

## Diseño y simulación de circuitos eléctricos

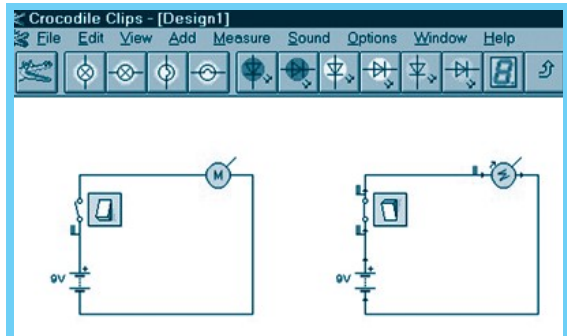
Un punto de partida para el diseño de un circuito eléctrico suele ser un esbozo en papel de la disposición de los elementos a incluir. Es usual seguir normas de diagramación simbólica, para facilitar la comunicación de la idea que se pretende cristalizar.

Símbolos de elementos eléctricos e instrumentos de medición	
Elemento	Símbolo
Fuente de CC	
Fuente de CA	
Resistor	
Capacitor	
Inductor	
Interruptor	
Diodo	
Motor	
Amperímetro	
Voltímetro	

La finalidad del diseño gráfico es la de contribuir a la visualización previa del circuito. La representación gráfica es en dos dimensiones, aunque el circuito que se representa queda materializado, generalmente, en una disposición tridimensional de los elementos.

Por otra parte, el diagrama del circuito permite un análisis preliminar para tratar de hacer previsible su funcionamiento. Para este propósito, es necesario el conocimiento de las características y comportamiento de cada elemento, junto a las reglas de resolución de circuitos.

Actualmente, existen programas informáticos que facilitan el diseño de circuitos<sup>37</sup>. Por ejemplo, el siguiente circuito comanda el movimiento de un motor, usando una llave para cerrar el circuito alimentado por una batería.



**Salida gráfica de un programa de simulación de circuitos eléctricos; a la izquierda, el circuito; a la derecha, simulación del funcionamiento**

Los programas de diseño también permiten una simulación del comportamiento de un circuito. Para esto, el programa resuelve numéricamente el circuito, calculando los valores de corrientes y tensiones de acuerdo con los elementos presentes y con los "pará-

<sup>37</sup> Como ejemplo de la salida gráfica de uno de estos programas, hemos usado el software educativo *Crocodile Clips* 3.2 de la empresa *Crocodile® Clips Ltd.*: [www.crocodile-clips.com/education/](http://www.crocodile-clips.com/education/)

metros de entrada” elegidos (por ejemplo, tensión de alimentación, características de los elementos). La respuesta del cálculo se presenta en tiempo real y, en algunos casos, los funcionamientos deficientes o peligrosos son anticipados. De esta manera, el simulador facilita la etapa de diseño y la exploración de variantes, a menor tiempo y menor costo que si tuviese que hacerse cada vez un circuito real. De todas maneras, debe tenerse en cuenta que la solución numérica del circuito tiene que tomarse como indicativa; recién cuando se construya el circuito real se observará el funcionamiento definitivo.

## Lógica y circuitos ≠ Aceite y vinagre

La lógica es la ciencia del razonamiento, el pensamiento y la inferencia<sup>38</sup>. Empleamos lógica casi todo el tiempo; por ejemplo, cuando establecemos una cadena de razonamiento. A través de ella también argumentamos y tomamos decisiones. Decimos: “Vamos a ir a la cancha si nuestro equipo juega de local y si ese día no llueve”. En este esquema, está supuesto que la decisión de ir a la cancha depende de dos factores: localía y estado del tiempo, y sólo en caso de que ambas se den, vamos a ir.

En la tecnología, el término *lógica* se usa de una manera algo distinta. Por ejemplo, en electrónica, recurrimos a la lógica cuando tenemos que disponer elementos electrónicos en un aparato electrónico para realizar una tarea específica. En este caso, con el término *lógica* nos referimos a un sistema o conjunto de principios que gobierna la disposición de tales elementos.

A un nivel más elemental, un circuito eléctrico sirve para ilustrar razonamientos lógicos que predicen un resultado cuando se satisfacen las condiciones adecuadas.

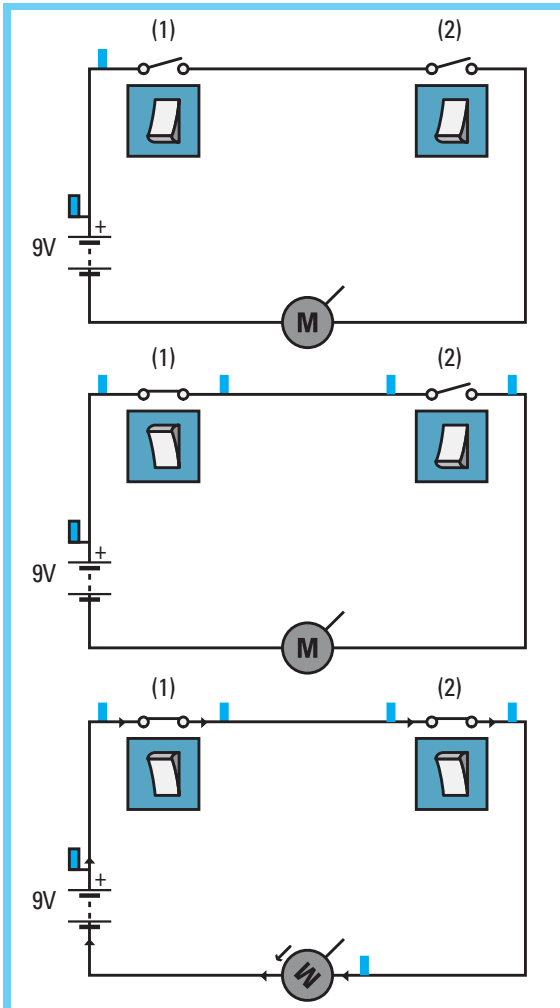
Ya hemos visto que, en un circuito simple, un dispositivo funciona sólo si el interruptor está cerrado, para establecer la condición de circuito cerrado.

Observemos el circuito de la próxima figura. Hay dos llaves en serie y, para establecer la continuidad del circuito, ambas deben estar cerradas. Decimos: El motor va a rotar si la llave 1 está cerrada “y” también si está cerra-

<sup>38</sup> Diccionario de la Real Academia Española.

**Previsión del funcionamiento de un circuito. En este caso, el diodo led y la llave se queman, puesto que la corriente que pasa por ellos es mayor que la máxima que aceptan para su funcionamiento correcto. A la derecha, la solución que resuelve el problema: se conecta una resistencia limitadora de corriente en serie con el diodo; el diodo emite luz, indicando que el motor está en movimiento.**

da la llave 2. Es decir, dos condiciones deben cumplirse para lograr el resultado de poner en marcha el motor.

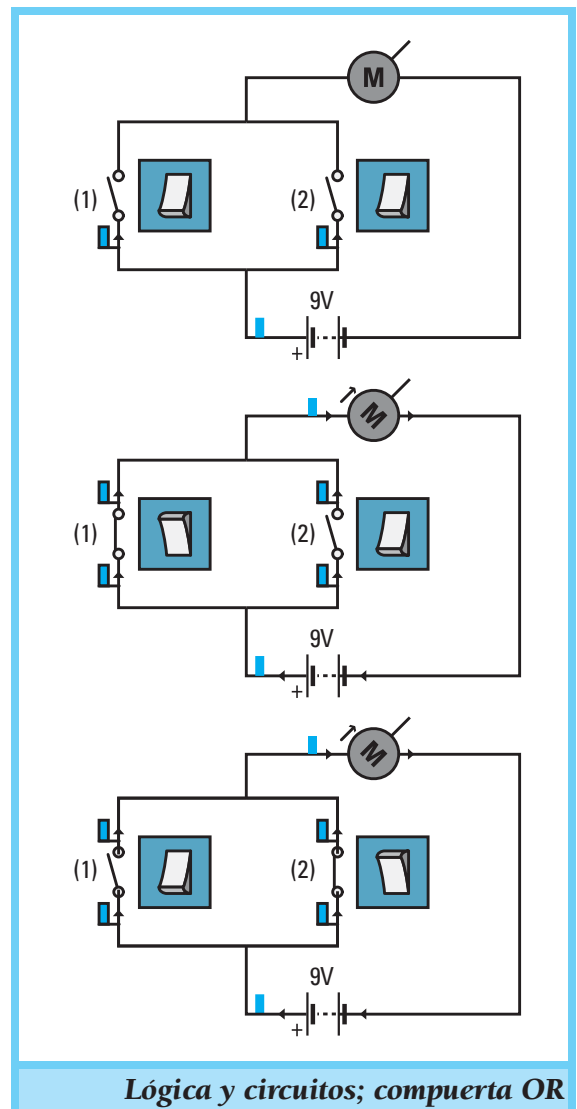


**Lógica y circuitos; compuerta AND**

Esta disposición de llaves es prototípica de un sistema lógico que necesita de dos condiciones que deben cumplirse simultáneamente. El sistema de dos interruptores en serie configura lo que se conoce como una compuerta AND (en inglés “and” significa “y”), que deja pasar corriente únicamente cuando los dos interruptores verifican la condición de estar cerrados.

Los interruptores pueden estar en paralelo. Para que la corriente circule, se necesita que se cumpla la condición de que uno de los dos esté cerrado. En este caso, el motor arranca si el interruptor 1 está cerrado o si el interruptor 2 lo está.

Esta disposición de interruptores forma una compuerta OR (“or” significa “o”) y funciona con una lógica diferente de la lógica de la compuerta AND.



**Lógica y circuitos; compuerta OR**

## Un poco de distracción, lógicamente

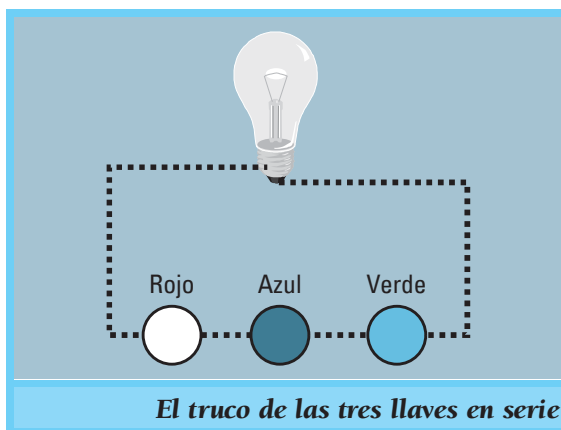
Ahora, para potenciar el espíritu lúdico que acompaña a nuestro proyecto, vale la pena mencionar el siguiente juego, comentado por Martin Gardner<sup>39</sup> en la sección “The Physics trick of the month” de la revista *The Physics Teacher*<sup>40</sup>. El juego utiliza un circuito con llaves, una lámpara y el inteligente uso de lógica AND, que puede convertirse en un rompecabezas aún para el más astuto de los profesores de física o tecnología.

El juego consiste en un tablero sobre el que se ven una lámpara y tres pulsadores. Estos pulsadores (pulsadores sin retención) están conectados en serie, por detrás del panel. La lámpara enciende si el botón rojo está ON “y” el azul ON “y” el verde ON (doble condición AND).

Iniciamos “el truco” con los botones azul y verde en posición ON, y mostrando al público (otros docentes y alumnos) que la lámpara enciende si el botón rojo está ON. Apagamos la lámpara poniendo al botón rojo en OFF y, luego, mostramos que los restantes botones no tienen efecto sobre la lámpara. Enfatizamos esto pulsando un cierto número impar de veces a cualquiera de los botones (supongamos, el azul) de modo que, tras la demostración, este botón quede en la posición OFF. La pregunta a hacer es: “¿Cuál es el

botón que enciende la lámpara?”. La respuesta “más lógica” es “El rojo”. Pero, al pulsarlo, la lámpara no enciende; sólo ocurre esto cuando el botón azul es el que se presiona, puesto que pasa a ON y cierra el circuito.

Lo mismo puede hacerse, confundiendo más al público, si se deja al botón rojo ON, se presiona al azul un número par de veces (queda ON) y, al verde, un número impar para dejarlo OFF, con lo cual pasa a ser el botón verde el que prenderá la lámpara cuando cierre el circuito. Por supuesto que otras combinaciones también están permitidas<sup>41</sup>.



## Puertas de ascensores y compuertas AND

Las ideas precedentes sobre lógica quedan interpenetradas cuando se trata de resolver una disyuntiva usando elementos electrónicos o circuitos. Esta interrelación nos permite diseñar circuitos bastante simples que

<sup>39</sup> Gardner es un afamado autor y divulgador de temas científicos. Entre sus libros de divulgación está: Gardner, M. (1982) *Nuevos pasatiempos matemáticos*. Alianza. Madrid.

<sup>40</sup> Gardner, M. (1999) “Three switches puzzle”. *Phys. Teach.* (37), 88. La revista *The Physics Teacher* publica notas y artículos sobre problemas y experimentos de Física, de lectura accesible para docentes y alumnos de escuelas medias y de los primeros años de la universidad: [www.aapt.org/tpt](http://www.aapt.org/tpt)

<sup>41</sup> Este juego es, en cierta manera, la “versión eléctrica” del juego de apuestas callejero de la bolita que pasa de vaso en vaso, en el que el apostador tiene que adivinar dónde queda, luego de los rápidos movimientos de manos que hace el prestidigitador.

resuelvan “problemas de lógica” en casos concretos.

Retomemos nuestro ascensor. Por razones de seguridad, tanto la puerta de la cabina como la puerta de cada piso tienen que estar cerradas antes de que el ascensor se ponga en funcionamiento; es usual que esta norma se cumpla en forma transparente para el usuario. En este caso, el usuario sólo tendría que ocuparse de cerrar las puertas para garantizar su seguridad, y el motor no arrancaría en caso contrario.

Lo invitamos a analizar un esquema elemental de conexiones de un motor a un sistema de control, con tres interruptores en serie. Supongamos que el primer interruptor es el pulsador que el usuario acciona desde la cabina para iniciar la marcha del motor. El motor inicia la marcha sólo si los otros dos interruptores también están cerrados. Los tres interruptores representan la cadena de razonamiento “El motor arranca si  $I_1$  y  $I_2$  y  $I_3$  están cerrados”. El circuito analizado cumple

el rol de una compuerta doble AND.

Nos damos cuenta que los interruptores  $I_2$  e  $I_3$  necesitan estar necesariamente vinculados a las puertas. Una manera sencilla de lograr esto consiste en que, con el cierre de cada puerta, se cierre cada interruptor. Esto se puede lograr localizando interruptores en los marcos de las puertas.

En el caso más general, es conveniente que un ascensor arranque cuando todas las puertas del sistema estén cerradas. Por ejemplo, el pasajero podría cerrar la puerta del piso donde se encuentre y la de la cabina; pero, la puerta de la planta baja podría estar abierta. En este caso, se recurre a un cuarto interruptor (en la puerta de planta baja), conectado en serie con los demás.

En este sentido es que dijimos que el funcionamiento del sistema de seguridad (al menos, en este caso) resulta transparente para el usuario: en el acto de cerrar las puertas el usuario se autoprotege.

