

# Fundamentos de Microprocesadores

## *Unidad 2: La Unidad Aritmético Lógica (ALU)*

Escuela Politécnica Superior - UAM

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Copyright © 2007 Elsevier, "Digital Design and Computer Architecture"

# Índice

- **Estructura básica de un ordenador (sumador)**
- Circuitos lógicos y aritméticos
  - ✓ Sumadores y Restadores
  - ✓ Desplazadores y Multiplicadores
  - ✓ Otros operadores
- Diseño de una ALU optimizada

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Introducción

- Para diseñar un microprocesador, inicialmente se hace un diseño jerárquico reutilizando bloques.
- Bloques que usaremos:
  - ✓ Multiplexores, decodificadores, registros y memorias, circuitos lógicos y aritméticos, etc...
- Nos planteamos realizar un circuito ordenador muy simple para sumar un número cualquiera de operandos.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

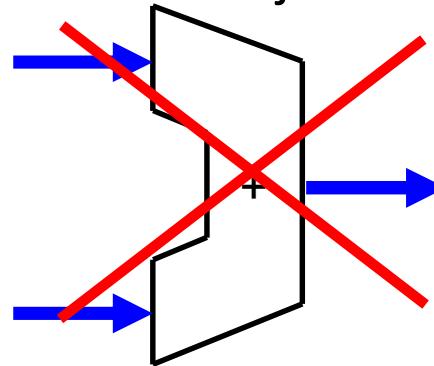
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Circuito sumador genérico

Nos planteamos realizar un circuito para sumar un número cualquiera de operandos de 32 bits (un sumador de un número fijo de operandos no sirve):

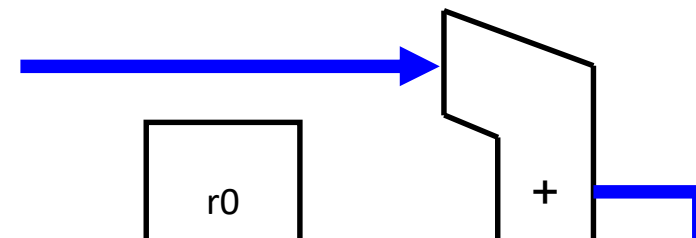
- ✓  $A + B$ ;
- ✓  $C + D + E$ ;
- ✓  $F + G + H + I$ ;
- ✓ ...



Sirve un sumador de dos entradas si almacenamos resultados parciales en registros => banco de registros

- ✓  $R_1 = R_0 + F$ ;
- ✓  $R_2 = R_1 + G$ ;
- ✓ ...

Equivalente a:  
 $R_4 = F + G + H + I$ ;  
(el reg.  $R_0$  es ...)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

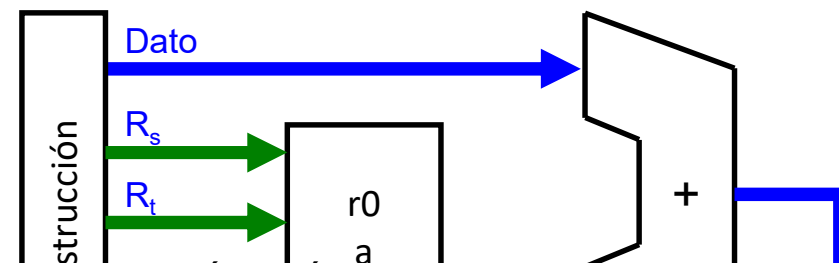
# Circuito sumador genérico

Por tanto, necesitamos un circuito capaz de realizar la siguiente “instrucción” (es un microprocesador muy simplificado):

✓  $R_t \leq R_s + \text{Dato}$ ;

En cada “instrucción”, necesitamos darle la siguiente información:

- ✓ Número del registro destino ( $R_t$ ), del 0 al 31 => 5 bits
- ✓ Número del registro fuente ( $R_s$ ), del 0 al 31 => 5 bits
- ✓ Dato (dato inmediato) => 16 bits



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# Circuito sumador genérico

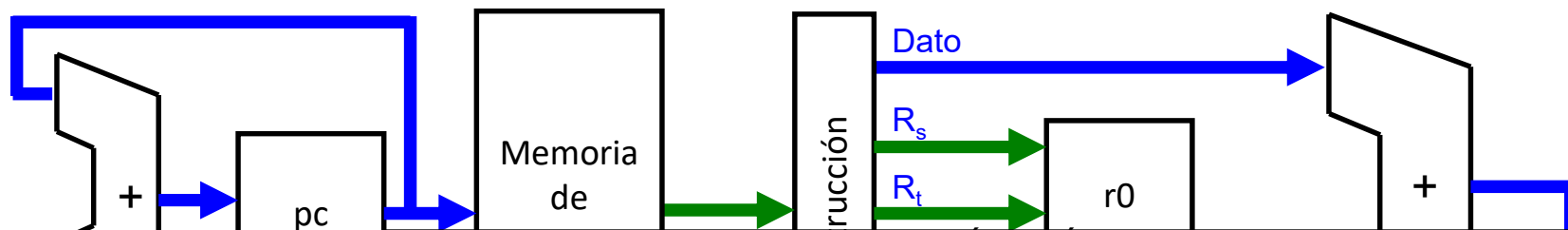
¿Cómo recibe el micro las instrucciones?

- ✓ Se almacenan en una memoria (de programa)
- ✓ El micro tiene que ser capaz de ir leyendo la memoria, instrucción tras instrucción

Cada instrucción necesita como mínimo  $5+5+16 = 26$  bits

- ✓ Se ajusta a 32 bits (potencia de 2), por una decisión de diseño.
- ✓ 32 bits  $\Rightarrow$  4 bytes.

Una instrucción se almacena en una dirección de memoria 4 bytes más adelante que la anterior



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

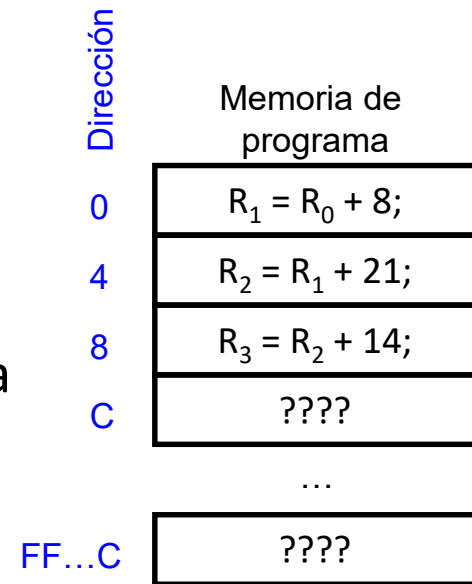
# Ejemplo de funcionamiento

Sumar  $8 + 21 + 14$ . Se hace con un programa que tiene tres instrucciones:

- ✓  $R_1 = R_0 + 8;$
- ✓  $R_2 = R_1 + 21;$
- ✓  $R_3 = R_2 + 14;$

El contador de programa (*program counter, pc*) indica la dirección de memoria de la instrucción actual.

- ✓ Empieza en 0 y sube 4 cada instrucción



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

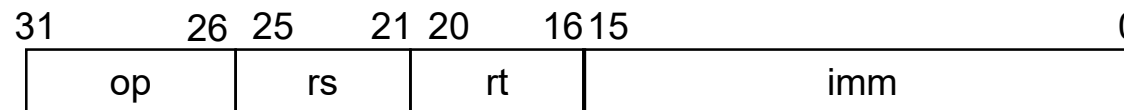
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

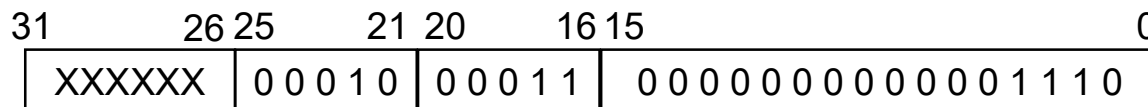
# Memoria de programa (instrucciones)

En cada posición de memoria se almacena una instrucción de 32 bits:

- ✓ 5 bits para el registro destino,  $R_t$
- ✓ 5 bits para el registro fuente,  $R_s$
- ✓ 16 bits para el dato inmediato
- ✓ Resto de bits no se usan. En los micros reales sirven para indicar el código de instrucción, *operation code* (op), ya que hay más de una instrucción de este mismo tipo



Ejemplo:  $R3 = R2 + 14;$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

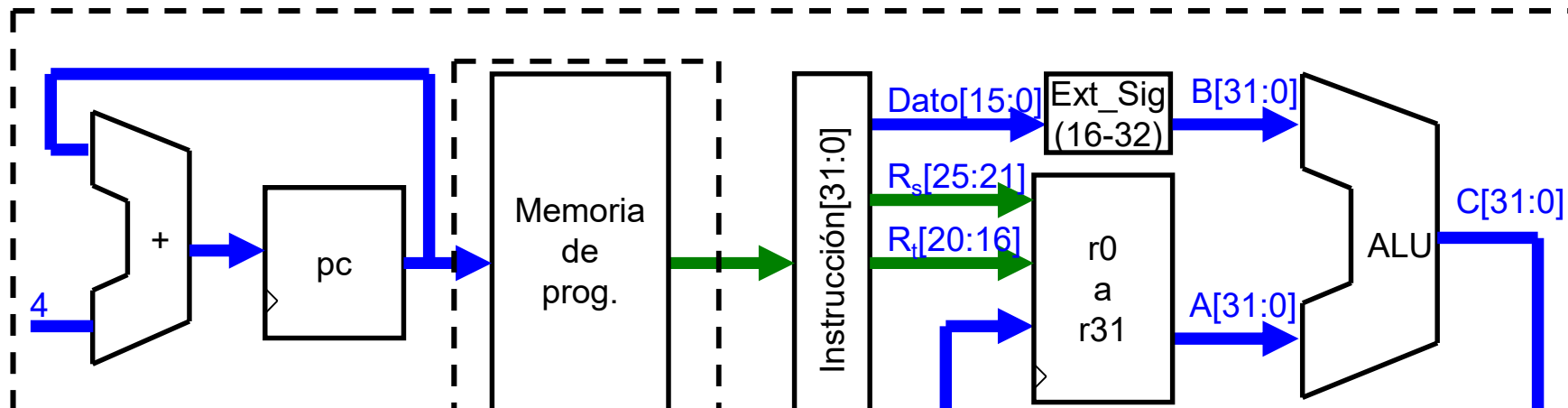
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# Ancho de palabra

Nuestro microprocesador utilizará datos de 32 bits:

- ✓ Las entradas y salida del sumador (ALU) son de 32 bits
- ✓ Los registros del banco de registros son de 32 bits
- ✓ Como el dato inmediato es de 16 bits, se extiende (con signo) a 32 bits



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

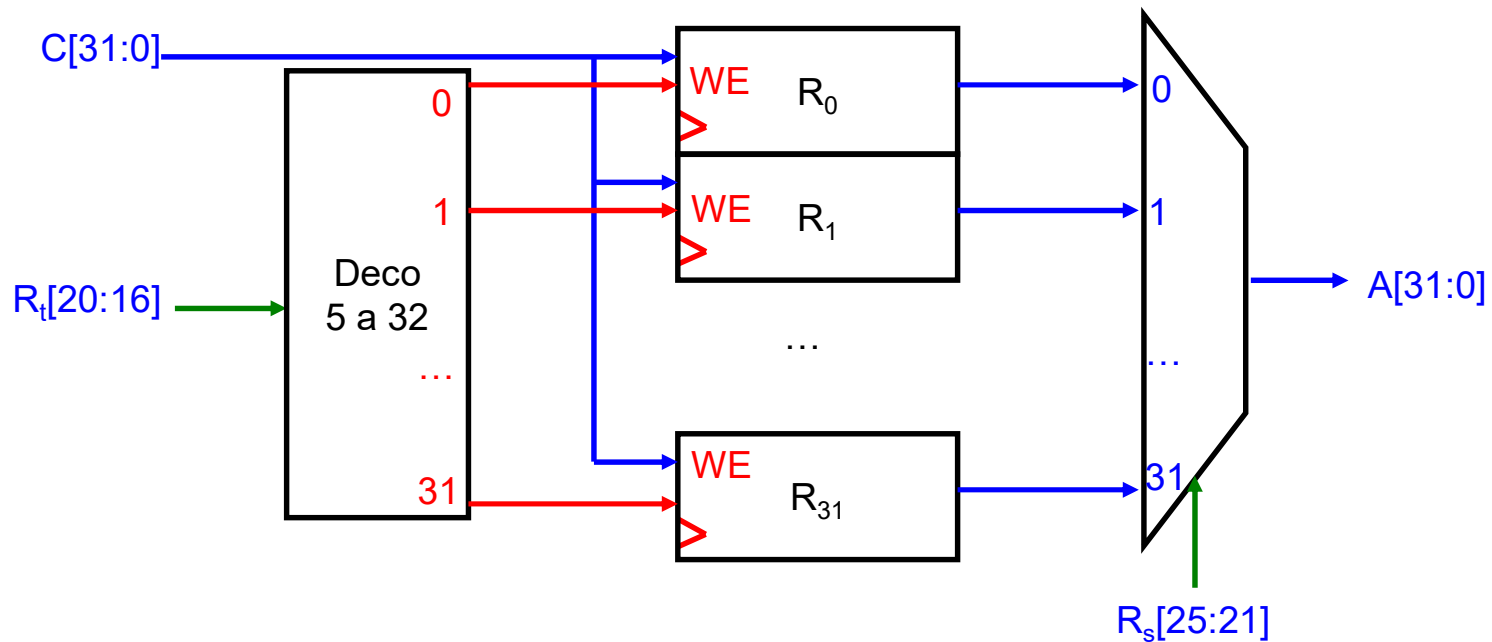
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# Banco de Registros (GPR)

¿Cómo se realiza el banco de registros?

✓ Básicamente, multiplexando 32 registros (cada uno de 32 bits)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Microprocesador Completo

¿Qué le falta para ser un microprocesador completo?

- ✓ Poder realizar otras operaciones (instrucciones aritmético-lógicas)
- ✓ Poder usar más de 32 datos, y para ello se añade la memoria de datos (instrucciones con acceso a memoria de datos)
- ✓ Poder variar la secuencia de ejecución para realizar bucles o control de flujo, como for, if, etc... (saltos condicionales e incondicionales)

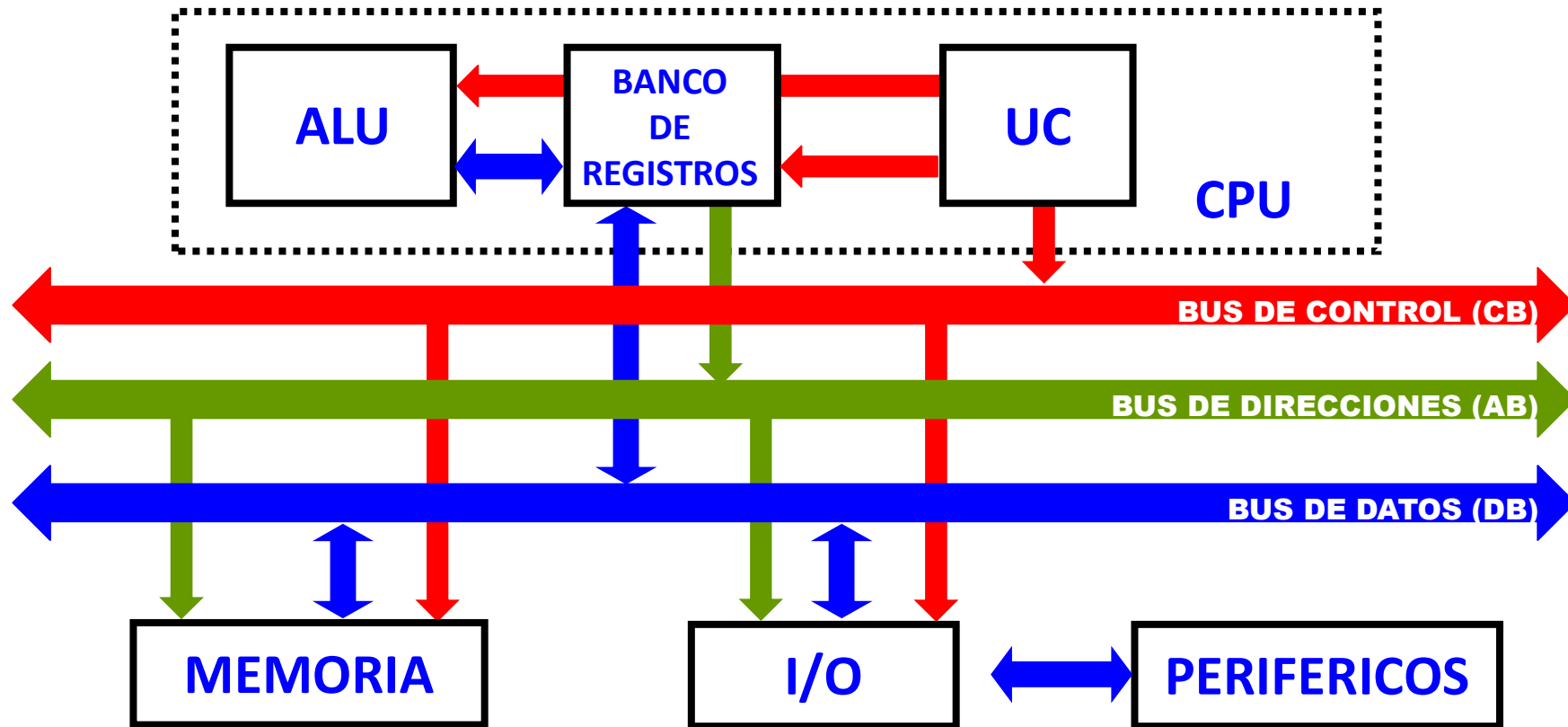
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Arquitectura clásica Von Neumann



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Arquitectura Harvard

MEMORIA DE INSTRUCCIONES

BUS DE DIRECCIONES PARA INSTRUCCIONES (IAB)

BUS DE INSTRUCCIONES (IB)

CACHÉ INSTRUCCIONES

ALU

BANCO DE REGISTROS

UC

CPU

CACHÉ DATOS

$\mu P$

BUS DE CONTROL (CB)

BUS DE DIRECCIONES PARA DATOS (DAB)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# Índice

- Estructura básica de un ordenador (sumador)
- **Circuitos lógicos y aritméticos**
  - ✓ Sumadores y Restadores
  - ✓ Desplazadores y Multiplicadores
  - ✓ Otros operadores
- Diseño de una ALU optimizada

Cartagena99

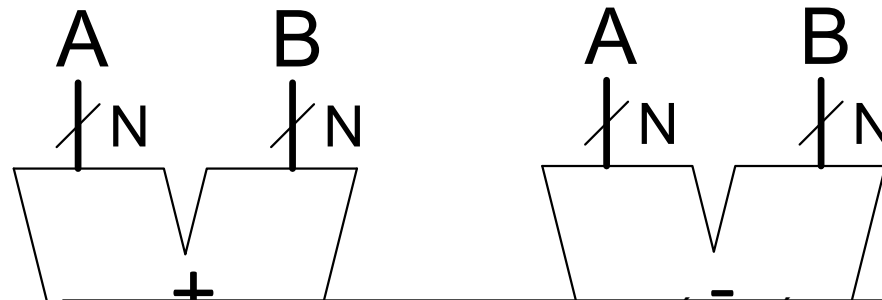
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Sumadores/restadores multibit

- Sumadores/restadores multibit por propagación del acarreo (*carry propagate, CPA*) de tres tipos:
  - Sumadores/restadores ripple-carry, RCA (lento)
  - Sumadores carry-lookahead, CLA (rápido)
  - Sumadores prefijo-paralelo, PPA (+ rápido)
- Los sumadores/restadores CLA y PPA son más rápidos, pero requieren más hardware.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

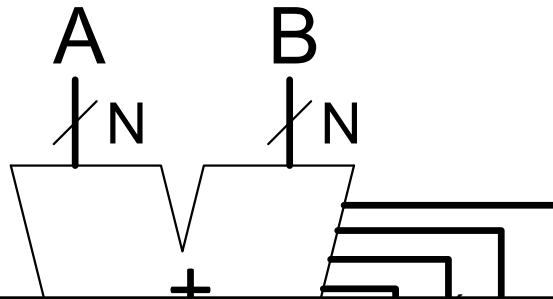
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# Banderas de la ALU

Señales de un bit que indican información adicional sobre el resultado:

- Negative (N): Activa si el resultado es negativo
- Zero (Z): Activa si el resultado es 0
- Carry (C): Activa si el resultado ha generado un acarreo.
- Overflow (V): Activa si el resultado ha generado un desbordamiento



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



# Desplazadores

- **Desplazador lógico (logical shifter):** desplaza el valor a izquierda o derecha y rellena con 0's.
  - ✓ Ex:  $11001 \gg 2 = 00110$
  - ✓ Ex:  $11001 \ll 2 = 00100$
- **Desplazador aritmético (arithmetic shifter):** igual que el lógico, salvo que hacia la derecha rellena con el bit de signo (msb).
  - ✓ Ex:  $11001 \ggg 2 = 11110$
  - ✓ Ex:  $11001 \lll 2 = 00100$
- **Rotador (rotator):** rota a izquierda o derecha los bits en círculo, lo que sale por un lado entra por el otro.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Desplazar para multiplicar o dividir

- Un desplazamiento a izquierda de  $N$  bits equivale a multiplicar por  $2^N$ 
  - ✓ Ex:  $00001 \ll 2 = 00100$  ( $1 \times 2^2 = 4$ )
  - ✓ Ex:  $11101 \ll 2 = 10100$  ( $-3 \times 2^2 = -12$ )
- Un desplazamiento aritmético a derecha de  $N$  bits equivale a dividir entre  $2^N$ 
  - ✓ Ex:  $01000 \ggg 2 = 00010$  ( $8 \div 2^2 = 2$ )

Cartagena99

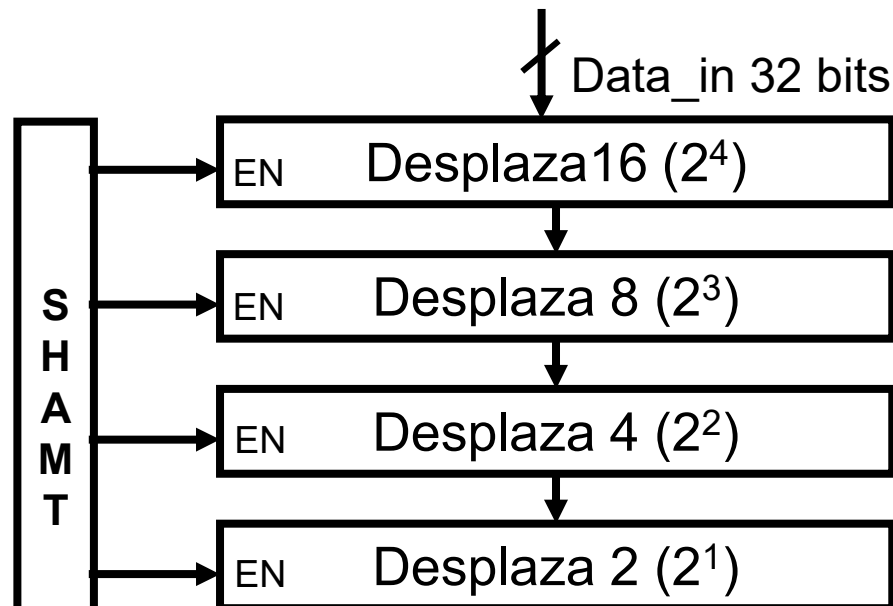
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Desplazador en barril ( *Barrel Shifter* )

- ¿Cómo desplazar un número variable de posiciones, de 0 a 31?
  - ✓ En MIPS, dicha cantidad se codifica en  $shamt_{4:0}$
- Usando desplazadores fijos  $2^N$  en cadena
  - ✓ Cada desplazador se activa o no dependiendo de un bit en  $shamt_{4:0}$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

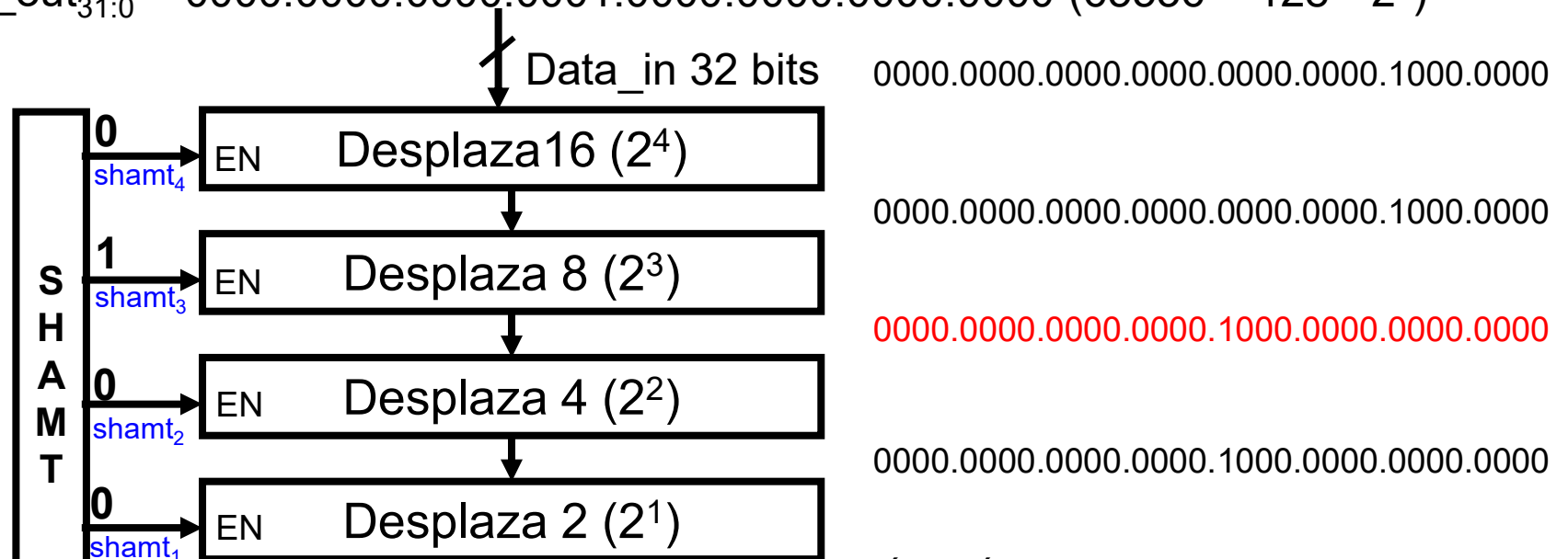
# Desplazador en barril ( *Barrel Shifter* )

Ejemplo:

shamt<sub>4:0</sub> = 01001 (9)

Data\_in<sub>31:0</sub> = 0000.0000.0000.0000.0000.0000.1000.0000 (128)

Data\_out<sub>31:0</sub> = 0000.0000.0000.0001.0000.0000.0000.0000 (65536 = 128 \* 2<sup>9</sup>)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

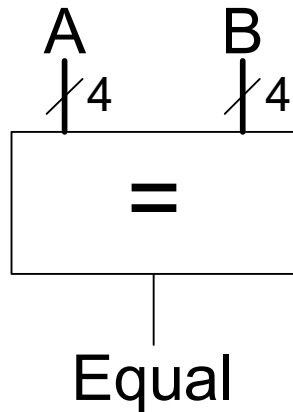
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

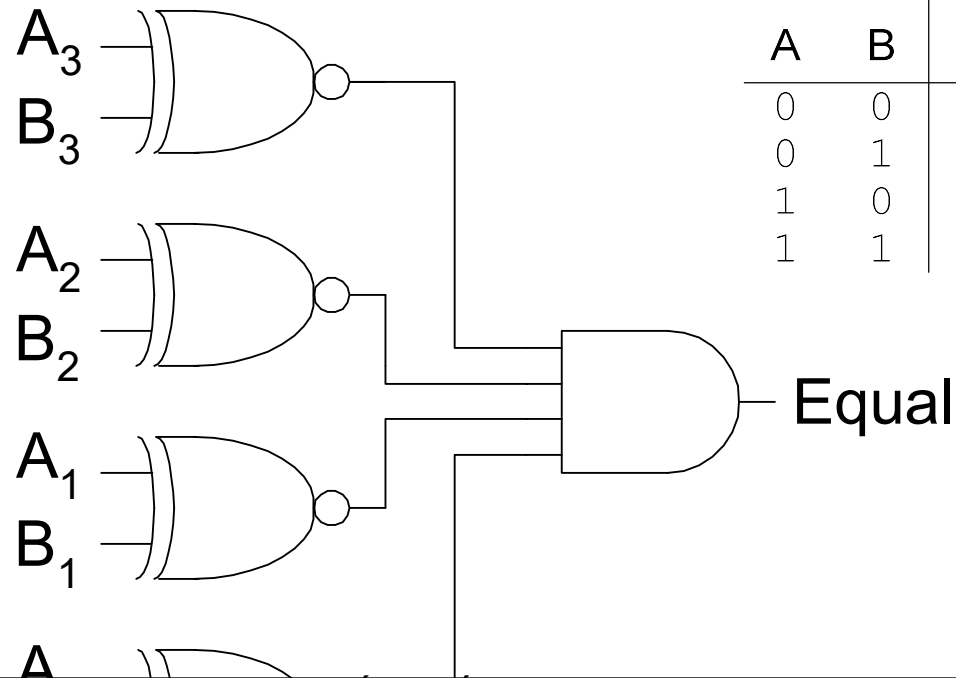
# Otros operadores

## Comparador igualdad (*Equal*): ¿ $A = B$ ?

### Symbol



### Implementation



XNOR

A	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

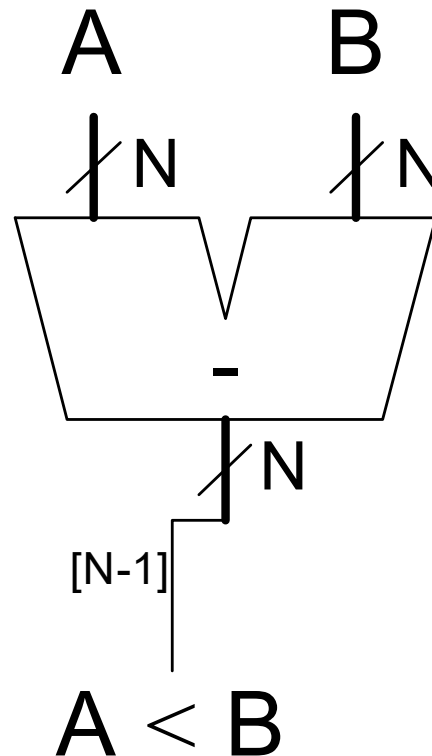
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# Otros operadores

Comparador menor que (*Less Than*): ¿  $A < B$  ?



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Índice

- Estructura básica de un ordenador (sumador)
- Circuitos lógicos y aritméticos
  - ✓ Sumadores y Restadores
  - ✓ Desplazadores y Multiplicadores
  - ✓ Otros operadores
- **Diseño de una ALU optimizada**

Cartagena99

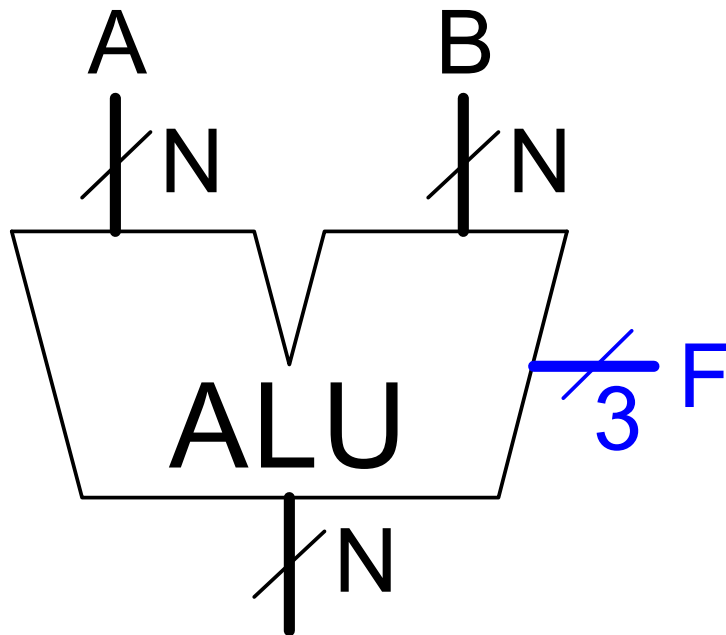
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Arithmetic Logic Unit (ALU)

$F_{2:0}$  = Selector de función



$F_{2:0}$	Función
000	A and B
001	A or B
010	A + B
011	Sin usar
100	A and /B
101	A or /B
110	A - B

Cartagena99

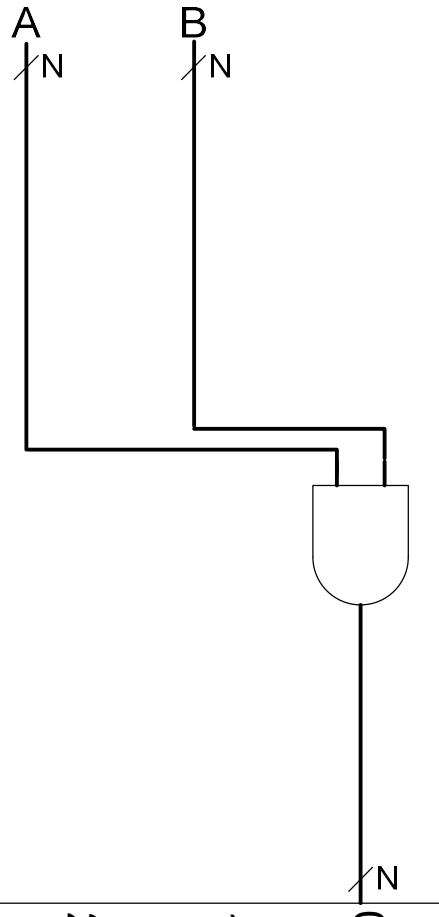
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# Diseño de la ALU



$F_{2:0}$	Función
000	A and B
001	A or B
010	A + B
011	Sin usar
100	A and /B
101	A or /B
110	A - B

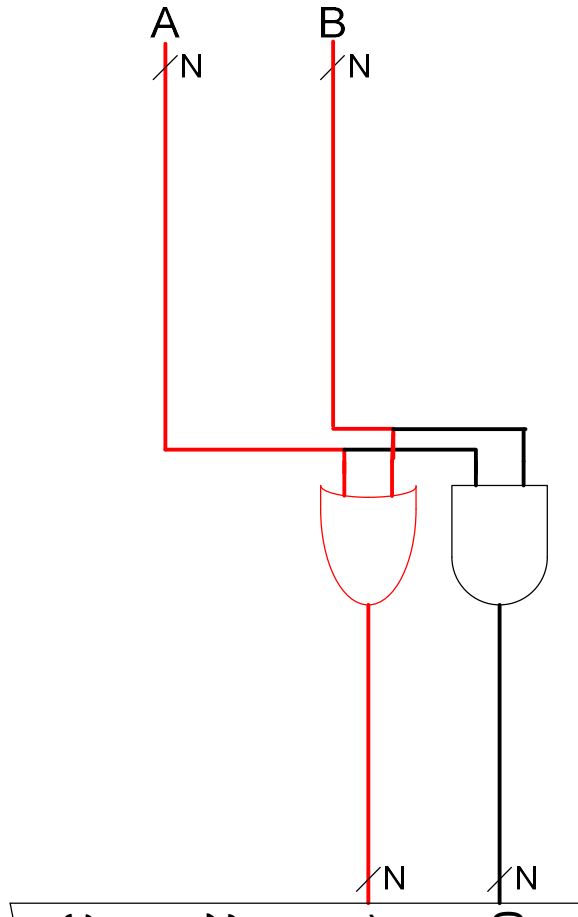
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Diseño de la ALU



$F_{2:0}$	Función
000	A and B
001	A or B
010	A + B
011	Sin usar
100	A and /B
101	A or /B
110	A - B

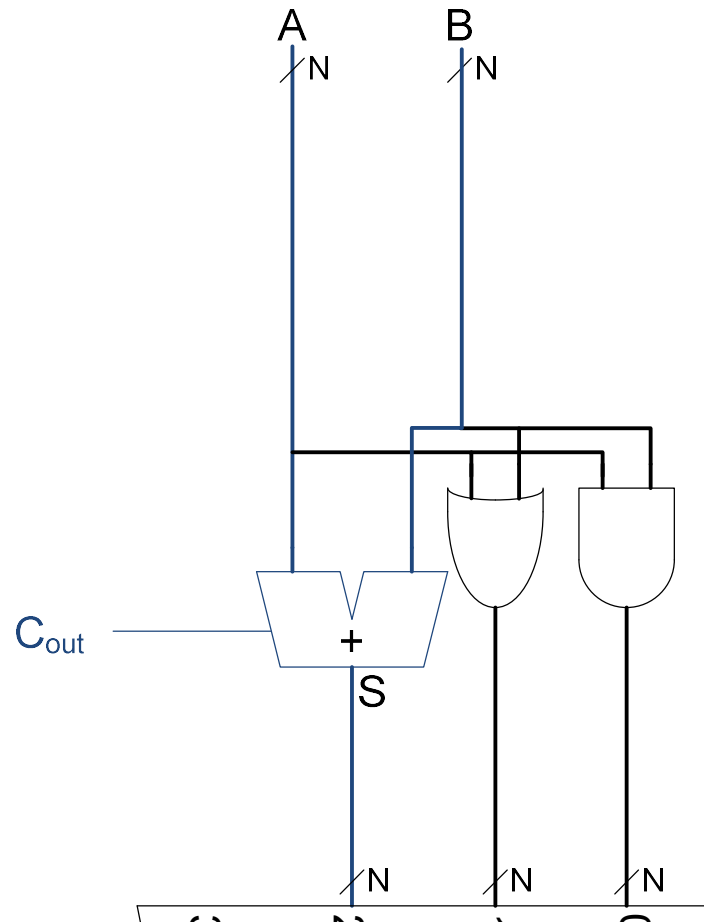
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Diseño de la ALU



$F_{2:0}$	Función
000	A and B
001	A or B
010	A + B
011	Sin usar
100	A and /B
101	A or /B
110	A - B

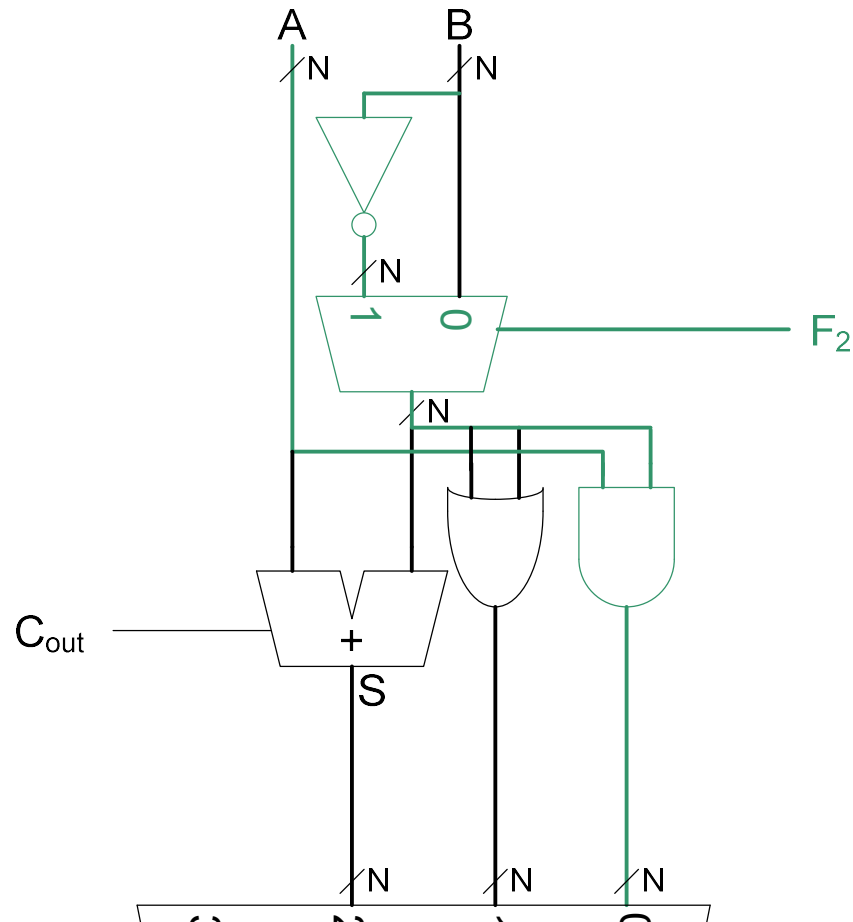
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Diseño de la ALU



$F_{2:0}$	Función
000	A and B
001	A or B
010	A + B
011	Sin usar
100	A and /B
101	A or /B
110	A - B

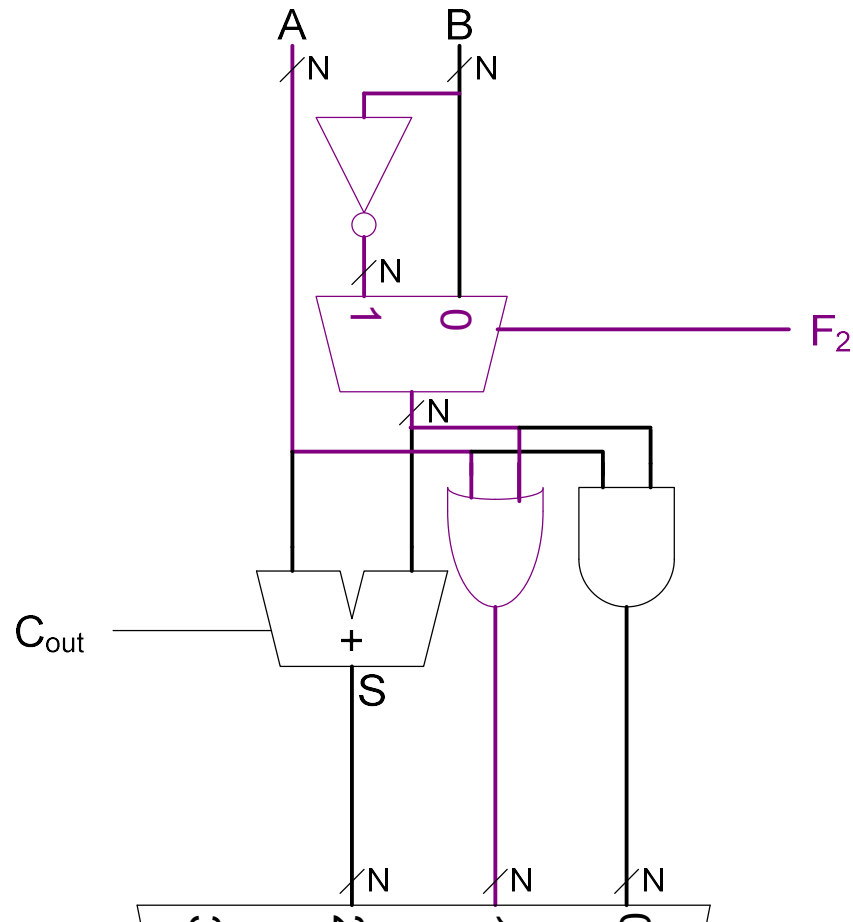
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Diseño de la ALU



$F_{2:0}$	Función
000	A and B
001	A or B
010	A + B
011	Sin usar
100	A and /B
101	A or /B
110	A - B

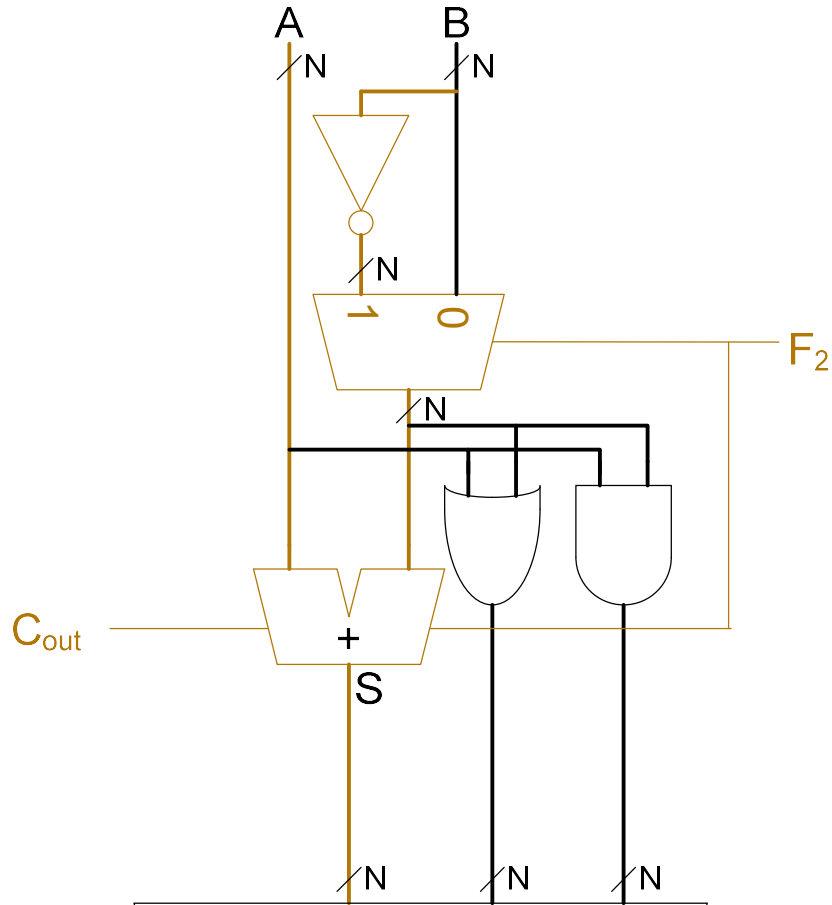
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Diseño de la ALU



$F_{2:0}$	Función
000	A and B
001	A or B
010	A + B
011	Sin usar
100	A and /B
101	A or /B
110	A - B

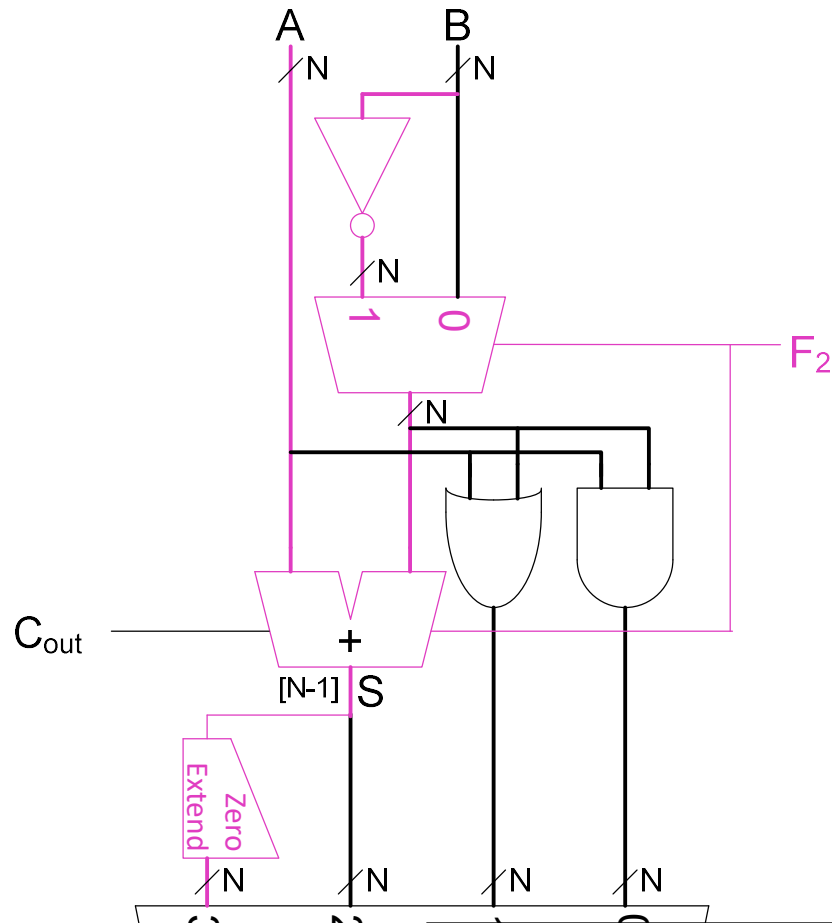
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Diseño de la ALU



$F_{2:0}$	Función
000	A and B
001	A or B
010	A + B
011	Sin usar
100	A and /B
101	A or /B
110	A - B

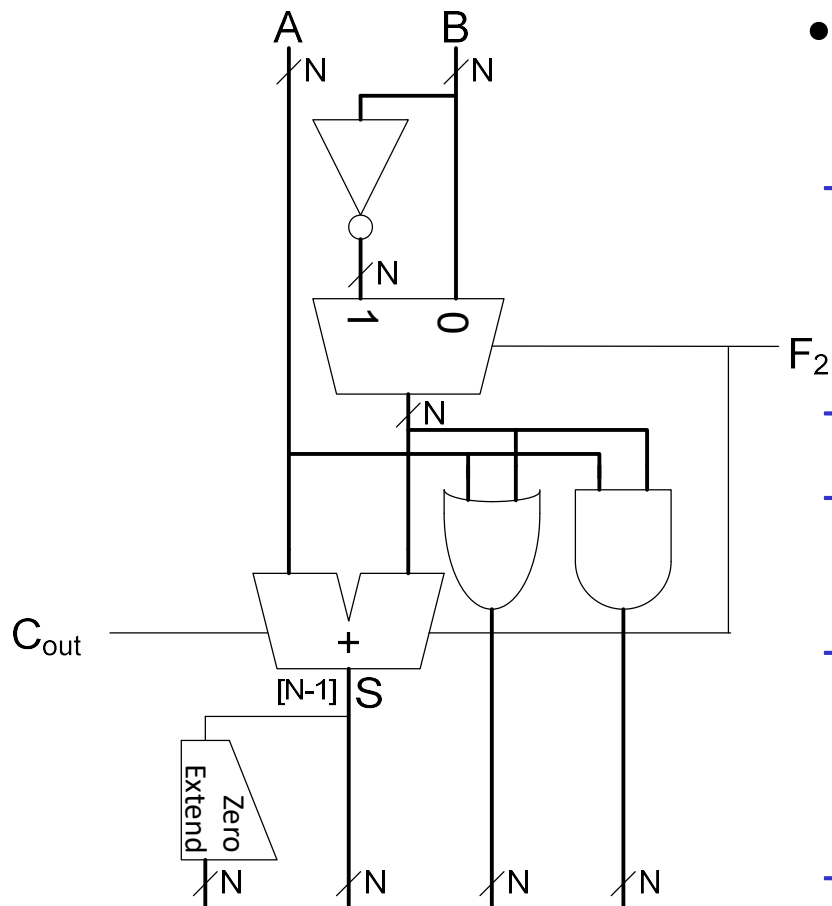
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# Ejemplo de “Set Less Than” (SLT)



- El resultado es 1 si  $A < B$  y 0 en caso contrario. Suponemos  $A = 25$  y  $B = 32$ .
  - A es menor que B, así que esperamos que Y sea la representación en 32 bits de 1 (0x00000001).
  - Para SLT,  $F_{2:0} = 111$ .
  - $F_2 = 1$  hace que el sumador haga la resta. Así que  $25 - 32 = -7$ .
  - La representación en C2 de -7 tiene un 1 en el “most significant bit”, así que  $S_{31} = 1$ .
  - Los bits  $F_{1:0} = 11$ , así que el mux elige

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# Fundamentos de Microprocesadores

## Unidad 2: La Unidad Aritmético Lógica (ALU)

Escuela Politécnica Superior - UAM

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70