

Curso Completo de Electrónica

Autor: Esteban

lucasegaacademy.com

*Guía completa con explicaciones extensas por unidad,
prácticas y examen final.*

Curso Completo de Electrónica

Autor: Esteban

lucasegaacademy.com

Publicado por Colibrí Editorial EGA

© 2026 Esteban. Todos los derechos reservados.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra
sin autorización escrita del autor.

ÍNDICE

PRÓLOGO	4
UNIDAD 1: Fundamentos de la Electricidad	7
UNIDAD 2: Voltaje, Corriente y Resistencia	39
UNIDAD 3: La Ley de Ohm	61
UNIDAD 4: Componentes Pasivos	82
UNIDAD 5: Componentes Activos	109
UNIDAD 6: Herramientas del Taller	134
UNIDAD 7: Circuitos en Serie y en Paralelo	158
UNIDAD 8: Electrónica Digital	179
UNIDAD 9: Introducción a los Microcontroladores	203
UNIDAD 10: Proyectos Integradores	232
EXAMEN FINAL	262

PRÓLOGO

Bienvenido al Curso Completo de Electrónica

Bienvenido al Curso Completo de Electrónica de Lucas EGA Academy. Este libro nace con una misión muy clara: enseñarte electrónica desde cero, paso a paso, sin dar por hecho que ya sabes algo de física, de matemáticas avanzadas o de ingeniería. Si alguna vez desarmaste un juguete para ver qué había adentro, si alguna vez te preguntaste cómo es posible que un pedacito de metal y plástico llamado teléfono pueda hacer videollamadas con alguien al otro lado del planeta, o si simplemente tienes curiosidad por construir tus propios circuitos, este libro es para ti.

La electrónica está en todas partes. Está en el foco que enciendes al entrar a tu cuarto, en el refrigerador que mantiene tu comida fría, en el automóvil que arranca cada mañana, en la pantalla donde estás leyendo esto y en los semáforos de tu ciudad. Aprender electrónica es aprender el idioma con el que funciona el mundo moderno. Y lo mejor es que no necesitas un laboratorio carísimo para empezar: con un protoboard, un multímetro, unos cuantos componentes que caben en la palma de tu mano y las explicaciones de este libro, puedes construir circuitos reales desde la primera semana.

Este libro está organizado en 10 unidades que cubren 30 clases, exactamente el temario del curso de electrónica de lucasegaacademy.com. Cada unidad incluye una introducción, una explicación detallada con analogías de la vida real, ejemplos paso a paso con cálculos, una sección de práctica con ejercicios resueltos y un resumen final. Al terminar el libro encontrarás un examen final de 50 preguntas con todas las respuestas explicadas, para que compruebes qué tan sólido quedó tu conocimiento.

Una advertencia seria: la seguridad primero

Antes de tocar un solo cable, quiero que leas esta sección completa. La electricidad es una herramienta maravillosa y, tratada con respeto, es completamente segura. Pero también es invisible: no la ves, no la hueles y no la escuchas, así que debes aprender a pensar en ella de forma disciplinada.

Las buenas noticias primero: en este libro trabajarás principalmente con circuitos de bajo voltaje, de 3 a 12 volts de corriente directa, alimentados con pilas o con fuentes de laboratorio. Esos voltajes no te van a electrocutar. Pero aun así hay riesgos reales que debes conocer:

Primero, las pilas y las fuentes de poder pueden entregar mucha corriente. Un cortocircuito (conectar directamente los dos terminales de una pila o batería con un cable) calienta el cable rapidísimo, puede derretir el plástico, quemar tu protoboard y, en el caso de pilas de litio, provocar que la pila se hinche, se caliente peligrosamente o incluso se incendie. Nunca dejes una pila conectada en cortocircuito, ni siquiera por broma.

Segundo, los capacitores grandes pueden guardar carga eléctrica aunque el circuito esté apagado. Un capacitor cargado puede darte una descarga desagradable. En este libro aprenderás a descargarlos de forma segura con una resistencia.

Tercero, la soldadura trabaja con calor. El cautín alcanza temperaturas de más de 300 grados. Nunca lo tomes por la punta, siempre úsalo con su base, y trabaja en un lugar ventilado porque el humo de la soldadura irrita.

Cuarto, y el más importante de todos: en este libro NO vamos a trabajar con la corriente de la pared (la de los contactos de tu casa, 110 o 220 volts de corriente alterna). Esa corriente sí puede matarte. Como regla de oro de por vida: nunca abras un aparato conectado a la pared, nunca metas las manos en una fuente de poder de computadora enchufada, y si algún día necesitas trabajar con voltajes altos, hazlo con alguien experimentado a tu lado y con el equipo de protección adecuado. La electrónica que aprenderás aquí es de bajo voltaje; la corriente de la pared es territorio de electricistas capacitados.

Memoriza estas cinco reglas de oro del taller:

REGLAS DE ORO DE LA SEGURIDAD

1. Desconecta la fuente de poder antes de modificar el circuito.
2. Revisa dos veces las conexiones antes de energizar.
3. Nunca hagas cortocircuito en pilas ni baterías.
4. Usa el cautín con su base y en lugar ventilado.
5. No trabajes con voltaje de la pared (110/220 V). Solo bajo voltaje.

Cómo estudiar este libro

Este libro está diseñado para estudiarse con las manos, no solo con los ojos. Te recomiendo este método:

Lee cada unidad completa una vez, sin prisa, para entender las ideas. Después vuelve a la sección de ejemplos paso a paso y reproduce cada cálculo con lápiz y papel, verificando que llegas al mismo resultado. Luego intenta los ejercicios de la sección de práctica sin mirar las soluciones; solo cuando te atores, revisa la solución explicada y entiende dónde te perdiste.

Finalmente, si puedes conseguir los componentes, arma el circuito en tu protoboard y mídelo con el multímetro. Ver con tus propios ojos que el voltaje que calculaste en el papel es el mismo que mide el multímetro es una de las experiencias más satisfactorias que existen.

No te brinques las unidades. La electrónica es acumulativa: la Unidad 3 (Ley de Ohm) usa lo de la Unidad 2, y la Unidad 8 (electrónica digital) necesita que entiendas transistores de la Unidad 5. Si algo no te queda claro, regresa y repásalo antes de avanzar.

Respecto a las matemáticas: necesitas aritmética básica, saber despejar una variable en una ecuación sencilla y manejar prefijos como kilo (mil), mili (milésima) y micro (millonésima). Nada más. Cada vez que aparezca un cálculo, lo haremos paso a paso, sin saltos mágicos.

Lo que vas a lograr

Al terminar este libro vas a entender qué es el voltaje, la corriente y la resistencia, y cómo se relacionan con la Ley de Ohm. Vas a conocer los componentes pasivos (resistencias, capacitores, inductores) y activos (diodos, transistores) más comunes, sabrás leer sus valores y conectarlos correctamente. Vas a dominar el protoboard, el multímetro y la soldadura básica. Vas a analizar circuitos en serie y en paralelo con las Leyes de Kirchhoff. Vas a entender compuertas lógicas y los fundamentos de la electrónica digital. Vas a conocer los microcontroladores y programar tus primeros circuitos inteligentes. Y vas a terminar con proyectos completos que integran todo lo aprendido.

Más importante aún: vas a desarrollar el pensamiento de ingeniero. La electrónica no es memorizar fórmulas; es aprender a preguntarte "¿qué está pasando aquí?" cuando un circuito no funciona, y tener un método para encontrar la respuesta. Ese método -observar, medir, comparar con lo esperado, ajustar- te va a servir para toda la vida, hagas lo que hagas después.

Empecemos. La Unidad 1 te espera con los fundamentos: qué es la electricidad a nivel atómico, cómo se mueve la carga y por qué algunos materiales conducen y otros no. Nos vemos en la primera página.

UNIDAD 1: Fundamentos de la Electricidad

Introducción a la unidad

Antes de encender tu primer LED o de medir tu primer voltaje, necesitas entender algo fundamental: ¿qué es la electricidad, en realidad? No la definición de diccionario, sino una imagen mental clara de lo que pasa dentro de un cable cuando enciendes un foco. Esta unidad construye esa imagen desde lo más pequeño que existe (el átomo) hasta lo que puedes tocar con las manos (un cable de cobre).

Vamos a recorrer tres grandes ideas. Primero, la estructura del átomo y el papel del electrón, la partícula que hace todo el trabajo en la electrónica. Segundo, los materiales conductores, semiconductores y aislantes: por qué el cobre lleva electricidad y el plástico no, y por qué los semiconductores son el corazón de toda la tecnología moderna. Tercero, las dos formas en que la electricidad se mueve: la corriente directa (como la de las pilas) y la corriente alterna (como la de los contactos de tu casa), y por qué cada una tiene su lugar.

Tómate esta unidad con calma. Todo lo que sigue en el libro -la Ley de Ohm, los componentes, los circuitos digitales- descansa sobre estas ideas. Si al terminar esta unidad puedes explicarle a alguien, con tus propias palabras, qué es un electrón libre y qué diferencia hay entre corriente directa y alterna, vas por excelente camino.

Explicación detallada

El átomo: la fábrica de la electricidad

Toda la materia que conoces -el aire, el agua, tu cuerpo, el cobre de los cables- está hecha de átomos. Un átomo tiene un núcleo central (con protones de carga positiva y neutrones sin carga) y electrones de carga negativa que giran alrededor del núcleo, como planetas alrededor del sol.

Lo importante para la electrónica es esto: los electrones de las órbitas más externas, llamados electrones de valencia, pueden soltarse de su átomo y moverse libremente entre átomos vecinos. Esos son los electrones libres, y son los protagonistas de toda la electrónica. La electricidad no es otra cosa que el movimiento ordenado de electrones libres a través de un material.

Piensa en una analogía: imagina un tubo largo lleno de canicas, apretadas unas contra otras. Si empujas una canica por un extremo, casi al instante sale una canica por el otro extremo, aunque ninguna canica individual haya recorrido todo el tubo. Los electrones en un cable se comportan de forma parecida: cuando conectas una pila, los electrones empiezan a moverse y el efecto se transmite rapidísimo por todo el cable, aunque cada electrón individual avance despacio. Por eso el foco enciende al instante cuando accionas el interruptor: la señal viaja casi a la velocidad de la luz, aunque los electrones caminen a paso de tortuga.

La cantidad de electrones de valencia determina el comportamiento eléctrico del material. Los metales como el cobre, el aluminio y el oro tienen electrones de valencia sueltos, fáciles de liberar: son excelentes conductores. Los materiales como el plástico, la madera seca, el vidrio y la cerámica sujetan fuerte a sus electrones: son aislantes. Y en medio están los semiconductores, como el silicio y el germanio, cuyo comportamiento se puede controlar: a veces conducen y a veces no. Esa capacidad de controlar la conducción es la base de todos los transistores, microchips y computadoras del mundo.

Carga eléctrica: la moneda de cambio

La carga eléctrica se mide en coulombs. Un electrón tiene una carga negativa muy pequeña, así que un coulomb equivale a la carga de aproximadamente 6,240,000,000,000,000 electrones (6.24 por 10 a la 18). No necesitas memorizar ese número; lo importante es la idea: la carga es la "cantidad de electricidad" acumulada o en movimiento.

Hay dos reglas básicas de la carga que debes grabar: las cargas iguales se repelen y las cargas opuestas se atraen. Esa es la fuerza que mueve todo en electrónica. Y la carga no se crea ni se destruye, solo se mueve de un lugar a otro: esto se llama conservación de la carga y es la base de una de las leyes más importantes que verás en la Unidad 7.

Corriente directa y corriente alterna

Cuando los electrones se mueven siempre en la misma dirección, hablamos de corriente directa (CD o DC en inglés). Las pilas, las baterías y los cargadores USB entregan corriente directa. Es la corriente con la que trabajarás en el 90 por ciento de este libro: predecible, estable y segura en bajo voltaje.

Cuando los electrones cambian de dirección una y otra vez, hablamos de corriente alterna (CA o AC). Es la que sale de los contactos de tu casa. En México y América la corriente alterna oscila 60 veces por segundo (60 hertz); en Europa, 50 veces por segundo. La corriente alterna se usa para distribuir energía a grandes distancias porque es fácil subir y bajar su voltaje con transformadores, lo que reduce las pérdidas en los cables de transmisión.

La diferencia práctica para ti: los circuitos electrónicos que vas a construir funcionan con corriente directa. Los aparatos que se conectan a la pared usan corriente alterna (y adentro la convierten a directa con una fuente de poder). Nunca mezcles los dos mundos sin saber exactamente lo que haces.

Voltaje: la presión que empuja

El voltaje es la "presión eléctrica" que empuja a los electrones a moverse. Se mide en volts. Una pila AA tiene 1.5 volts; una pila cuadrada de 9 volts tiene, obviamente, 9 volts; el contacto de tu casa tiene 110 o 220 volts según el país.

Analogía del agua: imagina dos tinacos de agua conectados por un tubo, uno lleno y otro vacío. La diferencia de nivel entre los dos tinacos es como el voltaje: mientras mayor sea la diferencia, con más fuerza fluye el agua por el tubo. El flujo de agua es como la corriente eléctrica. Y si el tubo es muy angosto, ofrece resistencia al flujo, igual que una resistencia eléctrica limita la corriente.

Un detalle crucial: el voltaje siempre se mide ENTRE dos puntos. No existe "el voltaje de un cable" en abstracto; existe el voltaje entre el cable rojo y el cable negro, o entre un punto del circuito y la tierra (el punto de referencia que definimos como cero volts). Cuando el multímetro mide voltaje, sus dos puntas están comparando dos puntos. Grábate esto porque es uno de los errores más comunes de principiantes: poner una sola punta y esperar una lectura.

Conductores, semiconductores y aislantes en la práctica

En tu mesa de trabajo vas a convivir con los tres tipos de materiales todos los días:

Los conductores (cobre, estaño de soldadura, las pistas del protoboard) son los caminos por donde viaja la corriente. Los cables de tus circuitos son de cobre recubierto de plástico: el cobre conduce y el plástico aísla para que no hagas cortocircuitos accidentales al tocar dos cables.

Los aislantes (plástico, cinta de aislar, la baquelita del protoboard) separan los caminos de corriente para que cada electrón vaya por donde debe ir. La cinta de aislar no es decoración: evita que dos cables pelados se toquen y provoquen un corto.

Los semiconductores (silicio en diodos, transistores y chips) son los componentes inteligentes. Su magia está en que su conductividad se puede controlar con pequeñas señales eléctricas, dopando el silicio con impurezas para crear regiones tipo N (con electrones extra) y tipo P (con "huecos" que se comportan como cargas positivas). La unión entre una región N y una P es la base del diodo, y de ahí se construye todo lo demás. No necesitas dominar la física cuántica del dopado ahora; en la Unidad 5 lo veremos a nivel práctico.

Ejemplos paso a paso

Ejemplo 1: Contar electrones en una corriente pequeña

Supón que por un cable circula una carga total de 2 coulombs en un segundo. ¿Cuántos electrones pasaron por un punto del cable en ese segundo?

Datos:

- Carga total: 2 coulombs
- 1 coulomb = 6.24×10^{18} electrones

Cálculo:

$$\text{Electrones} = 2 \times 6.24 \times 10^{18}$$

$$\text{Electrones} = 12.48 \times 10^{18}$$

$$\text{Electrones} = 1.248 \times 10^{19} \text{ electrones}$$

Respuesta: pasaron aproximadamente 1.248×10^{19} electrones, es decir, más de 12 trillones de electrones en un segundo.

Este ejemplo te muestra por qué en electrónica no contamos electrones uno por uno: son cantidades astronómicas. Por eso usamos unidades agregadas como el coulomb y el ampere, que verás en la Unidad 2.

Ejemplo 2: La analogía del agua aplicada

Tienes dos circuitos: el circuito A alimentado con una pila de 9 volts y el circuito B alimentado con una pila de 1.5 volts. Ambos tienen la misma resistencia. ¿En cuál fluye más corriente y por qué?

Razonamiento con la analogía del agua:

- Voltaje = diferencia de nivel entre tinacos (presión).
- Circuito A: "tinaco" de 9 volts de altura.
- Circuito B: "tinaco" de 1.5 volts de altura.
- Misma resistencia = tubo del mismo grosor en ambos.

Conclusión: en el circuito A hay más presión empujando, así que fluye más corriente. La relación es directa: a más voltaje (con la misma resistencia), más corriente.

Esta intuición es exactamente lo que la Ley de Ohm expresa con matemáticas en la Unidad 3. Si la analogía ya te hace sentido, la fórmula te va a parecer obvia.

Ejemplo 3: Identificar materiales en tu mesa de trabajo

Clasifica estos objetos como conductor, semiconductor o aislante: un cable de cobre pelado, el cuerpo plástico de un protoboard, un diodo LED, una pista de estaño en una tarjeta, la cinta de aislar, un transistor.

- Cable de cobre pelado: CONDUCTOR (cobre, electrones libres).
- Cuerpo plástico del protoboard: AISLANTE (separa las pistas).
- Diodo LED: SEMICONDUCTOR (silicio dopado, controla la conducción y además emite luz).
- Pista de estaño: CONDUCTOR (metal).
- Cinta de aislar: AISLANTE (plástico, evita cortos).
- Transistor: SEMICONDUCTOR (silicio, su conducción se controla con una señal pequeña).

Fíjate cómo en un solo protoboard conviven los tres tipos de materiales, cada uno haciendo su trabajo: conducir, aislar o controlar.

Ejemplo 4: Corriente directa contra corriente alterna en tu casa

Identifica qué aparatos de tu casa usan corriente directa internamente y cuáles usan corriente alterna directamente:

Usan CORRIENTE ALTERNA directamente:

- El foco incandescente del techo (se conecta directo al contacto).
- El motor de la licuadora o del ventilador (en modelos simples).
- El calefactor eléctrico.

Usan CORRIENTE DIRECTA internamente (llevan una fuente que convierte la alterna de la pared a directa):

- El celular (su cargador entrega 5 volts de directa).
- La laptop (su eliminador entrega 19 volts de directa).
- La televisión y el módem de internet.
- Todos los circuitos con chips, LEDs y microcontroladores.

Regla práctica: si el aparato tiene electrónica "inteligente" (chips, pantallas, LEDs, WiFi), por dentro trabaja con corriente directa de bajo voltaje.

Práctica

Resuelve estos ejercicios. Intenta cada uno antes de ver la solución.

Ejercicio 1

Explica con tus palabras qué es un electrón libre y por qué es importante en electrónica.

SOLUCIÓN: Un electrón libre es un electrón de las órbitas externas del átomo que se ha soltado y puede moverse entre átomos. Es importante porque la corriente eléctrica no es otra cosa que el movimiento ordenado de electrones libres a través de un material. Sin electrones libres no hay conducción: los aislantes sujetan fuerte a sus electrones y por eso no conducen.

Ejercicio 2

¿Por qué el foco enciende al instante cuando accionas el interruptor, si los electrones individuales se mueven despacio?

SOLUCIÓN: Por la analogía del tubo lleno de canicas: al empujar por un extremo, el efecto se transmite casi de inmediato por todo el tubo aunque cada canica avance poco. En el cable, la señal eléctrica (el campo que empuja a los electrones) viaja casi a la velocidad de la luz, así que todos los electrones del circuito empiezan a moverse prácticamente al mismo tiempo.

Ejercicio 3

Clasifica: el silicio puro, el silicio dopado de un transistor, el cobre y el vidrio.

SOLUCIÓN: El cobre es conductor. El vidrio es aislante. El silicio puro es un semiconductor pobre (casi aislante a temperatura ambiente), y el silicio dopado de un transistor es un semiconductor funcional: su conductividad fue modificada a propósito con impurezas para poder controlarla.

Ejercicio 4

Un circuito funciona con 2 pilas AA en serie. ¿Qué tipo de corriente entrega y cuál es su voltaje total aproximado?

SOLUCIÓN: Las pilas entregan corriente directa. Cada pila AA da 1.5 volts, y en serie los voltajes se suman: $1.5 + 1.5 = 3$ volts de corriente directa.

Ejercicio 5

¿Por qué no debes abrir un aparato que está conectado a la pared, aunque "solo vayas a mirar"?

SOLUCIÓN: Porque adentro hay 110 o 220 volts de corriente alterna, que pueden causar una electrocución mortal. Además, algunos componentes (como capacitores grandes en fuentes de poder) pueden guardar carga aunque el aparato esté apagado. La regla de oro: nunca trabajes con voltaje de la pared; solo con circuitos de bajo voltaje (pilas y fuentes de laboratorio).

Ejercicio 6

Da dos ejemplos de semiconductores que verás en este libro y explica brevemente qué hace cada uno.

SOLUCIÓN: El diodo LED: es un semiconductor que permite el paso de corriente en un solo sentido y emite luz al hacerlo. El transistor: es un semiconductor que funciona como interruptor o amplificador controlado por una señal pequeña; con transistores se construyen las compuertas lógicas y los microchips.

Resumen de la unidad

En esta unidad aprendiste que la electricidad es el movimiento ordenado de electrones libres, los electrones de las órbitas externas que pueden soltarse de sus átomos. Conociste los tres tipos de materiales: conductores (cobre, dejan pasar electrones), aislantes (plástico, los bloquean) y semiconductores (silicio, su conducción se puede controlar y son la base de toda la electrónica moderna). Viste que la carga se mide en coulombs, que las cargas iguales se repelen y las opuestas se atraen, y que la carga se conserva. Aprendiste la diferencia entre corriente directa (electrones en una sola dirección, como las pilas) y corriente alterna (electrones que cambian de dirección, como la de tu casa), y que el voltaje es la presión eléctrica que empuja a los electrones, medida en volts siempre entre dos puntos. Finalmente, memorizaste las cinco reglas de oro de la seguridad y la regla más importante de todas: en este libro solo trabajamos con bajo voltaje; la corriente de la pared es territorio prohibido para principiantes.

Profundizando: el átomo y los electrones

El modelo atómico que necesita un técnico en electrónica

No necesitas ser físico nuclear para trabajar en electrónica, pero sí te conviene tener un modelo mental sólido del átomo. El modelo más útil para nosotros es el modelo de Bohr mejorado: un núcleo denso con protones (carga positiva) y neutrones (sin carga), rodeado de electrones (carga negativa) organizados en capas o niveles de energía.

Cada capa puede contener un número máximo de electrones: la primera capa hasta 2, la segunda hasta 8, la tercera hasta 18. Los átomos "quieren" tener sus capas externas llenas, porque eso los hace estables. Esa búsqueda de estabilidad explica casi toda la química y, de paso, la conductividad eléctrica.

El cobre tiene 29 electrones. Sus capas se llenan así: 2 en la primera, 8 en la segunda, 18 en la tercera y 1 solito en la cuarta capa externa. Ese electrón solitario está lejos del núcleo, débilmente atraído, y se suelta con facilidad. Por eso el cobre es tan buen conductor: cada átomo de cobre aporta prácticamente un electrón libre al "mar de electrones" que flota entre los átomos del metal.

El aluminio tiene 3 electrones de valencia y también conduce bien (por eso se usa en líneas de transmisión de alta tensión: es más ligero y barato que el cobre, aunque conduce un poco menos). La plata es el mejor conductor de todos, pero es cara; se usa en contactos de relevadores y en aplicaciones especiales. El oro no se oxida, así que se usa para recubrir conectores: un conector dorado hace mejor contacto durante años.

Del otro lado, el cloro tiene 7 electrones de valencia y el sodio tiene 1. Cuando se juntan, el sodio le regala su electrón al cloro, ambos quedan con capas llenas y forman sal de mesa. Los materiales aislantes como el plástico están hechos de moléculas donde todos los electrones están cómodamente "casados" en enlaces fuertes; no hay electrones sueltos disponibles para moverse, así que no hay conducción.

El mar de electrones: por qué los metales conducen

Imagina los átomos de cobre como canicas fijas en una red ordenada (eso es un cristal metálico), y entre ellas un "mar" de electrones libres que se mueven en todas direcciones al azar, como abejas enojadas dentro de una caja. Sin voltaje aplicado, el movimiento es caótico y no hay corriente neta: tantas abejas van a la izquierda como a la derecha.

Cuando conectas una pila, aplicas un campo eléctrico que empuja suavemente a todo el mar en una dirección. El movimiento caótico sigue ahí, pero ahora tiene una "deriva" promedio en una dirección: esa deriva ordenada ES la corriente eléctrica. La velocidad de deriva es sorprendentemente lenta (fracciones de milímetro por segundo), pero como hay billones de electrones moviéndose a la vez, la corriente total es considerable.

Esta imagen explica dos cosas importantes. Primera: por qué los cables se calientan. Los electrones chocan constantemente con los átomos fijos de la red, y cada choque transfiere energía que se convierte en calor. Esa es la resistencia eléctrica a nivel microscópico: los choques. Segunda: por qué la señal viaja rápido aunque los electrones vayan lento. El campo eléctrico se propaga por el cable casi a la velocidad de la luz, empujando a todos los electrones a la vez, como la fila de canicas del tubo.

Semiconductores: el punto medio mágico

El silicio tiene 4 electrones de valencia. En un cristal de silicio puro, cada átomo comparte sus 4 electrones con 4 vecinos, formando enlaces completos y estables. Casi no hay electrones libres: el silicio puro es mal conductor a temperatura ambiente (un semiconductor intrínseco).

La magia ocurre con el dopado: se introducen a propósito pequeñas cantidades de impurezas. Si dopas el silicio con fósforo (que tiene 5 electrones de valencia), cada átomo de fósforo

aporta un electrón extra que queda suelto: tienes un semiconductor tipo N (N de negativo, porque los portadores de carga son electrones). Si lo dopas con boro (3 electrones de valencia), falta un electrón en cada enlace, creando un "hueco": tienes un semiconductor tipo P (P de positivo, porque los huecos se comportan como cargas positivas móviles).

Un hueco merece una explicación porque es un concepto raro: imagina una fila de sillas ocupadas donde falta una persona en medio. Si todos se recorren un lugar hacia el hueco, el hueco "se mueve" en dirección contraria. En el cristal, cuando un electrón salta a llenar un hueco vecino, el hueco aparece donde estaba el electrón. El resultado neto es que el hueco se mueve como si fuera una partícula positiva. No es poesía: los ingenieros calculan corrientes de huecos todos los días y los circuitos funcionan.

Cuando unes un material tipo P con uno tipo N, formas una unión PN, la estructura más importante de la electrónica. En la frontera, los electrones del lado N se difunden hacia el lado P y llenan huecos, creando una zona sin portadores libres llamada zona de agotamiento. Esa zona actúa como una barrera que la corriente solo puede cruzar en una dirección: ¡acabas de inventar el diodo! En la Unidad 5 veremos los diodos en detalle, pero ya tienes la base física.

Electricidad estática: la prima salvaje de la corriente

Antes de seguir, hablemos de la electricidad estática, porque te vas a topar con ella y puede dañar componentes. Cuando frotas un globo en tu cabello, arrancas electrones de un material y los pasas a otro: un objeto queda con exceso de electrones (carga negativa) y el otro con falta de ellos (carga positiva). Esa carga acumulada que no se mueve es la electricidad estática.

La estática se vuelve peligrosa para la electrónica cuando se descarga de golpe: el chispazo que sientes al tocar la manija de un auto en día seco puede ser de miles de volts, aunque dure una millonésima de segundo y no te haga daño. Pero un chip sensible (como un microcontrolador o un MOSFET) sí puede dañarse con esa descarga. Por eso en talleres profesionales usan pulseras antiestáticas conectadas a tierra, tapetes disipativos y bolsas antiestáticas para guardar componentes. Para tus prácticas de este libro basta con una precaución simple: antes de tocar un chip o un transistor MOSFET, toca algo metálico grande conectado a tierra (como la carcasa de tu computadora de escritorio) para descargar la estática de tu cuerpo, y evita trabajar sobre alfombras en días muy secos.

La diferencia clave: la electricidad estática es carga acumulada sin circular; la corriente eléctrica es carga en movimiento continuo por un circuito cerrado. Este libro trata de la segunda, pero respeta a la primera.

La corriente necesita un circuito cerrado

Una idea que parece obvia pero causa la mitad de los errores de principiantes: la corriente solo fluye en un circuito cerrado, es decir, en un camino continuo que sale de la fuente y regresa a la fuente. Si el camino está interrumpido en cualquier punto (un cable suelto, un interruptor abierto), no hay corriente en ninguna parte del circuito.

Piensa en una pista de carreras circular: los autos (electrones) dan vueltas y vueltas. Si quitas un tramo de la pista, todos los autos se detienen, no solo los que están cerca del hueco. Igual pasa en tu circuito: un solo cable mal conectado detiene toda la corriente.

Esto también explica por qué los pájaros pueden pararse en un cable de alta tensión sin electrocutarse: están tocando un solo punto del circuito, no hay camino cerrado a través de su cuerpo hacia otro potencial. La corriente necesita entrar Y salir. (No lo intentes con cables de tu casa de todos modos.)

De dónde sale el voltaje: las fuentes

El voltaje no aparece por arte de magia; lo produce una fuente que separa cargas usando alguna forma de energía. Las pilas usan energía química: dentro de una pila hay dos materiales distintos sumergidos en un electrolito, y la reacción química empuja electrones de un terminal al otro, creando la diferencia de potencial. Cuando conectas un circuito, los electrones fluyen y la reacción continúa hasta que se agotan los químicos: la pila "se acaba".

Los paneles solares usan energía luminosa: los fotones arrancan electrones en el silicio y los separan, generando voltaje. Los generadores de las plantas eléctricas usan energía mecánica: una turbina gira imanes dentro de bobinas y el magnetismo en movimiento empuja electrones (inducción electromagnética). Tu cargador de celular toma la corriente alterna de la pared y la convierte a directa con un circuito electrónico.

Para tus prácticas usarás pilas (1.5, 9 volts), baterías recargables y fuentes de laboratorio que te dan voltaje ajustable y limitado en corriente. La fuente de laboratorio es la herramienta ideal para aprender: si cometes un error y provocas un corto, su protección limita la corriente y evita daños, mientras que una pila grande podría calentarse peligrosamente.

Profundizando: el voltaje y las dos corrientes

El voltaje siempre es una comparación

Repitamos la idea más importante sobre el voltaje porque vale oro: el voltaje siempre se mide ENTRE dos puntos. Decir "este cable tiene 5 volts" es una forma corta de decir "entre este cable y el punto de referencia (tierra) hay 5 volts". Sin el segundo punto, la frase no tiene sentido físico.

El punto de referencia se llama tierra o GND (ground). En tus circuitos con pila, el terminal negativo de la pila suele definirse como tierra: 0 volts. Todo lo demás se mide respecto a ese punto. El terminal positivo de una pila de 9 volts está entonces a 9 volts respecto a tierra.

Esto tiene una consecuencia práctica que confunde a muchos principiantes: si tomas dos pilas de 9 volts separadas, sin conectarlas entre sí, no hay un voltaje definido entre el positivo de una y el negativo de la otra. Cada pila tiene 9 volts ENTRE SUS PROPIOS terminales, pero entre pilas aisladas no hay referencia común. En el momento en que conectas un cable entre un terminal de cada pila, estableces la referencia y ya puedes medir. Este detalle será crucial cuando alimentes circuitos con varias fuentes.

Voltajes típicos que debes memorizar

En electrónica de bajo voltaje hay un puñado de valores estándar que verás una y otra vez. Memorízalos porque te ahorrarán tiempo toda la vida:

VOLTAJES COMUNES EN ELECTRONICA

- 1.5 V - Una pila AA o AAA (alcalina nueva).
- 3.0 V - Dos pilas AA en serie; también pilas de reloj CR2032.
- 3.3 V - Voltaje estándar de muchos microcontroladores y sensores modernos (ESP32, Raspberry Pi).
- 5.0 V - Voltaje USB; el clásico de Arduino y lógica TTL.
- 9.0 V - Pila cuadrada; muy usada en prácticas y pedales.
- 12.0 V - Batería de auto; tiras de LED; motores pequeños.
- 110/220 V - Contacto de pared (corriente alterna). PROHIBIDO en tus prácticas: solo personal capacitado.

Fíjate en el 3.3 y el 5: muchos chips modernos trabajan a 3.3 volts y se DAÑAN si les metes 5 volts en sus pines de entrada. Cuando conectes un sensor a un microcontrolador, verifica siempre que los voltajes sean compatibles. Un regulador de voltaje o un convertidor de nivel lógico resuelve el problema; los veremos más adelante.

Fuentes ideales contra fuentes reales

En los cálculos de este libro a veces supondremos una "fuente ideal": una pila que siempre entrega exactamente su voltaje, sin importar cuánta corriente le pidas. Las fuentes reales no son así: tienen una resistencia interna pequeña que hace que el voltaje CAIGA cuando pides mucha corriente.

Ejemplo: una pila de 9 volts nueva mide 9.4 volts sin carga. Si le conectas un circuito que pide mucha corriente, el voltaje puede bajar a 8.5 o menos. Por eso un juguete con pilas gastadas se mueve lento: las pilas agotadas tienen alta resistencia interna y su voltaje se desploma bajo carga. Cuando midas una pila con el multímetro sin nada conectado y marque bien, pero el circuito no funcione, prueba medir el voltaje CON el circuito conectado: si se cae mucho, la pila ya no sirve aunque "marque bien" en vacío.

Las fuentes de laboratorio reguladas mantienen su voltaje estable hasta su límite de corriente, y luego entran en protección. Son la mejor herramienta para aprender porque se comportan de forma predecible.

La corriente alterna en detalle

La corriente alterna de tu casa no es un flujo constante: es una onda senoidal que sube y baja 60 veces por segundo (en América). Matemáticamente se describe así:

$$v(t) = V_{\text{pico}} \times \sin(2 \times \pi \times f \times t)$$

Donde:

- $v(t)$ es el voltaje en el instante t .
- V_{pico} es el valor máximo de la onda.
- f es la frecuencia en hertz (60 Hz en América).
- t es el tiempo en segundos.

El periodo (T) es el tiempo que dura un ciclo completo: $T = 1 / f$. Para 60 Hz, $T = 1/60 = 0.0167$ segundos, o 16.7 milisegundos. En cada ciclo, la corriente fluye en una dirección durante medio ciclo y en la contraria durante el otro medio.

Cuando decimos que el contacto da "110 volts", hablamos del valor RMS (raíz cuadrada del promedio de los cuadrados), que es el valor equivalente en potencia a 110 volts de corriente directa. El valor pico real de la onda es mayor: $V_{\text{pico}} = V_{\text{rms}} \times 1.414$, así que 110 volts RMS tienen un pico de aproximadamente 155 volts. Por eso la corriente de la pared es tan peligrosa: en el pico de la onda hay más de 150 volts empujando.

¿Por qué usamos alterna para distribuir energía? Porque con transformadores es facilísimo subir el voltaje a miles de volts para transmitir por cables largos (a más voltaje, menos corriente para la misma potencia, y menos corriente significa menos pérdidas por calentamiento) y luego bajarlo a 110/220 para tu casa. Con corriente directa, cambiar el voltaje eficientemente era muy difícil hasta la llegada de la electrónica moderna.

Frecuencia y periodo: el latido de la señal

La frecuencia (f) se mide en hertz (Hz) y cuenta cuántos ciclos ocurren por segundo. El periodo (T) es la duración de un ciclo: $T = 1/f$. Son inversos: a más frecuencia, ciclos más cortos.

Ejemplos de frecuencias:

- 60 Hz: corriente de la pared en América ($T = 16.7$ ms).
- 50 Hz: corriente de la pared en Europa ($T = 20$ ms).
- 440 Hz: la nota musical LA (la afinación de instrumentos).
- 20,000 Hz: límite aproximado del oído humano ($T = 50$ us).
- 2,400,000,000 Hz (2.4 GHz): WiFi ($T = 0.42$ nanosegundos).

En electrónica digital trabajarás con señales cuadradas (no senoidales) que cambian entre 0 y 5 volts (o 3.3) miles o millones de veces por segundo: cada cambio es un bit de información. Un Arduino típico corre a 16 MHz: 16 millones de ciclos por segundo. Esas frecuencias altas traen sus propios retos (interferencia, diseño de pistas), pero para tus primeros circuitos con compuertas lógicas y microcontroladores no tendrás que preocuparte por eso.

Resumen de analogías: el agua, otra vez

Cerremos con la analogía completa del agua, porque la usarás mentalmente durante todo el libro:

ANALOGIA HIDRAULICA DE LA ELECTRICIDAD

- Voltaje (volts) = presión del agua / diferencia de niveles.
- Corriente (amperes) = caudal: litros por segundo que fluyen.
- Resistencia (ohms) = estrechez del tubo: cuánto frena el flujo.
- Pila/batería = bomba que mantiene la presión.
- Interruptor = válvula que abre o cierra el paso.
- Cable = tubo ancho (casi sin resistencia).
- Cortocircuito = tubo gigante directo de la bomba: caudal enorme, la bomba se sobrecarga.
- Circuito abierto = válvula cerrada: presión existe, pero no fluye nada.

Con esta imagen en la cabeza, la Ley de Ohm de la Unidad 3 te va a parecer de sentido común: a más presión (voltaje) fluye más agua (corriente), y con un tubo más angosto (resistencia) fluye menos. La fórmula solo pone números a lo que tu intuición ya sabe.

Más ejemplos paso a paso

Ejemplo 5: Periodo de la corriente de la pared

Calcula el periodo de la corriente alterna en América (60 Hz) y en Europa (50 Hz).

Fórmula: $T = 1 / f$

América: $T = 1 / 60 = 0.01667$ segundos = 16.67 milisegundos.

Europa: $T = 1 / 50 = 0.02$ segundos = 20 milisegundos.

Interpretación: en América la onda completa su ciclo un poco más rápido (16.67 ms contra 20 ms). Por eso algunos aparatos diseñados para 60 Hz zumban distinto o se calientan si los conectas a 50 Hz sin adaptador adecuado.

Ejemplo 6: Valor pico de 220 volts RMS

En muchos países el contacto entrega 220 volts RMS. ¿Cuál es el voltaje pico de la onda?

Fórmula: $V_{pico} = V_{rms} \times 1.414$

$V_{pico} = 220 \times 1.414 = 311.08$ volts.

Respuesta: el pico de la onda llega a unos 311 volts.
Por eso el aislamiento de los cables domésticos está diseñado con amplio margen de seguridad.

Ejemplo 7: Voltaje entre puntos con varias pilas

Tienes dos pilas de 9 volts. Conectas el negativo de la pila A con el positivo de la pila B con un cable (quedan en serie). Tomas como tierra (0 V) el punto de unión. ¿Qué voltaje hay en el terminal libre de cada pila respecto a tierra?

Dibujo mental:

(+) Pila A (-) --- (+) Pila B (-)

|

Tierra (0 V)

- El terminal libre de la pila A está 9 volts ARRIBA de la unión: +9 V respecto a tierra.
- El terminal libre de la pila B está 9 volts ABAJO de la unión: -9 V respecto a tierra.
- Entre los dos terminales libres hay 18 volts totales.

Este arreglo se llama fuente simétrica (+9, 0, -9) y se usa en audio y en amplificadores operacionales.

Ejemplo 8: Resistencia interna de una pila gastada

Una pila de 9 volts nueva mide 9.4 V en vacío. Conectas un circuito que consume corriente y el voltaje cae a 8.1 V. Otra pila (gastada) mide 8.9 V en vacío, pero con el mismo circuito cae a 5.2 V. ¿Cuál pila está en peor estado y por qué?

Análisis:

- Pila nueva: caída de 9.4 a 8.1 = 1.3 V de caída bajo carga.
- Pila gastada: caída de 8.9 a 5.2 = 3.7 V de caída bajo carga.

La pila gastada pierde casi 3 veces más voltaje bajo la misma carga: su resistencia interna es mucho mayor. Conclusión: medir una pila en vacío engaña; la prueba real es medirla bajo carga. Si el voltaje se desploma, la pila ya no sirve.

Errores comunes de principiantes (y cómo evitarlos)

1. Medir voltaje con una sola punta del multímetro. El voltaje es una comparación entre dos puntos: siempre usa las dos puntas, una en cada punto que quieres comparar.
2. Confundir corriente directa con alterna al elegir componentes. Un capacitor electrolítico tiene polaridad y explota (literalmente) si lo conectas a corriente alterna o al revés en directa. Verifica siempre el tipo de corriente.
3. Pensar que "la pila se acaba porque se le acaba el voltaje". Lo que se agota es la capacidad química: la resistencia interna sube y el voltaje se cae bajo carga. Una pila "muerta" aún puede marcar voltaje decente en vacío.

4. Creer que los electrones viajan a la velocidad de la luz por el cable. Lo que viaja rapidísimo es la señal (el campo); los electrones derivan despacio. No afecta tus circuitos, pero entenderlo evita confusiones.
5. Tocar componentes sensibles sin descargarse de estática. Acostúmbrate a tocar una superficie metálica grande antes de manipular chips y transistores.
6. Trabajar sobre la cama o la alfombra. Además de la estática, un cortocircuito sobre tela es riesgo de incendio. Usa siempre una mesa despejada, no inflamable.

Glosario de la unidad

- Átomo: unidad básica de la materia; núcleo con protones y neutrones, electrones alrededor.
- Electrón libre: electrón de valencia que puede moverse entre átomos; protagonista de la corriente.
- Carga eléctrica: propiedad que hace que las partículas se atraigan o repelan; se mide en coulombs.
- Coulomb: unidad de carga; equivale a 6.24×10^{18} electrones.
- Corriente directa (CD): flujo de electrones en una sola dirección (pilas, baterías).
- Corriente alterna (CA): flujo que cambia de dirección periódicamente (contactos de pared).
- Voltaje: presión eléctrica entre dos puntos; se mide en volts.
- Tierra (GND): punto de referencia definido como 0 volts en un circuito.
- Conductor: material con electrones libres (cobre, aluminio).
- Aislante: material que bloquea el movimiento de electrones (plástico, vidrio).
- Semiconductor: material de conductividad controlable (silicio); base de diodos y transistores.
- Dopado: agregar impurezas al silicio para crear semiconductores tipo N o tipo P.
- Unión PN: frontera entre semiconductor P y N; base del diodo.
- Frecuencia: ciclos por segundo de una señal; se mide en hertz.
- Periodo: duración de un ciclo; $T = 1/f$.
- Valor RMS: valor equivalente en potencia de una señal alterna.
- Resistencia interna: oposición propia de una fuente real; hace caer el voltaje bajo carga.

- Cortocircuito: conexión directa entre terminales de una fuente; peligroso.
- Circuito cerrado: camino continuo de la fuente de regreso a la fuente; requisito para que fluya corriente.

Mini-proyecto de la unidad: detective de materiales

Recorre tu casa con esta lista y clasifica 10 objetos según su material eléctrico dominante (conductor, aislante o semiconductor), explicando por qué:

1. Un cable de los audífonos (por fuera y por dentro).
2. La carcasa de tu celular.
3. Una cuchara de metal.
4. Un vaso de vidrio.
5. El control remoto (¿dónde está el semiconductor?).
6. Una pila AA.
7. Un foco LED.
8. La cinta de aislar del cajón de herramientas.
9. Una moneda.
10. El cargador del celular (¿qué tipo de corriente entra y cuál sale?).

Escribe tus respuestas en una libreta. Si puedes explicar cada una usando los conceptos de esta unidad (electrones libres, voltaje, directa contra alterna), dominas la unidad.

Ampliación: historia de la electricidad y la electrónica

De la rana de Galvani a tu celular

La electricidad no se inventó: se descubrió, y su historia es una de las más fascinantes de la ciencia. En 1780, Luigi Galvani notó que las patas de una rana muerta se contraían al tocarlas con dos metales distintos. Creyó haber descubierto la "electricidad animal". Su rival, Alessandro Volta, demostró que la electricidad venía de los metales mismos, y en 1800 construyó la primera pila: discos de zinc y cobre alternados con cartón empapado en agua salada. La "pila voltaica" producía corriente continua de forma sostenida por primera vez en la historia. Por eso el volt lleva su nombre.

En 1820, Hans Christian Oersted descubrió que una corriente eléctrica desvía una brújula: la electricidad crea magnetismo. Semanas después, André-Marie Ampère formuló las leyes matemáticas del electromagnetismo. En 1827, Georg Ohm publicó su ley ($V = I \times R$), que los físicos de su época recibieron con escepticismo: hoy es la base de todo. En 1831, Michael Faraday descubrió la inducción electromagnética: moviendo un imán dentro de una bobina se genera corriente. Sin Faraday no habría generadores ni transformadores.

La era moderna empezó con la "guerra de las corrientes" (1880s-1890s): Thomas Edison defendía la corriente directa y Nikola Tesla (con George Westinghouse) la corriente alterna. Ganó la alterna por su facilidad para transmitirse a largas distancias con transformadores. Edison, despechado, electrocutaba animales públicamente para "demostrar" el peligro de la alterna. La historia la cuenta como uno de los episodios más oscuros de la rivalidad científica.

En 1904, John Ambrose Fleming inventó el diodo de vacío (válvula termoiónica); en 1906, Lee De Forest agregó la rejilla e inventó el triodo: el primer AMPLIFICADOR electrónico. Con válvulas se construyeron la radio, el radar y las primeras computadoras (la ENIAC de 1946 usaba 17,468 válvulas, pesaba 27 toneladas y fallaba cada pocas horas porque se fundían).

En 1947, en los Laboratorios Bell, Bardeen, Brattain y Shockley inventaron el TRANSISTOR: pequeño, frío, confiable. Ganaron el Nobel en 1956. En 1958, Jack Kilby (Texas Instruments) y Robert Noyce (Fairchild, fundador de Intel) inventaron el CIRCUITO INTEGRADO: varios transistores en un solo chip. En 1971, Intel lanzó el 4004: 2,300 transistores. Hoy un procesador tiene más de 100,000 millones. Tu celular tiene más poder de cómputo que toda la NASA que llevó al hombre a la Luna en 1969.

¿Por qué importa esta historia? Porque cada concepto de este libro tiene un rostro humano detrás, y porque entender que la electrónica tiene menos de 100 años como disciplina te muestra qué tan joven y viva está: lo que aprendas hoy es la base de lo que se inventará mañana.

La electrónica en tu vida diaria: un recorrido

Haz este recorrido mental por tu casa contando electrónica: el despertador (microcontrolador + display), el celular (miles de millones de transistores), el módem WiFi (radiofrecuencia + procesador), la pantalla (millones de LEDs o cristales líquidos direccionados por transistores), el refrigerador (termostato electrónico + compresor con motor), el microondas (magnetron + temporizador digital), el auto (decenas de microcontroladores: inyección, ABS, bolsas de aire), el medidor de luz (smart meter con comunicación). Una casa moderna tiene cientos de microcontroladores funcionando sin que lo notes.

Sectores completos dependen de la electrónica: medicina (marcapasos, resonancias, monitores), agricultura (sensores de humedad, riego automatizado), energía (inversores solares, red inteligente), transporte, comunicaciones, entretenimiento. Aprender electrónica es aprender una habilidad con demanda en todos esos sectores.

Los grandes hitos que debes conocer

LÍNEA DEL TIEMPO ESENCIAL

1800 - Volta inventa la pila (corriente directa continua).
1827 - Ohm publica $V = I \times R$.
1831 - Faraday descubre la inducción electromagnética.
1879 - Edison patenta el foco incandescente práctico.
1888 - Tesla patenta el motor de corriente alterna.
1906 - De Forest inventa el triodo (amplificación).
1947 - Se inventa el transistor (Bell Labs).
1958 - Se inventa el circuito integrado.
1969 - El hombre llega a la Luna con computadoras de válvulas y transistores discretos.
1971 - Intel 4004: primer microprocesador comercial.
1976 - Apple I; nace la computadora personal.
2005 - Arduino: la electrónica se vuelve accesible a todos.
2007 - iPhone: la computadora en el bolsillo se masifica.
Hoy - IA, IoT, 5G: todo construido sobre transistores.

Ampliación: más ejemplos numéricos de fundamentos

Ejemplo 9: Energía de una pila AA

Una pila AA alcalina tiene capacidad típica de 2500 mAh (miliamper-hora). ¿Cuánta carga total entrega? ¿Cuánta energía si su voltaje promedio es 1.2 V?

Carga: $2500 \text{ mAh} = 2.5 \text{ Ah} = 2.5 \text{ A} \times 3600 \text{ s} = 9000 \text{ coulombs}$.
Electrones: $9000 \times 6.24 \times 10^{18} = 5.6 \times 10^{22} \text{ electrones}$.
Energía: $E = V \times Q = 1.2 \times 9000 = 10,800 \text{ joules} = 3 \text{ Wh}$.
Por eso una pila AA puede encender un LED (20 mA) por 125 horas teóricas ($2500/20$), aunque en la práctica la resistencia interna y la autodescarga reducen ese tiempo.

Ejemplo 10: Comparando fuentes

Ordena por energía aproximada: pila AA (3 Wh), pila de 9 V (500 mAh), batería de auto (60 Ah a 12 V), power bank (10,000 mAh a 3.7 V).

Pila AA: $2.5 \text{ Ah} \times 1.2 \text{ V} = 3 \text{ Wh}$.
Pila 9 V: $0.5 \text{ Ah} \times 9 \text{ V} = 4.5 \text{ Wh}$.
Batería auto: $60 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 720 \text{ Wh}$.
Power bank: $10 \text{ Ah} \times 3.7 \text{ V} = 37 \text{ Wh}$.
Orden: AA (3) < 9V (4.5) < power bank (37) < auto (720).
La batería de auto guarda 240 veces más energía que una AA: por eso un corto en bornes de auto es tan peligroso (funde cables y puede explotar la batería).

Ejemplo 11: Frecuencia de un parpadeo visible

Un LED parpadea a 2 Hz. ¿Periodo? ¿Cuántos parpadeos en un minuto? ¿A qué frecuencia el ojo deja de ver el parpadeo?

$T = 1/2 = 0.5 \text{ s}$. En 60 s: 120 parpadeos.
El ojo deja de distinguir parpadeos arriba de ~50-60 Hz (persistencia retiniana): por eso el PWM de 490 Hz del Arduino se ve como brillo continuo y no como parpadeo.

Ejemplo 12: Voltaje pico a pico

Una señal senoidal tiene $V_{\text{pico}} = 10 \text{ V}$. ¿Cuál es su voltaje pico a pico? ¿Y su RMS aproximado?

$V_{\text{pico_a_pico}} = 2 \times V_{\text{pico}} = 20 \text{ V}$ (de la cresta positiva a la negativa).
 $V_{\text{rms}} = V_{\text{pico}} / 1.414 = 10 / 1.414 = 7.07 \text{ V}$.
Tres formas de decir lo mismo: pico 10, pico-pico 20, RMS 7.07. En hojas de datos verifica SIEMPRE cuál usan.

Práctica adicional

Ejercicio 8

Explica por qué ganó la corriente alterna la "guerra de las corrientes" para la distribución eléctrica.

SOLUCIÓN: Porque con transformadores es fácil y eficiente subir el voltaje a miles de volts para transmitir (menos corriente = menos pérdidas por calentamiento en cables largos) y bajarlo a 110/220 en tu casa. Con corriente directa, cambiar el voltaje eficientemente era impráctico en esa época.

Ejercicio 9

Una batería de 12 V y 7 Ah alimenta un circuito que consume 350 mA. ¿Cuántas horas durará teóricamente?

SOLUCIÓN: Tiempo = capacidad / corriente = 7 Ah / 0.35 A = 20 horas teóricas. En la práctica será menos por eficiencia, temperatura y porque no conviene descargar al 100 por cien.

Ejercicio 10

¿Por qué el transistor (1947) reemplazó a las válvulas de vacío?

SOLUCIÓN: Es mucho más pequeño, no necesita calentarse (enciende al instante), consume menos energía, no se funde como los filamentos, es más barato de fabricar en masa y permite la miniaturización que llevó a los circuitos integrados.

Ejercicio 11

Si 1 coulomb son 6.24×10^{18} electrones, ¿cuántos coulombs pasan por un cable con 3 A durante 10 segundos?

SOLUCIÓN: $Q = I \times t = 3 \times 10 = 30$ coulombs. Electrones: $30 \times 6.24 \times 10^{18} = 1.87 \times 10^{20}$.

Ejercicio 12

Da tres ejemplos de tu vida donde se use corriente directa y tres donde se use alterna directamente.

SOLUCIÓN: Directa: celular (batería), control remoto, auto (batería de 12 V). Alterna directa: foco incandescente de techo, licuadora, calefactor eléctrico. (Casi todo lo "inteligente" convierte a directa internamente.)

Ampliación: símbolos eléctricos y lectura de diagramas

El idioma de los esquemáticos

Los diagramas esquemáticos son los planos de la electrónica: dibujos con símbolos estándar que muestran cómo se conectan los componentes, sin importar su forma física. Aprender a leerlos es como aprender a leer partituras: al principio es lento, luego ves la música directamente.

SÍMBOLOS BÁSICOS QUE DEBES MEMORIZAR:

- Resistencia: rectángulo (norma europea) o zigzag (americana).
- Capacitor: dos líneas paralelas (una curva si es electrolítico).
- Inductor/bobina: serie de semicírculos (como un resorte).
- Diodo: triángulo apuntando a una barra (la corriente va hacia la barra: ánodo -> cátodo).
- LED: diodo con dos flechitas saliendo (luz emitida).
- Transistor NPN: círculo con tres líneas; la flecha del emisor apunta hacia AFUERA.
- Transistor PNP: la flecha del emisor apunta hacia ADENTRO.
- Tierra: tres líneas horizontales decrecientes o un triángulo.
- Fuente/batería: líneas largas y cortas alternadas (larga = +).
- Interruptor: línea que se abre/cierra sobre un contacto.
- Motor: círculo con la letra M dentro.
- Relevador: bobina + contactos separados.
- Cristal/oscilador: rectángulo con "XTAL".
- Chip: rectángulo con pines numerados y nombre (ej. NE555).

CONVENCIONES DE DIBUJO:

- Las líneas son cables ideales (cero resistencia). Si dos líneas se cruzan SIN punto, NO están conectadas; con punto, SÍ.
- El positivo suele ir arriba, la tierra abajo; la señal fluye de izquierda a derecha.
- Los valores van junto al símbolo: "10k", "100n", "2N2222".
- Los nodos importantes llevan nombre: "VCC", "GND", "SALIDA".

Ejercicio guiado: leer un esquemático simple

Imagina este circuito descrito: "Batería de 9 V. Su positivo va a una resistencia de 470 ohms, de ahí al ánodo de un LED, el cátodo del LED a tierra. La batería negativa a tierra."

Lectura profesional:

1. Identifica la fuente y su voltaje: 9 V.
2. Sigue el camino: 9V -> R 470 -> LED -> GND. Es una serie simple.
3. Calcula: $V_R = 9 - 2 = 7 \text{ V}$; $I = 7/0.47k = 14.9 \text{ mA}$.
4. Verifica potencia: 0.104 W, 1/4 W bien.
5. Conclusión: LED indicador estándar. Lo reconoces al instante.

Con práctica, verás "divisor de voltaje", "filtro RC", "interruptor con transistor" como patrones visuales, igual que un músico ve acordes en la partitura.

De esquemático a protoboard: traducción

Pasos:

1. Identifica nodos: cada punto de unión es un nodo con nombre.
2. Asigna columnas del protoboard a cada nodo (un nodo = una o más columnas conectadas por cable).
3. Coloca componentes entre las columnas de sus nodos.
4. Rieles para VCC y GND.
5. Verifica cada conexión del esquemático contra el protoboard con continuidad.

Ejemplo: el LED anterior. Nodo A = 9 V (columna 1, cable al riel +). Resistencia entre columna 1 y columna 5. LED ánodo en columna 5, cátodo en columna 6. Columna 6 al riel - (GND). Listo: el esquemático vive en el protoboard.

Errores típicos leyendo diagramas

1. Confundir cruce con unión (sin punto = sin conexión).
2. No notar la tierra: todo componente a tierra comparte el nodo GND aunque el dibujo los separe.
3. Ignorar los pines de alimentación del chip (VCC/GND del 555 no siempre se dibujan en diagramas simplificados, pero SIEMPRE se conectan).

4. Leer el transistor al revés (verificar pinout, no asumir por el dibujo).
5. No ver los valores: un "104" junto al capacitor es tan importante como el símbolo.

Práctica adicional

Ejercicio 13

Describe con palabras el esquemático de un divisor de voltaje de 9 V a 3 V con LEDs indicadores en entrada y salida.

SOLUCIÓN: 9V -> R1 (6k) -> nodo X -> R2 (3k) -> GND. LED1 (con R 470) entre 9V y GND (indica alimentación). LED2 (con R 220) entre nodo X y GND (indica salida; corriente: $(3-2)/0.22k = 4.5$ mA, tenue pero visible). $V_X = 9 \times 3/9 = 3$ V. Nota: el LED2 carga al divisor (4.5 mA vs 1 mA del divisor): el voltaje real caerá; para un indicador real usa un seguidor o acepta el error.

Ejercicio 14

En un diagrama ves un símbolo de diodo con la barra hacia la derecha y el triángulo a la izquierda, en serie con una bobina. ¿Hacia dónde conduce y qué función probable tiene?

SOLUCIÓN: Conduce de izquierda a derecha (ánodo izquierda, cátodo derecha). En serie con una bobina probablemente es protección o parte de un rectificador; en paralelo con la bobina (cátodo al positivo) sería flyback. La posición exacta define la función: el símbolo solo dice la dirección.

Ejercicio 15

Dos líneas se cruzan en un esquemático sin punto de unión, pero en tu protoboard quedaron en la misma columna. ¿Qué hiciste mal?

SOLUCIÓN: Tradujiste mal: sin punto no hay conexión, así que debían ir en columnas SEPARADAS. Es el error clásico de traducción esquemático-protoboard. Corrige moviendo uno a otra columna y verifica con el diagrama.

Ejercicio 16

Un chip 74HC00 se dibuja como 4 símbolos NAND separados con pines numerados (1,2,3 / 4,5,6 / 8,9,10 / 11,12,13) y aparte los pines 14 (VCC) y 7 (GND). Explica por qué.

SOLUCIÓN: Porque el esquemático muestra la **FUNCIÓN** lógica (cada compuerta donde se usa), no el encapsulado físico. Los pines de alimentación se dibujan aparte (o se sobreentienden) porque son comunes. Al cablear, debes mapear cada compuerta a sus pines físicos y no olvidar VCC/GND aunque el dibujo los minimice.

Ejercicio 17

Identifica los bloques en este sistema descrito: "Panel solar -> diodo -> regulador buck -> batería -> interruptor -> LED con resistencia".

SOLUCIÓN: Generación (panel), protección (diodo anti-retorno), regulación (buck a voltaje útil), almacenamiento (batería), control (interruptor), carga (LED). Seis bloques en cadena de energía. Cada bloque se puede analizar y probar por separado: metodología de bloques aplicada a la lectura.

Ejercicio 18

¿Por qué los esquemáticos profesionales numeran los componentes (R1, R2, C1, Q1)?

SOLUCIÓN: Para referenciarlos sin ambigüedad en la lista de materiales, en las instrucciones de armado, en el diagnóstico ("mide el voltaje en R7") y en las revisiones del diseño. Es el equivalente a los nombres de calles en un plano: sin ellos no puedes dar direcciones.

Ampliación: el átomo, la estática y el magnetismo

De dónde sale la electricidad: el átomo

Toda la materia está hecha de átomos: un núcleo (protones positivos + neutrones) rodeado de electrones negativos. En los metales (cobre, aluminio), los electrones externos están "suelos": pueden moverse libremente entre átomos. Esa nube de electrones libres es lo que hace conductor a un metal.

La corriente eléctrica es el flujo ordenado de estos electrones libres. El voltaje es la "presión" que los empuja (un campo eléctrico). La resistencia es la dificultad que encuentran al moverse (chocan con los átomos: esos choques generan calor, por eso las resistencias se calientan).

Aislantes (plástico, vidrio, cerámica): sus electrones están fuertemente atados, no fluyen. Semiconductores (silicio): a medias; controlando sus impurezas (dopaje) se hacen diodos y transistores. Toda la electrónica moderna es silicio inteligentemente impurificado.

Electricidad estática: la chispa que mata chips

Al frotar materiales, los electrones se transfieren (efecto triboeléctrico): tu cuerpo puede acumular miles de volts. La chispa que sientes al tocar una puerta es ~3,000 V o más. A ti no te hace nada (casi sin corriente), pero a un chip CMOS (que se daña con 100-200 V) lo mata en silencio.

Protección ESD (descarga electrostática):

- Pulsera antiestática conectada a tierra cuando manejes chips sensibles.
- Bolsas antiestáticas (las plateadas/rosas) para guardar componentes.
- No frotes componentes en plástico ni los guardes en unicel común.
- Toca una tierra metálica antes de agarrar un microcontrolador.

Los módulos Arduino son relativamente robustos, pero un ESP32 o un sensor CMOS caro merecen cuidado. El daño por ESD a veces es parcial: el chip "casi funciona" y falla raro. Prevención barata, curación imposible.

Magnetismo: el primo de la electricidad

Toda corriente crea un campo magnético (Oersted). Un campo magnético variable crea corriente (Faraday). Este matrimonio gobierna: motores, generadores, transformadores, relevadores, bocinas, micrófonos dinámicos.

Experimentos fundacionales que puedes hacer:

1. BRÚJULA Y CABLE: pasa corriente por un cable sobre una brújula: la aguja se desvía. Apaga: regresa. Ves el campo magnético de la corriente.
2. ELECTROIMÁN: enrolla 100 vueltas de cable en un clavo, conecta 5 V: levanta clips. Más vueltas o más corriente = más fuerza.
3. MOTOR MÁS SIMPLE DEL MUNDO: una bobina de cable esmaltado sobre una pila con imanes: gira sola (con un "truco": medio esmalte raspado en un extremo para conmutar).

Regla de la mano derecha: pulgar en dirección de la corriente, dedos curvados = dirección del campo. Para solenoides: dedos en dirección de la corriente en las vueltas, pulgar = polo norte.

El relevador revisitado con magnetismo

Ahora entiendes el relevador por dentro: la corriente en la bobina magnetiza el núcleo, el núcleo atrae la armadura metálica, la armadura mueve los contactos. Sin magnetismo no hay relevadores, ni motores, ni bocinas. El electromagnetismo es la mitad invisible de la electrónica.

Práctica adicional

Ejercicio 25

Explica por qué un cable con mucha corriente se calienta, usando el modelo atómico.

SOLUCIÓN: Los electrones fluyen y chocan con los átomos del metal; cada choque transfiere energía cinética a los átomos (vibración = calor). Más corriente = más electrones = más choques = más calor. Es la disipación $I^2 \times R$ a nivel microscópico.

Ejercicio 26

Tu ESP32 dejó de funcionar después de sacarlo de una bolsa de plástico común en un día seco. Diagnostica.

SOLUCIÓN: Daño por ESD: la bolsa generó estática, tu cuerpo la acumuló y al tocar el ESP32 descargaste cientos/volts sobre sus entradas CMOS. Prevención: pulsera antiestática, bolsas antiestáticas, tocar tierra antes. El chip probablemente está muerto; reemplázalo y adopta el protocolo.

Ejercicio 27

Diseña un electroimán con una pila de 9 V que levante 20 clips. ¿Qué parámetros ajustas si no levanta suficientes?

SOLUCIÓN: Fuerza $\sim (\text{vueltas} \times \text{corriente})^2$. Si no levanta: más vueltas (más cable), más corriente (menos resistencia del cable: calibre más grueso), mejor núcleo (hierro dulce, no acero inoxidable), menos distancia (los clips pegados al núcleo). Ojo: más corriente drena la pila más rápido y calienta el cable.

Ejercicio 28

Explica con la regla de la mano derecha cómo saber qué extremo de tu electroimán es norte.

SOLUCIÓN: Agarra la bobina con la mano derecha, dedos curvados en el sentido de la corriente en las vueltas; el pulgar apunta al polo norte. Verifícalo con una brújula (el norte de la brújula es atraído por el sur del electroimán, o viceversa: define bien qué estás midiendo).

Ejercicio 29

¿Por qué los motores tienen imanes permanentes Y bobinas, y no solo bobinas?

SOLUCIÓN: Porque necesitas dos campos que interactúen: el de la bobina (controlable, conmutable) y uno de referencia. Con solo bobinas podrías, pero los imanes permanentes dan el campo "gratis" (sin energía). Los motores sin escobillas modernos usan imanes de neodimio potentes + bobinas conmutadas electrónicamente.

Ejercicio 30

Un cable lleva 5 A en continua junto a una brújula a 5 cm. ¿La aguja se desvía? ¿Y si la corriente alterna a 60 Hz?

SOLUCIÓN: Con 5 A DC: sí, se desvía a una posición fija (campo constante). Con 60 Hz AC: el campo cambia 120 veces por segundo: la aguja (mecánica, lenta) no puede seguirlo y apenas vibra en su posición original. Por eso los transformadores zumban a 120 Hz (el núcleo vibra) pero una brújula no lo "ve".

Ampliación: la instalación eléctrica de tu casa

Lo que hay detrás del enchufe

Tu casa recibe 110/220 V de la red. El camino: acometida -> medidor -> interruptor principal -> centro de carga (pastillas) -> circuitos (contactos, focos). Cada "pastilla" (interruptor termomagnético) protege un circuito: el térmico se dispara con sobrecarga sostenida, el magnético con cortocircuitos.

El interruptor DIFERENCIAL (o falla a tierra) es otro nivel: compara la corriente que sale con la que regresa; si difieren (se está fugando por una persona a tierra), se dispara en milisegundos. Salva vidas: donde haya agua (baños, cocina, jardín), el diferencial es obligatorio en instalaciones modernas.

La PUESTA A TIERRA (el tercer hoyo del enchufe) conecta las carcasas metálicas a una varilla enterrada: si un cable pelado toca la carcasa de tu lavadora, la corriente se va a tierra

(fundiendo la pastilla) en lugar de irse por ti cuando la toques. Nunca elimines la tierra "porque el enchufe no cabe": usa adaptadores adecuados.

Calibres y circuitos domésticos

CIRCUITO TÍPICO	PASTILLA	CALIBRE	USO
Contactos general	15-20 A	12-14 AWG	Varios aparatos
Cocina (electrodom.)	20 A	12 AWG	Microondas, refri
Iluminación	15 A	14 AWG	Focos
Regadera eléctrica	30-40 A	8-10 AWG	Alto consumo
Clima/minisplit	20-30 A	10 AWG	Dedicado

Reglas: un circuito muy cargado necesita pastilla y cable acordes; nunca subas la pastilla sin subir el cable (el cable se vuelve el fusible: incendio). La regadera eléctrica y el clima llevan circuito DEDICADO (solo para ellos).

Ahorro y seguridad eléctrica en casa

- Los aparatos en "standby" consumen (vampiros eléctricos): un multicontacto con interruptor los mata a todos.
- Focos LED: 10x menos consumo que incandescentes, pagan solos su costo.
- No sobrecargues multicontactos: suma los watts (una plancha + un calentador en el mismo contacto = pastilla disparada o peor).
- Si una pastilla se dispara seguido, NO la cambies por una más grande: investiga la sobrecarga (es el síntoma, no el problema).
- Cableado viejo (tela, aluminio): requiere revisión profesional; es causa común de incendios.

Cuándo llamar a un electricista

TÚ puedes: cambiar un foco, un apagador, un contacto (con la pastilla ABAJO y verificando con probador). Un ELECTRICISTA debe: tocar el centro de carga, agregar circuitos, la acometida, cualquier cosa con 220 V, y diagnosticar fallas recurrentes. La electricidad doméstica mata: respeta la frontera entre lo que sabes y lo que requiere licencia.

Tu taller y la red

Tu taller de electrónica necesita: un circuito dedicado o semi-dedicado (para no compartir con la plancha), contactos aterrizados, un multicontacto con supresor de picos para tus equipos, y buena iluminación. Ideal: un transformador de aislamiento para probar fuentes (te separa de la red: más seguro), aunque es inversión avanzada.

Nunca pruebes circuitos conectados a la red sin aislamiento en tu osciloscopio (la tierra del osciloscopio + la red = corto espectacular). Esta es una de las formas más comunes de destruir un osciloscopio: respeta el aislamiento.

Práctica adicional

Ejercicio 31

Tu pastilla de 20 A se dispara cuando conectas la plancha (1000 W) y el calentador (1500 W) al mismo circuito de 110 V. Explica y soluciona.

SOLUCIÓN: $I = 2500/110 = 22.7 \text{ A} > 20 \text{ A}$: sobrecarga real. Soluciones: usarlos en circuitos distintos, o no simultáneamente. NO subir la pastilla (el cable de 12 AWG está al límite). La pastilla hizo su trabajo.

Ejercicio 32

Explica la diferencia entre interruptor termomagnético y diferencial, y qué protege cada uno.

SOLUCIÓN: El termomagnético protege la INSTALACIÓN (cables) contra sobrecarga y corto: evita incendios. El diferencial protege a las PERSONAS contra fugas a tierra (electrocución): detecta diferencias de corriente de miliamperes. Uno cuida los cables, el otro te cuida a ti.

Ejercicio 33

¿Por qué la regadera eléctrica necesita circuito dedicado de 30-40 A?

SOLUCIÓN: Porque consume ~3500-5500 W (32-50 A a 110 V): ningún circuito compartido lo soporta. Además calienta agua (riesgo con electricidad): requiere tierra física perfecta y diferencial. Es el aparato más peligroso de la casa si está mal instalado.

Ejercicio 34

Mides 0 V entre fase y neutro pero 110 V entre fase y tierra en un contacto. Diagnostica.

SOLUCIÓN: El neutro está abierto (desconectado en algún punto): la fase llega bien (110 a tierra lo prueba), pero sin neutro no hay circuito. Revisa conexiones del neutro desde el contacto hacia el centro de carga (con la pastilla abajo). Un neutro flotante además puede dar voltajes raros en otros contactos del mismo circuito.

Ejercicio 35

Explica por qué no debes quitar la "patita" de tierra de una clavija para que entre en un contacto viejo.

SOLUCIÓN: Porque eliminas la protección contra fallas a carcasa: si un cable interno se suelta y toca la carcasa metálica, está queda energizada a 110 V esperando a que la toques. La solución correcta es actualizar el contacto a uno aterrizado (con un electricista), no mutilar la protección.

Ejercicio 36

Tu taller comparte circuito con la cocina y cada vez que encienden el microondas tu fuente se apaga un instante. Explica y propone 2 soluciones.

SOLUCIÓN: El microondas (1000+ W) causa una caída momentánea de voltaje en el circuito compartido; tu fuente (sin buen hold-up) se resetea. Soluciones: 1) Circuito dedicado para el taller. 2) UPS/no-break para tus equipos sensibles (les da segundos de respaldo y filtra picos).

UNIDAD 2: Voltaje, Corriente y Resistencia

Introducción a la unidad

En la Unidad 1 construiste la imagen mental: electrones moviéndose, voltaje como presión, materiales que conducen o aíslan. Ahora vamos a ponerle números a esas ideas. Esta unidad presenta las tres magnitudes fundamentales de la electrónica -voltaje, corriente y resistencia- con sus unidades, sus múltiplos y submúltiplos, y cómo se miden en la vida real.

Estas tres magnitudes son el vocabulario básico del idioma electrónico. Cuando un técnico dice "este punto tiene 5 volts, la rama consume 20 miliamperes y la resistencia es de 220 ohms", está describiendo completamente el estado eléctrico de esa parte del circuito. Al terminar esta unidad, tú también vas a hablar ese idioma con fluidez: sabrás qué significa cada unidad, cómo convertir entre miliamperes y amperes sin pensarlo, y qué instrumento mide cada magnitud.

También veremos la potencia eléctrica (watts), porque todo circuito consume energía y disipa calor, y necesitarás calcular cuánta potencia aguanta una resistencia antes de que se queme. Esa es una de las habilidades prácticas más valiosas: elegir componentes que no se destruyan con el calor de su propio trabajo.

Explicación detallada

El voltaje (V): la presión, con números

Ya sabes qué es el voltaje conceptualmente. Ahora los detalles prácticos. El voltaje se mide en volts (V) en honor a Alessandro Volta, inventor de la pila. Un volt es la diferencia de potencial que le da a cada coulomb de carga una energía de un joule.

En electrónica de bajo voltaje trabajarás con estos submúltiplos y múltiplos:

UNIDADES DE VOLTAJE

- Microvolt (μV): millonésima de volt. Señales diminutas (micrófonos, sensores). $1 \text{ V} = 1,000,000 \text{ } \mu\text{V}$.
- Milivolt (mV): milésima de volt. $1 \text{ V} = 1,000 \text{ mV}$.
- Volt (V): la unidad base.
- Kilovolt (kV): mil volts. Líneas de transmisión, no lo verás en tu mesa de trabajo.

Conversiones que debes hacer dormido: $3.3\text{ V} = 3,300\text{ mV}$. $500\text{ mV} = 0.5\text{ V}$. $12\text{ V} = 12,000\text{ mV}$
 $= 12,000,000\text{ uV}$. Practica hasta que sea automático, porque las hojas de datos de los componentes mezclan unidades sin piedad.

El voltaje se mide con el multímetro en modo voltímetro, conectando las puntas EN PARALELO con el componente o entre los dos puntos de interés, con el circuito ENERGIZADO. El voltímetro ideal tiene resistencia infinita para no alterar el circuito; los reales tienen 10 megaohms de entrada, suficiente para no afectar casi nada.

La corriente (I): el flujo, con números

La corriente eléctrica es la cantidad de carga que pasa por un punto cada segundo. Se mide en amperes (A), en honor a André-Marie Ampère. Un ampere es un coulomb por segundo: $1\text{ A} = 1\text{ C/s}$. Recuerda el Ejemplo 1 de la Unidad 1: 2 coulombs por segundo eran 2 amperes, es decir, más de 12 trillones de electrones por segundo cruzando el cable.

La letra que representa la corriente es la I (de "intensidad", como se le decía antes). Los múltiplos comunes:

UNIDADES DE CORRIENTE

- Microampere (uA): millonésima de ampere. Corrientes de sensores, fugas, circuitos en reposo. $1\text{ A} = 1,000,000\text{ uA}$.
- Miliampere (mA): milésima de ampere. LA UNIDAD MÁS USADA en electrónica de bajo voltaje. $1\text{ A} = 1,000\text{ mA}$.
- Ampere (A): la unidad base. Motores, fuentes de poder.

Para dimensionar: un LED típico trabaja con 10 a 20 mA. Un Arduino consume unos 50 mA. Tu celular cargando pide 1 a 2 A. Un foco incandescente de 60 watts a 110 volts consume unos 0.55 A. Un motor de taladro puede pedir 5 A o más.

La corriente se mide con el multímetro en modo amperímetro, conectado EN SERIE con el circuito (hay que abrir el circuito e intercalar el medidor), con el circuito energizado. El amperímetro ideal tiene resistencia cero. ADVERTENCIA IMPORTANTE: nunca conectes el multímetro en modo corriente directamente entre los terminales de una pila o fuente (en paralelo): el amperímetro es casi un cortocircuito y puedes quemar el fusible del multímetro o dañar la fuente. La corriente siempre se mide en serie, interrumpiendo el camino.

Hay dos sentidos de corriente que debes conocer: el sentido convencional (de positivo a negativo, el que usan todos los diagramas y fórmulas) y el sentido real de los electrones (de negativo a positivo). Benjamín Franklin adivinó mal el signo hace 300 años y la convención se quedó. No te preocupes: TODA la electrónica usa el sentido convencional, y las fórmulas

funcionan perfectamente con él. Solo recuerda que los electrones físicamente van al revés, por si algún día lees física teórica.

La resistencia (R): la oposición, con números

La resistencia es la oposición que un material presenta al paso de la corriente. Se mide en ohms (símbolo: la letra griega omega; en este libro escribiremos "ohm" u "ohms" en texto). Un ohm es la resistencia que permite pasar 1 ampere cuando se le aplica 1 volt.

Los múltiplos que usarás a diario:

UNIDADES DE RESISTENCIA

- Ohm (ohm): la unidad base. Valores bajos.
- Kiloohm (kohm): mil ohms. MUY COMÚN. $1 \text{ kohm} = 1,000 \text{ ohms}$.
- Megaohm (Mohm): un millón de ohms. Resistencias de pull-up, aislamiento. $1 \text{ Mohm} = 1,000 \text{ kohms}$.

Las resistencias comerciales vienen en valores estándar (serie E12: 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82 y sus múltiplos de 10). No existe una resistencia de 237 ohms en la tienda; usarías 220 o 270. Esto simplifica la vida: diseñas con valores estándar.

La resistencia se mide con el multímetro en modo óhmetro, con el componente DESCONECTADO del circuito y SIN energía. Si mides una resistencia soldada en un circuito energizado, obtendrás lecturas falsas y puedes dañar el multímetro. Para medir, desconecta al menos una pata de la resistencia del resto del circuito.

De qué depende la resistencia de un conductor: del material (cobre baja, nicromo alta), de la longitud (más largo = más resistencia), del área transversal (más grueso = menos resistencia) y de la temperatura (en la mayoría de los metales, a más temperatura más resistencia). La fórmula es $R = \rho \times L / A$, donde ρ es la resistividad del material. Los focos incandescentes aprovechan esto: un filamento delgado de tungsteno con alta resistencia se calienta hasta ponerse incandescente.

La potencia (P): el calor que todo lo delata

Cada vez que la corriente atraviesa una resistencia, parte de la energía eléctrica se convierte en calor. Esa tasa de conversión de energía es la potencia, medida en watts (W). La fórmula fundamental es:

$$P = V \times I$$

Donde:

- P es la potencia en watts.
- V es el voltaje en volts (a través del componente).
- I es la corriente en amperes (que lo atraviesa).

Combinada con la Ley de Ohm (Unidad 3), obtienes las otras dos formas, utilísimas cuando solo conoces dos datos:

$$P = V^2 / R \quad (\text{si conoces voltaje y resistencia})$$

$$P = I^2 \times R \quad (\text{si conoces corriente y resistencia})$$

Ejemplo mental: una resistencia de 220 ohms con 5 volts entre sus terminales disipa $P = 25 / 220 = 0.114$ watts, o 114 miliwatts. Una resistencia común de 1/4 de watt (0.25 W) la maneja sin problema. Pero si le metes 12 volts: $P = 144 / 220 = 0.65$ watts, ¡más del doble de lo que aguanta una de 1/4 W! Se calentará, cambiará de color y eventualmente se quemará. Por eso SIEMPRE debes verificar la potencia: es el error que más componentes quema en los talleres de principiantes.

Las resistencias comerciales indican su potencia nominal: 1/8 W, 1/4 W (las más comunes en protoboard), 1/2 W, 1 W, 2 W, 5 W. Regla práctica de diseño: elige una resistencia con potencia nominal de AL MENOS el doble de la potencia que va a disipar. Si calculas 0.114 W, usa 1/4 W (0.25 W) como mínimo; mejor 1/2 W si el circuito estará encendido mucho tiempo o en lugar caliente.

El triángulo de las magnitudes y sus relaciones

Voltaje, corriente y resistencia no son independientes: están atados por la Ley de Ohm ($V = I \times R$), que veremos a fondo en la Unidad 3. Pero la potencia agrega una segunda relación ($P = V \times I$). Con dos de las cuatro magnitudes puedes calcular las otras dos. Este "cuadrado mágico" es tu herramienta de cálculo diario:

Conocidos V e I: $R = V / I$; $P = V \times I$
Conocidos V y R: $I = V / R$; $P = V^2 / R$
Conocidos I y R: $V = I \times R$; $P = I^2 \times R$
Conocidos P y V: $I = P / V$; $R = V^2 / P$
Conocidos P e I: $V = P / I$; $R = P / I^2$
Conocidos P y R: $V = \text{raiz}(P \times R)$; $I = \text{raiz}(P / R)$

No memorices la tabla: memoriza $V = I \times R$ y $P = V \times I$, y despeja. Despejar es una habilidad que se entrena; en los ejemplos lo haremos paso a paso hasta que salga solo.

Prefijos del Sistema Internacional: tu tabla de consulta

Memoriza esta tabla. La usarás todos los días:

PREFIJO	SIMBOLO	FACTOR	EJEMPLO
mega	M	1,000,000	2.2 Mohm = 2,200,000 ohms
kilo	k	1,000	4.7 kohm = 4,700 ohms
(nada)	-	1	220 ohms
mili	m	0.001	20 mA = 0.020 A
micro	u	0.000001	100 uA = 0.0001 A
nano	n	0.000000001	10 nF (capacitores)
pico	p	0.000000000001	22 pF (capacitores)

Truco para convertir: cuenta los saltos de tres ceros. De mA a A bajas 3 ceros (divides entre 1000). De kohm a ohm subes 3 ceros (multiplicas por 1000). De uA a mA es un salto (1000 uA = 1 mA). Con práctica lo harás sin pensar.

Ejemplos paso a paso

Ejemplo 1: Conversión de unidades de corriente

Un sensor consume 0.00035 amperes. Exprésalo en miliamperes y en microamperes.

De A a mA: multiplica por 1,000 (bajas 3 ceros).
 $0.00035 \text{ A} \times 1,000 = 0.35 \text{ mA}$.

De mA a uA: multiplica por 1,000.
 $0.35 \text{ mA} \times 1,000 = 350 \text{ uA}$.

Verificación: $350 \text{ uA} = 350 / 1,000,000 = 0.00035 \text{ A}$. Correcto.
Respuesta: $0.35 \text{ mA} = 350 \text{ uA}$.

Ejemplo 2: Potencia de un LED con su resistencia

Un LED trabaja con 2 volts entre sus terminales y circulan 15 mA por él. ¿Qué potencia disipa el LED? ¿Y si la resistencia en serie tiene 3 volts entre sus terminales con la misma corriente?

LED:

$$P = V \times I = 2 \text{ V} \times 0.015 \text{ A} = 0.03 \text{ W} = 30 \text{ mW}.$$

Resistencia:

$$P = V \times I = 3 \text{ V} \times 0.015 \text{ A} = 0.045 \text{ W} = 45 \text{ mW}.$$

Potencia total del conjunto: $30 + 45 = 75 \text{ mW}$.

Una resistencia de 1/4 W (250 mW) sobra: margen de más del triple. Diseño seguro.

Ejemplo 3: ¿Se quemará esta resistencia?

Tienes una resistencia de 100 ohms, 1/4 W. La conectas directo a una pila de 9 volts (no lo hagas en casa sin supervisión, es solo cálculo). ¿Qué potencia disiparía? ¿Aguanta?

$$P = V^2 / R = 81 / 100 = 0.81 \text{ W}.$$

La resistencia nominal es 0.25 W y disiparía 0.81 W: ¡más del triple! Se calentaría rapidísimo, olería a quemado y se destruiría. Necesitarías una de al menos 2 W (el doble de 0.81 es 1.62, el valor comercial siguiente es 2 W). Moraleja: calcula SIEMPRE la potencia.

Ejemplo 4: Corriente de un foco doméstico

Un foco incandescente de 60 W conectado a 110 V. ¿Qué corriente consume? ¿Y un cargador de celular que entrega 5 V a 2 A, cuánta potencia da?

$$\text{Foco: } I = P / V = 60 / 110 = 0.545 \text{ A} = 545 \text{ mA}.$$

$$\text{Cargador: } P = V \times I = 5 \times 2 = 10 \text{ W}.$$

Nota: el foco consume más de medio ampere de la pared; el cargador entrega 10 watts al celular. Por eso un foco calienta tanto y un cargador apenas se entibia.

Ejemplo 5: Leyendo una hoja de datos

Un motor pequeño dice: "6 V, 800 mA máximo". ¿Qué potencia consume al máximo? Si lo alimentas con 4 pilas AA en serie, ¿el voltaje es adecuado?

$$P = V \times I = 6 \times 0.8 = 4.8 \text{ W.}$$

4 pilas AA en serie: $4 \times 1.5 = 6 \text{ V}$. Voltaje perfecto.

Pero ojo: 800 mA es mucha corriente para pilas AA alcalinas comunes; se agotarán rápido. Para un motor así conviene una fuente de laboratorio o una batería recargable de buena capacidad. El voltaje correcto no basta: la fuente también debe poder entregar la corriente.

Ejemplo 6: Resistencia de un cable (conceptual)

Un cable de cobre de 1 metro tiene resistencia despreciable (miliohms). ¿Por qué entonces un cable muy largo y delgado sí presenta resistencia notable?

$$R = \rho \times L / A.$$

Al aumentar L (longitud) la resistencia crece; al disminuir A (área, cable delgado) también crece.

Un cable de 100 metros delgado puede tener varios ohms, suficientes para causar caída de voltaje en el circuito.

Por eso las extensiones eléctricas largas deben ser de cable grueso: menos resistencia, menos calentamiento.

Práctica

Ejercicio 1

Convierte: 2.2 kohm a ohms; 4700 ohms a kohm; 0.025 A a mA; 1500 uA a mA.

SOLUCIÓN: 2.2 kohm = 2200 ohms. 4700 ohms = 4.7 kohm. 0.025 A = 25 mA. 1500 uA = 1.5 mA.

Ejercicio 2

Una resistencia de 470 ohms tiene 9 V entre sus terminales. Calcula la potencia disipada y elige la potencia nominal adecuada.

SOLUCIÓN: $P = V^2 / R = 81 / 470 = 0.172 \text{ W} = 172 \text{ mW}$. El doble es 0.344 W; el valor comercial adecuado es 1/2 W (0.5 W). Una de 1/4 W (0.25 W) quedaría muy justa; mejor 1/2 W.

Ejercicio 3

Explica por qué el multímetro mide voltaje en paralelo y corriente en serie.

SOLUCIÓN: El voltaje es la diferencia ENTRE dos puntos, así que las puntas van una en cada punto, en paralelo con el componente, sin interrumpir el circuito. La corriente es el flujo POR un camino, así que el medidor debe intercalarse en ese camino (en serie), obligando a la corriente a pasar por dentro del instrumento.

Ejercicio 4

¿Qué pasa si mides corriente poniendo el multímetro en paralelo con la pila? ¿Por qué?

SOLUCIÓN: El amperímetro tiene resistencia casi cero, así que equivale a un cortocircuito entre los terminales: circulará una corriente enorme que quemará el fusible interno del multímetro y puede dañar la pila o la fuente. Por eso la corriente NUNCA se mide en paralelo.

Ejercicio 5

Un circuito consume 3.3 V y 250 mA. ¿Qué potencia consume? Si funciona 2 horas, ¿cuánta energía usa en watt-hora?

SOLUCIÓN: $P = 3.3 \times 0.25 = 0.825 \text{ W}$. Energía = $P \times t = 0.825 \text{ W} \times 2 \text{ h} = 1.65 \text{ Wh}$ (watt-hora).

Ejercicio 6

¿Por qué una pila "muerta" puede marcar buen voltaje en vacío pero no encender un motor?

SOLUCIÓN: Por su resistencia interna alta: en vacío no hay corriente y no hay caída de voltaje interna, así que marca bien. Bajo carga, la corriente que pasa por la resistencia interna provoca una caída grande ($V = I \times R$ interna) y el voltaje disponible para el motor se desploma.

Ejercicio 7

Ordena de menor a mayor corriente típica: un LED, un microcontrolador ESP32 transmitiendo WiFi, un motor de juguete, un sensor de temperatura en reposo.

SOLUCIÓN: Sensor en reposo (microamperes) < LED (10-20 mA) < ESP32 con WiFi (100-200 mA picos) < motor de juguete (500 mA - 1 A). Los motores siempre ganan en consumo.

Resumen de la unidad

Aprendiste las tres magnitudes fundamentales: el voltaje (V, la presión entre dos puntos), la corriente (I, el flujo de carga por segundo, en amperes) y la resistencia (R, la oposición al flujo, en ohms), más la potencia ($P = V \times I$, en watts, la tasa de conversión a calor). Dominas los prefijos (mega, kilo, mili, micro, nano, pico) y las conversiones entre ellos. Sabes que el voltaje se mide en paralelo con el circuito energizado, la corriente en serie interrumpiendo el camino, y la resistencia con el componente desconectado y sin energía. Y grabaste la regla de oro del diseño práctico: calcula siempre la potencia disipada y elige componentes con al menos el doble de margen. Con este vocabulario numérico, estás listo para la ley más famosa de la electrónica: la Ley de Ohm.

Ampliación: taller de medición y potencia

Guía completa: medir como un profesional

Medir bien es la mitad del diagnóstico. Esta guía cubre cada medición con el nivel de detalle que un instructor te daría en persona.

MEDIR VOLTAJE (ejemplo: voltaje de una pila de 9 V):

1. Punta negra en COM, roja en V-ohm.
2. Perilla en V de directa (V con línea continua).
3. Circuito energizado. Punta negra al negativo de la pila, roja al positivo.
4. Lee: debe marcar ~9 V (nueva: 9.3-9.6; usada: menos de 8.5 ya está cansada).
5. Para medir la CAÍDA en un componente: puntas una a cada lado del componente, con el circuito funcionando.

MEDIR CORRIENTE (ejemplo: corriente de un LED):

1. APAGA el circuito y desconecta la fuente.
2. Punta roja al jack de mA (o 10 A si esperas más de 200 mA), negra en COM.
3. Perilla en A/mA de directa, rango más alto.

4. Abre el circuito: desconecta una pata de la resistencia del LED.
5. Conecta una punta a la pata suelta y la otra al punto donde iba: el multímetro completa el camino.
6. Energiza y lee. Si marca poco, apaga, baja de rango, repite.
7. Al terminar, REGRESA la punta roja al jack de V-ohm: dejarla en corriente es la causa clásica del siguiente accidente.

MEDIR RESISTENCIA (ejemplo: verificar una de 10 kohm):

1. Desconecta la resistencia del circuito (al menos una pata).
2. Puntas en COM y V-ohm, perilla en ohm, circuito SIN energía.
3. Puntas una en cada pata. Lee: ~10 kohm (con tolerancia).
4. Si marca "OL" (abierto): resistencia quemada. Si marca 0: en corto (raro en resistencias).

MEDIR CONTINUIDAD (ejemplo: verificar un cable):

1. Perilla en el símbolo de sonido, puntas en COM y V-ohm.
2. Toca los dos extremos del cable: debe PITAR.
3. Sin pito = cable roto o falso contacto. Úsalo para mapear el protoboard y buscar cortos.

MEDIR UN DIODO:

1. Perilla en el símbolo de diodo.
2. Roja al ánodo, negra al cátodo: debe marcar 0.5-0.8 V (0.2-0.3 Schottky, 1.8-3.3 LED).
3. Al revés: debe marcar "OL". Si marca 0 en ambos sentidos: diodo en corto (muerto). Si marca OL en ambos: abierto (muerto).

Los 10 errores de medición más caros

1. Medir corriente en paralelo con la fuente (quema el fusible).
2. Dejar la punta en el jack de 10 A y medir voltaje (lectura mala, riesgo).
3. Medir resistencia en circuito energizado (daña el medidor, lectura falsa).
4. No cambiar de AC a DC (una pila medida en AC marca ~0: confusión total).
5. Rango manual muy bajo al medir voltaje alto (algunos medidores se protegen, otros no).
6. Puntas gastadas o rotas (lecturas intermitentes que vuelven loco a cualquiera: cambia las puntas).

7. Medir la pila en vacío y declararla "buena" (mide bajo carga).
8. Olvidar el cero relativo en mediciones pequeñas (algunos medidores tienen botón REL).
9. Confundir mA con A en la lectura (20 mA no es 20 A: revisa la unidad en pantalla).
10. No verificar el fusible interno cuando el modo corriente "no mide nada" (cámbialo por uno del mismo valor).

Potencia en el mundo real: casos de diseño

CASO 1: Tira de LED de 12 V, 2 A. $P = 24$ W. La fuente debe dar 12 V y AL MENOS 2.5 A (margen). Los cables deben ser gruesos (2 A por cable delgado = calentamiento). El MOSFET que la controle necesita R_{ds_on} baja: con 0.05 ohms disipa $I^2 \times R = 4 \times 0.05 = 0.2$ W (bien); con 0.5 ohms disiparía 2 W (necesita disipador).

CASO 2: Cargador USB de 5 V y 2 A = 10 W. Si carga al máximo por 3 horas: 30 Wh de energía. Un power bank de 37 Wh lo carga una vez completa aproximadamente (con pérdidas).

CASO 3: Resistencia de pull-up de 10 kohm a 5 V: cuando el botón se pulsa, $P = 25/10k = 2.5$ mW. Despreciable: por eso las pull-up pueden ser de 1/8 W sin problema.

CASO 4: Divisor para referencia: 5 V con dos de 10 kohm. $P_{total} = 25/20k = 1.25$ mW. Los divisores de alta resistencia consumen poco: ideales para referencias que no alimentan carga.

CASO 5: Foco LED doméstico de 9 W que reemplaza a uno incandescente de 60 W: ahorra 51 W. En 5 horas diarias: 255 Wh diarios, ~7.6 kWh al mes por foco. A \$2 MXN/kWh: ~\$15 MXN mensuales por foco. Multiplica por 10 focos: \$150 al mes. La electrónica también es economía doméstica.

Eficiencia energética: a dónde se va la potencia

En todo circuito, la potencia de entrada se reparte: parte hace trabajo útil (luz, movimiento, cómputo) y parte se pierde en calor. La eficiencia = $P_{\text{útil}} / P_{\text{total}}$.

Un regulador lineal 7805 bajando de 12 V a 5 V con 1 A: $P_{\text{útil}} = 5$ W, $P_{\text{perdida}} = 7$ W, eficiencia = $5/12 = 41.7$ por ciento. Una fuente conmutada moderna: 90+ por ciento. Por eso los cargadores actuales son pequeños y fríos, y los eliminadores viejos eran ladrillos calientes: la topología conmutada desperdicia menos.

En tus diseños, la eficiencia importa cuando hay baterías (más eficiencia = más horas de uso) o mucho calor (menos eficiencia = disipadores más grandes). Para prácticas de protoboard no te obsesiones, pero entiende el concepto: es lo que diferencia un buen diseño de uno mediocre.

Práctica adicional

Ejercicio 8

Mides una fuente que debería dar 5 V y marca 4.2 V con el circuito conectado, pero 5.0 V en vacío. Diagnostica.

SOLUCIÓN: La fuente no puede con la carga: o su límite de corriente es bajo, o su resistencia interna es alta, o el circuito consume más de lo esperado. Mide la corriente: si está en el límite de la fuente, necesitas una fuente más robusta o reducir el consumo.

Ejercicio 9

El modo corriente de tu multímetro no mide nada (marca 0.00 siempre). ¿Qué revisas primero?

SOLUCIÓN: El fusible interno del modo corriente: es lo primero que se quema con un error de conexión. Ábrelo (con cuidado), revisa el fusible y cámbialo por uno del MISMO valor y tipo. Si sigue sin medir, revisa que la punta esté en el jack correcto.

Ejercicio 10

Calcula la eficiencia de un 7805 que entrega 5 V a 800 mA alimentado con 9 V.

SOLUCIÓN: $P_{out} = 5 \times 0.8 = 4 \text{ W}$. $P_{in} = 9 \times 0.8 = 7.2 \text{ W}$. Eficiencia = $4/7.2 = 55.6$ por ciento. Pérdida: 3.2 W en calor (necesita disipador).

Ejercicio 11

Un motor de 12 V consume 3 A al arrancar y 800 mA en marcha. ¿Qué fuente eliges y por qué?

SOLUCIÓN: Una de 12 V y al menos 3.5-4 A: debe soportar el pico de arranque (los motores consumen varias veces su corriente nominal al arrancar porque el rotor detenido es casi un corto). Una fuente de solo 1 A entraría en protección cada vez que el motor arrancara.

Ejercicio 12

Explica con tus palabras por qué el fusible va en serie y qué protege.

SOLUCIÓN: Va en serie porque debe ver **TODA** la corriente del circuito: si la corriente excede su valor, el filamento se funde y abre el circuito, interrumpiendo el flujo antes de que el exceso queme componentes o cause incendio. Protege contra sobrecorriente y cortocircuitos. Se elige apenas por encima de la corriente normal máxima.

Ampliación: señales, el osciloscopio y el ciclo de trabajo

Las cuatro señales que verás toda la vida

1. CONTINUA (DC): voltaje constante en el tiempo (una pila: línea horizontal). Es la base de todo lo digital y de la alimentación.
2. SENOIDAL (AC): la onda suave de la pared y del audio. Definida por amplitud, frecuencia y fase.
3. CUADRADA: salta entre dos niveles (relojes digitales, PWM). Definida por frecuencia y ciclo de trabajo.
4. TRIANGULAR/DIENTE DE SIERRA: sube y baja linealmente (barridos, temporizadores, audio vintage).

Cada una tiene su personalidad: la senoidal es la "natural" (generadores, resonancia), la cuadrada es la "digital" (información), la triangular es la "de control" (comparadores, PWM analógico).

Ciclo de trabajo (duty cycle): el porcentaje que manda

En una señal cuadrada de periodo T , el ciclo de trabajo D es la fracción del periodo en nivel alto: $D = T_{\text{alto}} / T \times 100\%$.

$D = 50\%$: simétrica (reloj ideal).
 $D = 25\%$: pulsos cortos (el 555 astable típico anda por aquí según $R1$ y $R2$).
 $D = 10\%$: pulsos estrechos (PWM tenue para LED).

El valor PROMEDIO de una cuadrada de 0 a 5 V con $D = 30\%$ es 1.5 V (5×0.3). Por eso el PWM "simula" voltaje analógico: el promedio es proporcional a D . Un motor con PWM al 70% recibe en promedio el 70% de la energía: gira más rápido que al 30%.

El osciloscopio: ver la electricidad

El osciloscopio dibuja el voltaje contra el tiempo en una pantalla: es como un microscopio para señales. Controles básicos:

- VOLTS/DIV (vertical): escala de voltaje. Si la señal no cabe, sube la escala.
- SEC/DIV (horizontal): escala de tiempo. Para ver una onda de 1 kHz ($T = 1 \text{ ms}$), usa 0.2-0.5 ms/div.
- TRIGGER (disparo): estabiliza la imagen esperando un nivel de la señal. Sin trigger bien ajustado, la onda "baila".
- AC/DC coupling: en DC ves todo (incluido el nivel continuo); en AC bloquea la continua y ves solo la variación (útil para rizado sobre una fuente).

Qué verías en tus circuitos:

- Salida del 555 astable: cuadrada perfecta; mides frecuencia y duty con los cursores.
- Rizado de una fuente: senoidal pequeña (120 Hz) sobre la continua; en AC coupling la ves ampliada.
- PWM del Arduino: cuadrada cuyo ancho cambia con analogWrite.
- Rebote de un botón: un pulso "sucio" con múltiples transiciones: la prueba visual del antirrebote.

No necesitas un osciloscopio para este libro, pero cuando consigas uno (hay kits desde ~\$1000 MXN), tu comprensión se multiplica: ver es creer.

Frecuencia, periodo y longitud de onda (conceptual)

Ya manejas f y T . La longitud de onda (λ) es la distancia que recorre la señal en un periodo: $\lambda = v / f$, donde v es la velocidad de propagación (~300,000 km/s en el aire para ondas electromagnéticas).

- 60 Hz (pared): $\lambda = 5,000 \text{ km}$ (¡la onda es larguísima!).
- 100 MHz (radio FM): $\lambda = 3 \text{ m}$ (antenas de ~75 cm, un cuarto de onda: por eso las antenas de radio miden eso).
- 2.4 GHz (WiFi): $\lambda = 12.5 \text{ cm}$ (antenas de ~3 cm).

Por eso las antenas tienen tamaños específicos: resuenan con la longitud de onda. Y por eso a frecuencias altas el largo de los cables y pistas importa: cuando el cable mide una fracción apreciable de λ , se comporta como antena o línea de transmisión, no como cable ideal.

Práctica adicional

Ejercicio 13

Una cuadrada de 0-12 V tiene $T_{\text{alto}} = 2 \text{ ms}$ y $T = 8 \text{ ms}$. Calcula D y el voltaje promedio.

SOLUCIÓN: $D = 2/8 = 25\%$. $V_{\text{prom}} = 12 \times 0.25 = 3 \text{ V}$.

Ejercicio 14

Quieres ver una señal de 440 Hz en el osciloscopio mostrando 2 periodos en 10 divisiones. ¿Qué SEC/DIV usas?

SOLUCIÓN: $T = 1/440 = 2.27 \text{ ms}$. 2 periodos = 4.54 ms en 10 div -> 0.454 ms/div. Ajuste comercial cercano: 0.5 ms/div.

Ejercicio 15

Mides rizado en una fuente de 12 V: ves 0.5 V pico-pico a 120 Hz. ¿Es aceptable para alimentar un Arduino? Explica.

SOLUCIÓN: El Arduino tiene su propio regulador a 5 V con rechazo al rizado; 0.5 Vpp sobre 12 V es ~4%: aceptable para lógica. Para audio o instrumentación de precisión sería mucho (se oiría zumbido): ahí se filtra más o se regula mejor.

Ejercicio 16

Un PWM de 5 V al 80% alimenta un LED con resistencia calculada para 20 mA en continua. ¿Corriente promedio? ¿Pico?

SOLUCIÓN: Pico: 20 mA (cuando está en alto, el circuito es el mismo). Promedio: $20 \times 0.8 = 16 \text{ mA}$. El brillo corresponde al promedio (el ojo integra), pero la resistencia debe soportar el pico (20 mA: lo mismo que en continua, sin problema).

Ejercicio 17

Explica por qué en AC coupling no ves el nivel de 5 V de una señal PWM de 0-5 V.

SOLUCIÓN: Porque el capacitor de entrada del modo AC bloquea la componente continua (el promedio de 2.5 V al 50%) y solo deja pasar las variaciones: ves la cuadrada centrada en cero (de -2.5 a +2.5). Útil para ver el rizado sin que la continua sature la pantalla.

Ejercicio 18

Calcula la longitud de onda de una señal de 16 MHz (reloj del Arduino) y comenta si los cables del protoboard (10 cm) son "largos" para ella.

SOLUCIÓN: $\lambda = 300,000,000 / 16,000,000 = 18.75 \text{ m}$. Un cable de 10 cm es 0.5% de λ : eléctricamente corto, se comporta como cable ideal. (Los problemas de alta frecuencia empiezan cuando el cable supera $\sim 1/10$ de λ : aquí estamos 20 veces por debajo.)

Ampliación: diseño de fuentes de alimentación paso a paso

Anatomía de una fuente lineal completa

La fuente lineal clásica tiene 5 bloques:

RED 110 V -> TRANSFORMADOR -> RECTIFICADOR -> FILTRO ->
REGULADOR -> SALIDA DC.

1. Transformador: baja 110 V a $\sim 12 \text{ V AC}$ (y aísla).
2. Rectificador (puente): convierte AC en pulsante.
3. Filtro (capacitor grande): suaviza a DC con rizado.
4. Regulador (7805/7812): fija el voltaje exacto.
5. Salida: capacitores de desacople + fusible + indicador.

Diseño paso a paso de una fuente de 12 V / 1 A:

1. Elige el regulador: 7812 (1 A, necesita $\sim 14.5 \text{ V}$ mínimo a la entrada).
2. Calcula el transformador: necesitas $\sim 15\text{-}18 \text{ V DC}$ a la entrada del regulador con rizado incluido. Un transformador de 12 V AC da 17 V pico; con rizado de 2 Vpp, el mínimo es 15 V: justo. Mejor 15 V AC (21 V pico, margen cómodo).
3. Rectificador: puente de 2 A (doble de la carga, por seguridad).
4. Capacitor de filtro: regla práctica 2000 μF por amperio -> 2200 μF / 35 V (el voltaje del capacitor debe superar el pico: 21 V -> usa 35 V).
5. Regulador 7812 con disipador: disipa $(21-12) \times 1 = 9 \text{ W}$: disipador OBLIGATORIO.
6. Entrada: fusible lento de 0.5 A en el primario + interruptor.
7. Salida: capacitor 100 nF cerámico pegado al regulador + LED indicador.

Verificación con multímetro: salida 12.0 V ± 0.3 ; rizado $< 100 \text{ mV}$; el regulador tibio-caliente pero tocable con disipador; el transformador no zumba excesivo.

Fuente conmutada (buck): la eficiente

La fuente conmutada no quema el exceso en calor: lo "trocea" con un transistor a alta frecuencia y lo filtra con un inductor. Eficiencia 85-95% vs 40-60% de la lineal.

Con módulos listos (LM2596): ajustas el potenciómetro a tu voltaje y listo. Para diseñar la tuya: elige el chip (LM2596, MP2307), sigue el esquemático de la hoja de datos (son 6-8 componentes), calcula el inductor según la corriente. La hoja de datos trae el diseño de referencia: cópialo con confianza, es lo que hacen los profesionales.

Cuándo usar cada una:

- LINEAL: circuitos analógicos sensibles (audio, instrumentación), cuando el ruido importa más que la eficiencia, corrientes pequeñas.
- CONMUTADA: todo lo demás (Arduino, LEDs, motores), cuando la batería o el calor importan.

Protección de la fuente y de la carga

Toda fuente decente lleva:

- FUSIBLE a la entrada (contra cortos catastróficos).
- DIODO anti-retorno si hay batería involucrada.
- PROTECCIÓN contra inversión de polaridad en la salida (diodo en serie o MOSFET ideal).
- LIMITACIÓN de corriente (algunos reguladores la traen; si no, un fusible rearmable PTC).
- VARISTOR en la entrada de red (absorbe picos de la pared).

Y toda CARGA delicada agradece: capacitor de desacople en sus pines de alimentación (100 nF), y si es cara, un regulador dedicado.

Medir y caracterizar tu fuente

Pruebas:

1. Voltaje en vacío: debe ser el nominal.
2. Voltaje a plena carga: no debe caer más de 5%.
3. Rizado con carga (modo AC del multímetro o, mejor, osciloscopio).
4. Temperatura del regulador/transistor a plena carga tras 10 minutos.

5. Prueba de corto (con fusible): la fuente debe sobrevivir.

Anota todo en tu bitácora: es la "ficha técnica" de tu fuente. Cuando la uses en proyectos futuros, sabrás exactamente qué puede dar.

Práctica adicional

Ejercicio 25

Diseña una fuente lineal de 5 V / 500 mA con 7805. Da transformador, puente, capacitor y verifica el margen.

SOLUCIÓN: 7805 necesita ~7.5 V mínimo. Transformador 9 V AC -> 12.7 V pico. Rizado con 1000 uF a 0.5 A: $V_{pp} = 0.5 / (120 \times 0.001) = 4.2 \text{ V}$ -> mínimo 8.5 V: justo. Mejor 2200 uF: rizado 1.9 V, mínimo 10.8 V: margen cómodo. Puente 1 A. Disipador: $(12.7 - 5) \times 0.5 = 3.85 \text{ W}$: disipador mediano. Capacitor 2200 uF / 25 V (pico 12.7 V).

Ejercicio 26

Compara la eficiencia de la fuente del ejercicio 25 contra un buck al 90%.

SOLUCIÓN: Lineal: $P_{out} = 2.5 \text{ W}$, $P_{in} \sim 12.7 \times 0.5 = 6.35 \text{ W}$ -> 39%. Buck: $P_{in} = 2.5 / 0.9 = 2.78 \text{ W}$. El buck desperdicia 0.28 W contra 3.85 W de la lineal: 14 veces menos calor. Para batería, la diferencia es autonomía.

Ejercicio 27

Tu fuente lineal de 12 V / 1 A calienta mucho el 7812 aunque tiene disipador. Da 3 soluciones.

SOLUCIÓN: 1) Bajar el voltaje del transformador (de 15 a 12 V AC: menos caída en el regulador). 2) Cambiar a buck (elimina el problema de raíz). 3) Mejor disipador + ventilación (trata el síntoma). La mejor ingeniería: la 2; la más rápida: la 3.

Ejercicio 28

Explica por qué el capacitor de filtro se calcula con la corriente de carga.

SOLUCIÓN: Porque entre cada semiciclo de la red (8.3 ms), la carga sigue consumiendo del capacitor: a más corriente, más se descarga en ese tiempo, más rizado. La fórmula $V_{pp} = I / (f \times C)$ lo muestra directo: el rizado es proporcional a I e inverso a C.

Ejercicio 29

¿Qué fusible pones en el primario de un transformador 110 V que entrega 24 W en el secundario?

SOLUCIÓN: $I_{\text{prim}} \sim 24/110 = 0.22 \text{ A}$ (+ pérdidas). Fusible lento de 0.5 A: protege contra fallas sin fundirse con el pico de arranque del transformador (los transformadores tienen corriente de magnetización inicial alta: por eso LENTO, no rápido).

Ejercicio 30

Tu buck ajustable da 5 V en vacío pero cae a 4.2 V con 2 A de carga. Diagnostica.

SOLUCIÓN: Posibles: 1) La fuente que alimenta al buck no da suficiente corriente (el buck no crea energía). 2) Cables delgados con caída ($2 \text{ A} \times 0.4 \text{ ohm} = 0.8 \text{ V}$: ¡ahí están!). 3) El módulo es de menor corriente real de la anunciada (común en módulos baratos). Verifica en orden: mide a la entrada del buck con carga, luego el cable, luego las especificaciones reales.

Ampliación: tu laboratorio - fuente regulable y mediciones avanzadas

La fuente de laboratorio: tu mejor aliada

Una fuente regulable (típico 0-30 V, 0-5 A) te permite probar circuitos sin pilas ni eliminadores: ajustas el voltaje exacto y LIMITAS la corriente. Esa limitación es oro: si tu circuito tiene un corto, la fuente limita a (ej.) 100 mA en vez de entregar 5 A y quemar todo.

Uso correcto:

1. Conecta con la fuente APAGADA o en 0 V.
2. Ajusta el voltaje al valor del circuito.
3. Ajusta el límite de corriente un poco arriba de lo esperado (si esperas 200 mA, pon 300 mA).
4. Energiza y observa: si la fuente entra en limitación de corriente (LED "C.C."), tu circuito consume de más: APAGA y revisa (probable corto).
5. Mide el consumo real: es el diagnóstico más rápido que existe.

La fuente te dice la corriente sin multímetro en serie: un vistazo al display revela cortos, consumos anómalos y fugas. Por eso es la segunda compra del taller.

Medición de corriente sin cortar cables

Tres formas:

1. EN SERIE (multímetro): precisa, pero hay que abrir el circuito. Rango correcto primero (empieza en el más alto).
2. PINZA AMPERIMÉTRICA: abraza el cable y mide el campo magnético: sin cortar nada. Las de DC (efecto Hall) cuestan más pero miden tus circuitos; las baratas solo miden AC.
3. RESISTENCIA SHUNT: una resistencia pequeña conocida en serie; mides su voltaje y calculas $I = V/R$. Los módulos INA219 hacen esto con I2C y te dan voltaje, corriente y potencia en tu Arduino: telemetría de tu propio circuito.

El generador de funciones (conceptual)

Genera senoidales, cuadradas y triangulares de frecuencia y amplitud ajustables: la "fuente de señales" para probar filtros, amplificadores y comparadores. Prueba típica: inyectas senoidal de 1 kHz a tu filtro RC y mides la salida: ves la atenuación en vivo.

Alternativa casera: el 555 como generador de cuadradas, o un Arduino con DDS por software (librerías que generan senoidales con PWM + filtro). No sustituyen a un generador real, pero sirven para aprender.

Medir capacitores e inductores

El multímetro básico no mide capacitancia ni inductancia. Opciones:

- Multímetro con capacímetro (muchos lo traen): mide hasta cientos de uF. Descarga el capacitor antes de medir.
- Medidor LCR (componentes): preciso para L y C, inversión seria.
- Método RC: carga el capacitor por una R conocida y mide el tiempo al 63% ($\tau = R \times C$): despejas C. Didáctico y gratis.
- Los códigos impresos (103, 104, 106) que ya dominas: la forma más rápida.

Registro de mediciones: el cuaderno del laboratorio

Toda medición importante se anota: fecha, circuito, condiciones, valor medido, valor esperado, diferencia y conclusión. Parece burocracia; es ingeniería. Cuando un circuito falla 3 meses después, tu cuaderno te dice qué cambió. Los profesionales no confían en su memoria: confían en sus registros.

Formato mínimo:

2026-09-19 | Fuente 12V/1A | Vsal vacío: 12.04 V |
Vsal 1A: 11.92 V | Rizado: 80 mVpp | OK.

Práctica adicional

Ejercicio 37

Conectas tu circuito a la fuente de laboratorio con límite en 300 mA y la fuente entra en limitación mostrando 0.8 V. Diagnostica paso a paso.

SOLUCIÓN: El circuito intenta consumir más de 300 mA (corto o falla): la fuente baja el voltaje para mantener 300 mA. Pasos: 1) Apaga. 2) Mide resistencia entre VCC y GND del circuito (si es $\sim 0-10$ ohms: corto directo). 3) Desconecta bloques hasta que la resistencia suba (aisla el bloque culpable). 4) Dentro del bloque, busca el componente caliente al tacto (con límite bajo es seguro tocar) o mide continuidad. La fuente con límite convirtió un incendio en un diagnóstico tranquilo.

Ejercicio 38

Quieres medir el consumo de tu ESP32 en deep sleep (~ 10 uA) y transmitiendo (~ 150 mA). ¿Qué técnica usas para cada uno?

SOLUCIÓN: Deep sleep: multímetro en serie en rango de uA/mA (el shunt interno es preciso a esos niveles; cuidado con la caída de voltaje del shunt). Transmitiendo: la misma serie en rango de A, o mejor un INA219 registrando en el tiempo (ves el perfil completo: picos de WiFi). La pinza DC también sirve para los 150 mA si tienes una.

Ejercicio 39

Mide un capacitor marcado "106" con tu multímetro en modo capacitancia y lee 8.2 uF. ¿Está bien?

SOLUCIÓN: 106 = 10 uF con tolerancia típica $\pm 20\%$ (8-12 uF). 8.2 uF está dentro: bien. Si leyera 2 uF, estaría seco/dañado. (Mide descargado y fuera del circuito para no medir el resto.)

Ejercicio 40

Diseña una prueba con generador de funciones para verificar tu filtro pasa-bajas de 1.6 kHz (Unidad 3).

SOLUCIÓN: Inyecta senoidal de 1 Vpp barriendo frecuencias: 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 1.6 kHz, 3 kHz, 10 kHz. Mide V_{sal} en cada una. Esperas: ~1 V hasta 1 kHz, 0.707 V a 1.6 kHz (el punto de -3 dB), cayendo después (~0.3 V a 5 kHz). Grafica V_{sal} vs frecuencia: es la curva de respuesta de tu filtro, medida por ti.

Ejercicio 41

¿Por qué la limitación de corriente de la fuente no sustituye al fusible en tu proyecto final?

SOLUCIÓN: Porque la fuente de laboratorio es de tu mesa, no del proyecto: cuando el proyecto salga al mundo usará otra alimentación sin límite. El fusible vive EN el proyecto y lo protege siempre, en cualquier parte. La fuente te protege mientras desarrollas; el fusible protege el producto para siempre.

Ejercicio 42

Explica cómo un INA219 te permite hacer "telemetría" de tu robot seguidor de línea.

SOLUCIÓN: El INA219 (I2C) mide voltaje, corriente y potencia de la batería en tiempo real; el Arduino los registra (o los transmite por Bluetooth). Ves cuánta corriente consumen los motores en curvas vs rectas, cuándo la batería decae, y optimizas (menos peso, mejor PWM). Es instrumentación profesional en tu robot casero.

UNIDAD 3: La Ley de Ohm

Introducción a la unidad

Si la electrónica tuviera un solo mandamiento, sería este: $V = I \times R$. La Ley de Ohm, descubierta por Georg Simon Ohm en 1827, relaciona las tres magnitudes de la Unidad 2 en una fórmula tan simple que cabe en una servilleta, y tan poderosa que con ella puedes analizar casi cualquier circuito de corriente directa.

Ohm descubrió experimentalmente que en la mayoría de los materiales, la corriente que fluye es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia. Dicho en español: a más voltaje, más corriente; a más resistencia, menos corriente. Exactamente lo que la analogía del agua te hizo intuir en la Unidad 1.

Esta unidad es el corazón matemático del libro. La usaremos para calcular la resistencia que necesita un LED, la corriente que consume un circuito, el voltaje que cae en cada componente y la potencia que disipa cada parte. La practicaremos con decenas de ejemplos hasta que despejar I , V o R te salga tan natural como sumar. Todo lo que sigue -circuitos en serie y paralelo, divisores de voltaje, análisis de transistores- es la Ley de Ohm aplicada con creatividad.

Explicación detallada

La fórmula y sus tres caras

La Ley de Ohm dice:

$$V = I \times R$$

Donde:

- V = voltaje en volts (a través del componente).
- I = corriente en amperes (que lo atraviesa).
- R = resistencia en ohms.

Despejando obtienes sus tres caras, que debes saber usar en cualquier dirección:

$V = I \times R$ (¿qué voltaje cae si conozco corriente y resistencia?)
 $I = V / R$ (¿qué corriente fluye si conozco voltaje y resistencia?)
 $R = V / I$... no: $R = V / I$ (¿qué resistencia necesito para
limitar la corriente a cierto valor con cierto voltaje?)

Un truco visual para no equivocarte nunca es el triángulo de Ohm:

V

I x R

Tapa con el dedo la magnitud que buscas:

- Tapa V: queda $I \times R$ (multiplica).
- Tapa I: queda V / R (divide).
- Tapa R: queda V / I (divide).

Dibuja este triángulo en tu libreta y úsalo hasta que ya no lo necesites. No tiene nada de malo usar ayudas visuales; los ingenieros profesionales usan tablas y calculadoras todos los días.

La trampa de las unidades: consistencia

La Ley de Ohm exige unidades consistentes: volts, amperes y ohms. El error más común es mezclar miliamperes con ohms y esperar volts correctos. Tienes dos estrategias:

Estrategia 1: convierte todo a unidades base antes de calcular. $20 \text{ mA} = 0.020 \text{ A}$; $4.7 \text{ kohm} = 4700 \text{ ohms}$. Luego $V = 0.020 \times 4700 = 94 \text{ V}$.

Estrategia 2: usa pares compatibles. Si trabajas con miliamperes y kiloohms, el resultado sale directo en volts: $V = I(\text{mA}) \times R(\text{kohm})$ da volts. Ejemplo: $20 \text{ mA} \times 4.7 \text{ kohm} = 94 \text{ V}$. ¡Sin conversiones! Esto funciona porque los dos "mili" y "kilo" se cancelan ($1000 \times 1/1000 = 1$).

Memoriza estos pares compatibles:

- mA con kohm da V directamente.
- V con kohm da mA directamente: $I(\text{mA}) = V / R(\text{kohm})$.
- V con mA da kohm directamente: $R(\text{kohm}) = V / I(\text{mA})$.

Con estos atajos, el 90 por ciento de tus cálculos de protoboard salen sin calculadora científica.

El ejemplo estrella: la resistencia del LED

Este es el cálculo que harás cien veces en tu vida electrónica. Un LED no se conecta directo a la pila: necesita una resistencia en serie que limite su corriente, o se quema. El LED tiene un voltaje característico (unos 2 V para rojo/verde/amarillo, unos 3.3 V para azul/blanco) y una corriente recomendada (10 a 20 mA).

El procedimiento, paso a paso:

```
PASO 1: Define la corriente deseada. Típico: 15 mA.  
PASO 2: Resta el voltaje del LED al voltaje de la fuente.  
         Lo que sobra cae en la resistencia.  
PASO 3: Aplica  $R = V / I$  con los valores de la resistencia.  
PASO 4: Elige el valor comercial más cercano (serie E12).  
PASO 5: Verifica la potencia:  $P = V \times I$  en la resistencia.
```

Ejemplo concreto: LED rojo (2 V) con pila de 9 V, corriente 15 mA:

```
Voltaje en la resistencia:  $9\text{ V} - 2\text{ V} = 7\text{ V}$ .  
 $R = V / I = 7\text{ V} / 15\text{ mA} = 0.467\text{ kohm} = 467\text{ ohms}$ .  
Valor comercial: 470 ohms (el más cercano por arriba,  
para no exceder la corriente).  
Corriente real:  $I = 7 / 0.470 = 14.9\text{ mA}$ . Perfecto.  
Potencia:  $P = 7 \times 0.0149 = 0.104\text{ W}$ . Una de 1/4 W sobra.
```

Este patrón -restar voltajes, dividir, elegir valor comercial, verificar potencia- se repite en cientos de diseños. Domínalo.

Divisor de voltaje: dos resistencias, un truco útil

Conecta dos resistencias en serie a una fuente. La corriente es la misma en ambas (ya veremos por qué en la Unidad 7), y el voltaje de la fuente se reparte entre ellas proporcionalmente a sus valores. El voltaje en el punto medio es:

$$V_{\text{salida}} = V_{\text{fuente}} \times R_2 / (R_1 + R_2)$$

Donde R_2 es la resistencia entre la salida y tierra.

Ejemplo: fuente de 9 V, $R_1 = 10\text{ kohm}$, $R_2 = 5\text{ kohm}$. $V_{\text{salida}} = 9 \times 5 / 15 = 3\text{ V}$. ¡Acabas de fabricar 3 volts a partir de 9! Los divisores se usan para adaptar niveles de señal, polarizar transistores y leer sensores. Limitación: si conectas una carga que consume corriente en la salida, el divisor se desbalancea; para cargas serias se usa un regulador de voltaje.

Curvas I-V: cuando Ohm no aplica

La Ley de Ohm describe a los componentes "óhmicos" (resistencias comunes): su gráfica de corriente contra voltaje es una línea recta. Pero hay componentes no óhmicos: el diodo (conduce casi nada hasta cierto voltaje y luego conduce muchísimo), el foco incandescente (su resistencia sube al calentarse), los termistores. Para esos componentes, $V = I \times R$ sigue valiendo en cada punto (es la definición de resistencia), pero R no es constante: cambia con el voltaje o la temperatura.

No te preocupes: en este libro aplicaremos Ohm a resistencias y a porciones lineales de circuitos, y trataremos a los componentes no lineales con sus propias reglas simplificadas (como el "voltaje fijo" del LED). Los ingenieros hacen exactamente lo mismo.

Potencia y Ohm combinados: el cuarteto completo

Con $V = I \times R$ y $P = V \times I$ puedes resolver cualquier combinación. Un ejemplo completo de análisis: una resistencia de 1 kohm conectada a 12 V.

```
Corriente:  $I = V / R = 12 / 1 \text{ kohm} = 12 \text{ mA}$ .  
Potencia:  $P = V \times I = 12 \times 0.012 = 0.144 \text{ W}$ .  
Verificación con la otra fórmula:  $P = V^2 / R = 144 / 1000$   
=  $0.144 \text{ W}$ . Coincide.  
Potencia nominal: el doble de 0.144 es 0.288; usa 1/2 W.
```

Acostúmbrate a verificar con la segunda fórmula: si los dos caminos dan lo mismo, tu cálculo está bien. Es un hábito de ingeniero que te salvará de errores tontos.

Analogía extendida: el sistema de riego

Volvamos al agua con más detalle, porque ahora con números la analogía brilla:

Imagina que debes regar un jardín. La bomba da cierta presión (voltaje). Las plantas necesitan cierto caudal (corriente). Si la manguera es muy delgada (muchísima resistencia), sale poca agua aunque la bomba empuje fuerte. Tienes tres formas de aumentar el caudal: subir la presión de la bomba (más voltaje), usar una manguera más gruesa (menos resistencia), o ambas.

El LED con su resistencia es como una planta delicada: necesita poca agua (15 mA). Si conectas la manguera directo a la bomba de alta presión (9 V sin resistencia), el chorro la destruye. La resistencia en serie es como una válvula parcialmente cerrada que reduce el caudal a lo que la planta tolera. Y la potencia disipada en la resistencia es el agua que se "desperdicia" en la válvula, convertida en calor: por eso la válvula (resistencia) debe ser lo bastante robusta para no derretirse.

Cuando diseñes circuitos, piensa siempre: ¿cuánta "agua" necesita cada componente? ¿La "presión" es la adecuada? ¿Las "válvulas" (resistencias) están bien dimensionadas? Esa intuición hidráulica, combinada con las fórmulas, te convierte en diseñador.

Ejemplos paso a paso

Ejemplo 1: Corriente por una resistencia conocida

¿Qué corriente circula por una resistencia de 2.2 kohm conectada a 5 V?

```
I = V / R = 5 V / 2.2 kohm = 2.27 mA.  
(Usando el par compatible mA-kohm: directo en mA.)  
Potencia: P = 5 x 0.00227 = 0.0114 W = 11.4 mW.  
Una resistencia de 1/8 W la maneja sobrada.
```

Ejemplo 2: Voltaje que cae en una resistencia

Por una resistencia de 470 ohms circulan 30 mA. ¿Qué voltaje hay entre sus terminales?

```
V = I x R = 30 mA x 0.470 kohm = 14.1 V.  
(30 mA x 0.470 kohm da volts directo.)  
Potencia: P = 14.1 x 0.030 = 0.423 W. ¡Necesitas una  
resistencia de 1 W! (el doble de 0.423 es 0.846).
```

Ejemplo 3: Resistencia para un LED azul con 5 V

LED azul: voltaje típico 3.3 V, corriente deseada 12 mA, fuente 5 V (USB/Arduino).

Voltaje en la resistencia: $5 - 3.3 = 1.7 \text{ V}$.
 $R = V / I = 1.7 \text{ V} / 12 \text{ mA} = 0.1417 \text{ kohm} = 141.7 \text{ ohms}$.
Valor comercial: 150 ohms (el más cercano por arriba).
Corriente real: $I = 1.7 / 0.150 = 11.3 \text{ mA}$. Bien.
Potencia: $P = 1.7 \times 0.0113 = 0.019 \text{ W}$. 1/4 W sobra.

Ejemplo 4: Divisor de voltaje para un sensor

Necesitas 3 V a partir de 9 V para alimentar un módulo. Eliges $R1 = 20 \text{ kohm}$ y $R2 = 10 \text{ kohm}$. Verifica la salida y la corriente del divisor.

$V_{\text{salida}} = 9 \times 10 / (20 + 10) = 9 \times 10/30 = 3 \text{ V}$. Correcto.
Corriente del divisor: $I = V / R_{\text{total}} = 9 / 30 \text{ kohm} = 0.3 \text{ mA}$.
Potencia en $R1$: $V_{R1} = 6 \text{ V}$; $P = 36/20k = 1.8 \text{ mW}$.
Potencia en $R2$: $V_{R2} = 3 \text{ V}$; $P = 9/10k = 0.9 \text{ mW}$.
Despreciables. Pero recuerda: esto solo sirve si el módulo consume muchísimo menos que 0.3 mA; si no, usa regulador.

Ejemplo 5: Encontrar la resistencia equivalente mental

Un circuito tiene 12 V y quieres que consuma exactamente 50 mA en total. ¿Qué resistencia total necesitas?

$R = V / I = 12 \text{ V} / 50 \text{ mA} = 0.24 \text{ kohm} = 240 \text{ ohms}$.
Valor comercial: 240 ohms existe en serie E12. Perfecto.
Potencia: $P = 12 \times 0.050 = 0.6 \text{ W}$. Usa resistencia de 1 W como mínimo (el doble de 0.6 es 1.2; comercial: 2 W para buen margen, o 1 W si el espacio apremia... mejor 2 W).

Ejemplo 6: Doble verificación de un diseño

Diseñaste una resistencia de 330 ohms para un LED con fuente de 9 V. El LED es rojo (2 V). Verifica corriente y potencia por los dos caminos.

Voltaje en R: $9 - 2 = 7 \text{ V}$.
Camino 1: $I = V / R = 7 / 0.330 = 21.2 \text{ mA}$.
Camino 2: $P = V^2 / R = 49 / 330 = 0.148 \text{ W}$;
 $I = P / V = 0.148 / 7 = 21.2 \text{ mA}$. Coincide.
21.2 mA está un poco alto para un LED común (máximo típico 20 mA). Mejor usa 390 ohms: $I = 7/0.39 = 17.9 \text{ mA}$.

Este último ejemplo muestra el ciclo completo de diseño: calcular, verificar, ajustar. Así trabajan los profesionales.

Ejemplo 7: ¿Qué pasa si la resistencia es muy pequeña?

Conectas una resistencia de 10 ohms a 5 V. Calcula corriente y potencia.

$I = 5 / 0.010 \text{ kohm} = 500 \text{ mA}$. ¡Medio ampere!

$P = 25 / 10 = 2.5 \text{ W}$.

Una resistencia común de 1/4 W se quemaría en segundos.

Además, medio ampere puede exceder lo que entrega un puerto USB normal. Este cálculo te dice que algo anda mal en el diseño: 10 ohms es muy poco para 5 V.

Práctica

Ejercicio 1

Una resistencia de 1 kohm tiene 3.3 V entre sus terminales. Calcula I y P.

SOLUCIÓN: $I = 3.3 / 1 = 3.3 \text{ mA}$. $P = 3.3 \times 0.0033 = 0.0109 \text{ W} = 10.9 \text{ mW}$.

Ejercicio 2

Diseña la resistencia para un LED verde (2.1 V) con fuente de 12 V y corriente de 18 mA. Da valor comercial y potencia nominal.

SOLUCIÓN: $V_R = 12 - 2.1 = 9.9 \text{ V}$. $R = 9.9 / 18 \text{ mA} = 0.55 \text{ kohm} = 550 \text{ ohms}$. Comercial: 560 ohms. $I_{\text{real}} = 9.9 / 0.56 = 17.7 \text{ mA}$. $P = 9.9 \times 0.0177 = 0.175 \text{ W}$. Nominal: 1/2 W (el doble de 0.175 es 0.35).

Ejercicio 3

Un divisor con $R1 = R2 = 10 \text{ kohm}$ y fuente de 5 V. ¿Vsalida? ¿Corriente del divisor?

SOLUCIÓN: $V_{\text{salida}} = 5 \times 10 / 20 = 2.5 \text{ V}$. $I = 5 / 20 \text{ kohm} = 0.25 \text{ mA}$.

Ejercicio 4

Por una resistencia circulan 100 mA y disipa 1 W. ¿Cuál es su valor en ohms? ¿Qué voltaje hay en ella?

SOLUCIÓN: $R = P / I^2 = 1 / 0.01 = 100$ ohms. $V = I \times R = 0.1 \times 100 = 10$ V. (Verificación: $P = V \times I = 10 \times 0.1 = 1$ W. Correcto.)

Ejercicio 5

Explica con la analogía del agua por qué un LED sin resistencia en serie se quema.

SOLUCIÓN: El LED es como una planta delicada que solo tolera poca agua (corriente). Sin la "válvula" (resistencia) que limite el caudal, la "bomba" (fuente) empuja mucha más corriente de la que el LED soporta; el exceso de energía se convierte en calor dentro del LED y lo destruye.

Ejercicio 6

Tienes fuente de 9 V y quieres exactamente 3.3 V con un divisor usando $R2 = 3.3$ kohm. Calcula $R1$.

SOLUCIÓN: $V_{sal} = V_f \times R2 / (R1 + R2) \rightarrow 3.3 = 9 \times 3.3 / (R1 + 3.3) \rightarrow (R1 + 3.3) = 9 \times 3.3 / 3.3 = 9 \rightarrow R1 = 9 - 3.3 = 5.7$ kohm. Comercial: 5.6 kohm (da 3.34 V, suficientemente cerca).

Ejercicio 7

¿Es correcto decir "la resistencia consume voltaje"? Explica.

SOLUCIÓN: No es preciso. La resistencia no "consume" voltaje como si desapareciera; el voltaje CAE a través de ella porque la energía eléctrica se convierte en calor. Mejor decir: "en la resistencia hay una caída de voltaje de X volts" o "la resistencia disipa X watts".

Resumen de la unidad

La Ley de Ohm ($V = I \times R$) es la herramienta central de la electrónica: con dos magnitudes calculas la tercera. Aprendiste el triángulo de Ohm para despejar sin errores, los pares de unidades compatibles (mA con kohm da V directo) para calcular rápido, y el procedimiento completo de diseño de la resistencia de un LED (restar el voltaje del LED, dividir entre la corriente deseada, elegir valor comercial, verificar potencia). Viste el divisor de voltaje ($V_{sal} = V_f \times R2 / (R1 + R2)$) con su limitación para cargas que consumen corriente, y la diferencia entre componentes óhmicos y no óhmicos. El hábito de oro: verificar cada cálculo por un segundo camino y elegir resistencias con al menos el doble de la potencia disipada.

Ampliación: gimnasio de la Ley de Ohm (15 problemas graduados)

La Ley de Ohm se domina practicando. Aquí tienes 15 problemas de dificultad creciente, todos con solución explicada. Hazlos con lápiz y papel antes de leer la solución.

PROBLEMA 1 (básico): $I = 2 \text{ A}$ por $R = 10 \text{ ohms}$. ¿V?

SOLUCIÓN: $V = 2 \times 10 = 20 \text{ V}$.

PROBLEMA 2 (básico): $V = 12 \text{ V}$, $R = 4 \text{ ohms}$. ¿I?

SOLUCIÓN: $I = 12/4 = 3 \text{ A}$.

PROBLEMA 3 (unidades): $V = 5 \text{ V}$, $R = 2.2 \text{ kohm}$. ¿I en mA?

SOLUCIÓN: $I = 5/2.2 = 2.27 \text{ mA}$ (par compatible directo).

PROBLEMA 4 (unidades): $I = 15 \text{ mA}$, $R = 1 \text{ kohm}$. ¿V?

SOLUCIÓN: $V = 15 \times 1 = 15 \text{ V}$ (mA x kohm = V directo).

PROBLEMA 5 (despeje): $V = 9 \text{ V}$, $I = 45 \text{ mA}$. ¿R?

SOLUCIÓN: $R = 9/45 \text{ mA} = 0.2 \text{ kohm} = 200 \text{ ohms}$.

PROBLEMA 6 (potencia): $R = 100 \text{ ohms}$, $I = 50 \text{ mA}$. ¿P? ¿Nominal?

SOLUCIÓN: $P = I^2 \times R = 0.0025 \times 100 = 0.25 \text{ W}$. Nominal: $1/2 \text{ W}$ (el doble).

PROBLEMA 7 (LED): LED amarillo (2.1 V), fuente 9 V, $I = 20 \text{ mA}$. ¿R comercial?

SOLUCIÓN: $V_R = 6.9 \text{ V}$. $R = 6.9/20 = 0.345 \text{ kohm} = 345 \text{ ohms} \rightarrow 360 \text{ ohms (E12)}$. $I_{\text{real}} = 6.9/0.36 = 19.2 \text{ mA}$. $P = 6.9 \times 0.0192 = 0.132 \text{ W} \rightarrow 1/4 \text{ W}$.

PROBLEMA 8 (divisor): Fuente 10 V, $R_1 = 15 \text{ kohm}$, $R_2 = 5 \text{ kohm}$. ¿Vsal?

SOLUCIÓN: $V_{\text{sal}} = 10 \times 5/20 = 2.5 \text{ V}$.

PROBLEMA 9 (divisor inverso): Quieres 4 V de 12 V con $R_2 = 8 \text{ kohm}$. ¿R1?

SOLUCIÓN: $4 = 12 \times 8/(R_1+8) \rightarrow R_1+8 = 96/4 = 24 \rightarrow R_1 = 16 \text{ kohm}$. Comercial: 15 kohm (da 4.17 V) o 16 kohm (E24) .

PROBLEMA 10 (serie): 24 V con 4.7 kohm y 7.3 kohm en serie. ¿Corriente y voltaje en cada una?

SOLUCIÓN: $R_t = 12 \text{ kohm}$. $I = 24/12 = 2 \text{ mA}$. $V_1 = 2 \times 4.7 = 9.4 \text{ V}$. $V_2 = 2 \times 7.3 = 14.6 \text{ V}$. Suma: 24 V.

PROBLEMA 11 (paralelo): 5 V con 2 kohm y 3 kohm en paralelo. ¿I total?

SOLUCIÓN: $I_1 = 2.5 \text{ mA}$, $I_2 = 1.667 \text{ mA}$. Total: 4.167 mA . $R_t = 1.2 \text{ kohm}$; $5/1.2 = 4.167 \text{ mA}$.
Correcto.

PROBLEMA 12 (mixto): 15 V, $R_1 = 1\text{k}$ en serie con ($R_2 = 2\text{k} \parallel R_3 = 2\text{k}$). ¿I total?

SOLUCIÓN: $R_{23} = 1 \text{ kohm}$. $R_t = 2 \text{ kohm}$. $I = 7.5 \text{ mA}$. $V_{R1} = 7.5 \text{ V}$, $V_{\text{par}} = 7.5 \text{ V}$, I por cada rama: 3.75 mA .

PROBLEMA 13 (potencia límite): ¿Máximo voltaje que puedes aplicar a una resistencia de 470 ohms y 1/2 W?

SOLUCIÓN: $P = V^2/R \rightarrow V = \text{raiz}(P \times R) = \text{raiz}(0.5 \times 470) = \text{raiz}(235) = 15.33 \text{ V}$. Por seguridad, no pases de $\sim 10 \text{ V}$ continuos.

PROBLEMA 14 (diseño): Necesitas 50 mA a través de una carga que cae 3 V, alimentada con 9 V. ¿R en serie y su potencia?

SOLUCIÓN: $V_R = 6 \text{ V}$. $R = 6/50 \text{ mA} = 120 \text{ ohms}$. $P = 6 \times 0.05 = 0.3 \text{ W} \rightarrow$ nominal 1 W (el doble de 0.3 es 0.6; comercial 1 W).

PROBLEMA 15 (diagnóstico): Un circuito serie de 12 V con dos resistencias iguales mide 12 V en una y 0 V en la otra. ¿Qué pasó?

SOLUCIÓN: La de 0 V está en cortocircuito (0 ohms): no cae voltaje en ella y la otra recibe todo. La corriente se duplicó respecto al diseño: revisa la fuente y la resistencia sana.

Ampliación: taller de diseño con LEDs

Diseño 1: Semáforo peatonal (3 LEDs, 9 V)

Rojo, amarillo y verde (2 V cada uno), 15 mA, fuente 9 V. ¿Una resistencia por LED o una compartida?

Por LED: $V_R = 7 \text{ V}$, $R = 7/15 \text{ mA} = 467 \text{ ohms} \rightarrow 470 \text{ ohms}$.
NUNCA una resistencia compartida para LEDs en paralelo:
el LED con menor voltaje de codo se roba toda la corriente
y los demás apenas brillan (o se quema el primero).
Cada LED lleva SU resistencia. Regla inquebrantable.

Diseño 2: LED de potencia (1 W)

LED de 1 W: 3.3 V, 300 mA, con fuente de 12 V. ¿Resistencia? ¿Potencia?

```
V_R = 12 - 3.3 = 8.7 V. R = 8.7/0.3 = 29 ohms -> 30 ohms.  
P_R = 8.7 x 0.3 = 2.61 W -> resistencia de 5 W.  
P_LED = 3.3 x 0.3 = 0.99 W -> necesita disipador el LED.  
Eficiencia pésima (27 por ciento): para LEDs de potencia  
se usan drivers conmutados, no resistencias. La resistencia  
solo es aceptable para LEDs indicadores pequeños.
```

Diseño 3: Indicador de encendido (LED a 5 V)

El clásico LED piloto de tus proyectos: 5 V, LED rojo 2 V, 10 mA (brillo moderado para no deslumbrar).

```
R = (5-2)/10 mA = 300 ohms -> 330 ohms comercial.  
I real = 3/0.33 = 9.1 mA. P = 0.027 W. 1/4 W sobra.  
Este circuito lo armarás decenas de veces: memorízalo.
```

Diseño 4: Divisor con carga (el caso real)

Quieres 3.3 V para un sensor que consume 10 mA, desde 9 V. Divisor con R2 = 3.3 kohm: ¿funciona?

```
En vacío: R1 = 5.7 kohm daría 3.3 V (calculado antes).  
CON CARGA de 10 mA: la carga va en paralelo con R2.  
R2||carga: la carga equivale a 3.3V/10mA = 330 ohms.  
Paralelo: (3300 x 330)/(3630) = 300 ohms efectivos.  
Vsal real = 9 x 300/(5700+300) = 0.45 V. ¡Desastre!  
Conclusión: el divisor NO sirve para alimentar cargas que  
consumen corriente comparable. Usa un regulador (AMS1117  
de 3.3 V) o un divisor seguido de un seguidor con transistor.  
Regla: I_divisor debe ser 10x la I_carga como mínimo.
```

Diseño 5: Red de LEDs para letrero (12 V)

12 LEDs rojos (2 V, 20 mA) en un letrero con fuente de 12 V. ¿Cómo los conectas?

Opción serie-paralelo: grupos de 5 LEDs en serie
($5 \times 2 \text{ V} = 10 \text{ V}$) + resistencia: $V_R = 2 \text{ V}$,
 $R = 2/20 \text{ mA} = 100 \text{ ohms}$ por grupo.
12 LEDs = 2 grupos de 5 (10 LEDs) + 1 grupo de 2
($2 \times 2 = 4 \text{ V}$, $R = 8/20 \text{ mA} = 400 \rightarrow 390 \text{ ohms}$).
Corriente total: 3 grupos $\times$ 20 mA = 60 mA.
Así se cablean las tiras de LED comerciales: grupos en serie con su resistencia, grupos en paralelo entre sí.

Errores de diseño que debes evitar

1. LED sin resistencia (muerte segura del LED).
2. Una resistencia para varios LEDs en paralelo (brillo desigual, quemados).
3. Divisor de voltaje para alimentar cargas (voltaje colapsado).
4. Resistencia de potencia insuficiente (olor a quemado).
5. No verificar el voltaje real con carga (el papel aguanta todo).
6. Olvidar que la fuente también tiene límites (una pila de 9 V no da 2 A).

Ampliación: 10 problemas más de Ley de Ohm aplicada

PROBLEMA 16: Un sensor consume 4 mA a 3.3 V. ¿Qué resistencia equivalente presenta? ¿Qué potencia consume?

SOLUCIÓN: $R = 3.3/4 \text{ mA} = 0.825 \text{ kohm} = 825 \text{ ohms}$. $P = 3.3 \times 0.004 = 13.2 \text{ mW}$.

PROBLEMA 17: Tienes 20 V y necesitas una corriente total de 8 mA. ¿R total? Si la haces con dos iguales en serie, ¿de cuánto cada una?

SOLUCIÓN: $R_t = 20/8 \text{ mA} = 2.5 \text{ kohm}$. Dos iguales en serie: 1.25 kohm cada una $\rightarrow$ 1.2 kohm comercial (E12). $I_{\text{real}} = 20/2.4 = 8.33 \text{ mA}$.

PROBLEMA 18: Un fusible de 500 mA protege un circuito de 12 V. ¿Cuál es la resistencia mínima de carga para no fundirlo?

SOLUCIÓN: $R_{\text{min}} = 12/0.5 = 24 \text{ ohms}$. Con menos resistencia, la corriente supera 500 mA y el fusible se abre. (Por eso un corto de $\sim 0 \text{ ohms}$ lo funde al instante.)

PROBLEMA 19: Dos LEDs rojos (2 V c/u) en SERIE con 9 V y 15 mA. Calcula R.

SOLUCIÓN: $V_R = 9 - 4 = 5 \text{ V}$. $R = 5/15 \text{ mA} = 333 \text{ ohms} \rightarrow 330 \text{ ohms}$. $I_{\text{real}} = 15.2 \text{ mA}$. (En serie los voltajes de los LEDs se suman: truco para ahorrar corriente total.)

PROBLEMA 20: El problema 19 pero con 5 V de fuente. ¿Funciona?

SOLUCIÓN: $V_R = 5 - 4 = 1 \text{ V}$. $R = 1/15 \text{ mA} = 66.7 \text{ ohms} \rightarrow 68 \text{ ohms}$. Funciona pero con poco margen: si los LEDs reales caen 2.1 V cada uno (4.2 total), $V_R = 0.8 \text{ V}$ e $I = 11.8 \text{ mA}$ (21% menos). Con poco margen, las tolerancias se notan más.

PROBLEMA 21: Un potenciómetro de 10k como divisor variable con 5 V. ¿Rango de voltaje en el cursor? ¿Corriente del divisor?

SOLUCIÓN: 0 a 5 V (el cursor barre todo el rango). $I = 5/10\text{k} = 0.5 \text{ mA}$ constante. (Por eso el potenciómetro como divisor es ideal para referencias ajustables que no alimentan carga.)

PROBLEMA 22: Conectas el potenciómetro del problema 21 como resistencia variable (reóstato: cursor a un extremo) en serie con un LED a 5 V. ¿Rango de corriente del LED (LED 2 V)?

SOLUCIÓN: R de 0 a 10k. $I_{\text{max}} = (5-2)/0.001\text{k}...$ con $R=0$: ¡corriente ilimitada! PELIGRO: el LED se quema al girar al mínimo. Solución: resistencia fija mínima en serie (ej. 150 ohms): $I_{\text{max}} = 3/0.15 = 20 \text{ mA}$; $I_{\text{min}} = 3/10.15\text{k} = 0.3 \text{ mA}$. El potenciómetro como reóstato SIEMPRE lleva resistencia de seguridad.

PROBLEMA 23: Una tira de 30 LEDs (2 V, 20 mA) en serie-paralelo con 12 V, en grupos de 5. ¿Cuántos grupos? ¿R por grupo? ¿Corriente total?

SOLUCIÓN: $30/5 = 6$ grupos. Por grupo: $V_R = 12 - 10 = 2 \text{ V}$; $R = 2/20 \text{ mA} = 100 \text{ ohms}$. $I_{\text{total}} = 6 \times 20 = 120 \text{ mA}$. $P_{\text{total}} = 12 \times 0.12 = 1.44 \text{ W}$.

PROBLEMA 24: Mides 0 V entre los terminales de una resistencia en un circuito energizado que debería tener corriente. Da dos causas posibles.

SOLUCIÓN: 1) La resistencia está en cortocircuito (0 ohms) o puenteada por un cable/jumper accidental. 2) No hay corriente en esa rama (circuito abierto en otro punto de la serie): sin corriente no hay caída ($V = I \times R = 0$). Diagnosticar: mide la corriente de la rama para distinguir.

PROBLEMA 25: Diseña un divisor que dé 2.5 V de 9 V con corriente de divisor de 1 mA. Da R_1 , R_2 comerciales y verifica.

SOLUCIÓN: $R_t = 9/1 \text{ mA} = 9 \text{ kohm}$. $R_2 = 2.5/1 \text{ mA} = 2.5 \text{ kohm} \rightarrow 2.4\text{k} \text{ o } 2.7\text{k} \text{ (E12)}$. Con 2.7k: $R_1 = 9\text{k} - 2.7\text{k} = 6.3\text{k} \rightarrow 6.2\text{k}$. $V_{\text{sal}} = 9 \times 2.7/8.9 = 2.73 \text{ V}$. Con 2.4k y $R_1 = 6.8\text{k}$: $V_{\text{sal}} =$

$9 \times 2.4/9.2 = 2.35 \text{ V}$. Ninguno da exacto con E12: elige según el lado del error que prefieras, o usa E24 (2.49k y 6.49k dan 2.49 V). Lección: los divisores de precisión usan E24/E96 o potenciómetro de ajuste.

El potenciómetro: la resistencia ajustable

El potenciómetro (pot) es una resistencia con un cursor móvil: tres terminales (extremos A y B, cursor W). Entre A y B: la resistencia total fija (ej. 10k). Entre A y W: varía de 0 al total al girar. Usos:

- Divisor ajustable (los 3 pines): volumen, brillo, umbrales, referencia variable.
- Reóstato (W unido a un extremo, 2 pines): resistencia variable (SIEMPRE con resistencia fija de seguridad en serie).
- Sensor de posición: el ángulo del eje se vuelve voltaje (joysticks, perillas).

Tipos: lineales (la resistencia varía proporcional al giro: para ajustes técnicos) y logarítmicos (para volumen de audio: el oído percibe logarítmico). Valores comunes: 1k, 5k, 10k, 50k, 100k. Potencia: típico 0.25-0.5 W (no son para potencia, son para señal).

Ampliación: divisores con carga y transferencia máxima de potencia

El divisor con carga: la realidad

El divisor ideal (Unidad 3) supone que nada se conecta a la salida. En la realidad, la carga (R_L) se pone en paralelo con R_2 y cambia todo:

Sin carga: $V_{sal} = V \times R_2 / (R_1 + R_2)$.
Con carga: $R_2' = R_2 \parallel R_L$; $V_{sal} = V \times R_2' / (R_1 + R_2')$.

Regla práctica: si $R_L \geq 10 \times R_2$, el error es menor al 10% y puedes ignorarlo. Si no, calcula con R_2' .

Ejemplo: divisor 9 V con $R_1 = R_2 = 10k$ (V_{sal} ideal 4.5 V) cargado con $R_L = 10k$: $R_2' = 5k$, $V_{sal} = 9 \times 5/15 = 3 \text{ V}$. ¡Un 33% de error! Con $R_1 = R_2 = 1k$ y la misma carga: $R_2' = 0.909k$, $V_{sal} = 9 \times 0.909/1.909 = 4.29 \text{ V}$ (5% de error), pero el divisor consume 9 mA en vez de 0.9 mA.

El dilema del diseñador: resistencias bajas = divisor "rígido" (aguanta carga) pero desperdicia corriente; resistencias altas = eficiente pero "blando" (cualquier carga lo deforma). Soluciones reales:

- Si la carga es conocida y fija: calcúlala dentro del diseño (usa R_2' desde el inicio).
- Si la carga varía: pon un seguidor (op-amp) o un transistor entre el divisor y la carga: el divisor trabaja en vacío y el seguidor maneja la corriente.
- Si necesitas potencia de verdad: no uses divisor, usa regulador.

Transferencia máxima de potencia (teorema)

Dada una fuente con resistencia interna R_s , la carga R_L recibe la MÁXIMA potencia cuando $R_L = R_s$. (Demostración con cálculo: $P = V^2 \times R_L / (R_s + R_L)^2$, máximo en $R_L = R_s$.)

Consecuencias:

- En audio: por eso los amplificadores y bocinas se especifican en 4/8 ohms: el amplificador está diseñado para entregar su máxima potencia a esa carga.
- En RF: las antenas y transmisores se "acoplan" a 50 ohms: máxima transferencia, mínimas reflexiones.
- PERO en potencia/eficiencia: con $R_L = R_s$, la mitad de la potencia se quema en la fuente (eficiencia 50%). Para una red eléctrica o una batería, prefieres $R_L \gg R_s$ (eficiencia alta, no potencia máxima).

Distingue el objetivo: ¿quieres la máxima potencia posible (audio, RF) o el mínimo desperdicio (energía)? El teorema responde al primero.

Resistencias en AC: la impedancia (conceptual)

En alterna, capacitores e inductores también "se oponen" a la corriente, pero con desfase: su oposición depende de la frecuencia. La impedancia Z generaliza la resistencia: $Z_R = R$, $Z_C = 1/(j \times 2 \times \pi \times f \times C)$, $Z_L = j \times 2 \times \pi \times f \times L$.

Lo que te importa ahora:

- A frecuencia ALTA, el capacitor se comporta como cable (baja impedancia) y el inductor como circuito abierto.
- A frecuencia BAJA (o DC), al revés: el capacitor es abierto, el inductor es cable.
- Por eso el capacitor de desacople "cortocircuita" el ruido de alta frecuencia a tierra pero no afecta la continua.

- Por eso el filtro RC pasa-bajas: a alta frecuencia el capacitor deriva la señal a tierra.
- Con esto ya puedes razonar qualitatively cualquier filtro RC/RL sin matemáticas complejas.

Práctica adicional

Ejercicio 25

Un divisor de 12 V con $R_1 = 4k$, $R_2 = 2k$ alimenta una carga de $6k$. Calcula V_{sal} real y el error vs el ideal.

SOLUCIÓN: Ideal: $12 \times 2/6 = 4$ V. Real: $R_2' = 2k || 6k = 1.5k$. $V_{sal} = 12 \times 1.5/5.5 = 3.27$ V. Error: $(4-3.27)/4 = 18\%$.

Ejercicio 26

Rediseña el divisor del ejercicio 25 para que el error sea menor al 5% con la misma carga, manteniendo la corriente del divisor bajo 5 mA.

SOLUCIÓN: Necesitas $R_2' \sim R_2$ (carga 10x): $R_2 \sim 600$ ohms... prueba $R_1 = 1.2k$, $R_2 = 600$ ohms: $R_2' = 545$ ohms. $V_{sal} = 12 \times 545/1745 = 3.75$ V vs ideal 4 V: error 6.3%. Prueba $R_1 = 820$, $R_2 = 410$: $R_2' = 384$, $V_{sal} = 12 \times 384/1204 = 3.83$ V: error 4.3%. $I_{div} = 12/1.23k = 9.8$ mA: EXCEDE 5 mA. Conflicto real: con 5 mA no llegas al 5%. Solución honesta: usa un seguidor con op-amp, o acepta más corriente. La ingeniería es negociar contradicciones.

Ejercicio 27

Una fuente de 9 V con resistencia interna de 2 ohms alimenta una carga. ¿Con qué R_L hay máxima potencia? ¿Cuánta? ¿Qué eficiencia?

SOLUCIÓN: $R_L = 2$ ohms. $I = 9/4 = 2.25$ A. $P_L = 2.25^2 \times 2 = 10.125$ W. $P_{total} = 9 \times 2.25 = 20.25$ W. Eficiencia 50%: la otra mitad se quema dentro de la fuente (que se calentaría peligrosamente: por eso no se hace en potencia).

Ejercicio 28

Explica por qué una batería de 9 V "se muere" más rápido con una carga de 10 ohms que con una de 100 ohms, usando $P = V^2/R$.

SOLUCIÓN: $P_{10} = 81/10 = 8.1 \text{ W}$; $P_{100} = 0.81 \text{ W}$. La de 10 ohms extrae 10 veces más potencia (energía por segundo): la energía química se agota 10 veces más rápido. Además la resistencia interna hace caer el voltaje más con 10 ohms.

Ejercicio 29

Un filtro RC pasa-bajas con $R = 1\text{k}$, $C = 100 \text{ nF}$: ¿a qué frecuencia aproximada empieza a atenuar? ($f_c = 1/(2 \times \pi \times R \times C)$)

SOLUCIÓN: $f_c = 1/(6.28 \times 1000 \times 100\text{e-}9) = 1/6.28\text{e-}4 = 1592 \text{ Hz} \sim 1.6 \text{ kHz}$. Por debajo pasa, por encima atenúa. Es el mismo cálculo que el temporizador del 555, con otros ojos.

Ejercicio 30

¿Por qué el capacitor de desacople de 100 nF no "desacopla" la continua del circuito?

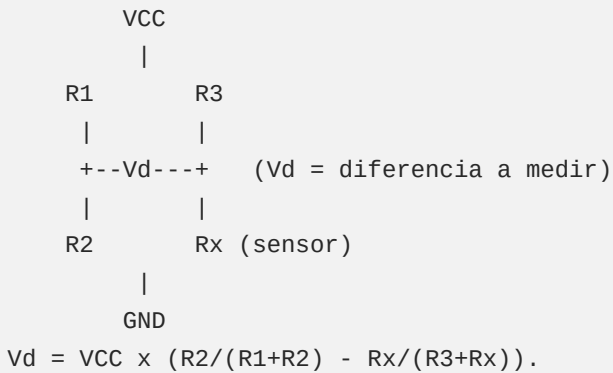
SOLUCIÓN: Porque en DC ($f = 0$) su impedancia es infinita (circuito abierto): no deja pasar la continua, solo ofrece camino de baja impedancia al ruido de alta frecuencia. Desacopla el RUIDO, no la alimentación: justo lo que se quiere.

Ampliación: instrumentación - el puente de Wheatstone

Medir lo diminuto: el puente de Wheatstone

¿Cómo mides un cambio de 0.1 ohm en un sensor de 100 ohms? Con un divisor normal, el cambio de voltaje es minúsculo y se pierde en el ruido. El puente de Wheatstone compara el sensor contra referencias y mide solo la DIFERENCIA: es el instrumento de precisión por excelencia.

Estructura (diamante):



Puente EQUILIBRADO: cuando $R_1/R_2 = R_3/R_x$, $V_d = 0$. Cualquier cambio en R_x desbalancea el puente y $V_d \neq 0$: la salida es proporcional (aprox.) al cambio del sensor. Ajustas R_3 (potenciómetro) hasta $V_d = 0$ sin carga: calibras el cero.

Sensibilidad: con $V_{CC} = 5\text{ V}$ y resistencias de 1 k , un cambio de 1 ohm en R_x da $V_d \sim 1.25\text{ mV}$: medible con un buen ADC o un amplificador de instrumentación. Sin el puente, ese 1 ohm sobre 1000 se perdería.

La galga extensiométrica: pesar y sentir fuerza

La galga (strain gauge) es una resistencia que cambia con la deformación mecánica (típico: 120 ohms , factor de galga ~ 2 : al estirarse 0.1% , cambia 0.24 ohms). Pegada a una pieza metálica, convierte fuerza/deformación en señal eléctrica.

Como el cambio es minúsculo, va en puente de Wheatstone + amplificador de instrumentación (AD620, INA125): de microvolts a volts legibles. Así funcionan las celdas de carga (Unidad 5), los sensores de presión industriales y los torquímetros.

Configuración de 4 galgas (puente completo): máxima sensibilidad y compensación de temperatura (las 4 cambian igual con la temperatura y se cancelan, pero responden opuesto a la deformación). Es el estándar en instrumentación seria.

El amplificador de instrumentación

Tres op-amps en configuración especial: amplifica la DIFERENCIA entre dos entradas con ganancia precisa (fijada por UNA resistencia), rechaza el ruido común (CMRR alto: lo que llega igual a ambas entradas se cancela) y presenta alta impedancia (no carga al puente).

Ganancia típica: $G = 1 + 50k/R_g$ (AD620).
 $R_g = 50k \rightarrow G = 2$. $R_g = 500 \rightarrow G = 101$.

Sin este chip, amplificar microvolts del puente amplificaría también el ruido. Con él, la señal emerge limpia. Es el héroe silencioso de la instrumentación.

Termopares y RTD: temperatura industrial

- TERMOPAR: dos metales unidos generan voltaje con la temperatura (efecto Seebeck): microvolts por grado, rango enorme (-200 a 1300 grados según tipo K, J...). Necesita compensación de unión fría (el MAX6675/MAX31855 lo hacen todo: termopar + amplificador + ADC + compensación en un chip).
- RTD (Pt100): resistencia de platino de 100 ohms a 0 grados, cambia 0.385 ohms/grado: precisa y estable, rango -200 a 600. Va en puente de Wheatstone o con el MAX31865.

Comparativa:

SENSOR	RANGO	PRECISIÓN	COSTO	USO
TMP36	-40 a 125	+/-2	\$	Proyectos, ambiente
DHT22	-40 a 80	+/-0.5	\$	Humedad + temp
Pt100	-200 a 600	+/-0.1	\$\$\$	Industrial, laboratorio
Termopar	-200 a 1300	+/-2	\$\$	Hornos, alta temp

Práctica adicional

Ejercicio 37

Un puente con $R_1 = R_2 = R_3 = 1k$, $R_x = 1000$ ohms en equilibrio con $V_{CC} = 5$ V. Si R_x sube a 1005 ohms, calcula V_d aproximado.

SOLUCIÓN: $V_d = 5 \times (0.5 - 1005/2005) = 5 \times (0.5 - 0.501247) = 5 \times (-0.001247) = -6.23$ mV.
Un cambio de 0.5% en R_x da 6.2 mV: con un ADC de 10 bits (4.88 mV/paso) apenas se detecta; con amplificador de instrumentación $G = 100$: 623 mV: perfectamente medible.

Ejercicio 38

Explica por qué el puente completo de 4 galgas compensa la temperatura.

SOLUCIÓN: Porque las 4 galgas (del mismo material, juntas) cambian igual con la temperatura: los cambios se cancelan en la resta del puente (V_d no cambia). Pero ante deformación, dos se estiran y dos se comprimen (montaje opuesto): sus cambios se SUMAN en V_d . La temperatura es modo común (se cancela), la deformación es modo diferencial (se amplifica).

Ejercicio 39

Elige sensor de temperatura para: a) un horno de pan a 250 grados, b) una incubadora a 37.5 grados ± 0.2 , c) monitoreo de cuarto.

SOLUCIÓN: a) Termopar tipo K + MAX6675 (rango sobrado, robusto). b) Pt100 + MAX31865 o un digital preciso (la incubadora exige ± 0.2 : el TMP36 no llega). c) DHT22 o TMP36 (barato, suficiente).

Ejercicio 40

¿Por qué un termopar necesita compensación de unión fría? Explica el concepto.

SOLUCIÓN: Porque el termopar mide la DIFERENCIA de temperatura entre la unión caliente (la punta) y la unión fría (donde se conecta al circuito): el voltaje generado depende de ambas. Si la unión fría está a 25 grados (ambiente) y no lo sabes, tu lectura tiene 25 grados de error. El chip de interfaz mide la temperatura local y la suma: compensación automática.

Ejercicio 41

Calcula la ganancia necesaria para llevar 6.2 mV del puente a 3.0 V para el ADC, y elige R_g para un AD620.

SOLUCIÓN: $G = 3.0/0.0062 = 484$. AD620: $G = 1 + 49.4k/R_g \rightarrow R_g = 49.4k/483 = 102 \text{ ohms}$ $\rightarrow$ 100 ohms comercial ($G = 495$). Verifica que la salida no sature ($3 \text{ V} < V_{cc}$ - margen: con 5 V bien).

Ejercicio 42

Tu báscula con celda de carga deriva (cambia la lectura) con la temperatura del día. Da 2 soluciones.

SOLUCIÓN: 1) Puente completo con las 4 galgas activas (compensación intrínseca, si la celda es de calidad ya lo trae). 2) Compensación por software: mide la temperatura (un

**TMP36 junto a la celda) y corrige la lectura con una tabla/curva de calibración. 3)
Recalibra la tara periódicamente (la derivación lenta se cancela).**

UNIDAD 4: Componentes Pasivos

Introducción a la unidad

Hasta ahora hemos hablado de la resistencia como una idea abstracta. Es hora de conocer a los componentes pasivos reales: las resistencias, los capacitores y los inductores. Se llaman "pasivos" porque no pueden amplificar una señal ni necesitan una fuente de poder para funcionar: solo responden a la electricidad que pasa por ellos, cada uno a su manera.

La resistencia convierte energía eléctrica en calor de forma controlada. El capacitor almacena energía en un campo eléctrico y la devuelve después: es como un tinaco pequeño que se llena y se vacía rapidísimo. El inductor almacena energía en un campo magnético y se opone a los cambios bruscos de corriente: es como un volante de inercia que no quiere cambiar su velocidad de giro.

Estos tres componentes, combinados de formas inteligentes, forman filtros, temporizadores, osciladores y fuentes de poder. Toda la electrónica analógica clásica está construida con ellos. En esta unidad aprenderás a identificarlos físicamente, a leer sus valores (incluyendo el famoso código de colores de las resistencias), a conectarlos correctamente y a calcular su comportamiento en circuitos de corriente directa.

Explicación detallada

La resistencia: el componente más común

Físicamente, la resistencia de protoboard típica es un pequeño cilindro de cerámica con dos patas (terminales axiales) y bandas de colores pintadas. Las de carbón son baratas y ruidosas eléctricamente; las de película metálica son más precisas y estables (las reconocerás por su cuerpo azul). Para tus prácticas, cualquiera sirve.

El código de colores se lee así (4 bandas, el más común):

CÓDIGO DE COLORES (4 bandas)

Banda 1: primer dígito.

Banda 2: segundo dígito.

Banda 3: multiplicador (ceros que agregas).

Banda 4: tolerancia (dorado = 5 por ciento, plateado = 10).

COLORES Y DÍGITOS:

Negro=0, Café=1, Rojo=2, Naranja=3, Amarillo=4,

Verde=5, Azul=6, Violeta=7, Gris=8, Blanco=9.

Multiplicador: Negro= $\times 1$, Café= $\times 10$, Rojo= $\times 100$,

Naranja= $\times 1k$, Amarillo= $\times 10k$, Verde= $\times 100k$, Azul= $\times 1M$.

Ejemplo: Amarillo-Violeta-Rojo-Dorado = 4, 7, $\times 100$ = 4700 ohms = 4.7 kohm, tolerancia 5 por ciento. La banda de tolerancia (dorada o plateada) va separada de las otras tres: esa es tu pista para saber por dónde empezar a leer.

Las resistencias SMD (montaje superficial) no tienen bandas sino números impresos: "472" significa $47 \times 100 = 4700$ ohms = 4.7 kohm; "1002" significa $100 \times 100 = 10,000$ ohms = 10 kohm. El último dígito es el multiplicador.

La tolerancia indica qué tan cerca está el valor real del nominal: una resistencia de 4.7 kohm al 5 por ciento puede medir entre 4.465 y 4.935 kohm. Para LEDs y divisores aproximados no importa; para instrumentos de medición usa 1 por ciento (banda café de tolerancia, 5 bandas de lectura).

Potencia nominal: las comunes de protoboard son de 1/4 W (cuerpo pequeño) y 1/2 W (un poco más grande). Las de 1 W para arriba son notablemente más grandes. Si no sabes la potencia de una resistencia, mide su tamaño: a más grande, más potencia aguanta.

El capacitor: el tinaco eléctrico

Un capacitor son dos placas conductoras separadas por un aislante (dieléctrico). Al aplicar voltaje, una placa acumula electrones (negativa) y la otra los pierde (positiva): el capacitor se CARGA y almacena energía en el campo eléctrico entre las placas. Al quitar la fuente y conectar una carga, el capacitor se DESCARGA, devolviendo la energía. Carga y descarga, como un tinaco que se llena y se vacía.

La capacidad se mide en farads (F). Un farad es enorme para la electrónica práctica; usarás:

UNIDADES DE CAPACITANCIA

- Microfarad (uF): millonésima de farad. Fuentes de poder, acoplo de audio. $1 \text{ F} = 1,000,000 \text{ uF}$.
- Nanofarad (nF): milmillonésima. Filtros, temporizadores.
 $1 \text{ uF} = 1,000 \text{ nF}$.
- Picofarad (pF): billonésima. Radiofrecuencia, cristales.
 $1 \text{ nF} = 1,000 \text{ pF}$.

Tipos principales que debes reconocer:

Cerámicos (lentejita naranja o azul): valores pequeños (pF a cientos de nF), sin polaridad (se conectan al derecho o al revés), baratos, para filtros y desacoplo. Su código es de 3 dígitos como las SMD: "104" = $10 \times 10,000 \text{ pF} = 100,000 \text{ pF} = 100 \text{ nF} = 0.1 \text{ uF}$.

Electrolíticos (cilindro con una franja marcada): valores grandes (1 uF a miles de uF), CON POLARIDAD (la pata larga es positivo; la franja marca el negativo). Si los conectas al revés o les aplicas más voltaje del nominal, se calientan, se hinchan y pueden EXPLOTAR (literalmente revientan con un estallido). Respeta siempre la polaridad y deja margen en el voltaje nominal (si tu circuito es de 12 V, usa capacitor de 25 V o más).

De tantalio y de poliéster: variantes con mejor estabilidad para aplicaciones exigentes; los de tantalio también tienen polaridad.

Comportamiento en corriente directa: un capacitor DESCARGADO se comporta momentáneamente como un cortocircuito (deja pasar corriente mientras se carga) y un capacitor CARGADO se comporta como un circuito abierto (bloquea la corriente directa). Esta dualidad es la base de los temporizadores RC y los filtros: el capacitor "siente" los cambios y ignora lo estable.

El tiempo que tarda en cargarse depende de la constante de tiempo: $\tau = R \times C$ (resistencia en ohms por capacitancia en farads, resultado en segundos). En 1 tau el capacitor llega al 63 por ciento de su carga; en 5 tau está prácticamente cargado al 100 por cien. Ejemplo: $R = 10 \text{ kohm}$, $C = 100 \text{ uF} \rightarrow \tau = 10,000 \times 0.0001 = 1 \text{ segundo}$; carga completa en unos 5 segundos. Puedes VER esto con un LED que se enciende y se apaga lentamente: es un temporizador rudimentario.

Seguridad: los capacitores grandes (cientos de uF a 25 V o más) guardan carga peligrosa. Antes de tocar un circuito con capacitores grandes, descárgalos con una resistencia de 1 kohm entre sus terminales (nunca con un destornillador directo: el chispazo daña el capacitor y te asusta).

El inductor: el volante de inercia

Un inductor es básicamente una bobina de alambre enrollado (a veces sobre un núcleo de ferrita o hierro). Cuando la corriente pasa por la bobina, crea un campo magnético que almacena energía. La inductancia se mide en henrys (H); en la práctica usarás milihenrys (mH) y microhenrys (uH).

Su comportamiento es el espejo del capacitor: un inductor se OPONE a los cambios de corriente. Al energizar, al principio se comporta como circuito abierto (frena la subida de corriente) y en estado estable de corriente directa se comporta como un cortocircuito (un simple alambre, salvo su pequeña resistencia). Al interrumpir bruscamente la corriente, el campo magnético colapsa y genera un pico de voltaje (fuerza contraelectromotriz) que puede ser mucho mayor que el voltaje de la fuente: por eso los relevadores y motores llevan un diodo de protección en paralelo (diodo flyback), que veremos en la Unidad 5.

Donde brillan los inductores: filtros de fuentes de poder (suavizan la corriente), convertidores DC-DC, circuitos de radio (sintonizadores LC con capacitores) y electroimanes. En tus primeras prácticas los verás menos que resistencias y capacitores, pero debes reconocerlos: parecen pequeñas donas o cilindros de alambre enrollado, a veces verdes o con núcleo toroidal.

Analogía final del trío: la resistencia es una válvula que desperdicia agua en calor; el capacitor es un tinaco que se llena y vacía; el inductor es un volante pesado que se resiste a cambiar su velocidad. Con esas tres imágenes puedes intuir el comportamiento de casi cualquier circuito pasivo.

Leyendo valores en la práctica: guía rápida

RESISTENCIAS (bandas de color):

Amarillo-Violeta-Café-Dorado = 470 ohms 5%.

Café-Negro-Rojo-Dorado = 1 kohm 5%.

Rojo-Rojo-Café-Dorado = 220 ohms 5%.

CAPACITORES CERÁMICOS (3 dígitos en pF):

"103" = 10,000 pF = 10 nF.

"104" = 100,000 pF = 100 nF = 0.1 uF.

"222" = 2,200 pF = 2.2 nF.

CAPACITORES ELECTROLÍTICOS (impreso directo):

"100uF 25V" = 100 microfarads, máximo 25 volts.

La franja marca el NEGATIVO; la pata larga es POSITIVO.

Cuando compres componentes, pide siempre un surtido (kit) de resistencias E12 de 1/4 W y un surtido de capacitores cerámicos y electrolíticos comunes. Es la mejor inversión inicial para tu taller: con esos dos kits puedes armar el 80 por ciento de los circuitos de este libro.

Ejemplos paso a paso

Ejemplo 1: Leer una resistencia por colores

Bandas: Café - Negro - Naranja - Dorado. ¿Valor y tolerancia?

Banda 1 (Café) = 1. Banda 2 (Negro) = 0. Multiplicador (Naranja) = $\times 1k$. Dígitos: $10 \times 1,000 = 10,000$ ohms = 10 kohm.
Tolerancia (Dorado) = 5 por ciento.
Rango real: 9.5 kohm a 10.5 kohm.

Ejemplo 2: Constante de tiempo RC

$R = 47$ kohm, $C = 22$ uF. ¿Cuánto tarda el capacitor en cargarse prácticamente al 100 por cien?

$\tau = R \times C = 47,000 \times 0.000022 = 1.034$ segundos.
Carga práctica completa: $5 \times \tau = 5.17$ segundos.
En 1.034 s llega al 63 por ciento del voltaje final;
en 5.17 s está al 99.3 por ciento. Si quieres un LED que parpadee lento, este RC te da tiempos de segundos.

Ejemplo 3: Diseño de temporizador RC

Quieres que un capacitor de 100 uF tarde unos 10 segundos en cargarse al 99 por ciento. ¿Qué resistencia necesitas?

$5 \times \tau = 10$ s $\rightarrow \tau = 2$ s.
 $\tau = R \times C \rightarrow R = \tau / C = 2 / 0.0001 = 20,000$ ohms.
Comercial: 20 kohm no existe en E12; usa 22 kohm:
 $\tau = 22,000 \times 0.0001 = 2.2$ s; $5 \tau = 11$ s. Cerca del objetivo. O combina 18 kohm + 2.2 kohm en serie.

Ejemplo 4: Capacitor electrolítico bien elegido

Tu circuito trabaja a 12 V y necesitas 470 uF para filtrar la fuente. ¿Qué capacitor compras?

Regla: voltaje nominal de al menos el doble del circuito.
 $12\text{ V} \times 2 = 24\text{ V}$ -> compra "470uF 25V" o mejor "470uF 35V".
Verifica polaridad: pata larga al positivo, franja al negativo. Si lo conectas al revés, se hincha y revienta.

Ejemplo 5: Energía en un capacitor

Un capacitor de 1000 uF cargado a 12 V. ¿Cuánta energía almacena? (Fórmula: $E = 1/2 \times C \times V^2$.)

$E = 0.5 \times 0.001 \times 144 = 0.072$ joules.
Parece poco, pero liberada de golpe en un cortocircuito produce un chispazo serio. Por eso se descargan con resistencia, no con un destornillador.

Práctica

Ejercicio 1

Lee estas resistencias: Rojo-Violeta-Café-Dorado; Verde-Azul-Naranja-Dorado; Café-Café-Rojo-Dorado.

SOLUCIÓN: 270 ohms 5%. 56 kohm 5% (56 x 1k). 1.1 kohm 5% (11 x 100).

Ejercicio 2

Un cerámico dice "473". ¿Cuánto es en nF y uF?

SOLUCIÓN: 47,000 pF = 47 nF = 0.047 uF.

Ejercicio 3

$R = 10\text{ kohm}$, $C = 470\text{ uF}$. Calcula tau y el tiempo de carga práctica.

SOLUCIÓN: $\tau = 10,000 \times 0.00047 = 4.7\text{ s}$. Carga práctica: $5 \times 4.7 = 23.5\text{ s}$.

Ejercicio 4

Explica por qué un capacitor bloquea la corriente directa en estado estable pero deja pasar corriente mientras se carga.

SOLUCIÓN: Mientras se carga, los electrones fluyen hacia una placa y salen de la otra: hay movimiento de carga, o sea corriente. Una vez cargado al voltaje de la fuente, el campo eléctrico interno equilibra al externo y ya no hay flujo neto: se comporta como circuito abierto. El dieléctrico entre placas nunca permite el paso directo de electrones.

Ejercicio 5

¿Qué le pasa a un capacitor electrolítico de 16 V conectado a 24 V? ¿Y si se conecta al revés a 12 V?

SOLUCIÓN: A 24 V excede su nominal: el dieléctrico se rompe, se calienta, se hincha y puede reventar. Al revés a 12 V: la polaridad invertida destruye la capa de óxido que hace de dieléctrico, con el mismo resultado. En ambos casos, riesgo de explosión: usa siempre voltaje nominal con margen y respeta la polaridad.

Ejercicio 6

Describe con la analogía del agua qué hace un inductor cuando intentas interrumpir bruscamente la corriente.

SOLUCIÓN: Es como cerrar de golpe la válvula en una tubería con agua fluyendo rápido (golpe de ariete): la inercia del agua genera un pico de presión. El inductor, al colapsar su campo magnético, genera un pico de voltaje que puede dañar transistores cercanos; por eso se usa el diodo flyback.

Resumen de la unidad

Conociste los tres componentes pasivos: la resistencia (convierte energía en calor; se lee por código de colores; verifica siempre su potencia), el capacitor (almacena energía en un campo eléctrico; cerámicos sin polaridad para valores pequeños, electrolíticos con polaridad para valores grandes; $\tau = R \times C$ gobierna sus tiempos) y el inductor (almacena energía en campo magnético; se opone a cambios de corriente; genera picos de voltaje al interrumpirse). Aprendiste las reglas de seguridad críticas: margen de voltaje doble en electrolíticos, respetar polaridad, descargar capacitores grandes con resistencia. Con resistencias, capacitores e inductores puedes construir temporizadores, filtros y fuentes: la base de la electrónica analógica.

Ampliación: guía de componentes y el temporizador 555

La serie E12: tus valores disponibles

Las resistencias y capacitores comerciales no vienen en cualquier valor: siguen series geométricas (E12: 12 valores por década). Diseña siempre con estos:

SERIE E12 (multiplica por 1, 10, 100, 1000...):

10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82.

Ejemplos en ohms: 220, 470, 1k, 2.2k, 4.7k, 10k, 47k.

En uF: 0.1, 0.22, 0.47, 1, 2.2, 4.7, 10, 22, 47, 100.

Si tu cálculo pide 345 ohms, no existe: eliges 330 o 360 según quieras un poco más o menos corriente. Esta "cuantización" es normal en ingeniería: se diseña con lo que existe, no con lo ideal. La serie E24 (24 valores) da más opciones para diseños exigentes.

Cómo leer una hoja de datos (datasheet)

La hoja de datos es el manual oficial del componente. Secciones clave:

- Descripción y aplicaciones: qué es y para qué sirve.
- Maximum ratings (valores máximos ABSOLUTOS): nunca los excedas, ni por un instante.
- Electrical characteristics (características eléctricas): los valores típicos y garantizados en condiciones normales. Aquí buscas el voltaje de codo del LED, el beta del transistor, la caída del regulador.
- Pinout: el orden de las patas, con dibujo. Verifícalo SIEMPRE.

- Typical applications (aplicaciones típicas): circuitos de ejemplo probados por el fabricante. Copiar estos circuitos es una excelente forma de empezar.

Dónde conseguirlas: el fabricante (ti.com, onsemi.com, microchip.com) o buscadores como alldatasheet.com. Acostúmbrate a descargar el PDF del componente exacto que tienes en la mano: dos transistores "iguales" de distinto fabricante pueden tener el pinout invertido.

El temporizador 555: el chip más famoso

El NE555 (1971) es el circuito integrado más vendido de la historia. Con unas resistencias y un capacitor hace maravillas: temporizadores, parpadeadores, tonos, PWM. Tiene 8 pines:

PINOUT DEL 555

- 1 - GND (tierra).
- 2 - TRIGGER (disparo): al bajar de $1/3 V_{cc}$, activa la salida.
- 3 - OUTPUT (salida): hasta 200 mA, casi V_{cc} o casi 0.
- 4 - RESET: a V_{cc} para operar; a GND reinicia.
- 5 - CONTROL: referencia (normalmente con 10 nF a GND).
- 6 - THRESHOLD (umbral): al subir de $2/3 V_{cc}$, apaga la salida.
- 7 - DISCHARGE (descarga): descarga el capacitor temporizador.
- 8 - V_{cc} (4.5 a 16 V).

Modo ASTABLE (oscilador: parpadea solo). El circuito clásico:

Componentes: R1, R2, C entre pines 8-7-6-2-1.
 Frecuencia: $f = 1.44 / ((R1 + 2 \times R2) \times C)$.
 Ejemplo: R1 = 1 kohm, R2 = 47 kohm, C = 10 uF.
 $f = 1.44 / ((1000 + 94000) \times 0.00001)$
 $= 1.44 / 0.95 = 1.52 \text{ Hz}$. Parpadeo visible.
 Ciclo de trabajo: $(R1+R2)/(R1+2 \times R2) = 48/95 = 50.5\%$.

Conecta un LED (con su resistencia) del pin 3 a GND y parpadeará a 1.5 Hz sin microcontrolador. Cambia C a 100 nF y R2 a 10 kohm: $f = 1.44 / ((1k + 20k) \times 0.0000001) = 686 \text{ Hz}$: un tono audible en un buzzer piezoeléctrico. ¡El mismo chip, dos aplicaciones!

Modo MONOESTABLE (temporizador de un disparo): al pulsar un botón en el pin 2, la salida se activa por un tiempo $T = 1.1 \times R \times C$ y luego se apaga sola. Ejemplo: R = 100 kohm, C = 100 uF $\rightarrow T = 11$ segundos: una luz de escalera que se apaga sola. Es el "delay" hecho hardware.

Filtros RC: la otra vida del capacitor

Un filtro pasa-bajas RC (resistencia en serie, capacitor a tierra) deja pasar las frecuencias bajas y atenúa las altas. Su frecuencia de corte: $f_c = 1/(2 \times \pi \times R \times C)$. Ejemplo: $R = 1.6 \text{ kohm}$, $C = 100 \text{ nF} \rightarrow f_c = 1/(2 \times 3.1416 \times 1600 \times 0.0000001) = 995 \text{ Hz} \sim 1 \text{ kHz}$. Las señales de audio por debajo de 1 kHz pasan; las de alta frecuencia (ruido) se atenúan.

Aplicación práctica: un filtro pasa-bajas en la salida PWM del Arduino (antes de un amplificador) suaviza la señal cuadrada hacia un voltaje casi continuo: un DAC rústico. El filtro pasa-altas (capacitor en serie, resistencia a tierra) hace lo contrario: bloquea la continua y deja pasar los cambios (se usa para acoplar etapas de audio sin pasar los voltajes de polarización).

Práctica adicional

Ejercicio 7

Calcula la frecuencia de un 555 astable con $R1 = 10 \text{ kohm}$, $R2 = 10 \text{ kohm}$, $C = 100 \text{ nF}$.

SOLUCIÓN: $f = 1.44/((10k + 20k) \times 0.0000001) = 1.44/0.003 = 480 \text{ Hz}$. Tono audible medio.

Ejercicio 8

Diseña un temporizador monoestable de 30 segundos con el 555. Elige R y C comerciales.

SOLUCIÓN: $T = 1.1 \times R \times C = 30 \rightarrow R \times C = 27.27$. Elige $C = 220 \text{ uF}$: $R = 27.27/0.00022 = 123,954 \text{ ohms} \rightarrow 120 \text{ kohm}$ comercial. $T_{\text{real}} = 1.1 \times 120k \times 220u = 29.04 \text{ s}$. Suficientemente cerca.

Ejercicio 9

Un filtro pasa-bajas con $R = 3.3 \text{ kohm}$ y $C = 47 \text{ nF}$. ¿Frecuencia de corte?

SOLUCIÓN: $f_c = 1/(2 \times \pi \times 3300 \times 0.000000047) = 1/0.000974 = 1026 \text{ Hz} \sim 1 \text{ kHz}$.

Ejercicio 10

Explica por qué el capacitor de 1000 uF en una fuente se llama "de filtrado" y qué pasaría si fuera de 10 uF.

SOLUCIÓN: Porque "filtra" el rizado: se carga en los picos de la rectificación y entrega corriente en los valles, sosteniendo el voltaje. Con solo 10 uF, el rizado sería 100 veces

mayor ($V_r = I/(f \times C)$): el regulador no podría mantener la salida estable y el circuito alimentado fallaría o zumbaría.

Ejercicio 11

Busca (mentalmente) en una hoja de datos del 2N2222: ¿cuál es su corriente máxima de colector? ¿Por qué importa?

SOLUCIÓN: 800 mA (valor típico; verifica tu fabricante). Importa porque es el límite absoluto: diseñar para 800 mA continuos es riesgoso; lo prudente es no pasar de 200-300 mA sin disipador, y usar MOSFET para más corriente.

Ejercicio 12

Tu cálculo pide una resistencia de 918 ohms. ¿Qué valor comercial usas y cómo afecta al circuito (ejemplo: LED)?

SOLUCIÓN: 910 ohms (E24) o 1 kohm (E12). Con 1 kohm en un LED: la corriente baja un 8 por ciento respecto al ideal: imperceptible al ojo. La lección: los valores comerciales cercanos casi nunca arruinan un diseño; la ingeniería tolera aproximaciones razonables.

Ampliación: transformadores, relevadores y contactores

El transformador: cambiando voltaje en alterna

El transformador son dos bobinas (primario y secundario) enrolladas en un núcleo de hierro compartido. La alterna del primario crea un campo magnético variable que INDUCE voltaje en el secundario (Faraday en acción). La relación de voltajes es la relación de vueltas:

$$V_{\text{secundario}} / V_{\text{primario}} = N_{\text{secundario}} / N_{\text{primario}}.$$

Ejemplo: primario 110 V con 1000 vueltas, secundario con 110 vueltas: $V_{\text{sec}} = 110 \times 110/1000 = 12.1$ V.
Es un transformador reductor 110:12.

Y la potencia se conserva (menos pérdidas): si bajas el voltaje 10 veces, la corriente disponible sube 10 veces. Un transformador de 110 V a 12 V y 2 A entrega 24 W (el primario consume ~24 W más pérdidas).

Tipos que te encontrarás:

- De poder (50/60 Hz): pesados, con núcleo de hierro laminado. Los de 110/220 a 12/24 V para tus fuentes.
- De audio: acoplan impedancias en amplificadores (vintage).
- Toroidales: núcleo en dona, menos interferencia, más caros.
- De alta frecuencia (ferrita): en fuentes conmutadas, pequeñísimos para su potencia.

SEGURIDAD: el primario va a la pared (110/220 V). Si trabajas con transformadores, el lado de la pared lo conecta alguien capacitado o compras módulos encapsulados. Tú diseñas solo el secundario de bajo voltaje. Un transformador también AISLA: el secundario no tiene conexión eléctrica con la pared (aislamiento galvánico), lo que hace más seguro tu circuito de bajo voltaje.

El relevador: interruptor con superpoderes

El relevador es un interruptor controlado por un electroimán: una corriente pequeña en la bobina (ej. 5 V, 80 mA) cierra (o abre) contactos que manejan cargas grandes (10 A a 250 V). Es el puente entre tu electrónica de 5 V y el mundo de potencia.

Partes: bobina (se energiza con tu circuito de control), contactos COM (común), NO (normalmente abierto: se cierra al energizar) y NC (normalmente cerrado: se abre al energizar).

Circuito de control típico con Arduino:

```
Pin Arduino -> R_base 1k -> base 2N2222 -> emisor GND.  
Colector -> bobina del relevador -> 5 V.  
Diodo 1N4007 en paralelo con la bobina (cátodo a 5 V).
```

Al activar el pin, el transistor energiza la bobina, los contactos cambian, y la carga (un foco de 110 V, un motor grande) se enciende. El diodo flyback protege al transistor del pico de la bobina.

Módulos de relevador: traen el transistor, el diodo, el LED indicador y a veces el optoacoplador en una plaquita: se conectan directo al Arduino (VCC, GND, señal). Para empezar, usa módulos: son baratos y seguros. Verifica que el módulo sea para tu voltaje de control (5 V o 3.3 V).

REGLAS DE ORO con relevadores de potencia:

1. Respeta los máximos de los contactos (ej. 10 A/250 VAC): no los excedas.
2. Separa físicamente el lado de control del lado de potencia en tu montaje.
3. Nunca trabajes en el lado de 110/220 V con energía: arma, verifica, y recién entonces energiza.
4. Un relevador es mecánico: tiene vida útil (típico 100,000 operaciones). Para conmutación frecuente usa SSR (relevador de estado sólido, sin partes móviles).

El contactor: el hermano mayor

Para motores trifásicos y cargas industriales se usan contactores: relevadores gigantes con contactos robustos y a veces protección térmica. Mismo principio, escala mayor. Los verás en tableros eléctricos; no los usarás en este libro, pero ya sabes qué son cuando los veas.

Práctica adicional

Ejercicio 13

Un transformador 220:24 V alimenta un puente rectificador y un capacitor. ¿Voltaje pico aproximado en el capacitor? ¿Qué regulador usarías para 12 V?

SOLUCIÓN: $V_{pico} = 24 \times 1.414 = 33.9 \text{ V}$ (menos $\sim 1.4 \text{ V}$ del puente = 32.5 V). Para 12 V regulados: un 7812 necesita mínimo $\sim 14.5 \text{ V}$ a la entrada: con 32.5 V hay margen de sobra, pero disipará $(32.5-12) \times I$: con 500 mA son 10 W (disipador grande o mejor un buck). Nota el problema: transformador muy grande para 12 V desperdicia energía en calor.

Ejercicio 14

Calcula la corriente en el primario de un transformador ideal 110:12 V que entrega 3 A en el secundario.

SOLUCIÓN: $P = 12 \times 3 = 36 \text{ W}$. $I_{prim} = 36/110 = 0.327 \text{ A}$ (más pérdidas reales, $\sim 0.35\text{-}0.4 \text{ A}$). Por eso el cable del primario puede ser delgado y el del secundario grueso.

Ejercicio 15

Dibuja con palabras el circuito completo de un Arduino que enciende un foco de 110 V con módulo de relevador.

SOLUCIÓN: Arduino: pin 7 -> IN del módulo; VCC del módulo a 5 V; GND a GND. Lado potencia: cable de fase (110 V) -> COM del relevador; NO -> foco; otro cable del foco -> neutro. Con pin 7 en HIGH, el relevador cierra COM-NO y el foco enciende. **ADVERTENCIA:** el lado de 110 V solo lo conecta y manipula personal capacitado, con el circuito desenergizado durante el armado.

Ejercicio 16

¿Por qué el diodo flyback es obligatorio en la bobina del relevador aunque "sea chiquita"?

SOLUCIÓN: Porque toda inductancia genera pico al interrumpirse, sin importar su tamaño: una bobina de 5 V puede generar picos de decenas de volts que degradan o destruyen el transistor con el tiempo. El diodo cuesta centavos y lo evita. "Chiquita" no significa inofensiva para el silicio.

Ejercicio 17

Compara relevador electromecánico vs SSR para conmutar un calefactor cada 10 segundos durante años.

SOLUCIÓN: El electromecánico se desgastaría (cada 10 s = 8,640 operaciones/día; 100,000 de vida = 11 días). El SSR (sin partes móviles) conmuta millones de veces sin desgaste: es la opción correcta. El electromecánico sirve para conmutación ocasional; el SSR para frecuente.

Ejercicio 18

Explica el aislamiento galvánico del transformador y por qué hace más seguro el secundario.

SOLUCIÓN: Primario y secundario no comparten conductor: la energía cruza como campo magnético. Así, una falla a tierra en la red no se transfiere directo al secundario, y puedes definir tu propia tierra de referencia en el circuito de bajo voltaje. Sin transformador (fuente directa con divisor capacitivo, prohibida para principiantes), tocar el "bajo voltaje" podría electrocutarte por su referencia a la red.

Ampliación: bobinas en DC y AC, resonancia

La bobina en continua: el arranque

Al conectar voltaje a una bobina, la corriente NO sube de golpe: la inductancia se opone al cambio (Lenz). La corriente crece exponencialmente hacia V/R con constante de tiempo $\tau = L/R$.

$I(t) = (V/R) \times (1 - e^{(-t/\tau)})$, $\tau = L/R$.
Al desconectar (con camino de descarga), decae igual.

Ejemplo: relevador con $L = 50 \text{ mH}$, $R = 100 \text{ ohms}$: $\tau = 0.5 \text{ ms}$. En $\sim 2.5 \text{ ms}$ (5 taus) la corriente ya es 99% de la final. Por eso los relevadores "tardan" un poquito en activar: es física, no defecto.

Energía almacenada: $E = 1/2 \times L \times I^2$. Una bobina de 10 mH con 2 A guarda 20 mJ . Al interrumpir la corriente, esa energía sale como el pico de voltaje (flyback): ahora entiendes CUÁNTA energía hay que absorber con el diodo.

La bobina en alterna: reactancia inductiva

En AC, la bobina presenta reactancia $X_L = 2 \times \pi \times f \times L$: crece con la frecuencia (al revés que el capacitor).

Ejemplo: $L = 10 \text{ mH}$.
- En DC (estable): $X = 0$ (solo su resistencia de cable).
- A 60 Hz : $X_L = 3.77 \text{ ohms}$.
- A 10 kHz : $X_L = 628 \text{ ohms}$.
- A 1 MHz : $X_L = 62.8 \text{ kohms}$ (casi abierto).

Por eso las bobinas se usan como "choques" (chokes): dejan pasar la DC y bloquean el ruido de alta frecuencia. Un choque en serie con la alimentación + capacitor a tierra = filtro LC que limpia la fuente mejor que el RC (sin caída de voltaje en DC, porque la bobina ideal no tiene resistencia).

Resonancia LC: el circuito que canta

Un inductor y un capacitor en serie o paralelo tienen una frecuencia donde sus reactancias se igualan: la frecuencia de resonancia.

$f_0 = 1 / (2 \times \pi \times \sqrt{L \times C})$.

En resonancia serie: la impedancia es MÍNIMA (solo la resistencia): la corriente es máxima. En resonancia paralelo (tanque): la impedancia es MÁXIMA: el circuito "resuena" con poca energía de entrada.

Aplicaciones:

- SINTONIZADORES de radio: varías el capacitor (o la bobina) y cambias f_0 : seleccionas la estación cuya frecuencia coincide.
- OSCILADORES: el tanque LC define la frecuencia (más estable que RC a alta frecuencia).
- FILTROS: el circuito resuena solo a su frecuencia (pasa-banda natural).

Ejemplo: $L = 100 \text{ uH}$, $C = 100 \text{ pF}$: $f_0 = 1/(6.28 \times \sqrt{1e-4 \times 1e-10}) = 1/(6.28 \times 1e-7) = 1.59 \text{ MHz}$: ¡banda de AM! Así de simple es sintonizar una radio de amplitud modulada.

El factor Q (calidad) mide qué "afilada" es la resonancia: Q alto = pico estrecho = selectividad alta (bueno para radio), Q bajo = pico ancho (bueno para audio). $Q = X_L/R$: menos resistencia = más Q.

Aplicaciones prácticas con bobinas que puedes armar

1. FILTRO LC para fuente: 100 uH en serie + 470 uF a tierra: rizado mucho menor que con RC solo.
2. DETECTOR de metales simple: una bobina oscilando; el metal cercano cambia su inductancia y la frecuencia: lo detectas.
3. CARGA INALÁMBRICA conceptual: dos bobinas acopladas (primario y secundario) transfieren energía por inducción: es un transformador con núcleo de aire.
4. BOBINA de Tesla (avanzado): resonancia de alto voltaje: espectacular pero peligrosa; solo con supervisión experta.

Práctica adicional

Ejercicio 25

Una bobina de 200 mH y 50 ohms se conecta a 12 V DC . ¿Corriente final? ¿Tau? ¿Tiempo para llegar al 99%?

SOLUCIÓN: $I_{\text{final}} = 12/50 = 240 \text{ mA}$. $\tau = 0.2/50 = 4 \text{ ms}$. $99\% \sim 5 \text{ taus} = 20 \text{ ms}$.

Ejercicio 26

Calcula X_L de una bobina de 1 mH a 1 kHz, 100 kHz y 10 MHz. ¿En qué rango sirve como choque para bloquear ruido pero pasar audio?

SOLUCIÓN: A 1 kHz: 6.28 ohms. A 100 kHz: 628 ohms. A 10 MHz: 62.8k. Para audio (hasta 20 kHz, X_L hasta 126 ohms) bloquearía agudos: NO sirve como choque transparente en audio HiFi; sí sirve para bloquear RF (100 kHz+) dejando pasar DC o 60 Hz.

Ejercicio 27

Diseña un tanque LC que resuene a 100 MHz (FM) con $L = 100$ nH. ¿C?

SOLUCIÓN: $f_0 = 1/(2 \pi \sqrt{LC}) \rightarrow C = 1/((2 \pi f)^2 \times L) = 1/((6.28e8)^2 \times 1e-7) = 1/(3.95e10) = 25.3$ pF. Un trimmer de 5-30 pF permite ajustar la sintonía fina.

Ejercicio 28

Explica por qué un filtro LC es mejor que un RC para limpiar la alimentación de un circuito que consume 2 A.

SOLUCIÓN: Porque el RC necesitaría una R que con 2 A caería voltaje ($2 \text{ A} \times 1 \text{ ohm} = 2 \text{ V}$ perdidos + 4 W de calor). El LC usa la bobina (resistencia de cable de miliohms: caída despreciable) y filtra igual o mejor. A corrientes altas, el RC es inviable; el LC es la solución.

Ejercicio 29

Tu relevador tarda ~3 ms en activar y necesitas que sea más rápido. ¿Qué parámetro cambias y qué sacrificas?

SOLUCIÓN: El tiempo $\sim 5 \times L/R$. Para acelerar: reduce L (menos vueltas: menos fuerza) o aumenta R (resistencia en serie: menos corriente final: menos fuerza). O usa "forzado": aplica voltaje mayor al inicio y luego baja al nominal (circuito de arranque): rápido sin sacrificar fuerza en régimen. Todo es negociación.

Ejercicio 30

Calcula la energía guardada en la bobina de un relevador (50 mH, 100 mA) y compárala con la de un capacitor de 100 uF a 12 V.

SOLUCIÓN: $E_L = 0.5 \times 0.05 \times 0.01 = 0.25 \text{ mJ}$. $E_C = 0.5 \times 100\text{e-}6 \times 144 = 7.2 \text{ mJ}$. El capacitor guarda ~29 veces más energía en este caso: por eso los capacitores son mejores "tanques" de energía y las bobinas mejores "volantes" de corriente.

Ampliación: motores a fondo - DC, paso a paso y servos

Motor DC con escobillas: el caballo de batalla

Ya lo controlas con PWM y puente H. Detalles que importan:

- Las ESCOBILLAS (carbones) se desgastan: son la parte que muere primero (típico: cientos de horas). Los motores "sin escobillas" (brushless) eliminan el problema.
- El motor también es GENERADOR: al girarlo produces voltaje (por eso el robot genera picos al empujarlo apagado: el flyback los absorbe).
- La corriente de ARRANQUE es 3-5x la nominal (el rotor parado no genera fuerza contraelectromotriz): tu puente H y tu fuente deben soportarla.
- La VELOCIDAD es proporcional al voltaje (PWM) y el TORQUE a la corriente: para más fuerza necesitas más corriente, no más voltaje.

Reductores: un motor rápido con caja reductora (ej. 1:100) da 100x más torque a 1/100 de velocidad: así son los motores de robot y de juguetes. El torque sin reductor rara vez sirve.

Motor paso a paso: precisión por pasos

El stepper gira en pasos discretos (típico 200 pasos/vuelta = 1.8 grados/paso). Sin encoder: le dices "avanza 50 pasos" y lo hace (mientras no lo fuerces más allá de su torque: si se "salta" pasos, pierde la posición sin que te enteres).

Control: requiere secuencia en sus bobinas (unipolar: 4-5 cables, más simple; bipolar: 4 cables, más torque). Drivers dedicados (ULN2003 para pequeños, A4988/DRV8825 para NEMA 17): generan la secuencia y limitan la corriente. Con un A4988 y un NEMA 17 tienes el corazón de una impresora 3D.

Microstepping: el driver divide cada paso en 8-16 micropasos: movimiento suave y silencioso (las impresoras 3D lo usan). Menos torque por micropaso, pero precisión y suavidad superiores.

Aplicaciones: impresoras 3D, CNC, cámaras de vigilancia, posicionamiento. Donde necesites IR a una posición exacta repetidamente: stepper.

Servomotor: posición angular controlada

El servo de radiocontrol (SG90, MG996R) recibe pulsos: el ancho del pulso (1-2 ms cada 20 ms) define el ángulo (0-180 grados). Su electrónica interna mueve el motor hasta esa posición y lo mantiene (con fuerza).

Pulso 1.0 ms -> 0 grados. 1.5 ms -> 90. 2.0 ms -> 180.
En Arduino: librería Servo (usa un timer).

Diferencia clave con el stepper: el servo SABE dónde está (potenciómetro interno de realimentación): si lo fuerzas, regresa. El stepper es "ciego" (sin encoder). El servo es limitado a ~180 grados (algunos son continuos: se vuelven motor DC con control de velocidad).

Aplicaciones: brazos robóticos, dirección de carritos, timones, compuertas. Donde necesites un ángulo específico con fuerza: servo.

Brushless: el motor moderno

Los brushless (sin escobillas) conmutan electrónicamente (el ESC hace el trabajo): más eficientes, más potentes, sin desgaste de escobillas. Dominan drones, herramientas inalámbricas y vehículos eléctricos.

Para usarlos necesitas un ESC (controlador) adecuado al motor: se controlan como un servo (pulsos de 1-2 ms). Más caros y complejos que un DC con escobillas, pero el estándar actual en aplicaciones serias.

Selección de motor: tabla de decisión

NECESIDAD	MOTOR ADECUADO
Girar continuo barato	DC con escobillas + PWM
Posición exacta	Paso a paso (+ driver)
Ángulo con fuerza	Servomotor
Potencia/eficiencia	Brushless + ESC
Fuerza a baja veloc.	DC/stepper + reductor

Y siempre: calcula el torque que necesitas (fuerza x distancia al eje), agrega margen 2x, y verifica la corriente contra tu fuente y tu driver.

Práctica adicional

Ejercicio 31

Un motor DC de 12 V consume 0.5 A en vacío y 2 A con carga nominal. ¿Qué puente H eliges y qué fuente?

SOLUCIÓN: Corriente de arranque ~3-5x nominal: 6-10 A pico. Puente H de al menos 5 A continuos (ej. BTS7960 de 43 A, sobrado y barato) o L298N en paralelo (justo). Fuente de 12 V / 5 A mínimo (que soporte el pico de arranque sin caer). Nunca dimensiones por la corriente nominal sola.

Ejercicio 32

Necesitas posicionar una cámara con precisión de 1 grado. ¿Stepper o servo? Justifica.

SOLUCIÓN: Stepper de 200 pasos (1.8 grados/paso) con microstepping 1/8 (0.225 grados/paso): supera el requisito con margen. Un servo típico tiene ~1 grado de resolución real y juego mecánico: quedaría justo. Stepper para precisión; servo para simplicidad.

Ejercicio 33

Tu stepper "pierde pasos" cuando aceleras rápido. Explica y da 2 soluciones.

SOLUCIÓN: El rotor (con inercia) no puede seguir cambios bruscos de velocidad: el campo magnético avanza más rápido que el rotor y se desincroniza. Soluciones: 1) Rampa de aceleración (empieza lento, acelera gradual: las librerías como AccelStepper lo hacen). 2) Más corriente (más torque, hasta el límite del motor/driver) o menor carga.

Ejercicio 34

Un servo SG90 tiembla (jitter) en su posición. Da 3 causas posibles.

SOLUCIÓN: 1) Fuente débil: el servo consume picos y el voltaje cae (usa fuente dedicada de 5-6 V / 2 A). 2) Señal de control con jitter (el programa genera los pulsos por software con interrupciones: usa la librería Servo por hardware). 3) Carga excesiva o engranajes dañados (reduce la carga o cambia el servo).

Ejercicio 35

Explica por qué un motor DC apagado genera voltaje si lo giras a mano, y qué implicación tiene para tu circuito.

SOLUCIÓN: Porque es reversible: el mismo electromagnetismo que convierte corriente en movimiento convierte movimiento en corriente (generador). Implicación: si tu robot es empujado apagado, genera voltaje hacia tu puente H: el flyback/diodos lo absorben, pero un giro violento puede generar más voltaje del esperado: diseña con margen o desconecta.

Ejercicio 36

Compara un NEMA 17 con A4988 vs un servo MG996R para un brazo robótico de 3 ejes.

SOLUCIÓN: Servos: simples (un pin PWM cada uno), con realimentación, torque decente (10 kg-cm el MG996R), limitados a 180 grados: ideal para articulaciones. Steppers: giro continuo, más precisos, necesitan driver + más pines + homing (no saben dónde están al encender): mejores para bases giratorias continuas. Típico: servos en las articulaciones, stepper (o DC) en la base.

Ampliación: amplificadores de audio - clases A, B y AB

El amplificador: hacer pequeña una señal grande

Un amplificador toma una señal débil (micrófono, celular) y la hace potente para mover una bocina. La potencia sale de la FUENTE, no de la señal: el amplificador es una "válvula controlada" (como el transistor como amplificador de la Unidad 5, pero para audio).

Especificaciones que importan:

- POTENCIA (W RMS): la real, continua. Los "1000 W PMPO" son marketing; busca RMS.
- IMPEDANCIA de salida (4/8 ohms): debe coincidir con tu bocina (transferencia máxima de potencia).
- DISTORSIÓN (THD): qué tanto deforma la señal (menos de 1% es bueno, menos de 0.1% es HiFi).
- RESPUESTA en frecuencia: 20 Hz - 20 kHz plano para audio.

Clase A: la purista (e ineficiente)

El transistor conduce SIEMPRE (los 360 grados de la señal): la señal nunca se corta. Ventajas: distorsión mínima, sonido "dulce". Desventajas: eficiencia ~25%: un amplificador de 10 W disipa 30 W en calor (necesita disipador enorme). Se usa en preamplificadores y equipos HiFi de nicho donde el sonido manda sobre la eficiencia.

Clase B: la eficiente (con un defecto)

Dos transistores (NPN + PNP) en push-pull: cada uno amplifica MEDIO ciclo (180 grados). Eficiencia ~78%: mucho menos calor. Defecto: DISTORSIÓN DE CRUCE: cerca del cero, ningún transistor conduce bien (necesitan 0.7 V para despertar): la señal se "muerde" al cruzar. En audio se oye como aspereza.

Clase AB: el estándar

Clase B con un pequeño voltaje de polarización (bias) que mantiene ambos transistores "casi despiertos": elimina la distorsión de cruce con eficiencia ~60-70%. Es lo que usan la mayoría de los amplificadores de audio (estéreos, bocinas amplificadas). El ajuste del bias es crítico: muy poco = distorsión, mucho = calor (se acerca a clase A).

Clase D: la moderna (conmutada)

No amplifica linealmente: convierte el audio en PWM de alta frecuencia, lo amplifica conmutando (eficiencia >90%) y lo filtra para recuperar el audio. Pequeña, fría, potente: domina bocinas Bluetooth, autos y subwoofers. Requiere buen filtrado de salida (si no, emite ruido de radiofrecuencia).

RESUMEN:

CLASE	EFICIENCIA	DISTORSIÓN	USO TÍPICO
A	~25%	mínima	HiFi purista, preamps
B	~78%	cruce	(casi no se usa sola)
AB	~60-70%	baja	Audio general, estéreos
D	>90%	baja*	Bluetooth, autos, subs
*con buen diseño y filtrado.			

Tu primer amplificador: el LM386

El LM386 es un amplificador de audio integrado de baja potencia (0.5 W): con 4-5 componentes tienes una bocina amplificada funcional. Circuito mínimo: pin 6 a 9 V, pin 4 a GND, entrada al pin 3 (con potenciómetro de volumen), bocina de 8 ohms entre pin 5 y GND (con capacitor). Ganancia 20 por defecto (hasta 200 con capacitor entre pines 1 y 8).

Es el proyecto de audio perfecto: barato, funciona a la primera, y te enseña desacople, ganancia y acoplo de bocinas. De ahí puedes subir a un TDA2050 (32 W) o un módulo clase D.

Práctica adicional

Ejercicio 43

Un amplificador clase AB de 50 W RMS por canal (estéreo) con eficiencia del 65%. ¿Cuánta potencia disipa en calor a máximo volumen?

SOLUCIÓN: $P_{out\ total} = 100\ W$. $P_{in} = 100/0.65 = 153.8\ W$. $Calor = 53.8\ W$: necesita disipador grande o ventilador. Por eso los estéreos potentes pesan y se calientan.

Ejercicio 44

Explica la distorsión de cruce con un dibujo de palabras de la señal de salida.

SOLUCIÓN: La senoidal de salida tiene una "muesca" plana cada vez que cruza cero: durante $\pm 0.7\ V$ ningún transistor conduce, la salida se queda en 0 aunque la entrada pida señal. En el osciloscopio se ve como un escalón en el cruce; en el oído, como aspereza en pasajes suaves.

Ejercicio 45

¿Por qué un amplificador clase D necesita filtro a la salida y uno AB no?

SOLUCIÓN: Porque el clase D saca PWM de $\sim 300\ kHz$ (no audio): sin el filtro LC de salida, la bocina recibiría radiofrecuencia (se calentaría y emitiría interferencia). El filtro reconstruye el audio promediando el PWM. El AB saca audio directamente: no hay nada que filtrar.

Ejercicio 46

Conectas una bocina de 4 ohms a un amplificador diseñado para 8 ohms al máximo volumen. ¿Qué pasa?

SOLUCIÓN: La corriente se duplica ($I = V/R$): el amplificador entrega más potencia de la diseñada, se calienta más, y puede entrar en protección o dañarse. Con bocina de 16 ohms pasa lo contrario: la mitad de potencia, sin daño. Regla: nunca MENOS impedancia de la especificada.

Ejercicio 47

Tu LM386 suena con un zumbido de 120 Hz. Diagnostica con lo aprendido en el libro.

SOLUCIÓN: Rizado de la fuente colándose al audio (el 386 tiene rechazo limitado).
Soluciones: mejor filtrado de la fuente (más μF), capacitor de desacople pegado a los pines de alimentación del 386, y que la fuente no comparta tierra ruidosa con etapas de potencia. Es el mismo rizado de la Unidad 2, ahora audible.

Ejercicio 48

Compara armar un amplificador con LM386 vs comprar una bocina Bluetooth. ¿Qué aprendes con cada opción?

SOLUCIÓN: Con el LM386 aprendes amplificación, ganancia, desacople, impedancias y diagnóstico de audio: conocimiento transferible. Con la bocina comprada aprendes a usarla. Si tu meta es entender, arma; si tu meta es escuchar música mañana, compra. (Y luego desarma la bocina para ver qué trae dentro: las dos cosas.)

Ampliación: diodos especiales - Zener, Schottky, TVS y más

El diodo Zener: la referencia de voltaje

El Zener está diseñado para trabajar en RUPTURA INVERSA controlada: polarizado al revés, mantiene un voltaje casi constante (su voltaje Zener: 3.3 V, 5.1 V, 12 V...). Es la referencia de voltaje más barata que existe.

```
Circuito básico: Fuente -> R_serie -> nodo Vz -> GND.  
Diodo Zener entre el nodo y GND (cátodo al nodo).  
 $R_{\text{serie}} = (V_{\text{fuente}} - V_z) / I_z$ .  
 $I_z$  debe estar entre  $I_{z\_min}$  (del datasheet, ~1-5 mA)  
e  $I_{z\_max}$  (limitada por la potencia del Zener).
```

Ejemplo: referencia de 5.1 V desde 9 V con Zener de 500 mW. I_z elige 10 mA: $R = (9-5.1)/10 \text{ mA} = 390 \text{ ohms}$. Verifica: $I_{z_max} = 500 \text{ mW}/5.1 \text{ V} = 98 \text{ mA}$: con 10 mA hay margen. Si la fuente sube a 12 V: $I_z = (12-5.1)/390 = 17.7 \text{ mA}$: $P = 90 \text{ mW}$: bien.

Limitaciones: la regulación no es perfecta (el voltaje varía un poco con la corriente y la temperatura), y desperdicia corriente siempre (la R_{serie} quema $(V_{\text{fuente}}-V_z) \times I_z$ aunque no haya carga). Para referencias de precisión se usan referencias integradas (TL431, LM4040); para protección y referencias simples, el Zener es rey.

El diodo Schottky: el rápido

Unión metal-semiconductor (no PN): caída directa de solo 0.2-0.3 V (vs 0.7 del silicio) y conmutación rapidísima (casi sin tiempo de recuperación). Aplicaciones:

- Fuentes conmutadas (rectificación eficiente: menos caída = menos pérdida).
- Protección contra inversión de polaridad (0.3 V perdidos en vez de 0.7).
- Circuitos de RF y clamp de alta velocidad.

Limitación: mayor corriente de fuga inversa y menor voltaje máximo (típico 20-100 V). No lo uses donde haya alto voltaje inverso.

El TVS: el pararrayos del circuito

El diodo TVS (supresor de transitorios) absorbe picos de voltaje en nanosegundos: va en paralelo con la entrada a proteger (USB, líneas de datos, alimentación). Normalmente no conduce; ante un pico (descarga electrostática, inductiva), se vuelve conductor y lo deriva a tierra.

Diferencia con el Zener: el TVS está diseñado para PULSOS (maneja cientos de watts por microsegundos), el Zener para REGULACIÓN continua. En entradas expuestas (conectores que toca el usuario, cables largos), el TVS es obligatorio en diseño profesional.

Otros diodos que debes conocer

- VARICAP: su capacitancia cambia con el voltaje inverso: sintoniza radios y osciladores por voltaje (en vez de girar un capacitor).
- TÚNEL y Gunn: para microondas (osciladores de GHz).
- DIODO LÁSER: luz coherente (punteros, fibra óptica, lectoras).
- FOTODIODO: genera corriente con luz (sensores, celdas solares pequeñas, fibra óptica receptora).
- DIAC: conduce en ambas direcciones al superar ~30 V: dispara TRIACs (el dimmer de la Unidad 5).

Selección de diodos: guía rápida

NECESIDAD	DIODO
Rectificar 60 Hz	1N4007 (barato, robusto)
Rectificar alta frecuencia	Schottky (rápido, baja caída)
Referencia de voltaje	Zener (o TL431 si precisa)
Proteger entradas	TVS (pulsos) / Schottky (clamp)
Emitir luz	LED (con su resistencia)
Detectar luz	Fotodiodo / LDR
Sintonizar por voltaje	Varicap
Disparar TRIAC	DIAC

Práctica adicional

Ejercicio 49

Diseña una referencia de 3.3 V desde 9 V con Zener de 400 mW para alimentar un sensor que consume 2 mA. Elige R y verifica todo.

SOLUCIÓN: Iz elige 8 mA (Iz_min típico 1-5 mA, con margen). $I_R = 8 + 2 = 10$ mA. $R = (9-3.3)/10$ mA = 570 ohms -> 560 comercial. Verifica sin carga (peor caso para el Zener): $I_z = (9-3.3)/560 = 10.2$ mA; $P_z = 3.3 \times 10.2$ mA = 33.7 mW < 400 mW: bien. $P_R = 5.7 \times 10.2$ mA = 58 mW: 1/4 W bien. Nota: si el sensor consume MÁS de lo previsto, Iz baja y puede salir de regulación: el Zener dimensiona para la carga máxima.

Ejercicio 50

¿Por qué un Schottky es mejor que un 1N4007 como protección contra inversión de polaridad en un circuito de 5 V a batería?

SOLUCIÓN: Porque pierde 0.3 V en vez de 0.7 V: tu circuito recibe 4.7 V en vez de 4.3 V (margen crítico con reguladores), y disipa menos de la mitad de potencia ($P = 0.3 \times I$ vs $0.7 \times I$): la batería dura más. En protección serie, cada décima de voltio cuenta.

Ejercicio 51

Explica con tus palabras la diferencia entre un Zener y un TVS, y cuándo usarías cada uno.

SOLUCIÓN: El Zener regula voltaje en operación CONTINUA (referencia, recorte de señales): trabaja siempre. El TVS duerme hasta que llega un PICO y lo absorbe en nanosegundos (protección contra transitorios): trabaja una vez cada tanto. Zener para "mantener 5.1 V siempre"; TVS para "que un pico de 500 V no mate mi entrada USB".

Ejercicio 52

Un varicap cambia de 20 pF (a 2 V inversos) a 10 pF (a 8 V). Si está en un tanque LC con $L = 10 \mu\text{H}$, ¿qué rango de frecuencias sintoniza?

SOLUCIÓN: $f = 1/(2 \pi \sqrt{LC})$. Con 20 pF: $f = 1/(6.28 \times \sqrt{10^{-5} \times 2 \times 10^{-11}}) = 1/(6.28 \times 4.47 \times 10^{-8}) = 3.56 \text{ MHz}$. Con 10 pF: $f = 5.03 \text{ MHz}$. Rango: 3.56 - 5.03 MHz, sintonizado POR VOLTAJE (2-8 V): así se sintonizan los radios modernos digitalmente.

Ejercicio 53

Tu fuente conmutada usa un 1N4007 como diodo de salida y se calienta mucho a 100 kHz. Explica y soluciona.

SOLUCIÓN: El 1N4007 es lento (tiempo de recuperación ~microsegundos): a 100 kHz no alcanza a apagarse y conduce en inversa parte del ciclo (pérdidas enormes + calor).
Solución: Schottky ultrarrápido (ej. 1N5819 o mejor según voltaje): recuperación de nanosegundos, diseñado para conmutación. Cada diodo en su frecuencia.

Ejercicio 54

Diseña la protección de una entrada analógica de Arduino (0-5 V) contra picos de hasta 24 V usando Zener + resistencia. Explica el funcionamiento.

SOLUCIÓN: Resistencia serie de 10k a la entrada, Zener de 5.1 V de la entrada a GND (cátodo a la entrada). Normal (0-5 V): el Zener no conduce ($5 < 5.1$), la señal pasa (el ADC no carga los 10k de forma significativa... nota: la impedancia de fuente ideal del ADC es $< 10\text{k}$: justo en el límite, aceptable). Pico de 24 V: el Zener conduce y limita a 5.1 V; la corriente $(24-5.1)/10\text{k} = 1.9 \text{ mA}$ la absorbe el Zener sin daño. Protección simple y efectiva.

UNIDAD 5: Componentes Activos

Introducción a la unidad

Los componentes pasivos responden; los componentes activos DECIDEN. Un diodo decide en qué dirección puede pasar la corriente. Un transistor decide, con una señal pequeña, si una corriente grande pasa o no pasa. Esa capacidad de controlar es lo que convierte un montón de piezas en una computadora.

Esta unidad presenta los tres activos fundamentales: el diodo (incluyendo su primo famoso, el LED), el transistor bipolar (BJT) y el transistor de efecto de campo (MOSFET). Con el diodo protegerás circuitos y convertirás corriente alterna en directa. Con el transistor construirás interruptores electrónicos, amplificadores y las compuertas lógicas de la Unidad 8. Todo chip que existe -desde un temporizador 555 hasta el procesador de tu computadora- está hecho de millones de transistores haciendo exactamente lo que aprenderás aquí, solo que en miniatura.

Advertencia honesta: el transistor es el componente que más confunde a los principiantes, porque tiene tres patas y su comportamiento depende de cómo lo conectes. Lo desmenuzaremos con analogías, circuitos paso a paso y muchos ejemplos hasta que te parezca obvio. Cuando termines esta unidad, el transistor será tu mejor amigo.

Explicación detallada

El diodo: la válvula de un solo sentido

Un diodo es una unión PN encapsulada con dos terminales: el ánodo (lado P) y el cátodo (lado N, marcado con una franja). Su regla es simple: conduce corriente del ánodo al cátodo, y la bloquea en sentido contrario. Es la válvula check del agua: deja pasar en una dirección y se cierra en la otra.

En la práctica, el diodo no es perfecto: necesita unos 0.7 volts en polarización directa para empezar a conducir (0.3 V en los Schottky, 2 a 3.3 V en los LED). Ese "voltaje de codo" se mantiene casi constante aunque aumente la corriente: por eso en los cálculos de LED restábamos un voltaje fijo. En polarización inversa bloquea hasta su voltaje máximo (típico 50 a 1000 V según el modelo); si lo excedes, se destruye.

Aplicaciones esenciales del diodo común (1N4007, 1N4148):

1. Protección contra polaridad inversa: un diodo en serie con la alimentación bloquea la corriente si conectas la pila al revés. Barato y salva circuitos.
2. Diodo flyback: en paralelo con relevadores, motores y bobinas (cátodo al positivo), absorbe el pico de voltaje que genera el inductor al apagarse. Sin él, el pico quema el transistor que controla la bobina.
3. Rectificación: cuatro diodos en puente convierten corriente alterna en directa pulsante, primer paso de toda fuente de poder. Lo verás en la Unidad 6.
4. Fijación de voltaje: la caída de 0.7 V, estable, sirve como referencia rústica de voltaje.

El diodo Zener es un primo especial: en inversa, en lugar de destruirse, conduce a un voltaje preciso y estable (por ejemplo 5.1 V). Se usa como regulador de voltaje simple y como protección contra sobrevoltaje. Se conecta en inversa a propósito: cátodo al positivo.

El LED: el diodo que brilla

El LED (diodo emisor de luz) es un diodo cuya unión PN emite fotones al conducir. Mismas reglas del diodo (un solo sentido, voltaje de codo) más dos particularidades: el voltaje de codo depende del color (rojo/amarillo/verde: 1.8 a 2.2 V; azul/blanco: 3.0 a 3.4 V) y la corriente define el brillo (típico 10 a 20 mA; más corriente = más brillo hasta quemarlo).

Conexión: pata larga al positivo (a través de la resistencia limitadora), pata corta al negativo. Sin resistencia en serie, el LED intenta conducir corriente ilimitada y muere en segundos. El cálculo de la resistencia ya lo dominas de la Unidad 3.

LEDs especiales que te encontrarás: el RGB (tres LEDs en un encapsulado, uno por color; mezclando brillos obtienes cualquier color), el infrarrojo (invisible, para controles remotos y sensores), y las tiras de LED de 12 V (traen sus resistencias integradas cada 3 LEDs; se cortan por segmentos marcados y se alimentan directo a 12 V).

El transistor bipolar (BJT): el interruptor amplificador

El transistor NPN (el más usado: 2N2222, BC547) tiene tres terminales: colector (C), base (B) y emisor (E). Piensa en él como una llave de agua controlada: una pequeña corriente en la base controla una corriente mucho mayor entre colector y emisor.

Las dos reglas de oro del NPN en conmutación (como interruptor):

REGLAS DEL NPN COMO INTERRUPTOR

1. Si la base recibe corriente suficiente (típico 1 mA o más a través de una resistencia), el transistor CONDUCE entre colector y emisor (como interruptor cerrado).
2. Si la base no recibe corriente (0 V), el transistor NO conduce (como interruptor abierto).

El circuito clásico: la carga (LED con su resistencia, motor pequeño, relevador) va entre la fuente positiva y el colector; el emisor va a tierra; la base se controla con una señal a través de una resistencia de base. Cuando la base recibe voltaje (5 V del Arduino, por ejemplo), el transistor conduce y la carga se enciende. Cuando la base está a 0 V, la carga se apaga.

Cálculo de la resistencia de base: el transistor tiene una ganancia (beta o hFE) que multiplica: $I_{\text{colector}} = \beta \times I_{\text{base}}$. Un 2N2222 típico tiene beta de 100 a 300. Para saturarlo bien como interruptor, se usa una corriente de base de al menos $I_{\text{colector}} / 20$ (regla práctica conservadora que garantiza saturación aunque el beta real sea bajo).

Ejemplo: controlar un LED de 20 mA con un Arduino (5 V). $I_{\text{base}} = 20 \text{ mA} / 20 = 1 \text{ mA}$. $R_{\text{base}} = (5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}) / 1 \text{ mA} = 4.3 \text{ kohm}$. Comercial: 4.7 kohm. (El 0.7 V es la caída base-emisor, como la de un diodo.)

El PNP (2N3906, BC557) es el espejo: conduce cuando su base está a voltaje BAJO respecto al emisor, y se usa para conmutar el lado positivo (carga entre emisor a positivo y colector a la carga hacia tierra). Regla mnemotécnica: "NPN: la flecha del emisor No Punta hacia adentro..." mejor: en el símbolo, la flecha del emisor del NPN apunta hacia AFUERA (sale), la del PNP apunta hacia adentro (entra). O más simple: NPN se activa con positivo en la base; PNP se activa con negativo (tierra) en la base.

Como amplificador (modo lineal, no solo encendido/apagado), el transistor reproduce en el colector una versión ampliada de la señal de la base: así funcionan los amplificadores de audio. No profundizaremos en amplificadores en este libro, pero ya entiendes el principio: pequeña señal controla gran señal.

El MOSFET: el interruptor moderno

El MOSFET (transistor de efecto de campo) es el rey de la conmutación moderna: en lugar de corriente de base, se controla con VOLTAJE en su compuerta (gate). Tres terminales: compuerta (G), drenador (D) y fuente (S). El N-canal (IRFZ44N, IRF540) conduce entre drenador y fuente cuando la compuerta recibe voltaje suficiente (típico 5 a 10 V respecto a la fuente).

Ventajas sobre el BJT: la compuerta casi no consume corriente (megaohms de impedancia), así que un microcontrolador lo controla directo; aguanta corrientes enormes (decenas de amperes) con muy poca caída de voltaje (baja R_{ds_on}), así que se calienta poco. Por eso los MOSFETs controlan motores, tiras de LED de alta potencia y fuentes conmutadas.

Precauciones: la compuerta es sensible a la estática (descárgate antes de tocarlo); necesita voltaje suficiente para saturar (un MOSFET común con 5 V de compuerta puede no saturar del todo: busca MOSFETs "logic level" como el IRLZ44N para controlarlos con Arduino); y al conmutar cargas inductivas también necesita su diodo flyback.

Comparativa rápida para elegir:

¿BJT o MOSFET?

- Cargas pequeñas (LEDs, relevadores chicos) con control simple: BJT (2N2222), barato y fácil.
- Cargas grandes (motores, tiras LED de metros): MOSFET N-canal logic level (IRLZ44N).
- Control desde microcontrolador sin complicaciones: MOSFET (no calcula resistencia de base).
- Presupuesto mínimo y disponibilidad: BJT.

Encapsulados y cómo no quemarlos

Los transistores comunes vienen en encapsulado TO-92 (plástico pequeño con tres patas en línea) o TO-220 (con aleta metálica para disipador). El orden de las patas VARÍA entre modelos: el 2N2222 (mirando la cara plana) es E-B-C, pero otros son C-B-E. Verifica SIEMPRE la hoja de datos: asumir el orden es la causa número uno de transistores quemados por principiantes.

Para no quemar un transistor: respeta los máximos (voltaje colector-emisor, corriente de colector, potencia), usa siempre la resistencia de base (BJT) o verifica el voltaje de compuerta (MOSFET), pon diodo flyback en cargas inductivas, y si se calienta mucho al tacto, necesita disipador o un MOSFET más robusto.

Ejemplos paso a paso

Ejemplo 1: Resistencia de base para un relevador

Controlas un relevador de 5 V que consume 80 mA con un 2N2222 desde un Arduino (5 V). Calcula la resistencia de base.

$I_{base} = I_{colector} / 20 = 80 \text{ mA} / 20 = 4 \text{ mA}$.
 $R_{base} = (5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}) / 4 \text{ mA} = 4.3 / 4 = 1.075 \text{ kohm}$.
Comercial: 1 kohm.
Verificación: $I_{base} \text{ real} = 4.3 / 1 = 4.3 \text{ mA}$, suficiente para saturar. Potencia en R_{base} : despreciable.
NO OLVIDES: diodo flyback (1N4007) en paralelo con la bobina del relevador, cátodo al positivo.

Ejemplo 2: LED con transistor como interruptor

Arduino enciende un LED de alta luminosidad (20 mA, 2 V) desde un pin de 5 V, pero quieres aislar la carga con transistor. Diseña el circuito completo.

Circuito:

- Pin Arduino -> R_{base} 4.7 kohm -> base del 2N2222.
- Emisor del 2N2222 -> tierra.
- Colector -> resistencia del LED -> LED -> ... espera, orden correcto: +5V -> R_{led} -> LED (ánodo) -> LED (cátodo) -> colector -> emisor -> tierra.
- $R_{led} = (5 - 2) / 20 \text{ mA} = 150 \text{ ohms}$.
- $R_{base} = (5 - 0.7) / 1 \text{ mA} = 4.3 \text{ kohm} \rightarrow 4.7 \text{ kohm}$.

Cuando el pin da 5 V: transistor conduce, LED enciende.
Cuando el pin da 0 V: transistor bloquea, LED apagado.

Ejemplo 3: Elegir entre BJT y MOSFET

Necesitas controlar una tira de LED de 12 V que consume 3 A desde un ESP32 (3.3 V). ¿BJT o MOSFET? ¿Cuál?

3 A es mucha corriente para un BJT pequeño (se calentaría mucho y necesitaría gran corriente de base). La elección correcta es un MOSFET N-canal LOGIC LEVEL (se satura con 3.3 V en compuerta), por ejemplo IRLZ44N.
Circuito: fuente 12 V+ -> tira LED+ ; tira LED- -> drenador;
fuente del MOSFET -> tierra común con el ESP32;
compuerta -> pin del ESP32 (con resistencia de 100 ohms en serie y una de 10 kohm de compuerta a tierra para que no flote al arrancar).

Ejemplo 4: Diodo de protección contra polaridad inversa

Tu circuito de 9 V se alimenta con un conector donde a veces conectan la pila al revés. Diseña la protección con diodo.

Solución simple: diodo 1N4007 en serie con el positivo.
Si conectan bien: el diodo conduce (cae 0.7 V, el circuito recibe 8.3 V: verifícalo en tu diseño).
Si conectan al revés: el diodo bloquea, el circuito no recibe nada y no se daña.
Alternativa sin caída de voltaje: diodo Schottky (cae 0.3 V) o un MOSFET como protección ideal (avanzado).

Ejemplo 5: Voltaje de codo en serie

Pones 3 diodos 1N4148 en serie en directa. ¿Cuánto voltaje cae en total? Si la fuente es de 5 V, ¿cuánto llega a la carga?

Cada diodo cae ~0.7 V: total 2.1 V.
A la carga llegan $5 - 2.1 = 2.9$ V.
Truco rústico: apilar diodos en serie es una forma barata de bajar voltaje en pasos de 0.7 V.

Práctica

Ejercicio 1

Un NPN controla una carga de 200 mA desde 5 V. Calcula R_{base} con la regla $I_c/20$.

SOLUCIÓN: $I_b = 200/20 = 10$ mA. $R_b = (5-0.7)/10$ mA = 0.43 kohm = 430 ohms.
Comercial: 470 ohms.

Ejercicio 2

Explica por qué el diodo flyback se conecta en paralelo con la bobina y qué pasaría sin él.

SOLUCIÓN: Al apagar la bobina, su campo magnético colapsa y genera un pico de voltaje inverso que puede superar por mucho el voltaje de la fuente. El diodo flyback (en inversa durante operación normal, sin conducir) ofrece un camino seguro para esa corriente del pico, absorbiéndola. Sin él, el pico llega al transistor que controla la bobina y lo destruye.

Ejercicio 3

¿Puedes controlar un MOSFET IRF540 (no logic level) directamente con un Arduino de 5 V? Explica.

SOLUCIÓN: Mal idea. El IRF540 necesita unos 10 V en compuerta para saturar bien; con 5 V queda a medio conducir, con alta resistencia, se calienta y puede fallar. Usa un MOSFET logic level (IRLZ44N) o un driver que eleve la compuerta a 10 V.

Ejercicio 4

Un LED blanco (3.2 V, 20 mA) con fuente de 9 V. Calcula R y verifica potencia.

SOLUCIÓN: $V_R = 9 - 3.2 = 5.8 \text{ V}$. $R = 5.8/20 \text{ mA} = 290 \text{ ohms} \rightarrow 300 \text{ ohms}$ (E12: 300 existe) o 330. Con 330: $I = 5.8/0.33 = 17.6 \text{ mA}$. $P = 5.8 \times 0.0176 = 0.102 \text{ W} \rightarrow 1/4 \text{ W}$ bien.

Ejercicio 5

Dibuja con palabras el circuito de un PNP que enciende una carga cuando una señal está en 0 V.

SOLUCIÓN: Emisor del PNP a la fuente positiva (+V). Colector a la carga, y la carga a tierra. Base a través de resistencia a la señal de control. Con señal en 0 V (tierra), la base queda 0.7 V por debajo del emisor: el PNP conduce y la carga recibe corriente. Con señal en +V, base y emisor al mismo voltaje: no conduce.

Ejercicio 6

¿Por qué se queman tantos transistores por asumir el orden de las patas? ¿Cómo lo evitas?

SOLUCIÓN: Porque el orden E-B-C varía entre modelos y fabricantes; si conectas la base donde va el colector, el transistor queda mal polarizado y puede conducir corriente destructiva. Se evita consultando la hoja de datos (datasheet) del modelo exacto antes de conectar, y verificando con el multímetro en modo diodo si hay duda.

Resumen de la unidad

El diodo conduce en un solo sentido (ánodo a cátodo) con una caída de 0.7 V; sirve para protección de polaridad, flyback en bobinas y rectificación. El Zener regula voltaje en inversa. El LED es un diodo que emite luz, con voltaje según el color y siempre con resistencia limitadora. El transistor NPN funciona como interruptor controlado por corriente de base (R_{base} con la regla $I_c/20$, caída base-emisor 0.7 V); el PNP es su espejo activado con nivel bajo. El MOSFET se controla por voltaje de compuerta, casi sin corriente, ideal para cargas grandes y control directo desde microcontroladores (usa versiones logic level con 3.3/5 V). Reglas de supervivencia: verifica el orden de patas en la hoja de datos, pon diodo flyback en cargas inductivas, respeta los máximos y descárgate de estática antes de tocar MOSFETs.

Ampliación: 8 circuitos con transistores paso a paso

Circuito 1: Interruptor crepuscular (oscurece y enciende)

Un LED que se enciende solo cuando oscurece, sin microcontrolador: LDR + transistor NPN.

Componentes: LDR, $R_1 = 10 \text{ kohm}$, $R_2 = 100 \text{ kohm}$ (ajuste), 2N2222, LED + $R_{led} 470 \text{ ohms}$, fuente 9 V.

Conexión:

- 9 V -> R_1 (10k) -> nodo A -> LDR -> GND (divisor).
- Nodo A -> R_2 (100k) -> base del NPN.
- Emisor a GND. Colector -> R_{led} -> LED -> 9 V... orden:
9V -> LED (ánodo) -> LED (cátodo) -> R_{led} -> colector -> emisor -> GND.
- Con luz: LDR baja resistencia (~1k), nodo A bajo (~0.8V), transistor apagado, LED apagado.
- En oscuridad: LDR alta (~100k), nodo A sube (~8V), base recibe corriente, transistor conduce, LED enciende.
- Ajusta R_2 si el umbral no te gusta: a mayor R_2 , más sensible (enciende con más luz).

Circuito 2: Parpadeador con dos transistores (multivibrador)

Dos NPN que se turnan encendiendo dos LEDs alternadamente: el clásico "policía".

Componentes: 2x 2N2222, 2x LED + 2x R 470, R1 = R2 = 47k, C1 = C2 = 22 uF electrolíticos, fuente 9 V.

Idea: cada transistor, al encenderse, manda un pulso negativo por su capacitor a la base del otro, apagándolo por un tiempo $T = 0.7 \times R \times C = 0.7 \times 47k \times 22u = 0.72 \text{ s}$. Luego se invierten los papeles. Los LEDs parpadean alternados a ~0.7 Hz sin ningún chip.

Nota: los electrolíticos van con el positivo hacia el colector (verifica con el diagrama de tu kit).

Circuito 3: Seguidor de emisor (adaptador de impedancia)

El transistor como "repetidor" de voltaje con mucha corriente: la salida en el emisor sigue a la base menos 0.7 V, pero puede entregar mucha más corriente que la fuente de la señal.

Uso típico: un divisor de voltaje que necesita alimentar una carga pequeña. El divisor solo (alta impedancia) se desbalancearía; con el seguidor, la base pide microamperes y el emisor entrega miliamperes.

Conexión NPN: colector a Vcc, base a la señal (vía el divisor), emisor a la carga a GND. $V_{\text{emisor}} = V_{\text{base}} - 0.7$.

Limitación: solo "empuja" corriente hacia la carga (no la "jala"); para audio se usan pares complementarios.

Circuito 4: Darlington (super-transistor)

Dos NPN en cascada (el emisor del primero a la base del segundo): la ganancia se MULTIPLICA ($\beta_1 \times \beta_2 = 10,000$ o más). Con microamperes en la base controlas amperes.

El TIP120 es un Darlington encapsulado: ideal para motores y relevadores grandes controlados directo del Arduino (I_{base} de 2-3 mA bastan para 2 A).

Costo: la caída colector-emisor es ~1.4 V (dos uniones), así que disipa más calor que un transistor simple.

Para 2 A: $P = 1.4 \times 2 = 2.8 \text{ W}$ -> disipador obligatorio.

Circuito 5: Fuente de corriente constante con dos transistores

Un LED (o cadena de LEDs) alimentado con corriente EXACTA aunque varíe la fuente: elegante y profesional.

Q1 (NPN) en serie con la carga; Q2 sensa la corriente en una resistencia R_{sense} en el emisor de Q1.
Cuando $I \times R_{sense}$ llega a 0.7 V, Q2 conduce y le roba corriente de base a Q1, estabilizando: $I = 0.7 / R_{sense}$.
Para 20 mA: $R_{sense} = 0.7/0.02 = 35 \text{ ohms} \rightarrow 33 \text{ ohms}$.
La corriente queda fija aunque la fuente varíe de 9 a 15 V (siempre que haya voltaje suficiente para la cadena).

Circuito 6: Interruptor de lado alto con PNP

Encender una carga conectada a tierra, conmutando su positivo: PNP entre Vcc y la carga.

Emisor a 9 V, colector a la carga (y la carga a GND), base vía R_{base} a la señal de control (0 V = encendido).
Para controlarlo con Arduino de 5 V cuando la carga es de 9 V: usa un NPN intermedio (el Arduino controla el NPN, el NPN jala la base del PNP a tierra). Es el "driver de lado alto" discreto.

Circuito 7: Alarma con SCR (tiristor)

El tiristor (SCR) es un primo del transistor que, una vez disparado por su compuerta, QUEDA conduciendo hasta que se corta su corriente: perfecto para alarmas que deben seguir sonando aunque el sensor se normalice.

Sensor (botón o LDR) $\rightarrow$ compuerta del SCR vía resistencia.
Ánodo a la sirena/buzzer a 9 V, cátodo a GND.
Al dispararse, la sirena suena; solo se calla abriendo la alimentación (botón de reset en serie).
Es la memoria de un bit hecha con un componente.

Circuito 8: Puente H discreto (conceptual)

Cuatro transistores (2 NPN abajo, 2 PNP arriba) en forma de H alrededor del motor: activando diagonales opuestas inviertes el giro. Es el interior del L298N.

Riesgo del discreto: si activas los dos del mismo lado a la vez (shoot-through), es un cortocircuito directo de la fuente. Los drivers integrados evitan esto con lógica interna. Moraleja: entiende el puente H discreto, pero usa el módulo integrado en tus proyectos.

Ampliación: leyendo la hoja de datos del 2N2222

Vamos a interpretar juntos los datos reales de un 2N2222 típico (valores aproximados; verifica tu fabricante):

MÁXIMOS ABSOLUTOS (nunca exceder):

- Vce (voltaje colector-emisor): 40 V.
- Ic (corriente de colector): 800 mA.
- Ptot (potencia total): 500 mW (sin disipador, a 25 grados).

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS:

- hFE (ganancia): 100 a 300 a 150 mA.
- Vce_sat (voltaje de saturación): 0.3 V a 150 mA.
- Vbe_sat: 0.9 V aprox.
- Ft (frecuencia de transición): 250 MHz (hasta dónde amplifica bien; de sobra para tus circuitos).

PINOUT TO-92 (cara plana hacia ti, patas abajo):

De izquierda a derecha: EMISOR - BASE - COLECTOR.

(¡Verifica! Algunos fabricantes lo invierten.)

Con estos datos diseñás con confianza: sabes que 150 mA están cómodos, que en saturación caen 0.3 V ($P = 0.3 \times 0.15 = 45 \text{ mW}$, sin disipador), y que la ganancia mínima garantizada te dice cuánta base necesitas en el peor caso.

Práctica adicional

Ejercicio 7

En el Circuito 1, si quieres que el LED encienda con MÁS oscuridad (umbral más bajo de luz), ¿aumentas o reduces R2? Explica.

SOLUCIÓN: Reduces R2. Con R2 menor, se necesita más voltaje en el nodo A (más oscuridad, LDR más alta) para que la base reciba suficiente corriente. Es un ajuste de sensibilidad: prueba valores entre 47k y 220k.

Ejercicio 8

Calcula la frecuencia del multivibrador del Circuito 2 con $R = 47k$ y $C = 22\mu$, y el tiempo encendido de cada LED.

SOLUCIÓN: $T_{\text{medio_ciclo}} = 0.7 \times 47,000 \times 0.000022 = 0.72 \text{ s}$ por lado. Periodo completo: 1.45 s. Frecuencia: 0.69 Hz. Cada LED enciende ~0.72 s alternadamente.

Ejercicio 9

Un Darlington TIP120 controla un motor de 2 A. Calcula su disipación y decide si necesita disipador.

SOLUCIÓN: V_{ce_sat} Darlington ~ 1.4 V (algunos 2 V). $P = 1.4 \times 2 = 2.8 \text{ W}$. El encapsulado TO-220 sin disipador maneja ~1-2 W: Sí necesita disipador. Con disipador modesto trabaja bien.

Ejercicio 10

Diseña la R_{sense} para una fuente de corriente de 350 mA (LED de potencia).

SOLUCIÓN: $R = 0.7/0.35 = 2 \text{ ohms}$. $P = 0.7 \times 0.35 = 0.245 \text{ W} \rightarrow$ resistencia de 1/2 W. Comercial: 2 ohms existe en E12.

Ejercicio 11

¿Por qué el seguidor de emisor "no jala" corriente y qué implica para audio?

SOLUCIÓN: El NPN solo puede entregar corriente desde V_{cc} hacia la carga (emisor); no puede absorber corriente de la carga hacia tierra activamente (eso lo haría un PNP). En audio, la señal sube y baja: para las dos mitades se usa un par NPN+PNP complementario (push-pull).

Ejercicio 12

Explica el riesgo de shoot-through en el puente H discreto y cómo lo evitas en código si lo armaras.

SOLUCIÓN: Si IN1 e IN2 del mismo lado se activan juntos, los transistores superior e inferior forman un corto directo Vcc-GND con corrientes destructivas. En código: nunca pongas ambos en HIGH; inserta un pequeño tiempo muerto (ambos LOW unos microsegundos) al cambiar de dirección. Mejor aún: usa el driver integrado que lo maneja solo.

Ampliación: optoacopladores, MOSFETs en práctica y protección

El optoacoplador: control con aislamiento total

El optoacoplador (ej. PC817, 4N25) es un LED infrarrojo y un fototransistor en un chip de 4-6 pines, sin conexión eléctrica entre ambos lados: la señal cruza como LUZ. Aplicaciones:

1. Aislar el Arduino de circuitos ruidosos o de mayor voltaje (un motor de 24 V no debe compartir ni la tierra si genera mucho ruido: el opto lo separa).
2. Detectar cruce por cero en corriente alterna (con las debidas precauciones y solo por personal capacitado).
3. Interfaz entre niveles de voltaje distintos (3.3 V a 24 V industrial).

Circuito típico con PC817: el LED interno se maneja como cualquier LED (pin Arduino -> 220 ohms -> pin 1; pin 2 a GND). El fototransistor (pines 3 emisor, 4 colector) va del lado aislado: colector a Vcc2 vía pull-up de 10k, emisor a GND2; la salida se toma del colector. Cuando el Arduino enciende el LED interno, el fototransistor conduce y la salida cae a 0. Aísala hasta 5000 V entre lados según el modelo.

MOSFETs en la práctica: 5 circuitos

CIRCUITO A: Tira LED 12 V con IRLZ44N. Compureta -> 100 ohms -> gate; 10k de gate a GND (evita encendido flotante al arrancar); source a GND común; drain a la tira; tira a 12 V. PWM en la compuerta atenúa la tira. Con R_{ds_on} de 0.022 ohms y 3 A: $P = 9 \times 0.022 = 0.2 \text{ W}$: apenas tibio, sin disipador.

CIRCUITO B: Motor DC con IRFZ44N + 1N4007 flyback. Igual que A pero con el diodo en paralelo al motor (cátodo a 12 V). PWM controla velocidad. Si el motor es grande (10 A), el MOSFET disipa $100 \times R_{ds_on}$: elige uno de R_{ds_on} muy baja o pon disipador.

CIRCUITO C: Corte de alimentación (load switch): un MOSFET P-canal (IRF9540) en serie con el positivo de un submódulo; su compuerta se controla con un NPN desde el Arduino. Sirve para apagar por software partes del circuito y ahorrar batería (clave en proyectos con pilas).

CIRCUITO D: Protección contra polaridad inversa ideal: MOSFET N-canal en serie con el negativo, compuerta al positivo vía resistencia. Conectado bien: el diodo interno conduce primero, luego el canal se abre (caída de milivolts). Al revés: bloquea totalmente. Cero caída de 0.7 V como el diodo común: ideal para baterías donde cada milivolt cuenta.

CIRCUITO E: Inversor lógico con MOSFET (la base de la lógica CMOS): un P-canal arriba y un N-canal abajo en serie (como el puente H pero vertical). Entrada a ambas compuertas; salida del punto medio. Entrada 1: N conduce, P bloquea -> salida 0. Entrada 0: P conduce, N bloquea -> salida 1. Es un NOT que casi no consume corriente en reposo: por eso los chips CMOS pueden tener miles de millones de transistores sin derretirse.

Protección de circuitos: la póliza de seguro

Todo proyecto serio lleva protecciones:

- Fusible en serie con la alimentación (contra cortos e incendios).
- Diodo contra polaridad inversa (o MOSFET ideal).
- TVS o varistor en entradas expuestas (contra picos).
- Diodo flyback en toda bobina.
- Regulador con protección térmica y de corriente (los 78xx la traen).
- Capacitor de desacoplo junto a cada chip.

Cuestan centavos y salvan proyectos. El profesional no es el que nunca se equivoca: es el que diseña para que sus errores no sean fatales.

Práctica adicional

Ejercicio 13

Un PC817 aísla un Arduino de un circuito de 24 V. Dibuja con palabras ambos lados del circuito.

SOLUCIÓN: Lado Arduino: pin -> 220 ohms -> pin 1 (ánodo LED interno); pin 2 a GND Arduino. Lado 24 V: pin 4 (colector fototransistor) -> 10k -> 24 V; pin 4 también es la

salida; pin 3 (emisor) a GND del circuito de 24 V. Sin conexión eléctrica entre GND Arduino y GND 24 V: aislamiento total.

Ejercicio 14

Un IRLZ44N ($R_{ds_on} = 0.022$ ohms) controla 5 A. ¿Potencia disipada? ¿Necesita disipador?

SOLUCIÓN: $P = 25 \times 0.022 = 0.55$ W. En TO-220 al aire maneja ~1 W: no necesita disipador, apenas se entibia. Con 10 A serían 2.2 W: ahí sí conviene disipador pequeño.

Ejercicio 15

Explica por qué la resistencia de 10k de gate a GND en el Circuito A es importante durante el arranque del Arduino.

SOLUCIÓN: Al arrancar, los pines del Arduino están en alta impedancia (flotantes) unos instantes antes de que setup() los configure. Sin la resistencia, la compuerta flotante puede captar ruido y encender el MOSFET erráticamente (la tira parpadearía o el motor arrancaría solo). La 10k garantiza gate a 0 V (apagado) hasta que el programa toma control.

Ejercicio 16

Compara la caída de voltaje de: diodo 1N4007, Schottky, y MOSFET como protección de polaridad, con 2 A de carga.

SOLUCIÓN: 1N4007: ~0.9 V a 2 A -> pierde 1.8 W. Schottky: ~0.4 V -> 0.8 W. MOSFET (R_{ds_on} 0.02): $V = 2 \times 0.02 = 0.04$ V -> 0.08 W. El MOSFET es 20 veces más eficiente: en baterías es la opción profesional.

Ejercicio 17

¿Por qué los chips CMOS (como el 74HC00) consumen casi nada en reposo? Relaciónalo con el Circuito E.

SOLUCIÓN: Porque en estado estable siempre hay un transistor apagado en cada inversor (el P o el N): no hay camino directo de Vcc a GND, solo corrientes de fuga minúsculas. Solo durante la conmutación ambos conducen un instante y consumen. Por eso un circuito CMOS quieto consume microamperes.

Ejercicio 18

Tu proyecto con batería de 9 V se agota en 2 horas consumiendo 250 mA. Propón dos mejoras de eficiencia.

SOLUCIÓN: 1) Load switch con MOSFET P-canal para apagar submódulos no usados (ej. sensores entre lecturas) y poner el microcontrolador a dormir (sleep modes). 2) Reemplazar el regulador lineal por un convertidor DC-DC conmutado (eficiencia 90 por ciento contra 50 por ciento del lineal), y bajar la frecuencia de muestreo de sensores.

Ampliación: comparadores y el amplificador operacional

El comparador: la decisión analógica

El comparador (ej. LM393) es un chip que compara dos voltajes y da salida digital: si $V_+ > V_-$, salida en alto; si no, en bajo. Es el puente entre el mundo analógico (sensores) y el digital (lógica).

Aplicación clásica: termostato sin microcontrolador.

```
- TMP36 a  $V_+$  (voltaje proporcional a temperatura).  
- Divisor con potenciómetro a  $V_-$  (umbral ajustable).  
- Salida del comparador -> LED/buzzer (con pull-up, porque  
  el LM393 tiene salida de colector abierto).  
Si temp > umbral: salida alta, alarma encendida.  
Giras el potenciómetro y cambias la temperatura de disparo.
```

Histéresis con comparador: una resistencia de realimentación entre salida y V_+ crea dos umbrales (subida y bajada): el comparador no vibra cerca del umbral. Es la versión hardware de la histéresis del Programa 2 de la Unidad 9.

El amplificador operacional: el bloque universal

El op-amp (ej. LM358, TL081) amplifica la diferencia entre sus entradas con ganancia enorme (100,000+). Con realimentación (resistencias) defines exactamente qué hace: amplificador de voltaje, seguidor, sumador, integrador, filtro activo.

Configuración no inversora (la más usada):

Ganancia $G = 1 + R_f/R_1$.

Ejemplo: $R_1 = 10k$, $R_f = 90k \rightarrow G = 10$.

Un micrófono de 10 mV se vuelve 100 mV: listo para el ADC.

Seguidor de voltaje ($G = 1$): salida = entrada, pero con gran capacidad de corriente. Es el "adaptador de impedancia" elegante: un sensor débil (alta impedancia) alimenta al seguidor y este maneja la carga sin alterar al sensor. El LM358 con dos op-amps cuesta centavos y resuelve mil problemas de interfaz.

Reglas de oro del op-amp:

1. Necesita alimentación (aunque el diagrama lo oculte): LM358 de 5 V sirve para tus proyectos.
2. La salida no supera sus rieles (y en muchos ni llega: el LM358 llega a ~3.5 V con 5 V de alimentación).
3. Con realimentación negativa, las entradas se igualan ($V^+ = V^-$): de ahí salen todos los cálculos.
4. Sin realimentación (lazo abierto) es un comparador salvaje: no lo uses como amplificador sin resistencias.

Detector de pico y otros trucos con diodos + op-amp

Detector de pico: diodo + capacitor a la salida de un seguidor: el capacitor guarda el valor MÁXIMO de la señal. Sirve para medir el pico de un audio o el máximo de un sensor sin muestreo continuo. Se resetea descargando el capacitor (con un MOSFET o un botón).

Rectificador de precisión: el diodo dentro del lazo de realimentación elimina la caída de 0.7 V: rectifica señales de milivolts que un diodo solo no podría. Así se miden señales pequeñas de alterna con precisión.

Práctica adicional

Ejercicio 19

Diseña un comparador que encienda un ventilador (vía transistor) cuando un LDR indique oscuridad. El umbral debe ser ajustable.

SOLUCIÓN: LDR en divisor a V^+ del LM393 (voltaje sube con oscuridad si la LDR va arriba). Potenciómetro como divisor a V^- (umbral). Salida (con pull-up 10k a 5 V) $\rightarrow$

R_base -> NPN -> ventilador (con flyback). Ajustas el pot hasta que dispare al nivel de oscuridad deseado. Histéresis opcional con 1 Mohm de salida a V+.

Ejercicio 20

Un micrófono electret da 5 mV pico. Diseña un preamplificador no inversor con ganancia 100 usando LM358.

SOLUCIÓN: $G = 1 + R_f/R_1 = 100 \rightarrow R_f/R_1 = 99$. Elige $R_1 = 1k$, $R_f = 99k \rightarrow 100k$ comercial ($G = 101$). Salida: $5 \text{ mV} \times 101 = 505 \text{ mV}$ pico. El micrófono electret necesita su resistencia de polarización (2.2k a 5 V) y capacitor de acoplo a la entrada.

Ejercicio 21

¿Por qué un op-amp sin realimentación no sirve como amplificador lineal?

SOLUCIÓN: Porque su ganancia en lazo abierto es $\sim 100,000$: cualquier diferencia mínima entre entradas (microvolts de ruido u offset) satura la salida contra un riel. Solo sirve como comparador. La realimentación negativa sacrifica ganancia a cambio de precisión y estabilidad: de 100,000 a la G que diseñes.

Ejercicio 22

Explica el "corto virtual" ($V_+ = V_-$) y de dónde sale.

SOLUCIÓN: Con realimentación negativa y ganancia enorme, si V_+ y V_- difirieran en más de microvolts, la salida se saturaría; como el circuito está diseñado para no saturar, la diferencia debe ser ~ 0 : las entradas "se ven" iguales aunque no estén conectadas (de ahí "virtual"). Es la hipótesis que permite calcular todos los circuitos con op-amps.

Ejercicio 23

Tu seguidor con LM358 alimentado a 5 V debe dar 4.5 V de salida y no llega. Explica.

SOLUCIÓN: El LM358 no es rail-to-rail: su salida máxima es $\sim V_{cc} - 1.5 \text{ V} = 3.5 \text{ V}$ con 5 V de alimentación. Para llegar a 4.5 V necesitas alimentarlo con más voltaje (ej. 9 V) o usar un op-amp rail-to-rail. Siempre verifica el "output swing" en la hoja de datos.

Ejercicio 24

Compara usar un comparador LM393 contra programar la comparación en Arduino. ¿Cuándo prefieres cada uno?

SOLUCIÓN: LM393: respuesta instantánea (nanosegundos), no necesita programa, funciona sin microcontrolador, barato. **Arduino:** umbral ajustable por software, histéresis programable, puedes cambiar la lógica sin recablear, registra datos. Para una alarma simple y fija: comparador. Para un sistema con múltiples condiciones y registro: Arduino.

Ampliación: tiristores, TRIAC y control de corriente alterna

El SCR: el interruptor que se engancha

El SCR (tiristor) es un diodo controlable de 3 terminales: ánodo, cátodo y compuerta (gate). Conduce del ánodo al cátodo SOLO si recibe un pulso en la compuerta, y una vez encendido SE QUEDA encendido aunque quites el pulso (se "engancha"). Solo se apaga cuando la corriente cae a cero.

Símbolo: como un diodo con una tercera terminal (gate) entrando al lado del ánodo.
Uso típico: control de fase en AC (ver TRIAC abajo), protección crowbar (ver ejercicio), rectificación controlada.

Es el componente de los "dimmers" antiguos y de las protecciones contra sobrevoltaje. Su enganche lo hace ideal para AC (la corriente cruza por cero 120 veces por segundo y lo apaga solo) e incómodo para DC (hay que forzar el apagado).

El TRIAC: el dimmer de tu casa

El TRIAC es como dos SCR en antiparalelo: conduce en AMBAS direcciones cuando recibe pulso en el gate. Es el corazón de los dimmers de luz, controles de velocidad de taladros y reguladores de calefactores.

Control de fase: se retrasa el pulso de disparo dentro de cada semiciclo de la red. Disparo temprano = casi todo el semiciclo pasa = brillo máximo. Disparo tardío = solo un pedacito = brillo mínimo.

Circuito dimmer clásico: DIAC + TRIAC + RC.
El capacitor se carga por la resistencia (con pot);
cuando llega al voltaje del DIAC (~30 V), este dispara
el TRIAC. El pot cambia el tiempo de carga = el ángulo
de disparo = el brillo.

ADVERTENCIAS SERIAS:

1. Trabaja con 110/220 V de la red: SOLO para personal capacitado o kits certificados. No es proyecto de principiante en protoboard.
2. Genera ruido eléctrico (interferencia en radios): los dimmers buenos llevan filtro.
3. No todos los focos son dimables: los LED necesitan dimmers compatibles (de corte de fase adecuado); un LED no-dimable parpadea o se daña.

Protección crowbar: el "fusible inteligente"

Un crowbar protege un circuito contra sobrevoltaje: un SCR conectado entre VCC y GND, con su gate a un detector de sobrevoltaje (un Zener + divisor). Si VCC supera el límite, el SCR se dispara y CORTOCIRCUITA la fuente: el fusible se funde y la carga se salva.

```
Fuente -> FUSIBLE -> nodo VCC -> carga.  
                nodo VCC -> SCR -> GND.  
                detector (zener) -> gate del SCR.  
Sobrevoltaje -> SCR conduce -> corto -> fusible funde ->  
carga protegida (sin alimentación, pero viva).
```

Es de "un solo uso" (hay que cambiar el fusible), pero salva equipos caros. Se usa en fuentes de laboratorio y equipos industriales.

Optoacoplador + TRIAC: control seguro de AC

La forma SEGURA de que tu Arduino controle 110 V: un opto-TRIAC (ej. MOC3021) + TRIAC de potencia (ej. BT136):

```
Arduino -> R 220 -> LED del MOC3021.  
MOC3021 -> gate del BT136 (con su red RC).  
BT136 en serie con la carga de 110 V.
```

El Arduino y la red quedan aislados ópticamente (5,000 V de aislamiento). El MOC3041 incluye detector de cruce por cero: dispara solo cuando la AC cruza cero (menos ruido, ideal

para calefactores). Para dimmer necesitas el MOC3021 (sin cruce por cero) + tu control de fase.

Incluso así: el lado de 110 V lo arma y verifica personal capacitado, en caja aislante, con fusible. El aislamiento te protege a ti y al Arduino; la instalación segura protege a todos.

Práctica adicional

Ejercicio 25

Explica por qué el SCR se apaga solo en AC pero no en DC.

SOLUCIÓN: En AC la corriente cruza por cero 120 veces por segundo (60 Hz x 2 semiciclos): en cada cruce la corriente cae bajo el umbral de mantenimiento y el SCR se apaga; hay que redispararlo cada semiciclo. En DC la corriente nunca cruza cero: una vez enganchado, sigue conduciendo hasta que algo externo interrumpa la corriente.

Ejercicio 26

Un dimmer con TRIAC al 50% de brillo: ¿el foco recibe "la mitad del voltaje"? Explica qué recibe realmente.

SOLUCIÓN: No: recibe la onda completa pero RECORTADA: conduce solo parte de cada semiciclo. El valor EFICAZ (RMS) baja, y la potencia (proporcional a V_{rms}^2) baja al ~50%. El filamento (térmico, lento) promedia la potencia: brilla menos. Un osciloscopio mostraría senoides "mordidas".

Ejercicio 27

Diseña un crowbar para proteger un circuito de 5 V que no debe pasar de 5.8 V. Elige el zener y explica el fusible.

SOLUCIÓN: Zener de 5.6 V + divisor para que el gate dispare a ~5.8 V (ajusta con potenciómetro en pruebas). SCR de 8 A (ej. TIC106). Fusible rápido dimensionado a la corriente normal + 50%: si la carga consume 1 A, fusible de 1.5 A rápido. Al dispararse, el SCR pone ~0 A... no: pone CASI CORTO: la corriente la limita la fuente y el fusible: el fusible funde en milisegundos.

Ejercicio 28

¿Por qué el MOC3041 (con cruce por cero) sirve para un calefactor pero no para un dimmer?

SOLUCIÓN: Porque el calefactor solo necesita ON/OFF (el control de fase no aporta nada a una carga térmica lenta) y el disparo en cruce por cero minimiza el ruido. El dimmer NECESITA disparar a mitad del semiciclo (control de fase): el detector de cruce por cero se lo impediría. Cada opto para su aplicación.

Ejercicio 29

Compara relevador vs TRIAC para conmutar un foco de 110 V 10 veces por segundo.

SOLUCIÓN: El relevador mecánico no puede (se destruiría en minutos: vida de 100,000 operaciones = 2.8 horas a 10 Hz). El TRIAC conmuta a esa velocidad sin desgaste (es silicio). Para conmutación rápida o frecuente en AC: TRIAC/SSR. Para aislamiento total y conmutación ocasional: relevador.

Ejercicio 30

¿Por qué no debes armar un dimmer de 110 V en protoboard aunque "el circuito sea simple"?

SOLUCIÓN: Porque el protoboard no está diseñado para 110 V: las pistas están a ~2.5 mm (arco eléctrico posible con picos), los contactos pueden aflojarse (falso contacto = chispa = incendio), no hay aislamiento certificado, y cualquier error de cableado expone 110 V al tacto. Los circuitos de red van en PCB diseñado con distancias de seguridad, en caja aislante, con fusible. La simplicidad del esquemático no reduce el peligro del voltaje.

Ampliación: sensores avanzados - ultrasonido, Hall y celdas de carga

HC-SR04: medir distancia con sonido

El sensor ultrasónico emite un "clic" de 40 kHz y mide cuánto tarda el eco: distancia = (tiempo x velocidad del sonido)/2.

```
Pulso de 10 us al pin TRIG -> el sensor emite.  
Mide el ancho del pulso en ECHO (pulseIn).  
distancia_cm = duracion_us / 58.  
Rango: 2 cm a 400 cm. Precisión: ~3 mm.
```

Limitaciones: no ve objetos muy cercanos (<2 cm, zona ciega), ni superficies que absorben el sonido (telas) o lo desvían (superficies inclinadas). Múltiples sensores se interfieren (emiten a la vez): se disparan por turnos.

Aplicaciones: robots que evitan obstáculos, medidores de nivel de agua (en tinacos), estacionamiento. Es el "murciélago" de la robótica casera.

Efecto Hall: magnetismo como sensor

Un sensor Hall da voltaje proporcional al campo magnético cercano. Tipos:

- DIGITAL (ej. A3144): salida ON/OFF cuando un imán se acerca. Para contar vueltas (imán en el eje), detectar puertas (imán en la puerta), tacómetros.
- ANALÓGICO (ej. SS49E): voltaje proporcional al campo: mide posición, corriente (los sensores de corriente ACS712 son Hall alrededor del cable: miden sin cortar nada).

Ventajas: sin contacto (no se desgasta), rápido, barato. Un encoder magnético con sensor Hall es más robusto que uno óptico en ambientes sucios (polvo, grasa).

Celda de carga: pesar con electrónica

Una celda de carga es una pieza metálica con galgas extensiométricas (resistencias que cambian con la deformación): al ponerle peso, su resistencia cambia microohms. El HX711 amplifica esa señal minúscula y la entrega digital al Arduino: tienes una BÁSCULA.

```
Celda de carga -> HX711 -> Arduino (librería HX711).  
Calibración: pesa algo conocido, ajusta el factor.  
Precisión casera: gramos. Aplicaciones: básculas,  
medir consumo de alimento de mascotas, nivel por peso.
```

Es el mismo principio de las básculas comerciales: ahora sabes qué hay dentro.

Sensores de distancia por infrarrojo y ToF

- IR analógico (Sharp GP2Y0A21): da voltaje según la distancia (10-80 cm), no lineal: se calibra con tabla. Barato, rápido, sensible a la luz solar.
- ToF láser (VL53L0X): mide el tiempo de vuelo de un pulso láser: preciso a milímetros hasta 2 m, inmune a color/superficie. El sensor de los robots aspiradora modernos.

Comparativa rápida:

SENSOR	RANGO	PRECISIÓN	COSTO	PUNTOS DÉBILES
HC-SR04	2-400cm	~3mm	\$	superficies blandas
Sharp IR	10-80cm	~1cm	\$	luz solar, no lineal
VL53L0X	0-200cm	~mm	\$\$	rango, luz solar fuerte

Fusión de sensores: no confíes en uno solo

Los robots serios combinan sensores: ultrasonido + IR + contacto (bumper). Si el ultrasonido dice "libre" pero el bumper choca, el bumper manda (es la realidad física). Reglas:

- SENSORES redundantes en lo crítico (dos formas de detectar obstáculo).
- JERARQUÍA: el sensor más confiable para cada situación tiene prioridad.
- PROMEDIO ponderado cuando miden lo mismo (el más preciso pesa más).
- SIEMPRE un último recurso físico (fusible, bumper, paro de emergencia).

Práctica adicional

Ejercicio 31

Tu robot con HC-SR04 choca con cortinas aunque el sensor dice que está libre. Explica y soluciona.

SOLUCIÓN: La tela absorbe el ultrasonido: no hay eco, el sensor reporta "sin obstáculo" (o la distancia máxima). Soluciones: agrega sensor IR o bumper de contacto como respaldo (fusión de sensores), o usa ToF láser (la luz sí rebota en la tela). Nunca confíes un robot a un solo principio físico.

Ejercicio 32

Diseña un tacómetro con sensor Hall digital para un motor que gira hasta 3000 RPM. ¿Qué resolución temporal necesitas?

SOLUCIÓN: 3000 RPM = 50 vueltas/s. Con 1 imán: 50 pulsos/s (periodo 20 ms): fácil con interrupciones. Con 8 imanes: 400 pulsos/s (2.5 ms): aún bien. El Arduino con interrupciones maneja hasta decenas de kHz: sobrado. Muestra RPM cada segundo contando pulsos.

Ejercicio 33

Calibra una báscula con HX711 usando una pesa de 1 kg. Describe el procedimiento.

SOLUCIÓN: 1) Monta la celda firmemente (un extremo fijo, el otro libre donde va el peso). 2) Lee el valor crudo sin peso (tara). 3) Pon 1 kg, lee el crudo. 4) $\text{factor} = (\text{crudo_1kg} - \text{tara})/1000$ (unidades por gramo). 5) En el programa: $\text{peso} = (\text{lectura} - \text{tara})/\text{factor}$. 6) Verifica con otro peso conocido (500 g debe dar ~500).

Ejercicio 34

Compara medir nivel de agua en un tinaco con HC-SR04 vs con sensor de presión. ¿Cuándo prefieres cada uno?

SOLUCIÓN: HC-SR04 (desde arriba, sin contacto con el agua): simple, barato, pero falla con vapor/condensación y necesita montaje sobre el tinaco. Sensor de presión (en el fondo): preciso, inmune al ambiente, pero en contacto con el agua (materiales aptos) e instalación más compleja. Tinaco doméstico: ultrasónico. Sistema industrial: presión.

Ejercicio 35

Explica por qué el ACS712 (Hall) puede medir corriente sin cortar el cable, a diferencia del shunt.

SOLUCIÓN: Porque mide el CAMPO MAGNÉTICO que la corriente genera alrededor del conductor (efecto Hall), no la caída de voltaje en una resistencia. El cable pasa por (o cerca de) el sensor sin interrumpirse: aislamiento galvánico incluido. Menos preciso que un shunt bueno, pero no invasivo y aislado.

Ejercicio 36

Tu VL53L0X mide bien de noche pero mal de día en exteriores. Explica.

SOLUCIÓN: La luz solar contiene infrarrojo que satura el receptor del sensor (el láser del ToF es IR): la señal se pierde en el ruido solar. Limitación física del principio: en exteriores soleados usa ultrasonido o acepta menor alcance. Cada sensor tiene su ambiente.

UNIDAD 6: Herramientas del Taller

Introducción a la unidad

Ya conoces la teoría y los componentes. Ahora necesitas las herramientas para tocarlos: el protoboard donde armarás circuitos sin soldar, el multímetro con el que medirás todo, el cautín con el que harás conexiones permanentes, y la fuente de poder que alimentará tus experimentos. Esta unidad es 100 por ciento práctica: al terminarla sabrás montar un circuito en protoboard, medir voltaje, corriente, resistencia y continuidad, soldar como un profesional y elegir tu equipo de taller sin gastar de más.

Un buen técnico se distingue por cómo usa sus herramientas, no por cuántas tiene. Un multímetro barato bien usado vale más que uno caro mal usado. Y la soldadura es un arte que se aprende con práctica deliberada: en esta unidad te doy la técnica exacta, los errores típicos y ejercicios para entrenar antes de tocar un circuito real.

Explicación detallada

El protoboard: tu laboratorio reutilizable

El protoboard (breadboard) es una placa plástica con orificios conectados internamente por pistas metálicas, que te permite armar circuitos sin soldar: solo insertas las patas de los componentes y los cables. Es reutilizable infinitas veces y es donde harás el 90 por ciento de tus prácticas.

Cómo están conectados los orificios (esto es CRÍTICO):

MAPA DEL PROTOBOARD TÍPICO

- Rieles laterales (líneas roja + y azul -): recorren TODO el largo del protoboard. Son para alimentación (positivo y tierra). Algunos protoboards tienen el riel cortado a la mitad: verifica continuidad con el multímetro.
- Columnas centrales: cada columna de 5 orificios (a-e de un lado, f-j del otro) está conectada entre sí, pero AISLADA de las columnas vecinas.
- Canal central: separa las dos mitades (e y f no conectan). Sirve para montar chips con patas a cada lado.

Ejemplo: si insertas una pata de resistencia en a1 y un cable en e1, están conectados (misma columna). Si insertas algo en a1 y otra cosa en a2, NO están conectados (columnas distintas). Memoriza este mapa: la mayoría de los "circuitos que no funcionan" son columnas mal entendidas.

Buenas prácticas de protoboard:

- Usa los rieles laterales para + y tierra, y lleva cables cortos de ahí a tu circuito.
- Mantén los cables cortos y ordenados; un protoboard enredado es imposible de depurar.
- Los componentes se insertan con cuidado: si una pata se dobla, enderézala; patas dobladas rompen los contactos internos.
- Verifica con el multímetro en modo continuidad que dos puntos estén realmente conectados cuando dudes.
- Desconecta la alimentación antes de modificar el circuito. Siempre.

Limitaciones: el protoboard no sirve para altas frecuencias (los contactos agregan capacitancia parásita), altas corrientes (los contactos se calientan) ni circuitos definitivos (los contactos se aflojan con el tiempo). Para proyectos finales se suelda en placa perforada o PCB.

El multímetro: tus ojos eléctricos

El multímetro digital mide voltaje (V), corriente (A), resistencia (ohm) y continuidad (bip). Tiene una perilla selectora, una pantalla, y dos o tres jacks: COM (negro, común) y V-ohm (rojo) para casi todo; un jack separado de 10 A para corrientes grandes.

Modo por modo, con la técnica correcta:

VOLTAJE (V con línea continua para directa, V con onda para alterna): puntas en paralelo, circuito energizado. Rango: empieza en el más alto y baja si la lectura es pequeña (o usa auto-rango). Punta negra al punto de referencia (tierra), roja al punto a medir.

CORRIENTE (A o mA): ¡EN SERIE! Abre el circuito, intercala el multímetro, energiza. Cambia la punta roja al jack de corriente. Empieza en el rango más alto. NUNCA en paralelo con la fuente. Para medir la corriente de un LED: desconecta una pata de su resistencia, pon una punta ahí y la otra en la pata suelta: el medidor completa el camino.

RESISTENCIA (ohm): componente DESCONECTADO y SIN energía. Puntas en paralelo con la resistencia. Si mide en circuito, otros componentes alteran la lectura.

CONTINUIDAD (símbolo de sonido): pita si hay conexión (resistencia cercana a cero). Úsalo para verificar cables, pistas del protoboard, fusibles y soldaduras. Es tu mejor amigo depurando.

Diodo (símbolo de diodo): inyecta una corriente pequeña y muestra la caída de voltaje: 0.5 a 0.8 V en un diodo bueno en directa, "OL" (abierto) en inversa. Sirve para probar diodos, LEDs y uniones base-emisor de transistores.

Errores caros con el multímetro: medir corriente con las puntas en los jacks de voltaje (quemas el fusible), dejar la punta en el jack de 10 A y luego medir voltaje (lectura errónea y riesgo), medir resistencia en un circuito energizado (dañas el medidor), y olvidar cambiar de modo AC/DC.

La soldadura: uniones para siempre

Soldar es unir metales fundiendo una aleación (soldadura de estaño, típicamente 60/40 estaño-plomo o libre de plomo) que al enfriarse forma una unión eléctrica y mecánica. Necesitas: cautín (25 a 40 W para electrónica), soldadura de 0.8 a 1 mm con fundente interno, base para el cautín, esponja o lana de bronce para limpiar la punta, y un extractor o lugar ventilado.

La técnica correcta, paso a paso:

TÉCNICA DE SOLDADURA PERFECTA

1. Limpia la punta caliente en la esponja húmeda (debe verse brillante, "estañada").
2. Calienta LA UNIÓN (pata + pista), no la soldadura: toca con la punta ambas partes 2-3 segundos.
3. Alimenta la soldadura tocando la unión caliente (no la punta del cautín): debe fluir sola.
4. Retira la soldadura, espera 1 segundo, retira el cautín.
5. No muevas la unión hasta que enfríe (2-3 segundos).
Una unión movida en caliente sale "fría" y falla.

Una buena soldadura se ve como un pequeño volcán brillante, cóncavo, que moja tanto la pata como la pista. Una mala soldadura ("fría") se ve opaca, grumosa o en forma de bola que no moja la pista: no conduce bien y falla con el tiempo o la vibración. Si te sale mal, no pongas más soldadura encima: retira con malla desoldadora o succionador y vuelve a empezar.

Seguridad: el cautín quema (300+ grados), la soldadura con plomo es tóxica si la ingieres (lávate las manos, no comas soldando), el humo irrita (ventila), y nunca dejes el cautín encendido sin supervisión. Para practicar, compra placa perforada barata y practica 50 uniones antes de tocar un proyecto real.

Desoldar: con malla de cobre (se calienta sobre la unión y absorbe la soldadura fundida) o succionador (bomba de vacío). Para rescatar componentes caros vale la pena aprender.

La fuente de poder: energía bajo control

Opciones para alimentar tus prácticas, de peor a mejor:

1. Pilas (AA, 9 V): baratas, portátiles, pero se agotan y su voltaje cae con la carga. Bien para circuitos pequeños de prueba.
2. Eliminadores/cargadores USB (5 V): estables y baratos, pero voltaje fijo y sin protección ajustable. Útiles para lógica de 5 V.
3. Fuente de laboratorio regulada: voltaje y corriente AJUSTABLES, con display y protección contra cortocircuito. LA HERRAMIENTA IDEAL para aprender: si cometes un error, limita la corriente y te avisa en lugar de quemar componentes. Una de 0-30 V y 0-5 A cubre todo este libro.

Cómo usar la fuente de laboratorio: ajusta el voltaje con la salida APAGADA o sin carga, conecta el circuito, enciende la salida, y observa la corriente: si es cero con el circuito que debería consumir, algo está abierto; si la fuente entra en limitación de corriente de inmediato, tienes un cortocircuito: apaga y revisa antes de seguir.

Regla de oro del taller: ajusta el límite de corriente a un valor apenas superior al esperado. Si tu circuito debe consumir 50 mA, pon el límite en 100 mA. Así, un error de conexión dispara la protección en lugar de humo.

Tu kit inicial recomendado

KIT BÁSICO DEL TALLER (inversión mínima, máximo provecho)

- Protoboard de 830 puntos + cables jumper surtidos.
- Multímetro digital con continuidad y modo diodo.
- Cautín de 30 W + soldadura 0.8 mm + base + esponja.
- Fuente: eliminador de 5 V y pilas de 9 V para empezar; fuente de laboratorio cuando puedas.
- Surtido de resistencias E12 1/4 W (el más vendido).
- Surtido de capacitores cerámicos y electrolíticos.
- LEDs de 5 mm varios colores + 2N2222 + 1N4007.
- Pinzas de corte, pinzas de punta, pelacables.
- Libreta de laboratorio (anota cada circuito y medición).

La libreta merece énfasis: los profesionales anotan. Dibuja cada circuito que armes, anota los valores medidos contra los calculados, y escribe qué falló y cómo lo arreglaste. En seis meses esa libreta valdrá más que cualquier herramienta.

Práctica de taller

Ejercicio 1

En un protoboard, insertas un LED en j5 (ánodo) y j6 (cátodo). Una resistencia va de e6 a e10. Un cable va de a10 al riel positivo. ¿Están el cátodo del LED y la resistencia conectados? ¿Y el cable con la resistencia?

SOLUCIÓN: El cátodo está en j6 y la resistencia en e6: j y e son lados opuestos del canal pero de la MISMA columna 6... espera, las columnas son a-e de un lado y f-j del otro, y el canal separa e de f. La columna 6 del lado izquierdo es a6,b6,c6,d6,e6 (conectados). La columna 6 del lado derecho es f6,g6,h6,i6,j6 (conectados). e6 y j6 NO están conectados (el canal los separa). Entonces el cátodo (j6) NO conecta con la resistencia (e6): ¡el circuito está abierto! El cable en a10 y la resistencia en e10 SÍ están conectados (misma columna 10, lado izquierdo). Para arreglarlo, la resistencia debe ir de e6 a otra columna, o mover el LED.

Ejercicio 2

Quieres medir la corriente que consume un circuito alimentado a 9 V. Describe los pasos exactos con el multímetro.

SOLUCIÓN: 1) Apaga/desconecta la fuente. 2) Pon la punta roja en el jack de corriente (mA) y la negra en COM. 3) Selecciona el rango más alto de corriente DC. 4) Abre el

circuito en un punto (desconecta el cable positivo de la fuente). 5) Conecta una punta al cable de la fuente y la otra al punto donde iba: el multímetro queda en serie. 6) Energiza y lee. 7) Si la lectura es pequeña, baja de rango (apagando antes de cambiar jacks).

Ejercicio 3

Mides una resistencia de 4.7 kohm en circuito y el multímetro marca 2.1 kohm. ¿Está dañada la resistencia?

SOLUCIÓN: Probablemente no. Medir en circuito incluye los caminos paralelos de otros componentes, que bajan la lectura. Desconecta una pata y mide de nuevo: si marca ~4.7 kohm, está bien. Nunca diagnostiques resistencias sin desconectarlas.

Ejercicio 4

Tu soldadura se ve opaca y grumosa, y el circuito falla al moverlo. ¿Qué pasó y cómo lo arreglas?

SOLUCIÓN: Es una soldadura fría: la unión se movió antes de enfriar o no se calentó lo suficiente. Se arregla retirando la soldadura vieja con malla desoldadora, limpiando, y soldando de nuevo con la técnica correcta (calentar la unión, alimentar soldadura a la unión, no mover hasta enfriar).

Ejercicio 5

Conectas tu circuito a la fuente de laboratorio y está entra en limitación de corriente con 0 V en la salida. ¿Qué significa y qué haces?

SOLUCIÓN: Significa cortocircuito: la corriente quiso subir sin control y la protección limitó. Apaga la salida, desconecta el circuito, y busca el corto con el multímetro en continuidad: revisa rieles del protoboard, patas dobladas que se tocan, componentes al revés. No subas el límite de corriente para "ver si jala": eso quema cosas.

Ejercicio 6

¿Por qué se recomienda ajustar el límite de corriente apenas por encima del consumo esperado?

SOLUCIÓN: Porque la fuente actúa entonces como guardián: cualquier error (corto, componente al revés, valor mal calculado) dispara la protección antes de que la corriente destructiva fluya. Es como un fusible inteligente y ajustable que protege tus componentes mientras aprendes.

Resumen de la unidad

El protoboard conecta columnas de 5 orificios y rieles laterales de alimentación: memoriza su mapa porque la mayoría de fallas son conexiones mal entendidas. El multímetro mide voltaje en paralelo (circuito energizado), corriente en serie (abriendo el camino, nunca en paralelo con la fuente), resistencia con el componente desconectado y sin energía, y continuidad para depurar. Soldar bien es calentar la unión, alimentar soldadura a la unión caliente y no mover hasta enfriar; la soldadura fría se ve opaca y falla. La fuente de laboratorio con límite de corriente ajustable es la mejor aliada del aprendiz. Y anota todo en tu libreta de laboratorio: es la herramienta más barata y la más valiosa.

Ampliación: soldadura profesional y estación de trabajo

Niveles de soldadura: de aficionado a profesional

NIVEL 1 (principiante): Uniones en placa perforada con componentes de patas gruesas. Objetivo: 50 uniones aceptables seguidas. Criterio: brillantes, cóncavas, sin puentes.

NIVEL 2 (intermedio): Soldar pines de Arduino, módulos y cables a placas. Objetivo: cables que no se sueltan al tirar con fuerza moderada. Técnica extra: pre-estañar el cable (cubrir los hilos con soldadura antes de unirlos) y usar tubo termocontraíble para aislar.

NIVEL 3 (avanzado): Componentes SMD con cautín fino o estación de aire caliente. Los SMD 0805 y SOIC se pueden soldar con cautín: una gota de soldadura en un pad, colocar el componente con pinzas, soldar el otro lado. Los QFP y QFN ya piden aire caliente y pasta de soldar.

NIVEL 4 (profesional): Retrabajo con aire caliente, puntas de precisión, microscopio. Cambio de chips en tarjetas comerciales. Para llegar aquí hacen falta cientos de horas; no es meta de este libro, pero ya sabes que existe.

Técnicas específicas que debes dominar

SOLDAR CABLES ENTRE SÍ (empalme): Pela 1 cm de cada cable, entrelaza los hilos (cola de rata) o usa conector, pre-estaña, une con el cautín y cubre con tubo termocontraíble (se encoge con el calor del mismo cautín acercado, no tocado). Nunca dejes empalmes pelados: son cortos futuros.

SOLDAR A CHASIS O PLANOS DE TIERRA GRANDES: El cobre grande roba calor: necesitas cautín más potente o precalentar. Si tu cautín de 30 W no puede, no insistas quemando el aislante: usa un cautín de 60 W o una pistola para esos casos.

DESOLDAR COMPONENTES DE VARIAS PATAS: Con malla en cada pata no basta si el componente no sale: usa succionador calentando pata por pata y moviendo suavemente, o corta las patas del componente muerto y desuelda los muñones uno por uno (sacrificas el componente, salvas la placa).

PUENTES DE SOLDADURA (cortos accidentales entre pines vecinos): Se quitan pasando la punta limpia y caliente entre los pines: la tensión superficial jala el exceso. La malla también funciona. Prevención: menos soldadura de la que crees necesitar.

La estación de trabajo ideal (por etapas de presupuesto)

ETAPA 1 (inicio, ~\$500 MXN): Cautín 30 W, soldadura 0.8 mm, base con esponja, multímetro básico, protoboard, pinzas. Con esto haces el 80 por ciento del libro.

ETAPA 2 (entusiasta, +\$1500 MXN): Estación de soldadura regulable (temperatura ajustable: cambia la vida), succionador, malla desoldadora, pinzas de precisión, tercera mano con lupa, fuente de laboratorio básica.

ETAPA 3 (avanzado, +\$5000 MXN): Osciloscopio (usado o kit: ver señales reales es revelador), estación de aire caliente, fuente doble, generador de funciones, componentes SMD surtidos.

No compres la etapa 3 antes de dominar la 1: las herramientas no sustituyen la técnica. El mejor multímetro del mundo no arregla una mala soldadura.

Organización y seguridad del taller

- Mesa despejada, no inflamable, bien iluminada. Nada de soldar en la cama.
- El cautín SIEMPRE en su base, nunca sobre la mesa. Apágalo al terminar (un temporizador o un recordatorio ayudan).

- Ventilación: una ventana abierta o un ventilador pequeño que aleje el humo de tu cara. Un extractor con filtro de carbón es barato y efectivo.
- Lávate las manos después de soldar (plomo). No comas ni bebas en la mesa de trabajo.
- Primeros auxilios: quemadura leve de cautín -> agua fría 10 minutos, no pomadas caseras. Quemadura grave -> médico.
- Orden: cada componente en su cajita etiquetada. El desorden cuesta dinero (compras duplicado lo que ya tenías perdido) y tiempo.

Mantenimiento de herramientas

La punta del cautín se cuida: siempre estañada (cubierta de soldadura brillante) antes de guardarla; se limpia en esponja húmeda o lana de bronce, nunca lijándola (quitas el recubrimiento). Una punta negra y picada no transfiere calor: cámbiala (cuestan poco).

El multímetro: cambia la pila cuando la pantalla se atenúa (lecturas erróneas con pila baja); revisa los fusibles una vez al año; guarda las puntas sin doblar.

La fuente de laboratorio: no la uses como cargador de baterías sin saber (algunas no toleran voltaje reverso); mantenla ventilada.

Práctica adicional

Ejercicio 7

Describe cómo soldarías un cable a un pad de placa perforada para que aguante tirones.

SOLUCIÓN: Pela 5 mm, pre-estaña el cable. Inserta por el orificio y dobla ligeramente. Calienta pad + cable 2-3 s, alimenta soldadura hasta formar un cono brillante que cubra el cable. Deja enfriar sin mover. Cubre con tubo termocontraíble o silicón. Prueba tirando con fuerza moderada: no debe moverse.

Ejercicio 8

Tienes que desoldar un chip de 8 pines para reutilizarlo. Describe el procedimiento.

SOLUCIÓN: Con malla desoldadora: calienta cada pin con la malla entre punta y unión hasta absorber la soldadura. Repite en todos los pines. Intenta mover el chip suavemente; si algún pin sigue agarrado, repite la malla en ese pin. Levanta con pinzas, nunca con fuerza. Limpia los pads con malla antes de soldar el reemplazo.

Ejercicio 9

¿Por qué no debes lijar la punta del cautín aunque esté negra?

SOLUCIÓN: Porque la punta tiene un recubrimiento de hierro/hierro-níquel sobre el cobre: lijarla lo quita y expone el cobre, que se disuelve en la soldadura rapidísimo. La punta se limpia con esponja o lana de bronce y se mantiene estañada; si ya está picada, se reemplaza.

Ejercicio 10

Prioriza esta lista de compras con \$1000 MXN: estación regulable (\$800), surtido de resistencias (\$150), malla desoldadora (\$80), tercera mano (\$200), cable jumper (\$120).

SOLUCIÓN: Resistencias (\$150) + malla (\$80) + jumpers (\$120) + tercera mano (\$200) = \$550; sobran \$450 que se ahorran para la estación después. La estación es lo más caro y lo que más mejora la calidad, pero sin componentes no hay nada que soldar: primero material de práctica, luego herramienta premium.

Ejercicio 11

Explica el procedimiento seguro si derramas soldadura fundida en la mesa.

SOLUCIÓN: No la toques: deja que enfríe (segundos). Recoge la bola fría con pinzas. Si cayó en tu piel: no la arranques (te llevas piel); enfría con agua y ve al médico si es más que superficial. Prevención: trabaja siempre sobre superficie resistente al calor y con la base del cautín estable.

Ejercicio 12

Tu taller comparte cuarto con tu computadora. Da 3 reglas para convivir sin accidentes.

SOLUCIÓN: 1) Zona delimitada: la mesa de electrónica separada, nada de cables cruzando hacia la computadora. 2) El cautín se apaga SIEMPRE al terminar (checklist en la pared). 3) Ventilación hacia la ventana, nunca hacia la computadora (el humo y el polvo dañan ventiladores y teclados).

Ampliación: checklists de taller y diagnóstico

Checklist: antes de energizar cualquier circuito

ANTES DE CONECTAR LA FUENTE, VERIFICA:

- ☐ La fuente está en el voltaje correcto (mídela en vacío).
- ☐ El límite de corriente está ajustado apenas por encima de lo esperado.
- ☐ Polaridad correcta: positivo a positivo, tierra a tierra.
- ☐ Polaridad de electrolíticos, diodos y LEDs.
- ☐ Orden de patas de transistores (verificado en datasheet).
- ☐ Sin patas dobladas tocándose en el protoboard.
- ☐ Sin cables sueltos que puedan hacer corto al mover.
- ☐ El multímetro está en modo voltaje (no en corriente).
- ☐ Tus manos están secas y la mesa despejada.

Los profesionales usan checklists porque la memoria falla cuando hay prisa. Imprime esta lista y pégala en tu taller.

Checklist: cuando el circuito no funciona

DIAGNÓSTICO SISTEMÁTICO:

- ☐ ¿La fuente entrega voltaje? (mide en sus terminales)
- ☐ ¿El voltaje llega al circuito? (mide en los rieles)
- ☐ ¿Hay un corto? (la fuente limita corriente / se calienta algo)
- ☐ ¿Algún componente al revés? (diodos, electrolíticos, transistores)
- ☐ ¿Conexiones del protoboard correctas? (verifica columnas con continuidad)
- ☐ ¿Valores de componentes correctos? (lee los códigos de color)
- ☐ ¿El código corresponde al cableado? (pines declarados = pines usados)
- ☐ ¿Tierras comunes conectadas? (Arduino + fuente externa)
- ☐ Divide y vencerás: desconecta bloques hasta aislar la falla.

Los 7 pecados capitales del protoboard

1. Rieles partidos: algunos protoboards cortan el riel a la mitad; tu "5 V" no llega al otro extremo. Verifícalo con continuidad al estrenar cada protoboard.
2. Columna compartida sin querer: dos componentes en la misma columna que no debían conectarse.
3. Pata que no entró: parece insertada pero está doblada sobre el plástico. Empuja con suavidad y verifica.
4. Cable jumper roto por dentro: se ve bien pero no conduce. El modo continuidad lo delata en segundos.

5. Protoboard viejo con contactos flojos: el circuito falla al tocarlo. Cambia de zona o de protoboard.
6. Cable pelado muy largo que toca al vecino: pela solo lo necesario (5-7 mm).
7. Alimentar desde el extremo equivocado con caídas: en circuitos con varios amperes, alimenta los rieles por ambos extremos.

Bitácora de laboratorio: formato recomendado

FECHA: _____
PROYECTO: _____
DIAGRAMA: (dibujo)
VALORES CALCULADOS: _____
VALORES MEDIDOS: _____
DIFERENCIAS Y EXPLICACIÓN: _____
PROBLEMAS ENCONTRADOS: _____
SOLUCIÓN APLICADA: _____
MEJORAS PENDIENTES: _____

Llenar esto toma 5 minutos y vale oro cuando retomas un proyecto semanas después. Los ingenieros cobran por su documentación tanto como por sus circuitos.

Práctica adicional

Ejercicio 13

Siguiendo el checklist de energizado, ¿qué verificarías primero si al conectar la fuente el LED indicador no enciende?

SOLUCIÓN: El voltaje en los terminales de la fuente (¿está encendida? ¿voltaje correcto?), luego el voltaje en los rieles del protoboard (¿llega?), luego la polaridad del LED y su resistencia. Orden: fuente -> distribución -> componente.

Ejercicio 14

Tu circuito funciona al armarlo pero falla si tocas el protoboard. Diagnostica con la lista de pecados.

SOLUCIÓN: Contacto flojo o pata mal insertada (pecados 3 o 5): al mover, el contacto se abre. Revisa cada componente empujándolo suavemente mientras mides continuidad, o cambia a una zona nueva del protoboard. También puede ser un jumper roto (pecado 4).

Ejercicio 15

¿Por qué se recomienda alimentar los rieles por ambos extremos en circuitos de alta corriente?

SOLUCIÓN: Porque los contactos del protoboard tienen resistencia pequeña pero real; con amperes circulando, la caída a lo largo del riel deja menos voltaje en el extremo lejano. Alimentar por ambos extremos divide la corriente y reduce la caída a la mitad aproximadamente.

Ejercicio 16

Escribe una entrada de bitácora para este caso: "El LED no encendía; el problema era la resistencia en la columna equivocada; se movió y funcionó; medido 13.8 mA contra 15 calculados."

SOLUCIÓN:

```
FECHA: (hoy)
PROYECTO: LED indicador 5 V.
DIAGRAMA: 5V - R 220 - LED - GND.
CALCULADO: 13.6 mA (con 220 ohms).
MEDIDO: 13.8 mA. Diferencia: 1.5%, dentro de tolerancia.
PROBLEMA: LED no encendía; resistencia insertada en columna
vecina a la del LED (sin conexión real).
SOLUCIÓN: Movida a la columna correcta; verificado con
continuidad. Funciona.
```

Ejercicio 17

Da 3 razones por las que un profesional documenta aunque "se acuerde de todo".

SOLUCIÓN: 1) La memoria falla con el tiempo y con la cantidad de proyectos. 2) Otro técnico debe poder entender y reparar tu trabajo. 3) La documentación permite repetir resultados y es exigible en entornos profesionales (garantías, certificaciones).

Ejercicio 18

Tu fuente de laboratorio no tiene límite de corriente ajustable. ¿Cómo proteges tus prácticas?

SOLUCIÓN: Con un fusible en serie de valor apenas superior al esperado (ej. 500 mA para un circuito de 200 mA), verificado con el checklist antes de energizar, y empezando siempre con el voltaje al mínimo e incrementando mientras observas la corriente con el multímetro en serie.

Ampliación: conectores, cableado y crimpado

Los conectores: el sistema circulatorio del proyecto

Un buen proyecto no es solo el circuito: es cómo se conecta con el mundo. Conectores comunes:

- HEADER MACHO/HEMBRA (2.54 mm): los pines del Arduino y los módulos. Los cables Dupont (macho-macho, macho-hembra, hembra-hembra) son el estándar del protoboard.
- BORNERAS (terminal block): tornillos para cables gruesos (alimentación, motores). Aceptan cable pelado directo.
- JACK DC (barrel): alimentación de 5.5 mm (centro positivo típico, ¡verifica!).
- JST/XH: conectores polarizados para baterías y sensores (no se conectan al revés).
- USB: alimentación y datos (micro, C).
- BANANA: para fuentes de laboratorio y multímetros.

Regla: todo cable que se conecta y desconecta lleva conector; solo las uniones permanentes van soldadas directas. Un proyecto con cables soldados donde debería haber conectores es una pesadilla de mantenimiento.

Crimpado: la unión profesional

El crimpado une un terminal metálico a un cable deformándolo con pinzas crimpadoras: es más rápido y confiable que soldar para producción, y no sufre con la vibración (la soldadura se quiebra con vibración; el crimpado no).

Técnica:

1. Pela el cable lo justo (el largo del terminal).
2. Inserta el cable en el terminal hasta el fondo.

3. Crimpa con la pinza en la medida correcta (cada pinza tiene dados por calibre).
4. Tira con fuerza: no debe soltarse ni moverse.
5. Si lleva funda plástica, insértala después.

Un mal crimpado (pinza incorrecta, cable mal pelado) es peor que una mala soldadura porque "se ve bien" por fuera. Verifica tirando siempre.

Cableado: calibres y colores

El calibre (AWG) define el grosor: a menor número, más grueso. Guía práctica:

CALIBRE	USO TÍPICO	CORRIENTE APROX.
22-24 AWG	Señales, jumpers de protoboard	< 1 A
20 AWG	Alimentación de módulos	1-2 A
18 AWG	Motores pequeños, tiras LED	2-3 A
16 AWG	Fuentes, baterías	3-5 A
14 AWG	Conexiones de potencia	5-10 A

Código de colores recomendado (sé consistente):

- ROJO: positivo / VCC.
- NEGRO: tierra / GND.
- AMARILLO/BLANCO: señales.
- AZUL/VERDE: otros (siempre el mismo uso en tu taller).

Un circuito con todos los cables del mismo color es imposible de depurar. El color es documentación gratuita.

Buenas prácticas de cableado en proyectos

1. Agrupa y amarra: los cables sueltos se atorran y se rompen. Usa cinchos o espiral.
2. Separa potencia de señal: no trences el cable del motor con el del sensor analógico (el ruido del motor contamina la lectura).
3. Deja holgura de servicio: que puedas abrir la caja y ver todo sin desconectar.
4. Etiqueta: un pedacito de cinta con el nombre del cable ("MOTOR+", "SENSOR") ahorra horas.
5. Protege bordes: donde el cable sale de la caja metálica, pon un pasacables de goma (el metal corta el aislante con la vibración).

De protoboard a permanente: opciones

1. PLACA PERFORADA: soldas los mismos componentes del protoboard en una placa con pads. Barata, rápida, para 1-5 unidades.
2. PCB DISEÑADO (KiCad + fabricación): profesional, para 10+ unidades o proyectos que presumes. Hay servicios que fabrican 5 PCBs por ~\$100 MXN.
3. PUNTO A PUNTO (dead bug): componentes soldados al aire con cables: solo para prototipos rápidos de RF o reparaciones.

Para pasar de 1 a 2, dibuja el esquemático en KiCad (gratis), asigna huellas, traza las pistas (o usa el auto-router para empezar), genera los Gerbers y súbelos al fabricante. Tu primer PCB es un rito de paso: hazlo con un circuito simple que ya funcione en protoboard.

Práctica adicional

Ejercicio 19

Elige conector y calibre para: a) sensor DHT22 a 20 cm del Arduino, b) motor de 3 A a 50 cm de la fuente, c) alimentación 110 V a una caja.

SOLUCIÓN: a) Dupont hembra-hembra, 24 AWG (señal, corta distancia). b) Bornera + cable 18 AWG (3 A, media distancia). c) Cable de poder con conector certificado para 110 V (no Dupont ni bornera expuesta): la seguridad manda, usa cable de uso rudo y prensaestopas.

Ejercicio 20

Crimpaste un terminal y "se ve bien" pero el circuito falla intermitentemente. ¿Qué haces?

SOLUCIÓN: Tiras del cable con fuerza: si se mueve o sale, el crimpado falló (corta y recrimpa con la pinza correcta). Si aguanta, mide continuidad moviendo el cable: un falso contacto interno se revela. Nunca confíes en la apariencia: prueba mecánica + eléctrica.

Ejercicio 21

¿Por qué no debes trenzar el cable del motor con el del sensor de temperatura analógico?

SOLUCIÓN: Porque el motor genera picos de corriente y ruido electromagnético que se acoplan al cable del sensor (diafonía): el ADC leerá valores erráticos. Separa potencia

de señal por centímetros y, si deben cruzarse, que sea en ángulo recto (minimiza el acoplamiento).

Ejercicio 22

Tu proyecto en caja metálica funciona en la mesa pero falla al cerrar la tapa. Diagnostica.

SOLUCIÓN: Probable corto de algún cable o componente contra la caja metálica al presionarla la tapa. Revisa: cables pelados tocando la caja, pines largos de soldadura, placa sin separadores. Solución: separadores plásticos, tubo termocontraíble en pines largos, y cinta aislante o barniz en zonas de riesgo. (Por eso se prueba con la caja cerrada.)

Ejercicio 23

Explica cuándo conviene diseñar un PCB en lugar de usar placa perforada.

SOLUCIÓN: Cuando harás más de ~5 unidades (el PCB sale más barato y rápido por unidad), cuando el circuito es complejo (la placa perforada se vuelve un nido de cables propenso a errores), cuando hay alta frecuencia (el PCB controla impedancias y ruido), o cuando la presentación importa (producto vendible). Para un prototipo único simple, la perforada gana.

Ejercicio 24

Lista el orden de armado de un proyecto en caja, del primero al último paso.

SOLUCIÓN: 1) Planear layout en papel (dónde va cada cosa). 2) Hacer orificios en la caja. 3) Montar componentes mecánicos (interruptores, conectores). 4) Armar y probar la electrónica FUERA de la caja. 5) Instalar adentro con separadores. 6) Cablear con colores y etiquetas. 7) Probar con caja abierta. 8) Probar con caja cerrada. 9) Documentar. El orden evita desarmar lo ya armado.

Ampliación: diseña tu primer PCB con KiCad paso a paso

Por qué KiCad y cómo empezar

KiCad es gratis, open source y profesional (se diseñan productos comerciales con él). Flujo de trabajo:

1. Esquemático (Eeschema): dibujas el circuito con símbolos.
2. Asignación de huellas: cada símbolo -> huella física (resistencia 0805, DIP-8, etc.).
3. Layout (Pcbnew): colocas componentes y trazas pistas.
4. Reglas de diseño (DRC): el programa verifica errores.
5. Gerbers: archivos de fabricación.
6. Fabricante: subes los Gerbers, recibes tus PCBs.

Instálalo, abre el proyecto de ejemplo y familiarízate. Tu primer diseño debe ser un circuito que YA funcione en protoboard (ej. el LED con 555): así solo aprendes la herramienta, no el circuito.

Paso 1: el esquemático

Dibuja igual que en papel pero con ventajas: KiCad numera solo (anotar), verifica conexiones (ERC: detecta pines sin conectar, alimentaciones flotantes) y genera la lista de materiales (BOM) automáticamente.

Buenas prácticas:

- Un bloque funcional por área del esquemático (alimentación arriba, señal de izquierda a derecha).
- Etiquetas en redes importantes (VCC, GND, SALIDA).
- Símbolos de alimentación (no cables largos de VCC por todo el dibujo).
- Valores y huellas desde el inicio (menos retrabajo).

Paso 2: huellas y colocación

La huella (footprint) es el patrón de cobre donde se solda el componente. Decisiones:

- Principiante: todo THROUGH-HOLE (pines que atraviesan): fácil de soldar a mano.
- Intermedio: SMD 0805/1206 (se sueldan a mano con práctica).
- Avanzado: 0603 y QFP (necesitas buena técnica o stencil).

Colocación (el 80% del éxito):

1. Conectores en los bordes (donde salen los cables).
2. Componentes agrupados por bloque funcional.
3. Cristales y capacitores de desacople PEGADOS a sus chips.

4. Rutas cortas para señales críticas; la alimentación con pistas anchas.

Paso 3: trazado de pistas

Reglas de oro:

- Ancho según corriente: 0.5 mm para señales, 1-2 mm para alimentación (hay calculadoras online según amperaje y temperatura).
- Evita ángulos de 90 grados (usa 45): los 90 acumulan ácido de grabado y emiten más ruido (en la práctica moderna importa poco, pero es buena costumbre).
- Un plano de tierra (cobre completo en una cara) es lo mejor que puedes hacer por tu circuito: reduce ruido y facilita el retorno de corriente.
- Separa alta tensión de baja, y analógico de digital.
- Vías: para cambiar de cara; no abuses (cada vía es un costo y un punto de falla potencial en fabricación casera).

Para tu primer PCB, usa DOS caras con plano de tierra abajo: es el estándar moderno y los fabricantes lo hacen al mismo precio.

Paso 4: verificación y fabricación

1. DRC (Design Rule Check): KiCad verifica distancias mínimas, pistas sin conectar, etc. CERO errores antes de fabricar.
2. Revisa visualmente con el visor 3D: ¿los componentes caben? ¿los conectores miran afuera?
3. Genera Gerbers + taladros; súbelos al visor online del fabricante para verificar.
4. Pide 5 unidades (mínimo típico, ~\$100-200 MXN con envío lento).
5. Al recibir: inspecciona, suelda UN PCB, prueba por bloques (igual que en protoboard), y solo entonces sueldas los demás.

Errores clásicos del primer PCB: huellas espejadas (el componente no cabe), olvidar el plano de tierra, pistas muy delgadas para la corriente, no dejar espacio para el disipador, y el famoso "diseñé el conector al revés". Todos se evitan con el visor 3D y una revisión pausada.

Práctica adicional

Ejercicio 25

Convierte el LED parpadeante con 555 (Unidad 4) a esquemático de KiCad. Lista los símbolos y huellas que usarías.

SOLUCIÓN: Símbolos: NE555 (DIP-8), R1, R2 (resistencias), C1, C2 (capacitores), LED, bornera o pines para 9 V. Huellas: DIP-8 para el 555 (o su zócalo), resistencias axiales (o 0805 si SMD), capacitor electrolítico radial, LED 5 mm, terminal block 2 pines o header. Todo through-hole para soldadura manual fácil.

Ejercicio 26

¿Qué ancho de pista usas para una línea de 2 A en tu PCB? ¿Y para una señal de sensor?

SOLUCIÓN: Señal: 0.4-0.5 mm basta. 2 A: según calculadoras IPC-2221, ~1.5-2 mm en cobre 1 oz con elevación de 10 grados (usa 2 mm por margen). La alimentación siempre ancha; las señales delgadas.

Ejercicio 27

Explica por qué el capacitor de desacople debe ir pegado al chip en el layout.

SOLUCIÓN: Porque a alta frecuencia, la inductancia de la pista (unos nH por mm) bloquea el camino al capacitor lejano: el chip "no ve" el capacitor si está a 5 cm. Pegado (2-3 mm), la inductancia es mínima y el capacitor responde a los transitorios rápidos. En el esquemático da igual dónde lo dibujes; en el PCB la distancia es todo.

Ejercicio 28

Tu DRC reporta "unconnected items" en 3 redes. ¿Qué haces?

SOLUCIÓN: No lo ignoras: cada red sin conectar es un circuito abierto en el PCB real. Revisa: ¿olvidé trazar esa pista? ¿el rat's nest muestra una línea pendiente? ¿es una red que intencionalmente queda al aire (antena, punto de prueba)? Solo las intencionales se aprueban; las demás se trazan.

Ejercicio 29

Compara costo y tiempo: 10 unidades de un circuito simple en placa perforada vs PCB fabricado.

SOLUCIÓN: Perforada: ~\$30 MXN de placa + 2-3 horas de soldadura y cableado por unidad (20-30 horas total), con riesgo de errores manuales. PCB: ~\$200 por 5-10 placas + 30 min de soldadura por unidad (5 horas), idénticas y confiables. A partir de ~5 unidades, el PCB gana en tiempo, calidad y a veces en costo total.

Ejercicio 30

Dibuja el flujo completo desde "circuito en protoboard" hasta "5 PCBs en tu mesa", numerando pasos.

SOLUCIÓN: 1) Circuito funcionando en protoboard. 2) Esquemático en KiCad. 3) ERC limpio. 4) Asignar huellas. 5) Layout: colocación + trazado. 6) DRC limpio + revisión 3D. 7) Generar Gerbers. 8) Verificar en visor online. 9) Pedir al fabricante. 10) Recibir e inspeccionar. 11) Soldar y probar UNA. 12) Producir las demás.

Ampliación: impresión 3D y el taller moderno

La impresora 3D: la fábrica de tus cajas

Una impresora 3D FDM (de filamento) es la pareja perfecta de la electrónica: imprime cajas, soportes, engranes, perillas y piezas mecánicas a medida. Flujo:

1. Diseña en 3D (Tinkercad para empezar, Fusion 360 gratis para ir en serio, OpenSCAD si te gusta programar).
2. Exporta STL.
3. Lamina en el slicer (Cura, PrusaSlicer): genera el G-code (capas, relleno, soportes).
4. Imprime (una caja tarda 3-8 horas).
5. Post-procesa (quita soportes, lija si hace falta).

Materiales: PLA (fácil, rígido, se deforma con calor >60 grados), PETG (más resistente y térmico, un poco más difícil), ABS (resistente, necesita impresora cerrada por los gases), TPU (flexible: ruedas, protectores).

Diseño para electrónica:

- Deja tolerancias: los agujeros para tornillos M3 se diseñan a 3.2-3.4 mm (el plástico encoge).
- Paredes de 2-3 mm para cajas; más donde van los tornillos.
- Ventilación: rejillas si hay reguladores o motores dentro.

- Acceso: la caja debe abrirse para servicio (tornillos, no pegamento).
- Soportes para PCB: postes con agujero para tornillo o presión.

Herramientas del taller moderno (lista de deseos)

Por prioridad:

1. Multímetro decente (ya lo tienes).
2. Fuente de laboratorio regulable (0-30 V, 0-5 A): la mejor inversión después del multímetro.
3. Osciloscopio (los DSO portátiles de ~\$1500 MXN sirven para empezar).
4. Impresora 3D (cuando hagas proyectos en caja).
5. Estación de soldadura con temperatura regulable (mejora tu soldadura 10x).
6. Pinzas de precisión, pelacables automático, tercera mano.
7. Componentes surtidos (resistencias, capacitores, transistores, 555, Arduino clones).

No compres todo de golpe: cada proyecto te dirá qué te falta. El taller crece con el técnico.

Organización: el sistema que evita recomprar

- Cajoneras etiquetadas por tipo/valor (resistencias por valor, capacitores por tipo).
- Bolsas con etiqueta: componente + valor + fecha de compra.
- Un cuaderno/hoja de cálculo de inventario (qué tienes, dónde está).
- Caja de "proyectos en pausa" (no mezclar con componentes nuevos).
- Área de soldadura ventilada, área de pruebas, área de almacenaje: separadas.

El desorden cuesta dinero (recompras lo que no encuentras) y tiempo (buscas 30 minutos un capacitor). 15 minutos de orden a la semana pagan solos.

Seguridad del taller (resumen operativo)

- Ventilación al soldar (el humo del flux irrita; un extractor con filtro de carbón ayuda).
- Lentes al cortar cables/componentes (un pedazo de cable vuela a los ojos).
- Nunca dejes el cautín encendido sin atender (base segura, lejos de plásticos).
- Baterías de litio: cárgalas en superficie no inflamable, nunca de noche sin supervisión.
- Extintor pequeño (tipo ABC) a la mano: barato y te salva el taller.

- Botiquín básico: quemaduras de cautín pasan; agua fría inmediata + pomada.

Documentación fotográfica del taller

Fotografía cada proyecto en 3 momentos: componentes (antes), armado (durante), terminado (después). Guarda con fecha y nombre. En un año tendrás un archivo visual de tu progreso que vale oro para portafolio, para recordar cómo armaste algo, y para enseñar a otros.

Práctica adicional

Ejercicio 31

Diseña (en palabras) una caja impresa en 3D para la estación de temperatura del Proyecto 1.

SOLUCIÓN: Caja de 100x70x40 mm en PETG. Base con 4 postes para el Arduino (tornillos M3) y orificios de ventilación abajo. Tapa con ventana para el display (si agregas LCD) y orificios para los LEDs (5 mm) con sus biseles. Lateral: orificio para el cable USB y ranura para el sensor TMP36 (que quede fuera para medir el aire, no el calor interno). Pestañas de cierre con tornillos, no pegamento.

Ejercicio 32

¿Por qué el sensor de temperatura debe quedar fuera de la caja y no adentro?

SOLUCIÓN: Porque adentro el regulador del Arduino y otros componentes calientan el aire interno 5-10 grados sobre el ambiente: medirías el calor de tu propio circuito, no el ambiente. Los sensores siempre van expuestos al fenómeno que miden, aislados de las perturbaciones del sistema.

Ejercicio 33

Tu impresión 3D de una caja sale con las medidas 2% más chicas. ¿Cómo lo corriges en el diseño y en el slicer?

SOLUCIÓN: En el diseño: agrega tolerancia (agujeros +0.3 mm). En el slicer: escala la pieza al 102% (compensa la contracción). A largo plazo: calibra los pasos/mm de la impresora y usa filamento de calidad constante. Las tolerancias se diseñan, no se sufren.

Ejercicio 34

Prioriza con presupuesto de \$3000 MXN: fuente de laboratorio, osciloscopio portátil o impresora 3D. Justifica.

SOLUCIÓN: Fuente de laboratorio (\$1500-2000): la usas en TODOS los proyectos (pruebas seguras, sin pilas). Con el resto, componentes surtidos. El osciloscopio y la impresora son la siguiente ronda: la fuente multiplica lo que ya haces; los otros abren puertas nuevas pero menos frecuentes.

Ejercicio 35

Explica el flujo completo de crear un soporte para sensor, del diseño a la pieza instalada.

SOLUCIÓN: 1) Mide el sensor y el lugar (calibrador). 2) Diseña en Tinkercad/Fusion (soporte con agujeros). 3) Exporta STL. 4) Lamina (20-30% de relleno, sin soportes si el diseño es limpio). 5) Imprime en PLA/PETG. 6) Prueba el ajuste; ajusta tolerancias si hace falta. 7) Instala con tornillos. 8) Documenta con foto.

Ejercicio 36

¿Por qué separar el área de soldadura del área de pruebas en tu mesa?

SOLUCIÓN: Porque son actividades incompatibles: la soldadura genera humo, calor y desorden (restos de estaño, cables cortados) que contaminan las mediciones y pueden dañar circuitos en prueba; y los equipos de prueba estorban al soldar. Dos zonas (aunque sean dos mitades de la mesa) evitan accidentes y mejoran el flujo de trabajo.

UNIDAD 7: Circuitos en Serie y en Paralelo

Introducción a la unidad

Hasta ahora hemos analizado componentes sueltos. Los circuitos reales son redes de componentes conectados de dos formas fundamentales: en serie (uno tras otro, como vagones de tren) y en paralelo (camino alternos, como carriles de una avenida). Entender cómo se comportan el voltaje, la corriente y la resistencia en cada configuración -y en combinaciones de ambas- es lo que te permite analizar y diseñar cualquier circuito.

Esta unidad te da las dos Leyes de Kirchhoff, que son las reglas del juego de todo circuito: la corriente que entra a un punto es igual a la que sale (conservación de la carga), y la suma de voltajes en un lazo cerrado es cero (conservación de la energía). Con Ohm + Kirchhoff puedes resolver cualquier red de resistencias. Practicaremos con circuitos mixtos paso a paso hasta que el análisis sea mecánico.

Explicación detallada

Circuitos en serie: un solo camino

En serie, los componentes van uno tras otro en un único camino: la misma corriente atraviesa todos, el voltaje se reparte entre ellos, y las resistencias se suman.

REGLAS DE SERIE

- Corriente: $I_{\text{total}} = I_1 = I_2 = I_3$ (la misma en todos).
- Voltaje: $V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3$ (se reparte).
- Resistencia: $R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_3$ (se suma).

Analogía: vagones de un tren en una vía única: todos llevan la misma "corriente" de pasajeros por hora, pero cada vagón "consume" parte del impulso total.

Ejemplo: 9 V con $R_1 = 1 \text{ kohm}$ y $R_2 = 2 \text{ kohm}$ en serie. $R_{\text{total}} = 3 \text{ kohm}$. $I = 9/3 = 3 \text{ mA}$ (igual en ambas). $V_1 = 3 \text{ mA} \times 1 \text{ kohm} = 3 \text{ V}$. $V_2 = 3 \text{ mA} \times 2 \text{ kohm} = 6 \text{ V}$. Verifica: $3 + 6 = 9 \text{ V}$. Correcto. La resistencia mayor se queda con más voltaje: proporcionalidad directa.

Consecuencia práctica: las luces de navidad viejas en serie: si se funde una, se abre el circuito y se apagan todas. Por eso las modernas usan derivaciones en paralelo.

Circuitos en paralelo: caminos alternos

En paralelo, los componentes comparten los mismos dos nodos: el mismo voltaje en todos, la corriente se reparte entre ellos, y la resistencia total DISMINUYE (más caminos = menos oposición).

REGLAS DE PARALELO

- Voltaje: $V_{total} = V1 = V2 = V3$ (el mismo en todos).
- Corriente: $I_{total} = I1 + I2 + I3$ (se reparte).
- Resistencia: $1/R_{total} = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3$.

Para dos resistencias hay un atajo útil: $R_{total} = (R1 \times R2)/(R1 + R2)$. Y si son N resistencias IGUALES en paralelo: $R_{total} = R/N$. Ejemplo: dos de 10 kohm en paralelo = 5 kohm. Tres de 1 kohm en paralelo = 333 ohms.

Analogía: carriles de una avenida: todos los carriles tienen la misma "presión" de tráfico potencial (voltaje), los autos (corriente) se reparten entre carriles, y agregar carriles reduce la congestión total (menos resistencia).

Ejemplo: 12 V con $R1 = 6 \text{ kohm}$ y $R2 = 3 \text{ kohm}$ en paralelo. $V = 12 \text{ V}$ en ambas. $I1 = 12/6 = 2 \text{ mA}$. $I2 = 12/3 = 4 \text{ mA}$. $I_{total} = 6 \text{ mA}$. $R_{total} = (6 \times 3)/(6+3) = 18/9 = 2 \text{ kohm}$. Verificación: $I = 12/2 = 6 \text{ mA}$. Correcto. La resistencia MENOR se lleva MÁS corriente: proporcionalidad inversa.

Consecuencia práctica: los contactos de tu casa están en paralelo: cada aparato recibe 110 V completos e independiente de los demás; si apagas uno, los otros siguen funcionando. Si estuvieran en serie, encender la licuadora atenuaría los focos.

Circuitos mixtos: reducir por pasos

Los circuitos reales mezclan serie y paralelo. La técnica es REDUCIR por pasos: identifica grupos en serie o paralelo puros, calcúales su equivalente, redibuja el circuito simplificado y repite hasta una sola resistencia total. Luego "desanda" el camino calculando voltajes y corrientes de afuera hacia adentro.

Procedimiento con ejemplo: 12 V alimenta $R1 = 2 \text{ kohm}$ en serie con un paralelo de $R2 = 6 \text{ kohm}$ y $R3 = 3 \text{ kohm}$.

PASO 1: Reduce el paralelo $R2||R3 = (6 \times 3)/(6+3) = 2 \text{ kohm}$.
PASO 2: El circuito queda: 12 V, $R1 = 2k$ en serie con $R23 = 2k$. $R_{\text{total}} = 4 \text{ kohm}$.
PASO 3: $I_{\text{total}} = 12/4 = 3 \text{ mA}$ (pasa por $R1$ y por el bloque paralelo).
PASO 4: $V_{R1} = 3 \text{ mA} \times 2k = 6 \text{ V}$. $V_{\text{paralelo}} = 12 - 6 = 6 \text{ V}$.
PASO 5: Dentro del paralelo: $I_{R2} = 6/6 = 1 \text{ mA}$;
 $I_{R3} = 6/3 = 2 \text{ mA}$. Suma: 3 mA. Correcto.
Potencias: $P_{R1} = 36/2k = 18 \text{ mW}$; $P_{R2} = 36/6k = 6 \text{ mW}$;
 $P_{R3} = 36/3k = 12 \text{ mW}$. Total: $36 \text{ mW} = 12V \times 3mA$.

La verificación final (potencias suman igual a $V \times I$ total) es tu sello de calidad: si no cuadra, hay un error en algún paso.

Ley de Corrientes de Kirchhoff (LCK)

"La suma de corrientes que entran a un nodo es igual a la suma de las que salen." Es la conservación de la carga: los electrones no se acumulan en un punto.

En el ejemplo anterior, al nodo donde se bifurcan $R2$ y $R3$ entran 3 mA y salen 1 mA + 2 mA = 3 mA. Siempre cuadra. Úsala para encontrar corrientes desconocidas: si a un nodo entran 50 mA y por una rama salen 30 mA, por la otra salen 20 mA. Sin fórmulas complicadas.

Ley de Voltajes de Kirchhoff (LVK)

"La suma algebraica de voltajes en un lazo cerrado es cero." Recorre el lazo sumando subidas (+) al pasar por la fuente de - a +, y caídas (-) al pasar por resistencias en el sentido de la corriente. El total debe dar cero: es la conservación de la energía.

En el ejemplo: lazo con fuente de 12 V, $R1$ (caída 6 V) y bloque paralelo (caída 6 V): $+12 - 6 - 6 = 0$. Siempre cuadra. Úsala para hallar voltajes desconocidos: si la fuente da 9 V y dos resistencias en serie caen 4 V y 3 V, la tercera cae 2 V ($9 - 4 - 3 = 2$).

Cortocircuitos y circuitos abiertos en redes

Un cortocircuito en paralelo con un componente lo ANULA: toda la corriente prefiere el camino de cero resistencia y el componente queda con 0 V. Por eso un corto accidental "apaga" partes del circuito y dispara la protección de la fuente. Un circuito abierto en serie DETIENE toda la corriente de esa rama; en paralelo solo apaga su propia rama.

Diagnóstico con estas ideas: si una parte del circuito tiene 0 V donde debería haber voltaje, busca un corto en paralelo con ella. Si una rama no tiene corriente pero el resto sí, busca un abierto en esa rama. Este razonamiento sistemático es el 80 por ciento de la reparación electrónica.

Divisor de corriente: el gemelo del divisor de voltaje

Así como el voltaje se reparte en serie, la corriente se reparte en paralelo con esta fórmula:

$$I_1 = I_{\text{total}} \times R_2 / (R_1 + R_2) \quad (\text{corriente por } R_1)$$
$$I_2 = I_{\text{total}} \times R_1 / (R_1 + R_2) \quad (\text{corriente por } R_2)$$

Fíjate: la corriente por una rama usa la resistencia de LA OTRA rama en el numerador (la rama de menor resistencia se lleva más corriente). Ejemplo: $I_{\text{total}} = 9 \text{ mA}$, $R_1 = 2 \text{ kohm}$, $R_2 = 4 \text{ kohm}$. $I_{R1} = 9 \times 4/6 = 6 \text{ mA}$; $I_{R2} = 9 \times 2/6 = 3 \text{ mA}$. Verificación: $6 + 3 = 9$. Correcto: la de 2 kohm se lleva el doble que la de 4 kohm.

Ejemplos paso a paso

Ejemplo 1: Tres resistencias en serie

9 V con 1 kohm, 2.2 kohm y 3.3 kohm en serie. Calcula todo.

$$R_{\text{total}} = 1 + 2.2 + 3.3 = 6.5 \text{ kohm.}$$
$$I = 9 / 6.5 = 1.385 \text{ mA (igual en las tres).}$$
$$V_1 = 1.385 \times 1 = 1.385 \text{ V.}$$
$$V_2 = 1.385 \times 2.2 = 3.046 \text{ V.}$$
$$V_3 = 1.385 \times 3.3 = 4.569 \text{ V.}$$
$$\text{Suma: } 1.385 + 3.046 + 4.569 = 9.0 \text{ V. Correcto (LVK).}$$
$$P_{\text{total}} = 9 \times 1.385 \text{ mA} = 12.46 \text{ mW.}$$

Ejemplo 2: Tres resistencias en paralelo

5 V con 10 kohm, 20 kohm y 20 kohm en paralelo.

$V = 5 \text{ V}$ en las tres.

$I_1 = 5/10 = 0.5 \text{ mA}$; $I_2 = 5/20 = 0.25 \text{ mA}$; $I_3 = 0.25 \text{ mA}$.

$I_{\text{total}} = 1.0 \text{ mA}$ (LCK: $0.5 + 0.25 + 0.25$).

$1/R_t = 1/10 + 1/20 + 1/20 = 2/20 + 1/20 + 1/20 = 4/20$

$R_t = 20/4 = 5 \text{ kohm}$.

Verificación: $I = 5/5 = 1 \text{ mA}$. Correcto.

Ejemplo 3: Mixto con dos niveles

12 V. $R_1 = 4 \text{ kohm}$ en serie con ($R_2 = 12 \text{ kohm}$ en paralelo con ($R_3 = 4 \text{ kohm}$ en serie con $R_4 = 8 \text{ kohm}$)).

PASO 1: $R_{34} = 4 + 8 = 12 \text{ kohm}$ (serie).

PASO 2: $R_{234} = 12 || 12 = 6 \text{ kohm}$.

PASO 3: $R_{\text{total}} = 4 + 6 = 10 \text{ kohm}$.

$I_{\text{total}} = 12/10 = 1.2 \text{ mA}$.

$V_{R1} = 1.2 \times 4 = 4.8 \text{ V}$. $V_{\text{bloque}} = 12 - 4.8 = 7.2 \text{ V}$.

$I_{R2} = 7.2/12 = 0.6 \text{ mA}$. $I_{\text{rama34}} = 7.2/12 = 0.6 \text{ mA}$.

$V_{R3} = 0.6 \times 4 = 2.4 \text{ V}$. $V_{R4} = 0.6 \times 8 = 4.8 \text{ V}$.

Verificación LVK rama: $4.8 (R_1) + 2.4 + 4.8 = 12 \text{ V}$.

Verificación LCK: $0.6 + 0.6 = 1.2 \text{ mA}$. Todo cuadra.

Ejemplo 4: Divisor de corriente

$I_{\text{total}} = 100 \text{ mA}$ se reparte entre $R_1 = 10 \text{ ohms}$ y $R_2 = 40 \text{ ohms}$ en paralelo.

$I_{R1} = 100 \times 40/50 = 80 \text{ mA}$.

$I_{R2} = 100 \times 10/50 = 20 \text{ mA}$.

Suma: 100 mA . La de 10 ohms (4 veces menor) se lleva 4 veces más corriente. Proporcionalidad inversa clara.

Ejemplo 5: Diagnóstico de falla

Un circuito en serie (fuente 9 V , $R_1 = 1\text{k}$, $R_2 = 2\text{k}$) mide 0 V en R_2 y 9 V en R_1 . ¿Qué falla?

Si R2 tuviera sus 6 V normales... pero mide 0 V y R1 tiene los 9 V completos. Eso indica que R2 está en CORTOCIRCUITO (0 ohms): toda la corriente pasa por el corto, R2 queda con 0 V, y R1 recibe todo el voltaje. Además la corriente subió a 9 mA (9V/1k) contra 3 mA normales: la fuente o R1 podrían sufrir. Revisa R2.

Práctica

Ejercicio 1

12 V con 2 kohm y 4 kohm en serie. Calcula I, V1, V2, P_total.

SOLUCIÓN: $R_t = 6 \text{ kohm}$. $I = 2 \text{ mA}$. $V_1 = 4 \text{ V}$. $V_2 = 8 \text{ V}$. $P = 24 \text{ mW}$.

Ejercicio 2

9 V con 3 kohm, 6 kohm y 9 kohm en paralelo. Calcula I_total y R_t.

SOLUCIÓN: $I_1 = 3 \text{ mA}$, $I_2 = 1.5 \text{ mA}$, $I_3 = 1 \text{ mA}$. $I_{\text{total}} = 5.5 \text{ mA}$. $1/R_t = 1/3 + 1/6 + 1/9 = 6/18 + 3/18 + 2/18 = 11/18 \rightarrow R_t = 18/11 = 1.636 \text{ kohm}$. Verificación: $9/1.636 = 5.5 \text{ mA}$.

Ejercicio 3

En un nodo entran 120 mA; salen por dos ramas: una lleva 75 mA. ¿Cuánto lleva la otra? ¿Qué ley usaste?

SOLUCIÓN: 45 mA. Ley de Corrientes de Kirchhoff (lo que entra = lo que sale).

Ejercicio 4

Un lazo tiene fuente de 12 V y tres caídas: 5 V, 4 V y una desconocida. Calcúlala.

SOLUCIÓN: $12 - 5 - 4 = 3 \text{ V}$ (Ley de Voltajes de Kirchhoff).

Ejercicio 5

Dos resistencias iguales R en paralelo dan 2.5 kohm. ¿Cuánto vale R? ¿Y si fueran tres iguales en paralelo dando 1.5 kohm?

SOLUCIÓN: Dos iguales: $R_t = R/2 \rightarrow R = 5 \text{ kohm}$. Tres iguales: $R_t = R/3 \rightarrow R = 4.5 \text{ kohm}$.

Ejercicio 6

Explica por qué agregar resistencias en paralelo BAJA la resistencia total, usando la analogía de la avenida.

SOLUCIÓN: Cada resistencia en paralelo es un carril más en la avenida: más caminos para los autos (corriente), menos congestión total (menos oposición). Aunque cada carril individual tenga su propia estrechez, el conjunto deja pasar más flujo que un solo carril.

Ejercicio 7

Un circuito mixto: 10 V, $R_1 = 2k$ en serie con ($R_2 = 3k \parallel R_3 = 6k$). Calcula todo y verifica con potencias.

SOLUCIÓN: $R_{23} = (3 \times 6)/9 = 2 \text{ kohm}$. $R_t = 4 \text{ kohm}$. $I = 2.5 \text{ mA}$. $V_{R1} = 5 \text{ V}$. $V_{\text{par}} = 5 \text{ V}$. $I_{R2} = 5/3 = 1.667 \text{ mA}$. $I_{R3} = 5/6 = 0.833 \text{ mA}$. Suma: 2.5 mA. Potencias: $R_1: 25/2k = 12.5 \text{ mW}$; $R_2: 25/3k = 8.33 \text{ mW}$; $R_3: 25/6k = 4.17 \text{ mW}$. Total: 25 mW = 10 V x 2.5 mA. Cuadra.

Resumen de la unidad

En serie: misma corriente, voltajes que se suman, resistencias que se suman. En paralelo: mismo voltaje, corrientes que se suman, resistencia total menor que la menor ($1/R_t = \text{suma de inversos}$; dos iguales: $(R_1 \times R_2)/(R_1 + R_2)$). Los circuitos mixtos se resuelven reduciendo por pasos de afuera hacia adentro y verificando con potencias. Kirchhoff gobierna todo: LCK (corrientes en un nodo: entra = sale) y LVK (voltajes en un lazo: suma cero). Con estas herramientas diagnosticas fallas: 0 V inesperado sugiere corto en paralelo; rama sin corriente sugiere abierto en serie. Ya puedes analizar cualquier red de resistencias.

Ampliación: gimnasio de circuitos mixtos (12 problemas)

PROBLEMA 1: 9 V, $R_1 = 3k$ en serie con $R_2 = 6k$. ¿I, V_1 , V_2 ?

SOLUCIÓN: $R_t = 9k$. $I = 1 \text{ mA}$. $V_1 = 3 \text{ V}$. $V_2 = 6 \text{ V}$.

PROBLEMA 2: 12 V, $R_1 = 4k \parallel R_2 = 4k$. ¿ R_t , I total?

SOLUCIÓN: $R_t = 2k$. $I = 6 \text{ mA}$ (3 mA por rama).

PROBLEMA 3: 5 V, (1k en serie con 2k) en paralelo con 3k. Reduce y calcula I total.

SOLUCIÓN: Rama A: 3k. Rama B: 3k. Paralelo: 1.5k. $I = 5/1.5 = 3.33 \text{ mA}$ (1.667 por rama).

PROBLEMA 4: 24 V, $R1 = 8k$ en serie con ($R2 = 12k \parallel R3 = 4k$). Todo.

SOLUCIÓN: $R23 = (12 \times 4)/16 = 3k$. $Rt = 11k$. $I = 2.18 \text{ mA}$. $V1 = 17.45 \text{ V}$. $Vpar = 6.55 \text{ V}$. $I_{R2} = 0.545 \text{ mA}$. $I_{R3} = 1.636 \text{ mA}$. Suma: 2.18 mA. Potencias: $R1: 305/8k \dots$ verifica: $V1^2/R1 = 304.5/8000 = 38 \text{ mW}$; $R2: 42.9/12k = 3.6 \text{ mW}$; $R3: 42.9/4k = 10.7 \text{ mW}$. Total: $52.3 \text{ mW} = 24 \times 2.18 \text{ mA}$. Cuadra.

PROBLEMA 5: Tres ramas en paralelo a 10 V: 5k, 10k, 20k. ¿I total y Rt ?

SOLUCIÓN: $I = 2 + 1 + 0.5 = 3.5 \text{ mA}$. $1/Rt = 1/5 + 1/10 + 1/20 = 7/20 \rightarrow Rt = 2.857k$. $10/2.857 = 3.5 \text{ mA}$.

PROBLEMA 6: Divisor de corriente: 60 mA entre 15 ohms y 10 ohms. ¿Por cada una?

SOLUCIÓN: $I_{15} = 60 \times 10/25 = 24 \text{ mA}$. $I_{10} = 60 \times 15/25 = 36 \text{ mA}$. Suma: 60.

PROBLEMA 7: 18 V, $R1 = 2k$ serie con $R2 = 2k$ serie con ($R3 = 6k \parallel R4 = 3k$). Todo.

SOLUCIÓN: $R34 = 2k$. $Rt = 6k$. $I = 3 \text{ mA}$. $V1 = 6 \text{ V}$, $V2 = 6 \text{ V}$, $Vpar = 6 \text{ V}$. $I_{R3} = 1 \text{ mA}$, $I_{R4} = 2 \text{ mA}$.

PROBLEMA 8: ¿Qué resistencia en paralelo con 10k da un equivalente de 8k?

SOLUCIÓN: $1/8 = 1/10 + 1/Rx \rightarrow 1/Rx = 1/8 - 1/10 = 2/80 = 1/40 \rightarrow Rx = 40k$. (Útil para ajustar divisores.)

PROBLEMA 9: Cuatro resistencias de 1k en serie-paralelo: dos series (2k) en paralelo con otras dos series (2k). ¿ Rt ?

SOLUCIÓN: $2k \parallel 2k = 1k$.

PROBLEMA 10: 30 V, $R1 = 10k$ serie con ($R2 = 20k \parallel R3 = 30k \parallel R4 = 60k$). I total.

SOLUCIÓN: $1/R234 = 1/20 + 1/30 + 1/60 = 6/60 = 1/10 \rightarrow 10k$. $Rt = 20k$. $I = 1.5 \text{ mA}$.

PROBLEMA 11: En el problema 10, ¿voltaje en $R1$ y potencia en $R4$?

SOLUCIÓN: $V1 = 1.5 \times 10 = 15 \text{ V}$. $Vpar = 15 \text{ V}$. $P_{R4} = 225/60k = 3.75 \text{ mW}$.

PROBLEMA 12 (diagnóstico): Circuito del problema 7 mide $V_{R1} = 9 \text{ V}$ en lugar de 6 V. ¿Qué falla probable?

SOLUCIÓN: Algo redujo la resistencia del resto del circuito (un corto parcial en $R2$ o en el bloque paralelo): con menos resistencia total, cae más voltaje en $R1$. Revisa $R2$ y el bloque $R3/R4$ buscando cortos o valores equivocados.

Ampliación: Thévenin y superposición (conceptual)

El teorema de Thévenin: cualquier red tiene un equivalente simple

Thévenin dice: cualquier red de fuentes y resistencias vista desde dos terminales equivale a UNA fuente de voltaje (V_{th}) en serie con UNA resistencia (R_{th}). Es como decir que toda la complejidad se puede resumir en "una pila con resistencia interna".

Cómo calcularlo (receta):

1. V_{th} = voltaje en circuito abierto entre los terminales (sin carga).
2. R_{th} = resistencia vista desde los terminales con las fuentes APAGADAS (fuentes de voltaje en corto, de corriente abiertas).
3. El equivalente alimenta a tu carga como $V_{carga} = V_{th} \times R_{carga} / (R_{th} + R_{carga})$.

Ejemplo: divisor 9 V con $R_1 = 6k$ (arriba), $R_2 = 3k$ (abajo), terminales en R_2 . $V_{th} = 9 \times 3/9 = 3$ V. $R_{th} = 6k \parallel 3k = 2k$. Si conectas una carga de $2k$: $V = 3 \times 2/4 = 1.5$ V. ¡Sin rehacer todo el análisis! Thévenin explica POR QUÉ el divisor se cae con carga: la R_{th} de $2k$ forma un divisor con tu carga.

Superposición: una fuente a la vez

Con varias fuentes, apaga todas menos una (voltaje $\rightarrow$ corto, corriente $\rightarrow$ abierto), calcula, repite con cada una, y SUMA los resultados. Es más trabajo que mallas/nodos formales, pero es intuitivo y siempre funciona en circuitos lineales.

Ejemplo mental: dos pilas de 9 V y 5 V alimentando una red. Calculas corrientes con solo la de 9 V (la de 5 V en corto), luego con solo la de 5 V, sumas algebraicamente (cuidando signos). El resultado es el real. Los simuladores hacen esto internamente millones de veces.

Puente de Wheatstone: medir con precisión

Cuatro resistencias en diamante con una fuente en una diagonal y un galvanómetro (detector de cero) en la otra. Cuando $R_1/R_2 = R_3/R_4$, el puente está EQUILIBRADO y no pasa corriente por el detector. Se usa para medir resistencias desconocidas con gran precisión y, con sensores (galgas extensométricas, termistores), para detectar cambios minúsculos. Las básculas digitales usan este principio.

No necesitas dominar estos teoremas para el examen, pero conocerlos te pone por delante del 90 por ciento de los aficionados: son las herramientas que usan los ingenieros cuando Ohm directo no basta.

Ampliación: análisis sistemático y atajos mentales

El método de 5 pasos para cualquier red de resistencias

1. ETIQUETA: nombra cada nodo (A, B, C...) y cada corriente. Un circuito etiquetado es un circuito medio resuelto.
2. SIMPLIFICA: reduce series y paralelos obvios hasta la R total.
3. TOTALES: calcula I total (o V total) con Ohm.
4. REPARTE: desanda la simplificación calculando voltajes y corrientes en cada bloque (con divisores de voltaje/corriente para ir rápido).
5. VERIFICA: LCK en cada nodo, LVK en cada lazo, y balance de potencias. Si algo no cuadra, el error está en el paso 4 (casi siempre un divisor mal aplicado).

Atajos mentales de profesional

- Dos resistencias iguales en serie: el voltaje se parte a la mitad en cada una.
- Dos iguales en paralelo: la corriente se parte a la mitad; $R_t = R/2$.
- Resistencia mucho mayor en paralelo con una pequeña: la pequeña domina (ej. $1k \parallel 100k \sim 0.99k$: la de 100k casi no existe).
- Resistencia mucho menor en serie con una grande: la grande domina el voltaje.
- Rama abierta en paralelo: como si no existiera (no afecta al resto).
- Corto en paralelo con una rama: anula esa rama completa.

Estos atajos te permiten ESTIMAR el resultado antes de calcular: si tu cálculo da algo muy distinto a la estimación, revisa antes de seguir. Estimar primero, calcular después: hábito de ingeniero.

Potencia en redes: dónde se calienta

En serie, la resistencia MAYOR disipa MÁS potencia ($P = I^2 \times R$, misma I). En paralelo, la MENOR disipa MÁS ($P = V^2/R$, mismo V). Esto te dice dónde poner atención térmica: en un divisor de voltaje de alta y baja, la de arriba (mayor caída) se calienta más si están en serie con corriente notable.

Ejemplo: 12 V con 10k y 2k en serie. $I = 1 \text{ mA}$. $P_{10k} = 10 \text{ mW}$, $P_{2k} = 2 \text{ mW}$. La de 10k disipa 5 veces más. En divisores de instrumentación esto afecta la precisión (la resistencia caliente cambia de valor): por eso se usan resistencias de bajo coeficiente térmico o se minimiza la corriente del divisor.

Práctica adicional

Ejercicio 8

Estima sin calculadora: 9 V con 10k en serie con ($10k \parallel 10k$). ¿ I total aproximada?

SOLUCIÓN: $10k \parallel 10k = 5k$. $R_t = 15k$. $I = 9/15k = 0.6 \text{ mA}$. (Estimación: entre 0.5 y 1 mA; el cálculo da 0.6.)

Ejercicio 9

En un divisor 12 V con $R_1 = 8k$ y $R_2 = 4k$, ¿cuál resistencia disipa más potencia y cuánta?

SOLUCIÓN: Serie: misma corriente $I = 12/12k = 1 \text{ mA}$. $P_1 = 1mA^2 \times 8k = 8 \text{ mW}$; $P_2 = 4 \text{ mW}$. La mayor (R_1) disipa más: 8 mW.

Ejercicio 10

Tres ramas en paralelo a 5 V: 1k, 2k, 3k. ¿Cuál disipa más potencia?

SOLUCIÓN: Paralelo: mismo voltaje. $P = 25/R$: $P_1 = 25 \text{ mW}$, $P_2 = 12.5 \text{ mW}$, $P_3 = 8.3 \text{ mW}$. La MENOR (1k) disipa más.

Ejercicio 11

Aplica el método de 5 pasos a: 10 V, $R_1 = 2k$ serie con ($R_2 = 6k \parallel R_3 = 3k$). Muestra cada paso.

SOLUCIÓN: 1) Nodos: A(+) - R_1 - B - R_2/R_3 - GND. 2) $R_{23} = 2k$; $R_t = 4k$. 3) $I = 2.5 \text{ mA}$. 4) $V_1 = 5 \text{ V}$; $V_{par} = 5 \text{ V}$; $I_{R_2} = 0.833 \text{ mA}$; $I_{R_3} = 1.667 \text{ mA}$. 5) LCK: $0.833 + 1.667 = 2.5$. LVK: $5 + 5 = 10$. Potencias: $12.5 + 4.17 + 8.33 = 25 \text{ mW} = 10 \times 2.5 \text{ mA}$. Todo cuadra.

Ejercicio 12

Explica por qué un corto en una rama en paralelo puede quemar la fuente pero un abierto en serie solo apaga el circuito.

SOLUCIÓN: El corto ofrece resistencia ~ 0 : la corriente la limita solo la resistencia interna de la fuente ($I = V/R_{\text{int}}$, enorme): calienta cables y fuente, riesgo de incendio. El abierto en serie ofrece resistencia infinita: $I = 0$, no hay disipación, el circuito simplemente no funciona. Por eso los fusibles protegen contra cortos, no contra abiertos.

Ampliación: 10 problemas más y el método de nodos

PROBLEMA 13: 9 V, $R_1 = 1.5k$ en serie con ($R_2 = 3k \parallel R_3 = 6k$). Calcula I total y V en R_1 .

SOLUCIÓN: $R_{23} = 2k$. $R_t = 3.5k$. $I = 2.571 \text{ mA}$. $V_1 = 3.857 \text{ V}$. $V_{\text{par}} = 5.143 \text{ V}$. $I_{R_2} = 1.714 \text{ mA}$, $I_{R_3} = 0.857 \text{ mA}$.

PROBLEMA 14: Tres resistencias en serie de $2k$ cada una con 18 V . ¿ V en cada una? ¿ P en cada una?

SOLUCIÓN: $R_t = 6k$, $I = 3 \text{ mA}$. $V = 6 \text{ V}$ cada una. $P = 36/2k = 18 \text{ mW}$ cada una. (Simetría: todo se reparte igual.)

PROBLEMA 15: 12 V con $6k \parallel 3k \parallel 6k$. I total.

SOLUCIÓN: $I = 2 + 4 + 2 = 8 \text{ mA}$. $R_t = 1.5k$. Verificación: $12/1.5 = 8 \text{ mA}$.

PROBLEMA 16: Quieres $R_t = 2k$ usando una de $3k$ en paralelo con otra. ¿De cuánto la otra?

SOLUCIÓN: $1/2 = 1/3 + 1/R_x \rightarrow 1/R_x = 1/6 \rightarrow R_x = 6k$.

PROBLEMA 17: 15 V , $R_1 = 3k$ serie con $R_2 = 3k$ serie con ($R_3 = 4k \parallel R_4 = 4k$). V en el bloque paralelo.

SOLUCIÓN: $R_{34} = 2k$. $R_t = 8k$. $I = 1.875 \text{ mA}$. $V_{\text{par}} = 1.875 \times 2 = 3.75 \text{ V}$.

PROBLEMA 18: En el problema 17, ¿potencia total del circuito?

SOLUCIÓN: $P = 15 \times 1.875 \text{ mA} = 28.125 \text{ mW}$. (O sumando: R_1 : 10.55 mW , R_2 : 10.55 mW , R_3 : 3.52 mW , R_4 : $3.52 \text{ mW} = 28.14 \text{ mW}$. Cuadra.)

PROBLEMA 19: Un circuito en paralelo de dos ramas: por la rama A pasan 250 mA y la total es 400 mA . ¿Corriente por B? Si B es de 30 ohms , ¿voltaje del circuito?

SOLUCIÓN: $I_B = 150 \text{ mA}$ (LCK). $V = 0.15 \times 30 = 4.5 \text{ V}$. (Y $R_A = 4.5/0.25 = 18 \text{ ohms}$.)

PROBLEMA 20: 20 V, $R_1 = 4\text{k}$ serie con ($R_2 = 8\text{k} \parallel (R_3 = 4\text{k}$ serie con $R_4 = 4\text{k})$). Reduce completo.

SOLUCIÓN: $R_{34} = 8\text{k}$. $R_2 \parallel R_{34} = 4\text{k}$. $R_t = 8\text{k}$. $I = 2.5 \text{ mA}$. $V_1 = 10 \text{ V}$. $V_{\text{par}} = 10 \text{ V}$. $I_{R_2} = 1.25 \text{ mA}$. $I_{\text{rama}34} = 1.25 \text{ mA}$. $V_3 = V_4 = 5 \text{ V}$.

PROBLEMA 21: En el problema 20, ¿qué pasa si R_4 se pone en corto? Calcula la nueva I total.

SOLUCIÓN: $R_3 \parallel \text{corto}$... espera: R_3 en serie con R_4 en corto = R_3 sola = 4k . Entonces R_2 (8k) $\parallel 4\text{k} = 2.667\text{k}$. $R_t = 6.667\text{k}$. $I = 20/6.667 = 3 \text{ mA}$ (subió de 2.5). $V_1 = 12 \text{ V}$ (subió de 10). El corto parcial aumenta la corriente total: la fuente entrega más.

PROBLEMA 22 (diseño): Necesitas un divisor de 12 V a 5 V que consuma exactamente 2 mA en vacío. Da valores E12.

SOLUCIÓN: $R_t = 12/2 \text{ mA} = 6\text{k}$. $R_2 = 5/2 \text{ mA} = 2.5\text{k} \rightarrow 2.4\text{k}$ o 2.7k . Con $R_2 = 2.7\text{k}$: $I = 12/(R_1+2.7\text{k})$... recalcula: para $I = 2 \text{ mA}$ con E12: $R_2 = 2.4\text{k} \rightarrow V = I \times R_2 = 4.8 \text{ V}$ (cerca); $R_1 = 3.6\text{k} \rightarrow 3.9\text{k}$ comercial: $I = 12/6.3 = 1.9 \text{ mA}$, $V = 1.9 \times 2.4 = 4.56 \text{ V}$. O acepta $2.7\text{k}/3.3\text{k}$: $I = 12/6 = 2 \text{ mA}$ exactos, $V = 5.4 \text{ V}$. Elige según tolerancia de tu carga: con E12 rara vez sale exacto; documenta el valor real.

El método de nodos (análisis nodal conceptual)

Para circuitos que no se reducen por serie/paralelo (redes en puente, múltiples fuentes), el método sistemático es el análisis nodal:

1. Elige un nodo de referencia (tierra, 0 V).
2. Asigna voltajes desconocidos a los demás nodos (V_A , V_B ...).
3. En cada nodo, aplica LCK: suma de corrientes que salen = 0, expresando cada corriente como $(V_{\text{nodo}} - V_{\text{vecino}})/R$.
4. Resuelve el sistema de ecuaciones.

Ejemplo con 2 nodos desconocidos: dos ecuaciones, dos incógnitas. Es álgebra, no magia. Los simuladores (SPICE) hacen exactamente esto con miles de nodos: plantean la matriz y la resuelven. Entender el método te permite verificar resultados del simulador y, sobre todo, te quita el miedo a los circuitos "irreducibles".

No lo practicarás a fondo en este libro (el examen usa redes reducibles), pero ya sabes que existe y cómo funciona. Cuando un circuito no se deje reducir, nodal es tu herramienta.

Práctica adicional

Ejercicio 13

Explica en qué caso el análisis nodal es necesario y en cuál basta la reducción serie/paralelo.

SOLUCIÓN: Basta la reducción cuando toda la red se puede colapsar por pasos de series y paralelos puros (la mayoría de los circuitos de este libro). Es necesario el nodal cuando hay topologías no reducibles: puentes (como Wheatstone desbalanceado), múltiples fuentes en mallas compartidas, o redes donde ningún par está puramente en serie o paralelo.

Ejercicio 14

En el PROBLEMA 21, ¿por qué subió el voltaje en R1 al ponerse R4 en corto?

SOLUCIÓN: Porque la resistencia total bajó (6.667k vs 8k), así que la corriente total subió (3 mA vs 2.5 mA), y $V1 = I \times R1$ subió proporcionalmente. En serie, si el resto del circuito baja su resistencia, R1 se queda con más voltaje. Es el mismo fenómeno del diagnóstico del Ejemplo 5 de la Unidad 7.

Ejercicio 15

Verifica el PROBLEMA 20 con balance de potencias completo.

SOLUCIÓN: $P_{total} = 20 \times 2.5 \text{ mA} = 50 \text{ mW}$. R1: $100/4k = 25 \text{ mW}$. R2: $100/8k = 12.5 \text{ mW}$. R3: $25/4k = 6.25 \text{ mW}$. R4: 6.25 mW . Suma: $25+12.5+6.25+6.25 = 50 \text{ mW}$. Cuadra exacto.

Ejercicio 16

Un técnico dice "este circuito consume 2 A a 12 V". ¿Qué potencia maneja? ¿Qué calibre de cable usarías para 2 metros?

SOLUCIÓN: $P = 24 \text{ W}$. Para 2 A y 2 metros: 18 AWG es adecuado (margen incluido). 20 AWG quedaría justo; mejor 18.

Ejercicio 17

¿Por qué los simuladores usan análisis nodal y no "reducción inteligente"?

SOLUCIÓN: Porque el nodal es un algoritmo general: funciona para CUALQUIER topología sin necesidad de reconocer patrones. La reducción requiere identificar

series/paralelos, que es fácil para humanos en circuitos simples pero difícil de programar para casos generales. El nodal plantea ecuaciones mecánicamente y resuelve la matriz: computacionalmente directo.

Ejercicio 18

Diseña un experimento para comprobar la LCK con tu multímetro y protoboard.

SOLUCIÓN: Arma 9 V con $R1 = 1k$ en serie con ($R2 = 2k \parallel R3 = 2k$). Mide la corriente total (en serie antes de $R1$: ~ 4.5 mA) y luego la de cada rama (intercalando el multímetro: ~ 2.25 mA cada una). Comprueba que $2.25 + 2.25 = 4.5$. Anota valores teóricos vs medidos y explica diferencias (tolerancias). Es tu primera verificación experimental de Kirchhoff.

Ampliación: transitorios RC y la constante de tiempo

Carga y descarga del capacitor: la curva exponencial

Al conectar un capacitor descargado a voltaje V por una resistencia R , el voltaje en el capacitor sube así:

$V_c(t) = V \times (1 - e^{-t/\tau})$, $\tau = R \times C$.
Al desconectar (descarga por R):
 $V_c(t) = V_0 \times e^{-t/\tau}$.

τ (letra griega, se lee "tau") es la constante de tiempo: en 1 τ el capacitor llega al 63% del voltaje; en 5 τ s, al 99% (se considera "cargado").

Ejemplo: $R = 10k$, $C = 100$ μF : $\tau = 1$ segundo. El LED con fade-in tarda ~ 5 segundos en brillar al máximo. Con $C = 10$ μF : $\tau = 0.1$ s (parpadeo apenas perceptible).

Esta exponencial aparece en TODOS lados: carga de capacitores, respuesta térmica, decaimiento radiactivo, carga de baterías. Es una de las curvas más importantes de la ingeniería.

Aplicaciones directas del transitorio RC

1. RETARDO DE ENCENDIDO: RC + comparador/transistor: el circuito se activa τ segundos después de energizar (secuencia de encendido, anti-rebote elegante).

2. FADE de LED: capacitor en paralelo con el LED (con su resistencia): el brillo sube/baja suavemente. (El PWM es más eficiente, pero el RC es más simple.)
3. FILTRO de botón: RC a la entrada digital + schmitt trigger: elimina rebotes por hardware.
4. TEMPORIZADOR del 555: el monoestable ES un transitorio RC con comparadores (ahora entiendes el fondo del chip).
5. ACOPLO de señales: un RC pasa-altas bloquea la DC y deja pasar la AC (capacitor en serie): así se conectan etapas de audio sin arrastrar niveles de continua.

El circuito RC en serie con alterna: desfase

En AC, el capacitor no solo atenúa: DESFASA. En un RC serie, el voltaje en el capacitor se retrasa respecto a la corriente (hasta 90 grados). Este desfase es la base de:

- Osciladores por desplazamiento de fase (3 etapas RC = 180 grados = oscilación con un inversor).
- Redes de corrección en amplificadores (estabilidad).
- Medición de capacitancia por desfase.

No lo calcularás con números complejos en este libro, pero entiende la idea: capacitores e inductores juegan con el TIEMPO además de con la amplitud. Esa es la diferencia profunda entre DC y AC.

Diseño: elige tau para tu aplicación

Procedimiento:

1. Define el tiempo deseado (ej. retardo de 2 s).
2. Elige C primero (valores comerciales: 10 uF, 47 uF, 100 uF...).
3. Calcula $R = \tau/C$ (para 2 s con 47 uF: $R = 42.5k \rightarrow 39k$ o $47k$).
4. Verifica la corriente: ¿el circuito que sigue al RC lo carga? (Si sí, usa comparador/seguir para no deformar la curva.)
5. Prueba y ajusta: los capacitores electrolíticos tienen +/-20% de tolerancia: el tiempo real variará.

Truco: para tiempos largos (minutos), usa C grande + R grande, pero ojo con la corriente de fuga del electrolítico (un C con fuga se comporta como si tuviera una R en paralelo que arruina tiempos largos). Para minutos de precisión: mejor el 555 o un microcontrolador.

Práctica adicional

Ejercicio 25

Diseña un retardo de encendido de 3 s con RC para activar un relevador (usa transistor como comparador simple). Elige R y C.

SOLUCIÓN: Elige $C = 100 \text{ uF}$. $R = 3/100e-6 = 30k \rightarrow 27k \text{ o } 33k$ (con 33k: $\tau = 3.3 \text{ s}$). El nodo RC va a la base del NPN (con R_{base}): cuando V_c supera $\sim 0.7 \text{ V}$ el transistor conduce... pero 0.7 V se alcanza rápido (no a los 3 s). Mejor: divisor o zener para que el umbral sea $\sim 6 \text{ V}$ (63% de 9 V $\sim \tau$): con 9 V y umbral 5.7 V (0.63×9), el tiempo $\sim \tau = 3.3 \text{ s}$. Ajusta el umbral con un potenciómetro para calibrar.

Ejercicio 26

Un LED con RC de fade: $R = 4.7k$, $C = 220 \text{ uF}$, 9 V. ¿Cuánto tarda en llegar al 99% de brillo?

SOLUCIÓN: $\tau = 4.7k \times 220e-6 = 1.034 \text{ s}$. 99% ~ 5 taus = 5.17 s. (El brillo no es lineal con el voltaje, pero la percepción es de encendido suave de $\sim 5 \text{ s}$.)

Ejercicio 27

Explica por qué un capacitor electrolítico con mucha fuga arruina un temporizador de 10 minutos.

SOLUCIÓN: Porque la fuga equivale a una resistencia en paralelo (a veces de cientos de kohms) que descarga continuamente al capacitor: compite con la carga por R, el voltaje nunca llega al umbral, o llega antes/mal. Para tiempos largos usa capacitor de tantalio o cerámico (menor fuga), o mejor un 555/microcontrolador.

Ejercicio 28

Calcula τ y el tiempo al 99% para $R = 1 \text{ Mohm}$, $C = 10 \text{ uF}$. ¿Qué aplicación tendría?

SOLUCIÓN: $\tau = 10 \text{ s}$. 99% = 50 s. Aplicación: temporizador largo simple (luz de escalera, retardo de apagado). Con R tan grande, la etapa siguiente NO debe cargar al capacitor (usa op-amp como buffer): cualquier carga de megaohms lo deforma.

Ejercicio 29

¿Por qué el 555 monoestable es más preciso que un RC con transistor como temporizador?

SOLUCIÓN: Porque el 555 compara contra $2/3$ de VCC (referencia interna estable con la alimentación) y su salida conmuta limpiamente; el transistor conmuta gradualmente alrededor de 0.7 V (que varía con temperatura) y sin histéresis. El 555 elimina las dos fuentes principales de error del RC discreto.

Ejercicio 30

Un acoplamiento de audio usa $C = 1 \mu\text{F}$ en serie con entrada de 10k. ¿Qué frecuencias pasan bien? ($f_c = 1/(2 \pi R C)$)

SOLUCIÓN: $f_c = 1/(6.28 \times 10\text{k} \times 1\text{e-}6) = 15.9 \text{ Hz}$. Por encima de ~16 Hz pasa bien; por debajo se atenúa (pasa-altas). Para audio (20 Hz - 20 kHz): perfecto, bloquea la DC sin tocar el audio audible.

Ampliación: simuladores - tu laboratorio virtual (SPICE)

Qué es SPICE y por qué te importa

SPICE simula circuitos en la computadora: dibujas el esquemático, defines las fuentes, y el programa calcula voltajes y corrientes (análisis nodal, el de la Unidad 7, con miles de nodos). Simula ANTES de armar: ahorras componentes quemados y descubres errores de diseño en minutos.

Opciones gratuitas:

- LTspice (Analog Devices): gratis, potente, estándar de la industria para analógico.
- KiCad (ngspice integrado): simula desde tu esquemático de PCB.
- Falstad (web): visual e interactivo, ideal para aprender (ves la corriente fluir).
- Tinkercad Circuits: simula Arduino + componentes en el navegador (perfecto para este libro).

Qué simular y qué no

Sí simula:

- Divisores, filtros RC/RL, temporizadores 555 (verifica tiempos antes de soldar).
- Polarización de transistores (verifica el punto Q).
- Fuentes (rizado, respuesta a carga).

- Respuesta en frecuencia de filtros (barrido AC: la curva completa de un jalón).

NO esperes del simulador:

- Que modele tu protoboard real (capacitancias parásitas, falsos contactos: no existen en la simulación).
- Componentes "típicos" vs los tuyos (tolerancias: usa análisis Monte Carlo si importa).
- Efectos térmicos (el simulador no sabe que tu regulador se calienta).
- Tu error de cableado (el simulador simula lo que dibujaste, no lo que armaste).

Regla: el simulador verifica el DISEÑO; el protoboard verifica la REALIDAD. Ambos son necesarios; ninguno sustituye al otro.

Análisis básicos que debes dominar

1. PUNTO DE OPERACIÓN (.op): voltajes y corrientes en DC. "¿Mi divisor da 3 V? ¿El transistor está en saturación?"
2. TRANSITORIO (.tran): cómo evoluciona en el tiempo. "¿El 555 oscila a 1 Hz? ¿El arranque del motor causa pico?"
3. BARRIDO AC (.ac): respuesta en frecuencia. "¿Mi filtro corta a 1.6 kHz?"
4. BARRIDO DC (.dc): varía una fuente o componente. "¿Cómo cambia la salida si el potenciómetro gira?"

Con estos 4 análisis cubres el 95% de tus necesidades.

De la simulación al protoboard: protocolo

1. Diseña en papel (cálculos a mano: tú mandas).
2. Simula (verifica: ¿coincide con tus cálculos? Si no, ¿quién tiene razón? Investiga).
3. Arma en protoboard por bloques.
4. Mide y compara contra la simulación (¿difieren? Las tolerancias y parásitos explican el 90%).
5. Ajusta el diseño real (no la simulación) hasta que cumpla.
6. Documenta las diferencias encontradas (ese es tu aprendizaje real).

Si la simulación y la realidad difieren mucho, la realidad tiene razón por definición: tu modelo estaba incompleto. Averigua qué faltó (resistencia interna, capacitancia, temperatura) y mejóralo.

Simulación de Arduino (Tinkercad)

Tinkercad Circuits simula tu Arduino con LEDs, sensores y hasta el código: pruebas la lógica sin hardware. Limitaciones: no simula tiempos exactos, ni ruido, ni todos los componentes. Úsalo para: verificar la lógica del programa, enseñar a otros, y probar cuando no tienes el hardware a la mano. Para tiempos críticos y hardware real, el físico manda.

Práctica adicional

Ejercicio 37

Simula (mentalmente o en Falstad) un divisor de 9 V con 6k y 3k. ¿Qué debe mostrar el análisis .op en la salida?

SOLUCIÓN: $V_{sal} = 9 \times 3/9 = 3 \text{ V}$. Corriente: 1 mA. Si el simulador muestra otra cosa, revisa: ¿conectaste bien? ¿las resistencias son las correctas? El .op es tu "multímetro virtual".

Ejercicio 38

Quieres verificar el tiempo de tu 555 monoestable de 10 s. ¿Qué análisis usas y qué esperas ver?

SOLUCIÓN: Análisis transitorio (.tran) de 0 a 15 s, con un pulso de disparo a $t = 1 \text{ s}$. Esperas: la salida sube a VCC en $t = 1 \text{ s}$ y baja en $t = 11 \text{ s}$ (10 s después). Mides el ancho con los cursores. Si da 12 s, revisa tolerancias de R y C en tu diseño.

Ejercicio 39

Tu filtro RC simulado corta a 1.6 kHz pero en el protoboard mide 1.4 kHz. Explica la diferencia sin decir "el simulador está mal".

SOLUCIÓN: Tolerancias: el capacitor de 100 nF real puede ser 110 nF (+10%), la resistencia 1.05k: $f_c \text{ real} = 1/(2 \pi \times 1.05k \times 110nF) = 1.38 \text{ kHz}$. Además capacitancia parásita del protoboard (~pF, despreciable aquí). La simulación con valores nominales vs realidad con tolerancias: diferencia esperada y explicable.

Ejercicio 40

¿Para qué sirve el análisis Monte Carlo y cuándo lo usarías?

SOLUCIÓN: Varía aleatoriamente los valores de los componentes según sus tolerancias (cientos de simulaciones) y te muestra la DISTRIBUCIÓN de resultados: "el 95% de mis filtros cortan entre 1.4 y 1.8 kHz". Lo usas cuando la precisión importa en producción (¿cuántas unidades saldrán fuera de especificación?) o cuando un circuito es sensible a tolerancias.

Ejercicio 41

Nombra 3 cosas que el simulador no puede decirte de tu circuito con 555 en protoboard.

SOLUCIÓN: 1) Si tu cableado tiene un falso contacto. 2) Si el chip se calentará (modelo térmico ausente). 3) Si el electrolítico que usaste está seco y vale la mitad. El simulador trabaja con componentes ideales y conexiones perfectas: la realidad pone el resto.

Ejercicio 42

Explica el flujo "papel -> simulador -> protoboard" con un ejemplo concreto (el LED con transistor como interruptor).

SOLUCIÓN: 1) Papel: calculas R_{base} para saturación con $I_{LED} = 20 \text{ mA}$ (ej. $R_{base} = 4.7k$). 2) Simulador: .op muestra $V_{ce} = 0.2 \text{ V}$ (saturado), $I_{LED} = 19.8 \text{ mA}$: coincide. 3) Protoboard: armas, mides $V_{ce} = 0.25 \text{ V}$, $I = 19 \text{ mA}$: coincide dentro de tolerancias. 4) Documentas: diseño verificado por 3 vías. Si algo difiriera, sabrías en qué etapa buscar.

UNIDAD 8: Electrónica Digital

Introducción a la unidad

Todo lo que hemos visto hasta ahora es electrónica ANALÓGICA: voltajes que varían de forma continua. Ahora entramos al mundo DIGITAL, donde solo existen dos valores: 0 y 1, apagado y encendido, falso y verdadero. Parece una limitación, pero es la mayor fortaleza de la computación: con solo dos estados, los circuitos son inmunes al ruido, perfectamente reproducibles y combinables hasta construir computadoras enteras.

La electrónica digital se basa en el álgebra de Boole (lógica de verdadero/falso) implementada con compuertas lógicas: pequeños circuitos (hechos de transistores) que hacen operaciones AND, OR y NOT. Combinando compuertas se construye TODO: sumadores, memorias, procesadores. En esta unidad aprenderás el sistema binario, las compuertas básicas con sus tablas de verdad, cómo combinarlas y cómo implementarlas con chips reales de las familias 74HC y 4000.

Esta unidad es el puente hacia los microcontroladores de la Unidad 9: un Arduino no es más que millones de compuertas organizadas de forma programable.

Explicación detallada

El sistema binario: contar con dos dedos

El sistema binario usa solo 0 y 1. Cada dígito binario es un bit. Con n bits representas 2^n valores: 1 bit = 2 valores, 4 bits = 16 valores, 8 bits = 256 valores (un byte).

Conversión binario a decimal: suma las potencias de 2 de las posiciones con 1.

```
Binario 10110 = 1x16 + 0x8 + 1x4 + 1x2 + 0x1
              = 16 + 4 + 2 = 22 decimal.
```

```
Posiciones (de derecha a izquierda): 1, 2, 4, 8, 16, 32,
64, 128... cada una el doble de la anterior.
```

Conversión decimal a binario: resta la potencia de 2 más grande posible, marca 1, y repite con el resto.

22 decimal: 16 cabe (1), resto 6; 8 no cabe (0); 4 cabe (1),
resto 2; 2 cabe (1), resto 0; 1 no cabe (0).
Resultado: 10110. Verificación con el ejemplo anterior.

¿Por qué binario en electrónica? Porque es facilísimo distinguir dos estados con voltaje: 0 V = 0 lógico, 5 V (o 3.3 V) = 1 lógico, con una zona intermedia de "no importa". Aunque haya ruido o el voltaje varíe un poco, el circuito sigue interpretando correctamente. Esa robustez es imposible con 10 niveles de voltaje.

Niveles lógicos típicos (familia 74HC a 5 V): 0 a 1.5 V se lee como 0; 3.5 a 5 V se lee como 1; entre 1.5 y 3.5 es zona prohibida (el comportamiento no está garantizado). A 3.3 V (ESP32) los umbrales son proporcionales. Moraleja: nunca dejes una entrada digital FLOTANDO (sin conectar): capta ruido y oscila; conéctala a 0 o a 1 con resistencias pull-down/pull-up.

Las compuertas básicas: AND, OR, NOT

Cada compuerta tiene su símbolo, su tabla de verdad y su expresión booleana. Memorízalas; son el alfabeto digital.

COMPUERTA AND (Y): salida 1 solo si TODAS las entradas son 1.

A	B	Salida
---	---	--------

0	0	0
---	---	---

0	1	0
---	---	---

1	0	0
---	---	---

1	1	1
---	---	---

Expresión: $S = A * B$. Analogía: dos interruptores en SERIE:
el foco enciende solo si ambos están cerrados.

COMPUERTA OR (O): salida 1 si AL MENOS una entrada es 1.

A	B	Salida
---	---	--------

0	0	0
---	---	---

0	1	1
---	---	---

1	0	1
---	---	---

1	1	1
---	---	---

Expresión: $S = A + B$. Analogía: dos interruptores en PARALELO.

COMPUERTA NOT (NO, inversor): invierte la entrada.

A	Salida
---	--------

0	1
---	---

1	0
---	---

Expresión: $S = A'$. Analogía: interruptor que abre al pulsar.

Las compuertas negadas: NAND, NOR, XOR

Agregando un NOT a la salida obtienes NAND (AND negada) y NOR (OR negada). Son importantísimas porque con solo compuertas NAND puedes construir CUALQUIER circuito digital (son funcionalmente completas), y los chips NAND son baratos y abundantes.

NAND: salida 0 solo si todas las entradas son 1 (lo contrario de AND). Es la compuerta más usada en la industria.

NOR: salida 1 solo si todas las entradas son 0 (lo contrario de OR).

XOR (OR exclusiva): salida 1 si las entradas son DIFERENTES.

A	B	Salida
---	---	--------

0	0	0
---	---	---

0	1	1
---	---	---

1	0	1
---	---	---

1	1	0
---	---	---

Es la base de los sumadores binarios y la criptografía.

De compuertas a circuitos: el sumador

Ejemplo de combinación: el semisumador suma dos bits. $\text{Suma} = A \text{ XOR } B$; $\text{Acarreo} = A \text{ AND } B$. Verifica: $1 + 1 = 0$ y acarreo 1 (en binario, $1+1 = 10$). Con acarreo de entrada obtienes el sumador completo, y encadenando 8 sumadores completos sumas bytes enteros: así suma tu calculadora. Todo con AND, OR y NOT.

Otro ejemplo cotidiano: una alarma que suena si (puerta ABIERTA) Y (sistema ARMADO): AND. Una lámpara que enciende con cualquiera de dos apagadores: OR. Un ventilador que se apaga cuando el sensor detecta presencia: NOT. La lógica digital modela decisiones del mundo real.

Chips reales: familias 74HC y CD4000

Las compuertas vienen en chips: el 74HC00 trae 4 NAND de 2 entradas, el 74HC04 trae 6 NOT, el 74HC08 trae 4 AND, el 74HC32 trae 4 OR. Tienen 14 pines: Vcc (pin 14, 5 V), GND (pin 7), y el resto entradas/salidas según la hoja de datos. La familia CD4000 (ej. CD4011 = 4 NAND) trabaja de 3 a 18 V, ideal si usas 9 o 12 V.

Reglas para usar chips lógicos:

- Alimenta SIEMPRE Vcc y GND, aunque "solo uses una compuerta".

- Pon un capacitor cerámico de 100 nF entre Vcc y GND pegado al chip (desacoplo): absorbe los picos de corriente al conmutar y evita fallas misteriosas.
- Conecta TODAS las entradas a algo (0 o 1): las flotantes causan comportamiento errático y mayor consumo.
- Verifica los niveles: un chip de 5 V no entiende bien señales de 3.3 V en algunos casos (usa convertidor de nivel o familia compatible como 74HCT).

Biestables: la memoria de un bit

Conectando dos NAND o dos NOR en cruz obtienes un latch SR: un circuito con memoria que recuerda un bit hasta que le dices que cambie. Es la celda básica de la memoria RAM: millones de estas celdas guardan los datos de tu computadora. El flip-flop D (como el del chip 74HC74) guarda el bit de su entrada cada vez que llega un pulso de reloj: así se construyen registros, contadores y máquinas de estado. No los construiremos a detalle aquí, pero ya sabes que la memoria digital nace de compuertas realimentadas.

Del álgebra de Boole al código

El álgebra de Boole tiene sus leyes (conmutativa, asociativa, distributiva, De Morgan), que sirven para SIMPLIFICAR circuitos: menos compuertas = más barato y más rápido. Ejemplo con De Morgan: $\text{NOT}(A \text{ AND } B) = (\text{NOT } A) \text{ OR } (\text{NOT } B)$. Esto significa que una NAND equivale a una OR con entradas invertidas: te permite convertir diseños entre compuertas disponibles.

En programación (Unidad 9) usarás estos mismos operadores: `&&` (AND), `||` (OR), `!` (NOT) en C/Arduino. La lógica es idéntica; solo cambia el sustrato (silicio en lugar de compuertas discretas). Si dominas las tablas de verdad aquí, programar condiciones te será natural.

Ejemplos paso a paso

Ejemplo 1: Conversiones binarias

Convierte 110101 a decimal y 45 a binario.

$$110101 = 1 \times 32 + 1 \times 16 + 0 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 \\ = 32 + 16 + 4 + 1 = 53 \text{ decimal.}$$

45 a binario: 32 cabe (1), resto 13; 16 no cabe (0);
8 cabe (1), resto 5; 4 cabe (1), resto 1; 2 no cabe (0);
1 cabe (1). Resultado: 101101.
Verificación: $32+8+4+1 = 45$. Correcto.

Ejemplo 2: Tabla de verdad de un circuito combinado

Circuito: $S = (A \text{ AND } B) \text{ OR } (\text{NOT } C)$. Evalúa para $A=1$, $B=0$, $C=1$.

$A \text{ AND } B = 1 \text{ AND } 0 = 0$.
 $\text{NOT } C = \text{NOT } 1 = 0$.
 $S = 0 \text{ OR } 0 = 0$.
Respuesta: salida 0. Para obtener 1 necesitarías
($A=1, B=1$) o ($C=0$).

Ejemplo 3: Diseñar una alarma con compuertas

Alarma que suena si (es de noche Y hay movimiento) O (se abre la puerta). Sensores: N (1 = noche), M (1 = movimiento), P (1 = puerta abierta).

Expresión: $\text{Alarma} = (N \text{ AND } M) \text{ OR } P$.
Compuertas: una AND (N, M), una OR (salida AND, P).
Con chips: media 74HC08 (AND) + una 74HC32 (OR).
Si $N=1$, $M=1$, $P=0$: $(1 \text{ AND } 1) \text{ OR } 0 = 1 \text{ OR } 0 = 1$. Suena.
Si $N=0$, $M=1$, $P=1$: $(0 \text{ AND } 1) \text{ OR } 1 = 0 \text{ OR } 1 = 1$. Suena.
Si todo 0: 0. No suena. Lógica correcta.

Ejemplo 4: Simplificar con De Morgan

Tienes solo compuertas NAND y necesitas una OR. ¿Cómo la construyes?

Por De Morgan: $A \text{ OR } B = \text{NOT}((\text{NOT } A) \text{ AND } (\text{NOT } B))$.

Construcción con NAND:

1. Invierte A con una NAND (entradas unidas: NAND como NOT).
2. Invierte B igual.
3. Mete ambas a una NAND final.

Total: 3 compuertas NAND (un solo chip 74HC00 tiene 4).

Esto demuestra que la NAND es funcionalmente completa.

Ejemplo 5: Pull-up en una entrada

Un botón conecta una entrada digital a tierra al pulsarse. Diseña el circuito para que la entrada no flote.

Solución con pull-up interno o externo:

- Resistencia de 10 kohm entre Vcc (5 V) y la entrada.
- Botón entre la entrada y tierra.

Sin pulsar: la resistencia lleva la entrada a 5 V (lee 1).

Pulsado: el botón cortocircuita a tierra (lee 0, la resistencia limita la corriente a 0.5 mA).

Lógica invertida: pulsado = 0. Se maneja en software.

Sin la resistencia, al soltar el botón la entrada quedaría flotando y leería valores aleatorios.

Práctica

Ejercicio 1

Convierte 101011 a decimal y 100 a binario de 8 bits.

SOLUCIÓN: $101011 = 32+8+2+1 = 43$. $100 = 64+32+4 = 1100100$; en 8 bits: 01100100.

Ejercicio 2

Escribe la tabla de verdad de $S = (A \text{ OR } B) \text{ AND } (\text{NOT } A)$.

SOLUCIÓN: A=0,B=0: (0) AND (1) = 0. A=0,B=1: (1) AND (1) = 1. A=1,B=0: (1) AND (0) = 0. A=1,B=1: (1) AND (0) = 0. Solo da 1 con A=0,B=1 (equivale a B AND NOT A).

Ejercicio 3

¿Cuántos valores distintos representa un byte? ¿Y 10 bits?

SOLUCIÓN: Un byte (8 bits) = $2^8 = 256$ valores (0 a 255). 10 bits = $2^{10} = 1024$ valores.

Ejercicio 4

Explica por qué no se dejan entradas digitales flotando y da dos soluciones.

SOLUCIÓN: Una entrada flotante no tiene voltaje definido; capta ruido electromagnético y el circuito la lee aleatoriamente como 0 o 1, causando fallas intermitentes y mayor consumo. Soluciones: resistencias pull-up (a Vcc) o pull-down (a tierra) externas, o activar las pull-up internas del microcontrolador.

Ejercicio 5

Diseña con compuertas: un foco enciende si el interruptor A está encendido Y (B o C están encendidos).

SOLUCIÓN: $S = A \text{ AND } (B \text{ OR } C)$. Una OR (B,C) seguida de una AND (A, salida OR). Con chips: 74HC32 + 74HC08.

Ejercicio 6

Un semisumador suma $A=1$, $B=1$. ¿Suma y acarreo? Explica en binario.

SOLUCIÓN: Suma = $A \text{ XOR } B = 0$. Acarreo = $A \text{ AND } B = 1$. Resultado "10" binario = 2 decimal. Correcto: $1+1=2$.

Resumen de la unidad

El sistema binario (0 y 1) es la base: n bits representan 2^n valores; convierte sumando potencias de 2. Las compuertas AND (todo 1), OR (al menos un 1), NOT (invierte), NAND, NOR y XOR (entradas diferentes) implementan el álgebra de Boole en silicio; con NAND puedes construirlo todo. Combinándolas se hacen sumadores, alarmas y cualquier decisión lógica. En chips reales (74HC00, 74HC04, etc.) alimenta siempre Vcc/GND, pon capacitor de desacoplo de 100 nF y nunca dejes entradas flotantes (usa pull-up/pull-down). Los latches con compuertas realimentadas son la memoria de un bit. La misma lógica (&, ||, !) la programarás en la Unidad 9.

Ampliación: displays de 7 segmentos y lógica secuencial

El display de 7 segmentos: números con LEDs

Un display de 7 segmentos son 7 LEDs en forma de 8 (más punto decimal), etiquetados a-g. Encendiendo combinaciones muestras dígitos del 0 al 9. Vienen en ánodo común (todos los ánodos juntos a Vcc; se enciende cada segmento llevándolo a GND) o cátodo común (al revés).

SEGMENTOS PARA CADA DÍGITO (a,b,c,d,e,f,g):

0: a,b,c,d,e,f (todos menos g)

1: b,c

2: a,b,g,e,d

3: a,b,c,d,g

4: f,g,b,c

5: a,f,g,c,d

6: a,f,e,d,c,g

7: a,b,c

8: todos

9: a,b,c,d,f,g

Cada segmento lleva SU resistencia (igual que los LEDs: nunca compartida). Con 7 segmentos a 10 mA: 70 mA por dígito. Para manejarlos desde un Arduino se usa un decodificador BCD a 7 segmentos (CD4511): le das 4 bits (0-9) y él enciende los segmentos correctos. O multiplexas: con 4 dígitos, enciendes uno a la vez rapidísimo (persistencia retiniana) usando 7 pines de segmentos + 4 de selección con transistores.

Lógica secuencial: cuando importa el orden

Hasta ahora vimos lógica COMBINACIONAL (la salida depende solo de las entradas actuales). La lógica SECUENCIAL tiene memoria: la salida depende de las entradas Y del estado anterior. Sus bloques:

- Latch SR (2 NOR o 2 NAND cruzados): recuerda 1 bit (Set/Reset).
- Flip-flop D (74HC74): copia su entrada D a la salida Q en cada pulso de reloj. Base de registros.
- Contador (74HC163): cuenta pulsos de reloj en binario. Con un 555 como reloj y un 4511 como decodificador, haces un contador de 0-9 con display.
- Registro de desplazamiento (74HC595): convierte serie a paralelo; con 3 pines del Arduino controlas 8 salidas (¡expansor de pines!). Se usa para manejar muchos LEDs.

Proyecto clásico: dado electrónico digital puro. 555 astable rápido como reloj -> 74HC163 contando -> cuando pulsas el botón, detienes el reloj y el 4511 muestra el dígito en el display. Sin una línea de código: electrónica digital pura de los 70s.

Mapas de Karnaugh: simplificar como profesional

Para simplificar funciones de 3-4 variables, los profesionales usan mapas de Karnaugh: una cuadrícula donde los unos adyacentes se agrupan en potencias de 2, eliminando variables. Ejemplo: $F = A'B'C + A'BC + AB'C + ABC$ se agrupa en $F = C$ (¡las 4 combinaciones de A y B con C=1!). De 4 compuertas a un cable. No lo practicaremos a fondo aquí, pero ya sabes que existe cuando tus circuitos crezcan.

Álgebra booleana: las leyes esenciales

Conmutativa: $A+B = B+A$; $A*B = B*A$.
Asociativa: $(A+B)+C = A+(B+C)$.
Distributiva: $A*(B+C) = A*B + A*C$.
Identidad: $A+0 = A$; $A*1 = A$.
Complemento: $A+A' = 1$; $A*A' = 0$.
De Morgan: $(A*B)' = A'+B'$; $(A+B)' = A'*B'$.
Absorción: $A + A*B = A$.

Con estas leyes simplificas expresiones antes de cablear: menos chips, menos cables, menos fallas.

Práctica adicional

Ejercicio 7

Dibuja (describe) cómo mostrarías un "3" en un display de cátodo común.

SOLUCIÓN: Cátodo común a GND. Segmentos a,b,c,d,g a Vcc vía resistencias (uno por segmento); e,f apagados (a GND o flotantes con pull-down... mejor a GND). Patrón 3: a,b,c,d,g encendidos.

Ejercicio 8

Un 74HC595 controla 8 LEDs con solo 3 pines del Arduino. Explica la idea general.

SOLUCIÓN: Los bits se envían **EN SERIE** por un pin (datos), sincronizados por otro (reloj), y al terminar se copian a las 8 salidas con un pulso en el tercero (latch). Es un registro de desplazamiento: 3 pines controlan 8 (o más, encadenando chips) salidas. Ideal para matrices de LEDs.

Ejercicio 9

Simplifica con De Morgan: $F = (A*B)' + (C*D)'$.

SOLUCIÓN: $(A*B)' = A' + B'$; $(C*D)' = C' + D'$. $F = A' + B' + C' + D'$. (Una NAND-NAND se convierte en OR de invertidos.)

Ejercicio 10

Un contador 74HC163 cuenta de 0 a 15 y quieres que se reinicie al llegar a 10 (década). ¿Cómo?

SOLUCIÓN: Detecta el 10 (1010 binario: salidas $Q_3=1$, $Q_1=1$) con una NAND (entradas Q_3 y Q_1) cuya salida va al pin de reset/clear del contador. Al llegar a 10, se auto-reinicia a 0. Es un contador BCD casero.

Ejercicio 11

Explica la diferencia entre lógica combinacional y secuencial con un ejemplo de cada una.

SOLUCIÓN: Combinacional: la salida depende **SOLO** de las entradas actuales (ej. alarma = (noche AND movimiento) OR puerta: cambia al instante con las entradas). Secuencial: depende de entradas + estado anterior (ej. un contador: su salida es el conteo acumulado de pulsos pasados, no solo el pulso actual).

Ejercicio 12

¿Por qué se multiplexan los displays de varios dígitos en lugar de dedicarles pines fijos?

SOLUCIÓN: Porque 4 dígitos x 7 segmentos = 28 pines, imposible directo. Multiplexando (7 segmentos + 4 selectores = 11 pines) enciendes un dígito a la vez a más de 60 Hz: el ojo ve los 4 fijos por persistencia retiniana. Ahorras pines y corriente pico promedio.

Ampliación: proyecto digital puro y más lógica

Proyecto: semáforo con 555 y 4017 (sin microcontrolador)

El CD4017 es un contador decimal: tiene 10 salidas (Q0-Q9) y en cada pulso de reloj avanza una. Combinado con un 555 como reloj y diodos para mezclar salidas, haces un semáforo real.

Componentes: NE555, CD4017, LEDs rojo/amarillo/verde con resistencias, $R1 = 10k$, $R2 = 470k$, $C = 10 \mu F$ (reloj lento), diodos 1N4148, fuente 9 V (el 4017 aguanta hasta 18 V).

Reloj: $f = 1.44 / ((10k + 940k) \times 0.00001) = 0.15 \text{ Hz}$:
un pulso cada ~6.6 segundos.

Conexiones:

- Salida del 555 al pin CLOCK del 4017.
- Q0-Q3 (4 pulsos = ~26 s) vía diodos al LED VERDE.
- Q4 (1 pulso) al AMARILLO.
- Q5-Q8 (4 pulsos) al ROJO.
- Q9 al RESET (reinicia el ciclo).

Los diodos mezclan varias salidas hacia un LED sin que las salidas se cortocircuiten entre sí (lógica OR con diodos, "wired-OR").

Resultado: verde 26 s, amarillo 6.6 s, rojo 26 s, en ciclo.
Electrónica digital secuencial pura, sin programar nada.

Antirrebote por hardware: el botón que miente

Un botón mecánico al pulsarse no hace un contacto limpio: rebota (conecta/desconecta) durante 5-20 ms. Para un humano es invisible; para un contador rápido son 5-20 pulsos falsos. Soluciones:

1. Por software: delay de 20-50 ms tras detectar el pulso (lo usamos en el dado).
2. Con latch SR: dos NAND cruzadas con el botón entre Set y Reset: el primer contacto fija el estado y los rebotes no lo cambian.
3. Con RC + Schmitt trigger (74HC14): el capacitor suaviza los rebotes y el trigger con histéresis da una transición limpia.

En proyectos serios se combinan: hardware para la señal crítica, software como respaldo.

Niveles lógicos y compatibilidad entre familias

FAMILIA	Vcc	V_entrada_1_min	V_salida_1_min	Notas
74HC	5 V	3.5 V	4.4 V	Rápida, común
74HCT	5 V	2.0 V	4.4 V	Acepta 3.3 V
CD4000	3-18 V	70% de Vcc	~Vcc	Lenta, robusta
ESP32	3.3 V	2.5 V	2.8 V	No tolera 5 V

Problema clásico: un sensor de 5 V manda "1" de 5 V a un ESP32 que solo tolera 3.3 V: lo DAÑA. Soluciones: divisor de voltaje (para señales lentas), convertidor de nivel (MOSFET bidireccional, módulos de 4 canales baratos), o familia 74HCT como traductora. Y al revés (3.3 V a chip de 5 V): un "1" de 3.3 V a veces no alcanza el umbral de 3.5 V del 74HC: usa 74HCT (umbral 2.0 V) y funciona.

Ruido digital: por qué fallan los circuitos "bien diseñados"

El ruido es la causa de las fallas intermitentes más frustrantes:

- Picos en la alimentación al conmutar: se corrigen con desacoplo (100 nF por chip) y un electrolítico grande en la entrada.
- Entradas flotantes: pull-up/pull-down, siempre.
- Cables largos como antenas: en señales rápidas, mantén cables cortos y trenzados con tierra.
- Tierra común insuficiente: un solo punto de tierra para potencia y señal contamina la señal con el ruido del motor. Separa tierras de potencia y de señal, uniéndolas en UN solo punto (tierra estrella).

Si tu circuito "a veces falla sin razón", el 90 por ciento de las veces es alimentación ruidosa o entradas flotantes. Pon los capacitores de desacoplo ANTES de rediseñar nada.

Práctica adicional

Ejercicio 13

En el semáforo con 4017, ¿por qué se usan diodos para mezclar Q0-Q3 hacia el LED verde?

SOLUCIÓN: Porque si conectaras las 4 salidas directo al LED, cuando una salida esté en 1 y otra en 0 se cortocircuitarían entre sí (una intentando subir, otra bajando). Los diodos permiten que cualquiera encienda el LED pero bloquean el camino de regreso: una OR con diodos sin cortos.

Ejercicio 14

Un sensor digital de 5 V se conecta a un ESP32 (3.3 V). Diseña la adaptación con divisor.

SOLUCIÓN: Divisor que baje 5 a ~3.3: $R1 = 1.8k$ (arriba), $R2 = 3.3k$ (abajo): $V = 5 \times 3.3/5.1 = 3.24$ V. Solo para señales DIGITALES lentas (el divisor con la capacitancia de entrada limita la velocidad). Para I2C/SPI usa convertidor de nivel activo.

Ejercicio 15

Tu contador con 4017 avanza dos pasos por cada pulsación del botón. Diagnostica y propón dos soluciones.

SOLUCIÓN: Rebote del botón: cada pulsar genera múltiples flancos. Soluciones: antirrebote por software (si hay microcontrolador), latch SR con NAND, o RC + Schmitt trigger (74HC14) por hardware.

Ejercicio 16

Explica la "tierra estrella" y cuándo la necesitas.

SOLUCIÓN: Todas las tierras (potencia y señal) se unen en UN solo punto físico, en estrella, en lugar de encadenarlas. Evita que las corrientes grandes de potencia (motores) creen caídas de voltaje en el camino de tierra que contaminen las señales sensibles. La necesitas cuando mezclas potencia (motores, relevadores) con señal (sensores analógicos, ADC).

Ejercicio 17

Simplifica: $F = A*B + A*B*C + A'*B$.

SOLUCIÓN: $A*B + A*B*C = A*B$ (absorción: $X + X*Y = X$). $F = A*B + A'*B = B*(A + A') = B*1 = B$. ¡Toda la expresión es solo B!

Ejercicio 18

¿Por qué el 74HCT es mejor que el 74HC para recibir señales de 3.3 V?

SOLUCIÓN: Porque su umbral de entrada en 1 es 2.0 V (compatible TTL) en lugar de 3.5 V: un "1" de 3.3 V (que en la práctica puede ser 2.8-3.3) lo reconoce con margen, mientras que el 74HC lo vería en la zona prohibida o como 0 intermitente.

Ampliación: memorias y el microprocesador por dentro

ROM, RAM y la memoria del Arduino

Todo sistema digital guarda información en memorias. Tipos esenciales:

- ROM (solo lectura): viene programada de fábrica, no se borra. Guarda el programa permanente (el bootloader del Arduino vive en ROM flash).
- FLASH: ROM reescribible eléctricamente (limitado a ~10,000-100,000 ciclos). Aquí se guarda TU programa en el Arduino/ESP32.
- RAM (volátil): memoria de trabajo rápida que se borra al apagar. Las variables de tu programa viven aquí. El Uno tiene solo 2 KB: por eso los programas grandes se quedan sin memoria.
- EEPROM: no volátil y reescribible byte por byte (100,000 ciclos). Para configuraciones que deben sobrevivir apagados (el data logger de la Unidad 9).
- SRAM/DRAM: en computadoras, la RAM de trabajo (GBs). La caché (SRAM rapidísima dentro del procesador) acelera todo.

Jerarquía: registros (dentro del CPU, rapidísimos, poquísimos) > caché > RAM > flash/EEPROM > SD/nube (lentos, enormes). Cada nivel es ~10-100 veces más lento y ~10-100 veces más grande que el anterior. Diseñar es equilibrar velocidad, tamaño y costo en esta pirámide.

El microprocesador por dentro (conceptual)

Un CPU tiene: la ALU (unidad aritmético-lógica: suma, resta, AND, OR con bits), registros (memoria interna ultrarrápida), la unidad de control (interpreta instrucciones), y el contador de programa (apunta a la siguiente instrucción).

El ciclo de instrucción (fetch-decode-execute):

1. FETCH: lee la instrucción de la flash apuntada por el contador.
2. DECODE: la unidad de control la interpreta.

3. EXECUTE: la ALU o los periféricos la ejecutan.
4. El contador avanza. Repite miles de millones de veces por segundo.

Tu programa de Arduino se compila a estas instrucciones máquina. Un `digitalWrite` es cientos de instrucciones; un bucle `for` son saltos del contador. A 16 MHz, el Uno ejecuta ~16 millones de instrucciones simples por segundo: suficiente para leer sensores y controlar motores en tiempo real, insuficiente para video.

Periféricos: el CPU no trabaja solo

El microcontrolador integra periféricos que hacen el trabajo pesado:

- TIMERS: cuentan pulsos de reloj; generan PWM, miden tiempos, interrumpen periódicamente. El `delay()` y `millis()` usan un timer.
- ADC: convierte voltaje a número (el `analogRead`).
- UART/SPI/I2C: comunicación serial (ya vistos).
- INTERRUPTIONES: el periférico avisa al CPU ("¡dato listo!") en lugar de que el CPU pregunte todo el tiempo (polling). Eficiente y preciso.
- WATCHDOG: timer que reinicia el CPU si el programa se cuelga. El guardián de los sistemas desatendidos.
- GPIO: los pines configurables que ya usas.

Entender periféricos es lo que separa al que "usa Arduino" del que "domina microcontroladores": el mismo chip hace 10 veces más cuando usas sus periféricos en lugar de simularlo todo por software.

Arquitecturas: AVR, ARM, RISC-V, ESP32

- AVR (Arduino Uno/Mega): 8 bits, simple, didáctico. Perfecto para aprender.
- ARM Cortex (STM32, Raspberry Pi Pico, muchos ESP32 tienen Xtensa pero ARM domina la industria): 32 bits, eficiente, el estándar industrial.
- Xtensa (ESP32 clásico): 32 bits con WiFi.
- RISC-V: arquitectura ABIERTA (sin licencias), el futuro probable de muchos micros.

Para tus proyectos, la arquitectura no importa (el IDE abstraerá); para tu carrera, saber que existen y sus nichos sí importa.

Práctica adicional

Ejercicio 19

Tu programa de Arduino usa 1.8 KB de RAM de 2 KB y falla aleatoriamente. Explica y propón soluciones.

SOLUCIÓN: La pila (stack) de llamadas a funciones necesita RAM libre; con 90% ocupada, el stack colisiona con las variables (stack overflow): fallas aleatorias. Soluciones: reducir variables globales, usar PROGMEM para textos constantes (viven en flash, no RAM), evitar la clase String (fragmenta memoria), o migrar a un micro con más RAM (ESP32: 520 KB).

Ejercicio 20

Explica por qué el watchdog es importante en un sistema de riego desatendido.

SOLUCIÓN: Porque si el programa se cuelga (un sensor que no responde, un bug raro), nadie está para pulsar reset: el campo se inunda o se seca. El watchdog reinicia automáticamente el sistema si el programa deja de "alimentarlo" periódicamente: el riego se recupera solo en segundos.

Ejercicio 21

Compara polling vs interrupciones para leer un botón de emergencia.

SOLUCIÓN: Polling: el programa pregunta el botón en cada vuelta del loop; si el loop tarda (delays), la respuesta se retrasa. Interrupción: el botón avisa al instante al CPU, que pausa lo que hacía y atiende: respuesta en microsegundos, garantizada. Para emergencias (paro de motor, alarma), interrupción siempre.

Ejercicio 22

¿Cuántas instrucciones por segundo ejecuta aprox. un Arduino a 16 MHz si cada instrucción toma 1-2 ciclos?

SOLUCIÓN: 8 a 16 millones de instrucciones por segundo (MIPS). Un digitalWrite (~50 ciclos) toma ~3 microsegundos. Para parpadear un LED sobra; para procesar audio en tiempo real (44,100 muestras/s) va justo pero se puede con optimización.

Ejercicio 23

Explica la jerarquía de memoria con un ejemplo de tu programa del data logger.

SOLUCIÓN: Las variables (dirección, temperatura) viven en RAM (rápido, volátil). El programa vive en flash (no volátil). Los datos guardados van a EEPROM (no volátil, reescribible). Si quisieras años de datos, a SD (enorme, lenta). Cada dato está en el nivel adecuado a su necesidad de velocidad y persistencia.

Ejercicio 24

¿Por qué RISC-V se considera "el futuro" por muchos ingenieros?

SOLUCIÓN: Porque es una arquitectura ABIERTA y libre de regalías: cualquiera puede diseñar chips RISC-V sin pagar licencias (a diferencia de ARM). Esto democratiza el diseño de procesadores, igual que Arduino democratizó los microcontroladores y Linux los sistemas operativos. Más competencia = más innovación y menores costos.

Ampliación: ADC y DAC a fondo

El ADC por dentro: aproximaciones sucesivas

El ADC del Arduino (y la mayoría) usa aproximaciones sucesivas (SAR): es como adivinar un número del 1 al 1024 preguntando "¿mayor o menor?" 10 veces.

```
Para Vin = 3.0 V con Vref = 5 V:  
1. ¿Vin > 2.5? Sí -> bit9 = 1. Rango: 2.5-5.  
2. ¿Vin > 3.75? No -> bit8 = 0. Rango: 2.5-3.75.  
3. ¿Vin > 3.125? No -> bit7 = 0. Rango: 2.5-3.125.  
4. ¿Vin > 2.8125? Sí -> bit6 = 1...  
...10 comparaciones -> resultado ~614 (3.0 V).
```

Cada comparación es un bit, de mayor a menor peso. 10 bits = 10 comparaciones = ~100 microsegundos en el Arduino. Los ADC rápidos (video, RF) usan flash (comparadores en paralelo: rapidísimos, caros) o sigma-delta (lentos, precisísimos: para básculas e instrumentación).

Resolución, precisión y exactitud (no son lo mismo)

- RESOLUCIÓN: el paso más pequeño (10 bits = 1024 pasos = 4.88 mV con 5 V). Es lo que el ADC "puede ver".
- PRECISIÓN (repeatability): si mides lo mismo 10 veces, ¿qué tan juntos salen los valores? (Ruido.)
- EXACTITUD (accuracy): ¿qué tan cerca está el promedio del valor real? (Calibración, referencia.)

Un ADC puede tener gran resolución y mala exactitud (mide con pasos finos pero todos desviados). Para mejorar la exactitud: usa una referencia externa precisa (no los 5 V del USB, que varían), calibra con dos puntos conocidos, y promedia lecturas para mejorar la precisión.

El DAC: del número al voltaje

El DAC hace lo inverso: número digital -> voltaje analógico. Tipos:

- PWM + filtro RC: el "DAC" del Arduino (barato, lento, ruidoso pero funcional para control).
- R-2R (escalera de resistencias): con N bits y resistencias precisas, cada bit aporta la mitad del anterior. Didáctico y funcional.
- DAC integrado (MCP4725 por I2C): 12 bits, preciso, fácil. Para audio y control serio.
- Audio (I2S): los DAC de 24 bits de las bocinas y audífonos.

Ejemplo R-2R de 4 bits con resistencias R y 2R: el bit más significativo aporta $V_{ref}/2$, el siguiente $V_{ref}/4$, etc. Con 4 bits: 16 niveles. Con 8 bits y resistencias al 1%: 256 niveles decentes. Es un proyecto hermoso para entender la conversión.

Muestreo: Nyquist y el aliasing

Para digitalizar una señal, debes muestrear a más del DOBLE de su frecuencia máxima (teorema de Nyquist). Si muestreas una señal de 1 kHz a 1.5 kHz (menos del doble), aparece una "frecuencia fantasma" (alias) de 0.5 kHz que NO existe en la realidad: el aliasing.

Consecuencias prácticas:

- El ADC del Arduino (~9.6 kHz máximo real) no puede medir audio (20 kHz): necesitas al menos 40 kHz.
- Antes del ADC se pone un filtro ANTI-ALIAS (pasa-bajas) que elimina lo que no puedes muestrear bien.
- Para señales lentas (temperatura), muestrea de sobra (10 Hz para algo que cambia en minutos) y promedia: el aliasing no te afecta.

Ruido en las mediciones y cómo domarlo

Fuentes: ruido térmico (inevitable, pequeño), interferencia de 60 Hz (la red se acopla a todo), ruido digital (el microcontrolador contamina su propia alimentación), y ruido del sensor.

Técnicas:

1. PROMEDIO: 10-100 lecturas promediadas reducen el ruido aleatorio (la señal se suma, el ruido se cancela parcialmente).
2. MEDIANA: mejor que el promedio contra picos esporádicos.
3. FILTRO RC en la entrada (pasa-bajas a la frecuencia de interés).
4. SEPARA tierras analógica y digital (se unen en un solo punto).
5. Mide con la mejor referencia posible (externa, no el USB).
6. Si el ruido es de 60 Hz: muestrea múltiplos de 16.67 ms y promedia (se cancela).

Práctica adicional

Ejercicio 25

Un ADC de 12 bits con $V_{ref} = 3.3\text{ V}$ mide 2048. ¿Qué voltaje es? ¿Qué resolución tiene?

SOLUCIÓN: $V = 2048/4095 \times 3.3 = 1.6504\text{ V}$. Resolución: $3.3/4096 = 0.806\text{ mV por paso}$.

Ejercicio 26

Quieres medir una señal de audio de hasta 15 kHz. ¿Qué frecuencia de muestreo mínima? ¿Sirve el ADC del Arduino Uno?

SOLUCIÓN: Nyquist: más de 30 kHz (en la práctica 44.1 kHz como los CDs). El ADC del Uno (~9.6 kHz) NO sirve: aliasing garantizado. Necesitas un ADC externo rápido o un micro con ADC mejor (ESP32 llega a ~100+ kHz en modo continuo).

Ejercicio 27

Diseña un DAC R-2R de 3 bits con $V_{ref} = 5\text{ V}$. ¿Qué voltajes de salida obtienes para cada código?

SOLUCIÓN: 3 bits = 8 niveles, paso = $5/8 = 0.625\text{ V}$. Códigos 000 a 111: 0, 0.625, 1.25, 1.875, 2.5, 3.125, 3.75, 4.375 V. (El máximo no llega a 5 V: es $V_{ref} \times (2^N - 1)/2^N$.)

Ejercicio 28

Tu termómetro con TMP36 lee valores que saltan ± 3 grados. Aplica 3 técnicas de esta sección para estabilizarlo.

SOLUCIÓN: 1) Promedia 50 lecturas (reduce ruido aleatorio). 2) Agrega filtro RC de $1k + 100\text{ nF}$ en la entrada del ADC (corta ruido de alta frecuencia). 3) Usa referencia interna de 1.1 V del Arduino (más estable que los 5 V del USB) ajustando el divisor/escala. Bonus: aleja el cable del sensor de fuentes de ruido.

Ejercicio 29

Explica el aliasing con un ejemplo de la vida diaria (no electrónico).

SOLUCIÓN: Las ruedas de los carros en el cine que parecen girar al revés: la cámara muestrea a 24 cuadros por segundo; si la rueda gira un poco más de una vuelta por cuadro, cada foto la muestra un poco "antes": el cerebro interpreta giro inverso. Es aliasing temporal: muestreo insuficiente de un fenómeno periódico.

Ejercicio 30

¿Por qué promediar N lecturas mejora la precisión en raíz de N y no en N ?

SOLUCIÓN: Porque el ruido aleatorio (blanco) se suma en potencia, no en amplitud: al promediar N muestras, la señal (constante) queda igual y la desviación estándar del ruido baja en $\sqrt{N}$. Para mejorar 10x necesitas 100 muestras. Es estadística, no magia: el promediado tiene rendimientos decrecientes.

Ampliación: buses industriales - RS485, CAN y la comparación final

RS485: el serie que llega lejos

El UART muere a los ~ 15 metros. El RS485 llega a 1200 metros y conecta hasta 32 dispositivos en el mismo par de cables: es el estándar de la industria (medidores, PLCs, control de edificios).

Principio: señal DIFERENCIAL (dos cables, A y B: la información es la DIFERENCIA entre ellos). El ruido se acopla igual a ambos cables y se cancela en la diferencia: inmunidad brutal al ruido. Por eso funciona en fábricas llenas de motores.

Hardware: transceptor MAX485 (convierte UART a RS485).
Conexión: todos los A juntos, todos los B juntos (topología bus, NO estrella).
Terminación: resistencia de 120 ohms en cada extremo del bus (evita reflexiones).
Protocolo: tú defines quién habla cuándo (maestro-esclavo: el maestro pregunta, cada esclavo responde su turno). Modbus es el protocolo estándar sobre RS485.

Proyecto: dos Arduinos a 100 metros comunicándose por RS485 con MAX485: telemetría de un tinaco lejano, sensores en un invernadero. Es tu puerta a la automatización real.

CAN bus: la red de los autos

El CAN (Controller Area Network) conecta las computadoras de tu auto (motor, frenos, tablero) a 1 Mbps con tolerancia a fallas extrema. Diferencias con RS485:

- MULTIMAESTRO: cualquier nodo puede iniciar (arbitraje por prioridad: el mensaje más importante gana sin colisiones).
- DETECCIÓN de errores por hardware (CRC, acuses): si un mensaje se corrompe, se reintenta solo.
- TIEMPO REAL: prioridades garantizan que lo urgente (frenos) pase antes que lo trivial (radio).

Con un MCP2515 (controlador CAN por SPI) + transceptor TJA1050, tu Arduino habla CAN: puedes leer datos de tu auto (con el adaptador OBD-II correcto) o crear redes robustas de sensores. Es más complejo que RS485, pero es el estándar automotriz e industrial serio.

Comparación final de comunicaciones

PROTOCOLO	DISTANCIA	VELOCIDAD	NODOS	DÓNDE LO USAS
UART	15 m	115 kbps	2	Depuración, GPS, módulos
I2C	1 m	400 kbps	127	Sensores en la misma placa
SPI	30 cm	10+ Mbps	pocos	Displays, SD, rápidos
1-Wire	100 m	16 kbps	varios	Temperatura distribuida
RS485	1200 m	10 Mbps	32	Industria, edificios
CAN	1000 m	1 Mbps	110	Autos, industria seria
WiFi	50 m	100+ Mbps	muchos	IoT, internet
LoRa	10+ km	50 kbps	muchos	Sensores lejanos, campo

Regla de selección: corta distancia + simple = I2C/SPI; depuración = UART; lejos + robusto = RS485; auto/industrial = CAN; internet = WiFi; kilómetros a batería = LoRa. Cada protocolo nació de una necesidad; elige por la necesidad, no por moda.

LoRa: kilómetros con miliwatts

LoRa (Long Range) envía paquetes pequeños a 10+ km en campo abierto con potencia mínima: sensores agrícolas, boyas, rastreadores. LoRaWAN agrega la red (gateways compartidos, como The Things Network: cobertura comunitaria gratuita en muchas ciudades).

Compromiso: velocidad bajísima (cientos de bps) y mensajes cortos: para "temperatura cada 10 minutos", perfecto; para video, imposible. Es el ejemplo extremo de "el protocolo correcto para el trabajo correcto".

Diseñando tu red de sensores: caso completo

Invernadero de 50 metros: 8 sensores de temperatura/humedad + 2 electroválvulas de riego.

- Opción A (WiFi): 8 ESP32 (~\$1200) + red WiFi que llegue (repetidor): simple pero caro y hambriento de energía.
- Opción B (RS485): 8 Nanos (~\$800) + 2 hilos de bus + 1 maestro: barato, robusto, cableado único. Ganadora para instalación fija.
- Opción C (LoRa): si no hay energía ni WiFi en el campo: nodos a batería que duran años.

La ingeniería es elegir, no acumular: la mejor red es la más simple que cumple.

Práctica adicional

Ejercicio 31

¿Por qué el RS485 usa señal diferencial y qué problema resuelve frente al UART?

SOLUCIÓN: Resuelve el ruido en cables largos: en UART la señal es el voltaje contra tierra (el ruido se suma directo); en RS485 la información es la diferencia A-B (el ruido afecta igual a ambos y se resta). Resultado: 1200 m confiables vs 15 m del UART.

Ejercicio 32

Dibuja (en palabras) un bus RS485 con 3 nodos y explica dónde van las terminaciones.

SOLUCIÓN: Cable par trenzado recorriendo los 3 nodos en línea (A-A-A, B-B-B): topología bus. Resistencias de 120 ohms entre A y B SOLO en los dos extremos físicos del cable (nodo 1 y nodo 3): absorben la señal y evitan reflexiones. El nodo del medio NO lleva terminación. Sin terminaciones, los rebotes corrompen los datos.

Ejercicio 33

Compara CAN vs RS485 para una red de sensores en un auto. ¿Por qué gana CAN?

SOLUCIÓN: Porque CAN es multimaestro con arbitraje por prioridad (los frenos hablan antes que el estéreo sin colisiones) y con detección/corrección de errores por hardware (un mensaje corrupto se reintenta solo). RS485 necesitaría un protocolo maestro-esclavo por software para lograr algo parecido, con más latencia y menos robustez. En seguridad crítica, el hardware manda.

Ejercicio 34

Elige protocolo para: a) display OLED junto al Arduino, b) 20 sensores en una nave industrial de 200 m, c) rastreador de ganado en un rancho sin cobertura.

SOLUCIÓN: a) I2C o SPI (corta distancia, rápido, simple). b) RS485 con Modbus (distancia, robustez al ruido industrial, 32 nodos). c) LoRa (kilómetros, batería de años, sin infraestructura).

Ejercicio 35

Explica el arbitraje de CAN con un ejemplo de dos nodos hablando a la vez.

SOLUCIÓN: Ambos empiezan a transmitir; en cada bit, el bus muestra el AND cableado (el 0 "domina" al 1). Cada nodo lee lo que hay en el bus: si envió 1 pero lee 0, otro envió 0 (más prioritario): se calla y reintenta después. El mensaje de mayor prioridad (más ceros al inicio) gana SIN que se corrompa ningún mensaje: arbitraje no destructivo.

Ejercicio 36

Tu red RS485 funciona con 2 nodos pero falla al agregar el tercero. Da 3 causas probables.

SOLUCIÓN: 1) Topología en estrella en vez de bus (el tercer nodo se conectó con derivación larga: reflexiones). 2) Terminación incorrecta (pusieron 120 ohms en el nodo medio, o faltan en un extremo). 3) Direcciones/protocolo: dos esclavos con la misma dirección responden a la vez (colisión lógica, no eléctrica). Verifica en ese orden: físico, eléctrico, lógico.

UNIDAD 9: Introducción a los Microcontroladores

Introducción a la unidad

Un microcontrolador es una computadora completa en un solo chip: procesador, memoria, y pines de entrada/salida para interactuar con el mundo físico. El Arduino Uno (con su chip ATmega328P) es el caballo de batalla de la educación electrónica: barato, robusto, con miles de tutoriales, y programable con un lenguaje basado en C muy accesible.

Con un microcontrolador, tus circuitos dejan de ser fijos y se vuelven PROGRAMABLES: el mismo hardware puede ser un termómetro, una alarma, un controlador de motor o un juego de luces, solo cambiando el código. Esta unidad te enseña la anatomía del Arduino, sus pines, cómo programarlo, cómo leer sensores y cómo controlar actuadores (LEDs, motores, relevadores). Es la puerta de entrada a la robótica, la domótica y el Internet de las Cosas.

No necesitas experiencia programando: empezaremos desde cero, explicando cada línea de código como si fuera la primera vez que ves una. Si ya programas, esta unidad te mostrará el lado físico: cómo el código mueve electrones reales.

Explicación detallada

Anatomía del Arduino Uno

El Arduino Uno tiene: 14 pines digitales (0-13, los pines 3, 5, 6, 9, 10, 11 con PWM marcado con ~), 6 entradas analógicas (A0-A5), pin de 5 V, pin de 3.3 V, pines de tierra (GND), jack de alimentación (7-12 V), puerto USB (programación y 5 V), botón de reset, y LEDs indicadores (encendido y pin 13).

Especificaciones clave que debes respetar:

- Voltaje de operación: 5 V. NO apliques más de 5 V a ningún pin.
- Corriente máxima por pin: 40 mA (recomendado: máximo 20 mA).
- Corriente total máxima: 200 mA entre todos los pines.
- Si necesitas más corriente (motores, tiras LED), usa transistores/MOSFETs o drivers externos: el Arduino da las ÓRDENES, no la potencia.

El programa se escribe en el IDE de Arduino (gratis), se compila y se carga por USB. El Arduino lo guarda en su memoria flash y lo ejecuta cada vez que se enciende, sin computadora. Dos funciones obligatorias: `setup()` (se ejecuta una vez al arrancar: configuración) y `loop()` (se repite eternamente: el comportamiento).

Pines digitales: entrada y salida

Un pin digital configurado como SALIDA puede dar 5 V (HIGH) o 0 V (LOW): sirve para encender LEDs, activar transistores, controlar relevadores. Configurado como ENTRADA lee si hay 5 V o 0 V: sirve para botones, sensores digitales.

Estructura básica de un programa Arduino:

```
void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT); // pin 13 como salida
  pinMode(2, INPUT_PULLUP); // pin 2 como entrada con
                             // pull-up interno activado
}

void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // enciende LED del pin 13
  delay(1000);             // espera 1 segundo
  digitalWrite(13, LOW);  // apaga
  delay(1000);             // espera 1 segundo
}
// Esto parpadea el LED eternamente: el "Hola mundo"
// de la electrónica.
```

El `INPUT_PULLUP` activa una resistencia interna de ~20 kohm a 5 V: con un botón a tierra, lees HIGH sin pulsar y LOW pulsado, sin componentes externos. Es el truco más usado con botones.

PWM: salidas analógicas simuladas

Los pines marcados con ~ pueden generar PWM (modulación por ancho de pulso): una señal cuadrada que cambia rapidísimo entre 0 y 5 V, variando el porcentaje de tiempo en alto (ciclo de trabajo). Un LED con PWM al 50 por ciento se ve a medio brillo; un motor al 50 por ciento gira a media velocidad. Es "analógico simulado" rapidísimo.

```
analogWrite(9, 128); // pin 9 al 50 por ciento (128 de 255)
analogWrite(9, 255); // 100 por ciento: como HIGH fijo
analogWrite(9, 0);    // 0 por ciento: como LOW fijo
```

La frecuencia del PWM de Arduino es ~490 Hz: suficientemente rápida para que el ojo no vea parpadeo en LEDs y para controlar motores DC con un transistor. Para atenuar un LED de potencia o controlar velocidad de motor, PWM + MOSFET es la combinación estándar.

Entradas analógicas: leyendo el mundo real

Los pines A0-A5 leen voltajes entre 0 y 5 V con un convertidor analógico-digital (ADC) de 10 bits: devuelven un número de 0 (0 V) a 1023 (5 V). Resolución: $5/1024 = 4.9$ mV por paso.

```
int valor = analogRead(A0); // 0 a 1023
float voltaje = valor * 5.0 / 1023.0; // a volts
```

Ejemplo: sensor de temperatura TMP36 en A0.
Su salida: 0.5 V a 0 grados + 10 mV por grado.

```
int v = analogRead(A0);
float volts = v * 5.0 / 1023.0;
float tempC = (volts - 0.5) * 100.0;
```

Sensores analógicos comunes: potenciómetros (perilla que da 0-5 V: ideal para practicar), LDR/fotorresistencia (su resistencia baja con la luz: en divisor de voltaje da señal de luminosidad), TMP36/LM35 (temperatura lineal), micrófonos con amplificador. Todos se leen igual: analogRead y convertir.

Sensores digitales: el DHT11/DHT22 (temperatura y humedad con protocolo digital, usando librería), el HC-SR04 ultrasónico (mide distancia por eco: dispara un pulso y mide el tiempo de regreso), PIR (detecta movimiento). Cada uno tiene su librería; el IDE las instala con dos clics.

Controlando potencia: el Arduino no es fuente de poder

Regla de hierro: el Arduino controla, NO alimenta cargas grandes. Para cada actuador, su driver:

ACTUADOR Y SU DRIVER

- LED indicador (20 mA): directo del pin con resistencia.
- Tira LED 12 V / motor DC pequeño: MOSFET logic level (IRLZ44N) + diodo flyback si es motor.
- Relevador (110 V): módulo de relevador con optoacoplador (aísla el Arduino de la alta tensión) o transistor + diodo flyback. NUNCA conectes 110 V directo al protoboard del Arduino: usa módulos certificados y distancia física.
- Servomotor SG90: se alimenta de 5 V externos (no del pin 5V si hay más servos), señal PWM al pin; librería Servo.
- Motor paso a paso: driver A4988 o ULN2003 según el motor.

El optoacoplador merece mención: es un LED y un fototransistor en un chip; la señal cruza como LUZ, sin conexión eléctrica. Aísla completamente el Arduino del lado de potencia: si algo sale mal en los 110 V, el Arduino (y tú, vía USB) están protegidos. Los módulos de relevador buenos lo incluyen.

Comunicación: hablando con otros dispositivos

El Arduino habla con el mundo digital por:

- Serial (USB): `Serial.begin(9600); Serial.println("Hola");` para depurar y comunicarte con la computadora. El Monitor Serie del IDE es tu ventana al interior del programa.
- I2C (pines A4/A5): bus de dos cables para sensores y pantallas (ej. OLED, MPU6050). Librería Wire.
- SPI (pines 10-13): bus rápido para tarjetas SD, pantallas TFT. Librería SPI.

Con ESP32 (el primo con WiFi) agregas conectividad a internet: el mismo código base de Arduino, más librerías WiFi, te permite subir datos de sensores a la nube o controlar tu casa desde el celular. Es el siguiente paso natural tras dominar el Uno.

Depuración: cuando no funciona (y no funcionará a la primera)

Método sistemático:

1. Verifica alimentación: ¿el LED de encendido está prendido? ¿5 V en el riel?
2. Revisa el código: ¿compiló sin errores? ¿los pinMode corresponden a los pines cableados?
3. Usa el Monitor Serie: imprime los valores que lee (`Serial.println(valor)`) para ver qué "ve" el Arduino.

4. Divide y vencerás: prueba el sensor solo, luego el actuador solo, luego juntos.
5. Revisa tierras comunes: el Arduino y la fuente externa DEBEN compartir GND; sin tierra común, las señales no tienen referencia y nada funciona (falla clásica).

El 90 por ciento de los "no funciona" son: cable en la columna equivocada del protoboard, tierra no compartida, pin mal declarado, o sensor alimentado a voltaje incorrecto. Con el método sistemático los encuentras en minutos.

Ejemplos paso a paso con código

Ejemplo 1: Semáforo con tres LEDs

Tres LEDs (rojo pin 8, amarillo pin 9, verde pin 10) con resistencias de 220 ohms a tierra. Secuencia de semáforo.

```
void setup() {
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(10, HIGH); // verde
  delay(5000);
  digitalWrite(10, LOW);
  digitalWrite(9, HIGH); // amarillo
  delay(2000);
  digitalWrite(9, LOW);
  digitalWrite(8, HIGH); // rojo
  delay(5000);
  digitalWrite(8, LOW);
}

// Cada LED con su resistencia de 220 ohms a GND.
// Corriente por LED: (5-2)/0.22k = 13.6 mA. Seguro.
```

Ejemplo 2: Lámpara automática con LDR

Enciende un LED cuando oscurece. LDR en divisor con 10 kohm a A0; LED con transistor en pin 9.

```

int ldrPin = A0;
int ledPin = 9;

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int luz = analogRead(ldrPin); // 0 (oscuridad) a 1023
  Serial.println(luz);          // depura el umbral real
  if (luz < 300) {
    analogWrite(ledPin, 200);    // oscuro: LED encendido
  } else {
    analogWrite(ledPin, 0);      // luz: apagado
  }
  delay(200);
}
// El umbral (300) se ajusta mirando el Monitor Serie en
// tu ambiente real. Así se calibran todos los sensores.

```

Ejemplo 3: Control de velocidad de motor con potenciómetro

Potenciómetro en A0 (0-5 V); motor DC con MOSFET IRLZ44N + diodo flyback en pin 5 (PWM).

```

void setup() {
  pinMode(5, OUTPUT);
}

void loop() {
  int perilla = analogRead(A0);          // 0 a 1023
  int velocidad = map(perilla, 0, 1023, 0, 255);
  analogWrite(5, velocidad);             // PWM al motor
  delay(50);
}
// map() convierte rangos: qué útil.
// El motor y el Arduino comparten GND; el motor se alimenta
// de fuente externa (no del Arduino).

```

Ejemplo 4: Alarma con ultrasónico HC-SR04

Mide distancia; si algo se acerca a menos de 30 cm, suena un buzzer.

```
const int TRIG = 7, ECHO = 6, BUZZER = 8;

void setup() {
  pinMode(TRIG, OUTPUT);
  pinMode(ECHO, INPUT);
  pinMode(BUZZER, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  digitalWrite(TRIG, LOW); delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIG, HIGH); delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIG, LOW);
  long tiempo = pulseIn(ECHO, HIGH); // microsegundos
  float distancia = tiempo * 0.0343 / 2.0; // cm
  Serial.println(distancia);
  if (distancia < 30.0) {
    tone(BUZZER, 1000); // suena a 1 kHz
  } else {
    noTone(BUZZER);
  }
  delay(200);
}
// La fórmula: el sonido viaja 0.0343 cm por microsegundo,
// ida y vuelta, por eso se divide entre 2.
```

Práctica

Ejercicio 1

Calcula la resistencia para un LED rojo (2 V) conectado a un pin de Arduino (5 V) con corriente de 15 mA. ¿El pin aguanta?

SOLUCIÓN: $R = (5-2)/15 \text{ mA} = 200 \text{ ohms} \rightarrow 220 \text{ comercial}$. $I = 13.6 \text{ mA} < 20 \text{ mA}$ recomendados por pin. Sí aguanta.

Ejercicio 2

analogRead devuelve 512. ¿Qué voltaje es? ¿Qué temperatura marca un TMP36?

SOLUCIÓN: $V = 512 \times 5/1023 = 2.502 \text{ V}$. $T = (2.502-0.5) \times 100 = 200.2 \text{ grados...}$ ¡eso es imposible para ambiente! Revisión: un TMP36 real a 25 grados da 0.75 V (lectura ~154). 512 indicaría sensor mal conectado o fórmula mal aplicada: buen ejemplo de verificación por sentido común. Si el valor no tiene sentido físico, revisa el circuito antes de creerle al número.

Ejercicio 3

Explica por qué el motor lleva fuente externa y tierra común con el Arduino.

SOLUCIÓN: El motor consume más corriente de la que un pin (40 mA) o el regulador del Arduino pueden dar; alimentarlo del Arduino lo dañaría o reiniciaría. La fuente externa da la potencia; la tierra común da la referencia de 0 V para que la señal PWM del pin tenga sentido para el MOSFET.

Ejercicio 4

¿Qué hace INPUT_PULLUP y por qué simplifica los botones?

SOLUCIÓN: Activa una resistencia interna de ~20 kohm entre el pin y 5 V. Con un botón entre pin y tierra, lees HIGH sin pulsar y LOW pulsado, sin componentes externos. Elimina la resistencia pull-up externa y el problema de entradas flotantes.

Ejercicio 5

Convierte este requisito a código: "si la temperatura supera 30 grados, enciende el ventilador (pin 9); si no, apágalo", usando TMP36 en A0.

SOLUCIÓN:

```
void loop() {
  float t = (analogRead(A0) * 5.0 / 1023.0 - 0.5) * 100.0;
  if (t > 30.0) digitalWrite(9, HIGH);
  else digitalWrite(9, LOW);
  delay(1000);
}
```

Ejercicio 6

Tu proyecto no funciona y el Monitor Serie muestra siempre 1023 en A0. Diagnostica.

SOLUCIÓN: 1023 = 5 V fijos en la entrada: el pin está en corto a 5 V o el sensor no está conectado y hay una pull-up llevando a 5 V, o el cable del sensor está en la columna equivocada. Revisa el cableado del divisor/sensor con el multímetro antes de tocar el código.

Resumen de la unidad

El Arduino Uno es una computadora completa de 5 V: 14 pines digitales, 6 analógicos, límites de 40 mA por pin y 200 mA total. Programa con `setup()` (configuración) y `loop()` (repetición); `digitalWrite/Read` para binario, `analogWrite` (PWM) para "analógico" de salida, `analogRead` (0-1023) para entradas de 0-5 V. `INPUT_PULLUP` simplifica botones. El Arduino CONTROLA pero no ALIMENTA: motores y cargas grandes van con MOSFET/transistor, driver y fuente externa, siempre con tierra común y diodo flyback en inductivos. Usa el Monitor Serie para depurar y calibrar umbrales reales. Con esto puedes leer sensores (luz, temperatura, distancia) y mover el mundo físico (LEDs, motores, relevadores con optoacoplador). El siguiente paso natural: ESP32 con WiFi para el Internet de las Cosas.

Ampliación: 5 programas comentados línea por línea

Programa 1: Termómetro con promedio (filtra ruido)

```

const int PIN_TMP = A0;
const int N = 10; // muestras para promediar

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  long suma = 0;
  for (int i = 0; i < N; i++) {
    suma += analogRead(PIN_TMP); // acumula 10 lecturas
    delay(10);
  }
  float prom = suma / (float)N; // promedio
  float volts = prom * 5.0 / 1023.0; // a volts
  float temp = (volts - 0.5) * 100.0; // fórmula TMP36
  Serial.print("Temp: ");
  Serial.print(temp, 1); // un decimal
  Serial.println(" C");
  delay(1000);
}
// Por qué promediar: el ADC tiene ruido de +-2 cuentas;
// promediar 10 muestras reduce el ruido a la tercera parte.
// Es un filtro pasa-bajas hecho en software, gratis.

```

Programa 2: Control on/off con histéresis (incubadora)

```

const int PIN_TMP = A0;
const int PIN_FOCO = 8; // foco calefactor vía relevador
const float SETPOINT = 37.5; // temperatura objetivo

void setup() {
    pinMode(PIN_FOCO, OUTPUT);
}

float leerTemp() {
    float v = analogRead(PIN_TMP) * 5.0 / 1023.0;
    return (v - 0.5) * 100.0;
}

void loop() {
    float t = leerTemp();
    if (t < SETPOINT - 0.5) digitalWrite(PIN_FOCO, HIGH);
    else if (t > SETPOINT + 0.5) digitalWrite(PIN_FOCO, LOW);
    delay(1000);
}
// Histéresis: enciende a 37.0 y apaga a 38.0. Sin ella,
// el relevador vibraría (chattering) alrededor de 37.5,
// quemándose en días. La histéresis es obligatoria en
// todo control on/off real.

```

Programa 3: Barrido de servo con potenciómetro

```

#include <Servo.h>
Servo miServo;
const int PIN_POT = A0;
const int PIN_SERVO = 9;

void setup() {
  miServo.attach(PIN_SERVO); // PWM de 50 Hz para servo
}

void loop() {
  int pot = analogRead(PIN_POT);           // 0-1023
  int angulo = map(pot, 0, 1023, 0, 180);   // a grados
  miServo.write(angulo);
  delay(20);
}
// El servo SG90 se alimenta de 5 V EXTERNOS (no del pin
// 5V del Arduino si hay más servos): su pico de corriente
// (500 mA) reiniciaría el Arduino. Solo la SEÑAL va al pin.

```

Programa 4: Medidor de distancia con promedio y alarma progresiva

```

const int TRIG = 7, ECHO = 6, BUZZ = 8;

float medir() {
  digitalWrite(TRIG, LOW); delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIG, HIGH); delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIG, LOW);
  long t = pulseIn(ECHO, HIGH, 30000); // timeout 30 ms
  if (t == 0) return -1; // sin eco: fuera de rango
  return t * 0.0343 / 2.0;
}

void loop() {
  float d = medir();
  if (d > 0 && d < 50) {
    int freq = map((int)d, 0, 50, 2000, 500); // más cerca, más agudo
    tone(BUZZ, freq, 100); // beep de 100 ms
  }
  delay(150);
}
// pulseIn con timeout evita que el programa se congele si
// no hay eco. La alarma progresiva (pitch con distancia)
// es como los sensores de reversa de los autos.

```

Programa 5: Data logger en EEPROM (guarda sin computadora)

```
#include <EEPROM.h>
const int PIN_TMP = A0;
int direccion = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  float v = analogRead(PIN_TMP) * 5.0 / 1023.0;
  float t = (v - 0.5) * 100.0;
  EEPROM.update(direccion, (byte)t); // guarda entero
  direccion = (direccion + 1) % 512; // memoria circular
  delay(60000); // una muestra por minuto
}

// La EEPROM no se borra al apagar: es un registrador de
// temperatura autónomo. Con 512 bytes a 1/minuto guarda
// 8.5 horas. Para leer los datos, otro programa los vuelca
// por Serial. Así funcionan los loggers comerciales.
```

Buenas prácticas de programación embebida

1. Evita delay() en programas serios: usa millis() para temporizar sin bloquear (así atiendes botones mientras parpadeas LEDs).
2. Nombra pines con const int al inicio: cambiar un cable no debe implicar cazar números por todo el código.
3. Calibra con el Monitor Serie: ningún sensor da el valor teórico exacto; mide el real y ajusta umbrales.
4. Protege contra valores imposibles: si el sensor dice 200 grados, ignóralo (sensor desconectado) en lugar de activar la alarma.
5. Comenta el PORQUÉ, no el QUÉ: "histéresis para evitar chattering del relevador" vale más que "si t menor que setpoint".
6. Guarda versiones: cada cambio funcional, un archivo nuevo (proyecto_v1, v2...). El control de versiones salva proyectos.

Práctica adicional

Ejercicio 7

Reescribe el parpadeo del LED sin usar delay(), con millis().

SOLUCIÓN:

```
const int LED = 13;
unsigned long anterior = 0;
bool estado = false;
void setup() { pinMode(LED, OUTPUT); }
void loop() {
    if (millis() - anterior >= 1000) {
        anterior = millis();
        estado = !estado;
        digitalWrite(LED, estado);
    }
    // aquí puedes atender botones: nada se bloquea
}
```

Ejercicio 8

En el Programa 2, ¿qué pasaría si quitas la histéresis y comparas directo con 37.5?

SOLUCIÓN: El relevador conmutaría rapidísimo cada vez que la temperatura cruce 37.5 (el ruido del sensor lo cruza decenas de veces por segundo): chattering que destruye los contactos del relevador en días y genera interferencia. La histéresis crea una banda muerta que evita las conmutaciones parásitas.

Ejercicio 9

El servo del Programa 3 vibra y el Arduino se reinicia. Diagnostica.

SOLUCIÓN: El servo está alimentado del pin 5V del Arduino: sus picos de corriente (500 mA al moverse) colapsan el regulador y reinician el microcontrolador. Solución: fuente externa de 5 V para el servo (2 A si hay varios), con GND común al Arduino.

Ejercicio 10

Explica por qué pulseIn lleva timeout en el Programa 4.

SOLUCIÓN: Sin timeout, pulseIn espera el eco ETERNAMENTE si no hay objeto (o el sensor falla): el programa se congela. Con timeout de 30 ms, si no hay eco devuelve 0 y el programa sigue. Todo sensor con espera debe tener timeout: regla de robustez.

Ejercicio 11

¿Cuántas muestras guarda el data logger del Programa 5 y por cuánto tiempo? ¿Cómo lo ampliarías?

SOLUCIÓN: 512 bytes = 512 muestras; a 1 por minuto = 8.5 horas. **Ampliación:** usar módulo SD (gigabytes), o guardar cada 10 minutos (85 horas), o comprimir (guardar solo cambios mayores a 0.5 grados).

Ejercicio 12

Tu programa con delay(5000) no responde al botón durante 5 segundos. Explica y corrige.

SOLUCIÓN: delay() **BLOQUEA:** el microcontrolador no hace nada más durante ese tiempo, incluyendo leer el botón. **Corrección:** temporizar con millis() (ver Ejercicio 7) o usar interrupciones para el botón. En sistemas embebidos, "bloquear" es casi siempre un error de diseño.

Ampliación: ESP32 y el Internet de las Cosas

Del Arduino al ESP32: el siguiente nivel

El ESP32 es un microcontrolador con WiFi y Bluetooth integrados, más rápido (240 MHz doble núcleo), más memoria y más barato que muchos Arduinos. Se programa con el mismo IDE de Arduino instalando el paquete de placas. Diferencias clave que debes conocer:

ARDUINO UNO vs ESP32

- Voltaje: 5 V / 3.3 V (NO tolera 5 V en pines).
- ADC: 10 bits (0-1023) / 12 bits (0-4095).
- PWM: analogWrite / ledc (más flexible, más canales).
- Corriente por pin: 40 mA / 12 mA (más delicado).
- WiFi/Bluetooth: no / sí integrado.
- Precio: mayor / menor (el ESP32 suele ser más barato).

Regla de migración: todo lo que aprendiste con Arduino aplica, ajustando voltajes (3.3 V), ADC (0-4095) y PWM (ledc). Tus sensores de 5 V necesitan divisores o convertidores de nivel.

Tu primer proyecto IoT: temperatura en la nube

Con un ESP32 y un DHT22 puedes publicar la temperatura de tu casa en internet:

IDEA DEL CÓDIGO (pseudocódigo Arduino):

- Conecta a tu WiFi (SSID y password).
- Lee el DHT22 cada 5 minutos.
- Envía por HTTP a un servicio gratuito (ThingSpeak, Adafruit IO) o a tu propio servidor.
- Duerme profundo (deep sleep) entre lecturas: el ESP32 en deep sleep consume ~10 uA: una batería dura meses.

CONSUMO: despierto 100-200 mA por 10 segundos cada 5 minutos = promedio de ~1 mA. Una batería 18650 de 3000 mAh dura ~4 meses. Así funcionan los sensores inalámbricos comerciales.

Seguridad IoT básica: nunca pongas tus credenciales WiFi en código que compartas; usa redes separadas para dispositivos IoT si puedes; actualiza el firmware; no expongas puertos a internet sin saber. Un sensor de temperatura hackeado es anecdótico; una cámara o una chapa electrónica no.

Motores paso a paso y servos: movimiento preciso

El motor paso a paso (ej. 28BYJ-48 con driver ULN2003) gira en pasos discretos (2048 pasos por vuelta): posicionamiento exacto sin sensores. Ideal para relojes, plotters, cortinas automatizadas. Se controla con la librería Stepper o AccelStepper (aceleración suave).

El servomotor (SG90) gira 0-180 grados según el ancho del pulso PWM (1 ms = 0 grados, 2 ms = 180 grados). Ideal para brazos robóticos, timones, compuertas. La librería Servo lo maneja con un comando.

Diferencia: el paso a paso gira continuo con precisión; el servo se posiciona en un rango limitado. Para un carrito: motores DC con puente H. Para un brazo robot: servos. Para una impresora 3D: paso a paso.

Comunicación entre Arduinos: I2C en la práctica

Dos Arduinos (o Arduino + sensores) se hablan por I2C con solo 2 cables (SDA, SCL) más tierra. Cada dispositivo tiene dirección (el escáner I2C del IDE la encuentra). Ejemplo: Arduino maestro lee un sensor MPU6050 (acelerómetro) y manda el ángulo a un esclavo que mueve un servo. La librería Wire maneja el protocolo; tú solo lees/escribes registros.

Consejo: los cables I2C deben ser cortos (menos de 1 metro idealmente) y llevar resistencias pull-up (muchos módulos las traen). Para distancias largas usa RS485 o WiFi.

Práctica adicional

Ejercicio 13

Migra este código de Arduino a ESP32: `analogRead(A0)` con sensor de 0-3.3 V. ¿Qué cambia?

SOLUCIÓN: En ESP32 el ADC es de 12 bits (0-4095) y referencia 3.3 V: $\text{voltaje} = \text{lectura} \times 3.3/4095$. Además el pin A0 del ESP32 es el GPIO36 (solo entrada). Y el sensor debe dar máximo 3.3 V: si daba 5 V, agrega un divisor.

Ejercicio 14

Calcula la autonomía de un ESP32 que despierta 10 s cada 10 minutos, consumiendo 150 mA despierto y 10 uA dormido, con batería de 2000 mAh.

SOLUCIÓN: Ciclo: 600 s. Fracción despierto: $10/600 = 1.67\%$. Promedio: $150 \times 0.0167 + 0.01 \times 0.983 \sim 2.5 + 0.01 = 2.51 \text{ mA}$. Autonomía: $2000/2.51 = 797 \text{ horas} \sim 33 \text{ días}$. (En la práctica, menos por autodescarga y eficiencia.)

Ejercicio 15

¿Por qué no debes alimentar un servo SG90 del pin 5V del Arduino cuando hay dos servos?

SOLUCIÓN: Cada servo pica ~500 mA al moverse; dos son 1 A, muy por encima de lo que el regulador del Arduino (o el USB, 500 mA) puede dar. El voltaje colapsa y el Arduino se reinicia. Fuente externa de 5 V y 2 A con tierra común.

Ejercicio 16

Explica con tus palabras qué es deep sleep y por qué es clave en IoT con baterías.

SOLUCIÓN: Es un modo donde el microcontrolador apaga casi todo (CPU, WiFi, periféricos) y solo deja un temporizador: consume microamperes. Despierta, hace su tarea (leer sensor, transmitir) y vuelve a dormir. Sin deep sleep, el WiFi activo agotaría cualquier batería en horas; con él, duran meses.

Ejercicio 17

Un sensor I2C no responde. Da 3 causas y cómo verificarlas.

SOLUCIÓN: 1) Dirección incorrecta: pasa el escáner I2C para ver qué direcciones responden. 2) Sin pull-ups o cables muy largos: mide con osciloscopio o acorta cables; verifica que el módulo traiga pull-ups. 3) Voltaje incompatible (sensor 5 V con ESP32): verifica niveles y usa convertidor si hace falta.

Ejercicio 18

Diseña el sistema de un invernadero automatizado: lista sensores, actuadores y la lógica general.

SOLUCIÓN: Sensores: DHT22 (temperatura/humedad), sensor de humedad de suelo (analógico), LDR (luz). Actuadores: bomba de riego (relevador), ventilador (MOSFET), lámpara de crecimiento (relevador). Lógica: si humedad de suelo < umbral, riega 30 s; si temp > 30, enciende ventilador; si luz < umbral y es de día programado, enciende lámpara. Todo con histéresis y registro de datos. Un ESP32 lo sube a la nube para monitoreo remoto.

Ampliación: interrupciones, timers y bajo consumo

Interrupciones: el CPU que atiende al instante

Una interrupción es una señal que pausa el programa principal, ejecuta una rutina corta (ISR) y regresa donde estaba. En Arduino:

```

const int PIN_BOTON = 2; // pines 2 y 3 tienen interrupciones
volatile bool evento = false;

void miISR() {
    evento = true; // marca, no hagas trabajo pesado aquí
}

void setup() {
    pinMode(PIN_BOTON, INPUT_PULLUP);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PIN_BOTON), miISR, FALLING);
}

void loop() {
    if (evento) {
        evento = false;
        // atiende el evento aquí, con calma
    }
    // el resto del programa sigue sin bloqueos
}

```

Reglas de las ISR: deben ser CORTÍSIMAS (marcar banderas, incrementar contadores); nada de delay(), Serial.print lento, ni funciones pesadas. Las variables compartidas con el loop se declaran volatile (evita que el compilador las optimice mal). Modos: RISING (subida), FALLING (bajada), CHANGE (cualquiera).

Aplicaciones: contar pulsos de un encoder (cada ranura del disco = interrupción = posición exacta del motor), botón de emergencia, despertar del modo sleep, medir frecuencia (cuenta pulsos en un segundo con timer).

Timers: el tiempo preciso sin bloquear

Los timers son contadores de hardware que corren solos. Usos:

- Generar PWM (el analogWrite usa timers).
- Interrupción periódica exacta: leer un sensor cada 10 ms sin importar lo que haga el loop.
- Medir tiempos: entre dos eventos (velocidad de un motor con sensor).
- millis()/micros() y delay() viven de un timer.

Ejemplo conceptual: quieres muestrear un sensor a exactamente 100 Hz. Con `delay(10)` el muestreo se desfasa por el tiempo del resto del código; con interrupción de timer cada 10 ms, es exacto al microsegundo. Para audio, control de motores y comunicaciones, esa exactitud es obligatoria.

Modos de bajo consumo (sleep)

Un Arduino Uno en loop vacío consume ~50 mA (el regulador y el USB-serial gastan aunque el CPU duerma). Técnicas para batería:

1. Quita lo que no uses: en placas propias, sin regulador lineal ni LEDs piloto.
2. Sleep del CPU (librería `LowPower`): baja a microamperes; despierta por interrupción o watchdog.
3. Apaga periféricos (ADC, timers) si no los usas.
4. En ESP32: deep sleep (~10 uA) con despertar por timer o touch.

Ejemplo real: un sensor de puerta con ESP32: duerme profundo; la apertura genera interrupción; despierta, manda el aviso por WiFi (5 segundos), vuelve a dormir. Consumo promedio: microamperes. Una batería de 1000 mAh dura más de un año. Así se diseñan los sensores comerciales.

Comunicación serie avanzada: protocolo propio

Cuando dos de tus dispositivos hablan (Arduino a ESP32 por UART), define un protocolo simple:

```
Formato: <inicio><comando><dato><fin>  ej: "#T23.5\n"
Reglas: inicio claro (#), fin claro (\n), comandos de
una letra (T=temperatura, H=humedad), timeout de recepción,
checksum si es crítico (suma de bytes al final).
```

Sin protocolo, los bytes se confunden (¿este 23 es temperatura o humedad?). Con protocolo, cada mensaje se autodescribe. Es la misma idea de HTTP/JSON pero minimalista para micros.

Práctica adicional

Ejercicio 19

Cuenta las vueltas de un motor con un sensor óptico que da 20 pulsos por vuelta usando interrupciones. Escribe el esquema del código.

SOLUCIÓN:

```
volatile unsigned long pulsos = 0;
void contar() { pulsos++; }
void setup() {
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), contar, RISING);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  static unsigned long t0 = 0;
  if (millis() - t0 >= 1000) {
    t0 = millis();
    noInterrupts();
    unsigned long p = pulsos; pulsos = 0;
    interrupts();
    float rpm = p / 20.0 * 60.0;
    Serial.println(rpm);
  }
}
// noInterrupts al copiar: evita que la ISR cambie 'pulsos'
// a media copia (en 8 bits, copiar 4 bytes no es atómico).
```

Ejercicio 20

¿Por qué la ISR debe ser corta? ¿Qué pasa si pones delay(1000) dentro?

SOLUCIÓN: Porque mientras corre la ISR, otras interrupciones (incluidos los timers del sistema) se bloquean o se retrasan: millis() se desfasa, se pierden pulsos, el PWM tiembla. Un delay(1000) dentro paraliza todo el sistema un segundo por cada evento: el programa se vuelve inútil. La ISR marca y sale; el trabajo pesado va en el loop.

Ejercicio 21

Explica por qué las variables compartidas entre ISR y loop se declaran volatile.

SOLUCIÓN: Porque el compilador optimiza asumiendo que solo el código visible modifica las variables: podría guardar la variable en un registro y no releerla de memoria, perdiendo los cambios de la ISR. volatile le dice "esta variable puede cambiar".

en cualquier momento: léela siempre de memoria". Sin volatile, el loop podría no ver nunca el evento.

Ejercicio 22

Diseña el ciclo de vida de un sensor IoT de humedad de suelo con ESP32 y batería 18650 (3000 mAh). Estima autonomía.

SOLUCIÓN: Ciclo cada 30 min: despierta (deep sleep con timer), lee sensor (2 s, 120 mA), conecta WiFi y envía (8 s, 150 mA), duerme (10 uA). Energía por ciclo: $(2 \times 120 + 8 \times 150) / 3600 = 0.4$ mAh. Ciclos por día: 48 -> 19.2 mAh/día + sleep (0.24 mAh/día) ~ 19.5 mAh/día. Autonomía: $3000 / 19.5 = 154$ días ~ 5 meses. (Real: menos por autodescarga y frío.)

Ejercicio 23

Tu receptor serie a veces interpreta mal los datos cuando hay ruido. Propón 3 mejoras al protocolo.

SOLUCIÓN: 1) Caracteres de inicio/fin claros para sincronizar tramas. 2) Longitud fija o checksum para validar integridad (descarta tramas corruptas). 3) Timeout: si una trama tarda demasiado, se descarta y se espera la siguiente. Bonus: número de secuencia para detectar pérdidas.

Ejercicio 24

Compara usar delay(10) vs interrupción de timer para muestrear a 100 Hz. ¿Cuándo importa la diferencia?

SOLUCIÓN: Con delay(10), el periodo real es 10 ms + el tiempo del resto del loop (variable): el muestreo tiembla (jitter). Con timer es exacto. Importa cuando la exactitud temporal afecta el resultado: audio (se oye el jitter), control PID (se vuelve inestable), medición de frecuencia, comunicaciones. Para un termómetro casero no importa; para un dron sí.

Ampliación: depuración de programas embebidos

La mentalidad del depurador

Depurar (debuggear) es el 50% de programar micros. Método:

1. **REPRODUCE**: que la falla ocurra de forma confiable (si es aleatoria, sospecha memoria, ruido o tiempos).
2. **AISLA**: divide el programa (comenta mitades) hasta encontrar la línea culpable.
3. **HIPÓTESIS**: propone UNA causa y UNA prueba que la confirme o descarte.
4. **CORRIGE y VERIFICA**: arregla y comprueba que la falla desapareció (y que no rompiste otra cosa).

El error más común: cambiar 5 cosas a la vez "a ver si se arregla". Cambia UNA, prueba, anota. Es lento pero es lo único que funciona.

El monitor serie: tu osciloscopio de software

Sin depurador hardware, el Serial.print es tu mejor amigo:

```
Serial.print("temp="); Serial.print(temp);  
Serial.print(" hum="); Serial.println(hum);
```

Técnicas:

- Imprime valores CLAVE en puntos CLAVE (entradas, salidas, decisiones).
- Usa etiquetas para no confundir números.
- Imprime estados (qué rama del if se ejecutó).
- Marca tiempos con millis() para detectar bloqueos.
- Cuando todo falle, parpadea un LED en puntos del código (depuración "primitiva" pero efectiva sin USB).

Niveles de depuración: define DEBUG 1 y envuelve los prints en #ifdef: en la versión final los desactivas sin borrarlos.

Fallas clásicas y sus huellas

1. **EL PROGRAMA SE REINICIA SOLO**: sospecha stack overflow (mucha RAM usada), watchdog, o picos de corriente que resetean (fuente débil + motor).
2. **FUNCIONA CON USB PERO NO CON BATERÍA**: la batería no da la corriente pico (o el voltaje cae): mide el voltaje DURANTE la falla.
3. **FUNCIONA UN RATO Y SE MUERE**: fuga de memoria (String en loop), sobrecalentamiento, o contador que se desborda.

4. VALORES LOCOS INTERMITENTES: ruido eléctrico, cables largos, falta de pull-up/pull-down, o variable no-volatile en ISR.
5. "AYER FUNCIONABA": ¿qué cambió? (cable movido, batería más baja, código "pequeño" que agregaste). El control de versiones (aunque sea guardar copias con fecha) resuelve este misterio.
6. EL SENSOR LEE BIEN SOLO: pero mal en el sistema completo: interferencia entre partes (el motor mete ruido al ADC, el WiFi calienta el sensor de temperatura).

El multímetro y el LED como depuradores de hardware-software

Muchas "fallas de programa" son de hardware:

- ¿El pin realmente cambia? Mídelo con multímetro (o un LED testigo).
- ¿El sensor recibe 5 V? Mide en SUS pines, no en la fuente.
- ¿Hay continuidad hasta el pin del micro? (cable roto interno: el clásico).
- Desconecta la carga: ¿el programa solo sí funciona? (la carga colgaba la fuente).

Regla: cuando el software "no obedece", verifica el hardware primero. El programa no puede encender un LED con el cable roto.

Documenta tus bugs: el diario de guerra

Cada bug que resuelves es oro: anota síntoma, causa raíz y solución. En 6 meses tendrás tu propia base de conocimiento que vale más que cualquier libro (incluido este). Los profesionales senior no son los que no tienen bugs: son los que reconocen los suyos en 5 minutos porque ya los vieron antes.

Práctica adicional

Ejercicio 25

Tu programa lee un sensor y a veces muestra 0. Diseña un plan de depuración en 5 pasos.

SOLUCIÓN: 1) Reproduce: ¿cuándo da 0? (al inicio, aleatorio, con el motor encendido).
2) Aísla: imprime el valor crudo del ADC (¿el 0 viene del sensor o del cálculo?). 3) **Hipótesis: si el crudo es 0, verifica hardware (alimentación del sensor, cable); si el crudo es bueno, revisa la fórmula (división entera, variable).** 4) **Prueba: cambia UNA cosa.** 5) **Verifica y documenta.**

Ejercicio 26

El Arduino se reinicia cada vez que enciendes el motor. Da 3 causas posibles ordenadas por probabilidad y cómo verificar cada una.

SOLUCIÓN: 1) Caída de voltaje por pico de arranque del motor (mide VCC durante el arranque: si cae bajo ~4.5 V, es eso; solución: fuente más robusta o capacitor grande). 2) Ruido/flyback sin diodo (verifica el diodo; solución: agregarlo). 3) Bug de software (watchdog o puntero): menos probable si siempre coincide con el motor.

Ejercicio 27

Explica por qué guardar copias del código con fecha es "control de versiones para principiantes" y qué problema resuelve.

SOLUCIÓN: Resuelve el "ayer funcionaba": comparas la versión actual con la de ayer y ves exactamente qué cambió. Es rudimentario (un Git real es mejor), pero te salva del 90% de los misterios de regresión sin aprender ninguna herramienta.

Ejercicio 28

Tu sensor I2C funciona solo pero falla cuando agregas el segundo sensor. Diagnostica con el método de esta sección.

SOLUCIÓN: Aísla: ¿cada uno solo funciona? (descarta sensores muertos). Hipótesis 1: direcciones I2C iguales (escanea el bus: si aparecen la misma dirección dos veces, es eso; cambia la dirección por jumper). Hipótesis 2: pull-ups insuficientes con dos dispositivos (agrega o verifica las resistencias). Hipótesis 3: cables más largos = más capacitancia (acorta o baja la velocidad del bus).

Ejercicio 29

¿Por qué un LED testigo en un pin es a veces mejor que el monitor serie para depurar tiempos?

SOLUCIÓN: Porque el Serial.print tarda (~1 ms por línea a 9600 baud) y ALTERA los tiempos que quieres medir; el LED cambia en nanosegundos sin perturbar. Para verificar "¿esta interrupción se ejecuta?" o medir duraciones con osciloscopio, el pin/LED es la herramienta correcta.

Ejercicio 30

Escribe tu checklist personal de "antes de decir que el programa tiene un bug".

SOLUCIÓN: (Ejemplo.) 1) ¿El cableado coincide con los pines del código? 2) ¿La alimentación es suficiente y estable? 3) ¿Los valores crudos (ADC, digital) son correctos? 4) ¿Probé con el ejemplo mínimo del componente? 5) ¿Qué fue lo último que cambié? 6) ¿El monitor serie muestra lo que espero en cada etapa?

Ampliación: ESP32 conectado - WiFi, MQTT y tableros

WiFi en el ESP32: tu sensor en la red

El ESP32 se conecta a tu red WiFi con pocas líneas:

```
#include <WiFi.h>
const char* ssid = "TU_RED";
const char* pass = "TU_CLAVE";
void setup() {
  WiFi.begin(ssid, pass);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) delay(500);
  // ya estás en la red: imprime WiFi.localIP()
}
```

Seguridad: nunca subas tu clave a GitHub ni la compartas en foros (usa un archivo de configuración o variables). Para proyectos serios, el ESP32 soporta WPA2 Enterprise.

Modos: STATION (se conecta a tu router: lo normal), ACCESS POINT (crea su propia red: para configurar sin router), y ambos a la vez. El modo AP es ideal para la primera configuración (el usuario se conecta al ESP32 y le dice su WiFi: "portal cautivo").

MQTT: el idioma del Internet de las Cosas

MQTT es el protocolo estándar de IoT: ligero, pensado para conexiones inestables. Modelo publicador/suscriptor con un BROKER en medio:

```
Sensor (publica) -> "casa/sala/temperatura" -> BROKER
                                                    -> tu celular (suscrito)
                                                    -> tu servidor (suscrito)
```

El sensor no sabe quién lo lee; los lectores no saben quién publica. El broker los desacopla.

Tópicos jerárquicos ("casa/sala/temperatura"), comodines ("casa+/temperatura" = todas las salas), y 3 niveles de calidad (QoS 0: una vez, QoS 1: al menos una vez, QoS 2: exactamente una vez). Brokers gratuitos: Mosquitto (local, en una Raspberry Pi), o servicios en la nube.

Con PubSubClient en el ESP32 publicas lecturas cada minuto y te suscribes a "casa/sala/rele" para encender cosas desde el celular. Es el esqueleto de toda casa inteligente DIY.

HTTP y APIs: hablar con la web

El ESP32 también habla HTTP: puede pedir datos a una API (el clima de tu ciudad) o enviar datos a un servidor (ThingSpeak, Blynk, tu propio servidor).

```
HTTPClient http;
http.begin("http://api.ejemplo.com/datos?temp=23.5");
int codigo = http.GET(); // 200 = éxito
http.end();
```

ThingSpeak/Blynk te dan tableros web sin programar servidor: envías el dato, ellos lo grafican. Para proyectos propios serios, un servidor simple (Node.js, Python Flask) recibe tus datos y los muestra como quieras.

Tablero de monitoreo: proyecto integrador

Combina todo: ESP32 + DHT22 + relevador, publicando por MQTT:

- Tópicos: "casa/sala/temp", "casa/sala/hum", "casa/sala/rele/set" (comando).
- Regla local: si temp > 28, enciende el ventilador (autónomo, sin internet).
- Regla remota: desde el celular publicas ON/OFF al tópico set.
- El tablero (MQTT Dash, Node-RED) muestra gráficas y botones.

Node-RED (corre en Raspberry Pi o PC) es el pegamento visual: arrastras nodos (MQTT in -> gráfica, botón -> MQTT out) y tienes un centro de control sin programar. Es la herramienta favorita de los makers para IoT.

Seguridad en IoT (no opcional)

- Cambia las claves por defecto de TODO (broker, ESP32, router).
- No expongas tu broker a internet sin autenticación y TLS.
- Actualiza el firmware (los ESP32 viejos tienen vulnerabilidades conocidas).

- Separa tu red IoT de tu red principal si puedes (VLAN o red de invitados).
- Un sensor comprometido dentro de tu red es un espía potencial: trátalos como invitados, no como familia.

Práctica adicional

Ejercicio 31

Diseña los tópicos MQTT para una casa con 3 cuartos (temperatura y un foco cada uno). Lista 6 tópicos.

SOLUCIÓN: `casa/cuarto1/temp`, `casa/cuarto1/foco/set` (comando), `casa/cuarto1/foco/estado` (reporte), y lo mismo para `cuarto2` y `cuarto3`. Patrón: `<casa>/<lugar>/<variable>` y `<...>/set` para comandos. El comodín `casa/+temp` lee todas las temperaturas.

Ejercicio 32

Explica por qué MQTT es mejor que HTTP para un sensor a batería que reporta cada 10 minutos.

SOLUCIÓN: Porque MQTT mantiene UNA conexión persistente y ligera (cabecera de 2 bytes): el sensor despierta, publica en milisegundos y duerme. HTTP abre conexión TCP + cabeceras pesadas cada vez (segundos de radio encendida = batería drenada). En IoT, cada milisegundo de radio cuenta.

Ejercicio 33

Tu ESP32 se conecta al WiFi pero no publica al broker. Da un plan de diagnóstico en 4 pasos.

SOLUCIÓN: 1) ¿Llega al broker? Haz ping a su IP desde tu PC (descarta red). 2) ¿El broker corre? Conéctate con un cliente MQTT de prueba (MQTT Explorer) y publica manualmente. 3) ¿Credenciales correctas? Prueba las mismas desde el cliente de prueba. 4) ¿El código? Imprime el código de retorno de la conexión MQTT (los códigos -2, -4 etc. dicen exactamente qué falla).

Ejercicio 34

Compara portal cautivo (modo AP) vs clave fija en el código para configurar el WiFi.

SOLUCIÓN: Clave fija: simple, pero hay que reprogramar para cambiar de red (impracticable en un producto). Portal cautivo: el usuario configura sin programar (producto real), pero requiere programar el portal y guardar en flash/EEPROM. Para prototipo: clave fija. Para algo que otros usarán: portal cautivo.

Ejercicio 35

¿Por qué la regla "si temp > 28 enciende el ventilador" debe correr LOCAL en el ESP32 y no en la nube?

SOLUCIÓN: Porque si se cae el internet, la nube no responde y tu cuarto se calienta sin control. La lógica crítica (seguridad, control básico) siempre local; la nube para monitoreo, gráficas y comandos manuales. Es el principio de "autonomía local, inteligencia remota".

Ejercicio 36

Explica el riesgo de exponer un broker MQTT sin autenticación a internet, con un ejemplo concreto.

SOLUCIÓN: Cualquiera en internet podría suscribirse a tus tópicos (ver cuándo no hay nadie en casa por los sensores) y publicar comandos (encender/apagar tus focos, abrir tu puerta si hay actuador). Es como dejar tu casa con las llaves puestas y la dirección publicada. Autenticación + TLS siempre.

UNIDAD 10: Proyectos Integradores

Introducción a la unidad

Llegaste a la unidad final del contenido: aquí todo se junta. Los proyectos integradores combinan sensores, control digital, potencia y análisis de circuitos en sistemas completos que hacen algo útil. Cada proyecto incluye el objetivo, la lista de materiales, el diagrama descrito paso a paso, los cálculos de diseño, el código comentado, el procedimiento de armado y prueba, y una sección de "qué puede salir mal" con diagnóstico.

Arma al menos dos de estos proyectos en tu protoboard. No solo para practicar: un proyecto terminado y funcionando es la mejor prueba de que dominas la electrónica, y es lo que mostrarás con orgullo. Además, cada proyecto está diseñado para ser extensible: te propongo mejoras al final para que lo lleves más lejos por tu cuenta.

Explicación detallada

Proyecto 1: Estación de temperatura con alarma

OBJETIVO: Medir temperatura ambiente con un TMP36, mostrarla en el Monitor Serie, y encender un LED rojo + buzzer si supera 35 grados, y un LED azul si baja de 15.

MATERIALES: Arduino Uno, TMP36, LED rojo, LED azul, buzzer activo de 5 V, resistencias 220 ohms (x2), protoboard, cables.

CIRCUITO:

- TMP36: pin 1 a 5 V, pin 2 a A0, pin 3 a GND (verifica el orden en su hoja de datos: con la cara plana hacia ti, izquierda 5 V, centro salida, derecha GND).
- LED rojo: ánodo a pin 8 vía 220 ohms, cátodo a GND.
- LED azul: ánodo a pin 9 vía 220 ohms, cátodo a GND.
- Buzzer activo: positivo a pin 10, negativo a GND (los buzzers activos suenan con 5 V directos; consumen ~20 mA, dentro del límite del pin).

CÁLCULOS: $R_{LED} = (5-2)/15 \text{ mA} = 200 \rightarrow 220 \text{ ohms}$. $I = 13.6 \text{ mA}$ por LED. Corriente total pines: $13.6 \times 2 + 20 = 47 \text{ mA} < 200 \text{ mA}$. TMP36 consume microamperes. Todo dentro de límites.

CÓDIGO:

```
const int TMP = A0;
void setup() {
  pinMode(8, OUTPUT); pinMode(9, OUTPUT); pinMode(10, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  float v = analogRead(TMP) * 5.0 / 1023.0;
  float t = (v - 0.5) * 100.0;
  Serial.print("Temp: "); Serial.print(t); Serial.println(" C");
  digitalWrite(8, t > 35.0 ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(10, t > 35.0 ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(9, t < 15.0 ? HIGH : LOW);
  delay(1000);
}
```

PRUEBA: Calienta el sensor con los dedos: la temperatura debe subir y a los 35 grados encender la alarma. Enfríalo (sopla o acércalo a algo frío): debe bajar. Si la lectura es absurda (como -40 o 150), revisa el cableado del TMP36: el error típico es confundir sus pines.

MEJORAS: Agrega pantalla LCD I2C para ver la temperatura sin computadora; guarda máximos y mínimos; con un ESP32, súbela a internet.

Proyecto 2: Control de motor con puente H (carrito)

OBJETIVO: Controlar la dirección y velocidad de un motor DC con un puente H L298N y dos botones (avance/retroceso) más potenciómetro de velocidad.

MATERIALES: Arduino, módulo L298N, motor DC 6-12 V, 2 botones, potenciómetro 10 kohm, fuente externa para el motor, cables.

CIRCUITO:

- L298N: ENA a pin 5 (PWM), IN1 a pin 6, IN2 a pin 7, GND del módulo a GND del Arduino (tierra común), alimentación del motor a la fuente externa (quitar el jumper de 5 V si la fuente supera 12 V, según tu módulo).
- Botones: pin 2 y pin 3 a tierra, con INPUT_PULLUP.
- Potenciómetro: extremos a 5 V y GND, cursor a A0.

CÓDIGO:

```

void setup() {
  pinMode(5, OUTPUT); pinMode(6, OUTPUT); pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(2, INPUT_PULLUP); pinMode(3, INPUT_PULLUP);
}
void loop() {
  int vel = map(analogRead(A0), 0, 1023, 0, 255);
  bool av = digitalRead(2) == LOW;
  bool re = digitalRead(3) == LOW;
  if (av && !re) { digitalWrite(6, HIGH); digitalWrite(7, LOW); }
  else if (re && !av) { digitalWrite(6, LOW); digitalWrite(7, HIGH); }
  else { digitalWrite(6, LOW); digitalWrite(7, LOW); }
  analogWrite(5, vel);
  delay(50);
}

```

CÓMO FUNCIONA EL PUENTE H: IN1/IN2 en (HIGH,LOW) hacen girar en un sentido; (LOW,HIGH) en el contrario; (LOW,LOW) detienen. ENA con PWM regula la velocidad. El L298N incluye los diodos flyback internos: por eso es mejor que armar el puente con transistores sueltos cuando empiezas.

SEGURIDAD: El L298N se calienta con motores grandes: no toques el disipador en marcha. La fuente del motor separada del Arduino, con tierra común. Nunca cambies de avance a retroceso a toda velocidad de golpe: baja la velocidad primero (el pico de corriente del cambio brusco puede reiniciar el Arduino).

Proyecto 3: Dado electrónico con 7 LEDs

OBJETIVO: Al pulsar un botón, "lanzar" un dado: encender un patrón aleatorio de LEDs del 1 al 6, usando compuertas... no, usando Arduino y aritmética (versión digital pura con 74HC se propone como reto).

MATERIALES: Arduino, 7 LEDs, 7 resistencias 220 ohms, botón, protoboard.

CIRCUITO: LEDs en pines 3-9 con resistencias a GND; botón en pin 2 con INPUT_PULLUP.

CÓDIGO:

```

long semilla = 0;
void setup() {
  for (int p = 3; p <= 9; p++) pinMode(p, OUTPUT);
  pinMode(2, INPUT_PULLUP);
  randomSeed(analogRead(A5)); // ruido eléctrico como semilla
}
void loop() {
  if (digitalRead(2) == LOW) {
    int dado = random(1, 7); // 1 a 6
    mostrar(dado);
    delay(300); // antirrebote rústico
  }
}
void mostrar(int d) {
  // patrones: qué LEDs encienden para cada número
  bool patrones[7][7] = {
    {}, // 0 no usado
    {0,0,0,1,0,0,0}, // 1: centro
    {1,0,0,0,0,0,1}, // 2: esquinas
    {1,0,0,1,0,0,1}, // 3
    {1,0,1,0,1,0,1}, // 4
    {1,0,1,1,1,0,1}, // 5
    {1,1,1,0,1,1,1}, // 6
  };
  for (int i = 0; i < 7; i++)
    digitalWrite(i + 3, patrones[d][i] ? HIGH : LOW);
}

```

CONCEPTO CLAVE: randomSeed con una entrada analógica flotante usa el ruido eléctrico como semilla: aleatoriedad real de hardware, gratis. El antirrebote (debounce) evita que un solo pulsar registre varios lanzamientos: el botón mecánico "rebota" unos milisegundos.

RETO AVANZADO: Hazlo sin Arduino, con un 555 como reloj, un 74HC163 como contador y compuertas para decodificar: electrónica digital pura de la Unidad 8.

Proyecto 4: Fuente de poder regulada de taller

OBJETIVO: Construir una fuente de 5 V y 12 V regulados a partir de un transformador o eliminador, con filtrado y protección. (Proyecto de electrónica analógica pura, sin microcontrolador.)

MATERIALES: Transformador 12 V AC (o eliminador de 12 V DC), puente de diodos o 4x 1N4007, capacitores electrolíticos (1000 uF 25 V, 100 uF), cerámicos 100 nF, reguladores 7805 y 7812, disipadores, LED indicador con resistencia, fusible.

CIRCUITO (descrito por etapas):

1. Entrada AC -> puente rectificador -> directa pulsante.
2. Capacitor de 1000 uF: filtra el rizado (se carga en los picos y sostiene el voltaje en los valles).
3. 7812: regula a 12 V estables (entrada mínima ~14.5 V por su dropout de 2.5 V).
4. Del riel de 12 V al 7805: regula a 5 V (con su capacitor de 100 uF y cerámicos de 100 nF en entrada y salida de cada regulador).
5. LED indicador con resistencia en la salida de 5 V.
6. Fusible en serie con la entrada: protección contra cortos.

CÁLCULOS: Si la carga de 5 V consume 500 mA, el 7805 disipa $(12-5) \times 0.5 = 3.5$ W: NECESITA disipador (sin él se apaga por protección térmica). El rizado aproximado: $V_r = I/(f \times C) = 0.5/(120 \times 0.001) = 4.17$ V pico a pico antes del regulador: el 7812 necesita al menos 14.5 V a la entrada incluso en el valle del rizado, así que el transformador debe dar suficiente voltaje pico. Estos cálculos son el pan diario del diseño de fuentes.

SEGURIDAD: Si usas transformador conectado a la pared, el primario es 110/220 V: esa parte la arma alguien con experiencia o compras el transformador ya encapsulado. Tú trabajas solo el lado de bajo voltaje. El fusible no es opcional.

Metodología de proyecto: del papel al protoboard

Para cualquier proyecto propio, sigue este orden:

1. Define QUÉ debe hacer (una frase) y los límites (voltajes, corrientes).
2. Dibuja el diagrama en papel y calcula cada etapa (Ohm, potencia, divisores).
3. Lista materiales y verifica que los tienes (nada peor que parar a media noche por falta de una resistencia).
4. Arma por bloques: primero la alimentación, verifícala; luego entradas/sensores, verifícalas; luego salidas; al final el código o la lógica.
5. Prueba cada bloque ANTES de conectar el siguiente: si algo falla, sabes que el problema está en el último bloque agregado.

6. Documenta en tu libreta: diagrama final, valores medidos, problemas y soluciones.
Esta metodología es lo que separa al aficionado del profesional: no es talento, es orden.

Práctica

Ejercicio 1

En el Proyecto 1, el TMP36 marca 0.82 V en A0. ¿Qué temperatura es? ¿Se activa alguna alarma?

SOLUCIÓN: $T = (0.82 - 0.5) \times 100 = 32$ grados. No supera 35 (alarma caliente apagada) ni baja de 15 (azul apagado). Todo apagado: temperatura normal.

Ejercicio 2

El motor del Proyecto 2 consume 1.2 A a 12 V. ¿Qué potencia maneja el L298N? ¿Por qué se calienta?

SOLUCIÓN: $P = 12 \times 1.2 = 14.4$ W en el motor; el L298N disipa sus pérdidas internas (caída de ~ 2 V $\times 1.2$ A = 2.4 W en el chip): por eso lleva disipador. Si se calienta demasiado, baja la velocidad o mejora la ventilación.

Ejercicio 3

En el dado electrónico, ¿por qué se usa `analogRead(A5)` para `randomSeed`? ¿Qué pasaría con `randomSeed(1234)` fijo?

SOLUCIÓN: Un pin analógico sin conectar capta ruido electromagnético aleatorio: cada arranque da una semilla distinta, secuencias impredecibles. Con semilla fija, el "dado" repetiría siempre la misma secuencia de números: un jugador atento lo notaría.

Ejercicio 4

Diseña la etapa de filtrado: tu fuente debe entregar 300 mA y quieres rizado menor a 2 V pico a pico con rectificación de onda completa (120 Hz). ¿Qué capacitor necesitas?

SOLUCIÓN: $C = I / (f \times V_r) = 0.3 / (120 \times 2) = 0.00125$ F = 1250 μ F. Comercial: 1500 μ F (o 2200 μ F para más margen). Voltaje nominal: al menos el doble del pico esperado.

Ejercicio 5

Propón una mejora al Proyecto 1 usando algo de la Unidad 8 (digital) en lugar de código.

SOLUCIÓN: Un comparador con compuertas no es directo porque la temperatura es analógica; pero puedes usar un comparador analógico (LM393) que da salida digital (1 si supera el umbral ajustado con potenciómetro) y meterla a una AND con la señal de "sistema armado": alarma = (temp_alta AND armado). Lógica digital pura controlando una decisión analógica.

Ejercicio 6

Siguiendo la metodología de proyecto, ¿por qué se arma y prueba por bloques en lugar de todo junto?

SOLUCIÓN: Porque si armas todo junto y falla, no sabes qué bloque es el culpable y debes desarmar para diagnosticar. Por bloques, cada etapa queda verificada antes de agregar la siguiente: cualquier falla nueva está en el último bloque. Ahorra horas de depuración.

Resumen de la unidad

Integraste todo: sensores analógicos (TMP36, LDR, potenciómetro) leídos con analogRead y calibrados con el Monitor Serie; actuadores (LEDs, buzzers, motores DC con puente H L298N, relevadores) controlados con drivers adecuados y tierras comunes; lógica de decisión (umbrales, compuertas, código); y una fuente regulada analógica completa (rectificador, filtro con $C = I/(f \times V_r)$, reguladores 7805/7812 con disipadores calculados por $P = (V_{in} - V_{out}) \times I$, fusible obligatorio). La metodología profesional -definir, diagramar, calcular, listar, armar por bloques, probar, documentar- es lo que convierte piezas en productos. Con las 10 unidades completas, tienes la base teórica y práctica de un técnico en electrónica. El examen final lo comprobará.

Ampliación: 3 proyectos más (seguidor de línea, theremin, cargador solar)

Proyecto 5: Robot seguidor de línea

OBJETIVO: Un carrito con dos motores que sigue una línea negra sobre fondo blanco usando dos sensores infrarrojos de reflectancia.

MATERIALES: Chasis de carrito (2 motores DC + rueda loca), L298N, Arduino, 2 módulos sensores IR de línea (ej. TCRT5000), batería (portapilas 18650 o pack de 6 AA), cables.

PRINCIPIO: Cada sensor emite infrarrojo y mide el reflejo: blanco refleja mucho (lectura alta), negro absorbe (lectura baja). Con dos sensores (izquierdo/derecho), la lógica es:

- Ambos en blanco: avanza.
- Izquierdo en negro: gira a la izquierda (frena motor izquierdo).
- Derecho en negro: gira a la derecha.
- Ambos en negro: intersección (sigue avanzando o decide según la pista).

CÓDIGO (esencial):

```
void loop() {  
  bool izq = digitalRead(PIN_IZQ); // 1 = línea  
  bool der = digitalRead(PIN_DER);  
  if (!izq && !der) avanzar();  
  else if (izq && !der) girarIzq();  
  else if (!izq && der) girarDer();  
  else avanzar(); // intersección: sigue  
}
```

CALIBRACIÓN: Los sensores tienen potenciómetro de umbral: ajústalo para que distingan tu línea de tu fondo con la altura real del chasis (2-3 cm). Prueba con el Monitor Serie antes de soltar el carrito.

MECÁNICA: La batería debe ir centrada para no volcar; los motores a la misma velocidad teórica nunca son idénticos: ajusta con PWM distinto por motor (ej. 200 y 215) para que avance recto.

Proyecto 6: Theremin óptico (música con luz)

OBJETIVO: Un instrumento que cambia el tono según la luz que recibe (acercas la mano y sube el pitch): LDR + buzzer + Arduino.

CIRCUITO: LDR en divisor a A0; buzzer piezoeléctrico al pin 8 (los piezo consumen poco, van directo).

CÓDIGO:

```
void loop() {
  int luz = analogRead(A0); // más luz = mayor valor
  int freq = map(luz, 0, 1023, 200, 2000); // a Hz
  tone(8, freq); // suena continuo
  delay(20);
}
```

MEJORAS: Agrega un segundo LDR para el volumen (map a la duración o usa un amplificador con volumen por PWM); ponle botones para cambiar de escala musical (do-re-mi en lugar de continuo: cuantiza la frecuencia a notas); mételo en una caja bonita y tienes un instrumento real.

FÍSICA: Es un divisor de voltaje convertido a frecuencia: la mano modula la luz, la luz modula la resistencia, la resistencia modula el voltaje, el código modula el tono. Cadena completa de transducción: el concepto detrás de todo sensor.

Proyecto 7: Cargador solar USB

OBJETIVO: Cargar tu celular con un panel solar de 6 V, regulado a 5 V USB, con indicador de carga.

MATERIALES: Panel solar 6 V 3 W, regulador (módulo buck ajustable a 5 V, más eficiente que lineal), diodo Schottky (evita descarga nocturna hacia el panel), capacitor 470 uF, conector USB hembra, LED indicador, caja.

CIRCUITO: Panel (+) -> Schottky -> módulo buck (entrada) -> ajuste a 5.0 V -> USB (+); todos los negativos comunes. Capacitor en la entrada del buck para estabilizar.

CÁLCULOS: Panel 3 W a 6 V = 500 mA máximos teóricos; en sol realista ~300 mA. El buck al 90 por ciento entrega ~270 mA a 5 V: carga lenta pero real (un celular en reposo carga en horas). El diodo Schottky pierde 0.3 V: el buck necesita mínimo ~5.5 V a la entrada para dar 5 V: verifica que el panel los dé incluso con sol moderado.

SEGURIDAD: Nunca conectes el panel directo al celular sin regulación: el voltaje en circuito abierto de un panel "6 V" puede llegar a 7-8 V y dañar el puerto USB. El regulador no es opcional. Y el diodo evita que de noche la batería del celular se descargue hacia el panel.

De proyecto a producto: qué sigue

Si un proyecto te encanta y quieres hacerlo permanente o regalarlo:

1. Pásalo de protoboard a placa perforada soldada (o diseña un PCB: hay servicios baratos en línea y software gratis como KiCad).
2. Ponlo en caja (las cajas de proyecto se venden por tamaños; haz los orificios con taladro y lima).
3. Documenta: diagrama, lista de materiales, código comentado, fotos del armado.
4. Si lo vas a vender o instalar en casa ajena: fusible, aislamiento, y pruebas de esfuerzo (déjalo funcionando 48 horas seguidas antes de entregarlo).

Muchos negocios de electrónica empezaron exactamente así: un proyecto de hobby bien terminado.

Cierre: tu camino después de este libro

Lo que ahora sabes hacer

Repasemos el arsenal completo que este libro te dio:

- Fundamentos: electrones, voltaje, corriente, directa vs alterna, seguridad eléctrica.
- Magnitudes y unidades: volts, amperes, ohms, watts, prefijos, conversiones automáticas.
- Ley de Ohm: despejes, diseño de LEDs, divisores de voltaje, verificación por dos caminos.
- Componentes pasivos: resistencias (código de colores), capacitores ($\tau = RC$, polaridad), inductores, el 555.
- Componentes activos: diodos (protección, flyback, Zener), LEDs, transistores BJT (interruptor con R_{base}), MOSFETs (potencia), optoacopladores.
- Taller: protoboard, multímetro (4 modos), soldadura (técnica y niveles), fuente de laboratorio, checklists, bitácora.
- Redes: serie, paralelo, mixtos, Kirchhoff (LCK/LVK), divisor de corriente, Thévenin conceptual.
- Digital: binario, compuertas, tablas de verdad, 7 segmentos, 4017, niveles lógicos, ruido.
- Microcontroladores: Arduino (digital, PWM, ADC, sensores), drivers de potencia, ESP32 e IoT.
- Proyectos: 7 integradores completos con cálculos, código y diagnóstico.

Con esto puedes leer diagramas, analizar circuitos, diseñar tus propios proyectos, diagnosticar fallas sistemáticamente y programar sistemas embebidos básicos. Es el perfil de un técnico en electrónica competente.

Rutas de especialización

La electrónica es enorme; este libro es la base común. Elige tu camino:

- **ROBÓTICA:** profundiza en motores (paso a paso, servos, encoders), cinemática básica, ROS. Proyectos: brazo robótico, dron.
- **IOT Y SISTEMAS EMBEBIDOS:** ESP32, MQTT, bases de datos, dashboards. Proyectos: casa inteligente, monitoreo industrial.
- **AUDIO:** amplificadores (clase A, AB, D), filtros activos, acústica. Proyectos: amplificador para guitarra, bocina Bluetooth.
- **POTENCIA:** fuentes conmutadas, inversores, control de motores trifásicos. Proyectos: inversor solar, cargador de baterías.
- **RADIOFRECUENCIA:** antenas, modulación, SDR. Proyectos: receptor de radio, enlace de telemetría.
- **INSTRUMENTACIÓN:** sensores de precisión, adquisición de datos, calibración. Proyectos: estación meteorológica profesional.
- **DISEÑO DE PCBs:** KiCad, buenas prácticas de layout, fabricación. Proyecto: tu primer PCB pedido a fábrica.

Cada ruta usa lo de este libro todos los días. La base no caduca.

Cómo seguir aprendiendo

1. **ARMA:** cada semana, un circuito nuevo. La teoría sin manos se olvida.
2. **LEE HOJAS DE DATOS:** cada componente nuevo, su datasheet. Es el hábito que más te profesionaliza.
3. **DESARMA:** abre aparatos muertos (desconectados) y trata de identificar etapas: fuente, control, potencia, sensores. Es anatomía electrónica.
4. **SIMULA:** usa simuladores gratuitos (Falstad, Tinkercad) para probar ideas antes de cablear.
5. **COMPARTE:** enseña lo que aprendes (un blog, videos, un club). Enseñar es la forma más profunda de aprender.

6. FALLA: cada componente quemado con análisis posterior es una lección que no se olvida. Quema barato, aprende caro.

Un último consejo de taller

La electrónica premia la paciencia sistemática y castiga la prisa. Cuando un circuito no funcione (y pasará seguido), respira, apaga la fuente, y aplica el método: mide, compara con lo esperado, aísla el bloque, corrige. El 99 por ciento de las fallas son errores simples: un cable mal puesto, un componente al revés, un pin mal declarado. Los grandes misterios casi no existen; lo que existe es la disciplina para encontrar el error tonto.

Guarda este libro a la mano: úsalo como referencia cada vez que dudes. Y cuando domines todo lo que contiene, vuelve al prólogo y lee la frase final otra vez: ya no eres el mismo que empezó en la Unidad 1.

¡A programar... perdón, a soldar! Nos vemos en el siguiente curso de Lucas EGA Academy.

Ampliación: presupuestos, presentación y vida profesional

Cómo presupuestar un proyecto electrónico

Todo proyecto tiene 4 costos: componentes, herramientas (amortización), tiempo y margen. Formato simple:

PRESUPUESTO DE PROYECTO

1. Lista de materiales con precios reales (tienda local o en línea + envío). Suma todo: es el costo directo.
2. Agrega 15-20% de imprevistos (componentes quemados en pruebas, cables extra, conectores olvidados).
3. Tiempo: estima tus horas x tu tarifa (aunque sea para ti: saberlo te enseña a valorar tu trabajo).
4. Si es para un cliente: agrega 30-50% de margen sobre el costo directo + tiempo. Tu conocimiento vale.

Ejemplo: estación de temperatura.

- Arduino clon: \$150. TMP36: \$30. LEDs+Rs: \$20.
- Buzzer: \$25. Protoboard+cables (amortizado): \$40.
- Costo directo: \$265. +20% imprevistos: \$318.
- Tiempo: 4 horas x \$150/hora = \$600.
- Para cliente: $(\$318 + \$600) \times 1.4 = \$1,285$ MXN.

Comparar contra comprar hecho: un termómetro comercial cuesta \$200. ¿Por qué el tuyo "cuesta" más? Porque el tuyo es PERSONALIZABLE, reparable y te enseñó. Para un cliente que necesita algo que no existe en el mercado, el precio se justifica solo.

Dónde comprar componentes (criterios, no tiendas)

- LOCAL (tienda de electrónica): inmediato, puedes preguntar, más caro. Ideal para urgencias y para ver/tocar antes de comprar.
- EN LÍNEA NACIONAL: 2-5 días, buen balance precio/tiempo.
- EN LÍNEA INTERNACIONAL (China): 2-6 semanas, muy barato en volumen. Ideal para surtidos y proyectos planeados.
- RECICLADO: aparatos muertos dan motores, transformadores, disipadores, conectores. Gratis y ecológico (verifica que funcionen antes de usarlos).

Compra surtidos, no piezas sueltas: un kit de 500 resistencias cuesta lo mismo que 20 sueltas. Y nunca pidas solo lo justo: pide 20% extra (algo se quemará en pruebas, es ley).

Presentar tu proyecto: que se vea profesional

1. CAJA: todo proyecto terminado vive en caja. Mide, perfora, monta con separadores.
2. ETIQUETAS: qué es cada interruptor, cada LED, cada conector. Una etiquetadora barata cambia la percepción.
3. MANUAL DE UNA PÁGINA: qué hace, cómo se usa, qué significan las luces, qué hacer si falla.
4. CABLEADO LIMPIO: colores consistentes, cinchos, sin nidos de rata.
5. FOTOS DEL PROCESO: valen para tu portafolio y para recordar cómo lo armaste.

Un proyecto bien presentado consigue clientes, empleos y calificaciones. El circuito es el 50%; la presentación es el otro 50%.

Tu portafolio de electrónica

Documenta cada proyecto terminado con: foto, descripción (qué hace), diagrama, lista de materiales, código (enlace), y "qué aprendí". Súbelo a un blog, GitHub o red social técnica. Un portafolio con 5 proyectos bien documentados vale más que un currículum con 5 cursos: demuestra que HACES, no solo que sabes.

Incluye también tus fracasos instructivos: "quemé 3 transistores hasta descubrir que el pinout estaba invertido" es una historia que demuestra método, no torpeza.

Ética y responsabilidad del técnico

- **SEGURIDAD:** nunca entregues un proyecto inseguro (sin fusible, con 110 V expuestos, con baterías sin protección). Tu firma implica responsabilidad.
- **HONESTIDAD:** si algo no lo sabes, dilo. Un "no sé, lo investigo" vale más que un invento que falla en casa del cliente.
- **GARANTÍA:** ofrece un periodo razonable de soporte. Los fallos infantiles aparecen en las primeras semanas; cúbrelos.
- **MEDIO AMBIENTE:** recicla baterías y componentes (llevan plomo y químicos). No tires electrónica a la basura común.
- **CONOCIMIENTO LIBRE:** comparte lo que aprendas. La comunidad open hardware (Arduino nació así) crece porque la gente comparte.

El ecosistema Lucas EGA Academy: qué sigue

Este libro es el número 20 de la colección. Tu ruta sugerida:

- Si te gustó el control: sigue con Robótica (motores, sensores, cinemática).
- Si te gustó programar: sigue con el curso de Python/MicroPython para ESP32.
- Si te gustó la potencia: el curso de Tecnología Fusión toca energía.
- Si quieres emprender: combina electrónica + impresión 3D + marketing de tus proyectos.

La electrónica no es una meta: es una herramienta. Úsala para construir lo que imagines.

Práctica final

Ejercicio 19

Presupuesta un seguidor de línea (Proyecto 5) con precios estimados de tu localidad. Incluye imprevistos.

SOLUCIÓN: (Ejemplo con precios aproximados, ajusta a tu realidad.) Chasis con motores: \$250. L298N: \$80. Arduino clon: \$150. Sensores IR x2: \$60. Baterías + portapilas: \$120. Cables/tornillería: \$50. Directo: \$710. +20%: \$852. Tiempo: 6 h x \$150 = \$900. Total real: ~\$1,750. Para cliente x1.4: ~\$2,450 MXN.

Ejercicio 20

Escribe el manual de una página para la estación de temperatura (Proyecto 1).

SOLUCIÓN:

ESTACIÓN DE TEMPERATURA - MANUAL
Qué hace: mide la temperatura y avisa con luz y sonido si sale del rango 15-35 grados.
Uso: conéctala por USB o con eliminador de 9 V. Espera 10 segundos a que estabilice.
Luces: verde = normal; rojo + sonido = más de 35; azul = menos de 15.
Si falla: revisa que el sensor TMP36 esté bien conectado (cara plana al frente) y que el USB entregue 5 V.
No mojar. Rango de medición: -40 a 125 grados (el sensor), precisión +-2 grados.

Ejercicio 21

Da 3 razones por las que documentar fracasos en tu portafolio es buena idea.

SOLUCIÓN: 1) Demuestra método científico (hipótesis, prueba, corrección). 2) Genera confianza: un técnico que admite errores es más confiable que uno que dice que todo le sale a la primera. 3) Ayuda a otros a no repetir el error (comunidad).

Ejercicio 22

Un cliente quiere 50 unidades de tu dado electrónico para su empresa. ¿Qué cambia respecto al prototipo?

SOLUCIÓN: Todo: PCB diseñado (no protoboard), componentes en volumen (precio por 50), caja serigrafiada, manual impreso, pruebas de cada unidad (jig de pruebas), garantía y soporte, tiempos de entrega, y margen comercial. El prototipo demuestra que funciona; el producto demuestra que se puede fabricar, vender y mantener.

Ejercicio 23

¿Por qué no debes tirar baterías de litio a la basura común? ¿Qué haces con ellas?

SOLUCIÓN: Porque contienen químicos tóxicos y pueden incendiarse si se perforan en el camión de basura (los incendios en rellenos por baterías son comunes). Se llevan a centros de reciclaje de electrónicos/pilas (muchas tiendas y municipios tienen contenedores).

Ejercicio 24

Escribe tu plan de próximos 3 proyectos usando la metodología de 6 pasos en una línea por paso para el primero.

SOLUCIÓN: (Ejemplo.) Proyecto: lámpara automática para escalera. 1) Define: enciende 30 s al detectar movimiento de noche. 2) Diagrama: PIR + LDR + 555 monoestable + MOSFET + tira LED 12 V; calcula temporizador y corriente. 3) Materiales: lista con precios. 4) Arma por bloques: fuente, sensores, temporizador, potencia. 5) Prueba cada bloque con multímetro antes de unir. 6) Documenta en bitácora con fotos.

Ampliación: 3 proyectos extra explicados a fondo

Proyecto 11: alarma con teclado matricial

Un teclado de membrana 4x4 (16 teclas) + Arduino + buzzer + LED: alarma que se activa/desactiva con clave de 4 dígitos.

Cómo se lee un teclado matricial (concepto clave): 4 filas + 4 columnas = 8 pines para 16 teclas. El programa pone una fila en LOW y lee las columnas: si alguna columna lee LOW, la tecla de (fila, columna) está presionada. Repite para las 4 filas (barrido). La librería Keypad hace esto por ti, pero entender el barrido te sirve para matrices de LEDs y más.

```
Lógica: clave correcta (ej. "1234") -> desactiva.  
3 intentos fallidos -> bloqueo 1 minuto + alarma sonora.  
Sensor PIR o magnético en puerta -> si armada y se abre:  
10 s para poner la clave o suena la sirena.
```

Componentes: Arduino, teclado 4x4 (\$40), buzzer, LED rojo/verde, sensor magnético de puerta (\$30), caja. Es un sistema de seguridad real simplificado: los comerciales funcionan igual (barrido de teclado, estados, temporizadores).

Proyecto 12: semáforo con 555s en cascada

Tres 555 en modo monoestable encadenados: el primero da 5 s (verde), al terminar dispara el segundo (2 s, amarillo), que dispara el tercero (5 s, rojo), que redispara el primero. Semáforo completo SIN microcontrolador: pura electrónica discreta.

```
555_A (verde, 5 s) -> fin dispara 555_B.  
555_B (amarillo, 2 s) -> fin dispara 555_C.  
555_C (rojo, 5 s) -> fin redispara 555_A.  
Cada 555 maneja su LED de potencia (con transistor si  
son LEDs de 1 W o tiras).
```

Cálculos: $t = 1.1 \times R \times C$. Para 5 s: $R = 45.5k$ (47k comercial), $C = 100 \mu F$. Para 2 s: $R = 18k$, $C = 100 \mu F$. El disparo en cascada: la salida de cada 555 (que cae a LOW al terminar) dispara el trigger del siguiente (activo en LOW): encadenamiento natural.

Valor didáctico: ves máquinas de estados implementadas en hardware. El mismo concepto en un microcontrolador es un switch-case; aquí son chips. Cuando programes máquinas de estados en el futuro, recordarás estos 555.

Proyecto 13: medidor de batería con comparadores

Cuatro comparadores LM339 monitorean una batería de 12 V: LEDs que indican 25%, 50%, 75%, 100% de carga. Sin microcontrolador.

```
Divisor de la batería a cada comparador (V+).  
Referencias con divisores a cada V-:  
100%: 12.6 V, 75%: 12.0 V, 50%: 11.6 V, 25%: 11.0 V  
(valores típicos de plomo-ácido en reposo).  
Cada comparador enciende su LED si  $V_{bat} > umbral$ .
```

Es el "medidor de gasolina" de tu batería: lo dejas conectado al sistema solar o al robot y sabes la carga de un vistazo. Calibra los umbrales con potenciómetros (multi-vuelta para precisión) midiendo con tu multímetro.

Los tres proyectos usan todo lo del libro: Ley de Ohm (LEDs), 555 (tiempos), comparadores (umbrales), transistores (potencia), Arduino (lógica), metodología (bloques). Son tu examen práctico final: si los armas los tres, el libro cumplió su promesa.

Práctica final extra

Ejercicio 25

En el teclado matricial, ¿por qué se usa barrido en lugar de un pin por tecla? Calcula el ahorro para 16 teclas.

SOLUCIÓN: Un pin por tecla = 16 pines (más de los digitales libres del Uno). Matricial 4x4 = 8 pines. Ahorro: 50% de pines. Para 64 teclas (8x8): 16 pines vs 64: 75% de ahorro. El barrido intercambia tiempo de CPU (microsegundos) por pines: negocio redondo.

Ejercicio 26

En el semáforo con 555s, ¿qué pasa si el capacitor de 100 uF tiene +20% de tolerancia? ¿Cómo lo corriges?

SOLUCIÓN: El tiempo sube 20% (6 s en vez de 5 s). Si importa la precisión: usa potenciómetro en serie con R para calibrar cada etapa midiendo con cronómetro, o capacitores de mejor tolerancia. Para un semáforo didáctico, 6 s en vez de 5 s no importa; para un proceso industrial, sí.

Ejercicio 27

Calibra los umbrales del medidor de batería: explica el procedimiento con multímetro y potenciómetros.

SOLUCIÓN: 1) Conecta una fuente variable (o la batería con cargador) al divisor de entrada. 2) Ajusta la fuente al voltaje umbral (ej. 12.6 V). 3) Gira el potenciómetro de ese comparador hasta que su LED apenas encienda. 4) Repite para cada umbral de mayor a menor. 5) Verifica barriendo el voltaje completo: los LEDs deben encender en orden.

Ejercicio 28

Compara implementar el semáforo con 555s vs con Arduino: 3 ventajas de cada uno.

SOLUCIÓN: 555s: no necesita programa (funciona al energizar), inmune a bugs de software, didáctico (ves la máquina de estados en hardware). Arduino: cambiar tiempos es una línea (no recalcular RC), puedes agregar modo nocturno/parpadeo fácil, menos componentes, más barato en volumen.

Ejercicio 29

Tu alarma con teclado a veces registra la tecla dos veces. Aplica lo aprendido en el libro para corregirlo.

SOLUCIÓN: Es rebote mecánico del teclado. Soluciones: 1) Software: la librería Keypad tiene debounce; o ignora cambios dentro de 50 ms. 2) Hardware: RC + schmitt en las líneas (raro en teclados). 3) Lógica: registra la tecla al SOLTAR, no al presionar (el rebote ocurre al presionar). La 1 o 3 resuelven el 99%.

Ejercicio 30

Con los 13 proyectos del libro, elige 3 y ordénalos como tu portafolio. Justifica el orden.

SOLUCIÓN: (Ejemplo.) 1) Estación de temperatura (muestra sensores + Arduino + código limpio). 2) Seguidor de línea (muestra control, potencia, integración mecánica). 3) Alarma con teclado (muestra sistema completo con interfaz de usuario). Orden: de simple a complejo, cada uno demuestra una habilidad distinta, y los tres juntos dicen "puedo llevar un producto de la idea a la caja".

Ampliación: de hobby a negocio - emprender con electrónica

Qué puedes vender sabiendo electrónica

1. SERVICIOS: reparación de aparatos (mercado eterno), instalaciones (automatización de casas/negocios), mantenimiento industrial.
2. PRODUCTOS: dispositivos que resuelven un problema local (control de riego para invernaderos, alarmas para negocios, medidores).
3. EDUCACIÓN: cursos, talleres, kits didácticos (tu academia es el ejemplo: enseñar lo que sabes).
4. PROTOTIPADO: ayudar a otros a llevar su idea a prototipo funcional.

Empieza por servicios (ingreso inmediato, sin inventario), y usa las ganancias para financiar productos (margen mayor, ingreso escalable).

El primer cliente: cómo conseguirlo

- PORTAFOLIO visible (fotos, videos cortos de tus proyectos funcionando).
- RESUELVE un problema real de alguien que conoces (el riego del tío, la alarma del negocio del vecino): gratis o barato la primera vez, testimonial a cambio.
- REDES: publica tu trabajo regularmente (el proceso, no solo el resultado: a la gente le encanta ver cómo se hace).

- PRECIOS claros desde el inicio (aunque sean bajos): el "gratis" se vuelve costumbre difícil de romper.

Costos reales de un producto electrónico

COSTO UNITARIO = componentes + PCB + caja + empaque
+ mano de obra de armado y pruebas.
PRECIO = (costo unitario x 2.5 a 4) según el mercado.
El multiplicador cubre: fallas/garantías, tu tiempo de soporte, impuestos, y tu ganancia.

Ejemplo: un controlador de riego te cuesta \$400 armarlo. Precio de venta: \$1,000-1,600. Si el cliente compara con uno comercial de \$800, tu argumento es: personalización, instalación incluida, soporte local y garantía real. No compitas por precio contra China: compite por servicio y adaptación.

Garantías, soporte y reputación

- Garantía escrita simple (6-12 meses contra defectos): te obliga a diseñar bien y genera confianza.
- Manual de usuario siempre (aunque sea una página).
- Soporte post-venta: las primeras semanas definen tu reputación. Responde rápido.
- Un cliente feliz te trae 3 más; uno enojado te quita 10 (y lo publica).

Escalar: del taller al pequeño negocio

Señales de que debes escalar: no te das abasto, rechazas trabajo, o un producto se vende solo. Pasos:

1. Estandariza (el mismo diseño, la misma caja, el mismo manual).
2. Documenta el armado (para que otra persona pueda armarlo).
3. Terceriza lo repetitivo (ensamble, PCBs ya soldados por el fabricante).
4. Formaliza (facturación, impuestos: asesórate con un contador).

No escales antes de tiempo: la estructura cuesta. Escala cuando el trabajo te obligue.

La ética del emprendedor técnico

- No vendas lo que no entiendes (si no sabes por qué funciona, no sabes cuándo fallará).

- No prometas plazos que no controlas (los componentes tardan en llegar: avisa).
- Cobra lo justo: ni regales tu trabajo (arruinas el mercado para todos) ni abuses (el cliente se va).
- Comparte conocimiento: enseñar (como hace Lucas EGA Academy) construye la comunidad que luego te compra, te recomienda y te contrata.

Tu mejor publicidad es un cliente que presume tu trabajo. Construye para eso.

Práctica final de emprendimiento

Ejercicio 31

Calcula el precio de venta de un sistema de alarma (como el Proyecto 11) si te cuesta \$650 armarlo y quieres margen x3. ¿Qué incluirías en el precio además del equipo?

SOLUCIÓN: Precio: \$1,950. Incluye: instalación, manual de usuario, 1 año de garantía, una visita de ajuste al mes, y soporte por mensaje. El cliente no compra componentes: compra tranquilidad. Detalla todo en la cotización para que el precio se entienda.

Ejercicio 32

Un cliente quiere 100 unidades de tu medidor de batería. Lista 5 cosas que debes resolver antes de aceptar.

SOLUCIÓN: 1) Diseño final en PCB (no a mano). 2) Proveedor de componentes en volumen (precio y tiempos). 3) Proceso de pruebas por unidad (jig). 4) Caja y empaque definidos. 5) Contrato: precio, tiempos de entrega, garantía, forma de pago (anticipo del 50%). Sin esto, 100 unidades son 100 problemas.

Ejercicio 33

Da 3 argumentos para convencer a un negocio local de automatizar su riego contigo en vez de comprar un temporizador comercial.

SOLUCIÓN: 1) Personalización: el tuyo mide humedad real del suelo (riega cuando hace falta, no por horario ciego). 2) Soporte local: si falla, vienes tú; el comercial se tira y se compra otro. 3) Expansión: mañana agregas sensor de lluvia o control por celular sin cambiar todo. Vendes adaptación, no un aparato.

Ejercicio 34

¿Por qué empezar por servicios y no por productos? Da 2 razones económicas.

SOLUCIÓN: 1) Sin inventario: no inviertes en stock que quizá no se venda. 2) Flujo de caja inmediato: cobras al entregar el servicio; un producto tarda en diseñarse, probarse y venderse. Los servicios financian los productos.

Ejercicio 35

Escribe tu anuncio de 3 líneas para ofrecer reparación de aparatos electrónicos en tu colonia.

SOLUCIÓN: (Ejemplo.) "Reparo tus aparatos electrónicos: pantallas, bocinas, consolas y más. Diagnóstico honesto: si no conviene reparar, te lo digo. Garantía de 3 meses por escrito." Corto, honesto, con garantía: eso vende.

Ejercicio 36

Define tu meta a 1 año con la electrónica en una frase medible, y 3 hitos trimestrales.

SOLUCIÓN: (Ejemplo.) Meta: "Generar \$5,000 MXN mensuales con servicios y productos de electrónica." Hitos: Q1: portafolio con 5 proyectos + primeros 3 clientes de reparación. Q2: primer producto propio vendiendo 10 unidades. Q3: taller/tienda en línea funcionando. Q4: \$5,000/mes recurrentes. Medible, con fecha, por escrito.

Ampliación: normas, seguridad eléctrica y el marco legal

Por qué existen las normas (NOM, IEC, UL)

Las normas eléctricas existen porque la electricidad mata e incendia: son el conocimiento acumulado de accidentes. En México, las NOM (Normas Oficiales Mexicanas) regulan instalaciones (NOM-001-SEDE), equipos y eficiencia. Internacionalmente: IEC (estándares), UL (certificación de seguridad, USA), CE (Europa).

Para ti como técnico/maker:

- Si instalas algo en casa de un cliente, debe cumplir NOM-001-SEDE (calibres, protecciones, tierra).
- Si vendes un producto eléctrico, necesita certificación (NOM/UL según el mercado): sin ella no entra a tiendas formales.

- Si trabajas en industria, te exigirán conocer las normas aplicables.

No necesitas memorizarlas hoy, pero sí saber que existen y dónde buscarlas.

Seguridad eléctrica: niveles de riesgo

VOLTAJE/CONTEXTO	RIESGO	PRECAUCIÓN
< 24 V DC	bajo	Casi seguro al tacto
24-50 V	moderado	Evita manos mojadas
110/220 V AC	ALTO	Personal capacitado
> 1000 V	extremo	Equipo y protocolos
Capacitores cargados	ALTO	Descarga antes de tocar
Baterías de litio	incendio	Carga supervisada

La corriente que mata: ~30 mA por el corazón pueden ser fatales. Una fuente de 12 V no te electrocuta (tu piel tiene demasiada resistencia), pero 110 V sí. El peligro no es el voltaje solo: es voltaje + camino por el cuerpo + tiempo.

Reglas de oro del trabajo con voltaje peligroso

1. UNA MANO en la bolsa: trabaja con una sola mano cuando haya voltaje peligroso (evita camino por el corazón).
2. DESENERGIZA y VERIFICA: apaga, bloquea, y mide 0 V antes de tocar (el "candado y etiqueta" industrial).
3. COMPAÑERO: nunca trabajes solo con alta tensión.
4. CALZADO y piso seco: el aislamiento empieza por los pies.
5. HERRAMIENTA aislada (1000 V certificada) para lo eléctrico.
6. NO confíes en el interruptor: verifica con el multímetro (los interruptores fallan).
7. RESPETA las distancias y no improvises protecciones.

Primeros auxilios eléctricos (nociones)

- NO toques a la víctima si sigue energizada: corta la energía primero o apártala con material aislante (madera seca, plástico).
- Llama a emergencias de inmediato.
- Si no respira, RCP si estás capacitado (toma un curso: vale más que cualquier herramienta).

- Las quemaduras eléctricas se atienden como quemaduras graves: al hospital siempre (el daño interno puede ser mayor que el visible).

Responsabilidad legal del técnico

Si cobras por un trabajo eléctrico, eres responsable de su seguridad: una instalación mal hecha que cause un incendio o una electrocución tiene consecuencias legales además de morales. Por eso:

- Documenta lo que hiciste (fotos, diagramas, materiales).
- Usa materiales certificados (no clones dudosos en instalaciones).
- No firmes ni garantices lo que no verificaste.
- Asegúrate (un seguro de responsabilidad civil es barato para un técnico).

El camino profesional: certificaciones

Si quieres vivir de esto:

- CONOCER: certificación de competencias laborales en México (estándares de instalaciones eléctricas).
- Cursos de electricidad industrial, automatización (PLC), o electrónica.
- La ingeniería (carrera) abre el diseño y la firma de proyectos.
- Tu portafolio + certificaciones + reputación = carrera sólida.

La electrónica que aprendiste en este libro es la base; la formalización (normas, certificaciones) es lo que la convierte en profesión.

Práctica final de seguridad

Ejercicio 37

Lista en orden los pasos para cambiar un contacto de pared de forma segura.

SOLUCIÓN: 1) Baja la pastilla del circuito. 2) Verifica 0 V con multímetro o probador en el contacto. 3) Avisa a todos que no la suban. 4) Cambia el contacto (foto del antes para recordar el cableado). 5) Verifica conexiones firmes. 6) Sube la pastilla y prueba. 7) Si algo huele mal o chispea, baja y revisa.

Ejercicio 38

Explica por qué "el interruptor estaba apagado" no es garantía de seguridad.

SOLUCIÓN: Porque el interruptor puede estar mal cableado (cortando el neutro en vez de la fase: el aparato "apagado" sigue energizado), puede fallar internamente, o alguien puede subirlo mientras trabajas. Solo el multímetro mostrando 0 V es garantía. Verificar, siempre verificar.

Ejercicio 39

Tu cliente quiere que instales su regadera eléctrica "rápido y barato", sin tierra física porque "así la tenía antes". ¿Qué haces?

SOLUCIÓN: Te niegas a instalarla sin tierra y sin las protecciones de norma: explicas el riesgo (electrocución en la regadera: mortal), cotizas la instalación correcta (tierra + diferencial + circuito dedicado), y si insiste, no haces el trabajo. Ningún dinero vale una vida ni tu responsabilidad legal. La ética profesional se demuestra cuando cuesta.

Ejercicio 40

¿Por qué las herramientas para electricista dicen "1000 V" aunque trabajas a 110 V?

SOLUCIÓN: Porque el aislamiento se certifica con margen: una herramienta de 1000 V te protege con seguridad a 110/220 V incluso con picos y transitorios. Es el mismo principio del fusible y del voltaje de capacitores: el margen es la seguridad.

Ejercicio 41

Explica la diferencia entre un técnico que "sabe electrónica" y uno "profesional", según esta sección.

SOLUCIÓN: El profesional además sabe normas, documenta, usa materiales certificados, cobra lo justo, garantiza su trabajo, se asegura, y se niega a hacer trabajos inseguros. El conocimiento técnico es el 50%; la otra mitad es responsabilidad, ética y formalidad.

Ejercicio 42

Escribe tu compromiso personal de seguridad eléctrica en 5 líneas.

SOLUCIÓN: (Ejemplo.) "1) Nunca trabajo con 110/220 V solo ni con prisas. 2) Siempre verifico 0 V con el multímetro antes de tocar. 3) Nunca elimino protecciones (tierras, fusibles) por comodidad. 4) Si algo supera mi capacidad, llamo a quien sí la tenga. 5) Mi familia y mis clientes confían en mí: no les fallo por un atajo."

Ampliación: glosario esencial del técnico en electrónica

TÉRMINOS QUE DEBES DOMINAR (orden alfabético):

- ACTUADOR: dispositivo que convierte señal eléctrica en acción física (motor, relevador, buzzer, servo).
- AISLAMIENTO GALVÁNICO: separación eléctrica entre dos circuitos (transformador, optoacoplador): no comparten conductor.
- AMPERIO (A): unidad de corriente. $1\text{ A} = 6.24 \times 10^{18}$ electrones por segundo.
- ÁNODO: terminal positivo de un diodo/LED (por donde ENTRA la corriente convencional).
- ANCHO DE BANDA: rango de frecuencias que un circuito maneja bien.
- ATERRIZAR (GND): conectar a la referencia de 0 V del circuito (o a tierra física).
- BIPOLAR: transistor de unión (NPN/PNP): se controla por corriente.
- BUCK: convertidor DC-DC reductor (conmutado, eficiente).
- BUS: conjunto de líneas que comparten varios dispositivos (I2C, SPI, RS485).
- CAPACITANCIA: capacidad de guardar carga (faradios).
- CARGA: lo que consume la energía del circuito (LED, motor, bocina).
- CÁTODO: terminal negativo de un diodo/LED (por donde SALE la corriente).
- CICLO DE TRABAJO: porcentaje del periodo en nivel alto (PWM).
- CORTOCIRCUITO: camino de resistencia casi cero (corriente descontrolada).
- CMOS: tecnología de chips de bajo consumo (sensible a ESD).
- DERIVA (drift): cambio lento de un valor con temperatura o tiempo.
- DIELECTRICO: aislante dentro del capacitor.
- DISIPADOR: pieza metálica que saca el calor de un componente.
- DOPAJE: impurezas controladas en el silicio (crean semiconductores N y P).
- ESD: descarga electrostática (mata chips CMOS).

- FARADIO (F): unidad de capacitancia.
- FLYBACK: pico de voltaje al interrumpir una bobina; también el diodo que lo absorbe.
- FRECUENCIA: ciclos por segundo (Hz).
- FUENTE: lo que entrega energía al circuito.
- GANANCIA: cuánto amplifica un circuito (veces o dB).
- HERTZ (Hz): unidad de frecuencia.
- HISTÉRESIS: dos umbrales distintos para subir y bajar (evita vibración).
- IMPEDANCIA: oposición total en AC (resistencia + reactancia).
- INDUCTANCIA: propiedad de oponerse a cambios de corriente (henrios).
- ISR: rutina de interrupción (corta, rápida).
- LCK: Ley de Corrientes de Kirchhoff (lo que entra = lo que sale).
- LVK: Ley de Voltajes de Kirchhoff (las caídas suman la fuente).
- MOSFET: transistor de efecto de campo (se controla por voltaje).
- NODO: punto de unión de dos o más componentes.
- OHMIO: unidad de resistencia.
- OSCILADOR: circuito que genera señal periódica solo.
- POLARIZACIÓN: voltajes/corrientes DC que ponen al transistor en su punto de trabajo.
- POTENCIA: energía por segundo (watts).
- PULL-UP/DOWN: resistencia que fija un nivel lógico por defecto.
- PWM: modulación por ancho de pulso (control de potencia promedio).
- RAMA: camino de corriente entre dos nodos.
- REACTANCIA: oposición de capacitores/inductores en AC (depende de frecuencia).
- RECTIFICAR: convertir AC en DC (diodos).
- REGULADOR: mantiene el voltaje fijo ante cambios.
- RESISTENCIA: oposición al flujo de corriente (ohmios).
- RIZADO: variación residual sobre la DC (de la rectificación).
- SATURACIÓN: transistor totalmente encendido (interruptor cerrado).
- SEMICONDUCTOR: material intermedio (silicio): base de diodos y transistores.

- SENSOR: convierte fenómeno físico en señal eléctrica.
- SERIE: componentes en un solo camino (misma corriente).
- PARALELO: componentes entre los mismos nodos (mismo voltaje).
- TIERRA (GND): referencia de 0 V.
- TRANSITORIO: comportamiento temporal antes de estabilizarse.
- VALOR EFICAZ (RMS): el "equivalente DC" de una señal AC.
- VOLTIO (V): unidad de voltaje (energía por carga).
- VATIO (W): unidad de potencia.
- ZENER: diodo de referencia de voltaje (ruptura controlada).

Si puedes definir los 60 sin mirar, tu vocabulario técnico está completo para el nivel de este libro.

Ampliación: tablas de referencia rápida del taller

Imprime estas tablas y pégalas en la pared de tu taller. Son tu "acordeón" permanente.

Código de colores de resistencias (4 bandas)

COLOR	1a BANDA	2a BANDA	MULTIPLICADOR	TOLERANCIA
Negro	0	0	x1	-
Marrón	1	1	x10	+ -1%
Rojo	2	2	x100	+ -2%
Naranja	3	3	x1,000	-
Amarillo	4	4	x10,000	-
Verde	5	5	x100,000	+ -0.5%
Azul	6	6	x1,000,000	+ -0.25%
Violeta	7	7	x10,000,000	+ -0.1%
Gris	8	8	-	+ -0.05%
Blanco	9	9	-	-
Dorado	-	-	x0.1	+ -5%
Plateado	-	-	x0.01	+ -10%
Sin banda	-	-	-	+ -20%

Ejemplo: amarillo-violeta-rojo-dorado = $47 \times 100 = 4.7k \pm 5\%$.

Códigos de capacitores cerámicos

CÓDIGO	VALOR	CÓDIGO	VALOR
101	100 pF	473	47 nF
102	1 nF	474	470 nF
103	10 nF	105	1 uF
104	100 nF	106	10 uF
222	2.2 nF	225	2.2 uF
223	22 nF	226	22 uF

Serie E12 (valores comerciales por década)

1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
Multiplica por 1, 10, 100, 1k, 10k, 100k, 1M.

Pinouts que debes memorizar

2N2222 (visto de frente, cara plana): E-B-C.
BC547 (visto de frente, cara plana): C-B-E.
7805 (visto de frente): IN-GND-OUT.
LM358 (DIP-8, muesca arriba, izq a der): OUT1, IN1-,
IN1+, GND, IN2+, IN2-, OUT2, VCC.
NE555 (DIP-8, muesca arriba): GND, TRIG, OUT, RESET,
CTRL, THRES, DISCH, VCC.
74HC00 (DIP-14): pin 14 VCC, pin 7 GND.

Calibres AWG y corriente aproximada (cobre, tramos cortos)

AWG	DIÁMETRO	CORRIENTE SEGURA
24	0.51 mm	0.5 A
22	0.64 mm	1 A
20	0.81 mm	1.5 A
18	1.02 mm	2.5 A
16	1.29 mm	4 A
14	1.63 mm	6 A
12	2.05 mm	10 A

Voltajes lógicos (resumen)

FAMILIA	VIL(max)	VIH(min)	VOL(max)	VOH(min)
TTL	0.8 V	2.0 V	0.5 V	2.7 V
CMOS 5V	1.5 V	3.5 V	0.5 V	4.4 V
CMOS 3.3V	0.8 V	2.0 V	0.4 V	2.9 V

Constantes y fórmulas de bolsillo

Ley de Ohm: $V = I \times R$.
Potencia: $P = V \times I = I^2 \times R = V^2 / R$.
Divisor: $V_{sal} = V \times R2 / (R1 + R2)$.
Serie: $R_t = R1 + R2$. Paralelo: $1/R_t = 1/R1 + 1/R2$.
Capacitores serie: $1/C_t = 1/C1 + 1/C2$.
Capacitores paralelo: $C_t = C1 + C2$.
555 astable: $f = 1.44 / ((R1 + 2 \times R2) \times C)$.
555 monoestable: $t = 1.1 \times R \times C$.
Tau RC: $t = R \times C$. Tau RL: $t = L/R$.
Resonancia: $f = 1 / (2 \times \pi \times \sqrt{L \times C})$.
Reactancia C: $X_c = 1 / (2 \times \pi \times f \times C)$.
Reactancia L: $X_l = 2 \times \pi \times f \times L$.
Rizado: $V_{pp} = I / (f \times C)$, $f = 120 \text{ Hz}$ (onda completa).
LED: $R = (V_{fuente} - V_{led}) / I_{led}$.

Prefijos del SI

pico (p) 10^{-12} | nano (n) 10^{-9} | micro (u) 10^{-6} |
mili (m) 10^{-3} | kilo (k) 10^3 | mega (M) 10^6 | giga (G) 10^9 .

Con estas tablas y lo aprendido en el libro, tu taller está completo. ¡A construir!

EXAMEN FINAL

Instrucciones: responde las 50 preguntas. Las de opción múltiple tienen una sola respuesta correcta. Las de verdadero/falso requieren justificación mental. Las abiertas requieren cálculo con procedimiento. Al final están todas las respuestas explicadas. Se aprueba con 35 o más correctas. ¡Suerte!

Preguntas

PREGUNTA 1: ¿Qué es un electrón libre?

a) Un electrón del núcleo del átomo. b) Un electrón de valencia que puede moverse entre átomos. c) Un protón con carga negativa. d) Un electrón que viaja a la velocidad de la luz.

PREGUNTA 2: ¿Cuál de estos materiales es semiconductor?

a) Cobre. b) Plástico. c) Silicio dopado. d) Vidrio.

PREGUNTA 3: Verdadero o falso: el voltaje se puede medir con una sola punta del multímetro. Justifica.

PREGUNTA 4: ¿Qué tipo de corriente entregan las pilas?

a) Corriente alterna. b) Corriente directa. c) Corriente pulsante. d) Corriente trifásica.

PREGUNTA 5: Calcula el periodo de una señal de 440 Hz y exprésalo en milisegundos.

PREGUNTA 6: ¿Cuál es el valor pico de una señal de 110 V RMS?

PREGUNTA 7: Verdadero o falso: en un circuito abierto no hay voltaje en ningún punto. Justifica.

PREGUNTA 8: Convierte 0.047 A a miliamperes y 3300 ohms a kilohms.

PREGUNTA 9: Una resistencia de 220 ohms tiene 5 V entre sus terminales. Calcula la corriente y la potencia. ¿Qué potencia nominal eliges?

PREGUNTA 10: Verdadero o falso: para medir corriente, el multímetro se conecta en paralelo con la fuente. Justifica.

PREGUNTA 11: ¿Qué corriente circula por una resistencia de 4.7 kohm conectada a 9 V? Usa el par compatible mA-kohm.

PREGUNTA 12: Diseña la resistencia para un LED rojo (2 V) con fuente de 12 V y corriente de 15 mA. Da valor comercial y potencia nominal.

PREGUNTA 13: Un divisor de voltaje con $R_1 = 30 \text{ kohm}$, $R_2 = 10 \text{ kohm}$ y fuente de 12 V. ¿Voltaje de salida y corriente del divisor?

PREGUNTA 14: Verdadero o falso: una resistencia de $1/4 \text{ W}$ puede disipar 0.5 W si es por poco tiempo. Justifica.

PREGUNTA 15: Lee la resistencia: Naranja - Naranja - Café - Dorado.

PREGUNTA 16: Un capacitor cerámico dice "224". Exprésalo en nF y uF.

PREGUNTA 17: Calcula la constante de tiempo de $R = 100 \text{ kohm}$ y $C = 10 \text{ uF}$, y el tiempo de carga práctica.

PREGUNTA 18: Verdadero o falso: un capacitor electrolítico se puede conectar sin respetar la polaridad si el voltaje es bajo. Justifica.

PREGUNTA 19: ¿Qué hace un inductor cuando se interrumpe bruscamente la corriente que lo atraviesa?

PREGUNTA 20: ¿Para qué sirve el diodo flyback y dónde se conecta?

PREGUNTA 21: Un transistor NPN controla una carga de 150 mA desde 5 V. Calcula la resistencia de base con la regla $I_c/20$.

PREGUNTA 22: Verdadero o falso: un MOSFET se controla con corriente de compuerta como el BJT con corriente de base. Justifica.

PREGUNTA 23: ¿Qué pasa si conectas un LED directamente a 9 V sin resistencia?

PREGUNTA 24: En un protoboard, ¿están conectados los orificios a1 y a5? ¿Y a1 con b1? Explica.

PREGUNTA 25: Describe los pasos para medir la corriente de un circuito con el multímetro.

PREGUNTA 26: Tu soldadura se ve opaca y en bola, y falla al mover el cable. ¿Qué tipo de falla es y cómo la corriges?

PREGUNTA 27: Conectas un circuito a la fuente de laboratorio y entra en limitación de corriente inmediatamente. ¿Qué significa y qué haces?

PREGUNTA 28: Tres resistencias en serie: 2 kohm , 3 kohm y 5 kohm con fuente de 10 V. Calcula corriente total y voltaje en cada una. Verifica con LVK.

PREGUNTA 29: Dos resistencias en paralelo: 12 kohm y 4 kohm con 6 V. Calcula corriente total y resistencia equivalente. Verifica con LCK.

PREGUNTA 30: Circuito mixto: 20 V, $R_1 = 5 \text{ kohm}$ en serie con ($R_2 = 10 \text{ kohm}$ en paralelo con $R_3 = 10 \text{ kohm}$). Calcula todo: R_{total} , I_{total} , voltajes y corrientes por rama. Verifica con potencias.

PREGUNTA 31: En un nodo entran 200 mA y por una rama salen 130 mA. ¿Cuánto sale por la otra rama? ¿Qué ley aplicas?

PREGUNTA 32: Verdadero o falso: agregar una resistencia en paralelo aumenta la resistencia total del circuito. Justifica.

PREGUNTA 33: Convierte el binario 111010 a decimal.

PREGUNTA 34: Convierte 200 a binario de 8 bits.

PREGUNTA 35: Escribe la tabla de verdad de $S = (A \text{ NAND } B)$. ¿En qué caso da 0?

PREGUNTA 36: Un circuito da salida 1 solo cuando las dos entradas son diferentes. ¿Qué compuerta es?

PREGUNTA 37: Verdadero o falso: se pueden dejar entradas de un chip 74HC sin conectar si no se usan. Justifica.

PREGUNTA 38: Diseña con compuertas: una bomba de agua enciende si (el tinaco está vacío Y es de día) O (hay orden manual).

PREGUNTA 39: ¿Para qué sirve el capacitor de 100 nF junto al chip lógico? ¿Dónde se conecta?

PREGUNTA 40: analogRead devuelve 300 con referencia de 5 V. ¿Qué voltaje hay en el pin?

PREGUNTA 41: Calcula la resistencia para un LED verde (2.1 V) en un pin de Arduino (5 V) con 12 mA. ¿El pin lo aguanta?

PREGUNTA 42: Verdadero o falso: puedes conectar un motor DC de 2 A directo a un pin del Arduino si usas PWM. Justifica.

PREGUNTA 43: Explica por qué el motor con fuente externa y el Arduino deben compartir tierra (GND).

PREGUNTA 44: Escribe un programa que encienda un LED en el pin 13 cuando un botón en el pin 2 (con pull-up interno) esté pulsado.

PREGUNTA 45: El Monitor Serie muestra siempre 0 en A0 aunque el sensor está conectado. Da dos causas posibles y cómo diagnosticarlas.

PREGUNTA 46: En el proyecto de la fuente regulada, el 7805 alimenta una carga de 400 mA desde 12 V. Calcula la potencia disipada y explica si necesita disipador.

PREGUNTA 47: Necesitas filtrar una fuente que entrega 500 mA con rizado máximo de 1.5 V pico a pico (rectificación de onda completa, 120 Hz). Calcula el capacitor mínimo.

PREGUNTA 48: Verdadero o falso: en un divisor de voltaje con carga que consume corriente comparable a la del divisor, el voltaje de salida se mantiene igual que en vacío. Justifica.

PREGUNTA 49: Describe la metodología de 6 pasos para desarrollar un proyecto electrónico y explica por qué se prueba por bloques.

PREGUNTA 50: Un LED azul (3.3 V, 20 mA) se alimentará con una fuente de 9 V a través de un transistor NPN controlado por Arduino. Diseña el circuito completo: resistencia del LED, resistencia de base, y explica dónde va cada componente.

Respuestas y soluciones

RESPUESTA 1: b) Un electrón de valencia que puede moverse entre átomos. Los electrones libres son los de las capas externas débilmente atraídos por el núcleo; su movimiento ordenado ES la corriente eléctrica. Los del núcleo están fuertemente ligados y no participan.

RESPUESTA 2: c) Silicio dopado. El cobre es conductor, el plástico y el vidrio son aislantes. El silicio (dopado con impurezas tipo N o P) es el semiconductor por excelencia: su conductividad se puede controlar.

RESPUESTA 3: FALSO. El voltaje es la diferencia de potencial ENTRE DOS PUNTOS; con una sola punta no hay comparación posible. Siempre se usan las dos puntas: una en cada punto a comparar (típicamente una en tierra como referencia).

RESPUESTA 4: b) Corriente directa. Las pilas producen voltaje constante por reacción química, así que los electrones fluyen siempre en la misma dirección.

RESPUESTA 5: $T = 1/f = 1/440 = 0.002273 \text{ s} = 2.27 \text{ ms}$. (La nota LA musical tiene un periodo de poco más de 2 milisegundos.)

RESPUESTA 6: $V_{pico} = V_{rms} \times 1.414 = 110 \times 1.414 = 155.5 \text{ V}$. El pico de la onda doméstica llega a ~155 V, por eso el aislamiento tiene amplio margen.

RESPUESTA 7: FALSO. En un circuito abierto no hay CORRIENTE, pero sí puede haber voltaje: la fuente sigue aplicando su diferencia de potencial entre sus terminales aunque no fluya nada (como la presión en una tubería con la válvula cerrada).

RESPUESTA 8: $0.047 \text{ A} \times 1000 = 47 \text{ mA}$. $3300 \text{ ohms} / 1000 = 3.3 \text{ kohm}$.

RESPUESTA 9: $I = V/R = 5/220 = 22.7 \text{ mA}$. $P = V \times I = 5 \times 0.0227 = 0.114 \text{ W} = 114 \text{ mW}$. Nominal: 1/4 W (0.25 W), más del doble de 0.114. Correcto.

RESPUESTA 10: FALSO. El amperímetro tiene resistencia casi cero; en paralelo con la fuente equivale a un cortocircuito: quema el fusible del multímetro y puede dañar la fuente. La corriente se mide EN SERIE, abriendo el circuito e intercalando el medidor.

RESPUESTA 11: $I(\text{mA}) = V / R(\text{kohm}) = 9 / 4.7 = 1.91 \text{ mA}$. (Par compatible: mA con kohm da directo.)

RESPUESTA 12: $V_R = 12 - 2 = 10 \text{ V}$. $R = 10/15 \text{ mA} = 0.667 \text{ kohm} = 667 \text{ ohms}$. Comercial: 680 ohms. $I_{real} = 10/0.68 = 14.7 \text{ mA}$. $P = 10 \times 0.0147 = 0.147 \text{ W}$. Nominal: 1/2 W (el doble de 0.147 es 0.294).

RESPUESTA 13: $V_{sal} = 12 \times 10/(30+10) = 12 \times 0.25 = 3 \text{ V}$. $I_{div} = 12/40 \text{ kohm} = 0.3 \text{ mA}$.

RESPUESTA 14: FALSO. La potencia nominal es el máximo continuo seguro; excederla calienta la resistencia, cambia su valor, la decolora y eventualmente la quema. "Por poco tiempo" sigue siendo sobrecarga: el daño es acumulativo. Diseña siempre con margen del doble.

RESPUESTA 15: Naranja(3) - Naranja(3) - Café(x10) - Dorado(5%): $33 \times 10 = 330 \text{ ohms}$, tolerancia 5 por ciento.

RESPUESTA 16: "224" = $22 \times 10,000 \text{ pF} = 220,000 \text{ pF} = 220 \text{ nF} = 0.22 \text{ uF}$.

RESPUESTA 17: $\tau = R \times C = 100,000 \times 0.00001 = 1 \text{ segundo}$. Carga práctica: $5 \times \tau = 5 \text{ segundos}$ (99.3 por ciento).

RESPUESTA 18: FALSO. El electrolítico tiene polaridad por construcción (capa de óxido como dieléctrico); conectado al revés la capa se destruye, se calienta, se hincha y puede reventar, sin importar que el voltaje sea bajo. La polaridad se respeta SIEMPRE.

RESPUESTA 19: El campo magnético colapsa y genera un pico de voltaje (fuerza contraelectromotriz) de polaridad opuesta, que puede ser mucho mayor que el voltaje de la fuente. Por eso las bobinas llevan diodo flyback de protección.

RESPUESTA 20: Absorbe el pico de voltaje que genera una bobina (relevador, motor) al apagarse. Se conecta en paralelo con la bobina, en inversa durante operación normal (cátodo al positivo): solo conduce durante el pico, dándole un camino seguro.

RESPUESTA 21: $I_b = 150/20 = 7.5 \text{ mA}$. $R_b = (5-0.7)/7.5 \text{ mA} = 4.3/7.5 = 0.573 \text{ kohm} = 573 \text{ ohms}$. Comercial: 560 ohms.

RESPUESTA 22: FALSO. El MOSFET se controla por VOLTAJE en la compuerta (impedancia de megaohms, casi no consume corriente); el BJT se controla por CORRIENTE de base. Por eso el MOSFET es más fácil de manejar desde un microcontrolador.

RESPUESTA 23: El LED intentará conducir toda la corriente que la pila pueda dar (limitada solo por la resistencia interna): se sobrecalienta y se quema en segundos, y puede dañar la pila. El LED SIEMPRE lleva resistencia limitadora en serie.

RESPUESTA 24: a1 y a5 NO están conectados (columnas distintas: cada columna de 5 orificios es independiente). a1 y b1 SÍ están conectados (misma columna 1, lado a-e). El canal central separa e de f.

RESPUESTA 25: 1) Desconecta la fuente. 2) Punta roja al jack de corriente, negra a COM; selecciona rango alto de DC. 3) Abre el circuito en un punto. 4) Conecta las puntas a cada lado de la apertura (multímetro en serie). 5) Energiza y lee; baja de rango si la lectura es pequeña (desenergizando antes de cambiar jacks).

RESPUESTA 26: Es una soldadura FRÍA: la unión se movió antes de enfriar o no alcanzó temperatura suficiente para que la soldadura mojara las partes. Se corrige retirando la soldadura vieja con malla desoldadora, limpiando la punta, y soldando de nuevo con la técnica correcta: calentar la unión 2-3 segundos, alimentar soldadura a la unión (no al cautín), retirar soldadura, esperar 1 s, retirar cautín, y no mover hasta enfriar.

RESPUESTA 27: Significa CORTOCIRCUITO en tu circuito: la fuente detectó corriente excesiva y su protección limitó la salida para evitar daños. Apaga la salida, desconecta el circuito y busca el corto con el multímetro en modo continuidad (rieles del protoboard, patas dobladas, componente al revés). Nunca subas el límite para "probar si jala".

RESPUESTA 28: $R_{total} = 2+3+5 = 10 \text{ kohm}$. $I = 10/10 = 1 \text{ mA}$ (igual en las tres). $V_1 = 1 \times 2 = 2 \text{ V}$; $V_2 = 3 \text{ V}$; $V_3 = 5 \text{ V}$. LVK: $2+3+5 = 10 \text{ V}$. Correcto.

RESPUESTA 29: $V = 6 \text{ V}$ en ambas. $I_1 = 6/12 = 0.5 \text{ mA}$; $I_2 = 6/4 = 1.5 \text{ mA}$. $I_{total} = 2 \text{ mA}$ (LCK: $0.5+1.5$). $R_{eq} = (12 \times 4)/(12+4) = 48/16 = 3 \text{ kohm}$. Verificación: $6/3 = 2 \text{ mA}$. Correcto.

RESPUESTA 30: $R_{23} = 10||10 = 5 \text{ kohm}$. $R_{total} = 5+5 = 10 \text{ kohm}$. $I_{total} = 20/10 = 2 \text{ mA}$. $V_{R1} = 2 \times 5 = 10 \text{ V}$. $V_{paralelo} = 10 \text{ V}$. $I_{R2} = 10/10 = 1 \text{ mA}$; $I_{R3} = 1 \text{ mA}$ (LCK: $1+1 = 2$). Potencias: $R_1: 100/5k = 20 \text{ mW}$; $R_2: 100/10k = 10 \text{ mW}$; $R_3: 10 \text{ mW}$. Total $40 \text{ mW} = 20 \text{ V} \times 2 \text{ mA}$. Cuadra.

RESPUESTA 31: 70 mA por la otra rama. Ley de Corrientes de Kirchhoff: lo que entra a un nodo es igual a lo que sale ($200 = 130 + 70$).

RESPUESTA 32: FALSO. Agregar caminos en paralelo siempre BAJA la resistencia total (más caminos = menos oposición). La fórmula $1/R_t = \text{suma de inversos}$ lo demuestra: R_t siempre es menor que la menor resistencia individual.

RESPUESTA 33: $111010 = 32+16+8+0+2+0 = 58 \text{ decimal}$.

RESPUESTA 34: $200 = 128+64+8 = 11001000$ (verificación: $128+64+8 = 200$). En 8 bits exactos: 11001000 .

RESPUESTA 35: Tabla NAND: $0,0 \rightarrow 1$; $0,1 \rightarrow 1$; $1,0 \rightarrow 1$; $1,1 \rightarrow 0$. Da 0 SOLO cuando ambas entradas son 1 (es la AND negada).

RESPUESTA 36: La compuerta XOR (OR exclusiva): salida 1 si las entradas son diferentes.

RESPUESTA 37: FALSO. Las entradas flotantes captan ruido y oscilan entre 0 y 1, causando comportamiento errático y mayor consumo. Toda entrada no usada debe conectarse a Vcc o GND (directo o con pull-up/pull-down).

RESPUESTA 38: Bomba = (Vacio AND Dia) OR Manual. Una AND (vacío, día), una OR (salida AND, manual). Chips: $74HC08 + 74HC32$. Sensores: flotador ($1 = \text{vacío}$) y LDR con comparador ($1 = \text{día}$).

RESPUESTA 39: Es el capacitor de DESACOPLO: absorbe los picos de corriente que el chip demanda al conmutar, evitando caídas de voltaje y fallas. Se conecta entre Vcc y GND lo más pegado posible al chip.

RESPUESTA 40: $V = 300 \times 5/1023 = 1.466 \text{ V}$.

RESPUESTA 41: $R = (5-2.1)/12 \text{ mA} = 2.9/12 = 0.2417 \text{ kohm} = 242 \text{ ohms} \rightarrow 240 \text{ o } 270$ comercial. Con 270: $I = 2.9/0.27 = 10.7 \text{ mA} < 20 \text{ mA}$. El pin lo aguanta sin problema.

RESPUESTA 42: FALSO. El pin soporta máximo 40 mA (20 recomendados); 2 A lo destruirían instantáneamente, con PWM o sin PWM (el PWM no reduce la corriente pico). Los motores van con driver externo (MOSFET, puente H): el Arduino da la señal, no la potencia.

RESPUESTA 43: Porque el voltaje es relativo: la señal PWM del pin solo tiene sentido respecto a una referencia común de 0 V. Sin tierra compartida, el MOSFET "ve" un voltaje flotante sin referencia y no conmuta correctamente (o nada). La tierra común es el idioma común de ambos circuitos.

RESPUESTA 44:

```
void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(2, INPUT_PULLUP);
}
void loop() {
  if (digitalRead(2) == LOW) digitalWrite(13, HIGH);
  else digitalWrite(13, LOW);
}
```

(Con pull-up interno: sin pulsar lee HIGH, pulsado lee LOW.)

RESPUESTA 45: Causa 1: el pin A0 está en corto a tierra (cable a GND o columna equivocada). Causa 2: el sensor no está alimentado (sin 5 V) o su salida no llega al pin. Diagnóstico: mide con el multímetro el voltaje en el pin A0 del Arduino; si hay 0 V físicos, el problema es cableado/alimentación; si hay voltaje pero lee 0, revisa que uses el pin correcto en el código.

RESPUESTA 46: $P = (12-5) \times 0.4 = 7 \times 0.4 = 2.8 \text{ W}$ disipados en el 7805. Sí necesita disipador: sin él, el regulador supera su temperatura máxima y entra en protección térmica (se apaga intermitentemente). Con disipador adecuado trabaja estable.

RESPUESTA 47: $C = I/(f \times V_r) = 0.5/(120 \times 1.5) = 0.00278 \text{ F} = 2780 \text{ uF}$. Comercial: 3300 uF (valor siguiente con margen). Voltaje nominal: al menos el doble del pico de entrada.

RESPUESTA 48: FALSO. La carga consume corriente del nodo de salida, desbalanceando el divisor: el voltaje cae por debajo del valor en vacío. El divisor solo mantiene su voltaje si la carga consume muchísimo menos que la corriente del divisor; para cargas reales se usa un regulador de voltaje.

RESPUESTA 49: 1) Definir qué debe hacer y sus límites. 2) Dibujar el diagrama y calcular cada etapa. 3) Listar y conseguir materiales. 4) Armar por bloques (alimentación, entradas, salidas, lógica). 5) Probar cada bloque antes de agregar el siguiente. 6) Documentar todo en la libreta. Se prueba por bloques porque si todo se arma junto y falla, no sabes qué bloque es culpable; por bloques, la falla nueva siempre está en el último bloque agregado.

RESPUESTA 50: Circuito: pin Arduino -> R_base -> base del 2N2222; emisor a GND; colector -> cátodo del LED; ánodo del LED -> R_led -> +9 V (fuente externa, GND común con Arduino). $R_{led} = (9-3.3)/20 \text{ mA} = 5.7/20 = 285 \text{ ohms} \rightarrow 300 \text{ ohms comercial (I real 19 mA)}$. $R_{base} = (5-0.7)/(20 \text{ mA}/20) = 4.3/1 \text{ mA} = 4.3 \text{ kohm} \rightarrow 4.7 \text{ kohm}$. P en R_led: $5.7 \times 0.019 = 0.108 \text{ W} \rightarrow 1/4 \text{ W}$. El transistor maneja 20 mA sin calentarse. Nota: el LED azul necesita 3.3 V, por eso la fuente de 9 V (un pin de 5 V apenas daría margen: $5-3.3 = 1.7 \text{ V}$ para la resistencia, funciona pero con poca holgura; con transistor y 9 V el diseño es robusto).

Curso Completo de Electrónica

Bienvenido al Curso Completo de Electrónica de Lucas EGA Academy. Este libro nace con una misión muy clara: enseñarte electrónica desde cero, paso a paso, sin dar por hecho que ya sabes algo de física, de matemáticas avanzadas o de ingeniería. Si alguna vez desarmaste un juguete para ver qué había adentro, si alguna vez te preguntaste cómo es posible que un pedacito de metal y plástico llamado teléfono pueda hacer videollamadas con alguien al otro lado del planeta, o si simplemente tienes curiosidad por construir tus propios circuitos, este libro es para ti.

lucasegaacademy.com

Colibrí Editorial EGA