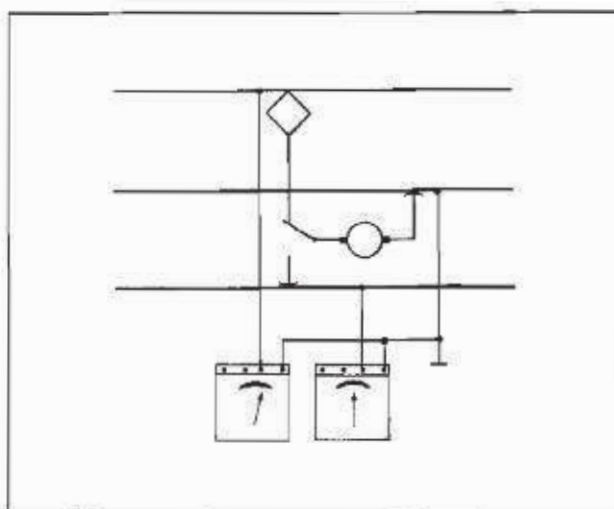


Figura 2.9 El conmutador incorporado en la locomotora permite la alimentación desde el raíl o desde el cable.

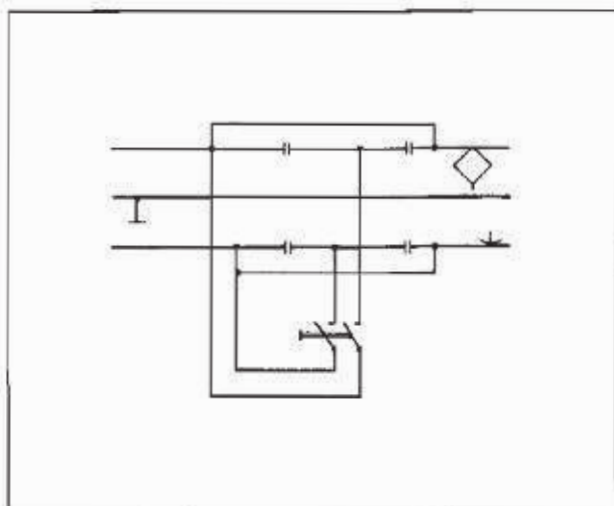


Figura 2.10 La interrupción de un polo de ambos circuitos requiere un conmutador de dos polos.

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.

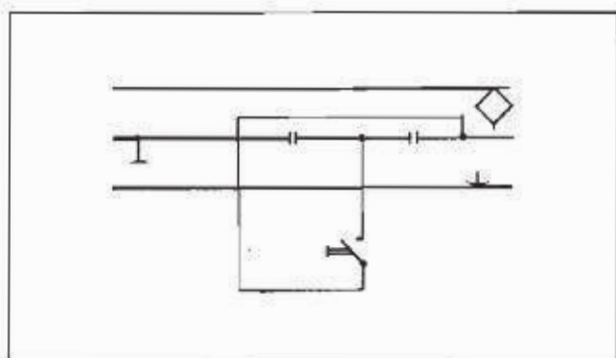


Figura 2.11 Sólo eficaz hasta cierto punto: la interrupción del cable de retorno común.

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 alimente 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 señalizado con +, circula a través del elemento consumidor y vuelve a la fuente por el borne señalizado 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.

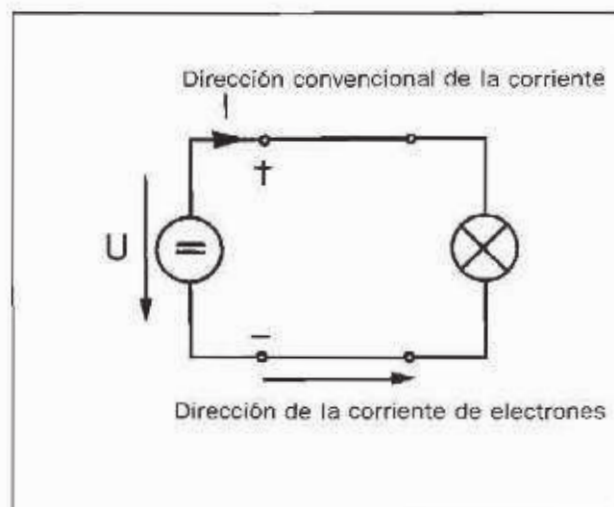


Figura 3.1 Definición del sentido de circulación de la corriente.

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 eléctri-

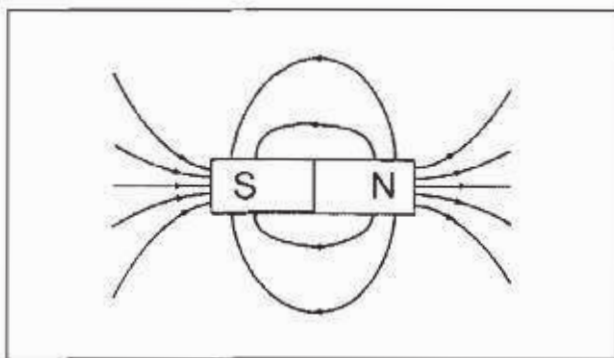


Figura 3.2 Esquema simplificado de las líneas del campo magnético de un imán de barra.

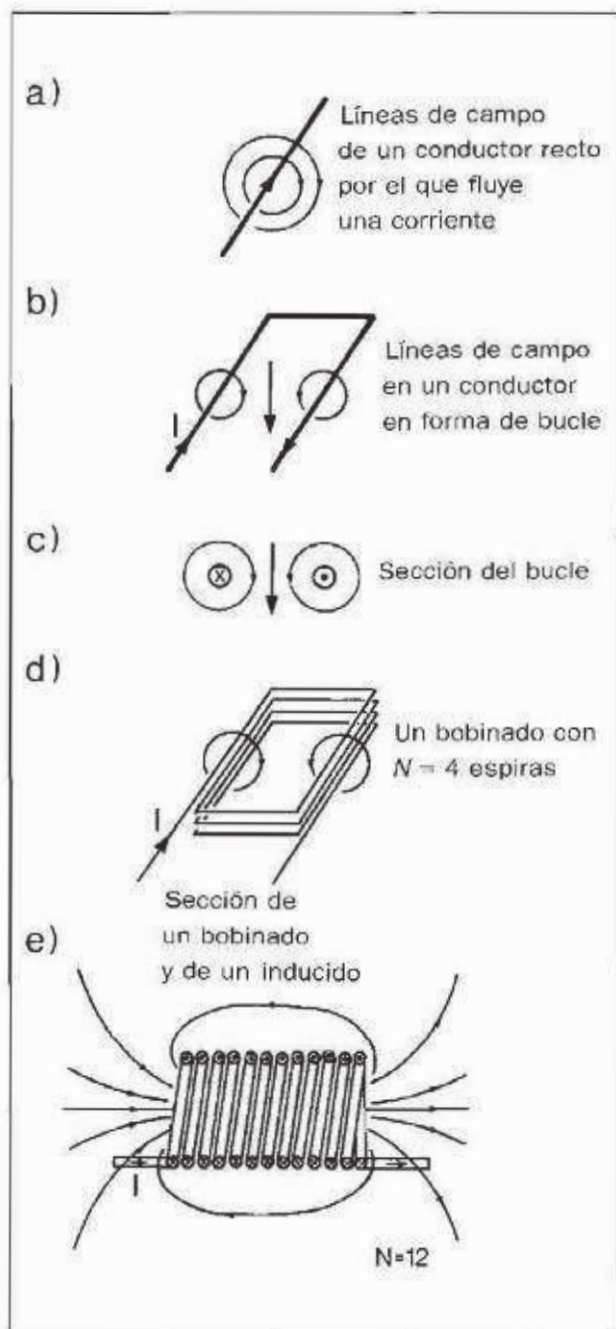


Figura 3.3 Gráficos de las líneas de campo. Campo de fuerzas de un hilo conductor percibido para una corriente eléctrica.

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

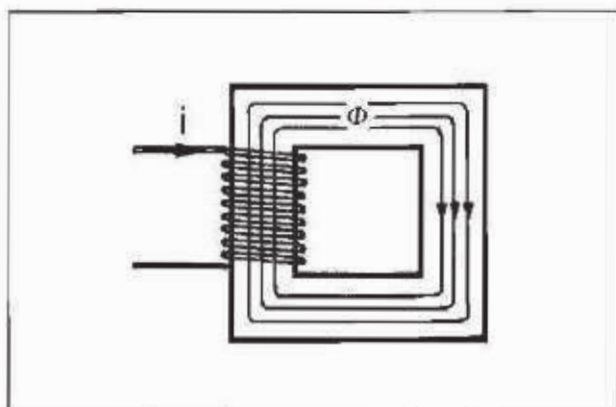


Figura 3.4 Bobina con núcleo de hierro

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 .

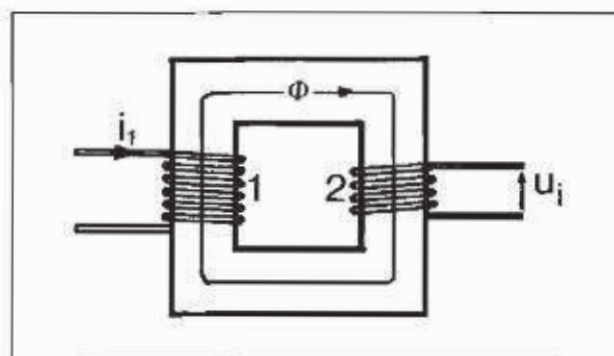


Figura 3.5 Sobre la ley de inducción.

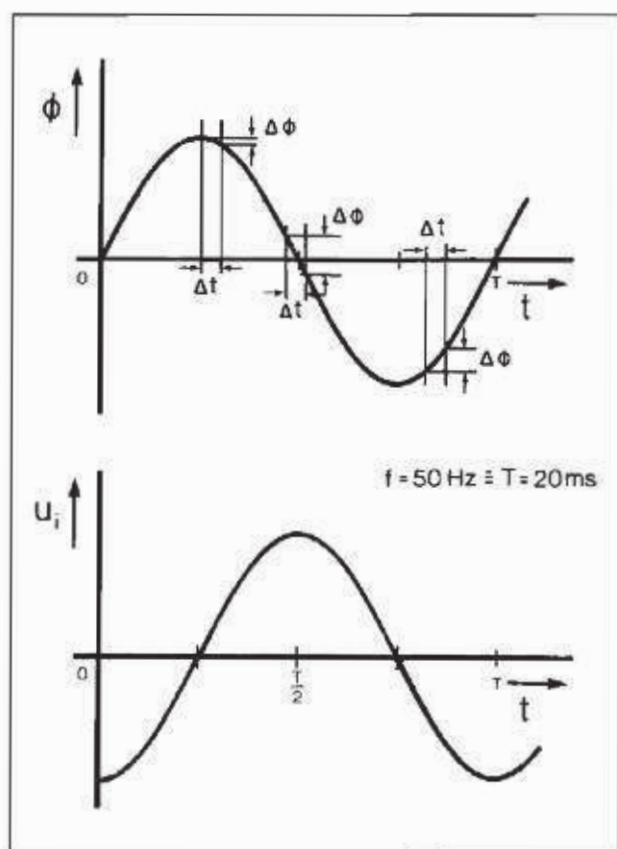


Figura 3.6 Desarrollo temporal del flujo magnético Φ y de la tensión inducida u_i .

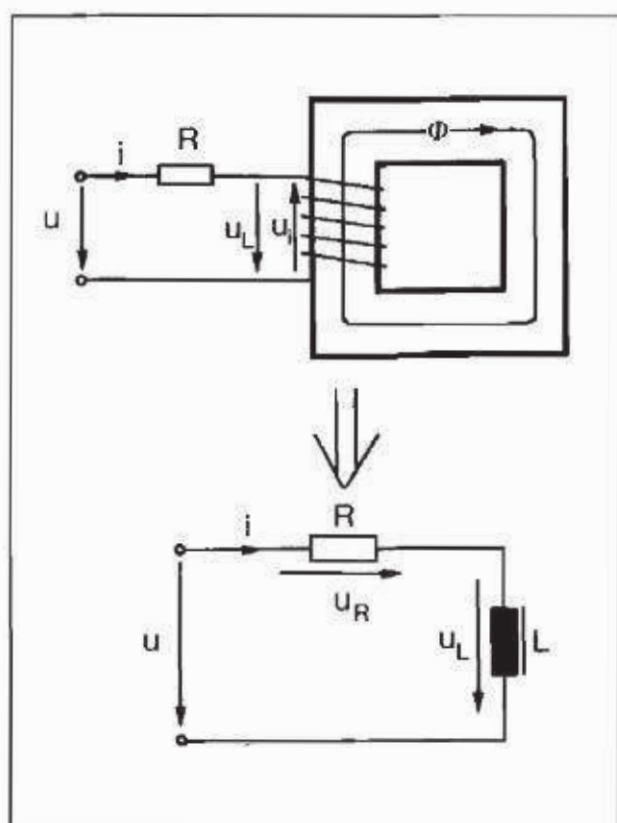


Figura 3.7 Esquema equivalente de una bobina.

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.

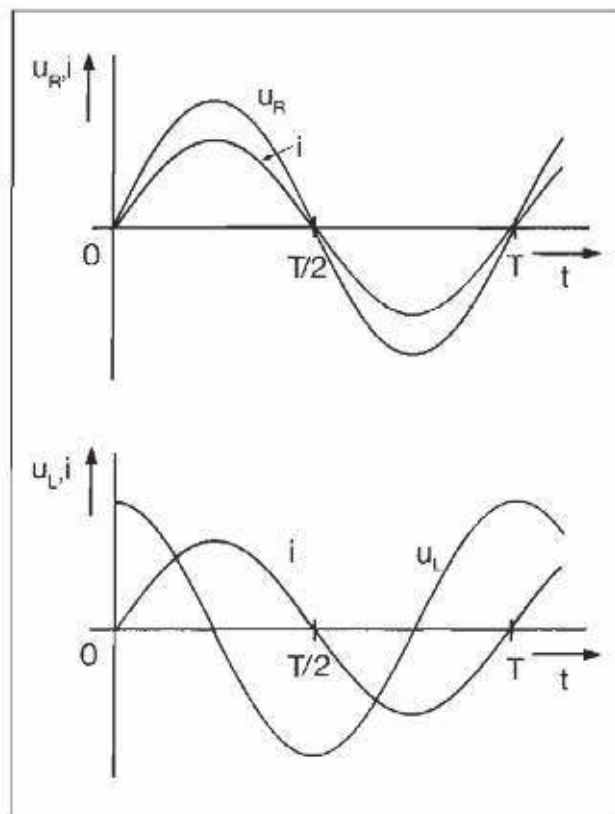


Figura 3.8 Los trayectos temporales de corriente y tensión en una resistencia R (arriba) y en una inductancia L (abajo).

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;

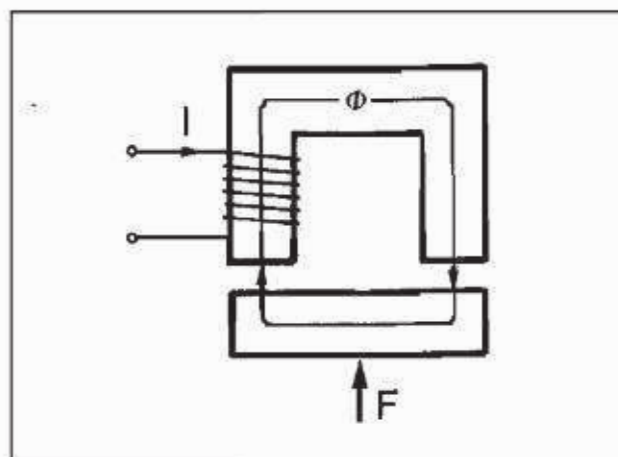


Figura 3.9 Electroimán.

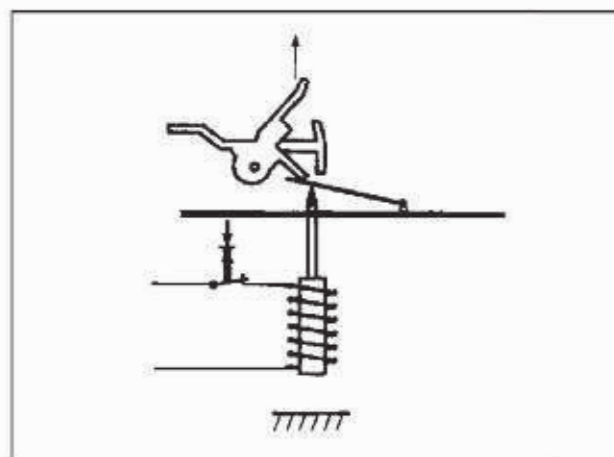


Figura 3.10 Desenganche de vagones mediante accionamiento electromagnético.

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.

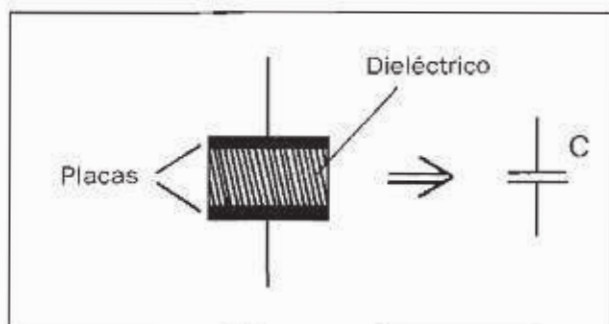


Figura 3.11 El condensador: esquema de la estructura y símbolo.

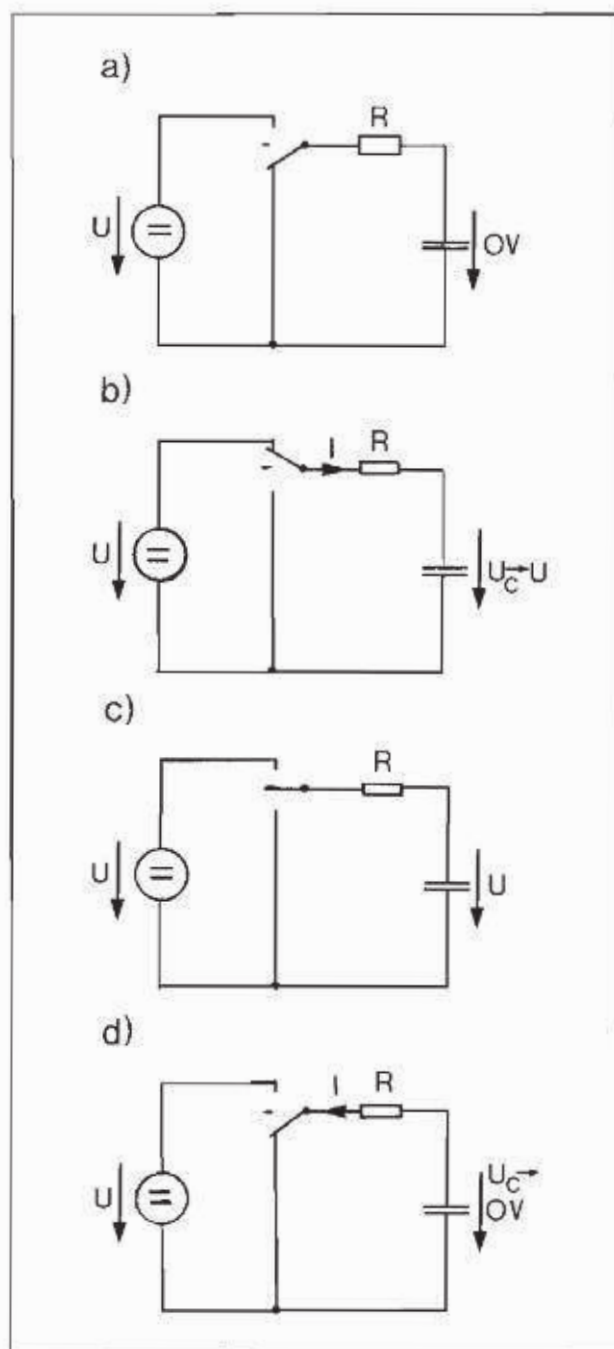


Figura 3.12 Condensador conectado a una fuente de tensión continua: carga (b) y descarga (d).

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),

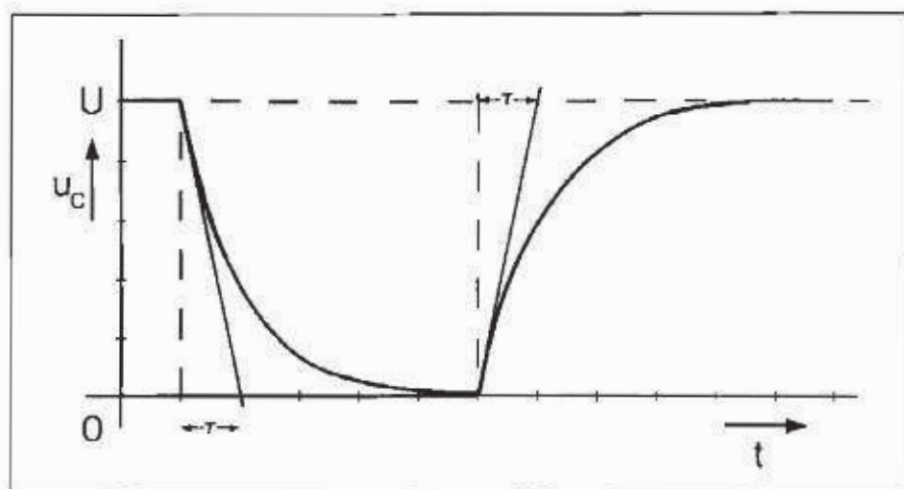


Figura 3.13 Curva de tensión en un condensador durante la carga y descarga.

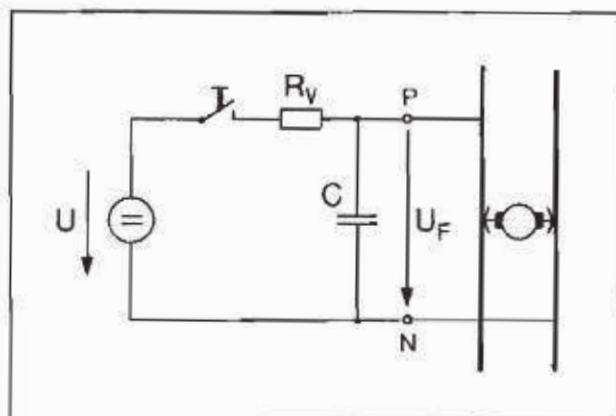


Figura 3.14 Imposible de realizar en la práctica: un circuito para generar, de forma modelica, la tensión de tracción durante la fase de arranque.

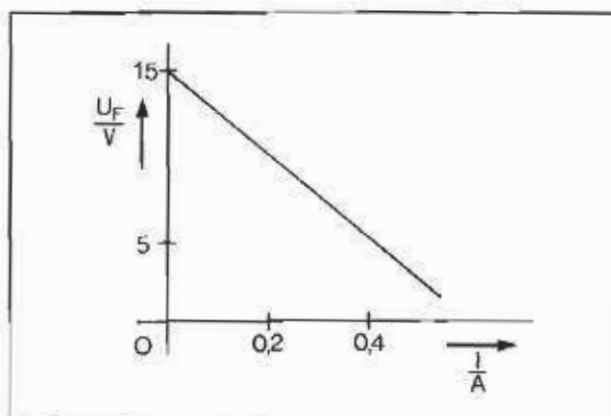


Figura 3.15 Recta característica de una fuente de tensión con resistencia interna demasiado elevada.

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

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

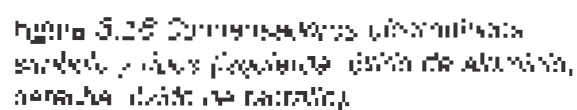
un valor que no se puede realizar en la práctica. Es la electrónica la que nos da una solución al problema consiguiendo la constante temporal necesaria con una resistencia muy alta:

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

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-



A collection of various electronic components is displayed on a blue background. The components include: a small blue resistor with two long leads; a yellow resistor with two long leads; a red electrolytic capacitor with two leads; a small white component with two leads; a large blue electrolytic capacitor with two leads; a coin (likely a US penny) for scale; a small yellow component with two leads; a small white component with two leads; a small green component with two leads; and a large red electrolytic capacitor with two leads. The red capacitor has the text "0.47 250- WIMA MKS" printed on it.

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).

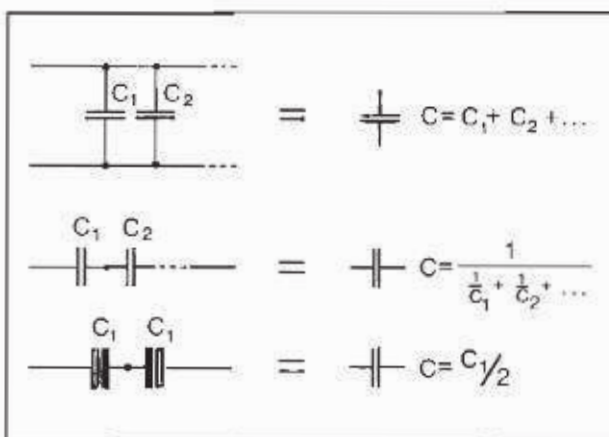


Figura 3.18 Conexión de condensadores en serie y en paralelo.

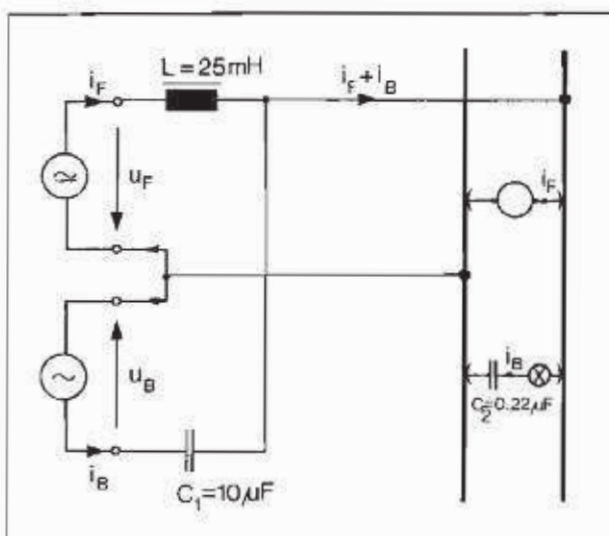


Figura 3.19 Iluminación independiente de la tensión de tracción con tensión alterna a frecuencia de audio.

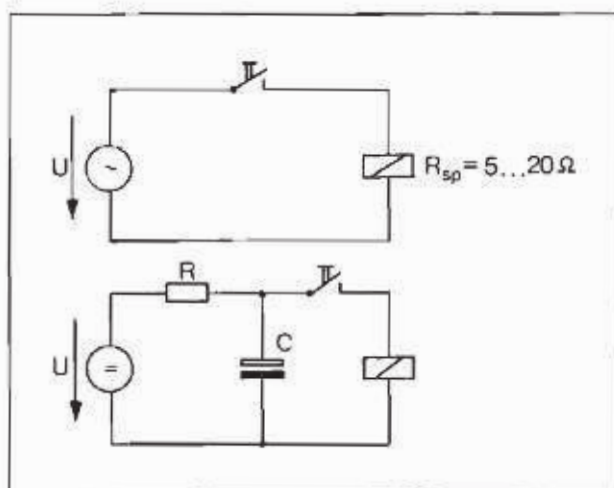


Figura 3.20 Control de un accionamiento con bobina; tensión alterna (a) y tensión continua a través de un circuito de protección (elemento R_C) (b).

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-

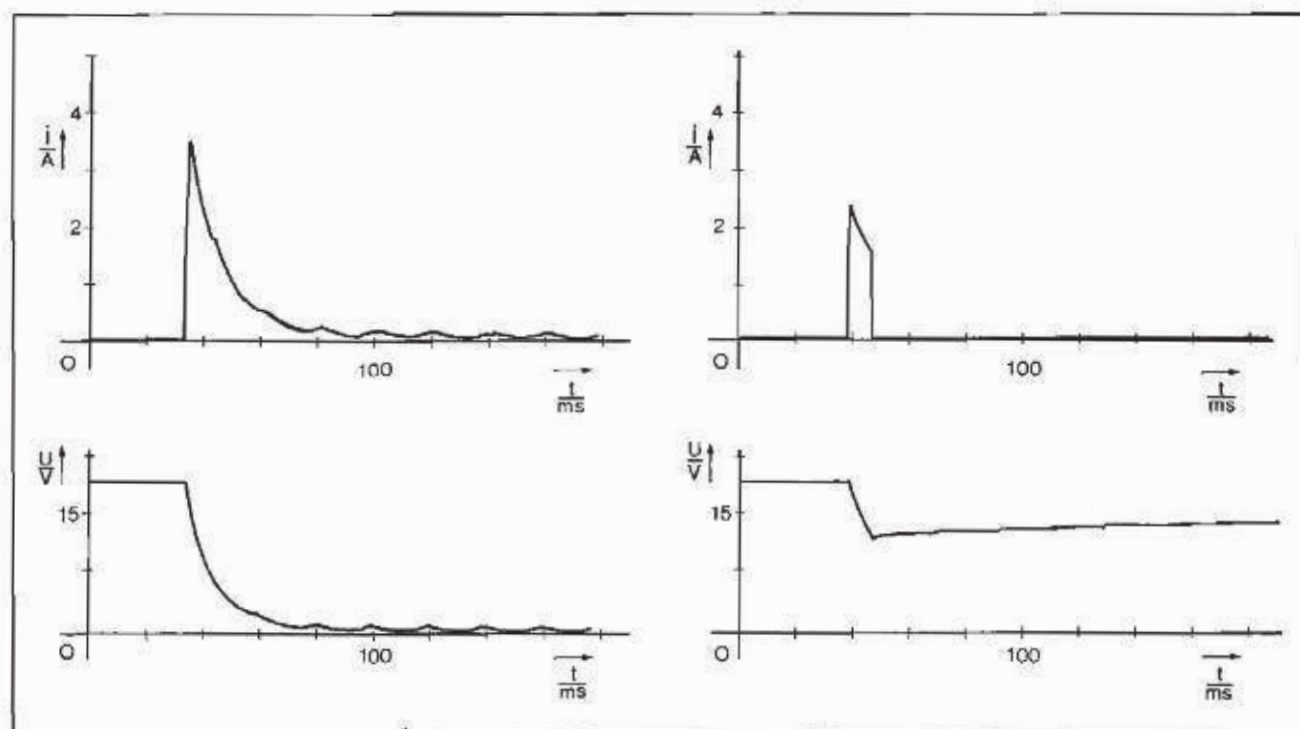


Figura 3.21 Compare con la figura 3.13: el curso temporal de la corriente de conmutación (arriba) y de la tensión en el condensador (abajo) en un accionamiento sin apagado final (izquierda) y con él (derecha).

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

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

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

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 movable 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-

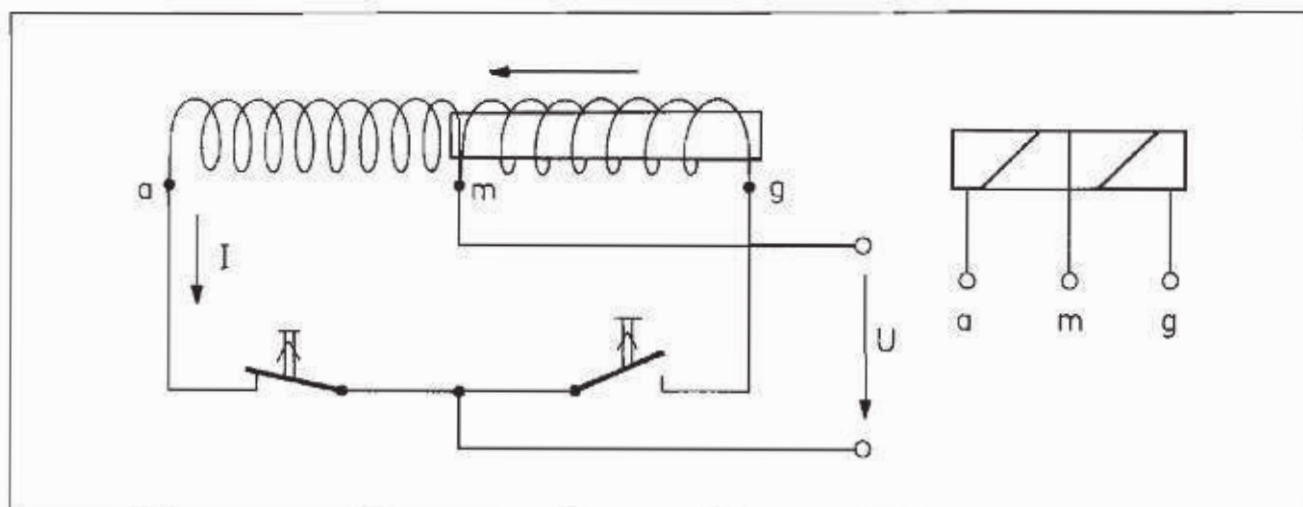


Figura 4.1 El circuito principal del mecanismo de dos bobinas; en estos momentos se tiene activado el pulsador izquierdo. A la derecha de la figura se puede ver el diagrama de conexiones simplificado.

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—.

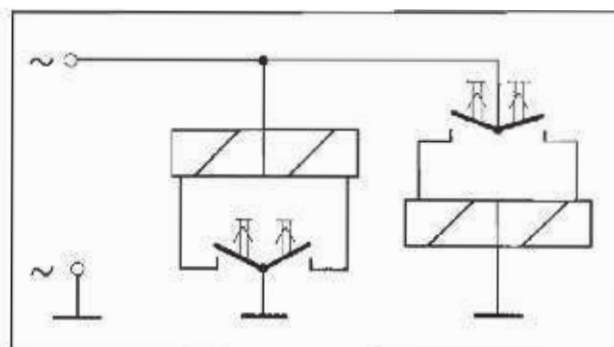


Figura 4.2 Las dos posibilidades de conexión del mecanismo de dos bobinas.

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-

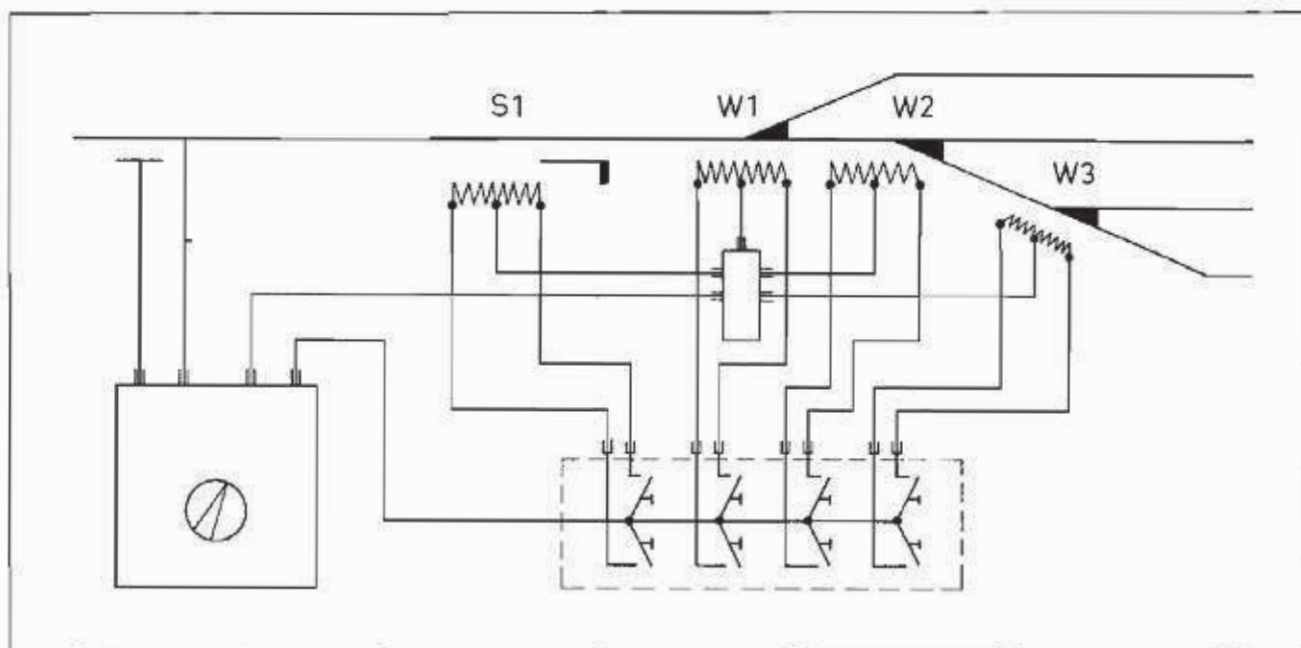


Figura 4.3 Así se conectan los mecanismos de las agujas y los interruptores en el equipo.

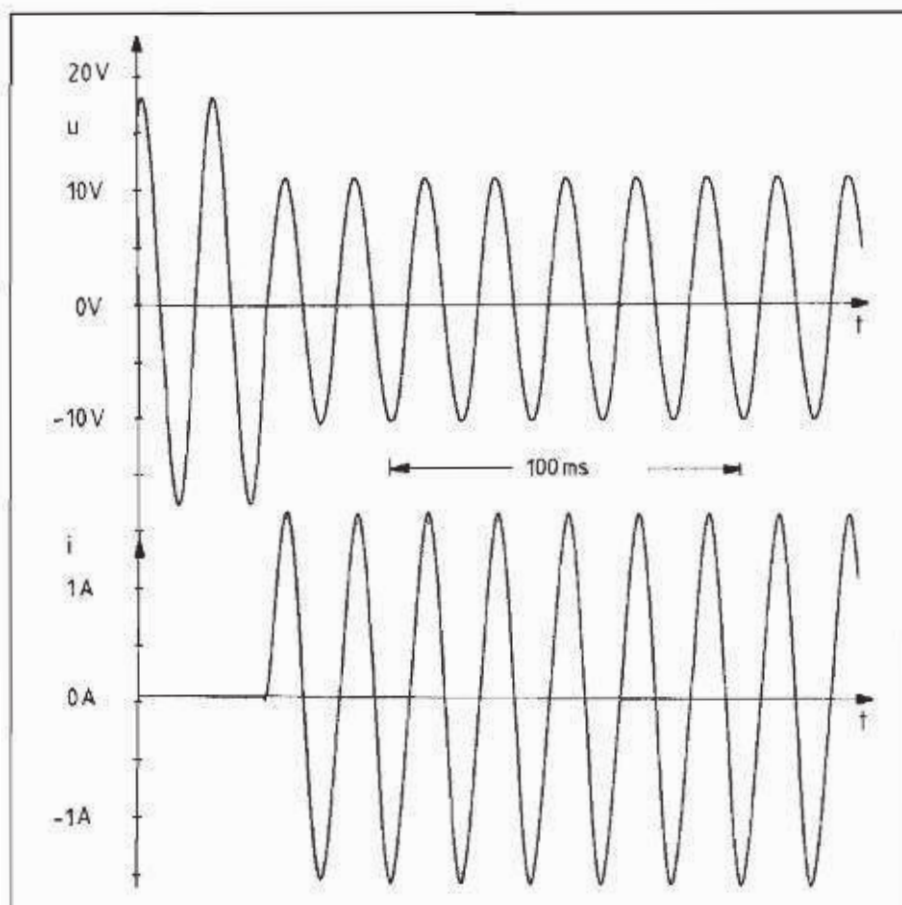


Figura 4.4 Oscilograma al activar un mecanismo de dos bobinas (LGB): arriba, la tensión alterna del transformador, abajo, la corriente que circula por la bobina mientras se mantiene presionado el pulsador.

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

queda claro, la pérdida de calor de 14 V x (aproximadamente) 1 amperio = 14 vatios, por lo tanto a la potencia de un pequeño soldador!

En muchos de los 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 Marklin.

| Fabricante | Resistencia |
|-----------------|-------------|
| Arnold | 25 Ω |
| Koco HO | 21 Ω |
| Marklin (senal) | 43 Ω |
| JOE (antiguo) | 7 Ω |

Tabla 4.1 Resistencias de las bobinas de algunas marcas de los coches de ferrocarril

Uno problema de la corriente elevada en bobinas es que cuando se quieren mover varias agujas a la vez con un pulsador los mecanismos producen un ruido débil y los espines 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 ejes. 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 preciso 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 leerlas sobre el papel. La figura 4.4 muestra un oscilograma de una bobina que conecta un mecanismo de dos bobinas.

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

transformador, la intención representa la corriente que circula si presionas el pulsador y colocas 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 señas tengan tensión durante largo tiempo y con ello corriente permanente. Con interruptores o contactos hábilmente en la armadura del mecanismo de dos bobinas, se puede conseguir que con la misma armadura la

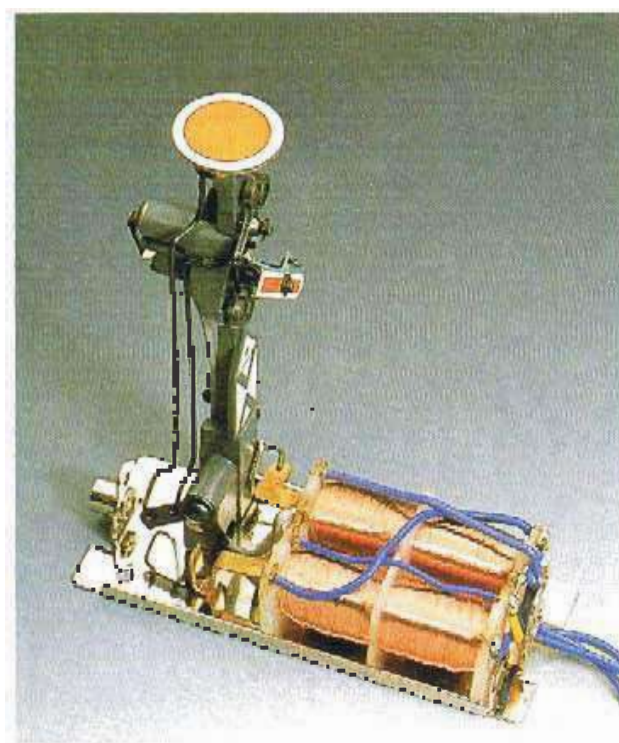


Figura 4.5 Dos mecanismos de dos bobinas permiten la función selectiva del disco de señas y del disco eléctrico en los señales de aviso de tráfico.

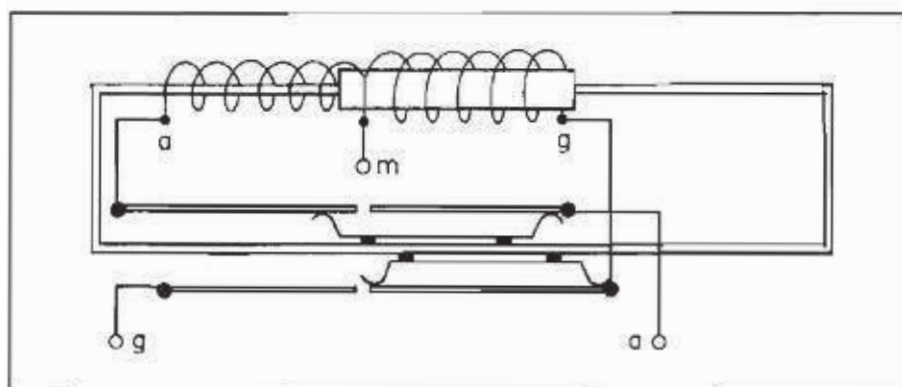


Figura 4.6 Así funciona un mecanismo de dos bobinas con dispositivo de apagado final.

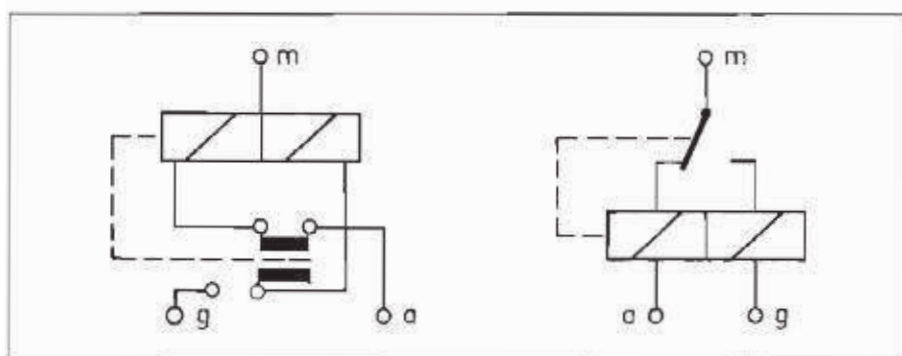


Figura 4.7 Diferentes posibilidades de apagado final.

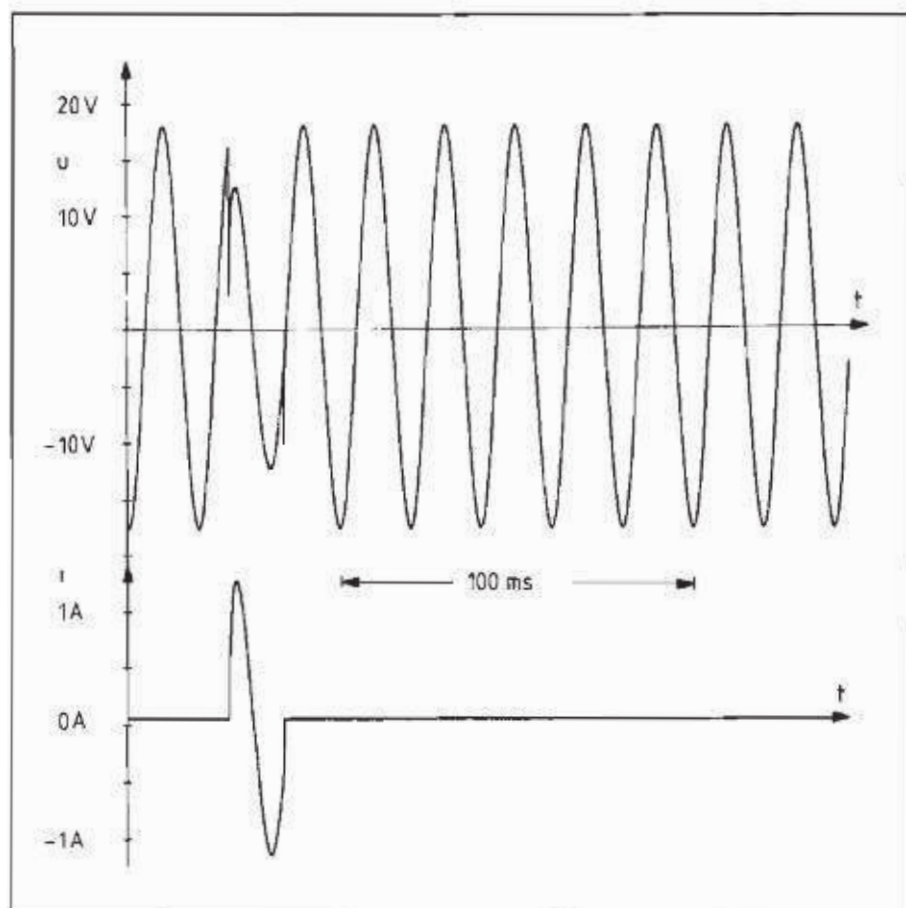


Figura 4.8 Oscilograma al accionar un dispositivo de apagado final de la escala HO de Roco; la corriente alterna de la bobina (abajo) circula durante un corto período de tiempo (20 milisegundos), entonces la aguja ya se ha movido, el circuito eléctrico se interrumpe.

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

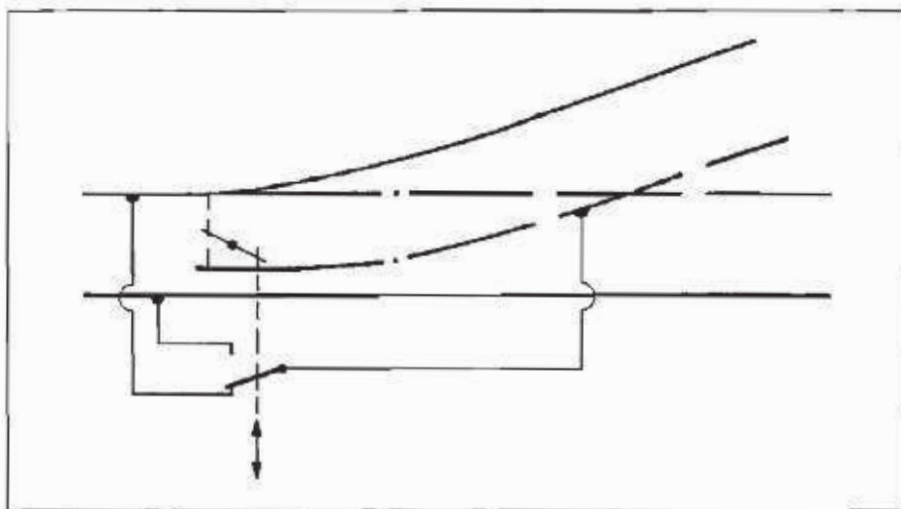


Figura 4.9 Así se conecta el corazón eléctrico polarizable.

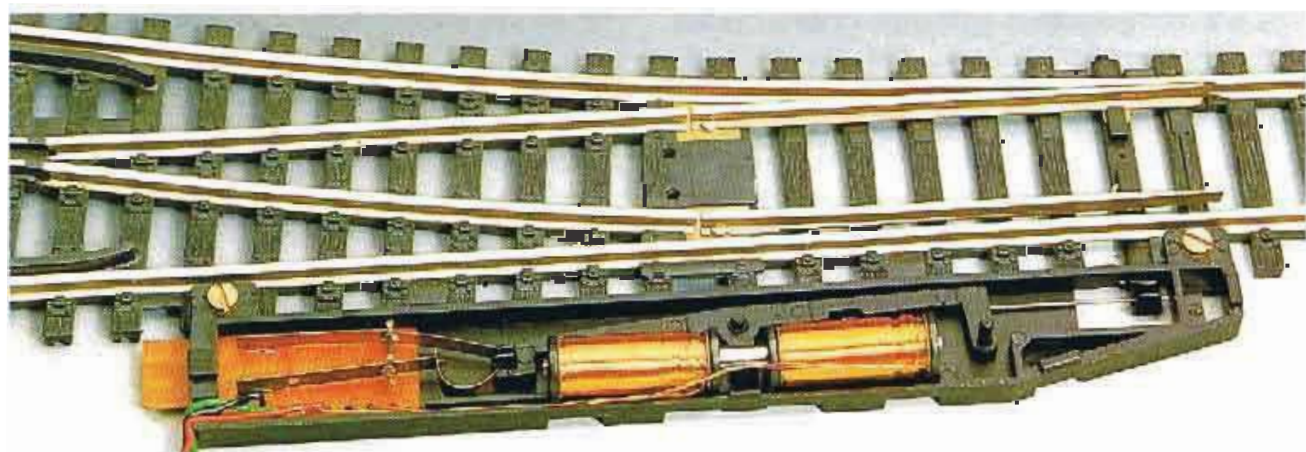


Figura 4.10 Un modelo de un sistema de vía HO con dispositivos de aparcado y polarización de carriles.

el igual tiempo en la armadura como el interruptor de aparcado final.

Los carriles polarizables esconden una gran trampa. Si se quiere colocar una aguja, es decir, que la locomotora llegue desde la situación en la aguja que está colocada correctamente, 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 de espaldín de aguja, no se circula.

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

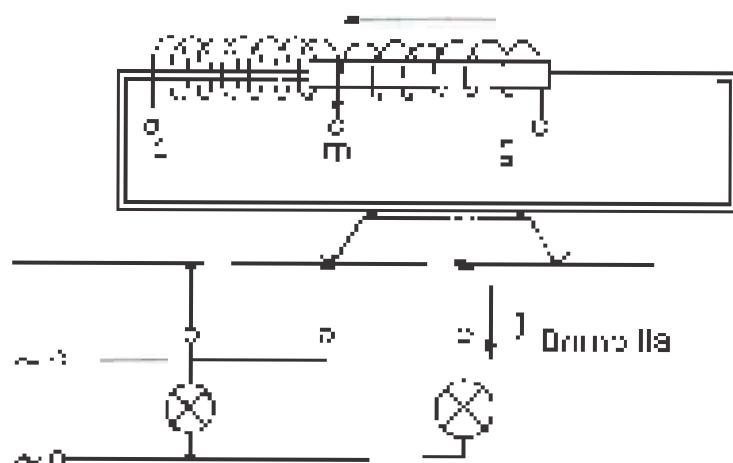


Figura 4.11 Conexión de sistema con un interruptor de aparcado para polarización de carriles.

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.

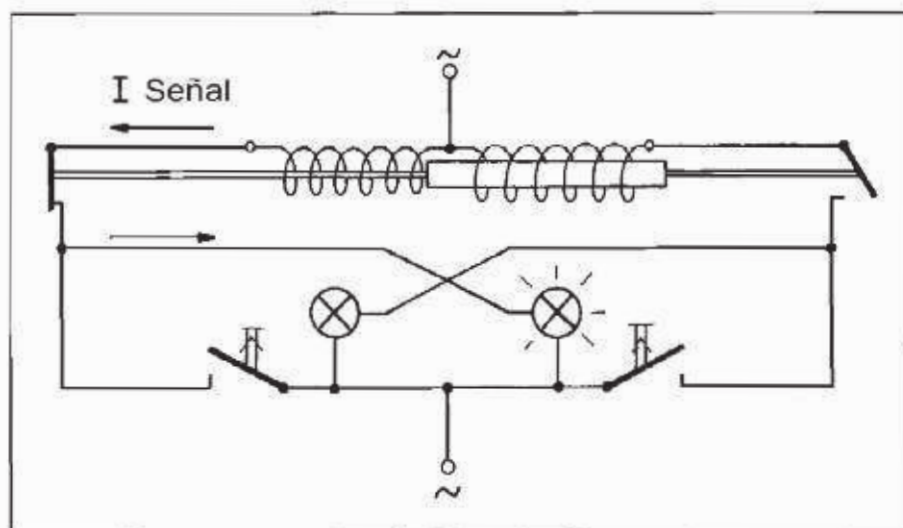


Figura 4.12 Testigo de control de las agujas mediante el interruptor de apagado final.

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 maniobras 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.

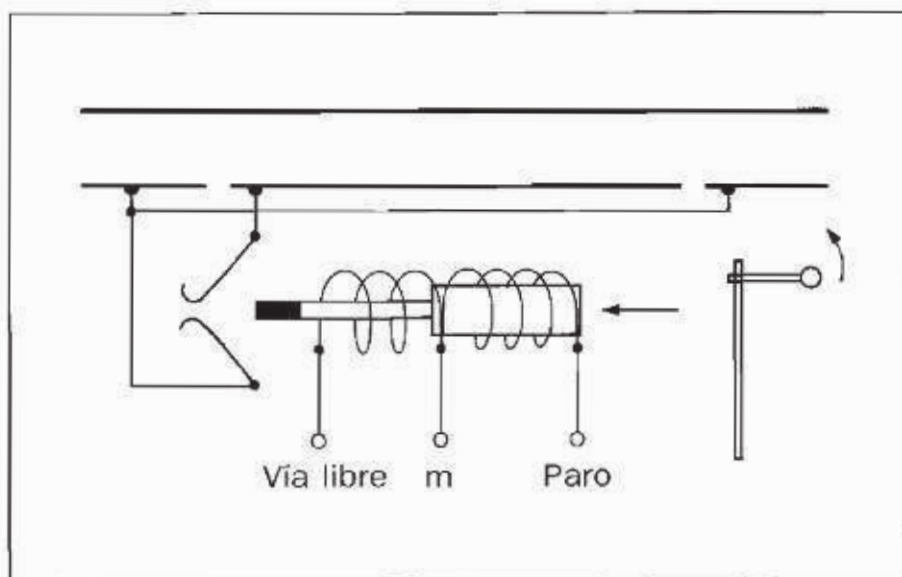


Figura 4.13 Elementos electrónicos de una señal con influencia sobre el control del tren.

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.

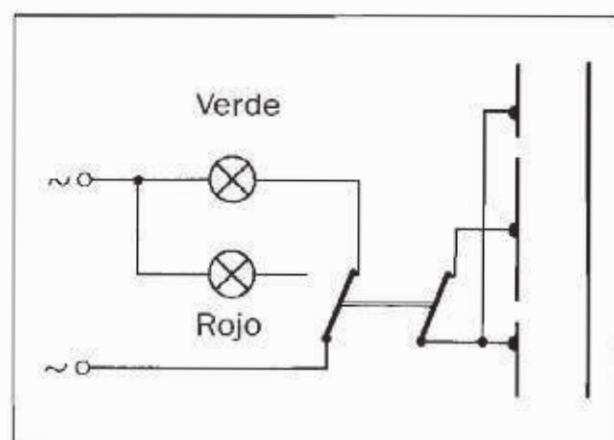


Figura 4.14 Influencia sobre el control del tren con señales luminosas mediante un interruptor de accionamiento longitudinal bipolar.



Figura 4.15 El movimiento de las aguja 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 de modelo real asociados eléctricamente no cambian su posición en un segundo y de forma brusca. Los espádalos de agua se mueven lentamente empujados por un motor eléctrico. Con el mecanismo de dos bobinas no se puede aplicar la fuerza necesaria. Los mecanismos de agua motorizados tienen cada vez más éxito entre los modelistas de ferrocarriles más involucrados. En especial en los equipos más pequeños las pocas agüas que hayo deben comportarse en su movimiento los más fielmente posible al modelo real. Los meca-

nismos de agua con motor Lienen también tienen 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 agua motorizados como los de, por ejemplo, Horna y Fulgurex, un motor de corriente continua empuja con un engranaje de acero una cremallera de plástico que se une mecánicamente a los espádalos de agua. Un dispositivo de seguridad fina bloquea momentáneamente el motor una vez después del movimiento adecuado. Además, estos mecanismos de agua disponen de otros interruptores de inversión libre, por ejemplo para la polarización del carril, la función de paro de la vía y muchos otros. El motor de agua corresponde, en tamaño y forma, al motor de corriente continua de una locomotora. También no opera corriente continua y sólo puede ser alimentado desde la salida de corriente alterna del transformador mediante circuitos rectificadores (ver el próximo capítulo hablaremos de ellos).

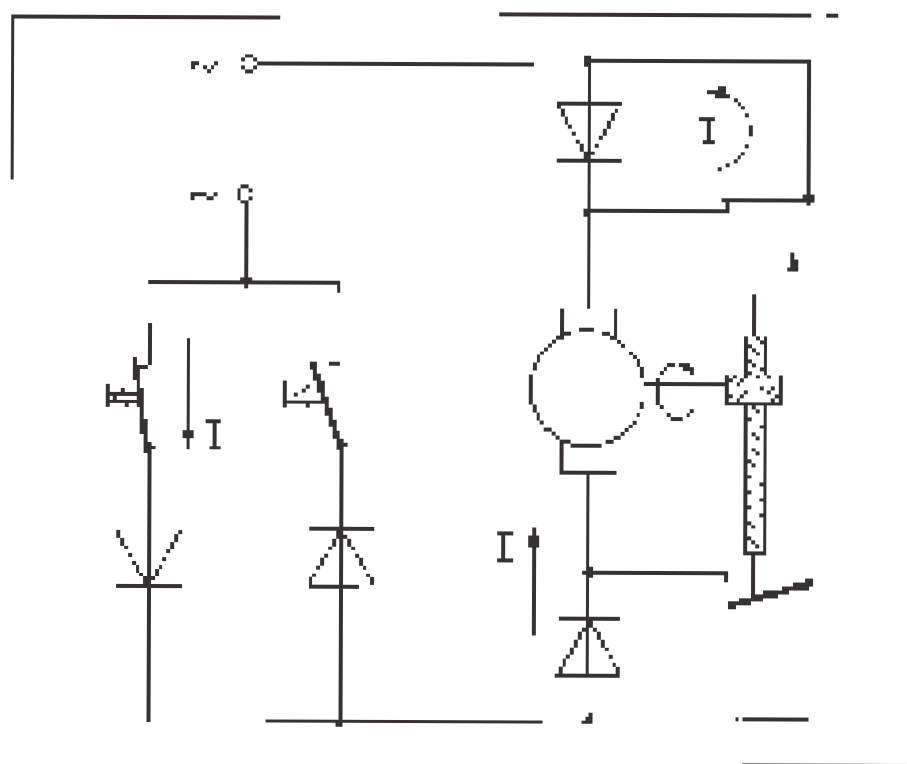


Figura 4.16 El circuito eléctrico de los mecanismos de agua motorizados.

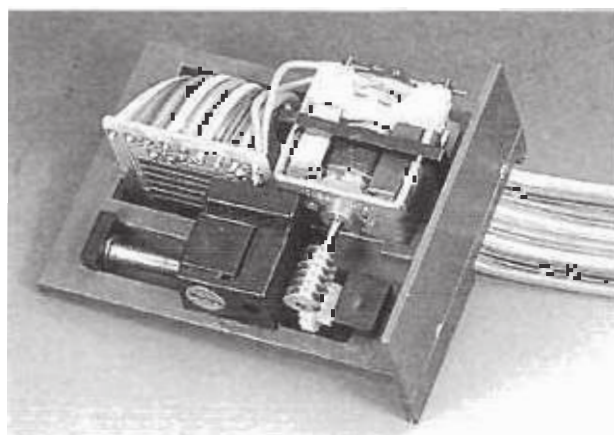


Figura 4.17 El motor de un mecanismo para agujas 110. Una bobina puede utilizarse para agujas 110.

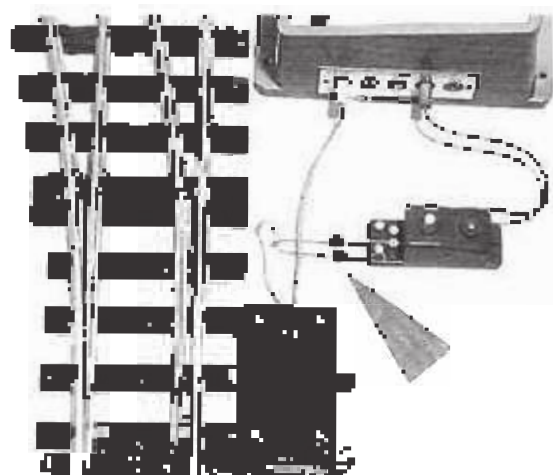


Figura 4.18 Con dos diodos 1N4148 se puede controlar el EPL con cualquier panel de control de agujas por medio de 50 pines.

El mecanismo motorizado de agujas tiene sus bujes de conexión. El movimiento de las agujas se consigue mediante la inversión de los polos de la corriente continua que llega directamente igual que el cambio en el sentido de la

magnita 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, dé lugar al motor de agujas la semionda positiva o la negativa de la tensión a tierra.

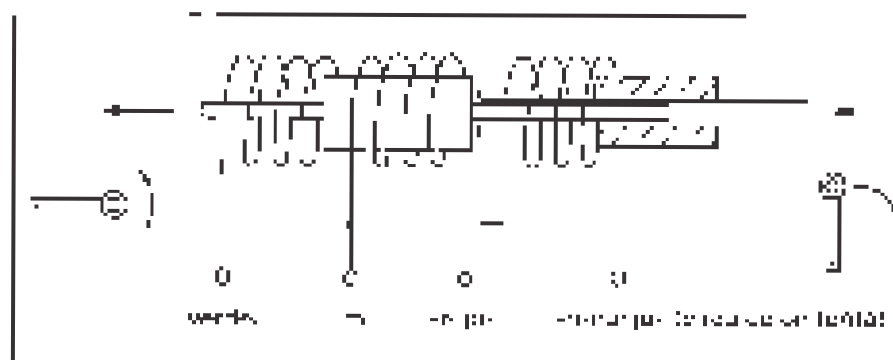
Con unos minutos de cables muy bien pensados se puede enganar a los interruptores de apagado final, de la manera que el mecanismo solo pueda funcionar en la posición deseada. La figura 4.15 muestra el funcionamiento interior de un mecanismo de agujas.

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, en lógica 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 L&D que debe ser controlado con un motor de agujas, es decir, con corriente continua de diferente polarización según el sentido de conmutación. La manivela está dispuesta de tal manera que la armadura sólo tarda a la dar apenas medio giro para alcanzar, mediante la rueda de engranaje y la barra

Figura 4.19 El mecanismo de una señal con dos diodos de 1N4148.



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-

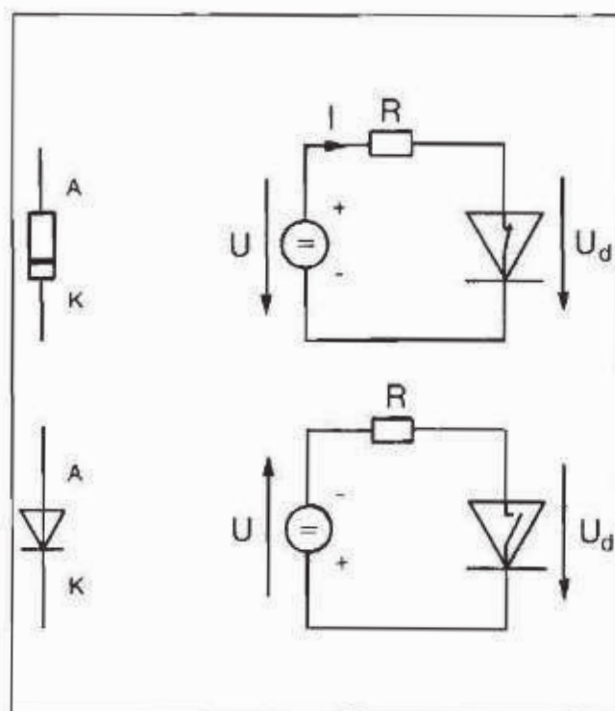


Figura 5.1 Forma, símbolo y esquemas de funcionamiento y equivalente sencillo (interruptor) de un diodo.

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.

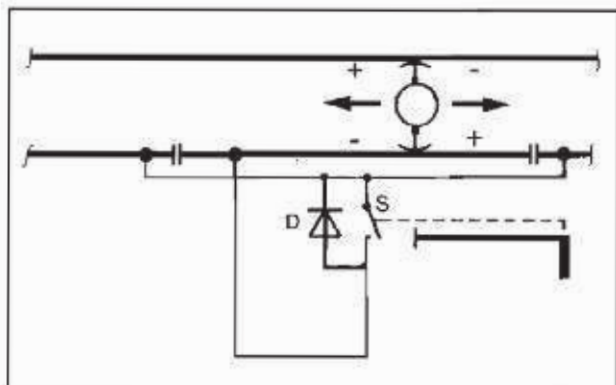


Figura 5.2 Influencia sobre el control del tren dependiente del sentido de la marcha delante de una señal.

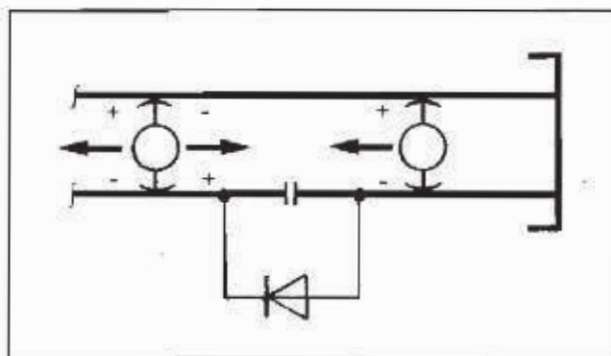


Figura 5.3 Dispositivo de protección para vía muerta o para tope fijo.

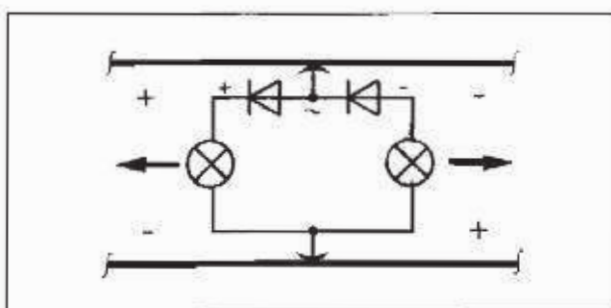


Figura 5.4 Circuito para la iluminación de los extremos de locomotoras y vagones de mando.

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-

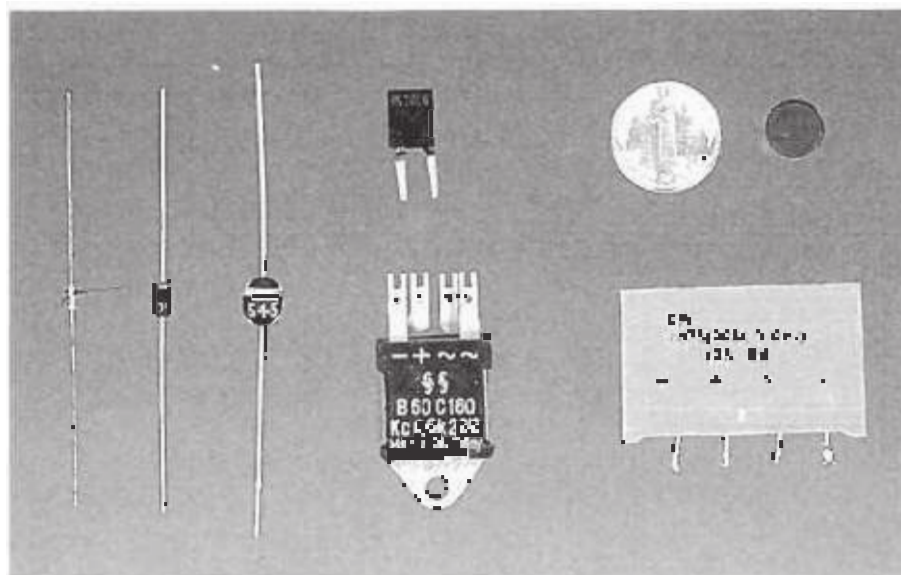


Figura 5.3 Diodos y resistencias.

los que se reducen automáticamente cuando se está desconectando.

En los vehículos que funcionan con tensión alterna, los circuitos de control del tren dependen del sentido de la marcha son mucho más complicados (ver figura 8.24). La figura 5.3 muestra otro circuito sencillo para frenos que funcionan con tensión continua en las máquinas anabaja como un tope eléctrico fijo. En la zona de avance el tope fijo funciona y, en 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 eléctricas, existe una sencilla relación entre el sentido de la marcha y la polaridad del circuito (el símbolo apunta hacia el sentido de la marcha).

A medida que cambiamos de los vehículos que funcionan con corriente continua cambia automáticamente con el sentido de la marcha; de lo contrario, se puede conseguir con un sencillo dispositivo. Los dos diodos necesarios suelen estar unidos en una pieza cuyas tres terminales en la designación que se muestra en la figura 5.4. El símbolo se designa como circuito de punto control. En la figura 5.5 se puede ver un elemento extraído de un vehículo de gran serie, así

como una selección de valores y rectificaciones para el modelo como referencia.

Un campo de aplicación de los diodos que no se limita sólo a los ferrosaniles 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 potencia resulta bastante molesta. Una solución podría ser la incorporación de una resistencia inductora R ; sin embargo, será relativamente grande para la potencia necesaria (aproximadamente 1.2 W). Además, la caída

de tensión en la resistencia R resulta bastante molesta. Una solución podría ser la incorporación de una resistencia inductora R ; sin embargo, será relativamente grande para la potencia necesaria (aproximadamente 1.2 W). Además, la caída

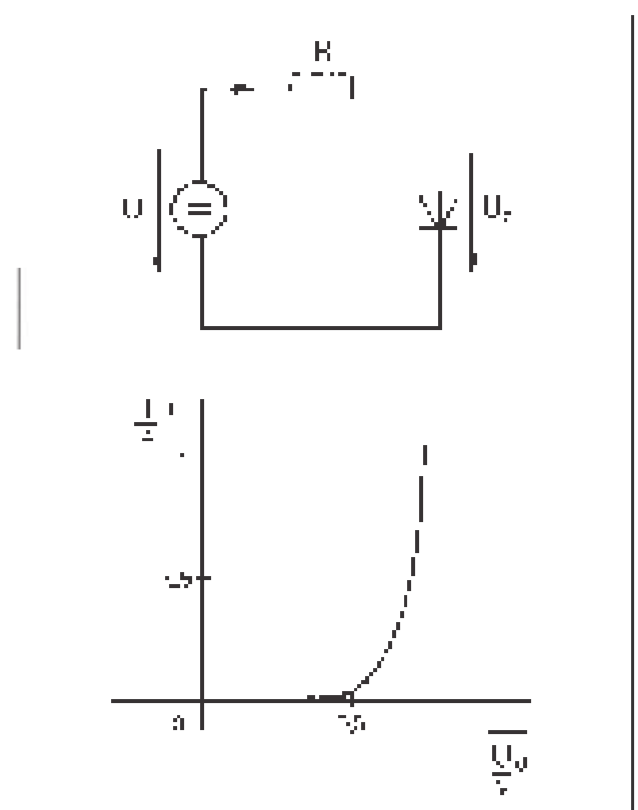


Figura 5.4 Circuito y curva característica del diodo.

de tensión. El caso depende de la carga ($V = IR = I R_L$). Por ello, lo más apropiado son los diodos que no neutralizan masiva esta dependencia. Para poder entender mejor, hay que analizar mejor el esquema de conexiones de la célula.

Si en un circuito en serie que se compone 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 la tensión negativa ($U < 0$), su aspecto corresponde al comportamiento conocido de un interruptor, la caída es independientemente de la tensión con $I = 0$. Sin embargo, con tensión positiva se puede observar un efecto hasta ahora no conocido. Si el cálculo fuera un interruptor ideal, éste debería cerrar en el caso de que U_D fuera mayor que $U_{0.95}$ 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 sufre de forma muy vertical. Este subida tan pronunciada de la curva significa, por otra parte, que la caída de tensión en un modo opera no depende de la corriente.

La magnitud $U_{0.95}$, llamada tensión de recta, es uno de los tres valores importantes de un p-n-jon. Su valor para los diodos de silicio, que son los que se emplean exclusivamente en el modelo, no varía mucho, es de 0,5 a 0,8 V. Otro valor es el de la corriente directa admisi-

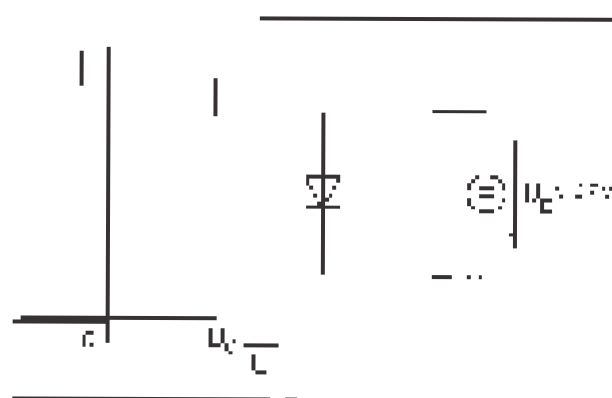


Figura 5.7 Gráfico y esquema de conexiones correspondiente de un p-n-jon idealizado.

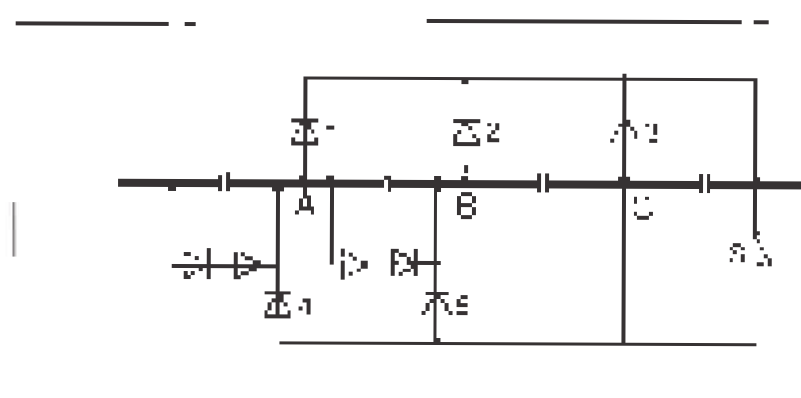


Figura 5.8 Diagrama simplificado de la red de nodos por diodos

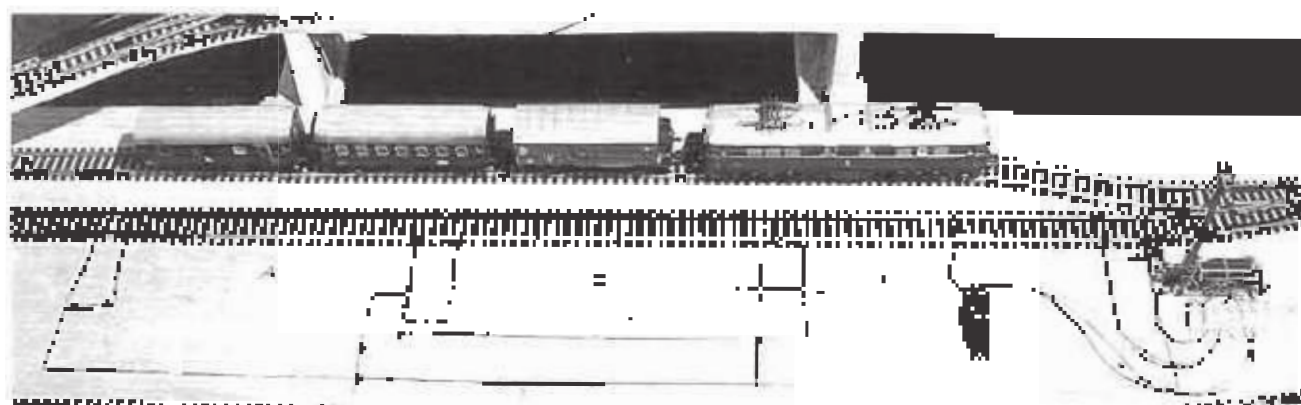


Figura 5.9 Ovario de conexión según el modo de funcionamiento de una célula p-n-jon con corriente de 10 mA.

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.

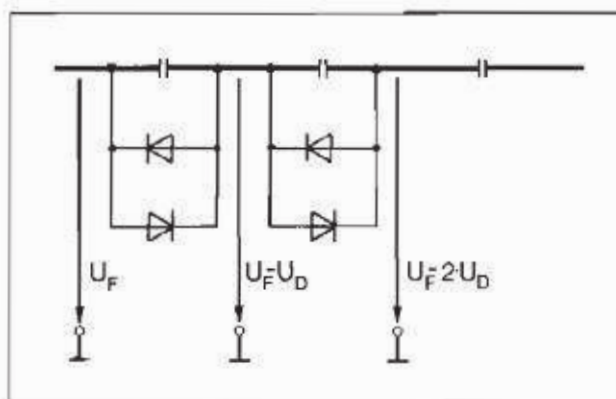


Figura 5.10 Disminución de la tensión mediante diodos en conexión antiparalela y alimentados con corriente alterna.

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,

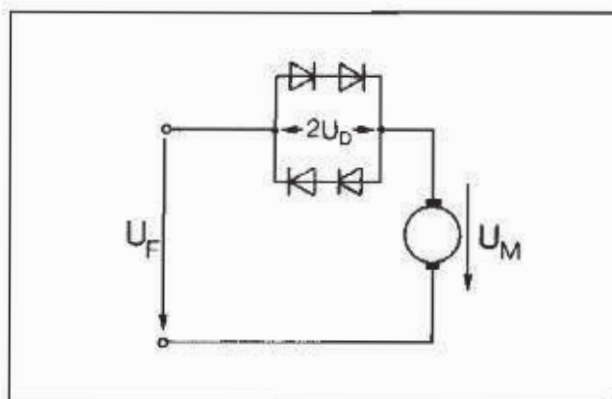


Figura 5.11 Disminución de tensión en el motor de tracción: $U_M = U_F - 2 \cdot U_D$.

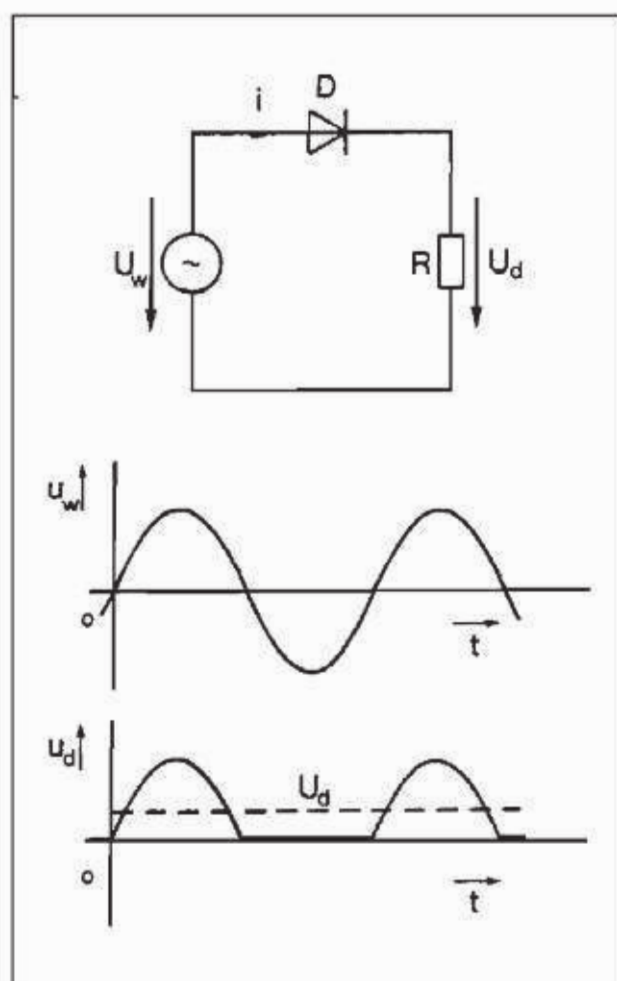


Figura 5.12 Rectificador de semionda: circuito y trayecto temporal de las tensiones (U_d = valor medio de la tensión rectificada).

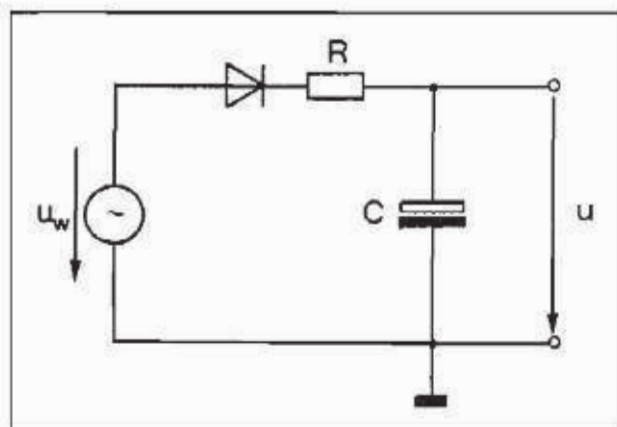


Figura 5.13 Rectificador de semionda para la alimentación de un circuito de protección de bobinas.

2 y 3 tienen la función de alimentar, cuando el sentido de la marcha es opuesto, el segmento de vía con la tensión $U_F = 0,7 \text{ V}$, 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 mueve 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.

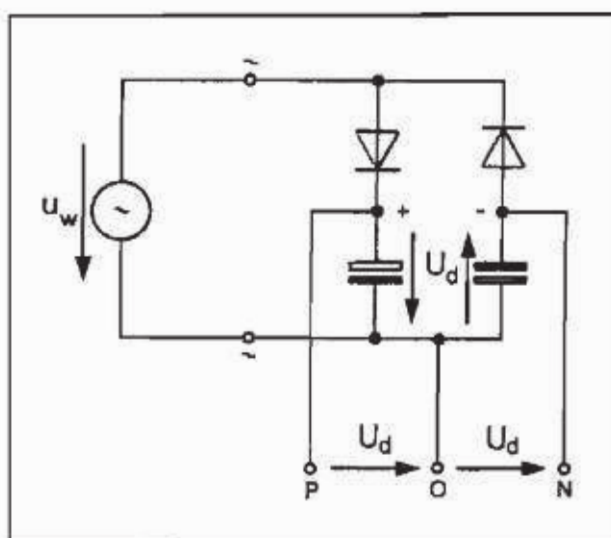


Figura 5.14 Rectificador de tensión alterna (fuente de tensión bipolar) en circuito de doble onda.

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

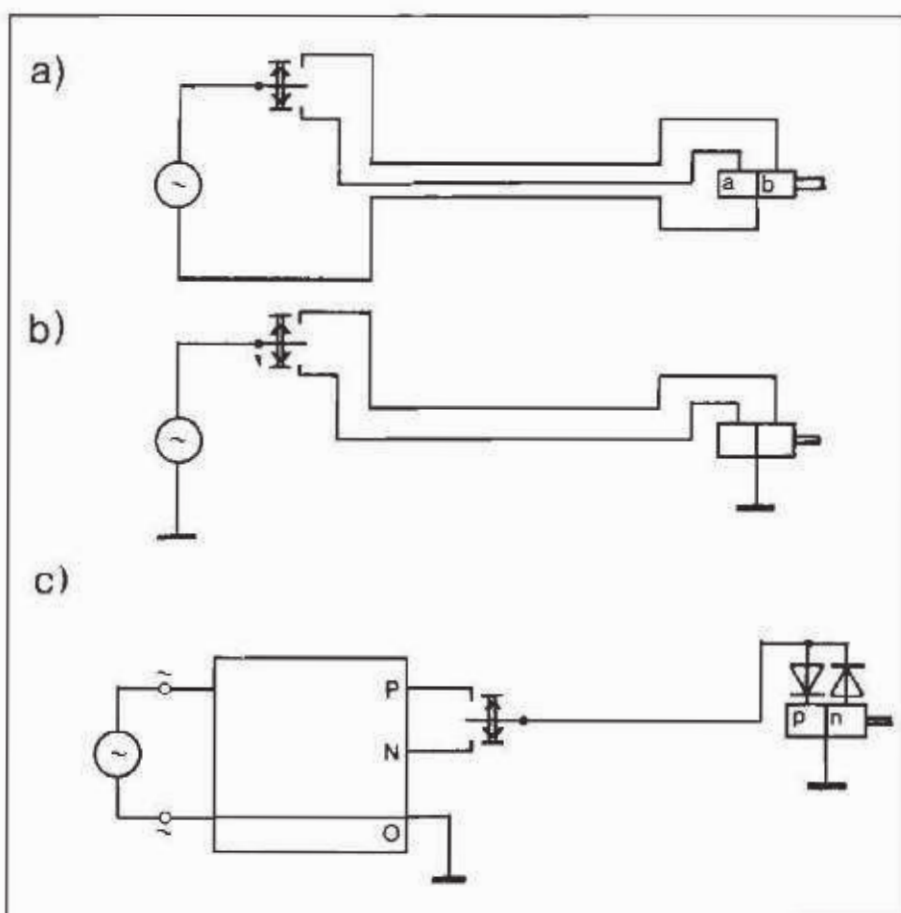


Figura 5.15 Conexión de mecanismos de dos bobinas.

$U_w = 14 \text{ V}$ 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-

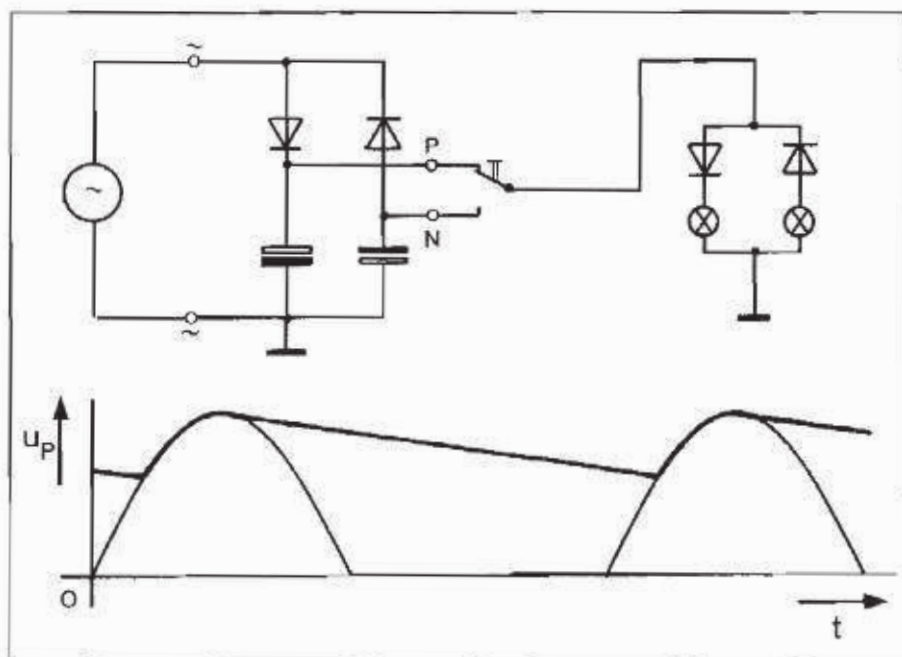


Figura 5.16 Conexión de una señal luminosa con alimentación unipolar.

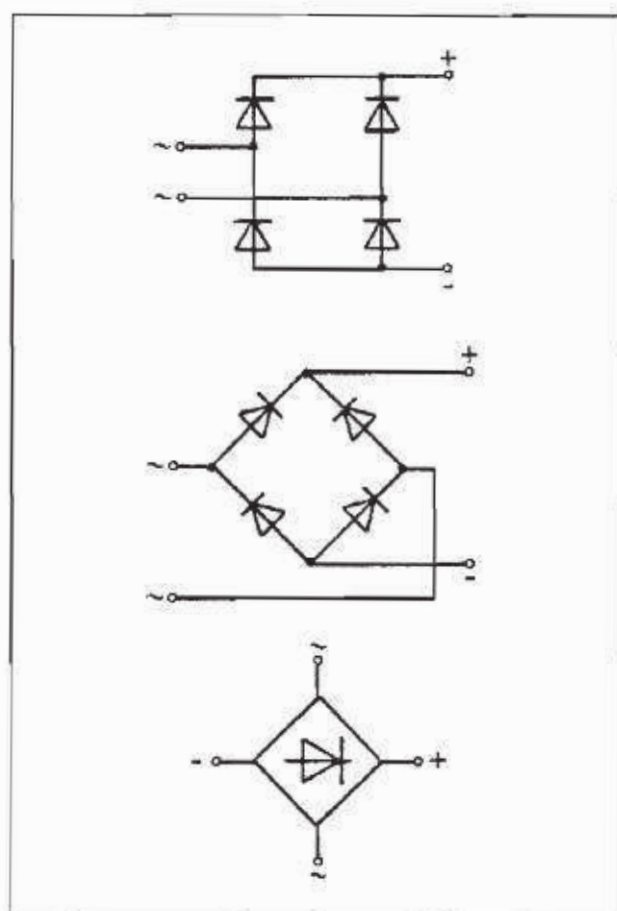


Figura 5.17 Rectificador en circuito puente: dos de las múltiples variantes de esquemas de conexiones y su símbolo.

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 ~ del rectificador, se obtiene a la vez el circuito de protección de la figura 3.20, que evita una sobrecarga de las bobinas.

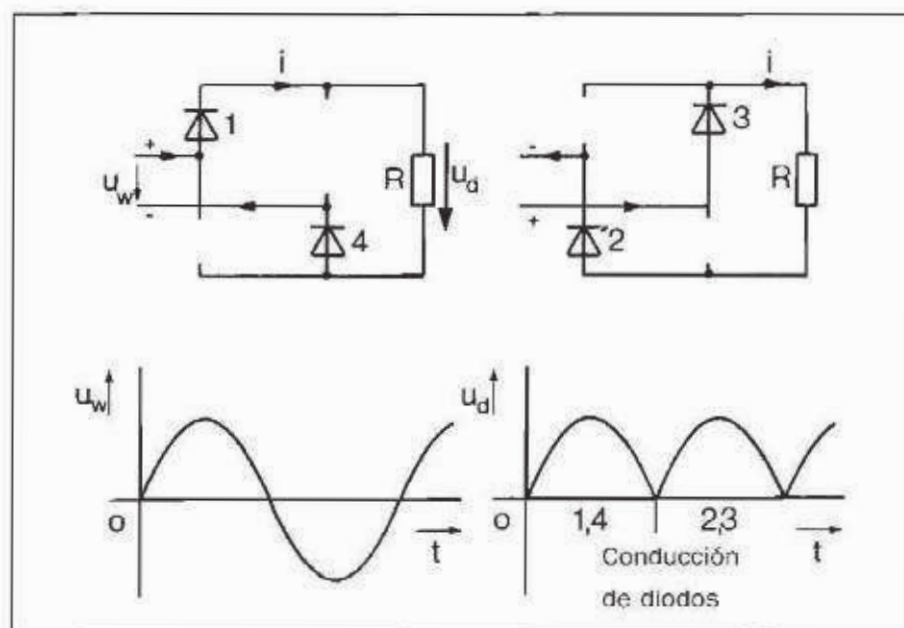


Figura 5.18 Circuito puente: esquemas de conducción de los diodos y trayecto temporal de las tensiones.

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 $1.000 \mu F$ 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.

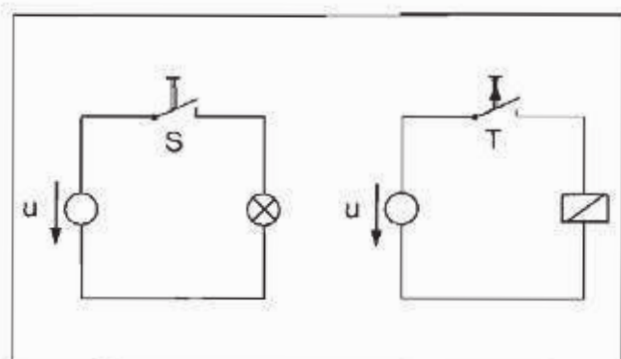


Figura 6.1 Ejemplos típicos para la utilización de interruptores (S) y pulsadores (T) en el modelismo ferroviario.

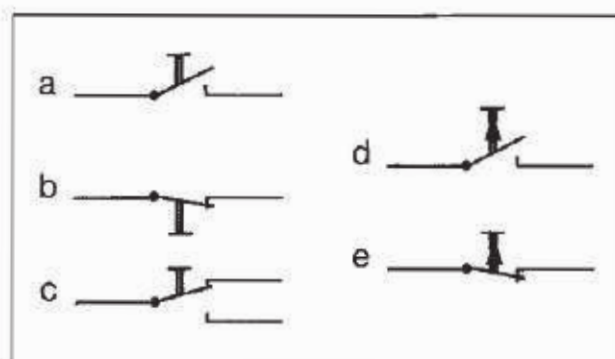


Figura 6.2 Símbolos y denominaciones de interruptores. Interruptores: a) contacto de trabajo, b) contacto de reposo, c) contacto de conmutación; pulsadores, d) contacto de trabajo, e) contacto de reposo

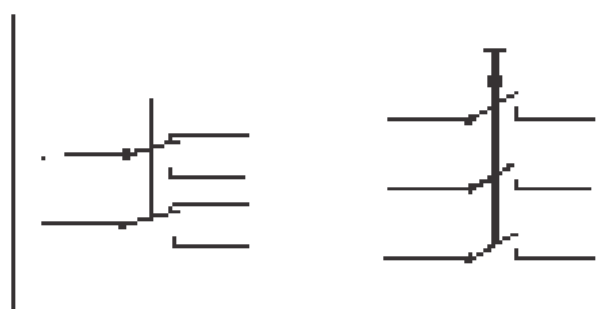


Figura 6.3 Interruptores de vaivén sobre el contacto fijo: a) normal y b) resorte

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

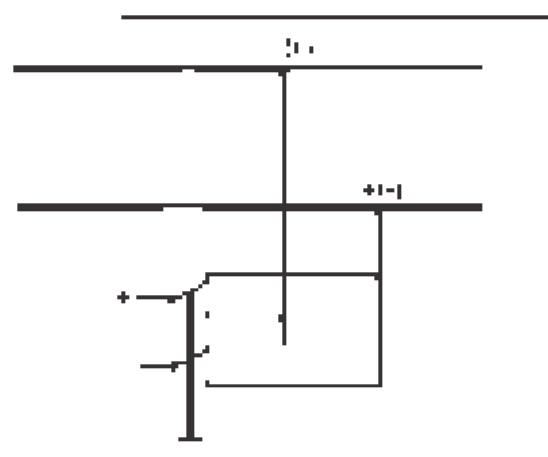


Figura 6.4 Conmutador bipolar como inversor de vaivén

motores. Los aisladores de varios polos son muy apropiados para el control simultáneo de varios mecanismos electromagnéticos, como por ejemplo, para el posicionamiento de cajas de cambios o de una combinación de mecanismos de señales y señales.

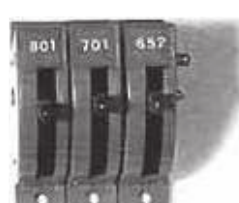
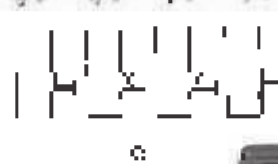
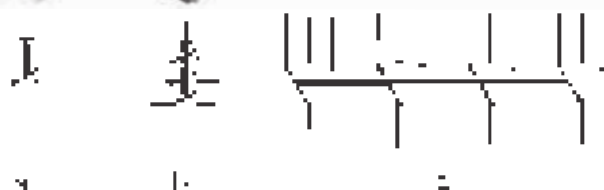


Figura 6.5 Interruptores, aisladores, inversores y conmutadores para el modelismo ferroviario.

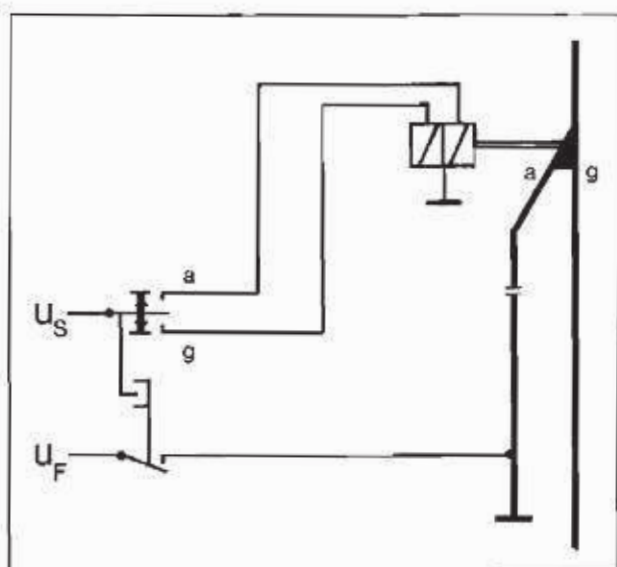


Figura 6.6 Interruptor de función doble: pulsador con contacto de conmutación y contacto de trabajo. La tensión de tracción (U_F) de la vía muerta se conecta dependiendo de la posición de las agujas.

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

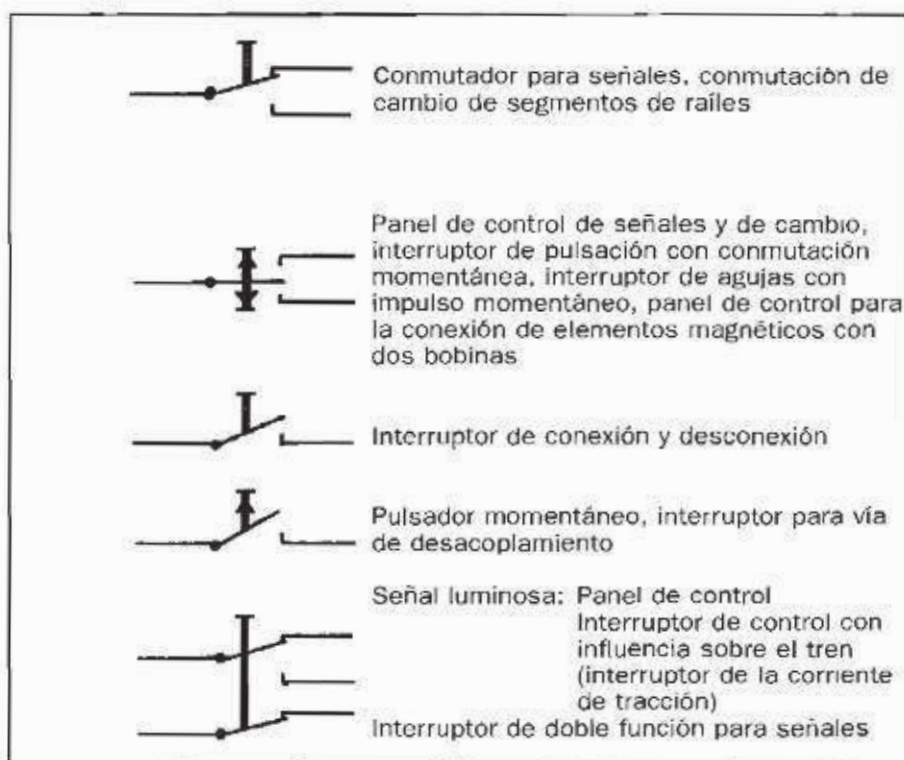


Figura 6.7 Símbolos y denominaciones de interruptores y pulsadores para el modelismo ferroviario.

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

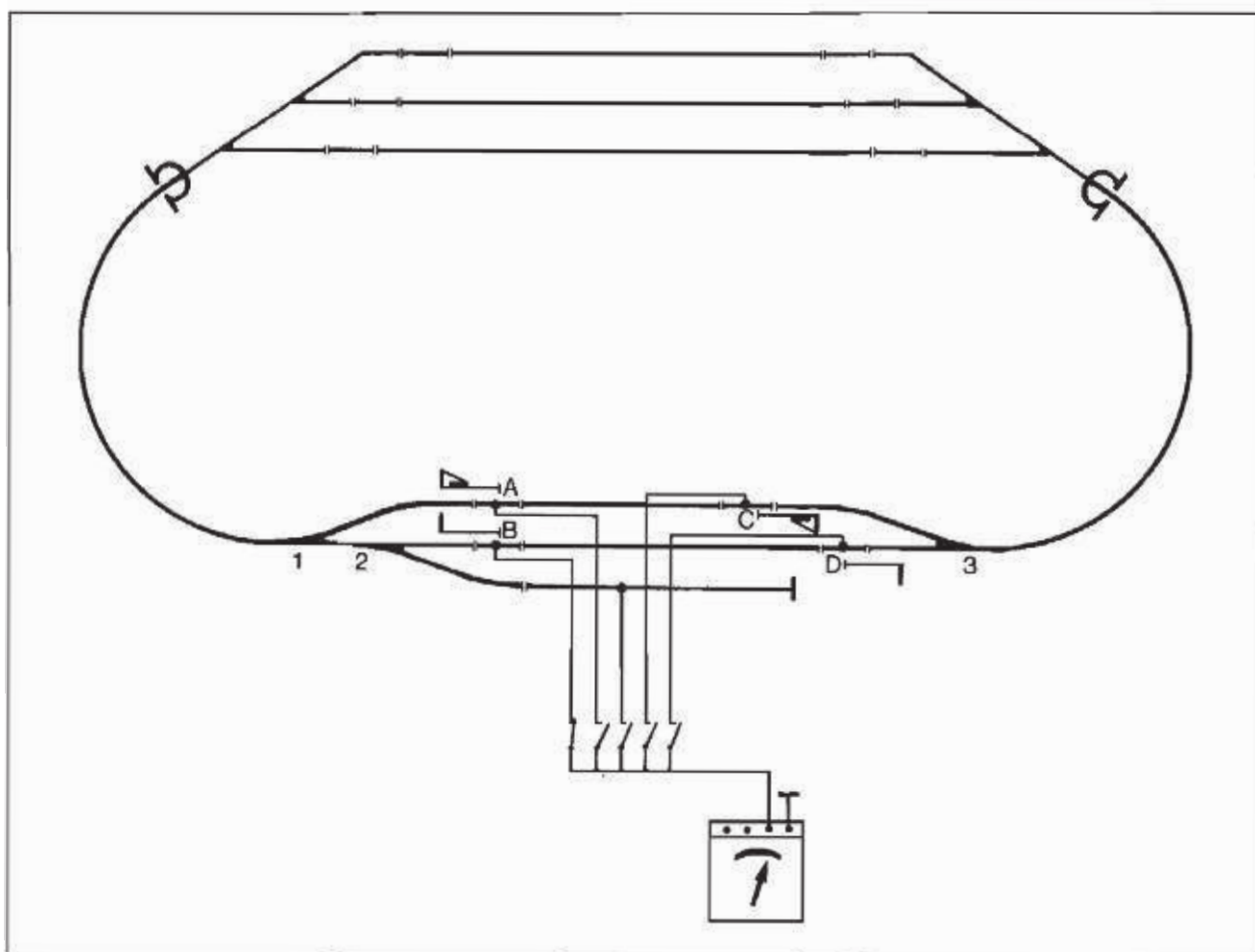


Figura 6.8 Control por desconexión de tramos o cantones.

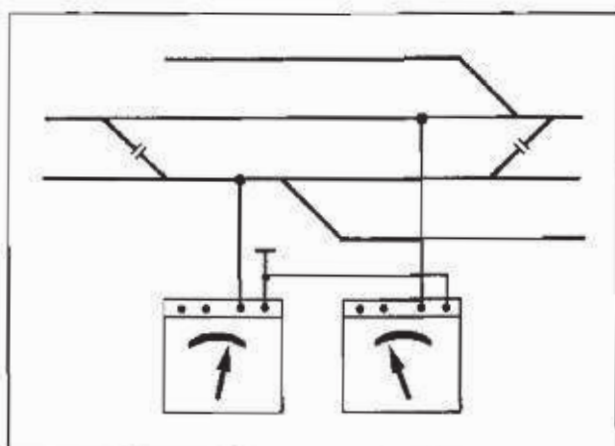


Figura 6.9 Control individual de tramos.

—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 anti-paralela 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;

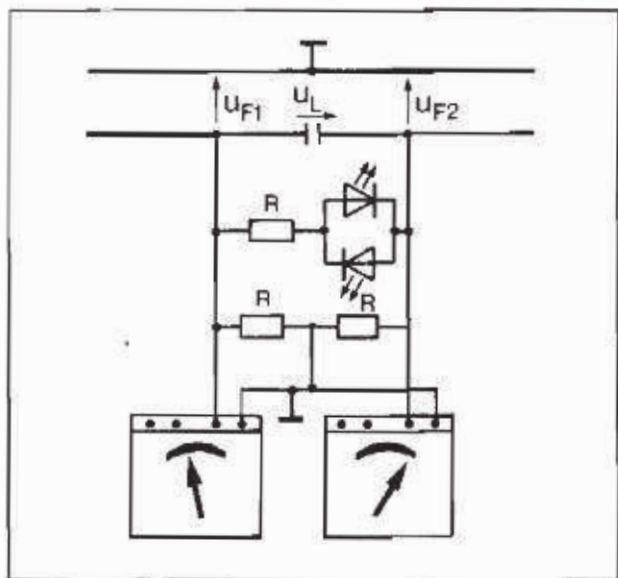


Figura 6.10 Control de la tensión en las zonas de separación entre dos sectores de corriente de tracción.

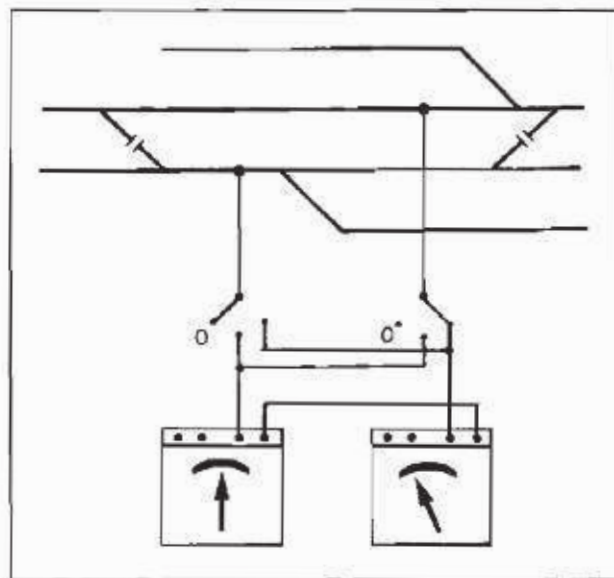


Figura 6.11 Circuito en el que cada tren tiene un panel propio (control individual de trenes).

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.

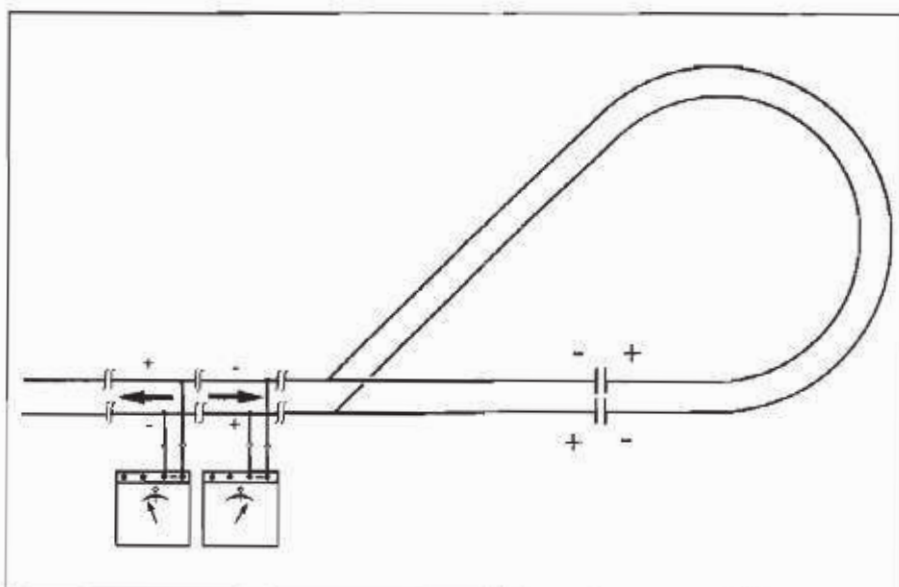


Figura 6.12 El problema del bucle de retorno: sin zona de separación la tensión de tracción se cortocircuitaría.

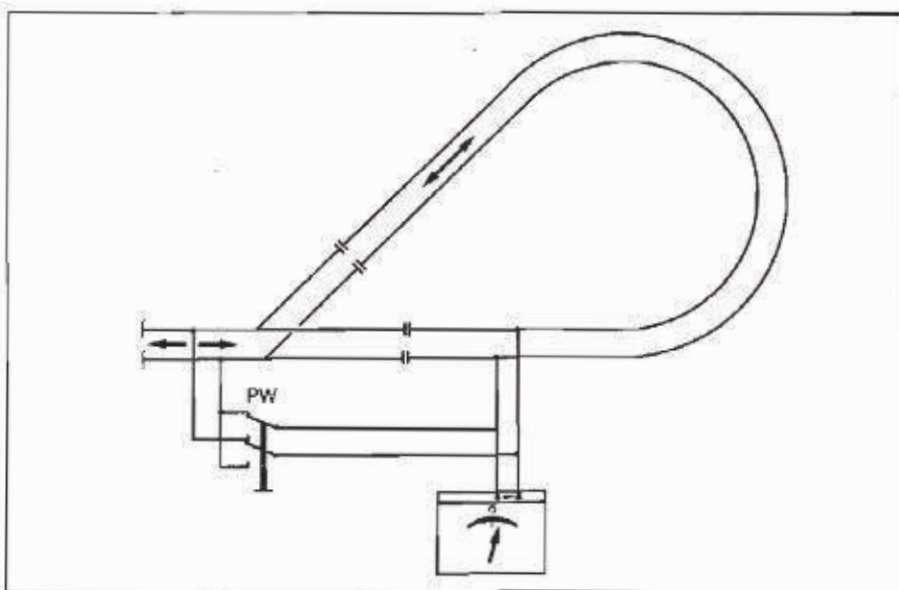


Figura 6.13 Circuito con conexión de la tensión de tracción dentro del bucle de retorno.

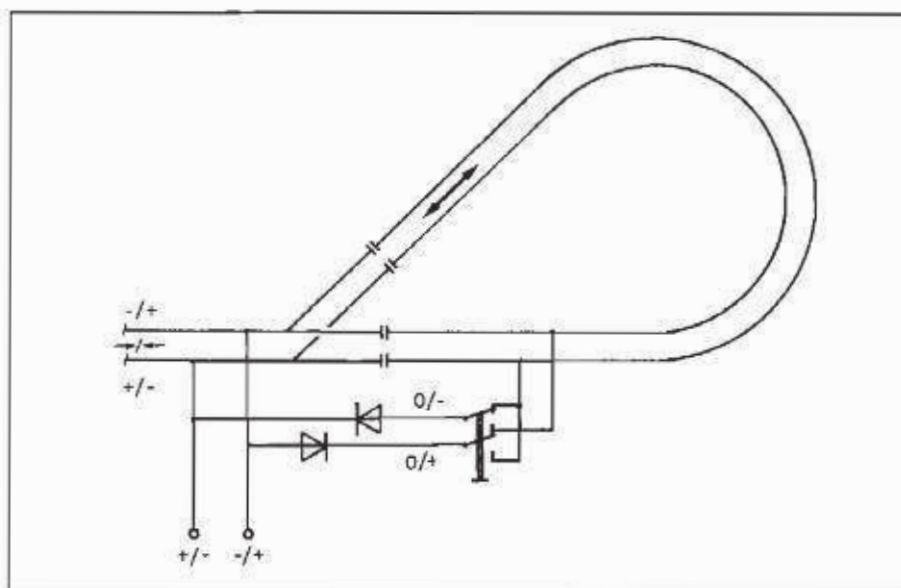


Figura 6.14 Circuito para la circulación en ambos sentidos en el bucle de retorno.

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-

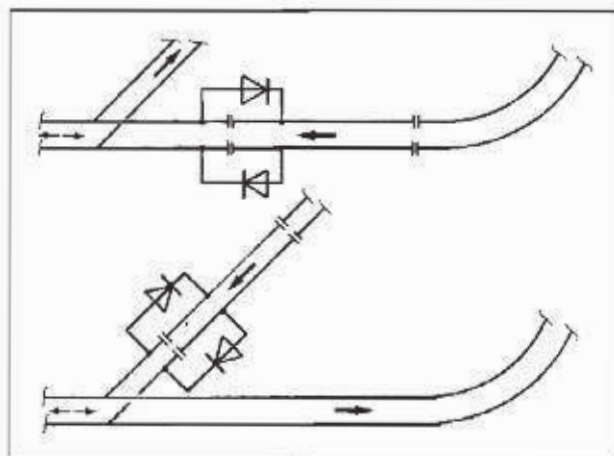


Figura 6.15 Dos diodos son suficientes para la circulación en un sentido en el bucle de retorno.

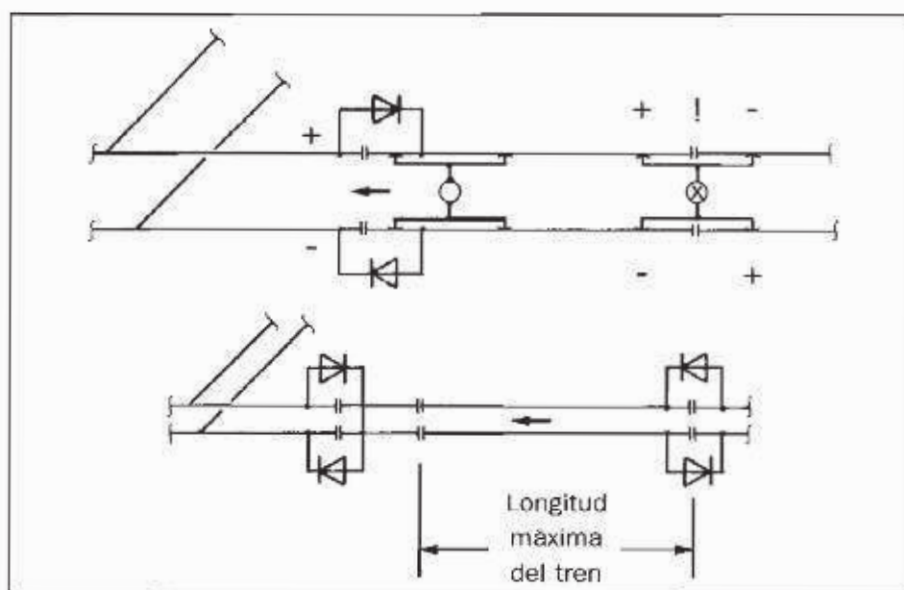


Figura 6.16 Cortocircuito causado por un vagón con iluminación (arriba) y una solución del problema.

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 separa-

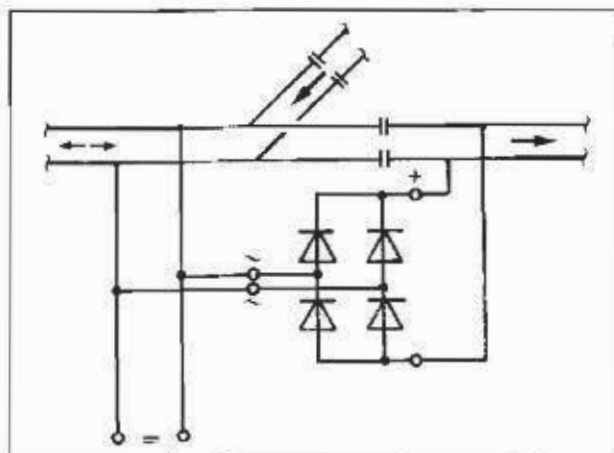


Figura 6.17 Circuito de bucle de retorno con puente rectificador.

ción 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-

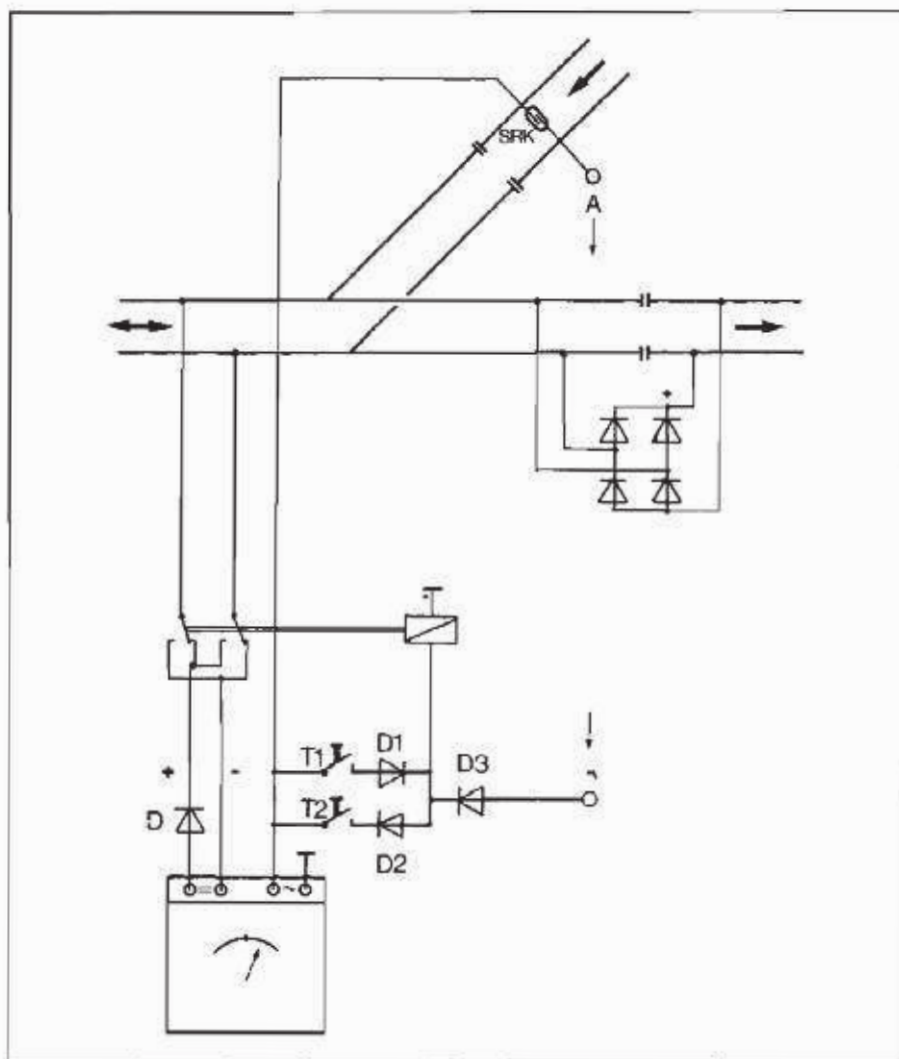


Figura 6.18 Circuito para el funcionamiento totalmente automático de uno o varios bucles de retorno.