02

## PRÁCTICA ALTERNATIVA
NO. 02

# Sumador binario de 3 bits

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

## Introducción

Una computadora suma con compuertas. Hoy se construye un circuito que suma dos números de 3 bits, $A$ y $B$, cada uno de 0 a 7. El resultado, de 0 a 14, aparece en cuatro LEDs.

El circuito se arma por etapas. Primero el bit menos significativo, luego el segundo y al final el tercero. Cada etapa se prueba antes de pasar a la siguiente, igual que la función de la Práctica 1.

### OBJETIVOS

- Sumar números binarios a mano, con acarreo.
- Armar y probar un semisumador y un sumador completo.
- Encadenar tres etapas para sumar números de 3 bits.
- Construir una compuerta XOR con cuatro NAND.

### MATERIALES Y EQUIPO

- MO-MB102 con ADP-5HB y UT33B+.
- Circuitos integrados: 74LS86, 74LS08, 74LS32, 74LS00 y 74LS04.
- 4 LEDs y 4 resistencias de 330 Ω.
- Protoboard y cables *jumper*.

**PLANIFICACIÓN DE LA SESIÓN**

| Parte | Actividad | Tiempo |
|---|---|---|
| — | Apertura: la suma binaria en la pizarra | 20 min |
| A | Bit 0: el semisumador | 40 min |
| B | Bit 1: el sumador completo | 50 min |
| C | Bit 2: un sumador completo con XOR de NAND | 50 min |
| D | Pruebas del sumador completo de 3 bits | 35 min |
| — | Evaluación en Socrative, desarmado y cierre | 25 min |
| | **Total** | **220 min + 20 min** |

## Fundamento teórico

### La suma binaria, columna por columna

Se suma igual que en decimal: de derecha a izquierda, y cuando una columna no cabe en un dígito se **lleva** uno a la siguiente. En binario eso pasa en cuanto la columna vale 2.

| $A$ | $B$ | Se lleva | Queda |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |

**Ejemplo:** 3 + 3. En binario, 011 + 011. Columna 0: $1 + 1 = 10$, queda 0 y se lleva 1. Columna 1: $1 + 1 + 1 = 11$, queda 1 y se lleva 1. Columna 2: $0 + 0 + 1 = 1$. Resultado: 0110 = 6.

### El semisumador: suma dos bits

Mirando la tabla de arriba: lo que **queda** ($S$) vale 1 cuando los dos bits son distintos, y eso es una XOR. Lo que **se lleva** ($C$, de *carry* o acarreo) vale 1 solo si los dos son 1, y eso es una AND.

$$S = A \oplus B \qquad C = A \cdot B$$

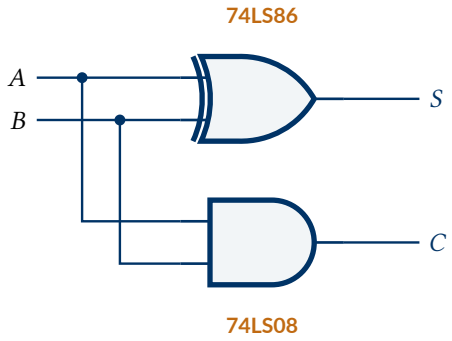



**Figura 02.1.** Semisumador: una XOR y una AND.

## El sumador completo: suma dos bits y el acarreo que llega

Desde la segunda columna hay que sumar *tres* bits: $A$, $B$ y el acarreo que viene de la columna anterior, $C_{in}$. Eso hace el **sumador completo**:

$$S = A \oplus B \oplus C_{in} \qquad C_{out} = A \cdot B + C_{in} \cdot (A \oplus B)$$

En palabras: se lleva 1 si $A$ y $B$ son 1, o si llega un acarreo y exactamente uno de los dos es 1.

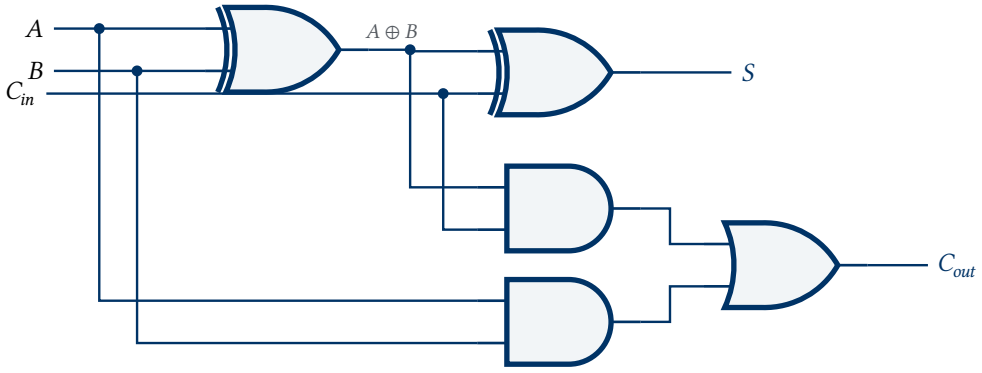



**Figura 02.2.** Sumador completo: dos XOR, dos AND y una OR.

## Tres etapas en cascada

Para 3 bits se ponen tres etapas en fila. La del bit 0 no recibe acarreo, así que basta un semisumador. Cada etapa le pasa su acarreo a la siguiente, como en la suma a mano. Por eso se llama **sumador con acarreo en cascada**.

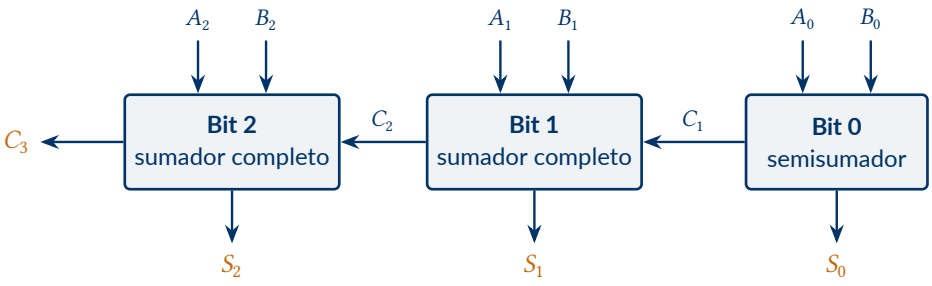


**Figura 02.3.** El resultado se lee $C_3\ S_2\ S_1\ S_0$. Ponga los cuatro LEDs en ese orden, de izquierda a derecha, y se leerá como un número binario.

### Una XOR hecha con cuatro NAND

El sumador necesita cinco XOR y el 74LS86 solo tiene cuatro. La quinta se arma con las cuatro NAND del 74LS00. Es una idea importante: con NAND se puede construir cualquier compuerta.

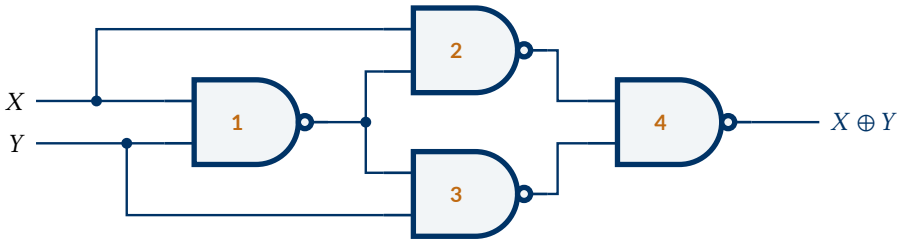



**Figura 02.4.** XOR con cuatro NAND. La salida de la primera, invertida, da $X \cdot Y$: el sumador la aprovecha para el último acarreo.

### Terminales

El 74LS86, el 74LS08, el 74LS32 y el 74LS00 tienen la **misma distribución**: cuatro compuertas de dos entradas, VCC en 14 y GND en 7. Solo cambia la operación. El 74LS04 está en el anexo A del manual.

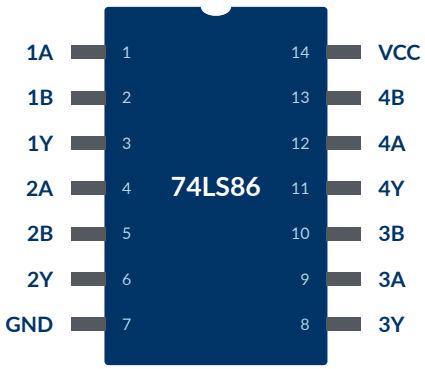



**Figura 02.5.** Distribución común del 74LS86 (XOR), 74LS08 (AND), 74LS32 (OR) y 74LS00 (NAND).

> **NOTA**
>
> En esta práctica los terminales se escriben así: 86-3 quiere decir “terminal 3 del 74LS86”; 08-6, “terminal 6 del 74LS08”.

## Procedimiento

### 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 hacia la izquierda y todos del mismo lado: 74LS86, 74LS08, 74LS32, 74LS00 y 74LS04.

3. Alimente *todos*: terminal 14 a VCC y 7 a GND.
4. Prepare seis cables de entrada: $A_0$, $B_0$, $A_1$, $B_1$, $A_2$ y $B_2$. Un cable en VCC es un 1; en GND, un 0. Ninguno queda al aire.
5. Los LEDs van de la salida a GND, cada uno con su 330 Ω, en el orden $C_3$, $S_2$, $S_1$, $S_0$.

**RECOMENDACIÓN**

Cada entrada va al *mismo número de terminal* en el 74LS86 y en el 74LS08: $A_0$ a 86-1 y 08-1, $B_0$ a 86-2 y 08-2, y así con las demás. Aprovéchelo para no equivocarse.

## Parte A. Bit 0: el semisumador

40 min

| Conexión | Qué es |
|---|---|
| $A_0$ a 86-1 y 08-1 | Primera entrada |
| $B_0$ a 86-2 y 08-2 | Segunda entrada |
| 86-3 al LED $S_0$ | $S_0 = A_0 \oplus B_0$ |
| 08-3 a un LED *de prueba* | $C_1 = A_0 \cdot B_0$ |

**Tabla 02.1.** El semisumador

| $A_0$ | $B_0$ | $C_1$ (LED) | $S_0$ (LED) | En decimal |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | | | |
| 0 | 1 | | | |
| 1 | 0 | | | |
| 1 | 1 | | | |

**ADVERTENCIA**

Al terminar, **retire el LED de prueba** de 08-3. Ese terminal alimentará otras compuertas y el LED le baja el nivel alto.

## Parte B. Bit 1: el sumador completo

50 min

Deje $A_2$ y $B_2$ en GND mientras tanto.

| Conexión | Qué es |
|---|---|
| $A_1$ a 86-4 y 08-4 | Primera entrada |
| $B_1$ a 86-5 y 08-5 | Segunda entrada |
| 86-6 a 86-9 y a 08-9 | $P_1 = A_1 \oplus B_1$ |
| 08-3 a 86-10 y a 08-10 | El acarreo $C_1$ entra al bit 1 |
| 86-8 al LED $S_1$ | $S_1 = P_1 \oplus C_1$ |
| 08-6 a 32-1 | $A_1 \cdot B_1$ |
| 08-8 a 32-2 | $P_1 \cdot C_1$ |
| 32-3 a un LED *de prueba* | $C_2 = A_1B_1 + P_1C_1$ |

**Tabla 02.2.** Sumas de 2 bits

| $A_1A_0$ | $B_1B_0$ | Suma | $C_2$ | $S_1$ | $S_0$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 01 (1) | 01 (1) | | | | |
| 10 (2) | 01 (1) | | | | |
| 10 (2) | 10 (2) | | | | |
| 11 (3) | 01 (1) | | | | |
| 11 (3) | 11 (3) | | | | |

**ADVERTENCIA**

Retire también el LED de prueba de 32-3 antes de seguir.

## Parte C. Bit 2: un sumador completo con XOR de NAND

50 min

Aquí se usa la cuarta XOR del 74LS86 para $P_2 = A_2 \oplus B_2$, y el 74LS00 completo para la XOR final $S_2 = P_2 \oplus C_2$.

| Conexión | Qué es |
|---|---|
| $A_2$ a 86-12 y 08-12 | Primera entrada |
| $B_2$ a 86-13 y 08-13 | Segunda entrada |
| 86-11 a 00-1 y a 00-4 | $P_2 = A_2 \oplus B_2$ |
| 32-3 a 00-2 y a 00-9 | El acarreo $C_2$ entra al bit 2 |
| 00-3 a 00-5, 00-10 y 04-1 | $N_1 = \overline{P_2 \cdot C_2}$ |
| 00-6 a 00-12 | Salida de la NAND 2 |
| 00-8 a 00-13 | Salida de la NAND 3 |
| 00-11 al LED $S_2$ | $S_2 = P_2 \oplus C_2$ |
| 08-11 a 32-4 | $A_2 \cdot B_2$ |
| 04-2 a 32-5 | $P_2 \cdot C_2$ (la $N_1$ invertida) |
| 32-6 al LED $C_3$ | $C_3 = A_2B_2 + P_2C_2$ |

**NOTA**

Las compuertas que no se usan (dos del 74LS32 y cinco del 74LS04) pueden quedar sin conectar.

## Parte D. Pruebas del sumador completo de 3 bits

35 min

1. Para cada fila, calcule primero la suma en el papel, en decimal y en binario de 4 bits.
2. Ponga los cables de entrada y lea los LEDs como $C_3\ S_2\ S_1\ S_0$ (encendido = 1).
3. Si una fila no coincide, anote cuál y revise la etapa del bit que falló.

**Tabla 02.3.** El sumador de 3 bits

| $A$ | $B$ | Suma | Papel: $C_3S_2S_1S_0$ | LEDs: $C_3S_2S_1S_0$ |
|---|---|---|---|---|
| 000 (0) | 000 (0) | | | |
| 001 (1) | 001 (1) | | | |
| 010 (2) | 011 (3) | | | |
| 011 (3) | 011 (3) | | | |
| 101 (5) | 010 (2) | | | |
| 011 (3) | 100 (4) | | | |
| 100 (4) | 100 (4) | | | |
| 111 (7) | 001 (1) | | | |
| 110 (6) | 101 (5) | | | |
| 111 (7) | 111 (7) | | | |

**Tabla 02.4.** Si una fila falla

| Síntoma | Revise |
|---|---|
| Ningún LED enciende nunca | Alimentación de los cinco integrados; polaridad de los LEDs. |
| $S_0$ falla | 86-1, 86-2 y 86-3. |
| $S_1$ falla solo cuando hay acarreo | El cable de 08-3 a 86-10. |
| $S_2$ falla | El 74LS00: los tres cables que salen de 00-3. |
| $C_3$ nunca enciende | 04-1, 04-2 y 32-5; que 08-11 llegue a 32-4. |
| Un LED queda a medio brillo | Quedó un LED de prueba en una señal interna, o una entrada al aire. |

### Preguntas de cierre

1. ¿Cuál es la suma más grande que puede dar este circuito? Escríbala en decimal y en binario.

2. ¿Qué habría que agregar para sumar números de 4 bits?

3. ¿Por qué el bit 0 usa un semisumador y los otros dos un sumador completo?

## Hoja de conexiones completa

| Integrado | Terminal: conexión |
|---|---|
| 74LS86 | 1: $A_0$ • 2: $B_0$ • 3: LED $S_0$ • 4: $A_1$ • 5: $B_1$ • 6: a 86-9 y 08-9 • 7: GND • 8: LED $S_1$ • 9: de 86-6 • 10: de 08-3 • 11: a 00-1 y 00-4 • 12: $A_2$ • 13: $B_2$ • 14: VCC |
| 74LS08 | 1: $A_0$ • 2: $B_0$ • 3: a 86-10 y 08-10 • 4: $A_1$ • 5: $B_1$ • 6: a 32-1 • 7: GND • 8: a 32-2 • 9: de 86-6 • 10: de 08-3 • 11: a 32-4 • 12: $A_2$ • 13: $B_2$ • 14: VCC |
| 74LS32 | 1: de 08-6 • 2: de 08-8 • 3: a 00-2 y 00-9 • 4: de 08-11 • 5: de 04-2 • 6: LED $C_3$ • 7: GND • 14: VCC • 8 a 13: libres |
| 74LS00 | 1: de 86-11 • 2: de 32-3 • 3: a 00-5, 00-10 y 04-1 • 4: de 86-11 • 5: de 00-3 • 6: a 00-12 • 7: GND • 8: a 00-13 • 9: de 32-3 • 10: de 00-3 • 11: LED $S_2$ • 12: de 00-6 • 13: de 00-8 • 14: VCC |
| 74LS04 | 1: de 00-3 • 2: a 32-5 • 7: GND • 14: VCC • los demás: 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*