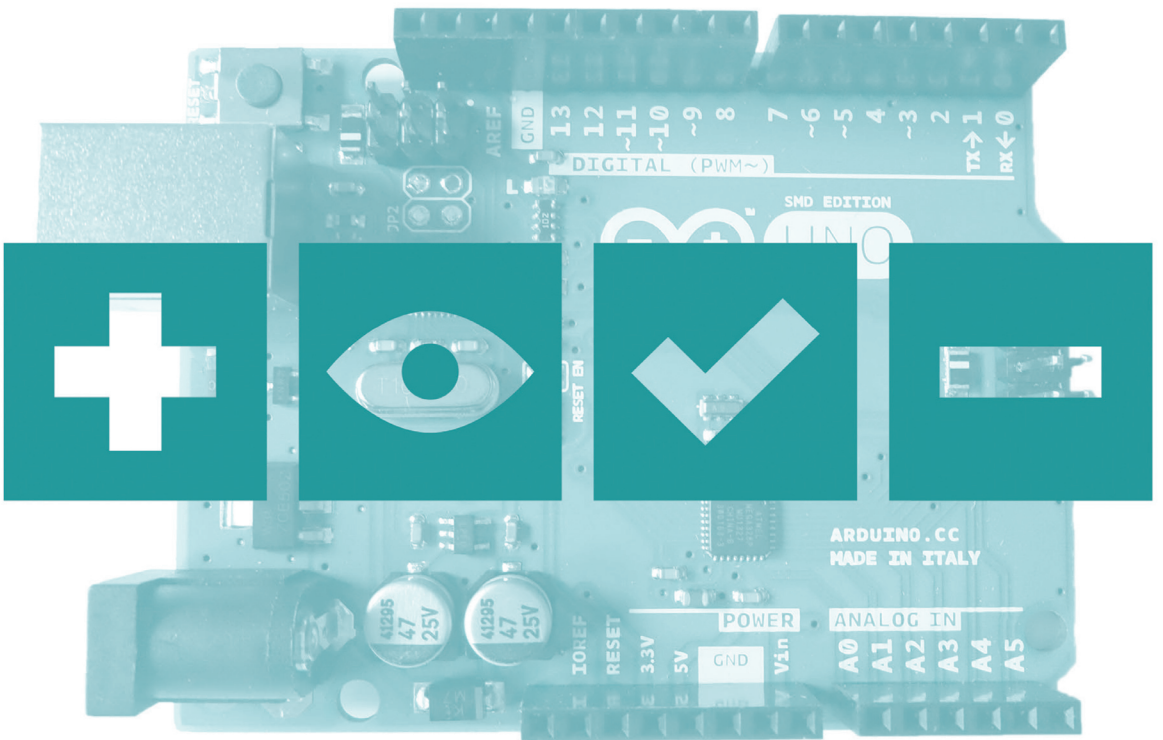


El mundo

GENUINO-ARDUINO

Curso práctico de formación



Óscar Torrente Artero

El mundo

GENUINO-ARDUINO

Curso práctico de formación

El mundo

GENUINO-ARDUINO

Curso práctico de formación

Óscar Torrente Artero



Diseño de colección, cubierta
y pre-impresión: Grupo RC

Datos catalográficos

Torrente, Óscar
El mundo GENUINO-ARDUINO. Curso práctico de
formación
Primera Edición
Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México

ISBN: 978-607-622-641-4

Formato: 17 x 23 cm

Páginas: 568

El mundo GENUINO-ARDUINO. Curso práctico de formación

Óscar Torrente Artero

ISBN: 978-84-943450-2-9 edición original publicada por RC Libros, Madrid, España.

Derechos reservados © 2016 RC Libros

Primera edición: Alfaomega Grupo Editor, México, Febrero 2016

© 2018 Alfaomega Colombiana S.A.

Calle 62 #20-46, Bogotá, Colombia.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana

Registro No. 2317

Pág. Web: <http://www.alfaomega.com.co>

E-mail: cliente@alfaomegacolombiana.com

ISBN: 978-958-778-119-9

Derechos reservados:

Esta obra es propiedad intelectual de su autor y los derechos de publicación en lengua española han sido legalmente transferidos al editor. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del copyright.

Nota importante:

La información contenida en esta obra tiene un fin exclusivamente didáctico y, por lo tanto, no está previsto su aprovechamiento a nivel profesional o industrial. Las indicaciones técnicas y programas incluidos, han sido elaborados con gran cuidado por el autor y reproducidos bajo estrictas normas de control. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V. no será jurídicamente responsable por: errores u omisiones; daños y perjuicios que se pudieran atribuir al uso de la información comprendida en este libro, ni por la utilización indebida que pudiera dársele.

Edición autorizada para venta en México y todo el continente americano.

Impreso en Colombia, de 2018. Printed in Colombia.

Empresas del grupo:

México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. – Pitágoras 1139, Col. Del Valle, México, D.F. – C.P. 03100.

Tel.: (52-55) 5575-5022 – Fax: (52-55) 5575-2420 / 2490. Sin costo: 01-800-020-4396

E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

Colombia: Alfaomega Colombiana S.A. – Calle 62 No. 20-46, Barrio San Luis, Bogotá, Colombia, Tels.:

(57-1) 746 0102 / 210 0122 – E-mail: cliente@alfaomegacolombiana.com

Chile: Alfaomega Grupo Editor, S.A. – Av. Providencia 1443. Oficina 24, Santiago, Chile

Tel.: (56-2) 2235-4248 – Fax: (56-2) 2235-5786 – E-mail: agechile@alfaomega.cl

Argentina: Alfaomega Grupo Editor Argentino, S.A. – Paraguay 1307 P.B. Of. 11, C.P. 1057, Buenos Aires,

Argentina, – Tel/Fax: (54-11) 4811-0887 y 4811 7183 – E-mail: ventas@alfaomegaeditor.com.ar

A mi madre

Los esquemas eléctricos han sido realizados con CircuitLab: <http://www.circuitlab.com>

Los gráficos de circuitos han sido realizados con Fritzing: <http://www.fritzing.org>

Los retoques han sido realizados con Inkscape y Gimp: <http://inkscape.org>, <http://gimp.org>

Las imágenes han sido obtenidas por medios propios o bien descargadas de la Wikipedia ó Ladyada.net (con licencia CC-Share-Alike): <http://es.wikipedia.org>, <http://www.ladyada.net>

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	XV
CAPÍTULO 1. ELECTRÓNICA BÁSICA.....	1
CONCEPTOS TEÓRICOS SOBRE ELECTRICIDAD.....	1
¿Qué es la electricidad?	1
¿Qué es el voltaje?	2
¿Qué es la intensidad de corriente?	3
¿Qué es la corriente continua (DC) y la corriente alterna (AC)?	4
¿Qué es la resistencia eléctrica?	5
¿Qué es la Ley de Ohm?.....	5
¿Qué es la potencia?	6
¿Qué son las señales digitales y las señales analógicas?	7
¿Qué son las señales periódicas y las señales aperiódicas?.....	9
CIRCUITOS ELÉCTRICOS BÁSICOS.....	11
Representación gráfica de circuitos	11
Circuitos abiertos, cerrados y cortocircuitos.....	12
Conexiones en serie y en paralelo	13
El divisor de tensión	16
Las resistencias "pull-up" y "pull-down"	17
FUENTES DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA.....	19
Tipos de pilas/baterías	19
Voltaje de corte, capacidad y capacidad de las pilas/baterías.....	22
Conexiones de varias pilas/baterías.....	24
Compra de pilas/baterías.....	25
Compra de portapilas (con distintos conectores)	26
Compra de cargadores	28
Breve nota sobre los conectores y el protocolo USB.....	30
Características de los adaptadores AC/DC	31
Breve nota sobre las fuentes de alimentación solares.....	35
COMPONENTES ELÉCTRICOS.....	36
Resistencias.....	36
Potenciómetros.....	39

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

Breve nota sobre los "softpots" o potenciómetros de "membrana"	41
Otras resistencias de valor variable	42
Diodos (y LEDs)	42
Breve nota sobre los "datasheets"	43
Un tipo de diodo muy particular: el LED	45
Breve nota sobre los LEDs RGB	47
Condensadores	48
Usos comunes de los condensadores: desacople y filtro	51
Transistores	52
Pulsadores	56
Otros tipos de interruptores (o conmutadores)	57
Reguladores de tensión	59
Breve nota sobre los elevadores DC/DC	62
Placas de prototipado	64
Cables	68
USO DE UNA PLACA DE PROTOTIPADO	70
Breve nota sobre cómo alimentar circuitos en placas de prototipado	70
USO DE UN MULTÍMETRO DIGITAL	77
CAPÍTULO 2. HARDWARE GENUINO	83
¿QUÉ ES UN SISTEMA ELECTRÓNICO?	83
¿QUÉ ES UN MICROCONTROLADOR?	84
¿QUÉ ES GENUINO/ARDUINO?	86
¿CUÁL ES EL ORIGEN DE ARDUINO?	88
¿QUÉ QUIERE DECIR QUE ARDUINO SEA "SOFTWARE LIBRE"?	89
¿QUÉ QUIERE DECIR QUE ARDUINO SEA "HARDWARE LIBRE"?	90
¿POR QUÉ ELEGIR ARDUINO?	92
EL MICRO DE LAS PLACAS ARDUINO (y del modelo UNO en particular)	93
El encapsulado del microcontrolador	93
DIP	94
SMD	95
El modelo del microcontrolador	97
Arquitectura AVR	98
Arquitectura ARM	98
Breve nota sobre AVR vs. ARM (y x86)	99
El chip ATmega328P	100
Las memorias del microcontrolador	101
Breve nota sobre las unidades de medida de la información	102
Breve nota sobre las diferencias entre memorias Flash y EEPROM	105
Los registros del microcontrolador	106
La comunicación serie con el exterior	106

Comunicación asíncrona	108
Comunicación síncrona	108
El gestor de arranque ("bootloader") del microcontrolador.....	113
Los gestores de arranque de las placas Due y Zero (ARM).....	115
Otros gestores de arranque más exóticos	116
CARACTERÍSTICAS DE LA PLACA ARDUINO UNO	117
La alimentación eléctrica	117
El chip ATmega16U2.....	121
Breve nota sobre la tecnología TTL y sus niveles HIGH/LOW aceptados	121
Reprogramación del chip ATmega16U2.....	123
Breve nota sobre los "pogo pins"	124
Breve nota sobre los VID y PID	126
Las entradas y salidas digitales	126
Las entradas analógicas	127
Las salidas analógicas (PWM)	129
Otros usos de los pines-hembra de la placa	133
El conector ICSP	136
SPI.....	136
ISP.....	137
Breve nota sobre cómo realizar una programación ISP con el entorno Arduino	140
El reloj	141
Los temporizadores ("timers") del microcontrolador	143
El botón de "reset"	144
Obtener el diseño esquemático y de referencia	145
¿QUÉ OTRAS PLACAS ARDUINO OFICIALES EXISTEN?	146
Arduino Pro	146
Los pines-hembra (y otros).....	147
Los adaptadores USB-Serie	148
Arduino Pro Mini.....	149
Arduino Nano	150
Arduino Mega 2560	151
Arduino Micro	151
El "auto-reset" del micro ATmega32U4.....	153
Arduino Yún.....	153
Breve nota sobre cómo conseguir cargar programas en la placa Yún vía WiFi	157
Arduino Lilypad, Lilypad Simple, Lilypad SimpleSnap y LilypadUSB.....	161
Arduino Gemma.....	163
Arduino Due	163
Arduino Zero	165
Arduino 101	167
Tablas comparativas de los diferentes modelos de placas.....	168
Breve nota sobre las regulaciones del espectro electromagnético.....	170
¿QUÉ "SHIELDS" ARDUINO OFICIALES EXISTEN?	170

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

Arduino Ethernet Shield	171
Breve nota sobre Ethernet.....	172
PoE ("Power Over Ethernet").....	174
Arduino WiFi Shield 101	177
Arduino GSM Shield.....	178
Arduino Motor Shield	179
Arduino Proto Shield.....	181
¿QUÉ SHIELDS NO OFICIALES EXISTEN?	182
Proto Shields.....	182
Power Shields	183
¿QUÉ PLACAS ARDUINO NO OFICIALES EXISTEN?	184
CAPÍTULO 3. SOFTWARE ARDUINO.....	191
¿QUÉ ES UN IDE?.....	191
INSTALACIÓN DEL IDE ARDUINO	192
Cualquier sistema Linux.....	192
Posible problema: la configuración del gestor de ficheros Nautilus.....	193
Posible problema: los permisos de usuario	193
Breve nota sobre el reconocimiento y uso de dispositivos USB-ACM en Linux	194
Cualquier sistema Linux (a partir del código fuente).....	195
Windows.....	195
Posible problema: instalación del "driver"	196
Breve nota sobre el reconocimiento y uso de dispositivos COM en Windows.....	196
OS X	196
PRIMER CONTACTO CON EL IDE	197
HERRAMIENTAS EXTRA INTEGRADAS EN EL IDE.....	203
Las librerías y el "Library Manager"	203
Concepto de librería	203
Cómo instalar librerías (de terceros) manualmente	204
Cómo instalar librerías (de terceros) usando el "Library Manager".....	205
Cómo importar librerías.....	206
El "Boards Manager"	207
El "Serial Monitor" y otros terminales serie	210
Ejecución del "auto-reset" al abrir el "Serial Monitor"	211
COMPROBACIÓN DEL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL IDE.....	213
USO DEL IDE EN EL INTÉRPRETE DE COMANDOS	215
USO DEL IDE "ARDUINO CREATE"	217
OTROS IDEs ALTERNATIVOS	218
Entornos "online"	220
Entornos de programación gráfica.....	221
MÁS ALLÁ DEL LENGUAJE ARDUINO: EL LENGUAJE C/C++.....	223

Herramientas de compilación C/C++ y carga incluidas en el IDE	225
Herramientas invocadas mediante el botón "Verify"	225
Herramientas invocadas mediante el botón "Upload"	227
CAPÍTULO 4. LENGUAJE ARDUINO	229
MI PRIMER SKETCH ARDUINO	229
ESTRUCTURA GENERAL DE UN SKETCH	230
Sobre las mayúsculas, tabulaciones y los punto y coma	231
COMENTARIOS	232
VARIABLES	233
Declaración e inicialización de una variable	233
Asignación de valores a una variable	234
Ámbito de una variable	235
Tipos posibles de una variable	236
Tipos simples	236
Breve nota sobre ASCII, ISO-8859-1 y UTF-8	238
Breve nota sobre el uso de los sistemas binario y hexadecimal	240
Breve nota sobre la importancia de los rangos de valores válidos	241
Tipos complejos	244
Breve nota sobre los arrays de caracteres y el tipo de datos <i>String</i>	246
Breve nota sobre los punteros	247
La instrucción <i>sizeof()</i>	250
Cambio de tipo de datos (numéricos)	251
CONSTANTES	254
PARÁMETROS DE UNA INSTRUCCIÓN	255
VALOR DE RETORNO DE UNA INSTRUCCIÓN	256
LA COMUNICACIÓN SERIE CON LA PLACA ARDUINO	257
Instrucciones para enviar datos desde la placa al exterior	258
Uso del "Serial Plotter"	262
Instrucciones para recibir datos desde el exterior	263
Los objetos serie de otras placas Arduino diferentes de la UNO	271
INSTRUCCIONES DE GESTIÓN DEL TIEMPO	273
INSTRUCCIONES MATEMÁTICAS, TRIGONOMÉTRICAS Y DE PSEUDOALEATORIEDAD	275
INSTRUCCIONES DE GESTIÓN DE CADENAS	282
CREACIÓN DE INSTRUCCIONES (FUNCIONES) PROPIAS	287
Funciones con parámetros opcionales ("sobrecarga")	291
Funciones con estructuras como parámetros o valor de retorno	292
Funciones con más de un valor de retorno ("paso por referencia")	294
Las variables <i>static</i>	296

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

BLOQUES CONDICIONALES.....	297
Los bloques <i>if</i> e <i>if/else</i>	297
El bloque <i>switch</i>	303
BLOQUES REPETITIVOS (BUCLES)	305
El bloque <i>while</i>	305
El bloque <i>do</i>	308
El bloque <i>for</i>	308
Las instrucciones <i>break</i> y <i>continue</i>	312
CAPÍTULO 5. LIBRERÍAS ARDUINO	315
LAS LIBRERÍAS OFICIALES	315
Librería LiquidCrystal	316
Librería SD.....	316
Librería Ethernet.....	316
Librería WiFi101.....	317
Librería Temboo.....	317
Librería GSM	317
Librería SPI.....	317
Librería Wire	318
Librería SoftwareSerial	318
Librería Firmata	319
Librerías Servo y Stepper	320
Librerías Keyboard y Mouse (solo para placas basadas en el chip ATmega32U4 y para los modelos Due y Zero)	320
Librería EEPROM (para todas las placas excepto los modelos Due y Zero)	321
Librerías USBHost y Scheduler (solo para los modelos Due y Zero)	321
Librería Audio (solo para el modelo Due).....	322
Librerías AudioZero y RTCZero (solo para el modelo Zero).....	322
Librerías Bridge y SpacebrewYún (solo para el modelo Yún).....	323
USO DE PANTALLAS LCD	324
Las pantallas de cristal líquido (LCDs).....	324
La librería LiquidCrystal	327
Librerías de terceros interesantes para usar con LCDs	334
Módulos LCD de tipo I ² C o TTL-Serie	335
Backpacks I ² C	336
Backpacks serie.....	337
Shields que incorporan LCDs	339
Shields y módulos que incorporan GLCDs	341
Breve nota sobre los convertidores de nivel bidireccionales.....	343
Breve nota sobre la visualización de imágenes "al vuelo"	345
USO DE PANTALLAS TFT	347
Shields y módulos que incorporan pantallas TFT	347
Breve nota sobre la librería "Adafruit GFX"	348

Shields y módulos que incorporan pantallas TFT táctiles	351
Pantallas TFT táctiles resistivas vs. pantallas TFT táctiles capacitivas	351
De tecnología resistiva	352
De tecnología capacitiva	357
USO DE PANTALLAS OLED	359
Las pantallas OLED	359
Módulos OLED de 4DSYSTEMS	359
Módulos OLED de Adafruit	360
USO DE OTRAS PANTALLAS	362
7-segmentos.....	363
Necesidad de aumentar el número de pines de salida	364
Shields y módulos que incorporan displays 7-segmentos.....	365
Matrices de LEDs.....	369
USO DE LA MEMORIA EEPROM.....	371
USO DE TARJETAS SD	375
Características de las tarjetas SD	375
Shields y módulos que incorporan zócalos microSD	377
La librería SD	379
USO DE PUERTOS SERIE SOFTWARE	388
USO DE MOTORES	392
Conceptos básicos sobre motores	392
Tipos de motores	394
Los motores DC	394
Los servomotores.....	396
Los motores paso a paso.....	399
La librería Servo	402
La librería Stepper.....	407
CAPÍTULO 6. ENTRADAS Y SALIDAS.....	411
USO DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES	411
Ejemplos con salidas digitales.....	414
Evitando el uso de la función <i>delay()</i> –y de <i>delayMicroseconds()</i> –.....	418
Múltiples salidas en paralelo.....	424
Ejemplos con entradas digitales (pulsadores).....	437
Implementación de pulsadores momentáneos.....	440
Implementación de pulsadores mantenidos.....	444
Evitando el rebote ("bounce") en los pulsadores.....	450
Juegos.....	452
Keypads digitales.....	458
USO DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS	461
Ejemplos con salidas analógicas	464
Control interactivo (mediante pulsadores)	466

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

Control interactivo (a través del canal serie)	467
Uso de LEDs RGB	469
Ejemplos con entradas analógicas (potenciómetros)	471
Medias y calibraciones	474
Entradas y salidas	475
Ejemplo de uso de joysticks como entradas analógicas	478
Ejemplo de uso de pulsadores como entradas analógicas	480
Cambiar el voltaje de referencia de las lecturas analógicas	484
CONTROL DE MOTORES DC	487
El chip L293	492
Módulos de control para motores DC	494
La placa TB6612FNG	495
Otros módulos	497
Shields de control para motores DC (y paso a paso)	497
El "Adafruit Motor Shield"	497
Otros shields	499
EMISIÓN DE SONIDO	502
Uso de zumbadores	502
Las funciones <i>tone()</i> y <i>noTone()</i>	505
Uso de altavoces	510
Amplificación simple del sonido	512
Sonidos pregrabados	515
La librería "SimpleSDAudio"	515
Breve nota sobre las características de un fichero de audio	515
El "Wave Shield" de Adafruit	517
Shields que reproducen MP3	518
Módulos de audio	519
Reproductores de voz	523
APÉNDICES	
A. DISTRIBUIDORES DE ARDUINO Y MATERIAL ELÉCTRICO	529
Kits	532
B. CÓDIGOS IMPRIMIBLES DE LA TABLA ASCII	535
C. RECURSOS PARA SEGUIR APRENDIENDO	537
Plataforma Arduino	537
Electrónica general	538
Proyectos	539
ÍNDICE ANALÍTICO	541

INTRODUCCIÓN

A quién va dirigido este libro

Construir coches y helicópteros teledirigidos, fabricar diferentes tipos de robots inteligentes, crear sintetizadores de sonidos, montar una completa estación meteorológica (con sensores de temperatura, humedad, presión...), ensamblar una impresora 3D, monitorizar la eficacia de nuestro refrigerador de cervezas desde el jardín, controlar a través de Internet la puesta en marcha de la calefacción y de las luces de nuestra casa cuando estemos lejos de ella, enviar periódicamente los datos de consumo doméstico de agua a nuestra cuenta de Twitter, diseñar ropa que se ilumine ante la presencia de gas, establecer un sistema de secuencia de golpes a modo de contraseña para abrir puertas automáticamente, apagar todos los televisores cercanos de una sola vez, implementar un sistema de riego automático y autorregulado según el estado de humedad detectada en la tierra, elaborar un theremin de rayos de luz, fabricar un reloj-despertador musical, utilizar una cámara de vídeo como radar para recibir alarmas de intrusos en nuestro teléfono móvil, jugar al tres en raya mediante órdenes habladas, etc. Todo lo anterior y muchísimo más se puede conseguir con Genuino/Arduino.

Este libro está dirigido, pues, a todo aquel que quiera investigar cómo conectar el mundo físico exterior con el mundo de la electrónica y la informática, para lograr así una interacción autónoma y casi "inteligente" entre ambos mundos. Ingenieros, artistas, profesores o simples aficionados podrán conocer las posibilidades que les ofrece el ecosistema Genuino/Arduino para llevar a cabo casi cualquier proyecto que la imaginación proponga.

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

Este curso está pensado para usuarios con nulos conocimientos de programación y de electrónica. Se presupone que el lector tiene un nivel básico de informática doméstica (por ejemplo, sabe cómo descomprimir un archivo "zip" o cómo crear un acceso directo) pero no más. Por lo tanto, este texto es ideal para todo aquel que no haya programado nunca ni haya realizado ningún circuito eléctrico. En cierto sentido, gracias a la "excusa" de Genuino/Arduino, lo que tiene el lector en sus manos es un manual de iniciación tanto a la electrónica como a la programación básica.

El texto se ha escrito facilitando al lector autodidacta una asimilación gradual de los conceptos y procedimientos necesarios para ir avanzando poco a poco y con seguridad a lo largo de los diferentes capítulos, desde el primero hasta el último. Esta estructura hace que el texto también pueda ser utilizado perfectamente como libro de referencia para profesores que impartan cursos de Genuino/Arduino dentro de diversos ámbitos (educación secundaria, formación profesional, talleres no reglados, etc.). Aderezado con multitud de ejemplos de circuitos y códigos, su lectura permite la comprensión del universo Genuino/Arduino de una forma práctica y progresiva.

No obstante, aunque muy completo, este curso no es una referencia o compendio exhaustivo de todas las funcionalidades que ofrece el sistema Genuino/Arduino. Sería imposible abarcarlas todas en un solo volumen. El lector experimentado notará que en las páginas siguientes faltan por mencionar y explicar aspectos avanzados tan interesantes (algunos de los cuales pueden dar lugar a un libro entero por sí mismos) como el papel de Genuino/Arduino en la construcción de robots o de impresoras 3D, o las posibilidades de comunicación entre Genuino/Arduino y dispositivos con sistema Android o páginas web, por ejemplo.

Cómo leer este libro

Este curso se ha escrito teniendo en cuenta varios aspectos. Se ha procurado en la medida de lo posible escribir un manual que sea **autocontenido** y **progresivo**. Es decir, que no sea necesario recurrir a fuentes de información externas para comprender todo lo que se explica, sino que el propio texto sea autoexplicativo en sí mismo. Y además, que toda la información expuesta sea mostrada de forma ordenada y graduada, sin introducir conceptos o procedimientos no explicados con anterioridad. Por tanto, se recomienda una lectura secuencial, desde el primer capítulo hasta el último, sin saltos.

INTRODUCCIÓN

La metodología utilizada en este texto se basa fundamentalmente en la exposición y explicación pormenorizada de multitud de ejemplos de código **cortos y concisos**: se ha intentado evitar códigos largos y complejos, que aunque interesantes y vistosos, pueden distraer y desorientar al lector al ser demasiado inabarcables. La idea no es presentar proyectos complejos ya acabados, sino exponer de la forma más simple posible los conceptos básicos. En este sentido, se aportan multitud de enlaces para ampliar los conocimientos que no tienen espacio en el libro: muchos son los temas que se proponen (electricidad, electrónica, algoritmia, mecánica, acústica, electromagnetismo, etc.) para que el lector que tenga iniciativa pueda investigar por su cuenta.

La estructura de los capítulos es la siguiente: el primer capítulo introduce los conceptos básicos de electricidad en circuitos electrónicos, y describe –mediante ejemplos concretos– el comportamiento y la utilidad de los componentes presentes en la mayoría de estos circuitos (como pueden ser las resistencias, condensadores, transistores, placas de prototipado, etc.). El segundo capítulo expone las diferentes placas que forman el ecosistema Genuino/Arduino, los componentes que las forman y los conceptos más importantes ligados a esta plataforma. El tercer capítulo muestra el entorno de programación oficial de Genuino/Arduino y describe su instalación y configuración. El cuarto capítulo repasa la funcionalidad básica del lenguaje de programación Genuino/Arduino, proponiendo múltiples ejemplos donde se pueden observar las distintas estructuras de flujo, funciones, tipos de datos, etc., empleados por este lenguaje. El quinto capítulo muestra la diversidad de librerías oficiales que incorpora el lenguaje Genuino/Arduino, y aprovecha para profundizar en el manejo del hardware que hace uso de ellas (tarjetas SD, pantallas LCD, motores, etc.). El sexto y último capítulo se centra, finalmente, en el manejo de las entradas y salidas de una placa Genuino/Arduino, tanto analógicas como digitales, y su manipulación a través de pulsadores o potenciómetros, entre otros. Al final de este libro, por tanto, el lector tendrá todos los conocimientos necesarios para afrontar con garantías cualquier proyecto donde esté presente una placa Genuino/Arduino.

Nota aclaratoria sobre la distinción entre Genuino y Arduino

El lector ya se habrá percatado de que en los párrafos anteriores se insiste en llamar "Genuino/Arduino" al universo hasta ahora conocido simplemente como "Arduino". ¿Por qué? Por un problema legal de registro de marca. No deseamos aburrir al lector con temas tan poco atractivos como este, pero es necesario situar las cosas en el contexto adecuado para que uno pueda ubicarse convenientemente; por eso, a continuación, explicaremos brevemente la razón de la existencia del nombre "Genuino" y de su relación con el –más conocido– "Arduino".

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

Explicada muy brevemente, la historia es así: cuando apareció el proyecto Arduino, sus fundadores (el llamado "Arduino Team", formado inicialmente por cinco personas de las cuales hablaremos más extensamente en el capítulo 2) inicialmente se dedicaron a aspectos diferentes dentro de ese proyecto: uno se especializó más en el desarrollo del software Arduino, otro en la escritura de documentación, otro en el mantenimiento y soporte a la comunidad, otro en propuestas de nuevos diseños de placas... y uno se dedicó a fabricarlas físicamente en una planta de su propiedad bajo el amparo de la empresa italiana Smart Projects SRL. Así fue durante bastantes años, pero llegó el momento en el que el Arduino Team (excepto el fundador-fabricante) quiso externalizar la producción de las placas llegando a acuerdos con otras plantas de fabricación de terceros, las cuales estarían entonces autorizadas a poner el mismo nombre oficial "Arduino" que hasta ahora solamente podían llevar las placas fabricadas en la planta original de Smart Projects SRL. Esto dio lugar a diferentes desencuentros entre el fundador-fabricante y el resto del Arduino Team, los cuales desembocaron en una escisión en 2015.

El problema de dicha escisión es que, actualmente, ambas partes se autoproclaman el "verdadero Arduino", lo cual añade gran confusión al mercado porque actualmente hay dos páginas web y dos líneas de productos divergentes que se autodenominan "Arduino". No obstante, y ciñéndonos a la legalidad, por una cuestión de registro de nombres mercantil, el nombre "Arduino" a nivel internacional (¡excepto en los Estados Unidos!) está en posesión de Smart Projects SRL (actualmente rebautizada como Arduino SRL). Por tanto, ante este hecho el Arduino Team debía elegir un nuevo nombre para poder distribuir (ahora ya como una empresa legalmente llamada "Arduino LLC") sus placas por todo el mundo (excepto en Estados Unidos, donde sí puede seguir usando el nombre "Arduino"). Y ese nombre es "Genuino". Así pues, "Arduino" (entendiendo como el proyecto original del Arduino Team) y "Genuino" es lo mismo, solo que un nombre es utilizado en Estados Unidos y el otro en el resto del mundo; en el primer caso, las placas están fabricadas por la empresa Adafruit Industries y en el segundo caso dependerá de la zona del mundo donde estemos (en Asia el fabricante mayoritario es una empresa china llamada Seeed Studio, en Europa otra alemana llamada Watterott, etc.) pero esto no será relevante para nosotros.

Ya que esta lamentable situación obliga al usuario a elegir, en este libro se ha apostado por el "bando" que mantiene la misma filosofía libre del proyecto original y que está siendo apoyado por la inmensa mayoría de usuarios que ha hecho grande el universo Arduino: el proyecto Genuino. Así pues, este libro se centrará en las posibilidades que ofrecen las placas disponibles en <http://www.arduino.cc> (hogar original del Arduino Team y la comunidad Arduino, desde donde se pueden adquirir o

INTRODUCCIÓN

bien placas Arduino –si estamos en USA–, o bien las mismas placas pero rebautizadas como Genuino –si estamos fuera de USA–), y se ignorará todo aquello proveniente de <http://www.arduino.org> (hogar de los productos fabricados por Arduino SRL).

A lo largo de este libro se utilizará genéricamente la nomenclatura "Arduino" para referirnos a las placas "Genuino", aunque los productos que pueda adquirir el lector sean seguramente de este último tipo. La razón de ello es, por un lado, reivindicar con el nombre de "Arduino" la historia y los valores del proyecto original y, por otro, enfatizar un aspecto no menos importante: la mayoría de documentación actualmente existente en Internet (en forma de artículos, blogs, etc.) es anterior a la escisión y, por tanto, aún sigue utilizando el nombre "Arduino" para referirse a lo que hoy en día es Genuino.

1 ELECTRÓNICA BÁSICA

CONCEPTOS TEÓRICOS SOBRE ELECTRICIDAD

¿Qué es la electricidad?

Un electrón es una partícula subatómica que posee carga eléctrica negativa. Por lo tanto, debido a la ley física de atracción entre sí de cargas eléctricas de signo opuesto (y de repulsión entre sí de cargas eléctricas de mismo signo), cualquier electrón siempre es atraído por una carga positiva equivalente.

Una consecuencia de este hecho es que si, por razones que no estudiaremos, en un extremo (también llamado "polo") de un material conductor aparece un exceso de electrones y en el otro polo aparece una carencia de estos (equivalente a la existencia de "cargas positivas"), los electrones tenderán a desplazarse a través de ese conductor desde el polo negativo al positivo. A esta circulación de electrones por un material conductor se le llama "electricidad".

La electricidad existirá mientras no se alcance una compensación de cargas entre los dos polos del conductor. Es decir, a medida que los electrones se desplacen de un extremo a otro, el polo negativo será cada vez menos negativo y el polo positivo será cada vez menos positivo, hasta llegar el momento en el que ambos

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

extremos tengan una carga global neutra (es decir, estén en equilibrio). Llegados a esta situación, el movimiento de los electrones cesará. Para evitar esto, en la práctica se utiliza una fuente de alimentación externa (lo que se llama un "generador") para restablecer constantemente la diferencia inicial de cargas entre los extremos del conductor, como si fuera una "bomba". De esta manera, mientras el generador funcione, el desplazamiento de los electrones podrá continuar sin interrupción.

¿Qué es el voltaje?

En el estudio del fenómeno de la electricidad existe un concepto fundamental que es el de voltaje entre dos puntos de un circuito eléctrico (también llamado "tensión", "diferencia de potencial" o "caída de potencial"). Expliquémoslo con un ejemplo.

Si entre dos puntos de un conductor no existe diferencia de cargas eléctricas, el voltaje entre ambos puntos es cero. Si entre esos dos puntos aparece un desequilibrio de cargas (es decir, si en un punto hay un exceso de cargas negativas y en el otro una ausencia de ellas), aparecerá un voltaje entre ambos puntos, el cual será mayor a medida que la diferencia de cargas sea también mayor. Este voltaje es el responsable de la generación del flujo de electrones entre los dos puntos del conductor. No obstante, si los dos puntos tienen un desequilibrio de cargas entre sí pero están unidos mediante un material no conductor (lo que se llama un material "aislante"), existirá un voltaje entre ellos pero no habrá paso de electrones (es decir, no habrá electricidad).

Generalmente, se suele decir que el punto del circuito con mayor exceso de cargas positivas (o dicho de otra forma: con mayor carencia de cargas negativas) es el que tiene el "potencial" más elevado, y el punto con mayor exceso de cargas negativas es el que tiene el "potencial" más reducido. Pero no olvidemos nunca que el voltaje siempre se mide entre dos puntos: no tiene sentido decir "el voltaje en este punto", sino "el voltaje en este punto respecto a este otro"; de ahí sus otros nombres de "diferencia de potencial" o "caída de potencial".

Así pues, como lo que utilizaremos siempre serán las diferencias de potencial relativas entre dos puntos, el valor numérico absoluto de cada uno de ellos lo podremos asignar según nos convenga. Es decir, aunque 5, 15 y 25 son valores absolutos diferentes, la diferencia de potencial entre un punto que vale 25 y otro que vale 15, y la diferencia entre uno que vale 15 y otro que vale 5 da el mismo resultado. Por este motivo, y por comodidad y facilidad en el cálculo, al punto del circuito con potencial más reducido (el de mayor carga negativa, recordemos) se le suele dar un valor de referencia igual a 0.

También por convenio (aunque físicamente sea en realidad justo al contrario) se suele decir que la corriente eléctrica va desde el punto con potencial mayor hacia otro punto con potencial menor (es decir, que la carga acumulada en el extremo positivo es la que se desplaza hacia el extremo negativo).

Para entender mejor el concepto de voltaje podemos utilizar la analogía de la altura de un edificio: si suponemos que el punto con el potencial más pequeño es el suelo y asumimos este como el punto de referencia con valor 0, a medida que un ascensor vaya subiendo por el edificio irá adquiriendo más y más potencial respecto al suelo: cuanta más altura tenga el ascensor, más diferencia de potencial habrá entre este y el suelo. Cuando estemos hablando de una "caída de potencial", queremos decir entonces (en nuestro ejemplo) que el ascensor ha disminuido su altura respecto al suelo y por tanto tiene un voltaje menor.

La unidad de medida del voltaje es el voltio (V), pero también podemos hablar de milivoltios ($1 \text{ mV} = 0,001 \text{ V}$), o de kilovoltios ($1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}$). Los valores típicos en proyectos de electrónica casera como los que abordaremos en este libro son de 3,3V o de 5V, aunque cuando intervienen elementos mecánicos (como motores) u otros elementos complejos, se necesitará aportar algo más de energía al circuito, por lo que los valores suelen ser algo mayores: 9V, 12V o incluso 24V. En todo caso, es importante tener en cuenta que valores más allá de 40V pueden poner en riesgo nuestra vida si no tomamos las precauciones adecuadas; en los proyectos de este libro, de todas formas, no se utilizarán nunca voltajes de esta magnitud.

¿Qué es la intensidad de corriente?

La intensidad de corriente (comúnmente llamada "corriente" a secas) es una magnitud eléctrica que se define como la cantidad de carga eléctrica que pasa en un determinado tiempo a través de un punto concreto de un material conductor. Podemos imaginar que la intensidad de corriente es similar en cierto sentido al caudal de agua que circula por una tubería: que pase más o menos cantidad de agua por la tubería en un determinado tiempo sería análogo a que pase más o menos cantidad de electrones por un cable eléctrico en ese mismo tiempo.

Su unidad de medida es el amperio (A), pero también podemos hablar de miliamperios ($1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$), de microamperios ($1 \text{ }\mu\text{A} = 0,001 \text{ mA}$), o incluso de nanoamperios ($1 \text{ nA} = 0,001 \text{ }\mu\text{A}$).

Tal como ya hemos comentado, se suele considerar que en un circuito la corriente fluye del polo positivo (punto de mayor tensión) al polo negativo (punto de menor tensión) a través de un material conductor.

¿Qué es la corriente continua (DC) y la corriente alterna (AC)?

Hay que distinguir dos tipos fundamentales de circuitos cuando hablamos de magnitudes como el voltaje o la intensidad: los circuitos de corriente continua (o circuitos DC, del inglés "Direct Current") y los circuitos de corriente alterna (o circuitos AC, del inglés "Alternating Current").

Llamamos corriente continua a aquella en la que los electrones circulan a través del conductor siempre en el mismo sentido. Aunque comúnmente se identifica la corriente continua con la corriente constante, estrictamente solo es continua toda corriente que, tal como acabamos de decir, mantenga siempre el mismo sentido, sin importar su magnitud. Este tipo de corriente se produce en aquellos circuitos cuyos polos positivo y negativo (o dicho de otra manera, cuyos extremos de mayor y menor potencial) están conectados a un generador que los mantiene siempre en la misma polaridad.

Llamamos corriente alterna a aquella en la que los electrones cambian el sentido de su circulación de forma periódica. Este tipo de corriente se produce en aquellos circuitos cuyos extremos cambian de polaridad alternativamente a lo largo del tiempo (es decir, cuyo polo positivo se transforma en polo negativo —y viceversa— a un ritmo constante una cantidad indefinida de veces) debido a que dichos extremos están conectados a un generador (también llamado, en este caso, "alternador") responsable de estos cambios. La permuta periódica de polaridad en los polos del circuito provoca que el voltaje existente entre ellos vaya variando también de forma cíclica, adquiriendo repetidamente valores tanto positivos como negativos.

La corriente alterna es el tipo de corriente que llega a los hogares y empresas proveniente de la red eléctrica general. Esto es así porque la corriente alterna es más fácil y eficiente de transportar a lo largo de grandes distancias que la corriente continua (ya que sufre menos pérdidas de energía). Además, mediante un dispositivo llamado transformador, es posible convertir de una forma mucho más eficaz el voltaje de una corriente alterna (aumentándolo o disminuyéndolo según convenga) que si usáramos una corriente continua.

No obstante, en todos los proyectos de este libro utilizaremos tan solo corriente continua, ya que los circuitos donde podemos utilizar Arduino (y de hecho, la mayoría de circuitos electrónicos domésticos) solo funcionan correctamente con este tipo de corriente.

¿Qué es la resistencia eléctrica?

Podemos definir la resistencia eléctrica interna de un objeto cualquiera (aunque normalmente nos referiremos a algún componente electrónico que forme parte de nuestros circuitos) como su capacidad para oponerse al paso de la corriente eléctrica a través de él. Es decir, cuanto mayor sea la resistencia de ese componente, más dificultad tendrán los electrones para atravesarlo, hasta incluso el extremo de imposibilitar la existencia de electricidad.

Esta característica depende entre otros factores del material con el que está construido ese objeto, por lo que podemos encontrarnos con materiales con poca o muy poca resistencia intrínseca (los llamados "conductores", como el cobre o la plata) y materiales con bastante o mucha resistencia (los llamados "aislantes", como la madera o determinados tipos de plástico, entre otros). No obstante, hay que insistir en que aunque un material sea conductor, siempre poseerá inevitablemente una resistencia propia que evita que se transfiera el 100% de la corriente a través de él, por lo que incluso un simple cable de cobre tiene cierta resistencia interna (normalmente despreciable, eso sí) que reduce el flujo de electrones original.

La unidad de medida de la resistencia de un objeto es el ohmio (Ω), y se define como la cantidad de resistencia ofrecida por un elemento electrónico cuando, al estar sometido a un voltaje de 1V, fluye a través de él una corriente de 1A. También podemos hablar de kilohmios ($1\text{ k}\Omega = 1000\ \Omega$), de megaohmios ($1\text{ M}\Omega = 1000\text{ k}\Omega$), etc.

¿Qué es la Ley de Ohm?

La Ley de Ohm dice que si un componente eléctrico con resistencia interna, R , es atravesado por una intensidad de corriente, I , entre ambos extremos de dicho componente existirá una diferencia de potencial, V , que puede ser conocida gracias a la relación $V=I\cdot R$.

De esta fórmula es fácil deducir relaciones de proporcionalidad interesantes entre estas tres magnitudes eléctricas. Por ejemplo: se puede ver que (suponiendo que la resistencia interna del componente no cambia) cuanto mayor es la intensidad de corriente que lo atraviesa, mayor es la diferencia de potencial entre sus extremos. También se puede ver que (suponiendo en este caso que en todo momento circula la misma intensidad de corriente por el componente), cuanto mayor es su resistencia interna, mayor es la diferencia de potencial entre sus dos extremos.

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

Además, despejando la magnitud adecuada de la fórmula anterior, podemos obtener, a partir de dos datos conocidos cualesquiera, el tercero. Por ejemplo, si conocemos V y R , podremos encontrar I mediante $I=V/R$, y si conocemos V e I , podremos encontrar R mediante $R=V/I$.

A partir de las fórmulas anteriores debería ser fácil ver también por ejemplo que cuanto mayor es el voltaje aplicado entre los extremos de un componente (el cual suponemos que posee una resistencia de valor fijo), mayor es la intensidad de corriente que pasa por él. O que cuanto mayor es la resistencia del componente (manteniendo constante la diferencia de potencial entre sus extremos), menor es la intensidad de corriente que pasa a través de él. De hecho, en este último caso, si el valor de la resistencia es suficientemente elevado, podemos conseguir incluso que el flujo de electrones se interrumpa.

¿Qué es la potencia?

Podemos definir la potencia de un componente eléctrico/electrónico como la energía eléctrica consumida por este en un segundo; dicho consumo provocará siempre la transformación de esta energía en diferentes efectos (como calor, y/o luz, y/o sonido, y/o movimiento, etc.) dependiendo del tipo de componente que esté consumiéndola. Si estamos hablando, en cambio, de una fuente de alimentación, con la palabra potencia nos referiremos entonces a la energía eléctrica aportada por esta al circuito en un segundo.

El párrafo anterior se podría haber escrito de esta otra manera: cuando una fuente de alimentación aporta una determinada potencia (es decir, una determinada cantidad de energía por segundo), esta puede ser consumida por los distintos componentes del circuito de diversas maneras: la mayoría de veces es gastada en forma de calor debido al efecto de las resistencias internas intrínsecas de cada componente (el llamado "efecto Joule"), pero también puede ser consumida en forma de luz (si ese componente es una bombilla, por ejemplo) o en forma de movimiento (si ese componente es un motor, por ejemplo), o en forma de sonido (si ese componente es un altavoz, por ejemplo), o en una mezcla de varias.

El valor máximo posible de potencia (ya sea consumida o generada) soportado por un determinado componente o generador, respectivamente, depende del propio elemento (es decir, es intrínseco a él). Igualmente, los materiales conductores (los "cables") solo pueden consumir hasta una cantidad máxima de potencia, más allá de la cual se corre el riesgo de sobrecalentarlos y dañarlos. Siempre es buena idea, por tanto, comprobar este dato antes de conectar ningún componente, generador o cable a nuestros circuitos.

La unidad de medida de la potencia es el vatio (W), pero también podemos hablar de milvatios (1 mW= 0,001 W –orden de magnitud habitual en los proyectos donde intervienen placas Arduino–), o kilovatios (1 kW= 1000 W –orden de magnitud habitual en el ámbito del consumo eléctrico doméstico–).

Podemos calcular la potencia consumida por un componente eléctrico si sabemos el voltaje al que está sometido y la intensidad de corriente que lo atraviesa, utilizando la fórmula $P=V \cdot I$; de aquí se puede ver fácilmente que a mayor tensión y/o mayor intensidad recibida, mayor potencia consumirá el componente en cuestión. Por ejemplo, una bombilla sometida a 220V por la que circula 1A consumirá 220W (en forma de luz y calor). Por otro lado, a partir de la Ley de Ohm podemos deducir otras dos fórmulas equivalentes que nos pueden ser útiles si sabemos el valor de la resistencia R interna del componente: $P=I^2 \cdot R_{int}$ o también $P=V^2/R_{int}$.

¿Qué son las señales digitales y las señales analógicas?

Podemos clasificar las señales eléctricas (ya sean voltajes o intensidades) de varias maneras según sus características físicas. Una de las clasificaciones posibles es distinguir entre señales digitales y señales analógicas.

Señal digital es aquella que solo tiene un número finito de valores posibles (lo que se suele llamar "tener valores discretos"). Por ejemplo, si consideramos como señal el color emitido por un semáforo, es fácil ver que esta es de tipo digital porque solo puede tener tres valores concretos, diferenciados y sin posibilidad de transición progresiva entre ellos: rojo, ámbar y verde.

Un caso particular de señal digital es la señal binaria, donde el número de valores posibles solo es 2. Conocer este tipo de señales es importante porque en la electrónica es muy habitual trabajar con voltajes (o intensidades) con tan solo dos valores. En estos casos, uno de los valores del voltaje binario suele ser 0 –o un valor aproximado– para indicar precisamente la ausencia de voltaje, y el otro valor puede ser cualquiera, pero lo suficientemente distinguible del 0 como para indicar sin ambigüedades la presencia de señal. De esta forma, un valor del voltaje binario siempre identifica el estado "no pasa corriente" (también llamado estado "apagado" –"off" en inglés–, BAJO –LOW en inglés–, o "0") y el otro valor siempre identifica el estado "pasa corriente" (también llamado "encendido" –"on"–, ALTO –HIGH–, o "1").

El valor de voltaje concreto que se corresponda con el estado ALTO será diferente según los dispositivos electrónicos utilizados en cada momento. Concretamente, en los proyectos de este libro solo emplearemos dispositivos

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

electrónicos que reconocen como estado ALTO bien el valor 3,3V, o bien el valor 5V. En el primer caso la potencia consumida es menor (y, por tanto, hay un ahorro energético bastante atractivo), así que a priori usar 3,3V como valor ALTO sería preferible a usar 5V; no obstante, en la práctica, no todos los dispositivos son capaces de funcionar reconociendo el estado ALTO a 3,3V. De hecho, es bastante habitual que en un mismo circuito no tengamos más remedio que conectar entre sí dispositivos que reconozcan el estado ALTO con niveles de voltaje diferente; en ese caso, es muy importante tener en cuenta que si sometemos un dispositivo a un voltaje demasiado elevado (por ejemplo, si aplicamos 5V como valor ALTO cuando el dispositivo solo admite 3,3V) corremos el riesgo de dañarlo irreversiblemente. Para evitar este inconveniente, podemos recurrir a "divisores de tensión" (circuitos eléctricos estudiados más adelante en este mismo capítulo) o, de una forma más sofisticada, a "convertidores de nivel" (componentes electrónicos estudiados en capítulos siguientes).

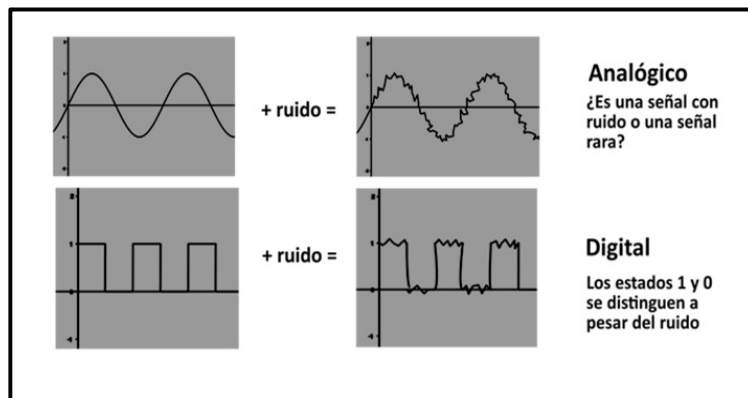
Además de los niveles ALTO y BAJO, en una señal binaria existen las transiciones entre estos niveles (de ALTO a BAJO y de BAJO a ALTO), denominadas flanco de bajada y de subida, respectivamente.

Señal analógica es aquella que tiene infinitos valores posibles dentro de un rango determinado (lo que se suele llamar "tener valores continuos"). La mayoría de magnitudes físicas (temperatura, sonido, luz...) son analógicas, así como también las más específicamente eléctricas (voltaje, intensidad, potencia...) porque todas ellas, de forma natural, pueden sufrir variaciones continuas sin saltos. De hecho, muchos de los componentes presentes en circuitos eléctricos (como por ejemplo las resistencias, los condensadores, los diodos o los transistores) son de tipo analógico.

No obstante, muchos sistemas electrónicos complejos (como un computador, por ejemplo) no tienen la capacidad de trabajar con señales analógicas: solamente pueden manejar señales digitales (especialmente de tipo binario; de ahí su gran importancia). Esto es debido a que sus componentes fundamentales (en su mayoría elementos electrónicos llamados "puertas lógicas") son de tipo binario. Así que, para que estos sistemas electrónicos puedan trabajar con señales analógicas, necesitan disponer de un elemento llamado conversor analógico-digital (comúnmente llamado "ADC") que "traduzca" (mejor dicho, "simule") las señales analógicas del mundo exterior en señales digitales entendibles por dicho sistema electrónico. También necesitarán un conversor digital-analógico (comúnmente llamado "DAC") para poder realizar el proceso inverso: transformar una señal digital interna del computador en una señal analógica y así poderla emitir al mundo físico. Un ejemplo del primer caso sería la grabación de un sonido mediante un micrófono, y uno del segundo caso sería la reproducción de un sonido pregrabado mediante un altavoz.

Sobre los métodos utilizados para realizar estas conversiones de señal analógica a digital, y viceversa, ya hablaremos extensamente más adelante, pero lo que debemos saber ya es que, sea cual sea el método utilizado, siempre existirá una pérdida de información (de "calidad") durante el proceso de conversión de la señal. Esta pérdida aparece porque es matemáticamente imposible realizar una transformación perfecta de un número infinito de valores (señal analógica) a un número finito (señal digital) debido a que, por fuerza, varios valores de la señal analógica deben "colapsar" en un único valor indistinguible de la señal digital.

A pesar de lo anterior, la razón por la cual la mayoría de sistemas electrónicos utilizan para funcionar señales digitales en vez de señales analógicas es porque, además de ser así más sencillos de diseñar y construir, las señales digitales tienen una gran ventaja respecto a las señales analógicas: son más inmunes al ruido. Por "ruido" se entiende cualquier variación no deseada de la señal, y es un fenómeno que ocurre constantemente debido a una gran multitud de factores. El ruido modifica la información que aporta una señal y afecta en gran medida al correcto funcionamiento y rendimiento de los dispositivos electrónicos. Si la señal es analógica, el ruido es mucho más difícil de tratar y la recuperación de la información original se complica.



¿Qué son las señales periódicas y las señales aperiódicas?

Otra clasificación que podemos hacer con las señales eléctricas es dividir las entre señales periódicas y aperiódicas. Llamamos señal periódica a aquella que se repite tras un cierto periodo de tiempo (T) y señal aperiódica a aquella que no se repite. En el caso de las primeras (las más interesantes con diferencia), dependiendo de cómo varíe la señal a lo largo del tiempo, esta puede tener una "forma" concreta (senoidal –es decir, que sigue el dibujo de la función seno–, cuadrada, triangular, etc.).

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

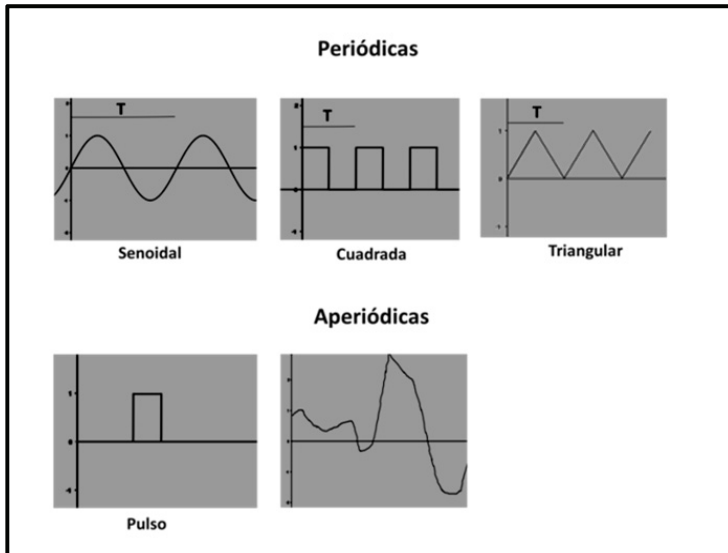
Las señales periódicas (tales como el voltaje AC recibido por las tomas de corriente en hogares y empresas, o las ondas sonoras, por poner dos ejemplos) tienen una serie de características que debemos identificar y definir para poder trabajar con ellas de una forma sencilla:

Frecuencia (f): es el número de veces que la señal se repite en un segundo. Se mide en hercios (Hz), o sus múltiplos (como kilohercios o megahercios). Por ejemplo, si decimos que una señal es de diez hercios, significa que se repite diez veces cada segundo.

Período (T): es el tiempo que dura un ciclo completo de la señal, antes de repetirse otra vez. Es el inverso de la frecuencia ($T = 1/f$) y se mide en segundos.

Valor instantáneo: es el valor concreto que toma la señal (voltaje, intensidad, etc.) en cada instante.

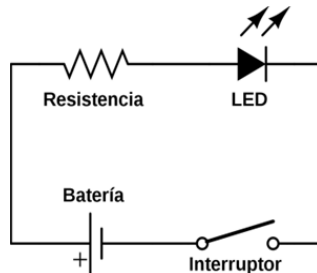
Valor medio: es un valor calculado matemáticamente realizando la media de los diferentes valores que ha ido teniendo la señal a lo largo de un tiempo concreto. Algunos componentes electrónicos (por ejemplo, algunos motores) responden no al valor instantáneo sino al valor medio de la señal.



CIRCUITOS ELÉCTRICOS BÁSICOS

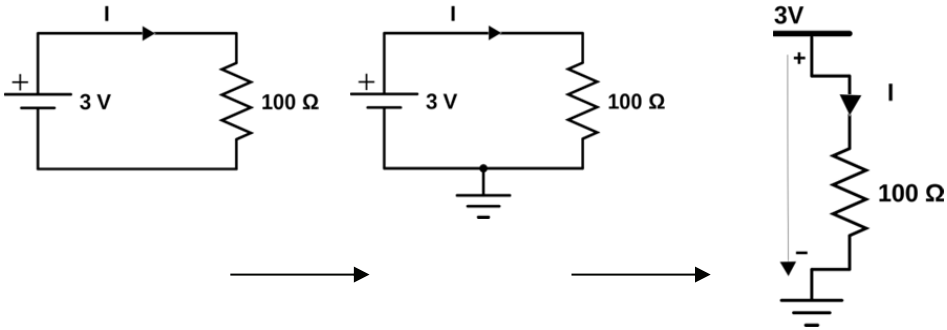
Representación gráfica de circuitos

Para describir de una forma sencilla y clara la estructura y la composición de un circuito eléctrico se utilizan esquemas gráficos. En ellos se representa cada dispositivo del circuito mediante un símbolo estandarizado y se dibujan todas las interconexiones existentes entre ellos. Por ejemplo, un circuito muy simple sería:



En el esquema anterior podemos apreciar cuatro dispositivos (presentes prácticamente en cualquier circuito) representados por su símbolo convencional: una pila o batería (cuya tarea es alimentar eléctricamente al resto de componentes), una resistencia (componente específicamente diseñado para oponerse al paso de la corriente, de ahí su nombre), un LED (componente que se ilumina cuando recibe corriente) y un interruptor. En este ejemplo, la batería creará la diferencia de potencial necesaria entre sus dos extremos –también llamados "bornes" o "polos"– para que se genere una corriente eléctrica, la cual surgirá desde su polo positivo (el marcado con el signo "+"), pasará a través de la resistencia, pasará seguidamente a través del LED (iluminándolo, por tanto) y llegará a su destino final (el polo negativo de la batería) siempre y cuando el interruptor cierre el circuito.

Por otro lado, los circuitos se pueden representar alternativamente de una forma ligeramente diferente a la mostrada anteriormente, utilizando para ello el concepto de "tierra" (también llamado "masa"). La "tierra" ("ground" en inglés) es simplemente un punto del circuito que elegimos arbitrariamente como referencia para medir la diferencia de potencial existente entre este y cualquier otro punto del circuito. En otras palabras: el punto donde diremos que el voltaje es 0. Por utilidad práctica, normalmente el punto de tierra se asocia al polo negativo de la pila. Este nuevo concepto nos simplificará muchas veces el dibujo de nuestros circuitos, ya que si representamos el punto de tierra con el símbolo \equiv , los circuitos se podrán dibujar de la siguiente manera (por simplicidad hemos suprimido el interruptor y el LED del esquema anterior):



También podremos encontrarnos con esquemas eléctricos que muestren intersecciones de cables. En este caso, deberemos fijarnos si aparece dibujado un círculo en el punto central de la intersección. Si es así, se nos estará indicando que los cables están física y eléctricamente conectados entre sí. Si no aparece dibujado ningún círculo en el punto central de la intersección, se nos estará indicando que los cables son vías independientes que simplemente se cruzan en el espacio.

Circuitos abiertos, cerrados y cortocircuitos

Aclaremos ahora lo que significa "cerrar un circuito". Ya sabemos que si existe una diferencia de potencial, aparecerá una corriente eléctrica que siempre circula desde el polo positivo de la pila hasta el negativo. Pero esto solo es posible si existe entre ambos polos un camino (el circuito propiamente dicho) que permita el paso de dicha corriente. Si el circuito está abierto, a pesar de que la batería esté funcionando, la corriente no fluirá. La función de los interruptores es precisamente cerrar o abrir el circuito para que pueda pasar la corriente o no, respectivamente. En el esquema siguiente esto se ve más claro:



Es importante tener en cuenta que la presencia de la resistencia R en el circuito del esquema anterior es imprescindible: si construyéramos el mismo circuito sin ella (es decir, solamente usando la batería y el interruptor), al cerrar este provocaríamos lo que se llama un "cortocircuito", con consecuencias muy graves

(como el sobrecalentamiento, el derretimiento o incluso la explosión de alguna parte del circuito). La razón de esto es la Ley de Ohm: al cumplirse que $I=V/R$, si un circuito no ofrece resistencia ($R \approx 0$), la intensidad de la corriente que circula por él tiende a infinito ($I \approx V/0$), provocando el mencionado cortocircuito.

El papel que cumple la resistencia R en el circuito del esquema anterior es el de "carga": todo circuito cerrado ha de tener una "carga" cuya función es ofrecer una mínima resistencia para evitar un cortocircuito. No es necesario que la "carga" sea necesariamente una resistencia "tal cual": puede ser cualquier componente electrónico (o cualquier combinación de ellos) porque todos incluyen internamente un cierto grado de resistencia intrínseca. De hecho, por "carga" se suele entender toda la parte del circuito "que funciona" gracias a la fuente de alimentación y que se comporta como una gigantesca resistencia (que realiza una tarea útil).

Conexiones en serie y en paralelo

Los distintos dispositivos presentes en un circuito pueden conectarse entre sí de varias formas. Las más básicas son la "conexión en serie" y la "conexión en paralelo". De hecho, cualquier otro tipo de conexión, por compleja que sea, es una combinación de alguna de estas dos.

Dos o más componentes están conectados en paralelo si sus respectivos extremos por donde "entra" la corriente están conectados entre ellos directamente (y lo mismo ocurre con sendos extremos por donde "sale" la corriente). En este caso:

1. El flujo total de electrones se distribuirá a través de los diferentes componentes (normalmente, de forma desigual). Por tanto, la intensidad de corriente total será la suma de las intensidades que pasan por cada componente (hecho que se conoce –en otros términos– como "1ª Ley de Kirchhoff").
2. Entre los extremos de cualquiera de los componentes existirá la misma diferencia de potencial.

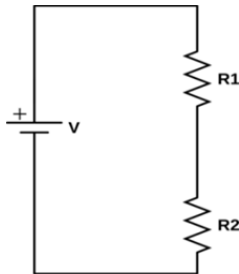
Dos o más componentes están conectados en serie si el extremo por donde "sale" la corriente de uno de ellos está conectado directamente al extremo por donde "entra" al siguiente componente. En este caso:

1. La intensidad de corriente que circulará por todos los componentes será siempre la misma (ya que solo existe un camino posible para el flujo de los electrones).

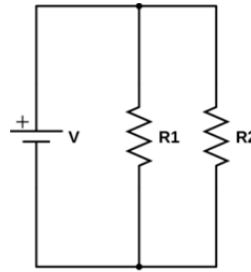
EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

2. La diferencia de potencial total existente se repartirá entre los diferentes componentes (normalmente, de forma desigual), de manera que cada uno trabaje sometido a una parte de esa tensión total. Por tanto, la suma de las tensiones en cada componente dará como resultado dicha tensión total (hecho que se conoce –en otros términos– como "2ª Ley de Kirchhoff").

Se puede entender mejor la diferencia mediante los siguientes esquemas, en los que se puede ver la conexión en serie y en paralelo de dos resistencias:

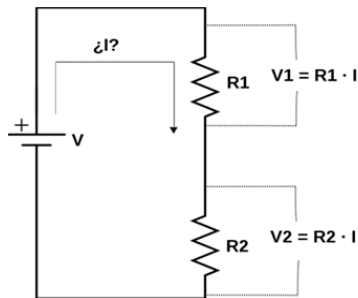


Conexión en serie



Conexión en paralelo

Aplicando las Leyes de Kirchhoff y la Ley de Ohm podemos obtener el valor de alguna magnitud eléctrica (V , I o R) si conocemos previamente el valor de alguna otra involucrada en el mismo circuito. Veamos esto usando como ejemplo el siguiente circuito, donde aparecen dos resistencias en serie:

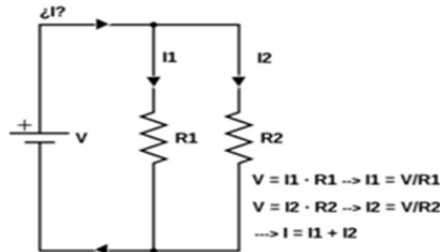


$$V = V_1 + V_2 = (R_1 + R_2) \cdot I$$

En el esquema anterior V_1 representa la caída de tensión entre los extremos de R_1 y V_2 la caída de tensión entre los extremos de R_2 . Si tenemos por ejemplo una fuente de alimentación eléctrica (una pila) que aporta un voltaje de 10V y dos resistencias cuyos valores son $R_1=1\Omega$ y $R_2=4\Omega$, respectivamente, para calcular la intensidad que circula tanto por R_1 como por R_2 (recordemos que es la misma porque

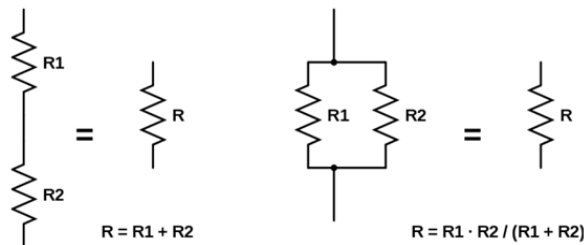
solo existe un único camino posible) simplemente deberemos realizar la siguiente operación: $I = 10V/(1\Omega+4\Omega) = 2A$, tal como se muestra en el esquema anterior.

Veamos ahora otro circuito, donde aparecen también dos resistencias, pero esta vez conectadas en paralelo:



En el esquema anterior I_1 representa la intensidad de corriente que atraviesa R_1 e I_2 la intensidad de corriente que atraviesa R_2 . Si tenemos por ejemplo una fuente de alimentación eléctrica (una pila) que aporta un voltaje de 10V y dos resistencias cuyos valores son $R_1=1\Omega$ y $R_2=4\Omega$, respectivamente, para calcular la intensidad que circula por R_1 deberíamos realizar (tal como se muestra en el esquema) la siguiente operación: $I_1 = 10V/1\Omega = 10A$; para calcular la intensidad que circula por R_2 deberíamos hacer: $I_2 = 10V/4\Omega = 2,5A$; y la intensidad total que circula por el circuito sería la suma de las dos: $I = I_1 + I_2 = 10A + 2,5A = 12,5A$.

A partir de los ejemplos anteriores, podemos deducir un par de fórmulas que nos vendrán bien a lo largo de todo el libro para simplificar los circuitos. Si tenemos dos (o más) resistencias (R_1, R_2, R_3, \dots) conectadas en serie o en paralelo, es posible sustituirlas en nuestros cálculos por una sola resistencia cuyo comportamiento sea totalmente equivalente. En el caso de la conexión en serie, el valor de dicha resistencia (R) es simplemente $R=R_1+R_2+R_3+\dots$, y en el caso de la conexión en paralelo, su valor equivalente se calcularía mediante la fórmula $1/R=1/R_1+1/R_2+1/R_3+\dots$ (la cual se puede simplificar, en el caso de haber solamente dos resistencias, en la expresión $R=R_1 \cdot R_2 / (R_1+R_2)$, tal como se puede ver en el siguiente diagrama).

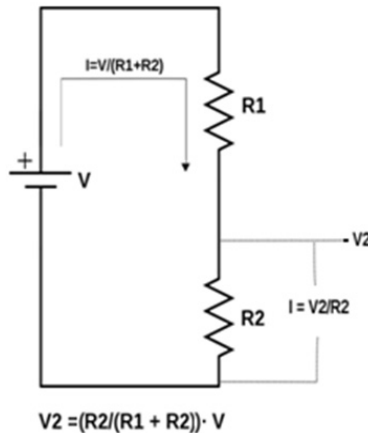


Un dato interesante de tener en cuenta (que se deduce de la propia fórmula) es que cuando se conectan resistencias en paralelo, el valor de R resultante siempre es menor que el menor valor de las resistencias implicadas.

El divisor de tensión

El "divisor de tensión" no es más que un circuito formado por una resistencia conectada en serie con cualquier otro dispositivo eléctrico. Su intención es reducir la caída de tensión a la que se ve sometido dicho dispositivo, estableciéndola en un valor seguro para no dañarlo. Dicho de otra forma: el "divisor de tensión" sirve para obtener un voltaje menor que un cierto voltaje original.

La mayor o menor cantidad de reducción que consigamos en el voltaje final dependerá del valor de la resistencia que utilicemos como divisor: a mayor valor de resistencia, mayor reducción. De todas formas, hay que tener en cuenta además que el voltaje obtenido asimismo depende del valor del voltaje original: si aumentamos este, aumentaremos proporcionalmente aquel también. Todos estos valores los podemos calcular fácilmente usando un ejemplo concreto, como el del esquema siguiente:



Tal como se puede ver, tenemos una fuente de alimentación eléctrica (una pila) que aporta un voltaje de 10V y dos resistencias cuyos valores son $R_1=1\Omega$ (la cual hará de divisor de tensión) y $R_2=4\Omega$, respectivamente. Sabemos además que la intensidad I es siempre la misma en todos los puntos del circuito –ya que no hay ramificaciones en paralelo–. Por lo tanto, para calcular V_2 (es decir, el voltaje aplicado sobre R_2 , el cual ha sido rebajado respecto al aportado por la pila gracias a R_1), nos podemos dar cuenta de que $I=V_2/R_2$ y que $I=V/(R_1+R_2)$, por lo que de aquí es fácil obtener que $V_2=(R_2 \cdot V)/(R_1+R_2)$. Queda entonces claro de la expresión anterior lo dicho en el párrafo anterior: que V_2 siempre será proporcionalmente menor a V, y según sea

R_1 mayor, V_2 será menor (de hecho, si R_1 tuviera un valor suficientemente grande, V_2 tendería a 0). Otra consecuencia interesante de la expresión anterior es que si, por el contrario, R_1 tuviera un valor mucho más pequeño que el de R_2 , no se produciría reducción en la tensión, ya que en ese caso $V_2 \approx V$.

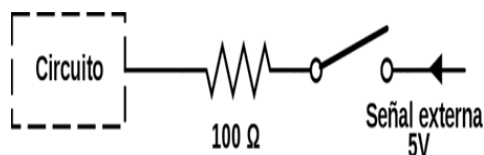
Las resistencias "pull-up" y "pull-down"

Muchas veces, los circuitos eléctricos, además de recibir la señal de alimentación de una determinada fuente, reciben otras señales eléctricas del exterior a través de "entradas" diseñadas para ello. Estas señales externas suelen ser de tipo binario (es decir, suelen tener dos posibles valores: ALTO o BAJO) y pueden servir para multitud de cosas: para activar o desactivar partes del circuito, para transmitir al circuito determinada información de su entorno, etc. El accionamiento de un interruptor, por ejemplo, es uno de los casos típicos donde el valor de la señal externa recibida por la entrada del circuito puede variar (o ALTO o BAJO) según si dicho interruptor está cerrado o no.

Una resistencia "pull-up" (o "pull-down") es una resistencia normal, solo que lleva ese nombre por la función que cumple: sirve para asumir un valor estable de la señal recibida en una entrada del circuito cuando por ella no se detecta ningún valor concreto definido (ni ALTO ni BAJO), que es lo que ocurre cuando la entrada no está conectada a nada (es decir, está "al aire"). Así pues, este tipo de resistencias aseguran que los valores binarios recibidos no fluctúan sin sentido en ausencia de señal de entrada.

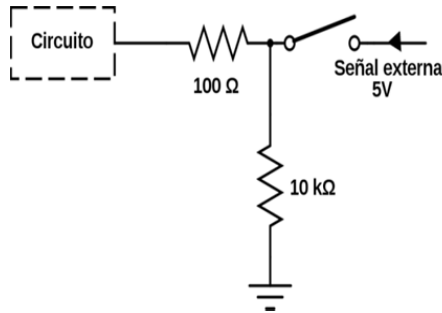
La diferencia entre una resistencia "pull-up" y una "pull-down" solamente está en su ubicación dentro del circuito (ya que ambas persiguen el mismo objetivo): una resistencia "pull-up" se conecta directamente al origen de la señal externa y una resistencia "pull-down" se conecta directamente a tierra (ver diagramas siguientes). La elección de una u otra dependerá de las circunstancias particulares de nuestro montaje.

Veamos un ejemplo concreto de la utilidad de una resistencia "pull-down". Supongamos que tenemos un circuito como el siguiente (donde la resistencia de 100 ohmios no es más que un divisor de tensión colocado en la entrada del circuito para protegerla):



EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

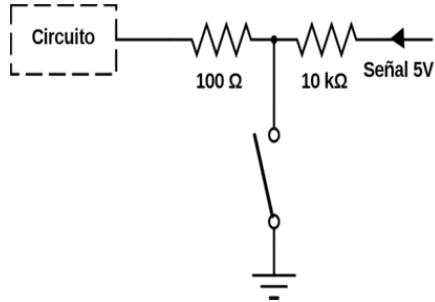
Cuando el interruptor está pulsado, la entrada del circuito anterior estará conectada a una señal válida en su estado ALTO (correspondiente en este ejemplo a 5V). En cambio, si el interruptor se deja de pulsar, el circuito se abrirá y la entrada del circuito no estará conectada a nada. Esto implica que habrá una señal de entrada fluctuante (también llamada "flotante" o "inestable") que no nos interesa. Una solución posible sería colocar una resistencia "pull-down" (cuyo valor en este ejemplo será de 10 k Ω) así:



De esta manera, cuando el interruptor esté pulsado, la entrada del circuito seguirá estando conectada a la misma señal ALTO válida de antes pero lograremos además que cuando el interruptor se deje de pulsar, la entrada del circuito esté conectada a la resistencia "pull-down", la cual tira hacia tierra (que es una referencia BAJO siempre fija de 0V).

Alguien podría pensar que cuando el interruptor esté pulsado, el circuito recibirá la señal de entrada pero también estará conectado a tierra a través de la resistencia "pull-down"... ¿Qué pasa realmente entonces? Pues que la señal externa (que no deja de ser una corriente de electrones) se encontrará con una oposición ejercida por la resistencia "pull-down" (siempre que su valor sea suficientemente grande) provocando que esta se desvíe siempre hacia la entrada del circuito. De hecho, si hubiéramos conectado la entrada del circuito a tierra directamente sin usar la resistencia "pull-down", la señal externa se habría dirigido a tierra sin pasar por la entrada del circuito porque por ese camino habría encontrado nula resistencia (provocando, por otro lado, la aparición de un cortocircuito).

Con una resistencia "pull-up" se puede conseguir lo mismo, tal como muestra el siguiente esquema. En este caso, al pulsar el interruptor, la señal exterior fluirá a través de él porque por allí encontrará un camino más directo hacia tierra (haciendo, por tanto, que la entrada del circuito reciba un valor BAJO estable), mientras que si dejamos abierto el interruptor, la entrada del circuito recibirá directamente la señal ALTO del exterior.



En los ejemplos anteriores hemos utilizado resistencias "pull-up" o "pull-down" de 10KΩ. Aunque es una norma bastante habitual utilizar este valor concreto en proyectos de electrónica donde se trabaja en el rango de los 5V, es posible emplear otros valores diferentes siempre y cuando (pondremos el ejemplo concreto de una resistencia "pull-up") cumplan dos condiciones: que sean lo suficientemente grandes para que cuando se pulse el interruptor, este no sea atravesado por demasiada corriente y lo suficientemente pequeños para que, cuando se deje sin pulsar, la entrada del circuito reciba una tensión que siga siendo reconocible como ALTO.

FUENTES DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

Llamamos fuente de alimentación eléctrica (o "generador") al elemento responsable de crear la diferencia de potencial necesaria para que fluya la corriente eléctrica por un circuito y así puedan funcionar los dispositivos conectados a este. Ya se comentó anteriormente que la placa Arduino solo funciona con corriente continua, así que para nuestros proyectos necesitaremos fuentes de alimentación que generen este tipo de corriente. De entre todas las posibles, las más habituales (y las que estudiaremos a continuación) son dos: las pilas o baterías y los adaptadores AC/DC.

Tipos de pilas/baterías

El término "pila" sirve para denominar a los generadores de electricidad basados en procesos químicos normalmente no reversibles; por tanto, son generadores no recargables. Por el contrario, el término "batería" se aplica generalmente a dispositivos electroquímicos semi-reversibles que permiten ser recargados. No obstante, estos términos no son una definición formal estricta. El término "acumulador" se aplica indistintamente a uno u otro tipo (así como a otros tipos de generadores de tensión, como los condensadores eléctricos) siendo pues un término neutro capaz de englobar y describir a todos ellos.

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

Si distinguimos las pilas/baterías por la disolución química interna responsable de la generación de la diferencia de potencial entre sus polos, encontraremos que las pilas ("acumuladores no recargables") más extendidas actualmente en el mercado son las de tipo alcalino, y las baterías ("acumuladores recargables") más habituales son por un lado las de níquel-cadmio (NiCd) y las –mucho más recomendables– de níquel-hidruro metálico (NiMH), y por otro las de ion-litio (Li-ion) y las de polímero de ion-litio (LiPo). De todos estos tipos de baterías, las LiPo son las que, con diferencia, tienen una densidad de carga más elevada (es decir, son las que, a igual peso, contienen más carga y, por tanto, ofrecen más autonomía) pero son las más caras.

La industria internacional sigue unas normas comunes de estandarización para la fabricación de pilas de tipo alcalino y baterías de tipo NiCd/NiMH que definen unos determinados tamaños, formas y voltajes preestablecidos, de manera que se puedan utilizar sin problemas en cualquier aparato eléctrico a nivel mundial. En este sentido, los tipos de pilas más habituales son las de tipo D (LR20), C (LR14), AA (LR06) y AAA (LR03), todas ellas generadoras de 1,5V (en el caso de ser alcalinas) o 1,2V (en el caso de ser de tipo NiCd/NiMH) y todas ellas de forma cilíndrica (aunque de dimensiones diferentes; de hecho, se han listado de mayor tamaño a menor). También son frecuentes las de tipo PP3 (6LR61), que generan 9V y tienen forma de prisma rectangular; y las de tipo 3R12 (de "petaca") que generan 4,5V y tienen forma cilíndrica achatada.

En la imagen siguiente se pueden apreciar, de izquierda a derecha, acumuladores –alcalinos– de tipo D, C, AA, AAA, AAAA y PP3:



Por otro lado, las baterías de tipo LiPo y Li-ion son comercializadas en una gran variedad de formas y tamaños. Podemos encontrar, por ejemplo, baterías Li-ion en forma de cilindros duros (similares en aspecto al formato AA, aunque con otros tamaños... Uno de los más populares es el formato 18650), en forma de prismas duros rectangulares (comunes sobre todo en computadores portátiles), en formato

PP3, etcétera, etcétera. En este libro, no obstante, solo manejaremos baterías Li-ion con el aspecto de carcasas redondeadas y achatadas con dos cables sobresalientes haciendo de bornes positivo (generalmente de color rojo) y negativo (generalmente de color negro) y baterías LiPo con el aspecto (muy común, por otro lado) de delgados rectángulos dentro de una bolsa plateada con, también, dos cables sobresalientes haciendo de bornes positivo (rojo) y negativo (negro). En ambos casos, estos dos cables sobresalientes suelen terminar unidos en un único conector macho de 2 pines llamado genéricamente "JST de 2mm" (o, más técnicamente, "JST-PH") que sirve para facilitar el acoplamiento de la batería al circuito a alimentar (o al circuito recargador) gracias a la presencia en este de un conector hembra del mismo tipo; así, los conectores JST permiten un empalme duradero, compacto y difícil de realizar en sentido contrario. Por otro lado, cada unidad elemental de batería LiPo o Li-ion ofrece un voltaje de 3,7V, por lo que en el mercado es habitual encontrar baterías de dicho valor nominal o de un múltiple de este (7,4V, 11,1V, etc.). Las baterías LiPo son más ligeras que las Li-ion pero suelen tener una capacidad menor; por eso las primeras se suelen utilizar en aparatos pequeños como teléfonos móviles y las segundas en cargadores de computadores portátiles y similares. En la imagen siguiente, a la izquierda se muestran dos baterías LiPo y a la derecha dos baterías cilíndricas Li-ion:



También hemos de indicar la existencia de las pilas/baterías de tipo "botón". De entre las primeras (es decir, los acumuladores no recargables) podemos destacar las fabricadas con litio-dióxido de manganeso (cuya nomenclatura empieza con "CR" –CR2032, CR2477, etc. – y, cuyo voltaje generado –aunque cada modelo tenga una capacidad y un tamaño diferente– siempre es de 3V), las fabricadas con óxido de plata (cuya nomenclatura comúnmente empieza con "SR" o "SG" –SR44, SR58... según sus dimensiones– y cuyo voltaje generado es de 1,5V) y las de tipo alcalinas (cuyo código comúnmente empieza por "LR" o "AG" y cuyo voltaje generado es también de 1,5V). Por otro lado, como baterías recargables de tipo "botón" podemos destacar las fabricadas con Li-ion (cuya nomenclatura empieza con "LIR" y cuyo voltaje generado

es de 3,6V). En cualquier caso, sea del tipo que sea, en todas las pilas/baterías botón el terminal negativo es la tapa y el terminal positivo es el metal de la otra cara, el cual generalmente está identificado con un signo "+".

Existen muchos más tipos de pilas/baterías que no trataremos en este libro por no ser relevantes para nuestros proyectos. No obstante, si el lector deseara conocerlos, puede consultar los artículos de la Wikipedia "List_of_battery_types" y "List_of_battery_sizes", además de la estupenda web <http://batteryuniversity.com> (donde podrá profundizar también en muchos detalles técnicos específicos de cada tipo de pila/batería).

Voltaje de corte, capacidad y capacidad de las pilas/baterías

Hay que tener en cuenta que el voltaje que aportan las distintas pilas es un valor "nominal": es decir, por ejemplo una pila AA de 1,5V en realidad al principio de su vida útil genera unos 1,6V, rápidamente desciende a 1,5V y entonces poco a poco va descendiendo hasta 1V, momento en el cual ha alcanzado el mínimo valor aceptable de voltaje suministrado (el llamado voltaje de corte o "cut-off"); si una pila/batería no es capaz de generar una tensión mayor que el voltaje de corte podemos considerarla "gastada" y, por tanto, conviene sustituirla para evitar problemas. Esto pasa con todos los tipos de batería: por ejemplo, una batería LiPo marcada como "3,7V/(4,2V)" indica que inicialmente es capaz de aportar un voltaje máximo de 4,2V pero rápidamente desciende a 3,7V, el cual será su voltaje medio durante la mayor parte de su vida útil, hasta que finalmente baje rápidamente hasta los 3V (su voltaje "cut-off") y automáticamente deje de funcionar. En este sentido, es útil consultar la documentación oficial ofrecida por el fabricante para cada batería particular (el llamado "datasheet" de la batería) para saber la variación del voltaje aportado en función del tiempo de funcionamiento y su valor concreto de voltaje "cut-off".

Además de la tensión generada por una pila/batería (que asumiremos a partir de ahora, por simplificar, siempre constante) hay que conocer otra característica intrínseca de ellas muy importante: la cantidad de carga eléctrica (comúnmente llamada "capacidad") que una pila/batería es capaz de almacenar. Este valor se mide en amperios-hora (Ah), o miliamperios-hora (mAh) y nos permite saber aproximadamente cuánta intensidad de corriente puede aportar ininterrumpidamente una pila/batería a un circuito durante el periodo de tiempo que transcurre desde que está completamente cargada hasta que se descarga del todo (o dicho matemáticamente: *capacidad batería = intensidad aportada x tiempo de descarga*). En este sentido, hay que tener en cuenta que, aunque la capacidad de una

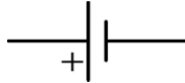
pila/batería depende de su propia constitución interna, la intensidad aportada a un circuito variará según la necesidad de consumo eléctrico que demande a cada momento el conjunto de componentes que forman ese circuito (en otras palabras: *intensidad aportada = consumo circuito*). Por tanto, de la expresión anterior podemos deducir que $\text{tiempo de descarga} = \text{capacidad batería} / \text{consumo circuito}$. Así pues, según la definición de capacidad, una pila/batería con una capacidad de 1Ah podrá ofrecer en teoría una intensidad constante de 1A durante una hora, pero si el consumo total del circuito solamente fuera de 0,1A –este dato lo podemos conocer gracias a un multímetro–, entonces, de la expresión matemática anterior se deduce que esa misma pila/batería podría estar funcionando durante 10 horas. Igualmente, si el consumo del circuito fuera de 0,01A, esa misma pila/batería podría aportar esa intensidad durante 100 horas, etc., etc.; eso sí, el voltaje generado en todos estos casos sería siempre el mismo (el valor nominal de la pila/batería).

Desgraciadamente, la capacidad de una pila/batería es un valor solamente orientativo porque cuanto más intensidad aporte una pila/batería, su tiempo de funcionamiento se reducirá en una proporción mucho mayor a la marcada por su capacidad. Por ejemplo, una pila botón de 1Ah es incapaz de aportar 1A durante una hora entera (ni tan siquiera 0,1A en 10 horas) porque se agota mucho antes, pero en cambio, no tiene problemas en aportar 0,001A durante 1000 horas. Para saber la intensidad máxima de corriente aportada por una pila/batería que aún respeta su valor nominal de Ah, deberemos consultar la documentación del fabricante (el "datasheet" de la batería). Esta intensidad de corriente "umbral" se suele llamar "capabilidad", y viene expresada en unidades C, donde una unidad C se corresponde con el valor de Ah de esa batería dividido entre una hora. Así, la unidad C de una batería con carga de 2Ah será de 2A, siendo su capacidad concreta una cantidad determinada de unidades C, consultable en el datasheet (1C, 2C...). Si tenemos entonces, por ejemplo, una batería de 2Ah y 0,5C y otra de 2Ah y 2C, la primera podrá aportar sin problemas una corriente estable de 1A (su valor de capacidad) durante 2 horas y la segunda una de 4A (su valor de capacidad) durante 30 minutos, pero si aumentaran la intensidad aportada más allá de sus capacidades respectivas, los correspondientes tiempos de descarga serían proporcionalmente mucho menores. Sabido esto, hay que tener en cuenta por ejemplo que las pilas botón tienen una capacidad muy pequeña (0,01C es un valor habitual), por lo que si son forzadas a aportar mucha intensidad en un momento dado, su vida se reducirá drásticamente.

En cualquier caso, aun teniendo en cuenta el valor de la capacidad de una pila/batería solamente dentro de su capacidad, este valor debe ser tomado solo como una aproximación.

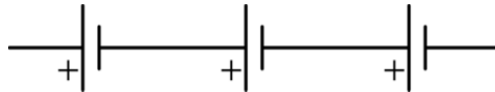
Conexiones de varias pilas/baterías

Ya hemos visto en diagramas anteriores que el símbolo que se suele utilizar en el diseño de circuitos electrónicos para representar una pila o batería es:

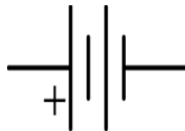


donde la parte más larga (y a veces pintada más gruesa) del dibujo representa el polo positivo de la fuente. A menudo se omite el símbolo "+".

Cuando hablamos de conectar pilas "en serie" queremos decir que conectamos el polo negativo de una con el polo positivo de otra, y así, de tal forma que finalmente tengamos un polo positivo global por un lado y un polo negativo global por otro. En esta figura se puede entender mejor:

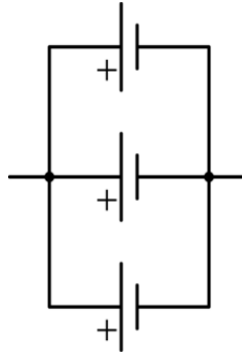


El voltaje total aportado por baterías conectadas en serie es la suma de sus voltajes individuales. Por tanto, la conexión en serie de baterías es útil cuando necesitamos tener una batería que genere un determinado voltaje relativamente elevado (por ejemplo, 12V) y solo disponemos de pilas de menor voltaje (por ejemplo, de 1,5V). Así pues, para obtener (pongamos por caso) 12V a partir de pilas de 1,5V, necesitaríamos 8 unidades ($1,5V \cdot 8 = 12V$). De hecho, las pilas comerciales de 4,5V y 9V (y de 6V y 12V, que también las hay) suelen fabricarse conectando internamente en serie pilas de 1,5V. Por eso, muchas veces veremos el siguiente símbolo (en vez del anteriormente mostrado) representando una pila:



No obstante, también hay que tener en cuenta que la capacidad total (es decir, los mAh del conjunto de pilas en serie) no aumenta: seguirá siendo exactamente la misma que la que tenga una batería de ese conjunto de forma individual e independiente. Este hecho es importante porque, en general, los circuitos que necesitan ser alimentados con grandes voltajes tienen un mayor consumo eléctrico, por lo que (en virtud de la fórmula del apartado anterior) el tiempo de funcionamiento de una fuente formada por pilas en serie será bastante reducido.

Otra manera de conectar entre sí diferentes pilas individuales es en paralelo: en esta configuración, todos los polos del mismo signo están unidos entre sí. Es decir: por un lado se conectan los polos negativos de cada pila y por otro lado se conectan todos los polos positivos, siendo estos dos puntos comunes de unión los polos negativo y positivo globales:



Un conjunto de pilas en paralelo ofrece el mismo voltaje que una sola pila individual (es decir, si tenemos por ejemplo cuatro pilas de 1,5V conectadas en paralelo, este conjunto dará igualmente un voltaje total de 1,5V). La ventaja que logramos es que la duración del sistema manteniendo esa tensión es mayor que si usamos una pila única, debido a que la capacidad (los mAh) del conjunto es la suma total de las capacidades de cada una de las pilas individuales.

Es muy importante asegurarse de que las pilas/baterías conectadas en serie o en paralelo sean del mismo tipo (alcalinas, NiMH, etc.), sean de la misma forma (AA, PP3, etc.), tengan la misma capacidad y aporten el mismo voltaje. Si no se hace así, el funcionamiento del conjunto puede ser inestable e incluso peligroso: en el caso de las baterías LiPo, puede llegar a haber explosiones si no se sigue esta norma. De hecho, en este tipo de baterías se recomienda adquirir packs (en serie o en paralelo) preensamblados, ya que nos ofrecen la garantía de que sus unidades han sido seleccionadas para tener la misma capacidad, resistencia interna, etc., y no causar problemas.

Compra de pilas/baterías

Cualquier tipo de pila/batería que necesitemos en nuestros proyectos (de diferente voltaje, capacidad, composición química...) lo podremos adquirir a través de cualquiera de los distribuidores listados en el apéndice A del libro: solo hay que usar el buscador que ofrecen en sus tiendas online (normalmente introduciendo en él el código numérico del producto deseado) para encontrar la pila/batería deseada.

Por ejemplo, el distribuidor online de componentes electrónicos Sparkfun ofrece varias baterías LiPo con los siguientes códigos de producto: el **nº 341** (3,7V/850mAh), el **nº 339** (3,7V/1Ah), el **nº 8483** (3,7V/2Ah) o el **nº 8484** (3,7V/6Ah), todas con conector JST de 2 pines. Otro popular distribuidor online de componentes electrónicos es Adafruit, el cual, por su parte, también ofrece varias baterías LiPo, como son los productos **nº 1578** (3,7V/500mAh), **nº 258** (3,7V/1,2Ah), **nº 2011** (3,7V/2Ah), **nº 328** (3,7V/2,5Ah)... y también baterías Li-ion, como el producto **nº 1781** (3,7V/2,2Ah), el **nº 354** (3,7V/4,4Ah) o el **nº 353** (3,7V/6,6Ah), todas ellas con conector JST de 2 pines también. Destaquemos, además, que existen otros formatos interesantes, como por ejemplo el producto **nº 10053** (9V/350mAh) de Sparkfun, consistente en una batería Li-ion en formato PP3 –notar la elevada tensión que proporciona–, el producto **nº 12895** (3,7/2,6Ah) también de Sparkfun, consistente en otra batería Li-ion pero esta vez en formato 18650 (ambas, eso sí, sin circuito protector –ver apartado "Compra de cargadores"–) o el producto con código **FIT0137** del distribuidor online DFRobot (7,4V/2,2Ah), consistente en una batería LiPo que viene con clavija de 5,5/2,1mm compatible con el zócalo de las placas Arduino.

Si buscamos pilas alcalinas o recargables de tipo NiMH, es incluso más sencillo porque los modelos más habituales están disponibles en cualquier comercio local, aunque si quisiéramos adquirirlas a través de Sparkfun o Adafruit, también podemos: por ejemplo, una pila alcalina PP3 aparece como producto **nº 10218** en Sparkfun (y **nº 1321** en Adafruit), una pila alcalina AAA como producto **nº 9274** en Sparkfun (y **nº 617** en Adafruit), una pila alcalina AA como producto **nº 9100** en Sparkfun, una pila NiMH AA como producto **nº 335** en Sparkfun, etc.

También podemos conseguir fácilmente pilas/baterías de tipo "botón". Por ejemplo, Sparkfun distribuye la pila no recargable CR2032 –que tiene una capacidad de 220mAh– como producto **nº 338** (Adafruit como producto **nº 654**) y la batería recargable LIR2450 –de 120mAh– como producto **nº 10319** (Adafruit como producto **nº 1572**). Otros modelos disponibles en Adafruit son el CR1220 (pila no recargable –de 40mAh– con código de producto **nº 380**), el CR2016 (pila no recargable –de 90mAh– con código de producto **nº 2849**) o el CR2450 (pila no recargable –de 610mAh– con código de producto **nº 2850**). No todas tienen las mismas dimensiones.

Compra de portapilas (con distintos conectores)

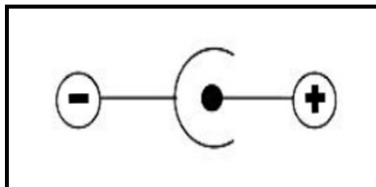
Si se van a emplear pilas alcalinas o recargables NiMH, lo más habitual es utilizar en nuestros proyectos algún tipo de portapilas que permita utilizar varias unidades conectadas en serie. Existen muchos modelos; como muestra, tan solo en la página web del distribuidor de componentes electrónicos Adafruit podemos

encontrar (escribiendo, tal como ya sabemos, su número de producto en el buscador integrado del portal), los siguientes productos:

- Nº 727:** portapilas de 3 unidades AAA con conector JST-PH e interruptor.
- Nº 830:** " de 4 unidades AA con cables-borne al aire e interruptor.
- Nº 248:** " de 6 unidades AA con clavija de 5,5/2,1mm y sin interruptor.
- Nº 449:** " de 8 unidades AA con cables-borne al aire y sin interruptor.
- Nº 875:** " de 8 unidades AA con clavija de 5,5/2,1mm e interruptor.
- Nº 67:** " de 1 unidad PP3 con clavija de 5,5/2,1mm e interruptor.
- Nº 783:** " de 2 unidades CR2032 con conector JST-PH e interruptor.
- Nº 80:** clip para conectar 1 unidad PP3 con clavija de 5,5/2,1mm.

Por "clavija de 5,5/2,1mm" entendemos un tipo de conector formado por un cilindro metálico macizo (de 2,1mm de diámetro) rodeado de un cilindro hueco también metálico (de 5,5mm de diámetro). Este tipo de clavija (también llamada en la literatura anglosajona "barrel plug") es, con diferencia, el más habitual en los adaptadores AC/DC y el zócalo hembra correspondiente (también llamado en la literatura anglosajona "barrel jack") está presente en multitud de dispositivos electrónicos (como por ejemplo las placas Arduino); esto hace que la combinación de clavija y zócalo 5,5/2,1mm sea una de las maneras más comunes de alimentar proyectos electrónicos.

No obstante, mencionando solo "clavija de 5,5/2,1mm" no definimos exactamente el tipo de conector porque queda un detalle pendiente de concretar: ¿cuál de los dos cilindros (el macizo interior o el hueco exterior) es el borne positivo y cuál es el borne negativo?; en el mercado existen ambas posibilidades, pero una abrumadora mayoría son los de tipo "centro positivo"; es decir: el cilindro macizo interior es el borne positivo y el cilindro hueco exterior el negativo. En este libro daremos por supuesto que, al referirnos a un conector 5,5/2,1mm, estaremos hablando siempre de uno de "centro positivo" (ya que es muy poco probable que no sea así) pero si en cualquier momento el lector quisiera saber si la clavija que acompaña cierto producto es "centro positivo", solo tiene que mirar el siguiente diagrama pintado en algún lugar de ese producto:



EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

En el caso de utilizar un portapilas con cables al aire, las posibilidades de conexión son muy variadas: una placa Arduino puede ser alimentada directamente así, al igual como cualquier placa de prototipado (tal como estudiaremos en próximos apartados). Incluso, si fuera necesario, podemos utilizar el producto **nº 369** de Adafruit para convertir terminaciones al aire en una clavija 5,5/2,1mm. En cambio, si usamos un portapilas terminado en un conector JST-PH, deberemos adquirir y emplear algún componente electrónico extra que contenga un receptáculo de este tipo para hacer de intermediario entre el portapilas y el resto del circuito a alimentar (como por ejemplo los productos de Adafruit **nº 1862** y **nº 1863** –idéntico al anterior pero con interruptor añadido– o el producto **nº 13685** de Sparkfun), ya que ni las placas Arduino ni las placas de prototipado que estudiaremos disponen de ningún zócalo JST-PH.

De forma similar, Sparkfun nos ofrece los siguientes productos:

Nº 9543: portapilas de 2 unidades AAA con cables-borne al aire e interruptor.

Nº 9925: " de 2 unidades AA con conector JST-PH e interruptor.

Nº 9547: " de 2 unidades AA con cables-borne al aire e interruptor.

Nº 10891: " de 3 unidades AA con cables-borne al aire e interruptor.

Nº 552: " de 4 unidades AA con cables-borne al aire y sin interruptor.

Nº 12083: " de 4 unidades AA con cables-borne al aire e interruptor.

Nº 9835: " de 4 unidades AA con clavija de 5,5/2,1mm y sin interruptor.

Nº 10512: " de 1 unidad PP3 con clavija de 5,5/2,1mm y sin interruptor.

Nº 12618: " de 2 unidades CR2032 con cables-borne al aire e interruptor.

Nº 91: clip para conectar 1 unidad PP3 con conector JST-PH.

DFRobot también ofrece productos similares; destacaremos (por no aparecer en las listas anteriores) el producto con código **FIT0111** (clip para conectar 1 unidad PP3 con cables-borne al aire), los productos **FIT0078** y **FIT0266** (portapilas de 6 unidades AA con cables-borne al aire sin interruptor) o el producto **FIT0362** (portapilas de 3 unidades AA con conector USB micro-B sin interruptor), entre otros.

Compra de cargadores

Si en nuestros proyectos empleamos baterías (recargables, se entiende), otro elemento que no debemos obviar es un cargador. Eso sí, dependiendo del tipo de batería (NiMH, LiPo, etc.), deberemos elegir un determinado tipo de cargador u otro.

Por ejemplo, para las baterías de tipo NiMH (ya sean en formato AA, AAA o PP3) nos será suficiente con el ofrecido, por ejemplo, por el distribuidor generalista

MiniInTheBox con código de producto nº **194037** (o también nº **440658**, entre otros); estos productos se conectan directamente a un enchufe de pared y no requieren mayor atención.

En cambio, para recargar baterías LiPo (o Li-Ion), no nos vale cualquier cargador porque hay que tener la precaución de usar siempre uno que cumpla dos condiciones: que someta la batería a un voltaje (el "voltaje de carga") menor o igual (lo preferible) que el voltaje nominal máximo de esa batería, y que, además, aporte a la batería una intensidad (la "intensidad de carga") menor (lo preferible, aunque el proceso de carga tarde más en completarse) o igual que la capacidad (1C) de dicha batería. Si no se cumplen las dos condiciones anteriores, el cargador podría dañar la batería irreversiblemente (e incluso hacerla explotar).

De hecho, las baterías LiPo son muy delicadas: también se corre el riesgo de explosión cuando se descargan por debajo de su voltaje de corte (normalmente 3V), o cuando son obligadas a aportar más corriente de la que pueden ofrecer (normalmente 2C), o cuando son utilizadas en ambientes de temperaturas extremas (normalmente fuera del rango 0º-50ºC), entre otras causas. Por eso muchas de estas baterías (aunque no todas) incorporan un circuito protector que detecta estas situaciones y desconecta la batería de forma segura. De todas formas, para conocer las características específicas de cada batería (como las tensiones, intensidades y temperaturas seguras) es obligatorio consultar la información que ofrece el fabricante para esa batería en concreto (su datasheet).

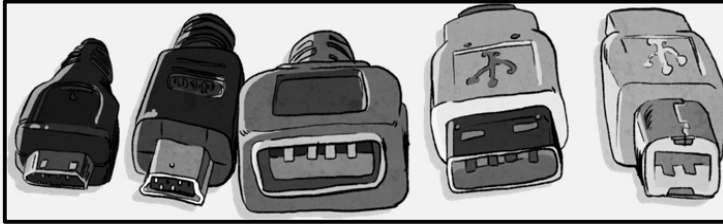
Podemos encontrar cargadores LiPo (y Li-ion) de muchos tipos y características. Por ejemplo, en la página web de Sparkfun podemos encontrar, entre otros, los productos:

Nº 10217: cargador para baterías LiPo/Li-Ion que aporta un voltaje de carga de 3,7V y una intensidad de carga de 500mA. Consiste en una plaquita que dispone por un lado de un zócalo JST-PH (donde se podrá conectar la batería a cargar) y por otro lado de un zócalo USB de tipo micro-B (donde se deberá conectar una fuente de alimentación externa que ha de proporcionar obligatoriamente una tensión de 5V y una intensidad de, al menos, igual a la de carga; en el siguiente apartado mencionaremos varias fuentes que cumplen estos requisitos).

NOTA: Gracias al chip controlador MCP73831 que esta plaquita lleva incorporado (chip que, por otro lado, viene integrado en la mayoría de cargadores que mencionaremos aquí), el voltaje aportado por la fuente externa (5V) es rebajado convenientemente al voltaje de carga óptimo (3,7V) para las baterías LiPo/Li-ion.

Breve nota sobre los conectores y el protocolo USB

Cuando estamos hablando de "conector USB", tenemos que tener claro de qué tipo de conector estamos hablando, porque existen varios modelos. En la imagen siguiente se muestran algunos de los más extendidos; de izquierda a derecha: conector micro-B macho, conector mini-B macho (actualmente obsoleto), conector A hembra, conector A macho y conector B macho.



En una conexión USB entre varios dispositivos siempre ha de existir obligatoriamente uno actuando como "maestro" (el llamado "host") y otro –u otros– actuando como "esclavos" (los llamados "periféricos"). El dispositivo "host" es el único que puede iniciar y controlar la transferencia de datos entre el resto de dispositivos conectados, mientras que los "periféricos" tan solo pueden responder a las peticiones hechas por el "host" y poca cosa más. Además, el dispositivo "host" es el encargado de tener que alimentar eléctricamente a todos los "periféricos" conectados a él (ofreciendo una tensión de 5V y aportando como máximo 500mA). Esto significa que el protocolo USB en realidad no solo es un protocolo de transferencia de datos, sino también un estándar de alimentación eléctrica.

Los dispositivos "host" normalmente disponen de un zócalo USB de tipo A (conector "hembra") donde los dispositivos periféricos se enchufarán mediante el correspondiente conector USB macho de tipo A. Algunos dispositivos periféricos, por su parte, también puede que dispongan de un zócalo USB, pero en este caso este deberá ser de tipo B, mini-B o micro-B. Un "host" típico es un computador, al cual se le pueden conectar varios periféricos, como teclados, ratones, lápices de memoria, cámaras de fotos o vídeo, teléfonos móviles de última generación, etc.

Nº 12711: cargador para baterías LiPo/Li-Ion en forma de plaquita que también aporta un voltaje de carga de 3,7V y una intensidad de carga de 500mA, pero que, a diferencia del producto anterior, además de ofrecer un zócalo USB micro-B también ofrece un zócalo de 5,5/2,1mm para poder elegir dónde conectar la fuente de alimentación externa (la cual ha de proporcionar obligatoriamente una tensión estable de 5V y una intensidad, al menos, igual a la de carga; en el siguiente apartado mencionaremos varias fuentes AC/DC

que cumplen estos requisitos) y, por el otro lado, ofrece dos zócalos JST-PH: uno etiquetado como "BATT-IN" (donde se podrá conectar la batería a cargar) y otro etiquetado como "SYS OUT" (donde se podrá conectar un circuito cualquiera, de manera que la misma batería que esté conectada en "BATT-IN" pueda ser utilizada directamente como fuente de alimentación para ese circuito.

DFRobot distribuye un cargador (con código de producto **DFR0208**) muy parecido al nº 10217 de Sparkfun. Adafruit, por su lado, distribuye otro cargador (con código de producto **nº 1904**) también muy similar pero con una diferencia: su intensidad de carga es de 100mA (en vez de los 500mA de los anteriores), haciéndolo, por tanto, compatible con más baterías. Freetronics distribuye asimismo un cargador muy parecido a este último (aunque el zócalo JST-PH no viene soldado por defecto) con el nombre de "**USB LiPo Charger**".

Otro cargador-plaquita interesante distribuido por Adafruit es el **nº 259**, el cual también aporta 3,7V y –en este caso– una intensidad máxima de carga de 500mA; lo interesante de este cargador está en que no solo dispone, como los productos mencionados en el párrafo anterior, del zócalo USB micro-B para enchufar allí la fuente de alimentación externa (que ha de estar regulada a 5V y que ha de ser capaz, recordemos, de proporcionar al menos la intensidad máxima de carga) y del zócalo JST-PH (etiquetado como "BATT") para conectar la batería a cargar, sino que también dispone –como el producto nº 12711 de Sparkfun anteriormente descrito– de otro zócalo JST-PH (etiquetado como "LOAD") donde se puede conectar el circuito que se desee alimentar mientras tanto; hay que tener en cuenta que de lo que no dispone este cargador es de zócalo 5,5/2,1mm.

Finalmente, otro cargador-plaquita interesante también distribuido por Adafruit es su producto **nº 1304**, el cual aporta 3,7V a 100mA y consta, además del zócalo JST-PH para conectar la batería a cargar, de una clavija USB macho de tipo A (he aquí la novedad) diseñada para recibir la alimentación externa directamente desde un zócalo USB tipo A como los que están presentes en cualquier computador. Siguiendo la misma filosofía de poder enchufar directamente el cargador a un zócalo USB de nuestro computador, no está de más mencionar el producto **nº 1573** de Adafruit, el cual permite recargar baterías LIR2450 (Li-ion de tipo "botón").

Características de los adaptadores AC/DC

El otro tipo de fuente de alimentación externa, diferente de las pilas/baterías, que más utilizaremos para nuestros circuitos es el adaptador AC/DC. Su función típica es conectarse a una toma de la red eléctrica general (un "enchufe") para transformar

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

el elevado voltaje alterno ofrecido por ella (en España es de $230V \pm 5\%$ y $50Hz \pm 0,3\%$; para conocer el de otros países se puede consultar el artículo titulado "Enchufes, voltajes y frecuencias" de la Wikipedia) en un voltaje continuo (y mucho menor) para ofrecer entonces este a los aparatos que se le conecten y así ponerlos en funcionamiento de una forma estable y segura.

Los adaptadores AC/DC básicamente están formados por un circuito transformador, el cual convierte el voltaje AC de entrada en otro voltaje AC mucho menor, y un circuito rectificador, el cual convierte ese voltaje AC ya transformado en un voltaje DC, que será el voltaje final de salida. Todos los adaptadores incorporan una etiqueta impresa que informa tanto del rango de valores en el voltaje AC de entrada con el que son capaces de trabajar (además de la frecuencia de la señal AC admitida) como del valor del voltaje DC y de la intensidad máxima que ofrecen como salida. Por ejemplo, la imagen siguiente corresponde a un adaptador AC/DC que admite voltajes AC de entrada entre 100V y 240V a una frecuencia de 50 o 60Hz (por tanto, compatible con la red eléctrica española) y aporta un voltaje DC de salida de 9V y una intensidad máxima de 1A.



Podemos clasificar los adaptadores según si son "regulados" (es decir, si incorporan un regulador de tensión en su interior) o no. Un regulador de tensión es un componente que, estando sometido a un determinado voltaje de entrada relativamente fluctuante, es capaz de generar un voltaje de salida (normalmente menor) mucho más estable, constante y controlado. Esto hace que los adaptadores regulados proporcionen un voltaje de salida muy concreto: precisamente el mostrado en su etiqueta. Lo que sí variará (hasta el máximo mostrado también en la etiqueta) es la intensidad de corriente ofrecida, ya que esta depende en cada momento de las necesidades del circuito alimentado.

Los adaptadores no regulados, en cambio, no poseen ningún mecanismo de estabilización, por lo que proporcionan un voltaje de salida cuyo valor puede llegar a

ser diferente en varios voltios al mostrado en la etiqueta. Este tipo de adaptadores ciertamente reducen el voltaje de entrada a un valor de salida menor, pero el valor concreto de este voltaje de salida dependerá en buena parte del consumo eléctrico realizado en ese momento particular por el circuito alimentado (o dicho de otra forma, de la intensidad de corriente transferida a dicho circuito en cada instante).

Explicemos esto: debido al diseño y construcción interna de los adaptadores no regulados, ocurre que a medida que el circuito consume más intensidad de corriente, el voltaje de salida ofrecido por el adaptador (inicialmente bastante más elevado que el valor nominal marcado en su etiqueta) se va reduciendo cada vez más hasta llegar a su valor nominal cuando el circuito consume la máxima intensidad que el adaptador es capaz de ofrecer, (cuyo valor es el indicado en la etiqueta impresa). Si el circuito sigue aumentando su consumo y supera esa intensidad máxima, el voltaje ofrecido por el adaptador seguirá disminuyendo y llegará a ser menor que el nominal, circunstancia en la que se corre el riesgo de dañar el adaptador (y de rebote, el circuito alimentado). Es fácil comprobar este comportamiento con un multímetro, tal como veremos en un apartado posterior de este mismo capítulo.

Por otro lado, otro inconveniente de los adaptadores no regulados (causado por su falta de precisión a la hora de rectificar la señal AC original) es la carencia de estabilidad en el valor del voltaje de salida obtenido, sea cual sea este. Así pues, es común observar variaciones periódicas alrededor de un determinado valor "nominal" (es decir, oscilaciones) cuya magnitud puede llegar a ser de hasta varios voltios. Desgraciadamente, es difícil observar este fenómeno con un multímetro porque este tipo de aparatos generalmente muestra valores medios para un intervalo de tiempo, así que en este caso deberíamos usar una herramienta más sofisticada como es un osciloscopio. Si el lector quiere profundizar más sobre este tema, puede encontrar una buena introducción en <http://www.teamwavelength.com/info/powersupply.php>.

La principal razón de la existencia de los adaptadores no regulados es su precio: son más baratos. No obstante, en este libro recomendaremos el uso de adaptadores regulados por su mayor fiabilidad y seguridad. Concretamente, para alimentar la mayoría de placas Arduino es ideal el producto **nº63** de Adafruit, un adaptador regulado compatible con la red eléctrica española que genera un voltaje de salida estable de 9V y una corriente de magnitud variable según demanda pero de 1A como máximo (además de tener una clavija de 5,5/2,1mm, tal como es el zócalo de alimentación de las placas Arduino). También nos podría servir su producto **nº 798**, un adaptador regulado (también con clavija de 5,5/2,1mm) capaz de generar 12V y (como máximo) 1A. De hecho, cualquier adaptador AC/DC con clavija 5,5/2,1mm que pueda generar una tensión regulada entre 7V y 12V y aportar una

EL MUNDO GENUINO-ARDUINO

corriente de hasta 1A (más es superfluo porque las placas Arduino no consumen tanto) será compatible con las placas Arduino más habituales. Sabiendo esto, incluso podríamos optar por elegir el producto **nº 1448** de Adafruit, un adaptador regulado cuya clavija puede intercambiarse entre varias a elegir (entre las cuales está la de 5,5/2,1mm) y cuyo voltaje de salida puede ser ajustado entre varios valores posibles (siendo 7,5V, 9V o 12V los más útiles para nosotros, con intensidades máximas de 0,9A, 0,8A y 0,7A, respectivamente). Por otro lado, Sparkfun también distribuye otros adaptadores regulados con clavija de 5,5/2,1mm recomendables, como son los productos **nº298** y **nº 9442**, generadores de 9V y (como máximo) 650mA y 12V y (como máximo) 600mA, respectivamente.

En el caso de querer alimentar nuestra placa Arduino a través de su zócalo USB en vez de su zócalo de 5,5/2,1mm (cosa que también es posible, tal como veremos en el siguiente capítulo), necesitaremos un adaptador AC/DC que, además de ofrecer ese tipo de conexión, genere una tensión regulada que sea específicamente de 5V (esto es debido a ciertas características eléctricas internas de las placas Arduino que ya estudiaremos). En este sentido nos pueden ser útiles el producto **nº 501** de Adafruit o el **nº 11456** de Sparkfun, los cuales ofrecen también 1A como máximo (aunque, por diseño, en realidad las placas Arduino tan solo pueden consumir mediante su zócalo USB hasta un máximo 500mA más allá del cual la alimentación se interrumpirá por seguridad) en combinación con un cable USB (A macho->B macho, tal como los productos **nº 900** o **nº 62** de Adafruit, o el **nº 512** de Sparkfun).

Estos cables USB, de hecho, también podrían ser conectados a un zócalo USB tipo A de nuestro propio computador y así conseguir alimentar la placa Arduino a partir de él (la conexión USB placa-computador también está dentro de los márgenes eléctricos compatibles con las placas Arduino). O también podríamos conectarlos al zócalo USB de tipo A que ofrecen diversas fuentes de alimentación portátiles recargables (como los productos **nº 1959** o **nº 1565** de Adafruit –que también funcionan a 5V y 1A máx.– o el producto **nº 11358** o **nº 11360** de Sparkfun, entre otros). Un cable algo más exótico es el producto **nº 8639** de Sparkfun (o el **nº 2697** de Adafruit, es lo mismo), ya que por un lado ofrece un enchufe USB tipo A y por otro una clavija de 5,5/2,1mm, permitiendo así alimentar las placas Arduino mediante todas las fuentes y los adaptadores anteriores pero a través de su zócalo de 5,5/2,1 mm.

Por otro lado, los cargadores de baterías LiPo descritos en el apartado anterior también pueden ser alimentados con los adaptadores AC/DC **nº 501** (Adafruit) o **nº 11456** (Sparkfun) recién mencionados, pero el cable USB empleado deberá ser en este caso de tipo A macho->microB macho, como el producto **nº 592**

(Adafruit) o el **nº 10215** (Sparkfun). De igual manera, se podría utilizar una conexión USB de nuestro computador o, también, cualquier alimentador de teléfono móvil de última generación.

En el caso particular de querer cargar la batería LiPo FIT0137 de DFRobot (recordemos que proporcionaba 7,4V/2,2Ah; esto es, el doble de voltaje que el resto de baterías mencionadas) podemos echar mano de un cargador AC/DC distribuido por la propia DFRobot con código FIT0398, el cual dispone –de forma intercambiable– tanto de un zócalo de 5,5/2,1mm para conectarle dicha batería como de una clavija del mismo calibre para alimentar, si así lo quisiéramos, nuestra placa Arduino (ya que proporciona un voltaje regulado de 8,5V –y 1,5A como máximo–).

Otros productos complementarios que nos podrán ser útiles en determinados proyectos son, por ejemplo, el **nº 1125** de Adafruit (un interruptor diseñado para enchufarse en serie a la clavija 5,5/2,1mm de un adaptador AC/DC y así disponer de un mecanismo sencillo para abrir el circuito de alimentación), el **nº 1351** de Adafruit (un cable divisor de alimentación eléctrica con un zócalo 5,5/2,1mm de entrada y dos clavijas del mismo calibre de salida), el **nº 327** de Adafruit o el **FIT0114** de DFRobot (un alargador de la clavija 5,5/2,1mm), el **nº 990** (un enchufe–adaptador de pared para el estándar mayoritario en Europa y América del Sur, necesario ya que el enchufe de los productos de Adafruit sigue el estándar anglosajón), etc.

También hay que tener presente que si nuestros circuitos necesitaran una alimentación que aportara más voltaje o intensidad del que son capaces de suministrar los adaptadores AC/DC mencionados en los párrafos anteriores (porque en nuestro circuito tenemos dispositivos –como por ejemplo muchos tipos de motores– que tienen un mayor consumo), existen varias alternativas: tenemos, por ejemplo, el producto **nº 352** de Adafruit (que ofrece un voltaje de salida de 12V y corriente máxima de 5A) o el **nº 658** (5V y 10A máx.), entre muchos otros. Hay que tener siempre la precaución, no obstante, de no utilizar un adaptador que ofrezca un voltaje de salida mayor que el circuito sea capaz de admitir o una intensidad máxima menor que el circuito pueda llegar a demandar para no dañar ni el circuito ni el propio adaptador.

Breve nota sobre las fuentes de alimentación solares

Otra manera de alimentar eléctricamente nuestros circuitos y/o también de recargar nuestras baterías (generalmente de tipo LiPo/Li-ion) es mediante el uso de paneles fotovoltaicos, una posibilidad muy interesante para proyectos que necesiten ser implementados en el exterior (fuera del alcance de la red eléctrica doméstica) y que requieran cierto grado de autonomía. En este sentido, la empresa

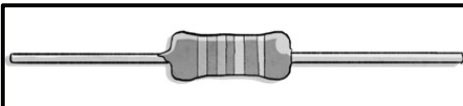
Voltaic Systems (<http://www.voltaicsystems.com>) ofrece una amplia variedad de productos llamados "Solar Charger Kits" (diferentes entre sí sobre todo en la potencia aportada) que permiten alimentar a una placa Arduino (y, a través de esta, a todo el circuito que se le conecte) por su conector USB, simplemente. En realidad, estos productos básicamente constan de una batería recargable mediante un panel solar asociado, el cual es capaz de alimentar a la placa Arduino mientras va siendo recargada pero también (si ya ha conseguido suficiente carga) en los momentos donde no hay suficiente luz.

Una opción alternativa es la plaquita **Lipo Rider Pro** de Seeedstudio, la cual permite cargar baterías LiPo de 3,7V (a 500mA de intensidad de carga) conectadas a ella vía JST-PH a partir de un panel solar (el propio Seeestudio ofrece unos cuantos a elegir) conectado también a ella a través de otro zócalo JST a la vez que puede estar alimentando en paralelo una placa Arduino conectada a ella a través de su zócalo USB de tipo A. Un cargador similar (que, eso sí, en vez de zócalo USB ofrece cables-borne) es el **DFR0264** de DFRobot.

También podemos usar el producto **nº 390** de Adafruit, un cargador de baterías LiPo de 3,7V que permite obtener la carga (con una intensidad máxima de 500mA) desde una fuente externa regulada a 5V (bien a través de un zócalo 5,5/2,1mm o bien a través de un zócalo USB mini-B –en este sentido, funcionaría igual que el producto nº 259 mencionado párrafos atrás–) pero también, alternativamente, desde un panel solar que aporte como máximo 6V (tales como los productos **nº 200**, **nº 417**, **nº 500** y **nº 1525** del propio Adafruit, o los **nº 9241** y **nº 7840** de Sparkfun). Al igual que el ya mencionado producto nº 259, este cargador dispone de un zócalo JST etiquetado como "BATT" para conectar la batería a cargar y otro etiquetado como "LOAD" donde se puede conectar el circuito que se desee alimentar mientras tanto.

COMPONENTES ELÉCTRICOS

Resistencias



Un resistor o resistencia es un componente electrónico utilizado simplemente para añadir, como su nombre indica, una resistencia eléctrica entre dos puntos de un circuito. De esta manera, y gracias a la Ley de Ohm, podremos distribuir según nos convenga diferentes tensiones y corrientes a lo largo de nuestro circuito.

Debido al pequeño tamaño de la mayoría de resistores, normalmente no es posible serigrafiar su valor sobre su encapsulado, por lo que para conocerlo debemos saber interpretar una serie de líneas de colores dispuestas a lo largo de su cuerpo. Normalmente, el número de líneas de colores son cuatro, siendo la última de color dorado o bien plateado (aunque puede ser de otros colores también, siendo en ese caso la línea más separada de las demás). Esta línea dorada o plateada indica la tolerancia de la resistencia, es decir: la precisión de fábrica que esta nos aporta. Si es de color dorado indica una tolerancia del $\pm 5\%$ y si es plateada una del $\pm 10\%$ (otros colores indican otros valores menos habituales: el rojo un $\pm 2\%$, el marrón un $\pm 1\%$, etc.); en cualquier caso, cuanto menor sea ese valor, mayor será el precio de la resistencia). Por ejemplo, una resistencia de 220Ω con una franja plateada de tolerancia, tendría un valor posible entre 198Ω y 242Ω (es decir, $220\Omega \pm 10\%$). Este dato se ha de tener en cuenta especialmente en el diseño de circuitos con resistencias conectadas en serie o en paralelo para controlar que los valores mínimo y máximo de la resistencia equivalente total estén dentro de los márgenes aceptados en nuestro proyecto.

Las otras tres líneas de colores indican el valor nominal de la resistencia. Para interpretar estas líneas correctamente, debemos colocar a nuestra derecha la línea de tolerancia, y empezar a leer de izquierda a derecha, sabiendo que cada color equivale a un dígito diferente (del 0 al 9). La primera y segunda línea las tomaremos cada una como el dígito tal cual (uno seguido del otro) y la tercera línea representará la cantidad de ceros que se han de añadir a la derecha de los dos dígitos anteriores. La tabla para conocer el significado numérico de los posibles colores de una resistencia es la siguiente:

Color de la banda	Valor equivalente (en la 1ª y 2ª banda)	Multiplicador (valor de la 3ª banda)
Negro	0	$\times 10^0 = 1$
Marrón	1	$\times 10^1 = 10$
Rojo	2	$\times 10^2 = 100$
Naranja	3	$\times 10^3 = 1000$
Amarillo	4	$\times 10^4 = 10000$
Verde	5	$\times 10^5 = 100000$
Azul	6	$\times 10^6 = 1000000$
Violeta	7	$\times 10^7 = 10000000$
Gris	8	$\times 10^8 = 100000000$
Blanco	9	$\times 10^9 = 1000000000$