UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA EN SISTEMAS CON ESPECIALIZACIÓN EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Manual de Laboratorio

ELECTRÓNICA DIGITAL

Código FE731

Cuatro sesiones presenciales de cuatro horas

ELABORADO POR

Ing. Mynor A. Cifuentes

UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA

Segundo Semestre 2026 • Laboratorios presenciales

UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA

Manual de Laboratorio de Electrónica Digital

Ingeniería en Sistemas con especialización en Inteligencia Artificial

UNIVERSIDAD	Universidad Rural de Guatemala
FACULTAD	Facultad de Ingeniería
CARRERA	Ingeniería en Sistemas con especialización en Inteligencia Artificial
ASIGNATURA	Electrónica Digital (código FE731)
CICLO	Segundo Semestre 2026
ELABORADO POR	Ing. Mynor A. Cifuentes
VERSIÓN	1.0 — 2026

Sobre este documento

Material de apoyo para las sesiones presenciales de laboratorio de la asignatura de Electrónica Digital, alineado con el programa oficial y con el calendario de laboratorios presenciales de la Universidad Rural de Guatemala.

El estudiante debe presentarse a cada sesión habiendo leído con anterioridad la práctica correspondiente y con los materiales solicitados. La hoja de trabajo forma parte de la evaluación del curso.

© 2026 Universidad Rural de Guatemala. Documento de uso académico interno. La reproducción total o parcial de este material debe citar la fuente.

Tecnología, Ciencia y Conciencia

Índice general

Introducción 1
- Propósitos de aplicación 1
- Objetivos 2
- Competencias que desarrolla la asignatura 2
- Campo de aplicación 2

Planificación del laboratorio 4
- Distribución de sesiones 4
- Correspondencia con el programa de la asignatura 5
- Estructura de una jornada de laboratorio 6
- Normas de seguridad y de trabajo 7
- Organización en estaciones de trabajo 7
- Evaluación de las prácticas 8

Equipo, instrumental y componentes 9
- Instrumental del laboratorio 9
- Materiales por estación de trabajo 10
- Elementos adicionales recomendados 12
- Identificación de un circuito integrado 12

01 Compuertas lógicas y una función simplificada 14
- Introducción 14
- Fundamento teórico 15
- Procedimiento 17

02 El osciloscopio, el 555 y un contador de 2 bits 27
- Introducción 27
- Fundamento teórico 28
- Procedimiento 29

03 Elegir, contar y transmitir 37
- Introducción 37
- Fundamento teórico 38
- Procedimiento 41
- Retos 47
- Si el circuito no funciona 48

04 Práctica final: un contador de 00 a 19 con Arduino Nano 50

Introducción . . . 50
Fundamento teórico . . . 52
Procedimiento . . . 54
Retos . . . 59
Si algo no funciona . . . 60
Lista de verificación . . . 61
Programa completo . . . 61

Anexo A. Numeración de terminales 65
Compuertas lógicas . . . 65
Flip-flops . . . 66
Contadores . . . 67
Multiplexores y demultiplexor . . . 68
Temporizador . . . 69
Microcontrolador y pantalla . . . 69

Anexo B. Evaluación en línea (Socrative) 71
Cómo se evalúa cada práctica . . . 71
Indicaciones para el estudiante . . . 71

Referencias bibliográficas 72

Introducción

La electrónica digital es el fundamento físico de toda la computación. Cada instrucción que ejecuta un procesador, cada dato que se almacena en una memoria y cada símbolo que viaja por una red se reduce, en última instancia, a la presencia o ausencia de un voltaje en un conductor. Comprender ese nivel es lo que distingue al ingeniero en sistemas del simple usuario de la tecnología.

A diferencia de la electrónica analógica, donde las señales varían de forma continua, la electrónica digital trabaja con un conjunto discreto de niveles: el **nivel bajo** y el **nivel alto**. Sobre esa base tan simple se construye toda la **lógica combinacional** — circuitos cuya salida depende únicamente del estado presente de sus entradas — y la **lógica secuencial**, cuyos circuitos poseen memoria y cuya salida depende además de la historia de las señales recibidas.

Este manual reúne cuatro prácticas guiadas. Se parte del reconocimiento del instrumental, las compuertas básicas y la simplificación de una función; se observa el tiempo con el osciloscopio, el temporizador 555 y dos flip-flops que forman un contador; se elige, se cuenta y se transmite un byte por un solo cable con multiplexores, un decodificador y un contador integrado; y se cierra con una práctica integradora: un contador de 00 a 19 que un `Arduino Nano` lee, muestra en una pantalla LCD y envía por el puerto serie. Al finalizar cada sesión hay una evaluación breve en Socrative.

Un rasgo distintivo de estas prácticas es el aprovechamiento del **instrumental de medición** con que cuenta el laboratorio. La incorporación de osciloscopios digitales con generador de señales integrado permite que el estudiante ya no se limite a observar el encendido de un diodo emisor de luz, sino que **mida** períodos, frecuencias, ciclos de trabajo y retardos de propagación. Esa transición — de la observación cualitativa a la medición cuantitativa — constituye el salto conceptual más importante del curso.

Propósitos de aplicación

- Facilitar el aprendizaje significativo de los principios de la electrónica digital mediante el diseño, la construcción y la medición de circuitos reales.
- Desarrollar la destreza en el manejo del instrumental del laboratorio: multímetro digital, fuente de alimentación regulada, generador de señales y osciloscopio digital.
- Promover la verificación experimental de la teoría: toda tabla de verdad y toda expresión booleana deducida en el papel debe comprobarse en el circuito armado.
- Integrar el análisis temporal de los circuitos digitales, de modo que el estudiante comprenda que las compuertas reales tienen retardos y que la sincronía es un requisito de diseño.
- Fomentar el hábito del trabajo metódico y seguro con circuitos alimentados eléctricamente.
- Preparar al estudiante para cursos posteriores de arquitectura de computadoras, microcontroladores,

sistemas embebidos y diseño digital.

Objetivos

- Identificar y operar correctamente el instrumental del laboratorio de electrónica digital.
- Medir la alimentación de 5 V y verificar las tablas de verdad de las compuertas básicas, NAND y XOR.
- Simplificar una función lógica con álgebra de Boole y mapa de Karnaugh, y armarla en el protoboard.
- Medir período y frecuencia en el osciloscopio y armar el **555** en modo astable.
- Construir un contador de 2 bits con los flip-flops **74LS74** y **74LS76**.
- Usar los multiplexores **74LS157** y **74LS151**, el decodificador **74LS138** y el contador **74LS193** para transmitir un byte por un solo cable.
- Construir un contador de 00 a 19 con el **74LS90**, el **74LS76** y el **74LS04**, y leerlo con un **Arduino Nano** que lo muestra en una pantalla LCD por I^2C y lo envía por el puerto serie.

Competencias que desarrolla la asignatura

No.	Competencia
1	Analiza los principios fundamentales de la electrónica digital, incluyendo sistemas numéricos, álgebra booleana y lógica combinacional.
2	Diseña e implementa circuitos digitales utilizando compuertas lógicas, mapas de Karnaugh y circuitos integrados, de acuerdo con especificaciones técnicas.
3	Evalúa y diagnostica el funcionamiento de circuitos digitales mediante instrumentos de medición y herramientas de simulación, identificando y corrigiendo fallas.
4	Desarrolla sistemas digitales secuenciales empleando flip-flops, contadores, registros y máquinas de estados para resolver problemas de automatización y control.
5	Aplica metodologías de diseño y documentación técnica para desarrollar proyectos de electrónica digital que cumplan criterios de funcionalidad, eficiencia y buenas prácticas de ingeniería.

Campo de aplicación

El presente manual está dirigido a estudiantes que tengan asignado el curso de **Electrónica Digital (FE731)** de la carrera de Ingeniería en Sistemas con especialización en Inteligencia Artificial de la Universidad Rural de Guatemala.

Las prácticas han sido diseñadas para el formato de **laboratorio presencial intensivo** que establece el calendario institucional: cuatro días consecutivos, de lunes a jueves, con una jornada de cuatro horas diarias en el horario de 13:00 a 17:00 horas. El alcance coincide con el programa oficial **hasta la semana 12** —segundo examen parcial—: unidades 1 a 8.

NOTA

Durante el laboratorio se utilizará el equipo que la Universidad cuenta para los mismos, este equipo ha sido previamente calibrado y probado por lo que los estudiantes son responsables del uso del mismo durante el desarrollo de las prácticas.

Planificación del laboratorio

El calendario de laboratorios presenciales de Ingeniería en Sistemas asigna a la asignatura de Electrónica Digital **cuatro sesiones de cuatro horas**, programadas de lunes a jueves en el horario de **13:00 a 17:00 horas**. El laboratorio se alinea con el programa oficial **hasta la semana 12** (segundo examen parcial). Por esa razón se cubren las unidades 1 a 8, unificadas en cuatro prácticas integradoras.

NOTA

La unificación obedece también a una razón práctica: el armado de un circuito en protoboard consume una parte considerable de la sesión. Agrupar contenidos afines en una misma jornada permite **reutilizar el circuito base** y dedicar el tiempo a medir y analizar. Las unidades 9 y 10 — memorias y notación RTL — corresponden a las semanas 13 a 16 y no forman parte de este laboratorio.

Distribución de sesiones

Ses.	Tema central	Objetivo	Contenidos
1	Instrumentación y compuertas lógicas	Encender el instrumental, probar las compuertas y armar una función simplificada	■ Reconocimiento del instrumental ■ Alimentación segura de circuitos TTL ■ Compuertas AND, OR, NOT, NAND y XOR ■ Álgebra de Boole y mapa de Karnaugh ■ **Práctica 1**
2	Base de tiempo, temporización y circuitos secuenciales	Medir señales periódicas con el osciloscopio e implementar circuitos con memoria	■ Manejo del osciloscopio digital ■ Base de tiempo: frecuencia, período, simetría, valle y cresta ■ Circuito integrado 555 en modo astable ■ Flip-flops D y JK; contador de 2 bits ■ **Práctica 2**

Ses.	Tema central	Objetivo	Contenidos
3	Multiplexado, decodificación y transmisión de datos	Seleccionar y distribuir señales digitales, y transmitir datos por un solo canal	Multiplexores de 2 a 1 y de 8 a 1 Decodificador de 3 a 8 Contador 74LS193 Transmisión serie de un byte **Práctica 3**
4	Práctica final integradora: microcontrolador y comunicación serie	Integrar reloj, contadores y compuertas con un microcontrolador que lee, muestra y transmite la cuenta	Contador de décadas 74LS90 Contador de 00 a 19 con 74LS76 y 74LS04 Arduino Nano: entradas digitales Pantalla LCD por I^2C y puerto serie **Práctica 4**

Correspondencia con el programa de la asignatura

La tabla siguiente indica en qué práctica se trabaja cada unidad del programa oficial **hasta la semana 12**.

Unidad	Semanas	Contenido del programa oficial	Se trabaja en
1	1 y 2	Compuertas lógicas y funciones lógicas	Práctica 1
2	3 y 4	Simplificación de funciones lógicas	Práctica 1
3	5	Flip-flop, registros, contadores y decodificadores	Prácticas 2, 3 y 4
—	6	Primer examen parcial	—
4	7	Multiplexores y demultiplexores	Práctica 3
5	8	Base de tiempo	Prácticas 2 a 4
6	9	Circuito integrado 555	Prácticas 2 a 4
7	10	Generalidades del microcontrolador	Práctica 4
8	11	Protocolo serie, I^2C y pantalla LCD	Práctica 4
—	12	Segundo examen parcial	—
9 y 10	13 a 16	Memorias y notación RTL	Fuera de alcance

NOTA

Para las unidades 7 y 8 el laboratorio usa un **Arduino Nano**: cubre los contenidos del programa (microcontrolador, comunicación serie, I^2C y pantalla LCD), cabe en el protoboard y se programa con su cable USB, que hace también de cable de comunicación serie.

ADVERTENCIA

Las unidades 9 y 10 se imparten después del segundo parcial y no se desarrollan en este laboratorio. El equipo disponible no incluye circuitos de memoria ni dispositivos lógicos programables; esos temas quedan para la clase magistral de las semanas 13 a 16.

Estructura de una jornada de laboratorio

Tiempo	Actividad	Descripción
25 min	Apertura	Repaso de la práctica anterior, teoría breve, normas de seguridad y entrega de componentes.
155 min	Desarrollo	Ejecución guiada de las partes (o etapas) del procedimiento, con asesoría del instructor.
15 min	Receso	A mitad del desarrollo, con el circuito desenergizado.
25 min	Evaluación	Evaluación en línea en **Socrative**: teoría y lo realizado durante la práctica.
20 min	Cierre	Desarmado de los circuitos, devolución de componentes y cierre de la sesión.
240 min	**Total**	**Cuatro horas efectivas**

RECOMENDACIÓN

Las partes del procedimiento están ordenadas de modo que el circuito crezca de forma incremental: cada parte añade componentes al montaje anterior en lugar de partir de cero. **No desarme el circuito** hasta que el instructor lo indique.

Normas de seguridad y de trabajo

NORMAS DE SEGURIDAD

1. **Alimente el circuito siempre en último lugar.** Arme y revise todo el montaje con la fuente desconectada.
2. **Verifique la tensión antes de conectarla al circuito.** Mida la salida de la fuente con el multímetro y confirme que es la esperada. Los circuitos integrados de la familia 74LS operan con $5\,\text{V} \pm 0.25\,\text{V}$ y se destruyen de forma irreversible con tensiones mayores.
3. **Respete la polaridad.** Invertir la alimentación de un circuito integrado lo destruye de inmediato. Verifique la muesca de orientación del encapsulado antes de energizar.
4. **Nunca conecte una salida de compuerta directamente a `VCC` o a `GND`**: se produce un cortocircuito que daña el integrado.
5. **Todo diodo emisor de luz requiere su resistencia limitadora.** Conectar un LED sin resistencia lo destruye y puede dañar la salida de la compuerta que lo alimenta.
6. **No deje entradas TTL al aire.** Una entrada flotante adopta un nivel indeterminado y produce un comportamiento errático. Conéctela a `VCC` mediante una resistencia de $1\,\text{k}\Omega$ o directamente a `GND`, según corresponda.
7. **Desconecte la alimentación antes de modificar el montaje.** Cambiar un cable con el circuito energizado es la causa más frecuente de daño a los componentes.
8. **Manipule los integrados por los costados del encapsulado**, nunca por los terminales, y evite doblarlos.
9. **No abra ni intente reparar el instrumental.** Reporte de inmediato al instructor cualquier anomalía.
10. **Trabaje con las manos secas** y mantenga el área de trabajo libre de líquidos.
11. Al finalizar, desarme el circuito, devuelva los componentes en el mismo estado en que los recibió y apague todo el instrumental.

RIESGO ELÉCTRICO

El transformador `LP-580` y la fuente `LW-K3010D` se conectan directamente a la red eléctrica de 120 V en corriente alterna. Esa tensión es **potencialmente letal**. Nunca toque las terminales del primario del transformador ni trabaje con su cableado expuesto. Estas conexiones las realiza únicamente el instructor.

Organización en estaciones de trabajo

El instrumental disponible permite organizar el laboratorio en **seis estaciones de trabajo**. Los instrumentos de los que se dispone de seis unidades se asignan de forma permanente a cada estación; los de menor cantidad se comparten según el esquema siguiente.

Instrumento	Unidades	Asignación
Multímetro digital UT33B+	6	Una unidad por estación, de uso permanente.
Módulo de alimentación MO-MB102	6	Una unidad por estación. Es la fuente de 5 V de uso habitual.
Adaptador ADP-5HB	6	Una unidad por estación, alimenta al módulo MB102.
Transformador LP-580	6	Una unidad por estación. Su uso lo autoriza el instructor.
Osciloscopio FNIRSI-1014D	3	Compartido entre dos estaciones. Se trabaja por turnos de aproximadamente 20 minutos.
Fuente variable LW-K3010D	2	Compartida entre tres estaciones, únicamente cuando se requiera una tensión distinta de 5 V.

RECOMENDACIÓN

Como el osciloscopio se comparte, **planifique la medición antes de su turno**: tenga el circuito armado y funcionando, y sepa con antelación qué punto va a medir y qué espera observar. Así el tiempo de instrumento se aprovecha para medir y no para depurar el montaje.

Evaluación de las prácticas

Criterio	Puntos	Descripción
Trabajo en el laboratorio	60	El circuito o el programa funciona, las tablas están completas y se respetaron las normas de seguridad.
Evaluación en línea	40	Evaluación individual en Socrative al finalizar la sesión. Combina preguntas de teoría con lo realizado en la práctica.
Total	**100**	

NOTA

No se entrega informe ni hoja de trabajo escrita. Al cierre de cada práctica queda un espacio reservado para el código de sala de Socrative. El daño de un componente por incumplimiento de las normas se refleja en el criterio de trabajo en el laboratorio. El detalle de la evaluación aparece en el anexo B.

Equipo, instrumental y componentes

Instrumental del laboratorio

El laboratorio cuenta con el instrumental que se detalla a continuación. Su correcta utilización es objeto de evaluación desde la primera práctica.

EQUIPO DEL LABORATORIO

Instrumento	Cant.	Función en el laboratorio
Osciloscopio digital con generador de señales FNIRSI-1014D	3	Dos canales, ancho de banda de 100 MHz. Permite visualizar y medir señales en el tiempo: período, frecuencia, amplitud, ciclo de trabajo y retardos. Su **generador de señales integrado** se utiliza como fuente de reloj externo para los circuitos secuenciales.
Multímetro digital UT33B+	6	Mide tensión en corriente directa y alterna, corriente, resistencia y continuidad. Es el instrumento de verificación permanente: se emplea para comprobar la alimentación y para leer los niveles lógicos estáticos.
Fuente de alimentación variable LW-K3010D	2	Salida regulable de 0 V a 30 V y hasta 10 A, con limitación de corriente ajustable. Se utiliza cuando se requiere una tensión distinta de 5 V.
Módulo de alimentación para protoboard MO-MB102	6	Entrega 5 V y 3.3 V regulados directamente sobre los rieles del protoboard. Es la **fuente de uso habitual** para los circuitos TTL de este manual.
Adaptador de 5 V en corriente directa ADP-5HB	6	Convierte la tensión de la red a 5 V y 1 A. Alimenta al módulo MB102.
Transformador LP-580	6	Reduce la tensión de la red a 12 V + 12 V en corriente alterna, hasta 4 A. Se emplea en las prácticas de la asignatura de Electrónica Analógica; en este manual solo se utiliza en la actividad demostrativa de la práctica 1, conducida por el instructor.

RIESGO ELÉCTRICO

La fuente LW-K3010D puede entregar hasta 30 V. Conectar esa tensión a un circuito integrado de la familia 74LS lo **destruye de forma instantánea e irreversible**. Cuando deba utilizarla, ajuste y **verifique con el multímetro** la tensión de salida *antes* de conectarla al circuito, y fije el límite de corriente en un valor bajo, del orden de 200 mA, para que la fuente proteja al circuito ante un cortocircuito.

RECOMENDACIÓN

Para todos los circuitos TTL de este manual, la combinación ADP-5HB → MO-MB102 es la forma **más segura y práctica** de obtener 5 V: el módulo está regulado de fábrica, no admite ajuste erróneo y entrega la tensión directamente sobre los rieles del protoboard.

Materiales por estación de trabajo

El listado siguiente corresponde a los materiales generales solicitados para la asignatura. Cada estación de trabajo debe contar con el juego completo; la última columna indica en qué prácticas se utiliza cada uno.

MATERIALES Y EQUIPO

Material	Cant.	Se utiliza en
Montaje, alimentación y medición		
Protoboard (mínimo de una galleta)	1	Todas
Fuente de alimentación de 5 V y 12 V	1	Todas. Los integrados TTL usan **solo** 5 V
Multímetro digital	1	Todas
Juego de cables tipo *jumper*	1	Todas
Osciloscopio (opcional, compartido)	—	Prácticas 2, 3 y 4
Compuertas lógicas		
74LS00 NAND cuádruple	1	Práctica 1
74LS08 AND cuádruple	1	Práctica 1 y reto de la 4
74LS32 OR cuádruple	1	Práctica 1
74LS04 NOT séxtuple	1	Prácticas 1 y 4

74LS86 XOR cuádruple	1	Práctica 1
Flip-flops, contadores y temporizador		
74LS74 flip-flop D doble	1	Práctica 2
74LS76 flip-flop JK doble	1	Prácticas 2 y 4
74LS90 contador de décadas	1	Práctica 4
74LS193 contador binario de 4 bits	1	Práctica 3
555 temporizador	1	Prácticas 2, 3 y 4
Multiplexores y demultiplexor		
74LS157 multiplexor de 2 a 1 cuádruple	1	Reto de la Práctica 1 y Práctica 3
74LS151 multiplexor de 8 a 1	1	Práctica 3
74LS138 decodificador / demultiplexor de 3 a 8	1	Práctica 3
Resistencias y capacitores		
1 kΩ	8	Todas
4.7 kΩ	2	Práctica 3 (línea de unos)
10 kΩ	2	Prácticas 2, 3 y 4 (R_B del 555)
330 Ω (limitadoras de LED)	10	Todas
10 nF	2	Prácticas 2, 3 y 4 (control del 555)
100 nF	2	Prácticas 2 y 3
10 µF	2	Prácticas 2, 3 y 4
100 µF	2	Prácticas 2, 3 y 4
Indicadores, microcontrolador y comunicación		
Diodos emisores de luz (LED)	10	Todas
Pantalla LCD de 16×2 con módulo I^2C	1	Práctica 4
Arduino Nano (ATmega328P)	1	Práctica 4
Cable de comunicación serie (USB del Arduino Nano)	1	Práctica 4

NOTA

Las resistencias de 330 Ω no aparecen en la lista general, pero conviene tenerlas: limitan la corriente de los LED con más brillo que las de 1 kΩ. Donde una práctica pide un *botón*, se usa un **puente** (un cable que se conecta y se retira), de modo que no hace falta comprar pulsadores. El cable de comunicación serie es el mismo cable USB del Nano (mini-USB o USB-C, según el modelo): por él se carga el programa y viajan los datos hacia la computadora.

ADVERTENCIA

La salida de 12 V de la fuente **nunca** se conecta a un integrado TTL ni a los rieles del protoboard donde haya integrados. En este laboratorio solo se utilizaría para alimentar el Arduino Nano por su terminal `VIN`, y en las prácticas el Nano se alimenta por el USB.

Elementos adicionales recomendados

- Pinzas de punta fina o alicate pequeño, para insertar y extraer los circuitos integrados sin doblar sus terminales.
- Extractor de circuitos integrados, si se dispone de uno.
- Cuaderno cuadriculado, lápiz y borrador, para los mapas de Karnaugh y el trazado de las formas de onda observadas.
- Hojas de datos impresas o en formato digital de los circuitos integrados utilizados. Son la referencia autorizada para la numeración de terminales.
- Memoria USB, para respaldar las capturas del osciloscopio y los programas del microcontrolador.

NOTA

La numeración de terminales de cada circuito integrado utilizado en este manual se reproduce en el anexo A. Aun así, es buena práctica de ingeniería verificarla siempre contra la hoja de datos del fabricante: existen variantes de encapsulado con asignaciones distintas.

Identificación de un circuito integrado

Antes de insertar un circuito integrado en el protoboard es indispensable identificar la posición del terminal 1. Todo encapsulado DIP presenta una **muesca** o un **punto** en uno de sus extremos: con la muesca hacia arriba, el terminal 1 es el superior izquierdo y la numeración avanza en sentido antihorario.

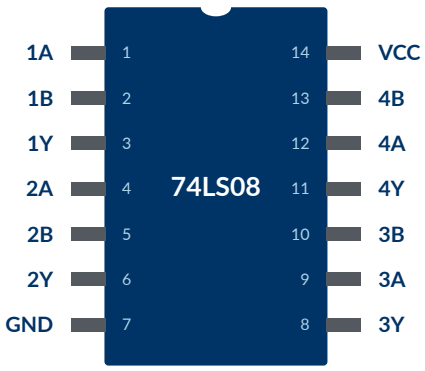


Figura 1. Numeración de terminales del `74LS08`, con la muesca de orientación en el extremo superior. El terminal 7 corresponde a `GND` y el 14 a `VCC`.

ADVERTENCIA

En prácticamente toda la familia 74LS de 14 terminales, `GND` es el terminal 7 y `VCC` el terminal 14. Sin embargo hay excepciones importantes: en el `74LS76`, de 16 terminales, `VCC` es el terminal 5 y `GND` el 13. Confiar en la regla general sin verificar la hoja de datos es la causa más frecuente de daño a los integrados.

01 PRÁCTICA
NO. 01

Compuertas lógicas y una función simplificada

SESIÓN	DURACIÓN	UNIDADES	FAMILIA LÓGICA
1 de 4	4 horas	1 y 2	TTL 74LS

Introducción

Hoy se enciende el instrumental, se prueban las compuertas y, al final, se resuelve un problema completo de principio a fin: una regla escrita en palabras se convierte en una tabla de verdad; la tabla, en una expresión; la expresión se simplifica con **álgebra booleana** y se comprueba con un **mapa de Karnaugh**. El resultado se arma con los integrados que usted trajo.

La función se arma *dos veces*: una con compuertas AND, OR y NOT, y otra solo con compuertas NAND. Una compuerta XOR compara las dos salidas y enciende un **LED de error** si alguna vez no coinciden. Así se comprueba en el protoboard lo que el álgebra demuestra en el papel: dos circuitos distintos pueden hacer exactamente lo mismo.

OBJETIVOS

- Encender el módulo de 5 V y comprobar la tensión con el multímetro.
- Comprobar con un LED las compuertas NOT, AND, OR, NAND y XOR.
- Obtener la tabla de verdad y la expresión de una función a partir de un enunciado.
- Simplificar la función con las reglas del álgebra booleana y comprobar el resultado con un mapa de Karnaugh.
- Armar la función simplificada de dos formas y comprobar con una XOR que las dos son equivalentes.

MATERIALES Y EQUIPO

- MO-MB102 con ADP-5HB y UT33B+.
- Circuitos integrados: 74LS04, 74LS08, 74LS32, 74LS00 y 74LS86. Para el reto final: 74LS157.
- 4 LEDs rojos, amarillos o verdes, 4 resistencias de 330 Ω y 2 de 1 kΩ.
- Protoboard y cables *jumper*.
- Lápiz y cuaderno cuadriculado.

PLANIFICACIÓN DE LA SESIÓN

Parte	Actividad	Tiempo
—	Apertura, seguridad y entrega de componentes	20 min
A	Encender y medir los 5 V	25 min
B	El inversor 74LS04	20 min
C	Las compuertas de dos entradas	40 min
D	Simplificar la función en el papel: álgebra y Karnaugh	35 min
E	Armar la función de dos formas y compararlas	55 min
—	Evaluación en Socrative, desarmado y cierre	25 min
	Total	**220 min + 20 min**

Fundamento teórico

Los números que hay que recordar

Dato	Valor	Significado
Alimentación V_{CC}	5 V	Fuera de 5 ± 0.25 el integrado se daña.
Entrada baja (máximo)	0.8 V	Se lee como 0.
Entrada alta (mínimo)	2.0 V	Se lee como 1.

Las compuertas de hoy



NOT	AND	OR	NAND	XOR
$\overline{A}$	$A \cdot B$	$A + B$	$\overline{A \cdot B}$	$A \oplus B$
74LS04	74LS08	74LS32	74LS00	74LS86

Figura 01.1. Las cinco compuertas de hoy y el integrado que las contiene.

A	B	AND	OR	NAND	XOR
0	0	0	0	1	0
0	1	0	1	1	1
1	0	0	1	1	1
1	1	1	1	0	0

NAND es una AND con la salida invertida: vale 0 solo si las dos entradas son 1. XOR (*o exclusiva*) vale 1 cuando las entradas son *distintas*; por eso sirve para comparar dos señales.

Reglas del álgebra booleana

Cada regla tiene dos formas, una **dual** de la otra: se obtiene cambiando + por · y 0 por 1. La columna *Hoy* indica en qué ejercicio de la parte D se usa cada regla.

N.º	Regla	Forma con +	Forma con ·	Hoy
1	Identidad	$X + 0 = X$	$X \cdot 1 = X$	1 y 3
2	Elemento nulo	$X + 1 = 1$	$X \cdot 0 = 0$	—
3	Idempotencia	$X + X = X$	$X \cdot X = X$	4
4	Complemento	$X + \overline{X} = 1$	$X \cdot \overline{X} = 0$	1 y 3
5	Involución (doble negación)	$\overline{\overline{X}} = X$		4
6	Conmutativa	$X + Y = Y + X$	$XY = YX$	1 y 3
7	Asociativa	$(X + Y) + Z = X + (Y + Z)$	$(XY)Z = X(YZ)$	3
8	Distributiva	$X + YZ = (X + Y)(X + Z)$	$X(Y + Z) = XY + XZ$	1 y 3
9	Absorción	$X + XY = X$	$X(X + Y) = X$	3
10	Absorción del complemento	$X + \overline{X}Y = X + Y$	$X(\overline{X} + Y) = XY$	—
11	De Morgan	$\overline{X + Y} = \overline{X} \cdot \overline{Y}$	$\overline{X \cdot Y} = \overline{X} + \overline{Y}$	4
12	Consenso	$XY + \overline{X}Z + YZ = XY + \overline{X}Z$		3

RECOMENDACIÓN

La distributiva que más se usa es la de *sacar factor común*, igual que en álgebra: $XY + XZ = X(Y + Z)$. La regla que más simplifica es la de complemento: cuando una variable aparece normal en un término y negada en otro, y el resto es igual, *esa variable desaparece*.

El mapa de Karnaugh de tres variables

Es la misma tabla de verdad, dibujada de modo que las combinaciones que difieren en *un solo bit* queden juntas. Tiene una casilla por fila de la tabla. Las columnas van en el orden 00, 01, 11, 10 (**código Gray**): de una columna a la siguiente cambia un solo bit, y la primera y la última columna también se consideran vecinas.

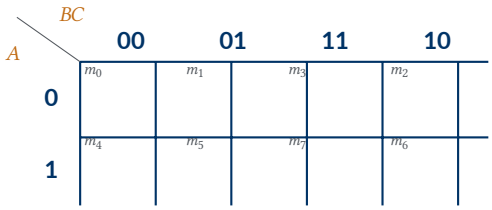


Figura 01.2. Lugar de cada fila m_0 a m_7.

1. Escriba un 1 en cada casilla donde la función vale 1.
2. Encierre los 1 en grupos **rectangulares** de 1, 2, 4 u 8 casillas vecinas. Los grupos pueden compartir casillas.
3. Use grupos *tan grandes* como se pueda y *tan pocos* como se pueda.
4. Cada grupo da un producto: se quedan las variables que *no* cambian dentro del grupo; las que cambian desaparecen.

Procedimiento

Parte A. Encender y medir los 5 V

25 min

1. Encienda el multímetro UT33B+ en tensión continua. Punta negra en COM, punta roja en el borne de tensión.
2. Conecte el adaptador al módulo MO-MB102 y el módulo a los rieles del protoboard. Selector del módulo en 5 V.
3. **Antes de insertar cualquier integrado**, mida entre el riel rojo y el riel azul. Debe estar entre 4.75 V y 5.25 V.
4. Mida también una resistencia de 330 Ω y la continuidad de un cable.

Tabla 01.1. Primera verificación

Medición	Esperado	Medido
Rieles del protoboard	5 V	
Resistencia de 330 Ω	330 Ω	
Continuidad de un *jumper*	Cerrado	

RIESGO ELÉCTRICO

No conecte la fuente variable al protoboard sin que el instructor lo indique. Un ajuste de 12 V destruye los integrados.

Parte B. El inversor 74LS04

20 min

1. Inserte el 74LS04 con la muesca hacia arriba. Terminal 14 a VCC, terminal 7 a GND.
2. Una la entrada del primer inversor (terminal 1) a GND y mida la salida (terminal 2). Luego una la entrada a VCC y mida otra vez.

Tabla 01.2. Salida del inversor

Entrada	V de salida	Nivel (0 o 1)
Terminal 1 a GND		
Terminal 1 a VCC		

ADVERTENCIA

No deje entradas colgando. Una entrada al aire no es 0 ni 1: el circuito se vuelve impredecible.

Parte C. Las compuertas de dos entradas

40 min

1. Prepare dos cables de entrada, A y B, que pueda pasar de GND (0) a VCC (1). En la salida ponga un LED en serie con 330 Ω hacia GND.
2. Inserte el 74LS08 y use la primera compuerta: entradas en los terminales 1 y 2, salida en el 3. Pruebe las cuatro combinaciones.
3. Cambie el integrado por el 74LS32, luego por el 74LS00 y al final por el 74LS86. Los cuatro tienen la *misma distribución de terminales*: no mueva ningún cable.

Tabla 01.3. Tablas de verdad (LED encendido = 1)

A	B	AND (08)	OR (32)	NAND (00)	XOR (86)
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

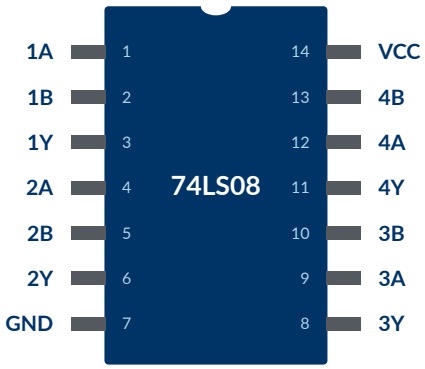


Figura 01.3. Distribución común del 74LS08 (AND), 74LS32 (OR), 74LS00 (NAND) y 74LS86 (XOR). El 74LS04 está en el anexo A del manual.

Parte D. Simplificar la función en el papel

35 min

El problema: la bomba de riego de un invernadero

ENUNCIADO

Una cooperativa riega su invernadero de tomate con una bomba. El tablero de control tiene tres señales y una salida:

- A: sensor de humedad. Vale 1 cuando el suelo está **seco**.
- B: selector de modo. Vale 1 en **automático** y 0 en **manual**.
- C: interruptor manual. Vale 1 cuando el operador lo **enciende**.
- F: la bomba (en el protoboard, un LED). Vale 1 si está encendida.

La regla: en modo automático la bomba obedece al sensor; en modo manual obedece al interruptor.

1. Tabla de verdad

Complete la columna F aplicando la regla a cada fila.

Tabla 01.4. Tabla de verdad de la bomba

A	B	C	Fila	La bomba obedece a...	F
0	0	0	m_0	el interruptor (manual)	
0	0	1	m_1	el interruptor (manual)	
0	1	0	m_2	el sensor (automático)	
0	1	1	m_3	el sensor (automático)	
1	0	0	m_4	el interruptor (manual)	
1	0	1	m_5	el interruptor (manual)	
1	1	0	m_6	el sensor (automático)	
1	1	1	m_7	el sensor (automático)	

Cada fila con $F = 1$ aporta un producto en el que la variable aparece normal si vale 1 y negada si vale 0. Compruebe que su tabla da la función con la que se trabaja hoy:

$$\boxed{F = \overline{A}\,\overline{B}C + A\,\overline{B}C + A\,B\,\overline{C} + A\,B\,C} \qquad \text{(filas } m_1,\ m_5,\ m_6 \text{ y } m_7\text{)}$$

Armada tal como está, esta función necesitaría cuatro AND de tres entradas, una OR de cuatro entradas y tres inversores. Hay que simplificarla antes de tocar el protoboard.

2. Ejercicio 1: simplificar con álgebra booleana

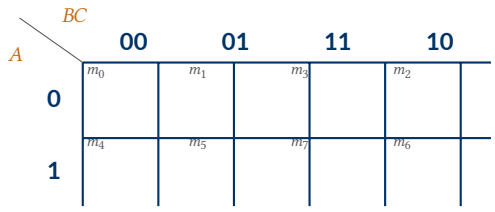
En cada paso se indica la regla que se aplica. Escriba la expresión que resulta.

Paso	Expresión	Regla aplicada
0	$\overline{A}\,\overline{B}\,C + A\,\overline{B}\,C + A\,B\,\overline{C} + A\,B\,C$	Función de la tabla
1		Conmutativa y distributiva: factor común $\overline{B}C$ y AB
2		Complemento: $X + \overline{X} = 1$
3		Identidad: $X \cdot 1 = X$
4		Conmutativa (para ordenar)

Resultado: $F =$_____. De cuatro productos de tres variables se pasó a dos productos de dos variables. En palabras: *la bomba enciende si está en automático y el suelo está seco, o si está en manual y el interruptor está encendido.*

3. Ejercicio 2: comprobar con el mapa de Karnaugh

Pase los 1 de la tabla al mapa, encierre los grupos y lea un producto por cada grupo.



Grupo	Casillas	Producto
Grupo 1		
Grupo 2		

Pista: en cada grupo, fíjese qué variable cambia de una casilla a la otra y cuáles se mantienen. Las que se mantienen forman el producto.

1. ¿Da el mapa el mismo resultado que el álgebra? Escriba F.

4. Ejercicio 3: ¿y si se agrupa de más?

Un compañero también encerró m_5 con m_7 y obtuvo $G = AB + \overline{B}C + AC$. Su circuito funciona, pero no es mínimo. Escriba la regla de cada paso para demostrar que AC *sobra*.

Paso	Expresión	Regla aplicada
0	$AB + \overline{B}C + AC$	Lo que obtuvo el compañero
1	$AB + \overline{B}C + AC\,(B + \overline{B})$	
2	$AB + \overline{B}C + ABC + A\overline{B}C$	
3	$(AB + AB\,C) + (\overline{B}C + \overline{B}C\,A)$	
4	$AB + \overline{B}C$	

NOTA

Este resultado es la regla 12, el **consenso**. En el mapa se ve así: el grupo m_5–m_7 no tiene ningún 1 que no esté ya en otro grupo. Un grupo cuyos 1 ya están todos cubiertos *sobra*.

5. Ejercicio 4: llevarla a solo compuertas NAND

Paso	Expresión	Regla aplicada
0	$AB + \overline{B}C$	Función simplificada
1		Involución: $X = \overline{\overline{X}}$
2		De Morgan sobre la barra de abajo
3	$\overline{B} =$	Idempotencia: $B \cdot B = B$

2. Cada barra larga sobre un producto es una NAND. ¿Cuántas NAND se necesitan?

Parte E. Armar la función de dos formas y compararlas

55 min

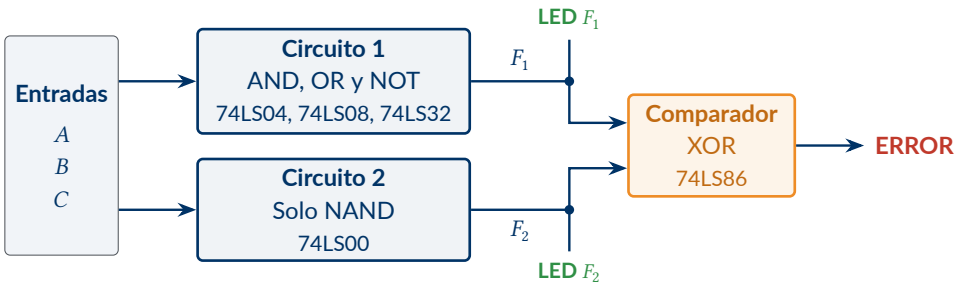


Figura 01.4. El plan: dos circuitos distintos para la misma función y una XOR que vigila que siempre coincidan.

Preparación del protoboard

1. Mida los 5 V de los rieles antes de insertar integrados.
2. Inserte los cinco integrados en este orden, con la muesca del mismo lado: `74LS04`, `74LS08`, `74LS32`, `74LS00` y `74LS86`. Alimente *todos*: terminal 14 a `VCC` y 7 a `GND`.
3. Reserve tres columnas libres del protoboard para las entradas A, B y C. Cada columna lleva un cable que va a `VCC` (1) o a `GND` (0). De ahí salen los cables a los integrados: B llega a *cinco* terminales.
4. Los tres LEDs (F_1, F_2 y ERROR) van de la salida a `GND`, cada uno con su 330 Ω.

NOTA

En esta práctica los terminales se escriben así: `08-3` quiere decir "terminal 3 del `74LS08`"; `00-11`, "terminal 11 del `74LS00`".

Circuito 1: AND, OR y NOT

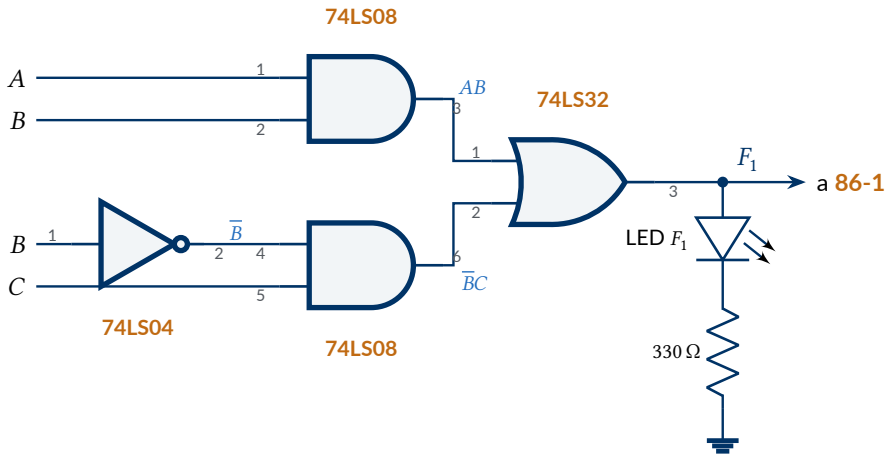


Figura 01.5. Circuito 1: $F_1 = AB + \overline{B}C$ con un inversor, dos AND y una OR. Los números pequeños son los terminales.

Conexión	Qué es
B a 04-1	Entrada del inversor
A a 08-1 y B a 08-2	Primera AND
04-2 a 08-4 y C a 08-5	Segunda AND: $\overline{B}$ y C
08-3 a 32-1	AB
08-6 a 32-2	$\overline{B}C$
32-3 al LED F_1	$F_1 = AB + \overline{B}C$

RECOMENDACIÓN

Pruebe el circuito 1 *antes* de seguir: con $B = 1$ el LED debe copiar a A, y con $B = 0$ debe copiar a C.

Circuito 2: solo NAND

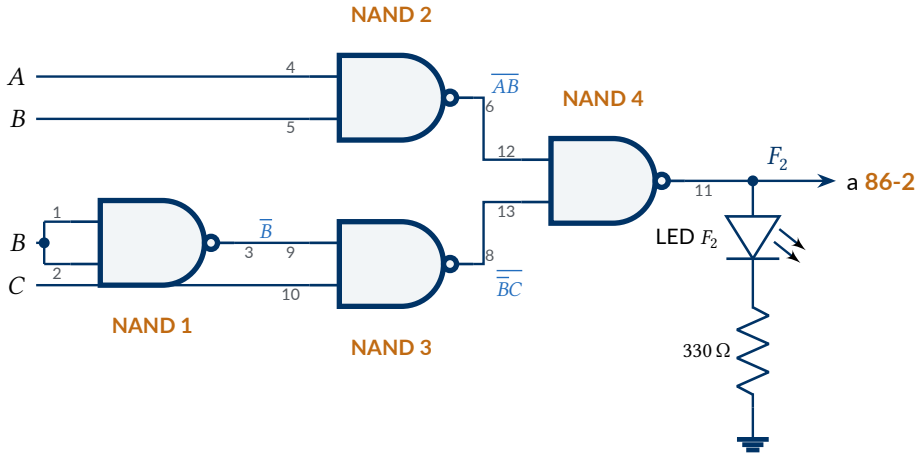


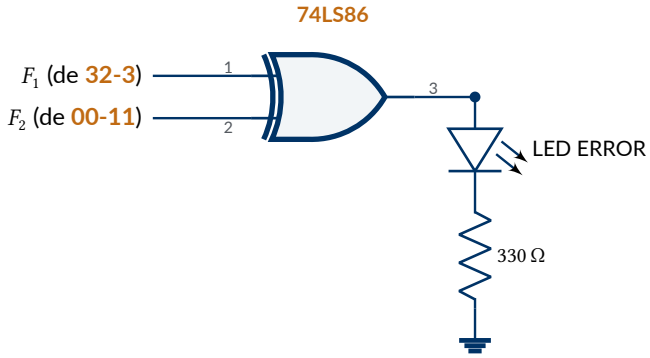
Figura 01.6. Circuito 2: $F_2 = \overline{\overline{AB} \cdot \overline{\overline{B}C}}$ con las cuatro NAND del 74LS00. La NAND 1, con sus dos entradas unidas, funciona como inversor.

Conexión	Qué es
B a 00-1 y a 00-2	NAND 1 como inversor: $\overline{BB} = \overline{B}$
A a 00-4 y B a 00-5	NAND 2: $\overline{AB}$
00-3 a 00-9 y C a 00-10	NAND 3: $\overline{\overline{B}C}$
00-6 a 00-12	Salida de la NAND 2
00-8 a 00-13	Salida de la NAND 3
00-11 al LED F_2	$F_2 = AB + \overline{B}C$

ADVERTENCIA

En el 74LS00 la tercera compuerta está "al revés": su salida es el terminal **8** y sus entradas son el 9 y el 10. Es el error más común de este circuito.

El comparador XOR: el LED de error



F_1	F_2	ERROR
0	0	0: coinciden
0	1	**1: no coinciden**
1	0	**1: no coinciden**
1	1	0: coinciden

Figura 01.7. La XOR vale 1 solo cuando sus entradas son distintas: el LED ERROR enciende si los dos circuitos no dan lo mismo.

Conexión	Qué es
32-3 a 86-1	F_1 entra al comparador
00-11 a 86-2	F_2 entra al comparador
86-3 al LED ERROR	$F_1 \oplus F_2$

Pruebas

1. Copie en la columna *Papel* la F de la tabla de verdad de la parte D.
2. Ponga cada combinación con los cables de entrada y anote los tres LEDs (encendido = 1).

Tabla 01.5. La función armada de dos formas

A	B	C	F papel	LED F_1	LED F_2	LED ERROR
0	0	0				
0	0	1				
0	1	0				
0	1	1				
1	0	0				
1	0	1				
1	1	0				
1	1	1				

Provoque una falla

Con todo funcionando, *desconecte la alimentación* y cambie un solo cable: el que lleva C a **00-10**, llévelo a la columna de A. Vuelva a alimentar y recorra las ocho combinaciones.

Pregunta	Respuesta
¿En qué combinaciones ABC enciende el LED ERROR?	
¿Qué función calcula ahora el circuito 2?	

Regrese el cable a su lugar y compruebe que el LED ERROR vuelve a quedar apagado en todas las combinaciones.

RETO PARA QUIEN TERMINE ANTES: LA MISMA FUNCIÓN EN UN SOLO INTEGRADO

Fíjese en la regla: con B se *elige* entre A y C. Eso hace un **multiplexor**, el tema de la sesión 3. El **74LS157** (16 terminales: **VCC** en 16 y **GND** en 8) calcula $1Y = \overline{SEL} \cdot 1A + SEL \cdot 1B$. Conéctelo así: B a SEL (terminal 1), C a 1A (2), A a 1B (3) y **EN** (15) a **GND**. Ponga un cuarto LED en 1Y (4). ¿Coincide con F_1 y F_2 en las ocho filas?

Tabla 01.6. Si algo falla

Síntoma	Revise
Ningún LED enciende nunca	Alimentación de los cinco integrados (14 y 7); polaridad de los LEDs.
F_1 falla solo con $B = 0$	El inversor: 04-1, 04-2 y que llegue a 08-4.
F_1 falla solo con $B = 1$	La primera AND: 08-1, 08-2 y 08-3.
F_2 falla	La NAND 3: salida en 00-8, entradas en 00-9 y 00-10.
ERROR enciende y F_1, F_2 parecen iguales	Un LED blanco o azul casi no enciende con una salida TTL: use rojos, amarillos o verdes. Mida F_1 y F_2 con el multímetro.
Un LED queda a medio brillo	Una entrada al aire, o una salida conectada a otra salida.

Preguntas de cierre

3. ¿Cuántas compuertas ahorró la simplificación? Compare la función de la tabla con la simplificada.

4. ¿Por qué el LED ERROR no enciende nunca cuando todo está bien conectado?

5. En el mapa de Karnaugh, ¿por qué no hace falta el grupo m_5–m_7?

Hoja de conexiones completa

Integrado	Terminal: conexión
74LS04	1: B • 2: a 08-4 • 7: GND • 14: VCC • los demás: libres
74LS08	1: A • 2: B • 3: a 32-1 • 4: de 04-2 • 5: C • 6: a 32-2 • 7: GND • 14: VCC • 8 a 13: libres
74LS32	1: de 08-3 • 2: de 08-6 • 3: LED F_1 y 86-1 • 7: GND • 14: VCC • 4 a 6 y 8 a 13: libres
74LS00	1: B • 2: B • 3: a 00-9 • 4: A • 5: B • 6: a 00-12 • 7: GND • 8: a 00-13 • 9: de 00-3 • 10: C • 11: LED F_2 y 86-2 • 12: de 00-6 • 13: de 00-8 • 14: VCC
74LS86	1: de 32-3 • 2: de 00-11 • 3: LED ERROR • 7: GND • 14: VCC • 4 a 6 y 8 a 13: libres

EVALUACIÓN EN LÍNEA (SOCRATIVE)

Al terminar la práctica se aplicará una evaluación breve en **Socrative**. Las preguntas combinan la teoría de la clase magistral en línea con lo que se acaba de hacer en el laboratorio.
El instructor indicará el código de la sala. Anótelo aquí, junto con cualquier indicación del día.

Código de sala / enlace

Espacio para la evaluación

Reservado para Socrative: el instructor colocará aquí el acceso o las indicaciones

02

PRÁCTICA
NO. 02

El osciloscopio, el 555 y un contador de 2 bits

SESIÓN	DURACIÓN	UNIDADES	CIRCUITO CLAVE
2 de 4	4 horas	3, 5 y 6	555, 74LS74 y 74LS76

Introducción

Ayer las salidas no cambiaban solas: dependían solo de los cables de entrada. Hoy el **tiempo** importa.
El **osciloscopio** dibuja la tensión contra el tiempo. Con él se ve una onda y se mide su **período** T. La **frecuencia** es $f = 1/T$.
El 555 en modo **astable** enciende y apaga un LED una y otra vez. Esa señal puede usarse como reloj.
Un **flip-flop** es una memoria de un bit: recuerda 0 o 1 hasta que el reloj le dice que cambie. Hoy se usan dos: el flip-flop D 74LS74 y el flip-flop JK 74LS76. Unidos al 555 forman un **contador de 2 bits**, la base de los contadores integrados de las prácticas 3 y 4.

OBJETIVOS

- Ver en el osciloscopio una onda cuadrada del generador interno.
- Medir el período de esa onda y calcular la frecuencia.
- Armar el 555 astable siguiendo el diagrama y ver el LED destellar.
- Usar el flip-flop D 74LS74 y comprobar que divide la frecuencia entre dos.
- Unir el 74LS74 y el JK 74LS76 en un contador de 2 bits con una línea para borrar.

MATERIALES Y EQUIPO

- FNIRSI-1014D (compartido), UT33B+, MO-MB102.
- 555, 74LS74 y 74LS76. Reto: el segundo flip-flop del 74LS74.
- Resistencias: 2 de 1 kΩ, 10 kΩ y 4 de 330 Ω.
- Capacitores: 100 µF, 10 µF, 100 nF y 10 nF.
- 4 LEDs, protoboard y cables tipo *jumper*.

PLANIFICACIÓN DE LA SESIÓN

Parte	Actividad	Tiempo
—	Apertura: repaso, osciloscopio, 555 y flip-flops	25 min
A	Ver una onda en el osciloscopio	25 min
B	Medir período y frecuencia	25 min
—	Receso	15 min
C	El 555 como reloj	45 min
D	Un flip-flop D como memoria	35 min
E	Contador de 2 bits con el 74LS76	40 min
—	Evaluación en Socrative, desarmado y cierre	30 min
	Total	**240 min**

Fundamento teórico

Período y frecuencia

Nombre	Símbolo	Cómo se obtiene
Período	T	Tiempo de un ciclo completo en la pantalla
Frecuencia	f	$f = 1/T$

> Si un ciclo ocupa 4 divisiones y cada división es 0.25 ms, entonces $T = 1\,\text{ms}$ y $f = 1\,\text{kHz}$.

El 555 en modo astable



Figura 02.1. Terminales del 555.

Con R_A, R_B y C conectados como en la figura de la parte C:

$$f \approx \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)\,C}$$

Hoy no se pide derivar la fórmula: solo se usa con los valores del diagrama. Con $R_A = 1\,\text{k}\Omega$ y $R_B = 10\,\text{k}\Omega$:

C	f	T	El LED
100 µF	0.69 Hz	1.46 s	Se cuentan los destellos
10 µF	6.9 Hz	0.146 s	Destella rápido
100 nF	686 Hz	1.46 ms	Parece fijo

Flip-flops D y JK

El flip-flop D 74LS74 copia D en Q en el instante en que **sube** el reloj. Si $\overline{Q}$ se regresa a D, la salida se invierte en cada subida: divide la frecuencia entre dos. El flip-flop JK 74LS76 actúa en la **bajada** del reloj (el círculo en su entrada CLK); con $J = K = 1$ también se invierte en cada flanco. $\overline{\text{PRE}}$ y $\overline{\text{CLR}}$ son activas en bajo: con 0 fuerzan $Q = 1$ o $Q = 0$; deben quedar en 1 para contar.

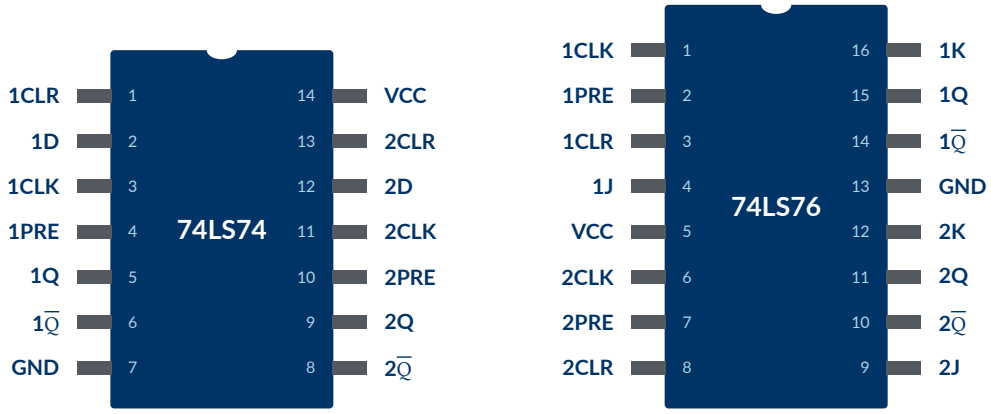


Figura 02.2. Terminales del 74LS74 y del 74LS76. En el 74LS76, VCC es el terminal 5 y GND el 13.

Procedimiento

Parte A. Ver una onda en el osciloscopio — 25 min

El osciloscopio se comparte. Mientras espera su turno, lea estos pasos y anote qué botón buscará.

1. Encienda el FNIRSI-1014D. Active el **generador de señales** interno.
2. Configure una onda **cuadrada** de 1 kHz. La amplitud debe quedar entre 0 V y 5 V.
3. Conecte la salida del generador al canal 1. Ajuste voltios/división y tiempo/división hasta ver **dos o tres ciclos** estables.
4. Si la imagen corre, ajuste el **disparo** (trigger) al canal 1.

ADVERTENCIA

No aplique al protoboard una señal con parte negativa. Los integrados TTL se dañan.

Parte B. Medir período y frecuencia

25 min

1. Con la onda de 1 kHz en pantalla, cuente cuántas divisiones horizontales ocupa **un** ciclo. Multiplique por la escala de tiempo. Ese número es T.
2. Calcule $f = 1/T$. Compare con el valor que muestra el osciloscopio, si tiene medición automática.
3. Si hay tiempo, repita con 100 Hz.

Tabla 02.1. Una onda medida

Dato	1 kHz	100 Hz **(si hay tiempo)**
T medido		
f calculada ($1/T$)		
f del aparato (si aparece)		

RECOMENDACIÓN

Un solo ciclo grande en la pantalla se mide mejor que diez ciclos apretados.

Parte C. El 555 como reloj

45 min

1. Arme el circuito **igual** al diagrama. $R_A = 1\,\text{k}\Omega$, $R_B = 10\,\text{k}\Omega$, $C = 10\,\mu\text{F}$ y 10 nF en el terminal 5.
2. Revise la muesca del 555 y la polaridad del capacitor: la franja del electrolítico va hacia GND.
3. Energice. El LED debe destellar lo bastante lento como para verse.
4. Si el instructor lo autoriza, sustituya C por 100 nF y mire la salida (terminal 3) en el osciloscopio.

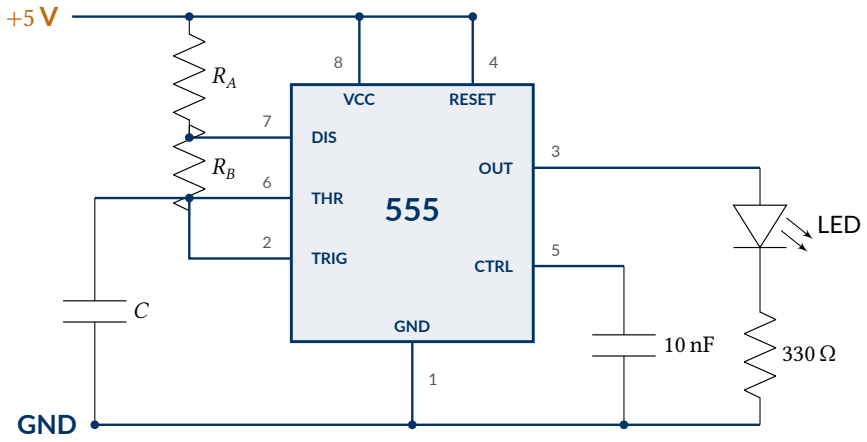


Figura 02.3. 555 en modo astable. El terminal 4 (RESET) va a +5 V.

Tabla 02.2. Observación del astable

Pregunta	Respuesta
¿El LED destelló con $C = 10\,\mu F$?	
¿Qué pasó al poner $C = 100\,nF$ (si se midió)?	

Parte D. Un flip-flop D como memoria

35 min

1. Deje el 555 con $C = 10\,\mu F$ y su LED (LED 1).
2. Inserte el 74LS74. Alimentación: 14 a VCC, 7 a GND. Ate PRE (4) y CLR (1) a VCC (activas en bajo: así no interfieren).
3. Una la salida $\overline{Q}$ (6) con la entrada D (2) del mismo flip-flop. El reloj (CLK, terminal 3) viene del terminal 3 del 555.
4. Ponga el LED 2 con $330\,\Omega$ en Q (5). Observe que cambia más despacio que el LED del 555: un cambio cada dos pulsos.
5. **No lo desarme:** en la parte E este circuito se convierte en un contador.

Tabla 02.3. Lo que se vio

Observación	Sí / No
El LED de Q cambia de estado	
Cambia más lento que el LED del 555	

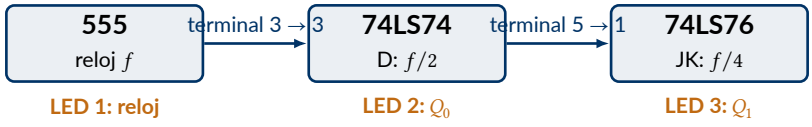
NOTA

Eso se llama **dividir la frecuencia por dos**. No hace falta dibujar la forma de onda: basta con verlo.

Parte E. Contador de 2 bits con los dos flip-flops

40 min

El 555 produce el reloj. El 74LS74 (flip-flop D) cambia en cada flanco de subida del reloj: es el bit Q_0. El 74LS76 (flip-flop JK con $J = K = 1$) cambia cada vez que Q_0 *baja*: es el bit Q_1. Leídos juntos, Q_1Q_0, los dos LED cuentan en binario **00, 01, 10, 11** y vuelven a empezar. Cada flip-flop divide la frecuencia entre dos, así que Q_1 va cuatro veces más lento que el reloj.



NOTA

Se parte del circuito de la parte D (555 y 74LS74 ya armados y funcionando). Solo se agregan el 74LS76, el LED 3 y la línea BORRAR. Para contar a simple vista, use $C = 100\,\mu F$ en el 555.

Los dos flip-flops: el contador

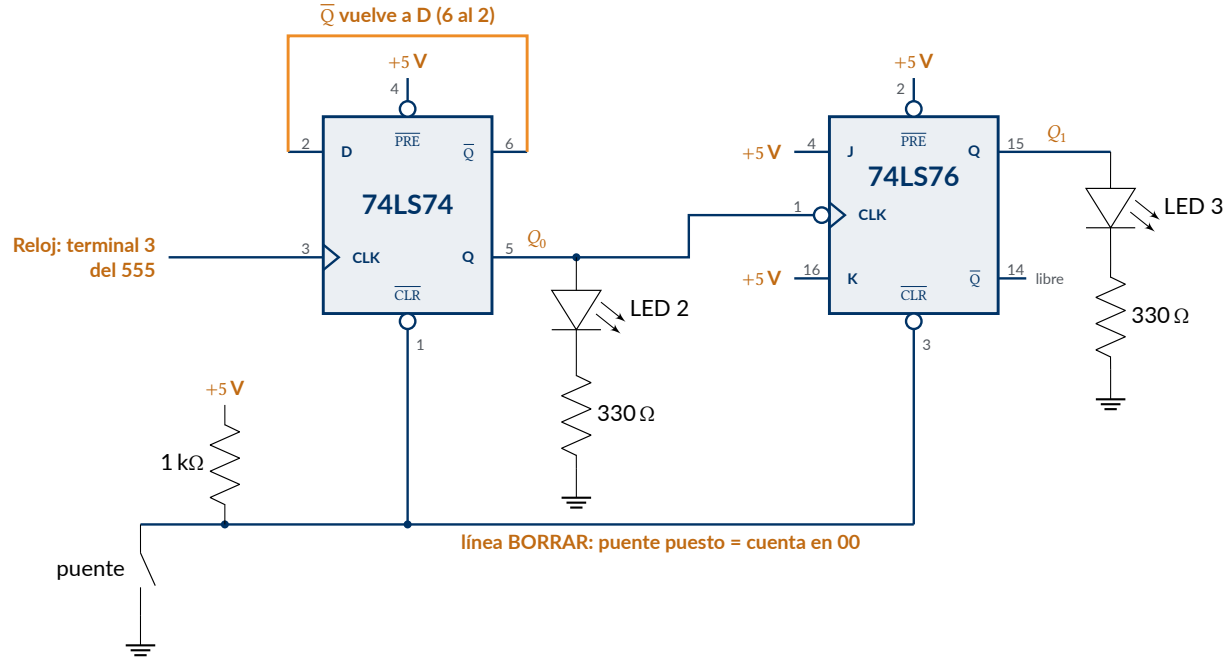


Figura 02.4. Contador de 2 bits. Las entradas marcadas +5 V van al riel de +5 V. La alimentación de los integrados está en la tabla de abajo: en el 74LS76 **no** es 14 y 7. El segundo flip-flop de cada integrado queda libre.

Conexiones, integrado por integrado

Terminal	Va a
555 (igual que en la parte C)	
1 (GND) y 8 (VCC)	GND y +5 V
2 (TRIG) y 6 (THR)	Unidos entre sí, al + del capacitor C y al extremo inferior de R_B
3 (OUT)	LED 1 con 330 Ω a GND, *y* al terminal 3 del 74LS74
4 (RESET)	+5 V
5 (CTRL)	Capacitor cerámico de 10 nF a GND
7 (DIS)	Entre R_A y R_B
74LS74, flip-flop D (bit Q_0)	
7 (GND) y 14 (VCC)	GND y +5 V
1 ($\overline{\text{CLR}}$)	Línea BORRAR **(antes iba a +5 V; cámbielo)**
2 (D)	Terminal 6 del mismo integrado
3 (CLK)	Terminal 3 del 555
4 ($\overline{\text{PRE}}$)	+5 V
5 (Q)	LED 2 con 330 Ω a GND, *y* al terminal 1 del 74LS76
6 ($\overline{\text{Q}}$)	Terminal 2 del mismo integrado
74LS76, flip-flop JK (bit Q_1)	
5 (VCC) y 13 (GND)	**+5 V y GND. No son 14 y 7.**
1 (1CLK)	Terminal 5 del 74LS74 (Q_0)
2 (1$\overline{\text{PRE}}$)	+5 V
3 (1$\overline{\text{CLR}}$)	Línea BORRAR
4 (1J) y 16 (1K)	+5 V los dos ($J = K = 1$: el flip-flop se invierte en cada flanco)
15 (1Q)	LED 3 con 330 Ω a GND
14 (1$\overline{\text{Q}}$)	Libre (se usa en el reto)
Línea BORRAR	
Fila libre del protoboard	Terminal 1 del 74LS74, terminal 3 del 74LS76, resistencia de 1 kΩ a +5 V y un cable puente que se conecta a GND solo para borrar

RIESGO ELÉCTRICO

El 74LS76 tiene **16 terminales** y su alimentación es distinta: VCC en el **5** y GND en el **13**. Si lo alimenta en 14 y 7 como los demás, el integrado se calienta. Antes de insertarlo, mida con el multímetro 5 V entre las filas de los terminales 5 y 13.

Orden de armado

1. Compruebe que el circuito de la parte D funciona: el LED 2 cambia a la mitad del ritmo del LED 1. Cambie C por el de 100 µF.
2. Desenergice. Quite el cable que llevaba el terminal 1 del **74LS74** a +5 V.
3. Arme la línea BORRAR en una fila libre: resistencia de 1 kΩ a +5 V y el terminal 1 del **74LS74**.
4. Inserte el **74LS76** sobre el canal central, con la muesca hacia el mismo lado que los otros integrados. Conecte el 5 a +5 V y el 13 a **GND**.
5. Conecte a +5 V los terminales 2, 4 y 16 del **74LS76**, y su terminal 3 a la línea BORRAR.
6. Una el terminal 5 del **74LS74** con el terminal 1 del **74LS76**.
7. Ponga el LED 3 con su resistencia de 330 Ω en el terminal 15. Colóquelo **a la izquierda** del LED 2 para leer Q_1Q_0 como un número binario.
8. Con el puente de BORRAR a **GND**, energice: los LED 2 y 3 deben quedar apagados aunque el LED 1 destelle. Quite el puente y cuente.

Qué esperar

Después de borrar, anote los LED después de cada encendido del LED 1.

Destello del LED 1	LED 3 (Q_1)	LED 2 (Q_0)	Cuenta en decimal
Borrado	0	0	0
1			
2			
3			
4			
5			

Dibuje en el cronograma las señales Q_0 y Q_1 y escriba la cuenta debajo de cada intervalo. Las líneas punteadas marcan los flancos de subida del reloj.

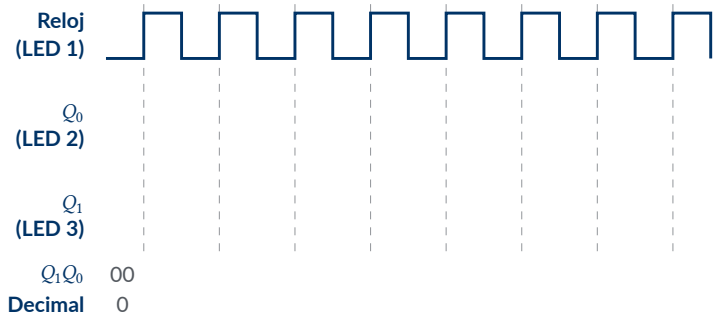


Figura 02.5. Cronograma del contador. Q_0 cambia en cada flanco de subida del reloj; Q_1 cambia cada vez que Q_0 baja.

Capacitor C	LED 1 (reloj)	LED 2 (Q_0)	LED 3 (Q_1)	Cómo se ve
100 µF	≈ 0.69 Hz			Lento: se lee cada número
10 µF	≈ 6.9 Hz			Rápido: el LED 3 aún se ve parpadear
100 nF	≈ 686 Hz			Todo parece fijo: se ve en el osciloscopio

> **Lo que deben observar:** el LED 2 cambia cuando el LED 1 *se enciende*. El LED 3 cambia cuando el LED 2 *se apaga*, porque el 74LS76 actúa en el flanco de bajada (el círculo en su entrada CLK). Por cada ciclo completo del LED 3, el LED 1 destella cuatro veces. Con el osciloscopio (CH1 en el terminal 3 del 555, CH2 en el terminal 15 del 74LS76) se ven cuatro períodos del reloj por cada período de Q_1.

Si no cuenta

Síntoma	Revise
LED 2 y LED 3 siempre apagados	El puente de BORRAR sigue a GND, o falta la resistencia de 1 kΩ a +5 V
El LED 3 nunca cambia	Alimentación del 74LS76 (5 y 13), J y K a +5 V, cable del terminal 5 del 74LS74 al terminal 1
El LED 3 queda encendido fijo	El terminal 2 ($\overline{\text{PRE}}$) quedó al aire o a GND: debe ir a +5 V
Cuenta hacia abajo (11, 10, 01, 00)	El terminal 1 del 74LS76 está en el terminal 6 ($\overline{Q}$) del 74LS74 en vez del 5
El 74LS76 se calienta	Desenergice: está alimentado en 14 y 7, o insertado al revés
Salta números o cuenta al azar	Cables de reloj largos o flojos; falta el capacitor de 10 nF del terminal 5 del 555

Reto: un tercer bit con el segundo flip-flop del 74LS74

El 74LS74 trae otro flip-flop D libre (terminales 8 a 13). Con él el contador llega hasta 7 (000 a 111).

Terminal del 74LS74	Va a
12 (2D)	Terminal 8 ($2\overline{\text{Q}}$) del mismo integrado
11 (2CLK)	Terminal 14 ($1\overline{\text{Q}}$) del 74LS76
10 ($2\overline{\text{PRE}}$)	+5 V
13 ($2\overline{\text{CLR}}$)	Línea BORRAR
9 (2Q)	LED 4 con 330 Ω a GND: es el bit Q_2

Pregunta: ¿por qué el reloj del tercer bit sale de $\overline{Q}$ del 74LS76 y no de su Q?

EVALUACIÓN EN LÍNEA (SOCRATIVE)

Al terminar la práctica se aplicará una evaluación breve en **Socrative**. Las preguntas combinan la teoría de la clase magistral en línea con lo que se acaba de hacer en el laboratorio.
El instructor indicará el código de la sala. Anótelo aquí, junto con cualquier indicación del día.

Código de sala / enlace

Espacio para la evaluación

Reservado para Socrative: el instructor colocará aquí el acceso o las indicaciones

03 PRÁCTICA
NO. 03

Elegir, contar y transmitir

SESIÓN	DURACIÓN	UNIDADES	CIRCUITO CLAVE
3 de 4	4 horas	3 y 4	74LS138, 74LS151 y 74LS193

Introducción

Ayer dos flip-flops contaban de 0 a 3. Hoy un solo integrado, el **74LS193**, cuenta de 0 a 15, y esa cuenta se usa para **elegir** y para **transmitir** datos.

El **multiplexor** elige *uno* de varios datos y lo pone en su salida: es un interruptor de varias posiciones. El **decodificador** hace lo contrario: lee un número binario y activa *una* de sus salidas. Con los dos, y con un contador que recorre las posiciones, se arma un sistema que envía los ocho bits de una letra **por un solo cable**, uno tras otro, y los vuelve a mostrar en ocho LEDs. Es la misma idea de un puerto serie, como el USB del Arduino que se usará mañana.

El circuito crece por partes: el multiplexor de 2 a 1 (parte A), el decodificador con ocho LEDs (parte B), el contador que mueve la luz (parte C) y el multiplexor de 8 a 1 que transmite el byte (parte D).

OBJETIVOS

- Elegir entre dos datos con el multiplexor **74LS157**.
- Encender uno de ocho LEDs con el decodificador **74LS138**.
- Hacer que el contador **74LS193**, con el reloj **555**, recorra las ocho salidas del decodificador.
- Transmitir un byte por un solo cable con el multiplexor **74LS151** y reconstruirlo en los ocho LEDs.

MATERIALES Y EQUIPO

- Protoboard, **MO-MB102** con **ADP-5HB** en 5 V, multímetro **UT33B+** y cables tipo *jumper*.
- Circuitos integrados: **74LS157**, **74LS138**, **74LS193**, **74LS151** y **555**.
- Resistencias: 2 de 1 kΩ, 1 de 4.7 kΩ, 1 de 10 kΩ y 9 de 330 Ω.
- Capacitores: 100 µF, 10 µF, 100 nF y 10 nF.
- 9 LEDs (ocho para el decodificador y uno para el reloj).
- Osciloscopio **FNIRSI-1014D** (opcional, compartido).

PLANIFICACIÓN DE LA SESIÓN

Parte	Actividad	Tiempo
—	Apertura: repaso, binario, multiplexor, decodificador y contador	25 min
A	Multiplexor de 2 a 1 (74LS157)	20 min
B	Decodificador de 3 a 8 con ocho LEDs (74LS138)	35 min
—	Receso	15 min
C	El contador mueve la luz (555 y 74LS193)	45 min
D	Un byte por un solo cable (74LS151)	55 min
—	Evaluación en Socrative	25 min
—	Desarmado y cierre	20 min
	Total	**240 min**

Fundamento teórico

Contar en binario con tres bits

Tres bits forman los números de 0 a 7. El bit C es el más pesado:

$$n = 4C + 2B + A$$

Todas las partes de hoy usan esta tabla: en el decodificador, CBA dice qué LED se enciende; en el contador, $Q_C Q_B Q_A$ es la cuenta; en el multiplexor de 8 a 1, CBA dice qué bit sale.

Decimal	0	1	2	3	4	5	6	7
CBA	000	001	010	011	100	101	110	111

Multiplexor de 2 a 1: el 74LS157

El 74LS157 tiene cuatro multiplexores de 2 a 1. Todos comparten la entrada SEL: con SEL en 0 la salida 1Y copia 1A; con SEL en 1 copia 1B. La habilitación $\overline{\text{EN}}$ (terminal 15) debe ir a GND; si queda en alto, todas las salidas quedan en 0.

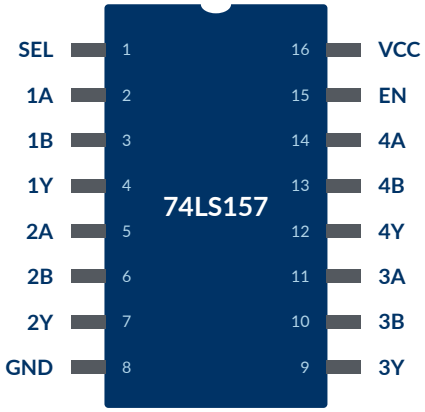


Figura 03.1. `74LS157`: cuatro multiplexores de 2 a 1. Hoy se usa el primero (terminales 1 a 4).

Decodificador de 3 a 8: el `74LS138`

Tres entradas A, B y C forman un número de 0 a 7, y el `74LS138` activa **una** de sus ocho salidas, `Y0` a `Y7`. Las salidas son **activas en bajo**: la elegida baja a 0 V y las demás quedan en alto. Por eso cada LED se conecta desde +5 V, con su resistencia, hacia la salida: el LED encendido es el elegido.
Para que funcione, las tres entradas de habilitación deben estar así: `G1` (6) en alto, `G2A` (4) y `G2B` (5) en bajo. Si falta una sola, **ninguna** salida se activa. La parte D aprovecha este efecto.

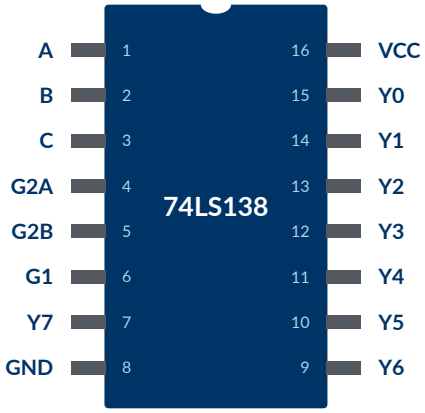
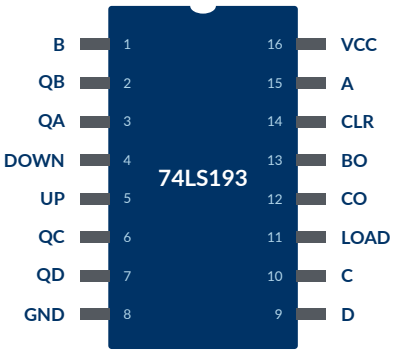


Figura 03.2. `74LS138`. Atención: el terminal 7 es la salida `Y7`, no `GND`. `VCC` es el 16 y `GND` el 8.

Contador binario: el `74LS193`

El `74LS193` suma 1 en cada **subida** de su entrada `UP`: su salida $Q_DQ_CQ_BQ_A$ va de 0000 a 1111 y vuelve a 0000. Hace el trabajo de cuatro flip-flops como los de la práctica 2. Hoy se usan Q_A, Q_B y Q_C (cuenta de 0 a 7).



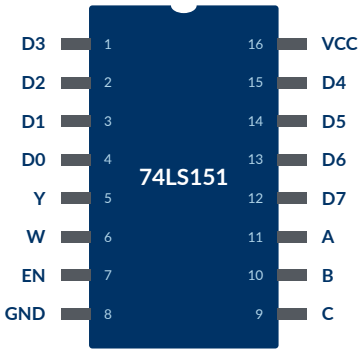
Terminales	Nombre	Conexión de hoy
5	UP	Reloj: salida 3 del 555
4 y 11	$\overline{\text{DOWN}}$, $\overline{\text{LOAD}}$	+5 V (no se usan)
14	CLR	Línea BORRAR: **activa en alto**
15, 1, 10, 9	A, B, C, D	`GND` (sin uso)
3, 2, 6, 7	Q_A a Q_D	La cuenta: pesos 1, 2, 4 y 8

ADVERTENCIA

Al revés que en la práctica 2: el `CLR` del `74LS193` borra con **1**. Su línea BORRAR lleva 1 kΩ a `GND` y el puente se conecta a +5 V solo para borrar.

Multiplexor de 8 a 1: el `74LS151`

El `74LS151` tiene ocho entradas de datos, `D0` a `D7`, y tres de dirección, A, B y C. Por `Y` sale el bit elegido D_{CBA}, y por `W` el mismo bit **negado**. Si la dirección recorre 0, 1, ..., 7, por `Y` salen D_0, D_1, ..., D_7 uno tras otro: ocho cables entran y **uno** sale. Eso es convertir un dato **paralelo** en **serie**.



Terminales	Nombre	Qué hace
4, 3, 2, 1, 15, 14, 13, 12	D0 a D7	Los ocho bits del dato
11, 10, 9	A, B, C	Dirección: qué bit sale
5	Y	Copia el bit elegido
6	W	El bit elegido, negado
7	$\overline{\text{EN}}$	A `GND` para habilitar

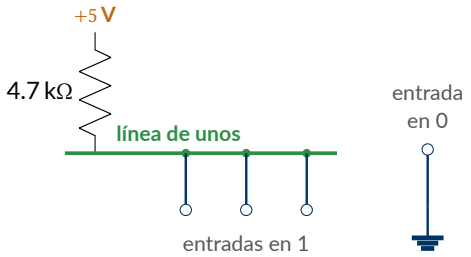
Paralelo, serie y otra vez paralelo

En la parte D, el contador da la misma dirección al `74LS151` (el **emisor**) y al `74LS138` (el **receptor**). En cada turno, el emisor pone un bit en un solo cable y el receptor enciende el LED de ese turno solo si el bit es 1. Con un reloj lento se ve la luz saltar de una posición a otra; con un reloj rápido, de cientos de turnos por segundo, el ojo ve los ocho bits **a la vez**.

NOTA

Emisor y receptor deben estar siempre en el **mismo turno**. Hoy lo logran compartiendo el contador, con tres cables de dirección y uno de dato. Un puerto serie real, como el del Arduino, usa un solo cable: los dos lados acuerdan la velocidad y un **bit de inicio** marca dónde empieza cada letra.

Cómo poner un 0 o un 1 en una entrada



Para poner un **1**, conecte un puente desde la entrada a la **línea de unos**: una fila del protoboard unida a +5 V por una resistencia de 4.7 kΩ. Para poner un **0**, conecte el puente a GND. Una entrada TTL al aire suele comportarse como 1, pero es inestable: cualquier roce la cambia. **Nunca deje entradas sueltas.**

NORMAS DE SEGURIDAD

- Revise la muesca: terminal 1 arriba a la izquierda.
- Los cuatro integrados de 16 terminales de hoy se alimentan en 16 (VCC) y 8 (GND); el 555, en 8 y 1.
- Una **salida** nunca va a la línea de unos ni a GND: cuando el contador maneje *A*, *B* y *C*, retire esos puentes.
- Desconecte la alimentación antes de mover cables. Módulo en 5 V.

Procedimiento

Parte A. Multiplexor de 2 a 1

20 min

1. Complete la columna *LED (papel)* de la tabla *antes* de armar.
2. Inserte el 74LS157: 16 a VCC; 8 y EN (15) a GND.
3. Arme la línea de unos con la resistencia de 4.7 kΩ.
4. Ponga un LED con 330 Ω a GND en 1Y (4).
5. Fije SEL (1), 1A (2) y 1B (3) con puentes y pruebe las cuatro filas de la tabla.

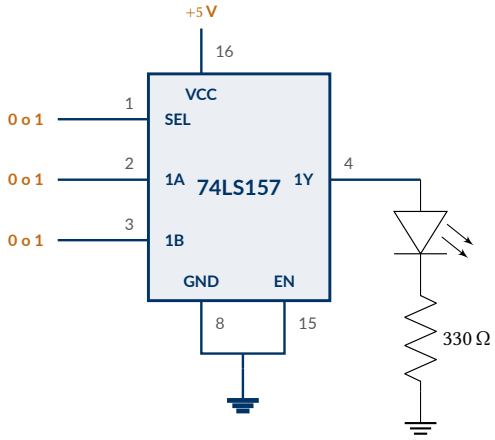


Figura 03.3. Parte A. Multiplexor de 2 a 1. Cada *0 o 1* es un puente a la línea de unos o a GND.

Tabla 03.1. Lo que hizo el 74LS157

SEL	1A	1B	LED (papel)	LED (real)
0	0	1		
0	1	0		
1	0	1		
1	1	0		

NOTA

Con SEL en 0, mueva solo 1B: el LED no cambia. El mismo cable de salida lleva 1A o 1B según SEL. Deje el 74LS157 armado a un lado del protoboard: se usa en el reto 2.

Parte B. Decodificador de 3 a 8 con ocho LEDs

35 min

1. Inserte el 74LS138: 16 a VCC, 8 a GND.
2. Habilite: G1 (6) a +5 V; G2A (4) y G2B (5) a GND.
3. Coloque ocho LEDs en fila, cada uno con 330 Ω desde +5 V: la pata **corta** (cátodo) va a la salida.
4. Ordene los LEDs en el protoboard con Y7 a la izquierda y Y0 a la derecha.
5. Conecte *A*, *B* y *C* (terminales 1, 2 y 3) con puentes a la línea de unos o a GND.

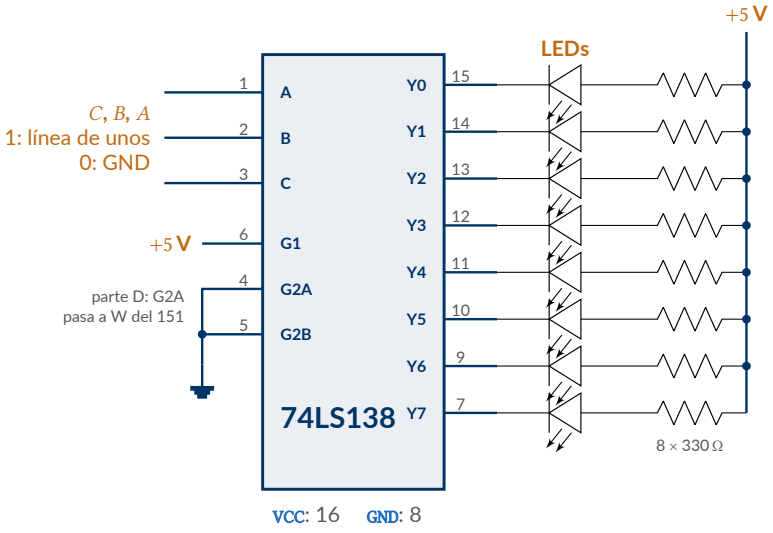


Figura 03.4. Parte B. Decodificador 74LS138 con ocho LEDs. Con el LED desde +5 V, la salida en 0 V es la que deja pasar corriente: encendido = elegido.

Tabla 03.2. Selección del 74LS138

C	B	A	Decimal	LED encendido	V en esa salida
0	0	0	0	Y0	
0	0	1	1		
0	1	0			
1	0	1			
1	1	1			

6. Mida con el multímetro la salida elegida y una salida no elegida.
7. Pase G2A (4) de GND a la línea de unos. Anote qué pasa con los LEDs y regréselo a GND.

Pregunta	Respuesta
Tensión en una salida **no** elegida	
¿Qué pasa con G2A en la línea de unos?	

Parte C. El contador mueve la luz

45 min

El 555 de la práctica 2 y el 74LS193 reemplazan a los puentes de A, B y C.

1. Desenergice. **Retire** los puentes de A, B y C del 74LS138.
2. Arme el 555 astable como en la práctica 2: $R_A = 1\,\text{k}\Omega$, $R_B = 10\,\text{k}\Omega$, $C = 100\,\mu\text{F}$, $10\,\text{nF}$ en el terminal 5 y su LED con $330\,\Omega$ en la salida 3.
3. Inserte el 74LS193: 16 a VCC, 8 a GND; DOWN (4) y $\overline{\text{LOAD}}$ (11) a +5 V; A, B, C y D (15, 1, 10 y 9) a GND.
4. Lleve la salida 3 del 555 al UP (5).
5. Arme la línea BORRAR en el CLR (14): $1\,\text{k}\Omega$ a GND y un puente que solo se conecta a +5 V para borrar.
6. Conecte Q_A (3), Q_B (2) y Q_C (6) a los terminales 1, 2 y 3 (A, B, C) del 74LS138.
7. Energice y observe. Después cambie C del 555 por $10\,\mu\text{F}$.

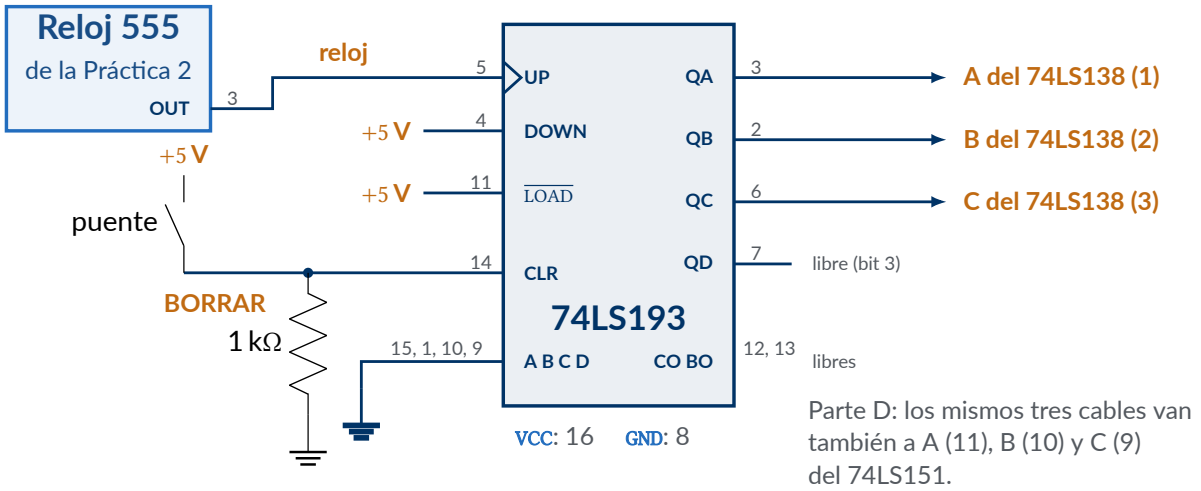


Figura 03.5. Parte C. El 555 mueve el 74LS193, y su cuenta elige el LED del 74LS138.

Tabla 03.3. El contador con dos capacitores

Dato	$C = 100\,\mu F$	$C = 10\,\mu F$
f del reloj (calculada)	0.69 Hz	6.9 Hz
Tiempo en cada LED		
Vuelta completa (8 LEDs)		
Lo que se ve		

Pregunta	Respuesta
¿La luz cambia cuando el LED del 555 se enciende o cuando se apaga?	
¿Qué pasa al poner el puente de BORRAR a +5 V?	
El 74LS193 cuenta hasta 15, pero hay 8 LEDs. ¿Qué pasa de la cuenta 8 a la 15?	

Parte D. Un byte por un solo cable

55 min

Se agrega el 74LS151; lo demás queda como en la parte C. El mismo contador da la dirección al emisor (74LS151) y al receptor (74LS138), y el dato viaja por un solo cable, de W a G2A.

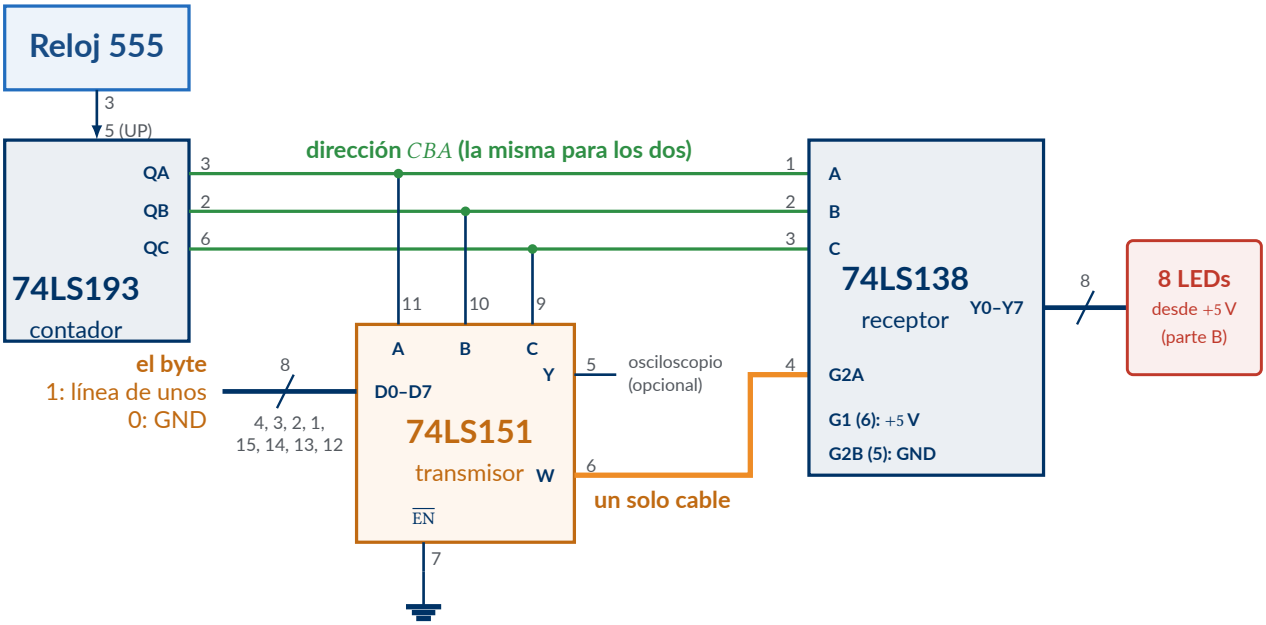


Figura 03.6. Parte D. Sistema completo: el contador comparte la dirección y el bit viaja por el cable naranja.

1. Desenergice. Inserte el 74LS151: 16 a VCC, 8 a GND y $\overline{\text{EN}}$ (7) a GND.
2. Conecte Q_A, Q_B y Q_C del contador también a los terminales 11, 10 y 9 (A, B, C) del 74LS151.
3. Cargue la letra U: D0 a D7 con puentes a la línea de unos (1) o a GND (0). Ordene los puentes con D7 a la izquierda y D0 a la derecha, igual que los LEDs.
4. Saque G2A (4) del 74LS138 de GND y llévelo a W (6) del 74LS151.
5. Deje G2B en GND y G1 en +5 V.
6. Energice con $C = 100\,\mu\text{F}$; después pruebe con 10 µF y con 100 nF.

74LS151	Va a
16 y 8	+5 V y GND
7 ($\overline{\text{EN}}$)	GND
11, 10, 9	Q_A, Q_B, Q_C del 74LS193
4, 3, 2, 1	Bits D0 a D3 del byte
15, 14, 13, 12	Bits D4 a D7 del byte
6 (W)	4 (G2A) del 74LS138
5 (Y)	Libre (o al osciloscopio)

Letra	Hex	D7 … D0
U	55	0101 0101
R	52	0101 0010
A	41	0100 0001
L	4C	0100 1100

ADVERTENCIA

La línea de unos alimenta muchas entradas a la vez: use 4.7 kΩ, no 10 kΩ. Cada entrada TTL toma un poco de corriente y, con más resistencia, el 1 se debilita.

Qué pasa en cada turno

En cada turno k el 74LS151 pone en W el bit D_k **negado**. Si $D_k = 1$, W vale 0: el 74LS138 queda habilitado y enciende el LED k. Si $D_k = 0$, W vale 1: el 74LS138 se deshabilita y no enciende ninguno. Complete en la trama la fila W y marque qué LED se enciende en cada turno.

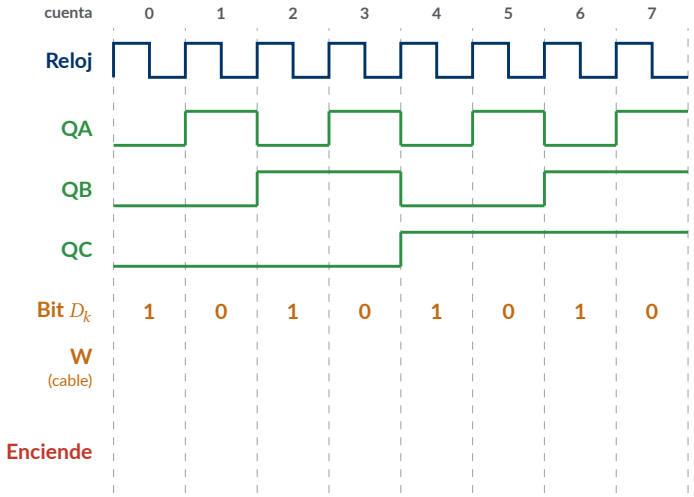


Figura 03.7. Trama de la letra U (0101 0101): de la cuenta 0 a la 7.

Tabla 03.4. Lo que se ve con la letra U

C del 555	Lo que se ve
100 µF	
10 µF	
100 nF	

7. Con 100 nF puesto, cambie los puentes a la R, la A y la L. Compruebe que los LEDs muestran el mismo patrón que los puentes.

RECOMENDACIÓN

Osciloscopio (opcional): CH1 en `W` (6 del `74LS151`), CH2 en Q_C (6 del `74LS193`), 2 ms/div, disparo en CH2 con flanco de bajada. La bajada de Q_C marca el inicio de cada trama.

Retos

RETO 1: SU INICIAL

Busque el código ASCII de la inicial de su nombre (mayúscula), cárguelo en D7 a D0 y muéstrelo al instructor. Pista: la A es 41 (`0100 0001`); la B es 42, la C es 43, y así sucesivamente.
Letra: _____ Hex: _____ D7 … D0: _____

RETO 2: ELEGIR EL RELOJ CON EL 74LS157

1. Quite el cable del terminal 3 del 555 al `UP` (5).
2. Lleve el 3 del 555 a 1A (2) del `74LS157`, y un puente (línea de unos o `GND`) a 1B (3).
3. Conecte 1Y (4) al `UP` (5) del `74LS193`.
4. Con `SEL` en 0 cuenta el 555. Con `SEL` en 1 cuenta usted, moviendo el puente de 1B.

¿Avanza la luz de uno en uno cuando mueve el puente? ¿Por qué?

1. Hoy se usaron 4 cables entre emisor y receptor (3 de dirección y 1 de dato). ¿Cómo hace un puerto serie real para usar solo uno?

Si el circuito no funciona

Revise en este orden, sin cambiar varias cosas a la vez.

Síntoma	Revise
Ningún integrado responde	Alimentación: 16 a `VCC` y 8 a `GND` en los cuatro de 16 terminales
El LED del 157 no responde	$\overline{\text{EN}}$ (15) a `GND`
Ningún LED del 138 enciende (parte B)	`G1` en alto, `G2A` y `G2B` en bajo; LEDs con la pata corta hacia la salida
El LED del 555 no destella	RESET (4) a +5 V; polaridad de C; 2 y 6 unidos
La luz no avanza (parte C)	DOWN (4) y $\overline{\text{LOAD}}$ (11) a +5 V; BORRAR sin el puente. Mida Q_A (3) con el reloj lento: debe alternar entre 0 y más de 2.7 V
Se enciende un LED equivocado	El terminal 7 del 138 es `Y7`; revise el orden de Q_A, Q_B y Q_C
En la parte D no enciende ningún LED	`G2A` debe ir a `W` (6), no a `Y` (5); el byte debe tener al menos un 1
El byte sale desordenado	D0 del 151 es el terminal 4 y D7 el 12: los terminales no van en orden

EVALUACIÓN EN LÍNEA (SOCRATIVE)

Al terminar la práctica se aplicará una evaluación breve en **Socrative**. Las preguntas combinan la teoría de la clase magistral en línea con lo que se acaba de hacer en el laboratorio.
El instructor indicará el código de la sala. Anótelo aquí, junto con cualquier indicación del día.

Código de sala / enlace

Espacio para la evaluación

Reservado para Socrative: el instructor colocará aquí el acceso o las indicaciones

04 PRÁCTICA
NO. 04

Práctica final: un contador de 00 a 19 con Arduino Nano

SESIÓN	DURACIÓN	UNIDADES	PLATAFORMA
4 de 4	4 horas	3, 5, 6, 7 y 8	Arduino Nano

Introducción

La última práctica reúne todo el curso en un solo circuito, armado por etapas. El 555 da el reloj, como en las prácticas 2 y 3. El contador de décadas 74LS90 cuenta las **unidades** de 0 a 9 y el flip-flop JK 74LS76 las **decenas**, 0 o 1: juntos cuentan de **00 a 19**. Una compuerta 74LS04 adapta la línea BORRAR, que es activa en bajo, al 74LS90, que borra con un 1.

Al final, un **Arduino Nano** lee las salidas de los integrados, arma el número, lo muestra en una pantalla LCD de 16×2 por el bus I^2C y lo envía a la computadora por el puerto serie. El Arduino **no cuenta**: solo lee. Si se desconecta, el contador sigue funcionando.

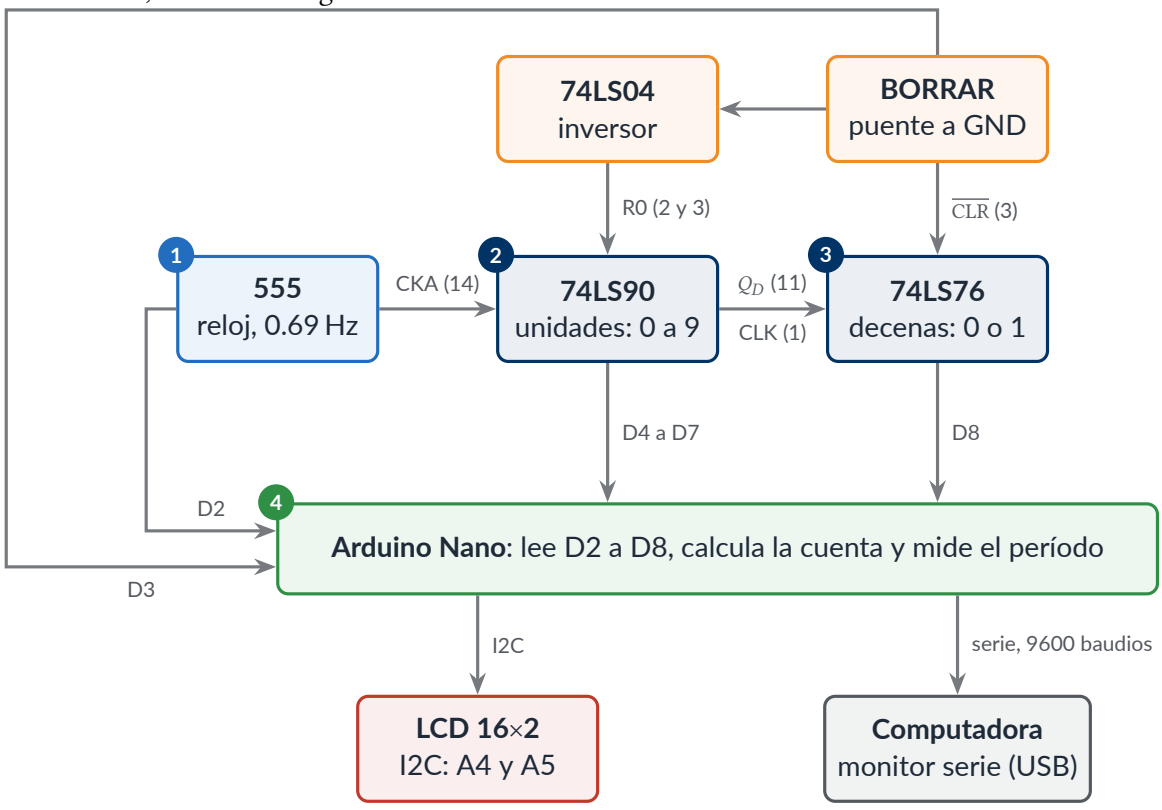


Figura 04.1. El sistema completo. Los números 1 a 4 son las etapas de armado.

OBJETIVOS

- Construir un contador de 00 a 19 con el 555, el contador de décadas 74LS90 y el flip-flop JK 74LS76.
- Usar el inversor 74LS04 para adaptar una señal activa en bajo a una entrada activa en alto.
- Leer la cuenta con el Arduino Nano y mostrarla en la pantalla LCD por I^2C.
- Enviar la cuenta y el período del reloj a la computadora por el puerto serie.

MATERIALES Y EQUIPO

- Protoboard, MO-MB102 con ADP-5HB en 5 V, multímetro UT33B+ y cables tipo *jumper*.
- Circuitos integrados: 555, 74LS90, 74LS76 y 74LS04. Para el reto 1: 74LS08.
- Resistencias: 7 de 1 kΩ, 1 de 10 kΩ y 2 de 330 Ω.
- Capacitores: 100 µF, 10 µF y 10 nF.
- 7 LEDs.
- Arduino Nano con su cable USB (cable de comunicación serie) y computadora con el Arduino IDE.
- Pantalla LCD 16×2 con módulo I^2C (PCF8574) y la biblioteca `LiquidCrystal I2C` instalada.
- Osciloscopio FNIRSI-1014D (opcional, compartido).

PLANIFICACIÓN DE LA SESIÓN

Parte	Actividad	Tiempo
—	Apertura: repaso, el reto, Arduino Nano, serie e I^2C	25 min
A	Etapa 1. El reloj (555)	15 min
B	Etapa 2. Las unidades (74LS90)	35 min
—	Receso	15 min
C	Etapa 3. Decenas y línea BORRAR (74LS76 y 74LS04)	30 min
D	Etapa 4. Arduino Nano, LCD y puerto serie	45 min
—	Retos	25 min
—	Evaluación en Socrative	25 min
—	Desarmado y cierre del curso	25 min
	Total	**240 min**

RECOMENDACIÓN

Cada etapa termina en un **punto de control**. Muéstrele al instructor que funciona antes de seguir: si la etapa 2 falla, la 4 también fallará.

Fundamento teórico

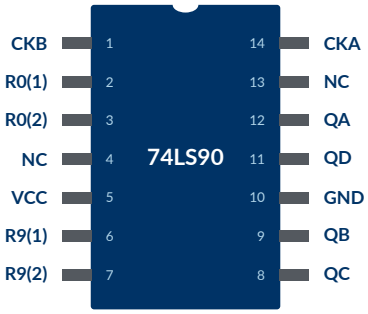
Unidades en BCD y decenas

El 74LS90 cuenta en **BCD** (decimal codificado en binario): cuatro bits que van de 0000 a 1001 (9) y después vuelven a 0000, no a 1010. Sus salidas pesan $Q_A = 1$, $Q_B = 2$, $Q_C = 4$ y $Q_D = 8$. El bit de decenas pesa 10. Por ejemplo, decenas = 1 y $Q_D Q_C Q_B Q_A = 0111$ es:

$$10 + 4 + 2 + 1 = 17$$

El 74LS76, con $J = K = 1$, se invierte en cada **bajada** de su reloj. Su reloj es Q_D, que baja una sola vez por década: al pasar de 9 (1001) a 0 (0000). Por eso las decenas cambian del 9 al 10 y del 19 al 00.

El contador de décadas 74LS90



Terminales	Nombre	Conexión de hoy
5 y 10	**VCC, GND**	**+5 V y tierra**
14	CKA	Reloj: 3 del 555 (cuenta en la bajada)
1	CKB	Unido a Q_A (12): cuenta de 0 a 9
2 y 3	R0(1), R0(2)	Borran con 1: salida 2 del 74LS04
6 y 7	R9(1), R9(2)	Ponen 1001 con 1: a GND
12, 9, 8, 11	Q_A a Q_D	Pesos 1, 2, 4 y 8

RIESGO ELÉCTRICO

El 74LS90 tiene 14 terminales, pero VCC va en el **5** y GND en el **10**. El 74LS76 tiene VCC en el **5** y GND en el **13**. Revíselo antes de energizar.

El Arduino Nano

El Arduino Nano tiene un microcontrolador ATmega328P en una placa que cabe en el protoboard. Trabaja con 5 V, como los TTL: un 1 de un integrado es un 1 para el Arduino. Hoy se alimenta por el USB de la computadora, el mismo cable que lleva el programa y los datos serie.



Terminales	Para qué sirven hoy
D2 a D8	Entradas digitales: leen 0 o 1 de los integrados
A4 (SDA), A5 (SCL)	Bus I^2C hacia la LCD
D0 (RX), D1 (TX)	Puerto serie, por el USB. **No los use**
5V y GND	Alimentan la LCD; GND también al protoboard
D13	LED **L** de la placa (reto)
VIN	7 a 12 V de una fuente externa; hoy no se usa

Un programa de Arduino tiene dos partes: `setup()` corre una vez al encender y `loop()` se repite sin parar, como un ciclo `Mientras`. Hoy bastan cuatro instrucciones: `pinMode` (entrada o salida), `digitalRead` (leer un 0 o un 1), `Serial.print` (enviar texto a la computadora) y `lcd.print` (escribir en la pantalla).

Dos formas de enviar datos en serie

	UART: Arduino → computadora	I^2C: Arduino → LCD
Cables	Uno por sentido (TX y RX)	Dos: SDA (datos) y SCL (reloj)
Sincronía	Sin reloj: ambos lados acuerdan la velocidad (9600 bits/s) y un bit de inicio marca cada letra	El reloj viaja en SCL
Dirección	No hace falta: solo hay dos aparatos	Cada aparato tiene una: la LCD suele ser `0x27` (a veces `0x3F`)
En el Nano	El chip `CH340` lo convierte en USB; se ve en el **Monitor serie**	El módulo `PCF8574` recibe en serie y entrega en paralelo a la LCD

NOTA

En la práctica 3 el emisor y el receptor compartían la dirección por tres cables y el dato iba por un cuarto. El I^2C envía la dirección **por el mismo cable**, antes del dato, y el UART elimina el reloj compartido con el bit de inicio.

Alimentación: dos fuentes de 5 V y una sola tierra

Los integrados se alimentan con el MO-MB102. El Nano se alimenta por el USB y él alimenta a la LCD. Un cable une el `GND` del Nano con el riel GND del protoboard: sin tierra común, el Arduino no puede leer los niveles de los integrados.

NORMAS DE SEGURIDAD

- El 5V del Nano **no** va a los rieles del protoboard: dos fuentes de 5 V unidas pelean entre sí.
- La salida de 12 V de la fuente nunca va a un integrado TTL.
- 74LS90 y 74LS76: VCC en el terminal 5.
- Capacitor electrolítico: franja hacia GND.
- Desconecte el USB y el MO-MB102 antes de mover cables.

Procedimiento

Parte A. Etapa 1. El reloj

15 min

1. Coloque el 555 en el **extremo derecho** del protoboard: el centro queda para los contadores y la izquierda para el Nano.
2. Arme el astable como en la práctica 2: $R_A = 1\,\text{k}\Omega$, $R_B = 10\,\text{k}\Omega$ y $C = 100\,\mu\text{F}$. RESET (4) y VCC (8) a +5 V; GND (1) a tierra; 10 nF en CTRL (5).
3. Ponga el LED del reloj con 330 Ω en OUT (3).
4. Energice con el MO-MB102.

C	f calculada	T calculado	T medido (cronómetro: 10 destellos ÷ 10)
100 µF	0.69 Hz	1.46 s	

RECOMENDACIÓN

Punto de control 1: el LED del reloj destella una vez cada segundo y medio.

Parte B. Etapa 2. Las unidades

35 min

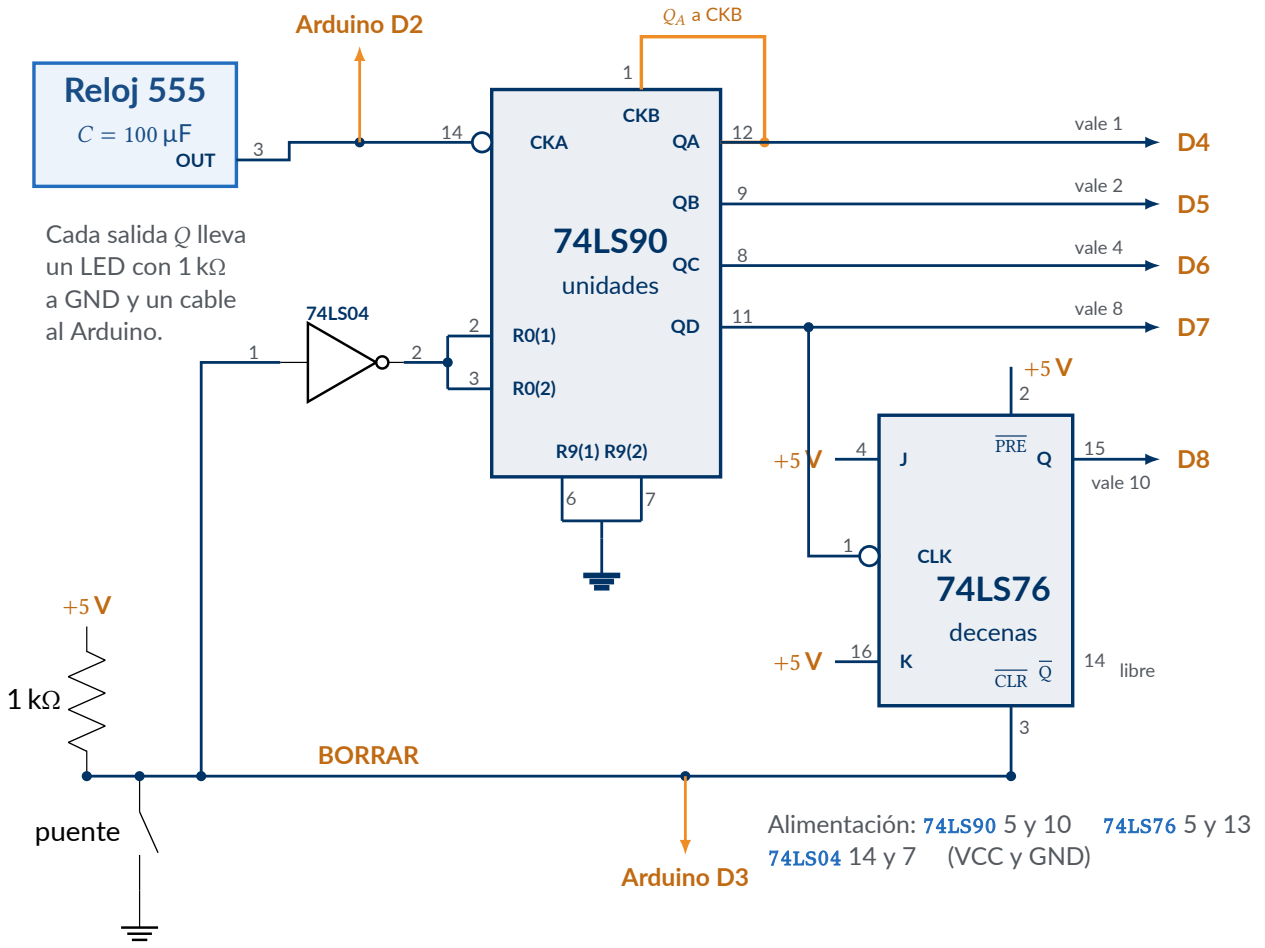


Figura 04.2. Circuito TTL completo de las etapas 2 y 3. Las flechas naranjas son los cables que van al Arduino en la etapa 4.

1. Desenergice. Inserte el 74LS90: VCC en el **5**, GND en el **10**.
2. Lleve el terminal 3 del 555 al 14 (CKA).
3. Una el 12 (Q_A) con el 1 (CKB).
4. Conecte el 6 y el 7 (R9) a GND.
5. Por ahora, conecte el 2 y el 3 (R0) a GND.
6. Ponga cuatro LEDs, cada uno con 1 kΩ a GND, en Q_D (11), Q_C (8), Q_B (9) y Q_A (12), en ese orden de izquierda a derecha.

NOTA

Hoy los LEDs de las salidas llevan 1 kΩ y no 330 Ω: brillan menos, pero cargan menos la salida y el Arduino lee mejor el 1.

Tabla 04.1. Las unidades: lea los LEDs como $Q_D Q_C Q_B Q_A$

Pulsos	$Q_D Q_C Q_B Q_A$	Pulsos	$Q_D Q_C Q_B Q_A$
0	0000	6	
1	0001	7	
2		8	
3		9	
4		10	
5		11	

Pregunta	Respuesta
¿La cuenta cambia cuando el LED del reloj se enciende o cuando se apaga?	
¿Cuánto tarda una vuelta completa (0 a 0)?	

RECOMENDACIÓN

Punto de control 2: los cuatro LEDs cuentan 0000, 0001, ..., 1001 y vuelven a 0000.

Parte C. Etapa 3. Decenas y línea BORRAR

30 min

La línea BORRAR es la misma de la práctica 2: una fila del protoboard con 1 kΩ a +5 V; un puente a GND borra y, sin él, el contador cuenta. El 74LS76 borra con 0, así que la línea va directa a su $\overline{\text{CLR}}$. El 74LS90 borra con 1, así que el 74LS04 invierte la señal antes de llegar a R0.

1. Desenergice. **Retire** los cables que ponían R0 (2 y 3) a GND.
2. Arme la línea BORRAR: 1 kΩ a +5 V y un puente que solo se conecta a GND para borrar.
3. Inserte el 74LS76 y el 74LS04 y conéctelos según la tabla.
4. Ponga el LED de decenas con 1 kΩ a GND en Q (15) del 74LS76, a la izquierda de los LEDs de unidades.

74LS76	Va a
5 y 13	+5 **V y** GND
1 (CLK)	Q_D (11) del 74LS90
4, 16, 2 (J, K, $\overline{\text{PRE}}$)	+5 V
3 ($\overline{\text{CLR}}$)	Línea BORRAR
15 (Q)	LED de decenas con 1 kΩ
14 ($\overline{\text{Q}}$)	Libre

74LS04	Va a
14 y 7	+5 **V y** GND
1 (entrada)	Línea BORRAR
2 (salida)	2 y 3 (R0) del 74LS90
3, 5, 9, 11, 13	GND (entradas sin uso)

Tabla 04.2. Las decenas

Pulsos	Decenas	$Q_D Q_C Q_B Q_A$
9	0	1001
10		
15		
19		
20		

Medición o pregunta	Respuesta
Con el puente BORRAR puesto: tensión en la línea y en la salida 2 del 74LS04	
Sin el puente: tensión en la línea y en la salida 2 del 74LS04	
¿Por qué el reloj de las decenas es Q_D y no Q_A?	

RECOMENDACIÓN

Punto de control 3: la cuenta llega a 19 y vuelve a 00; el puente BORRAR apaga los cinco LEDs.

Parte D. Etapa 4. El Arduino Nano, la LCD y el puerto serie

45 min

El Nano solo **lee**: el contador sigue funcionando sin él.

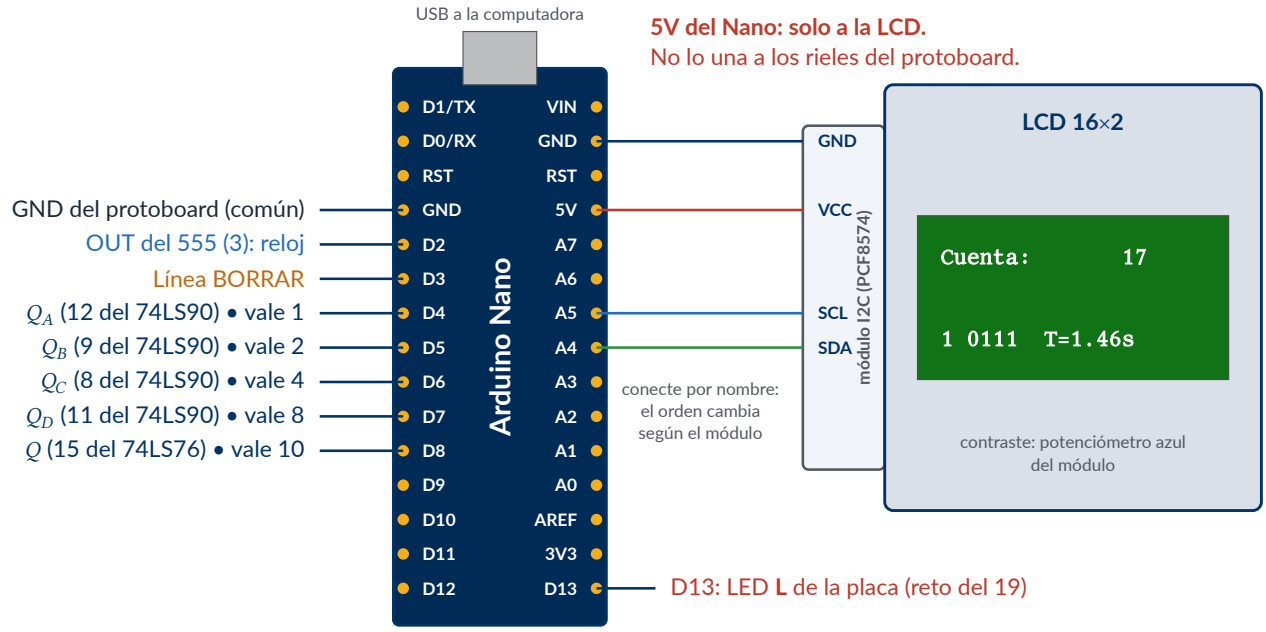


Figura 04.3. Conexiones del Arduino Nano y de la LCD. Los cables de la izquierda vienen del circuito TTL.

1. Con todo desenergizado, coloque el Nano a la izquierda del protoboard, a caballo sobre la ranura central.
2. Una el `GND` del Nano al riel **GND**. El `5V` del Nano **no** va a los rieles.
3. Conecte siete cables: salida 3 del 555 a `D2`; línea BORRAR a `D3`; Q_A, Q_B, Q_C y Q_D a `D4`, `D5`, `D6` y `D7`; decenas (15 del **74LS76**) a `D8`.
4. LCD: **GND** y **VCC** al `GND` y al `5V` del Nano; **SDA** a `A4`; **SCL** a `A5`. Conecte por nombre: el orden cambia según el módulo.
5. Encienda el **MO-MB102** y conecte el USB.

Cargar el programa

6. En el Arduino IDE abra `S04_Contador_00_19.ino` (carpeta `Arduino` del curso).
7. Si falta, instale la biblioteca `LiquidCrystal I2C` (Frank de Brabander) desde el gestor de bibliotecas.
8. En *Herramientas* elija la placa `Arduino Nano`, el procesador `ATmega328P (Old Bootloader)` y el puerto del Nano.
9. Pulse **Subir**. Al terminar, abra el **Monitor serie** a **9600** baudios.

ADVERTENCIA

¿Falla al subir? Pruebe el procesador `ATmega328P` sin *Old Bootloader*. ¿No aparece el puerto? Instale el controlador `CH340` o use otro cable USB: algunos solo cargan y no llevan datos. ¿La LCD no muestra letras? Gire el potenciómetro azul del módulo; si solo aparecen cuadros, cambie `0x27` por `0x3F` en el

programa y súbalo otra vez.

Qué hace el programa

El Arduino no cuenta: lee los integrados y arma el número con la misma suma de pesos de la práctica 3.

$$\text{cuenta} = 10 \cdot \text{decenas} + 8\,Q_D + 4\,Q_C + 2\,Q_B + Q_A$$

Cada vez que `D2` pasa de 0 a 1, el programa anota la hora con `millis()`; la diferencia entre dos subidas es el período T del 555. Cuando la cuenta cambia, espera 5 ms a que el contador termine de cambiar, la vuelve a leer y la muestra en la LCD y en el puerto serie. El programa completo está al final de esta práctica.

Tabla 04.3. Lo que muestran la LCD y el monitor serie

Dato	Valor
T calculado	1.46 s
T que mide el Arduino	
Línea 2 de la LCD cuando la cuenta es 17	
Vuelta completa (00 a 00)	
Lo que muestra con el puente BORRAR puesto	
¿Coinciden la LCD, el monitor serie y los LEDs?	

RECOMENDACIÓN

Punto de control 4: la LCD, el monitor serie y los LEDs muestran el mismo número. La diferencia entre el T calculado y el medido viene de la tolerancia del capacitor electrolítico, que puede llegar al 20 %.

Retos

RETO 1: DETECTOR DE 19 CON COMPUERTAS

El 19 es decenas = 1, $Q_D = 1$ y $Q_A = 1$. Con el `74LS08` (14 a +5 V, 7 a `GND`):

- Terminal 1 ← Q_D (11 del `74LS90`); terminal 2 ← Q_A (12). La salida 3 va al terminal 4.
- Terminal 5 ← decenas (15 del `74LS76`). La salida 6 va a un LED con 330 Ω a `GND`.

Compare con el LED **L** de la placa (`D13`), que el programa enciende en el 19: el mismo detector, en hardware y en software. ¿Por qué no hace falta revisar Q_B ni Q_C?

RETO 2: RELOJ RÁPIDO

Cambie C por 10 µF. ¿Qué período mide el Arduino? ¿Cuánto tarda una vuelta completa?

RETO 3: OSCILOSCOPIO (OPCIONAL)

Con $C = 10\,\mu F$, CH1 en el terminal 3 del 555 y CH2 en Q_D (11), a 0.5 s/div. ¿Cuántos ciclos del reloj caben en un ciclo de Q_D?

RETO 4: EN EL PROGRAMA

Cuente las **vueltas**: cada vez que la cuenta pase de 19 a 00, sume una y envíela por el puerto serie.

Si algo no funciona

Revise por etapas, en el orden en que armó: reloj, unidades, decenas, Nano y LCD.

Síntoma	Revise
El LED del reloj no destella	RESET (4) a +5 V; polaridad de C; 2 y 6 unidos
Siempre en 0000	Puente BORRAR puesto; salida 2 del **74LS04**; R0 al aire
Siempre en 1001	R9 (6 y 7) al aire: deben ir a **GND**
Cuenta 0, 1, 0, 1	Falta el cable de Q_A (12) a CKB (1)
Las decenas no cambian	CLK (1) del **74LS76** en Q_D (11); J, K y $\overline{\text{PRE}}$ a +5 V; alimentación en 5 y 13
LEDs bien, LCD con otro número	Cables `D4` a `D8` cruzados o sin `GND` común
LCD encendida sin letras	Contraste (potenciómetro azul); dirección `0x27` o `0x3F`; **SDA** en `A4` y **SCL** en `A5`
El monitor serie muestra símbolos raros	Velocidad distinta de 9600 baudios

Lista de verificación

- ☐ El LED del reloj destella cada 1.5 s, más o menos.
- ☐ Los LEDs de unidades cuentan de 0000 a 1001 en BCD.
- ☐ El LED de decenas completa la cuenta de 00 a 19.
- ☐ El puente BORRAR regresa todo a 00.
- ☐ La LCD y el monitor serie muestran la cuenta y el período.
- ☐ Puede señalar el 555, el `74LS90`, el `74LS76`, el `74LS04`, el Nano y la LCD, y decir en una frase qué hace cada uno.

Programa completo

</> S04_CONTADOR_00_19.INO

```
// Universidad Rural de Guatemala - Electronica Digital FE731
// Practica 4 (final): el Arduino Nano LEE un contador TTL de 00 a 19
//
// El 555 da el reloj, el 74LS90 cuenta las unidades (0 a 9, en BCD) y el
// 74LS76 las decenas (0 o 1). El Arduino no cuenta: lee las salidas de los
// integrados, arma el numero, lo muestra en la LCD 16x2 (I2C) y lo envia
// por el puerto serie (USB) a la computadora. Tambien mide el periodo del 555.
//
// Conexiones:
//   D2 <- salida del 555 (terminal 3)        D3 <- linea BORRAR (0 = borrar)
//   D4 <- QA del 74LS90 (12)  vale 1         D5 <- QB del 74LS90 (9)  vale 2
//   D6 <- QC del 74LS90 (8)   vale 4         D7 <- QD del 74LS90 (11) vale 8
//   D8 <- Q del 74LS76 (15)   vale 10
//   A4 -> SDA de la LCD       A5 -> SCL de la LCD
//   GND del Nano al GND del protoboard. El 5V del Nano solo va a la LCD.
//
// Biblioteca: LiquidCrystal I2C (Frank de Brabander).

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

const int RELOJ    = 2;
const int BORRAR   = 3;
const int QA       = 4;
const int QB       = 5;
const int QC       = 6;
const int QD       = 7;
const int DECENAS  = 8;
const int LED_19   = 13;   // LED "L" de la placa

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);   // si solo salen cuadros, use 0x3F

int unidades = 0;                // lo que marca el 74LS90 (0 a 9)
int decenas = 0;                 // lo que marca el 74LS76 (0 o 1)
bool borrando = false;
int relojAntes = LOW;
unsigned long ultimaSubida = 0;  // en milisegundos
```

```
38 unsigned long periodo = 0;       // en milisegundos
39
40 int leerUnidades() {
41   return digitalRead(QA) * 1 + digitalRead(QB) * 2 +
42          digitalRead(QC) * 4 + digitalRead(QD) * 8;
43 }
44
45 void mostrar() {
46   int cuenta = decenas * 10 + unidades;
47
48   // Linea 1:  "Cuenta:       17"  o  "Cuenta:   BORRAR"
49   lcd.setCursor(8, 0);
50   if (borrando) {
51     lcd.print("  BORRAR");
52   } else if (unidades > 9) {
53     lcd.print("   ERROR");          // el 74LS90 nunca deberia pasar de 9
54   } else {
55     lcd.print("      ");
56     if (cuenta < 10) {
57       lcd.print("0");
58     }
59     lcd.print(cuenta);
60   }
61
62   // Linea 2:  "1 0111  T=1.46s"  (decenas, bits de las unidades y periodo)
63   lcd.setCursor(0, 1);
64   lcd.print(decenas);
65   lcd.print(" ");
66   lcd.print(digitalRead(QD));
67   lcd.print(digitalRead(QC));
68   lcd.print(digitalRead(QB));
69   lcd.print(digitalRead(QA));
70   lcd.print("  T=");
71   lcd.print(periodo / 1000.0, 2);
72   lcd.print("s ");
73
74   // Lo mismo por el puerto serie
75   if (borrando) {
76     Serial.println("BORRAR");
77   } else {
78     Serial.print("Cuenta: ");
79     if (cuenta < 10) {
80       Serial.print("0");
81     }
82     Serial.print(cuenta);
83     Serial.print("   bits: ");
84     Serial.print(decenas);
85     Serial.print(" ");
86     Serial.print(digitalRead(QD));
87     Serial.print(digitalRead(QC));
88     Serial.print(digitalRead(QB));
89     Serial.print(digitalRead(QA));
90     Serial.print("   T = ");
91     Serial.print(periodo / 1000.0, 2);
```

```
    Serial.println(" s");
  }

  // Reto: el LED L de la placa enciende solo en el 19
  digitalWrite(LED_19, (cuenta == 19 && !borrando) ? HIGH : LOW);
}

void setup() {
  // INPUT_PULLUP ayuda a que el 1 de una salida TTL llegue bien al Arduino
  pinMode(RELOJ, INPUT_PULLUP);
  pinMode(QA, INPUT_PULLUP);
  pinMode(QB, INPUT_PULLUP);
  pinMode(QC, INPUT_PULLUP);
  pinMode(QD, INPUT_PULLUP);
  pinMode(DECENAS, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BORRAR, INPUT);           // ya tiene 1 kohm a +5 V en el protoboard
  pinMode(LED_19, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);
  Serial.println("URURAL FE731 - Contador de 00 a 19");

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("URURAL  FE731");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Contador 00-19");
  delay(2000);

  lcd.clear();
  lcd.print("Cuenta:");
  unidades = leerUnidades();
  decenas = digitalRead(DECENAS);
  borrando = (digitalRead(BORRAR) == LOW);
  mostrar();
}

void loop() {
  // 1. Periodo del 555: tiempo entre dos subidas seguidas de D2
  int reloj = digitalRead(RELOJ);
  if (reloj == HIGH && relojAntes == LOW) {
    unsigned long ahora = millis();
    if (ultimaSubida > 0) {
      periodo = ahora - ultimaSubida;
    }
    ultimaSubida = ahora;
  }
  relojAntes = reloj;

  // 2. Leer los integrados; si algo cambio, actualizar LCD y puerto serie
  int u = leerUnidades();
  int d = digitalRead(DECENAS);
  bool b = (digitalRead(BORRAR) == LOW);

```

```
146   if (u != unidades || d != decenas || b != borrando) {
147     delay(5);                        // espera a que el contador termine de cambiar
148     unidades = leerUnidades();
149     decenas = digitalRead(DECENAS);
150     borrando = (digitalRead(BORRAR) == LOW);
151     mostrar();
152   }
153 }
```

EVALUACIÓN EN LÍNEA (SOCRATIVE)

Al terminar la práctica se aplicará una evaluación breve en **Socrative**. Las preguntas combinan la teoría de la clase magistral en línea con lo que se acaba de hacer en el laboratorio.
El instructor indicará el código de la sala. Anótelo aquí, junto con cualquier indicación del día.

Código de sala / enlace

Espacio para la evaluación

Reservado para Socrative: el instructor colocará aquí el acceso o las indicaciones

Anexo A. Numeración de terminales

Se reproduce la numeración de terminales de los circuitos integrados utilizados en este manual. En todos los diagramas la muesca de orientación se encuentra en el extremo superior y la numeración avanza en sentido antihorario a partir del terminal 1.

ADVERTENCIA

Esta información es una guía de trabajo. La referencia autorizada es siempre la **hoja de datos del fabricante** del componente que tenga en sus manos, ya que existen variantes de encapsulado con asignaciones distintas.

Compuertas lógicas

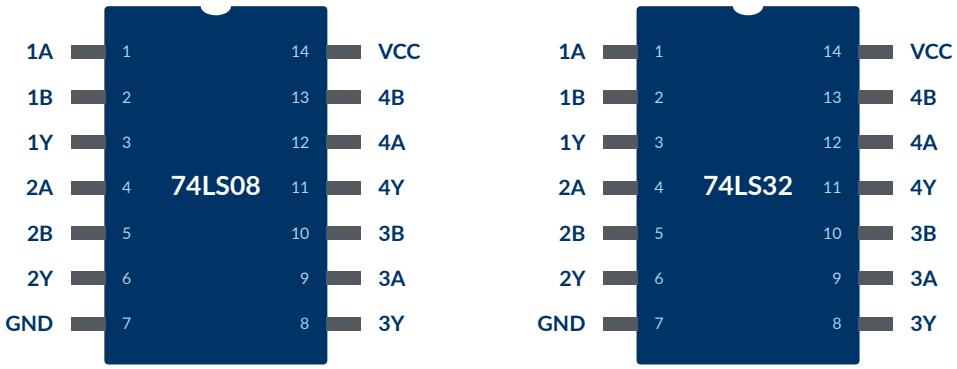


Figura 04.4. 74LS08: cuatro compuertas AND de dos entradas. 74LS32: cuatro compuertas OR de dos entradas. Ambos comparten la misma distribución de terminales.

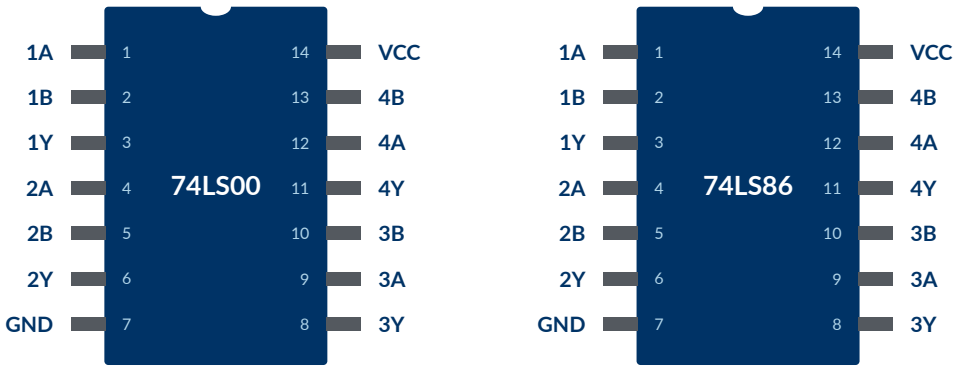


Figura 04.5. 74LS00: cuatro compuertas NAND de dos entradas. 74LS86: cuatro compuertas XOR de dos entradas.

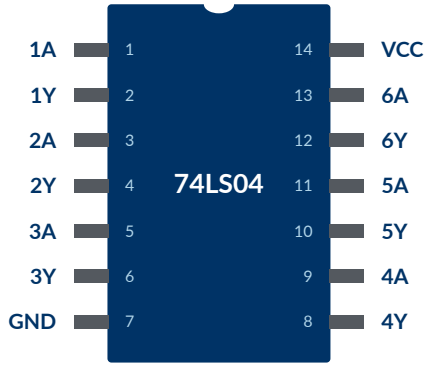


Figura 04.6. `74LS04`: seis inversores independientes.

Flip-flops

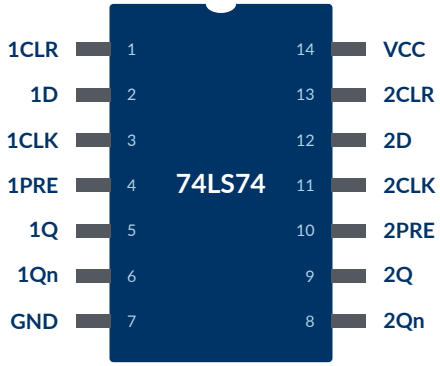


Figura 04.7. `74LS74`: dos flip-flops tipo D con entradas asíncronas de puesta a uno (`PRE`) y puesta a cero (`CLR`), ambas activas en nivel bajo. `Qn` designa la salida complementada.

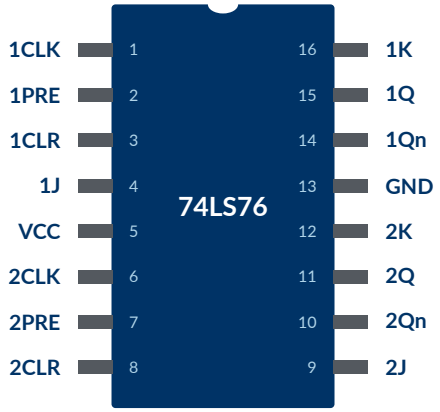


Figura 04.8. `74LS76`: dos flip-flops tipo JK. **Atención**: a diferencia del resto de los integrados de este manual, aquí `VCC` es el terminal 5 y `GND` el terminal 13.

RIESGO ELÉCTRICO

El 74LS76 no sigue la regla habitual de alimentación en las esquinas. Conectar el terminal 14 a VCC y el 7 a GND, como en los demás integrados, **destruye el dispositivo**. Verifique siempre la asignación antes de energizar.

Contadores

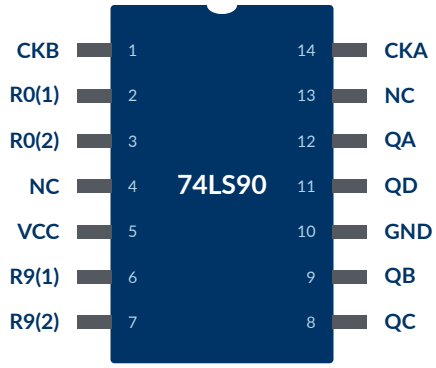


Figura 04.9. 74LS90: contador de década. Cuenta de 0 a 9 y regresa a cero. VCC es el terminal 5 y GND el terminal 10. Las entradas R0 reinician la cuenta y las R9 la fijan en nueve.

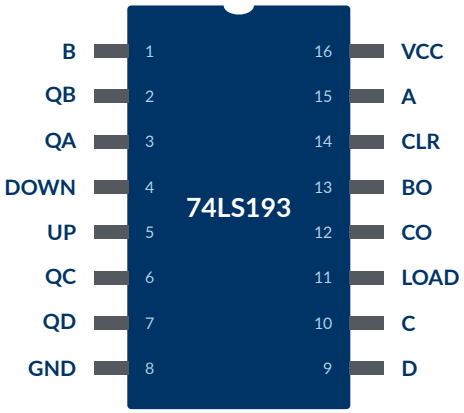


Figura 04.10. 74LS193: contador binario de cuatro bits, ascendente y descendente, con carga en paralelo. UP es el reloj de conteo ascendente y DOWN el de conteo descendente; la entrada que no se utilice debe fijarse en nivel alto. CLR borra con nivel alto y LOAD carga con nivel bajo.

Multiplexores y demultiplexor

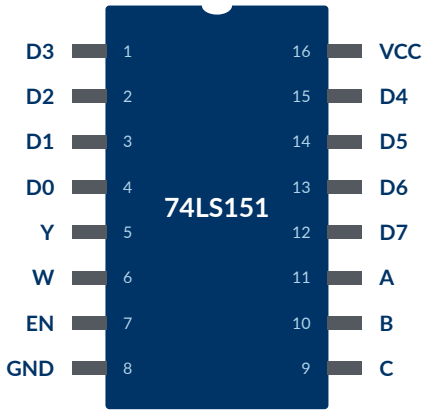


Figura 04.11. `74LS151`: multiplexor de 8 a 1. Las entradas `C`, `B` y `A` (terminales 9, 10 y 11) forman la dirección, siendo `C` la más significativa. `Y` es la salida directa y `W` la complementada. La habilitación `EN` es activa en nivel bajo.

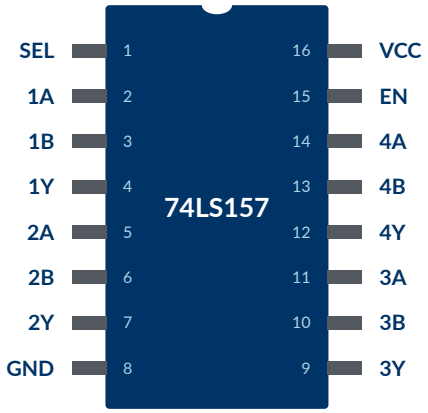


Figura 04.12. `74LS157`: cuatro multiplexores de 2 a 1 con selección común. Con `SEL` en nivel bajo se transfieren las entradas `A`; con `SEL` en nivel alto, las entradas `B`.

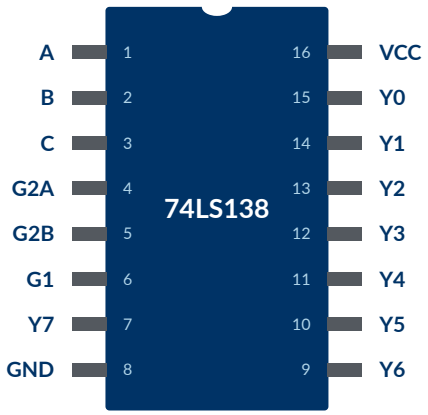


Figura 04.13. `74LS138`: decodificador de 3 a 8, también utilizable como demultiplexor. Las ocho salidas son **activas en nivel bajo**. Para habilitarlo, `G1` debe estar en nivel alto y `G2A` y `G2B` en nivel bajo; una de estas dos últimas puede emplearse como entrada de datos.

Temporizador



Figura 04.14. `555`: temporizador de propósito general. `TRIG` es la entrada de disparo, `THR` la de umbral, `DIS` la de descarga y `CTRL` la de control de tensión.

Microcontrolador y pantalla



Figura 04.15. `Arduino Nano` (ATmega328P), visto desde arriba con el conector USB en el extremo superior. `D0` y `D1` son el puerto serie que viaja por el USB; `A4` (SDA) y `A5` (SCL) forman el bus I^2C. `VIN` admite de 7 a 12 V de una fuente externa; `5V` entrega la tensión regulada de la placa.

Módulo	Arduino Nano	Función
GND	GND	Tierra
VCC	5V	Alimentación de la LCD
SDA	A4	Datos I^2C
SCL	A5	Reloj I^2C

Tabla 04.4. Módulo I^2C (**PCF8574**) de la pantalla LCD 16×2. Su dirección suele ser `0x27` o `0x3F`; el potenciómetro del módulo ajusta el contraste.

Anexo B. Evaluación en línea (Socrative)

Cómo se evalúa cada práctica

No se entrega informe ni hoja de trabajo escrita. Al finalizar cada sesión se aplica una evaluación breve en **Socrative**. Esa evaluación es individual y vale 40 puntos de la práctica.
Las preguntas combinan dos cosas:

- **Teoría** de la clase magistral en línea: niveles lógicos, compuertas, flip-flops, contadores, multiplexores, base de tiempo, microcontrolador y comunicación serie.
- **Práctica** de esa misma sesión: lo que se armó, se midió y se anotó en las tablas.

Indicaciones para el estudiante

- La evaluación se realiza en los últimos minutos de la jornada, después de desarmar el circuito si el instructor lo indica.
- El instructor indicará el **código de la sala**. Anótelo en el espacio reservado al final de cada práctica.
- Ingrese con su nombre completo, tal como aparece en la lista del curso.
- Si el instructor no lo autoriza, no consulte el manual ni a un compañero durante la evaluación.

NOTA

El espacio al final de cada práctica está en blanco a propósito: allí se colocará después el código de sala o las indicaciones de acceso.

ADVERTENCIA

Copiar o hacerse pasar por otra persona en Socrative se sanciona conforme al Reglamento de Evaluación y Promoción Estudiantil de la Universidad Rural de Guatemala.

Referencias bibliográficas

1. Floyd, T. L. (2015). *Fundamentos de sistemas digitales* (11.ª ed.). Pearson Educación.
2. Tocci, R. J., Widmer, N. S., & Moss, G. L. (2011). *Sistemas digitales: principios y aplicaciones* (10.ª ed.). Pearson Educación.
3. Mano, M. M., & Ciletti, M. D. (2017). *Diseño digital: con una introducción al Verilog HDL, VHDL y SystemVerilog* (5.ª ed.). Pearson Educación.
4. Malvino, A. P., & Leach, D. P. (2001). *Principios y aplicaciones digitales* (4.ª ed.). Marcombo.
5. Roth, C. H., & Kinney, L. L. (2014). *Fundamentals of logic design* (7.th ed.). Cengage Learning.
6. Wakerly, J. F. (2018). *Digital design: Principles and practices* (5.th ed.). Pearson.
7. Texas Instruments. (2016). *SN54LS00, SN74LS00 quadruple 2-input positive-NAND gates* [Hoja de datos]. Texas Instruments Incorporated.
8. Texas Instruments. (2016). *SN54LS138, SN74LS138 3-line to 8-line decoders / demultiplexers* [Hoja de datos]. Texas Instruments Incorporated.
9. Texas Instruments. (2016). *SN54LS151, SN74LS151 data selectors / multiplexers* [Hoja de datos]. Texas Instruments Incorporated.
10. Texas Instruments. (2016). *SN54LS90, SN74LS90 decade and binary counters* [Hoja de datos]. Texas Instruments Incorporated.
11. Texas Instruments. (2016). *SN54LS193, SN74LS193 synchronous 4-bit up/down binary counters* [Hoja de datos]. Texas Instruments Incorporated.
12. Texas Instruments. (2014). *LM555 timer* [Hoja de datos]. Texas Instruments Incorporated.
13. Arduino. (2026). *Arduino Nano* [Documentación técnica]. https://docs.arduino.cc/hardware/nano/
14. Brabander, F. de. (2026). *LiquidCrystal I2C* [Biblioteca para Arduino]. https://github.com/johnrickman/LiquidCrystal_I2C
15. Arduino. (2026). *Arduino language reference*. https://docs.arduino.cc/language-reference/
16. Universidad Rural de Guatemala. (2026). *Programa de la asignatura de Electrónica Digital, código FE731*. Facultad de Ingeniería.
17. Universidad Rural de Guatemala. (2026). *Calendario de laboratorios presenciales de Ingeniería en Sistemas, segundo semestre 2026*. Facultad de Ingeniería.

UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA

Tecnología, Ciencia y Conciencia

FACULTAD DE INGENIERÍA

Ingeniería en Sistemas con especialización en Inteligencia Artificial

Manual de Laboratorio de Electrónica Digital • FE731

Versión 1.0 • Segundo Semestre 2026