Arquitectura del CPU

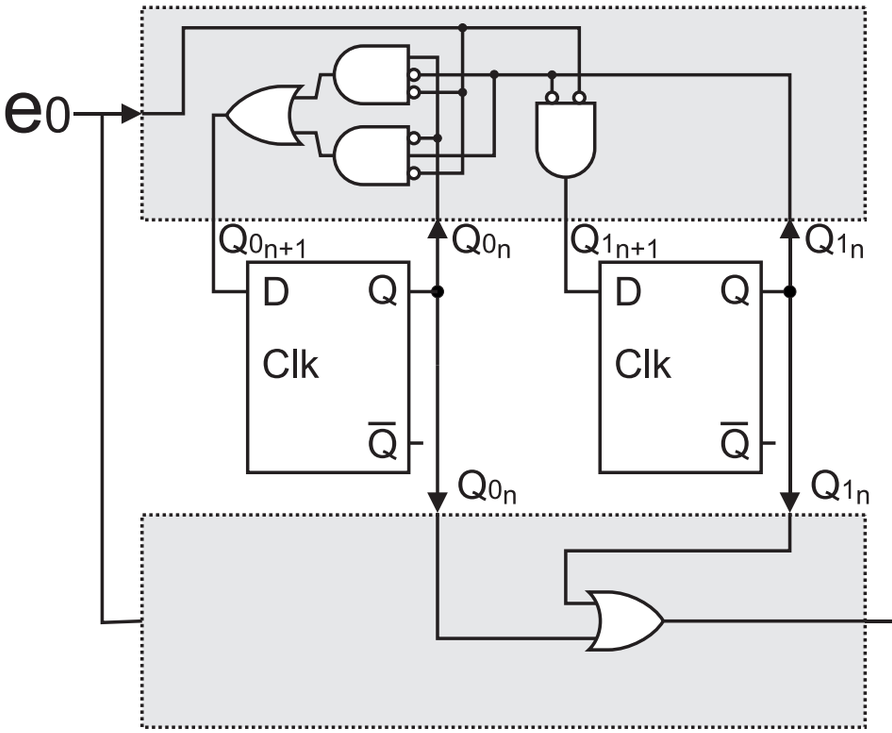
Organización del Computador 1
1er cuatrimestre 2017

COMPUTER LOVE

Agenda

¿De dónde venimos?

- Introducción: esquema de una computadora
- Representación de la información
- Circuitos Combinatorios
- Circuitos Secuenciales

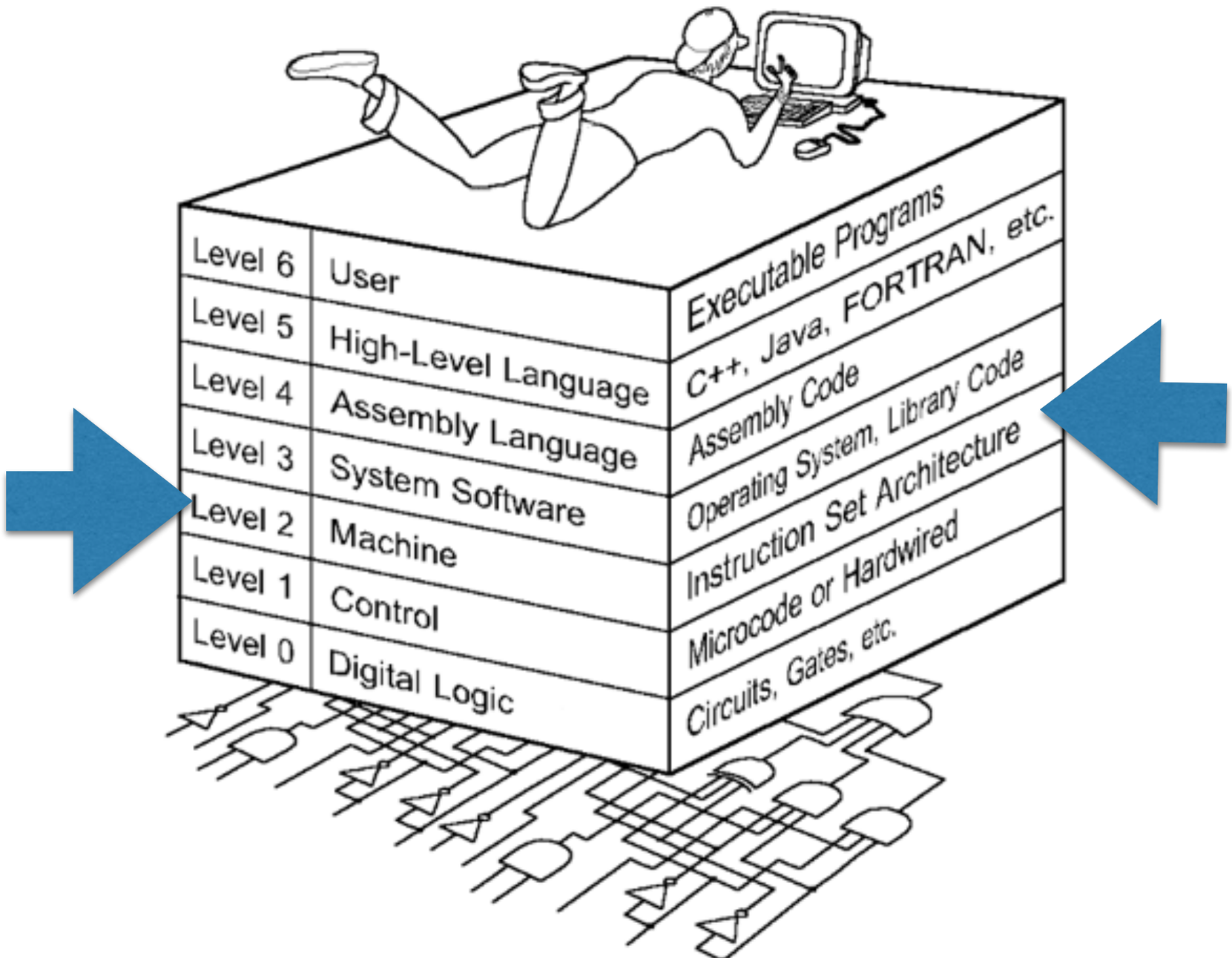


Agenda

¿Adónde vamos?

- Ciclo de Instrucción
- Arquitectura del Computador
  - Memoria/Registros
  - Instrucciones
- Lenguaje Ensamblador

Niveles de Abstracción de una Computadora



Modelo de Von Neumann

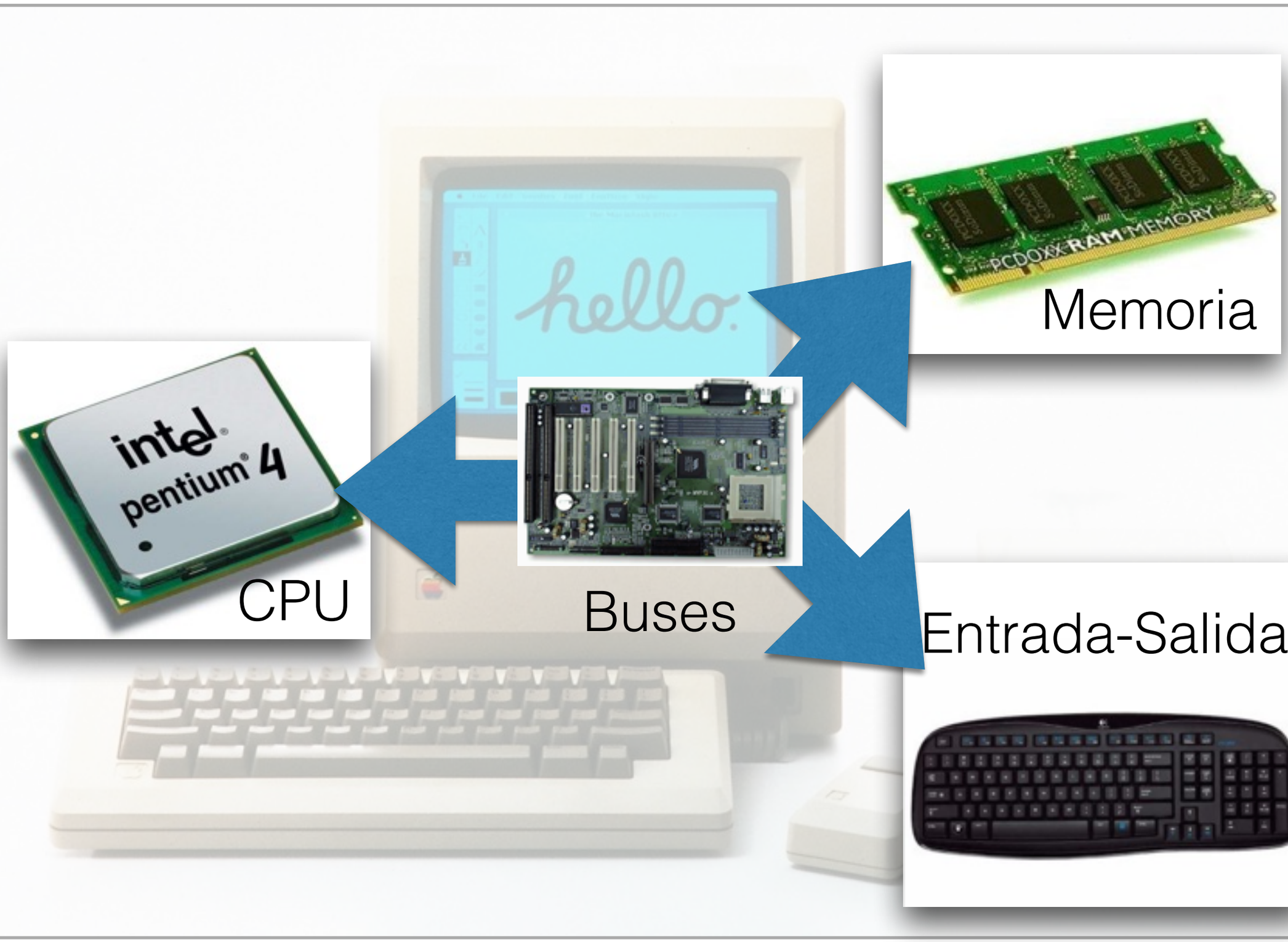
- John Von Neumann (1903-1957)

- *Primer Informe sobre el EDVAC* (1945)

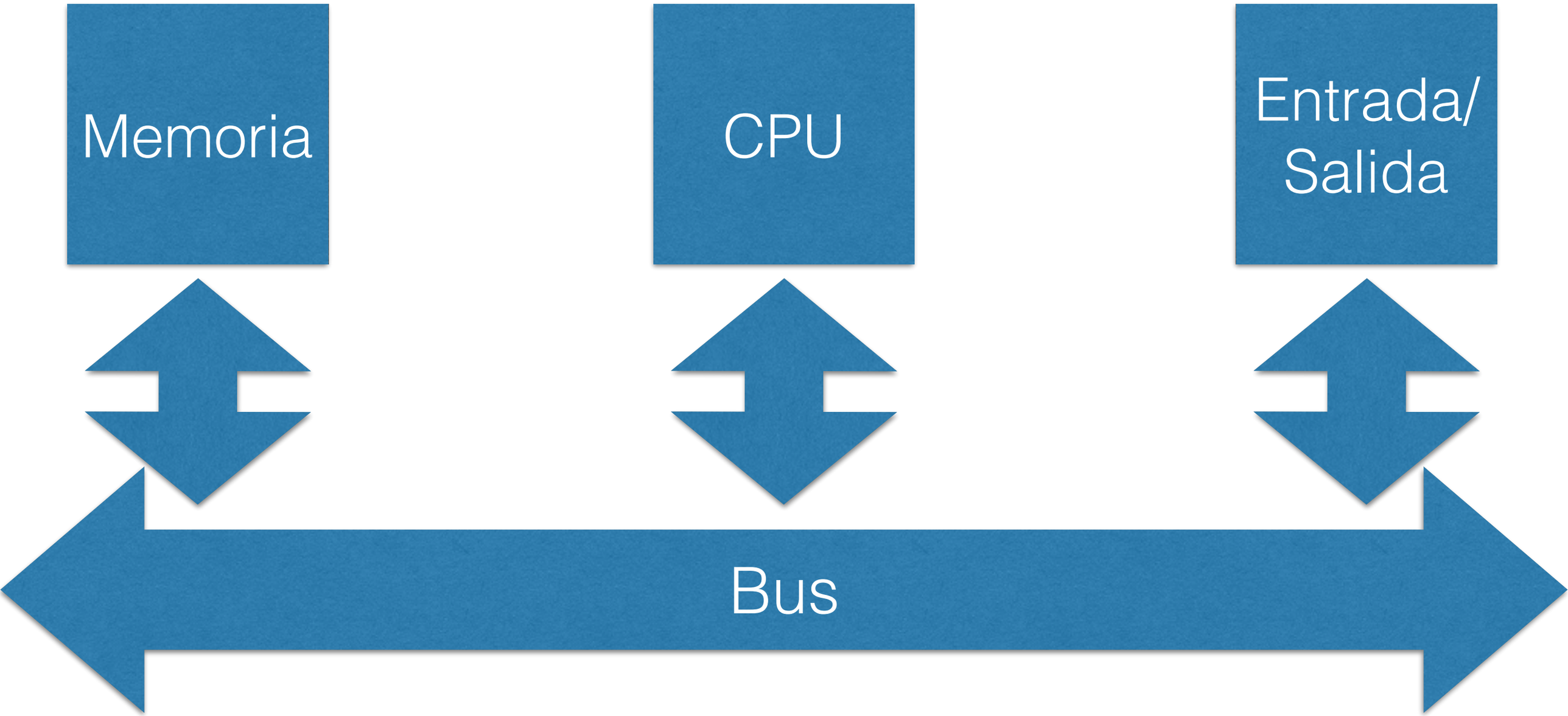
- Programas son almacenados como datos en memoria

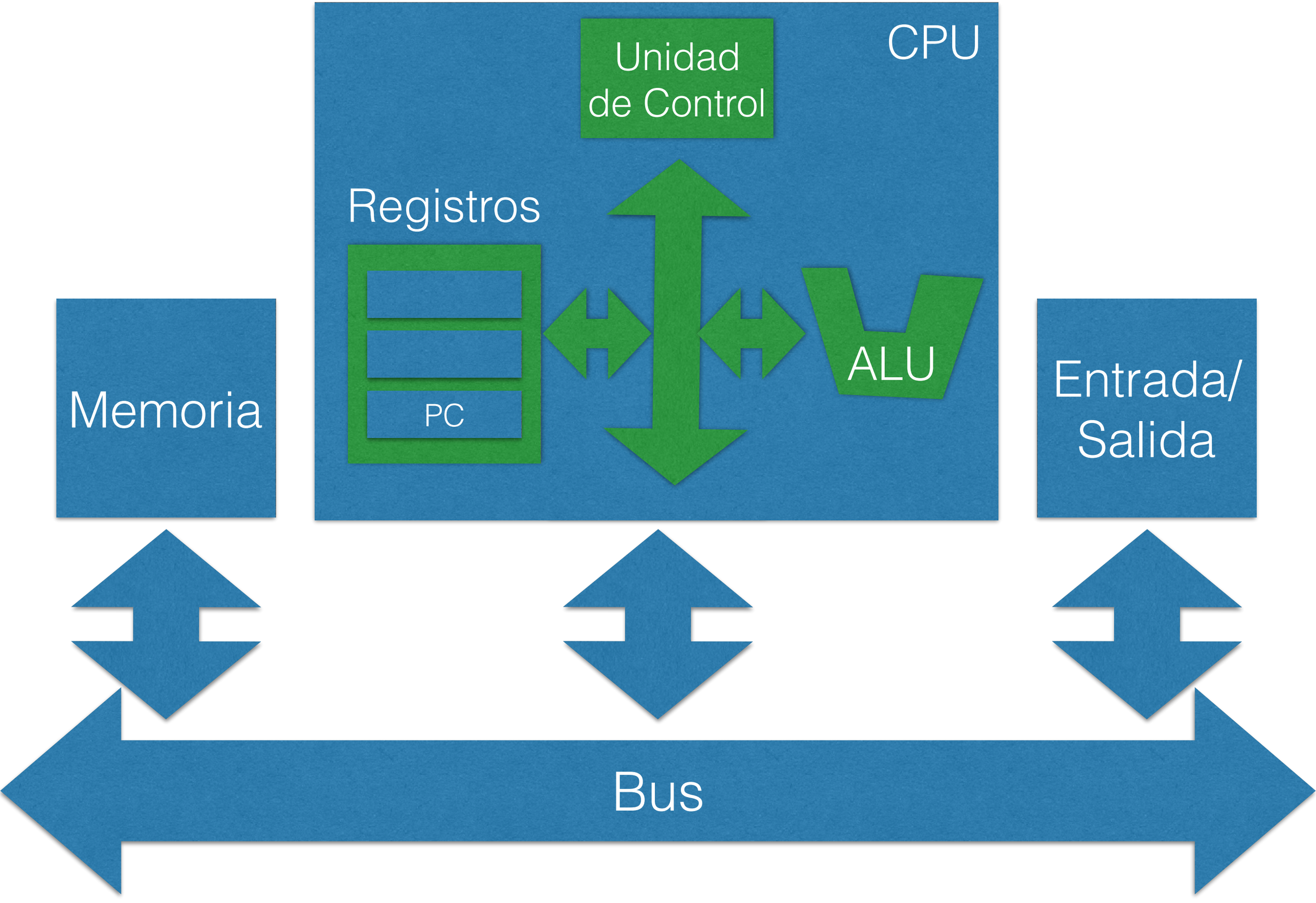
- ¿Qué es un dato? ¿Qué es un programa?


hello.


Memoria
CPU
Buses
Entrada-Salida

Modelo Von Neumann
Organización

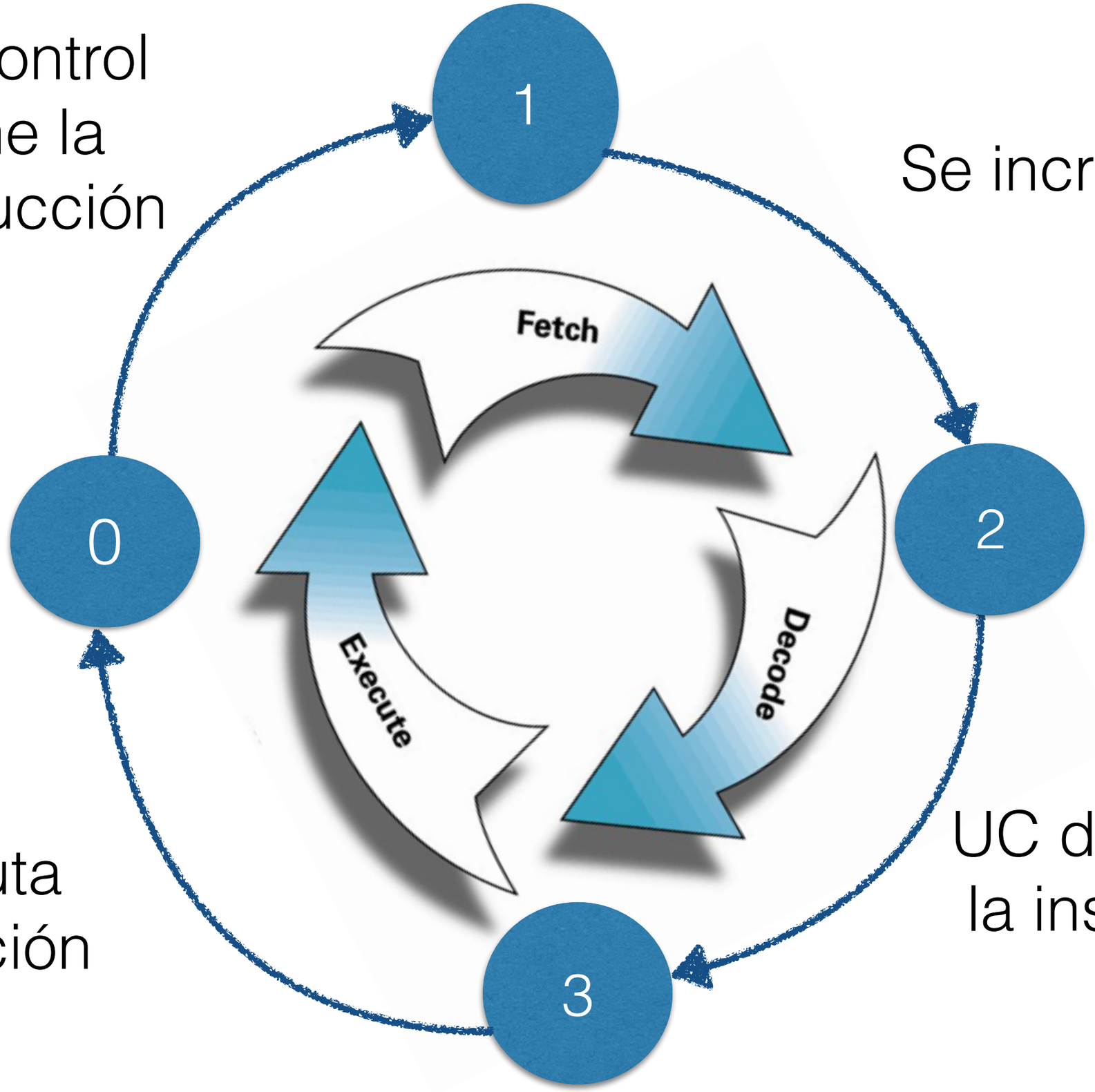



CPU
Unidad
de Control
Registros
PC
ALU
Memoria
Entrada/
Salida
Bus

Ciclo de Instrucción

Unidad de Control (UC) obtiene la próxima instrucción

Se incrementa el PC



UC ejecuta la instrucción

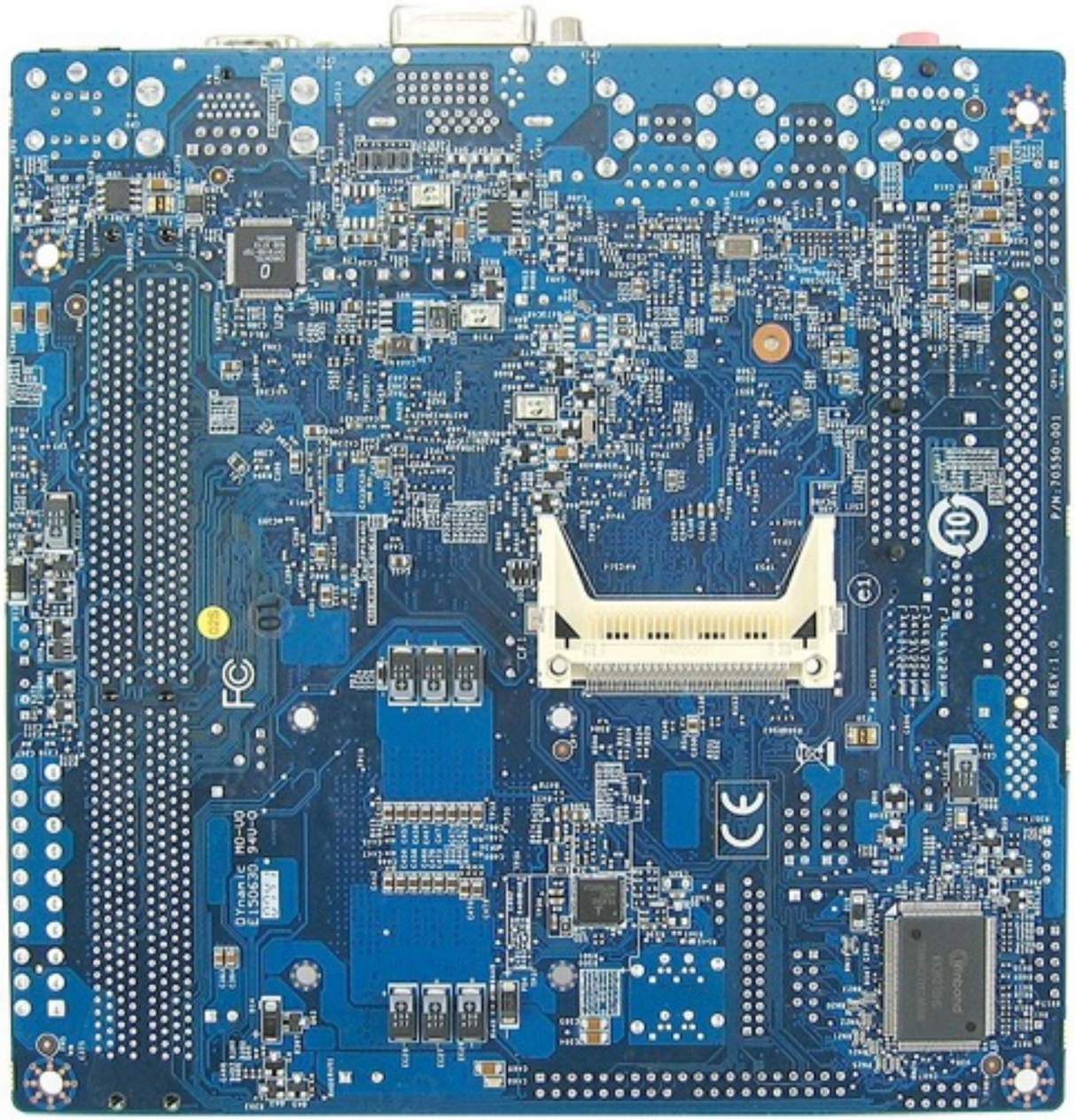
UC decodifica la instrucción

ISA: Instruction Set Architecture

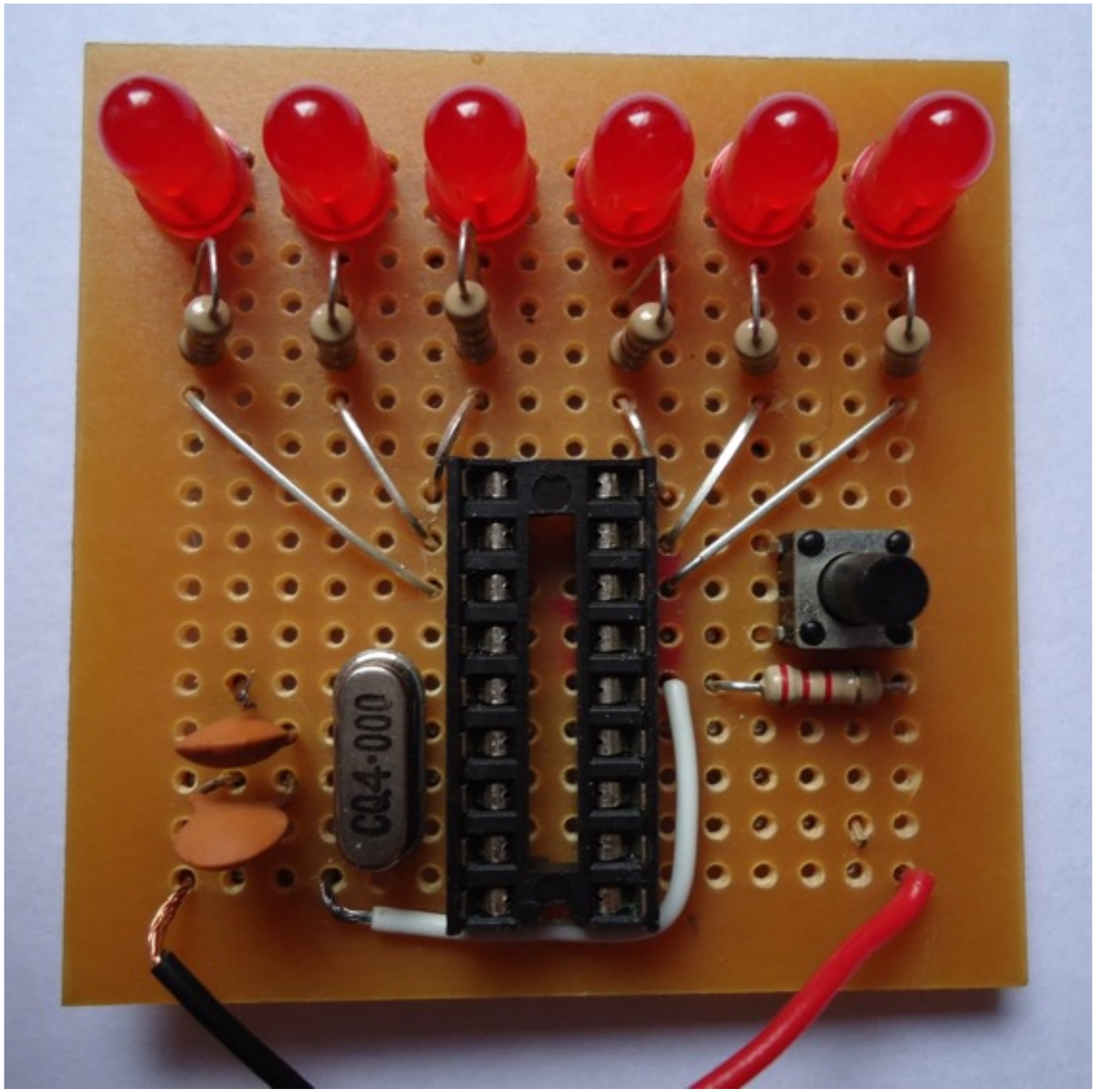
- ¿Qué preguntas debe responder?
  - ¿Qué tipos de dato puedo manejar nativamente?
    - ¿Cómo se almacenan?
    - ¿Cómo se acceden? ¿Tamaño de palabra?
- ¿Qué operaciones (instrucciones) puedo ejecutar?
  - ¿Cómo se codifican?

Un Instruction Set Real

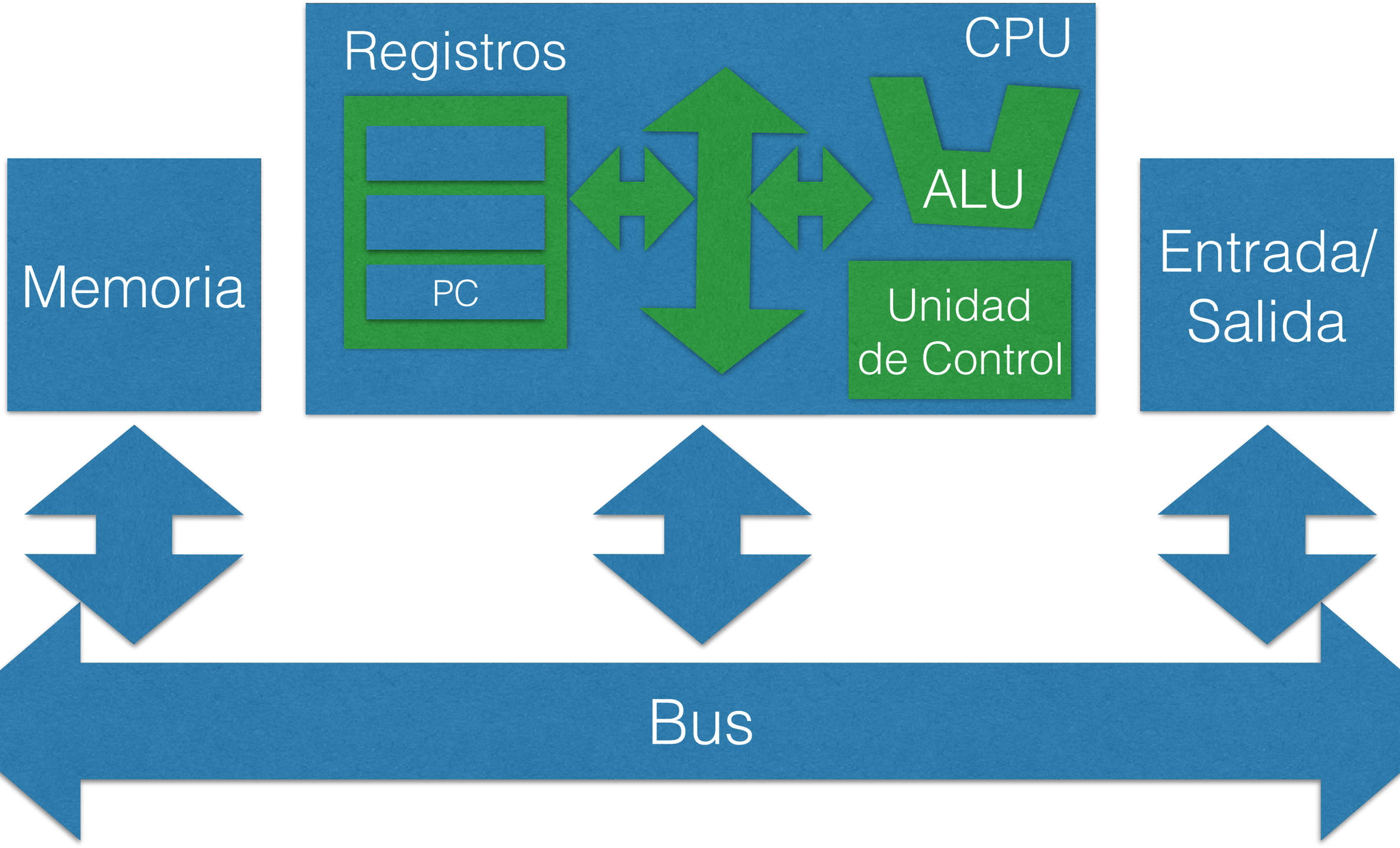
Una Arquitectura Real



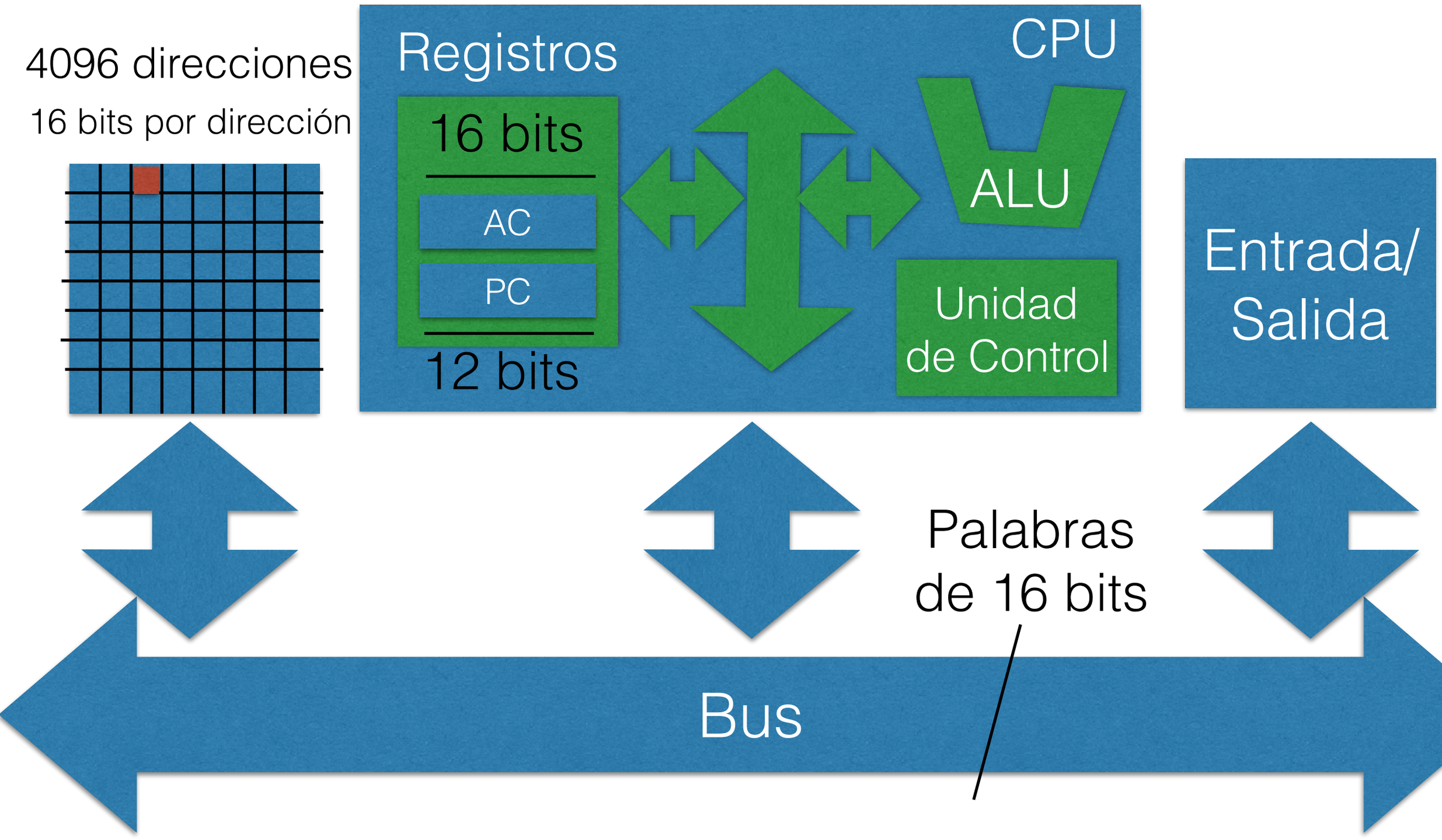
Otra Arquitectura Real



Arquitectura MARIE

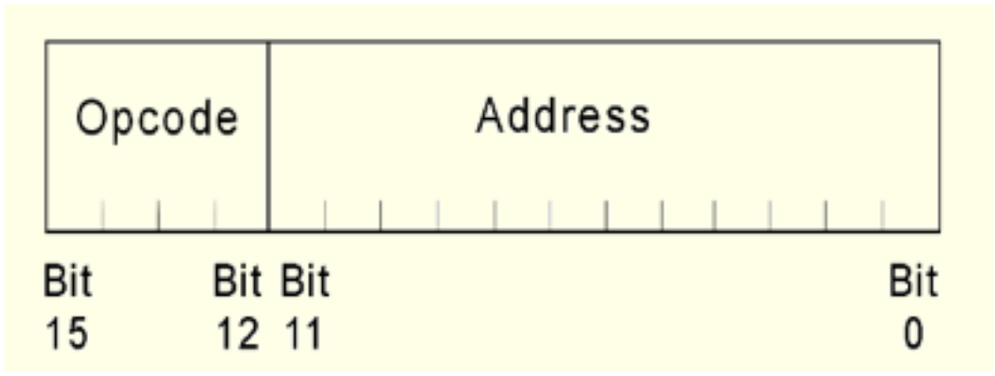


Arquitectura MARIE



MARIE: Arquitectura

- Formato de instrucción Fijo de 16 bits



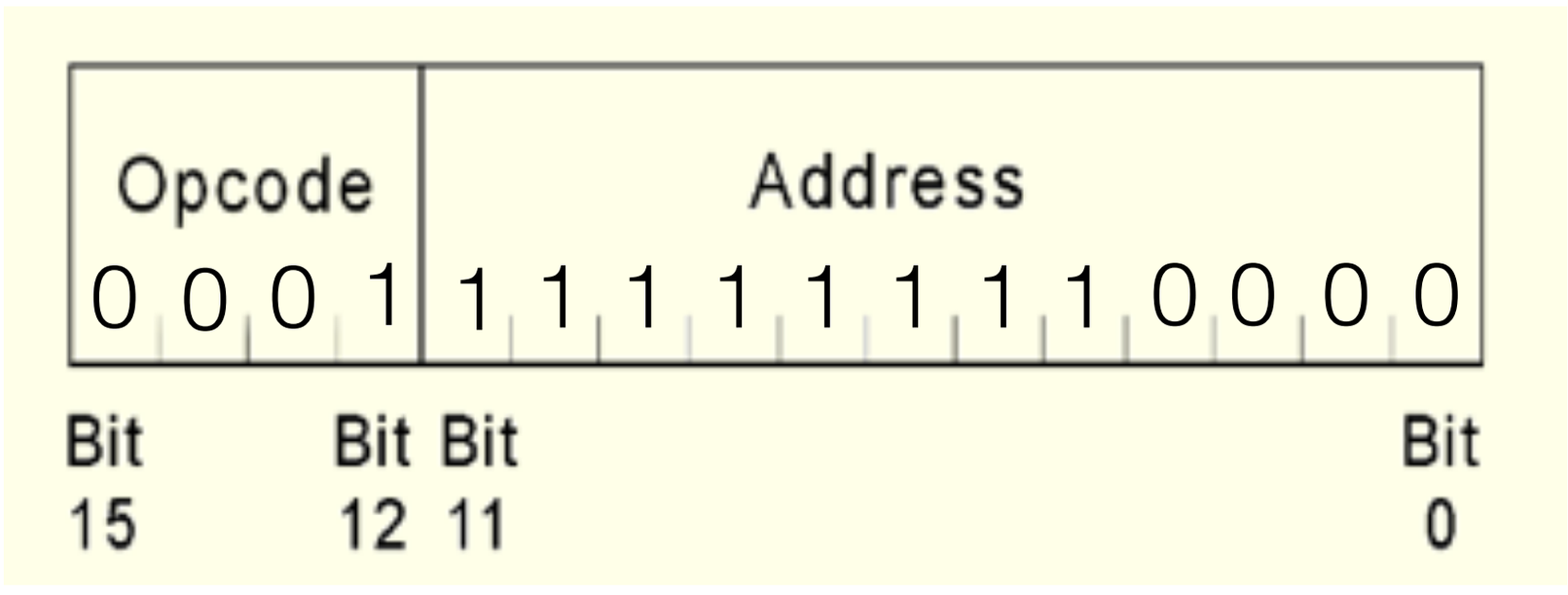
- Instrucciones

Opcode	Instrucción	Efecto
“0001”	`Load X`	Copia el contenido de la dirección X en AC
“0010”	`Store X`	Copia el contenido de AC en la dirección X
“0011"	`Add X`	AC := AC + [X] **(complemento a 2)**
“0100”	`Subt X`	AC := AC - [X] **(complemento a 2)**
“1010"	`Clear`	AC := 0

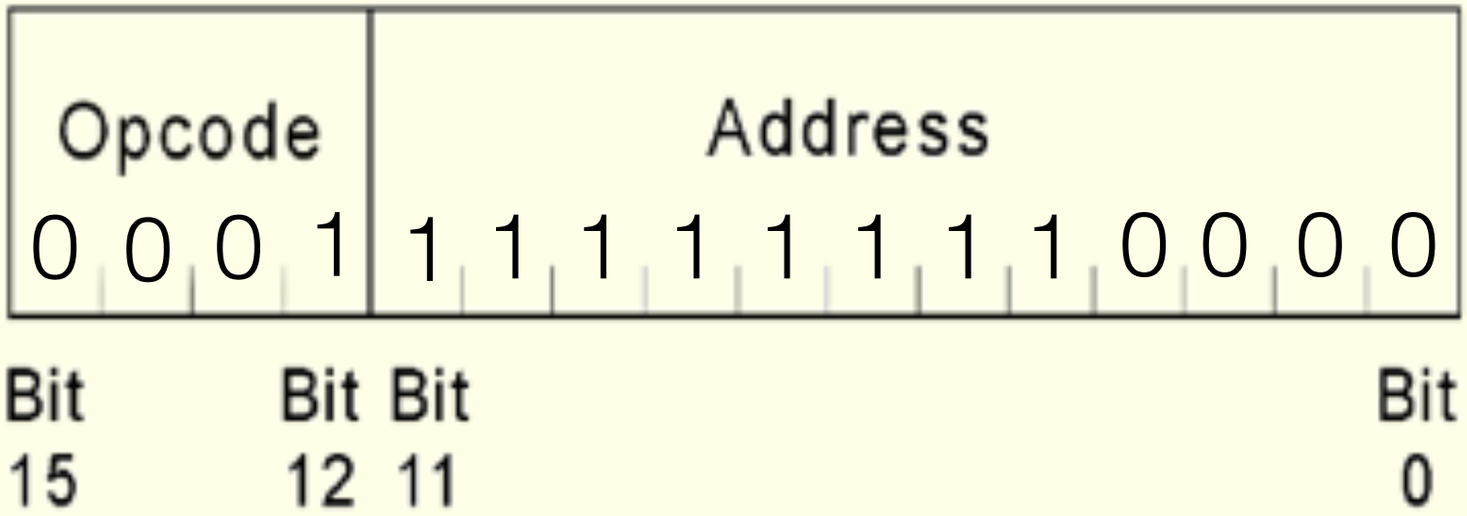
MARIE: Ejemplo

- Con PC=0x123, copiar el contenido de la dirección 0xFF0 en el registro AC

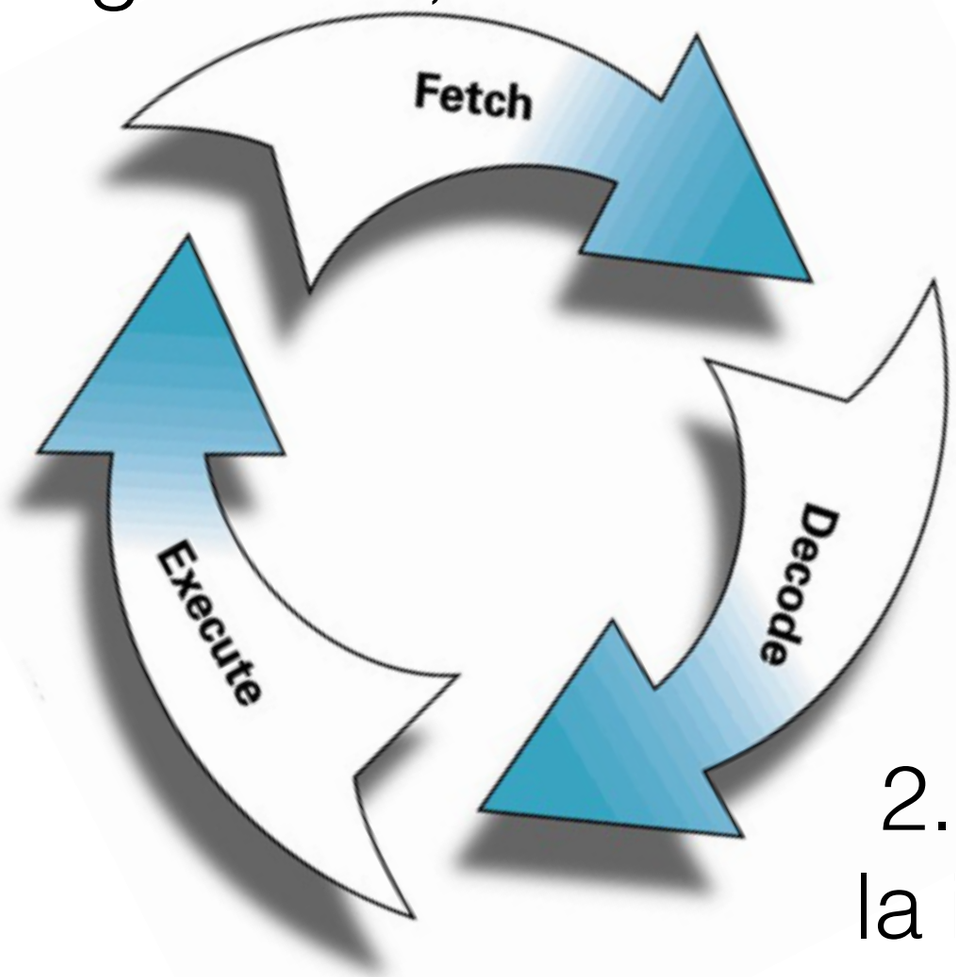
0x123



0x123



1. La UC lee el contenido de la dirección 0x123, lo escribe en el registro IR, e incrementa el PC a 0x124



2. La UC decodifica la instrucción 0x1FF0

3. La UC ejecuta “LOAD 0xFF0"

Instrucciones de Salto

- Nos permiten alterar la secuencia normal de ejecución del programa
  - IF, WHILE, FOR, etc.
  - Llamadas a procedimientos
- Se dividen de acuerdo a su ejecución
  - Condicionales (debe cumplirse alguna condición)
  - Incondicionales (la ejecución cambia **siempre**)

MARIE: Saltos

Opcode	Instrucción	Efecto
“0000"	`JnS X`	[X] =PC (copia los menos significativos) y luego PC:=X+1
“1000"	`Skip Cond`	Si Cond=00 y AC<0, entonces PC:=PC+1 Si Cond=01 y AC=0, entonces PC:=PC+1 Si Cond=10 y AC>0, entonces PC:=PC+1
“1001"	`Jump X`	PC:=X
“1100"	`Jumpi X`	PC:=[X] (copia los menos significativos)

MARIE

- ¿Cómo podemos escribir este programa usando instrucciones de MARIE?

If (AC!=0)
Then AC=0
Endif

Opcode	Instrucción	Efecto
“0001”	`Load X`	Copia el contenido de la dirección X en AC
“0010”	`Store X`	Copia el contenido de AC en la dirección X
“0011"	`Add X`	AC := AC + [X] (complemento a 2)
“0100”	`Subt X`	AC := AC - [X] (complemento a 2)
“1010"	`Clear`	AC := 0

Opcode	Instrucción	Efecto
“0000"	`JnS X`	[X] =PC (copia los menos significativos) y luego PC:=X+1
“1000"	`Skip Cond`	Si Cond=00 y AC<0, entonces PC:=PC+1 Si Cond=01 y AC=0, entonces PC:=PC+1 Si Cond=10 y AC>0, entonces PC:=PC+1
“1001"	`Jump X`	PC:=X
“1100"	`Jumpi X`	PC:=[X] (copia los menos significativos)

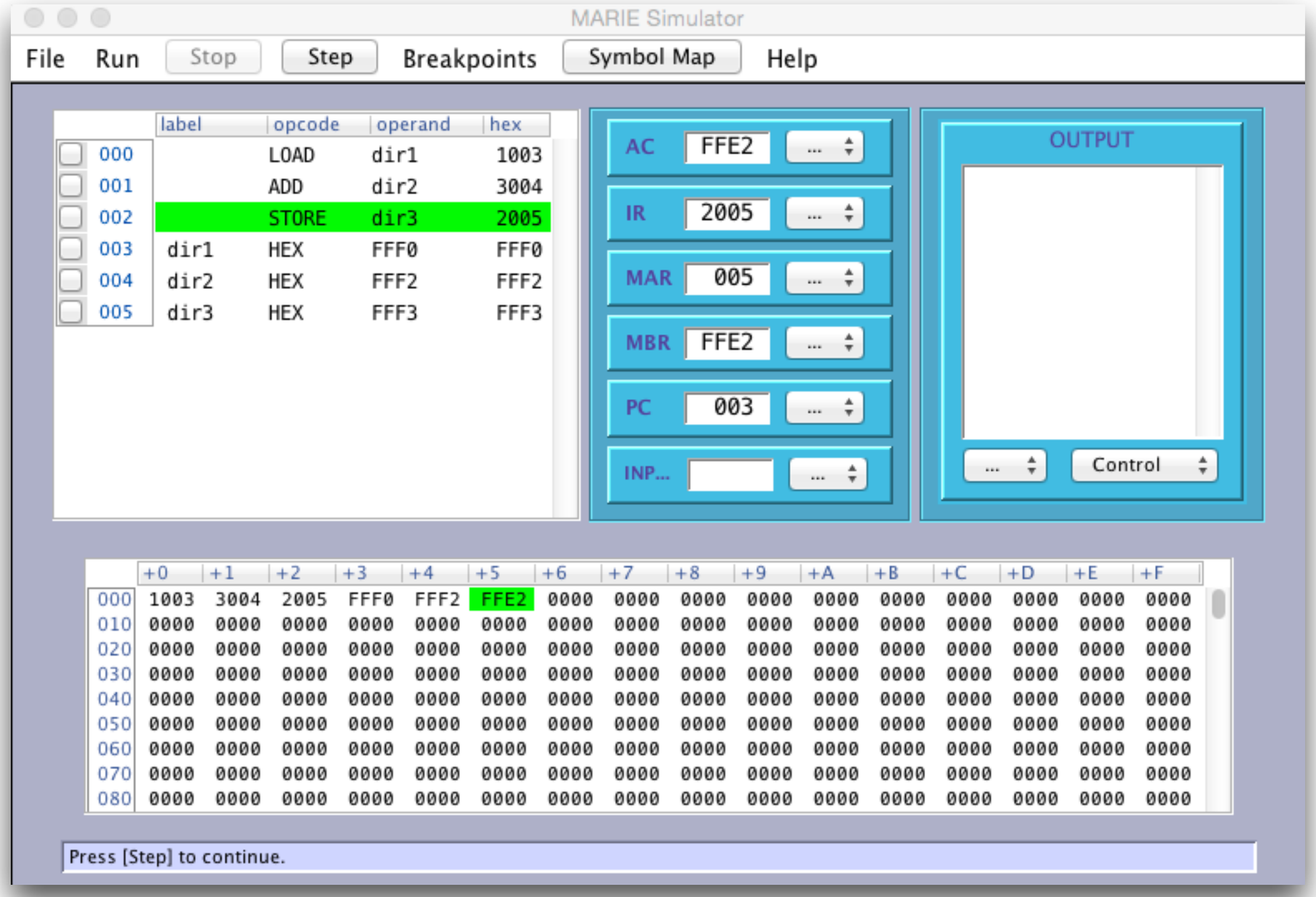
If (AC!=0)
Then AC=0
Endif

1. `Skip 01`
2. `Clear`
3. …

MARIE: Set de instrucciones

Opcod	Instrucción	Efecto	
“0001”	`Load X`	AC := [X]	Memoria
“0010”	`Store X`	[X] := AC	
“0011"	`Add X`	AC := AC + [X]	Aritméticas
“0100”	`Subt X`	AC := AC - [X]	
“1010"	`Clear`	AC:=0	
“1011"	`Addi X`	AC := AC + [[X]]	
“0000"	`JnS X`	[X] =PC (copia los menos significativos) y luego PC:=X+1	Control de Ejecución
“1000"	`Skip Cond`	Si Cond=00 y AC<0, entonces PC:=PC+1 Si Cond=01 y AC=0, entonces PC:=PC+1 Si Cond=10 y AC>0, entonces PC:=PC+1	
“1001"	`Jump X`	PC:=X	
“1100"	`Jumpi X`	PC:=[X] (copia los menos significativos)	

MARIE Simulator



Arquitectura "Orga1"

- Es una "simplificación" de una arquitectura Intel x86
- Existe un **simulador** de su ejecución
- Existe un **ensamblador** para sus programas
- Es una Arquitectura de *“propósito general"*

Registros

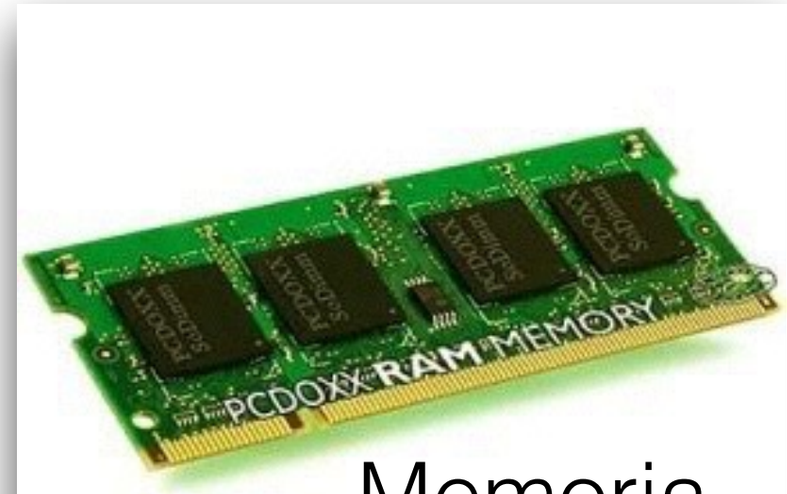
- 8 registros de **propósito general** de 16 bits (R0 a R7)
- 5 registros de **propósito específico** de 16 bits
  - PC (Program Counter)
  - SP (Stack Pointer)
  - IR0, IR1, IR2 (Instruction Register)

Flags

- **Z**ero
- **N**egative
- **C**arry
- o**V**erflow

Memoria

- Direcciones de 16 bits (de 0x0000 a 0xFFEF)
  - Las direcciones faltantes son para E/S (Pr.5)
- Palabras de 16 bits
- Direccionamiento a palabra (65520 palabras)
- Distintos modos de direccionamiento
  - Directo, Indirecto, etc.



Memoria

Instrucciones

- Formato de Instrucción de Longitud **variable**
- Instrucciones:
  - Tipo I: 2 operandos (hasta 48 bits)
  - Tipo II: 1 operando (hasta 32bits)
  - Tipo III: sin operandos (16 bits)
  - Tipo IV: desplazamiento (16 bits)

Ciclo de Instrucción

1a) **UC** obtiene primer palabra de la instrucción de memoria (de la dirección apuntada por el PC) e incrementa el PC

1b) **UC** decodifica la primer palabra de la instrucción

1c) Si es necesario: busca más palabras de la instrucción (usando el PC) e incrementa el PC

2) **UC** decodifica la instrucción completa

3) **UC** ejecuta la instrucción

4) Ir a Paso 1a)

Tipo I: 2 operandos

4 bits	*6 bits*	*6 bits*	*16 bits*	*16 bits*
cod. op.	destino	fuente	constante destino (opcional)	constante fuente (opcional)

operación	cod. op.	efecto	modifica flags
MOV *d*, *f*	0001	$d \leftarrow f$	no
ADD *d*, *f*	0010	$d \leftarrow d + f$ (suma binaria)	sí
SUB *d*, *f*	0011	$d \leftarrow d - f$ (resta binaria)	sí
AND *d*, *f*	0100	$d \leftarrow d$ and f	sí (⋆)
OR *d*, *f*	0101	$d \leftarrow d$ or f	sí (⋆)
CMP *d*, *f*	0110	Modifica los *flags* según el resultado de $d - f$.	sí
ADDC *d*, *f*	1101	$d \leftarrow d + f + carry$ (suma binaria)	sí

(⋆) dejan el flag de *carry* (C) y el de *overflow* (V) en cero.

Modo	Codificación	Resultado
Inmediato	000000	c16
Directo	001000	[c16]
Indirecto	011000	[[c16]]
Registro	100*rrr*	R*rrr*
Indirecto registro	110*rrr*	[R*rrr*]
Indexado	111*rrr*	[R*rrr* + c16]

c16 es una constante de *16 bits*.

R*rrr* es el registro indicado por los últimos tres *bits* del código de operando.

Las instrucciones que tienen como destino un operando de tipo *inmediato* son consideradas como inválidas por el procesador, excepto el CMP.

Tipo II: 1 operando

- Tipo IIa: Instrucciones de un operando destino

4 bits	*6 bits*	*6 bits*	*16 bits*
cod. op.	destino	000000	constante destino (opcional)

operacin	cod. op.	efecto	modifica flags
NEG *d*	1000	$d \leftarrow$ el inverso aditivo de d	s
NOT *d*	1001	$d \leftarrow$ not d (bit a bit)	s (⋆)

(⋆) deja el *flag* de *carry* (C) y el de *overflow* (V) en cero.

- Tipo IIb: Instrucciones de un operando fuente

4 bits	*6 bits*	*6 bits*	*16 bits*
cod. op.	000000	fuente	constante fuente (opcional)

operacin	cod. op.	efecto	modifica flags
JMP *f*	1010	PC $\leftarrow$ *f*	no
CALL *f*	1011	[SP] $\leftarrow$ PC, SP $\leftarrow$ SP $-$ 1, PC $\leftarrow$ *f*	no

Tipo III: Sin operandos

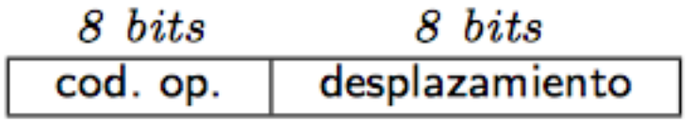
4 bits	*6 bits*	*6 bits*
cod. op.	000000	000000

operación	cod. op.	efecto
RET	1100	PC ← [SP+1], SP ← SP + 1

- No se modifica el valor de los Flags.

Tipo IV: Saltos Relativos Condicionales

- El salto se produce si se cumple la “condición de salto” correspondiente
- PC := PC + desplazamiento
- El desplazamiento se representa en complemento a 2 de 8 bits
- No se modifican los flags



Codop	Operación	Descripción	Condición de Salto
1111 0001	JE	Igual / Cero	Z
1111 1001	JNE	Distinto	not Z
1111 0010	JLE	Menor o igual	Z or (N xor V)
1111 1010	JG	Mayor	not (Z or (N xor V))
1111 0011	JL	Menor	N xor V
1111 1011	JGE	Mayor o igual	not (N xor V)
1111 0100	JLEU	Menor o igual sin signo	C or Z
1111 1100	JGU	Mayor sin signo	not (C or Z)
1111 0101	JCS	Carry / Menor sin signo	C
1111 0110	JNEG	Negativo	N
1111 0111	JVS	Overflow	V

Ensamblador (Assembler)

- **Lenguaje** ensamblador != **Programa** ensamblador
- **Lenguaje** ensamblador:
  - Lenguaje en el que escribimos programas para Orga1
  - Textual (no confundir con código de máquina)
  - Permite usar etiquetas

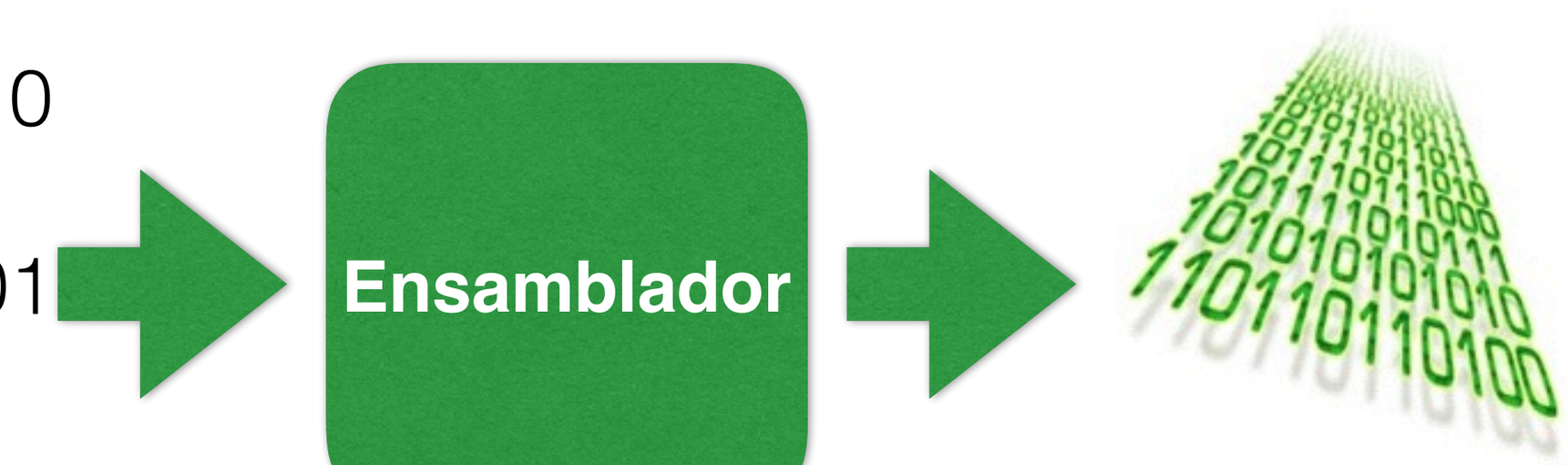
Ensamblador (Assembler)

- **Lenguaje** ensamblador != **Programa** ensamblador
- **Programa** ensamblador:
  - Traduce programas en lenguaje ensamblador (texto) a código máquina (ceros y unos)
  - También calcula el valor de etiquetas y desplazamiento

Ensamblador

1. MOV R0, 0x0010
2. MOV R1, 0x0001
3. ADD R0, R1

Programa en Lenguaje Ensamblador

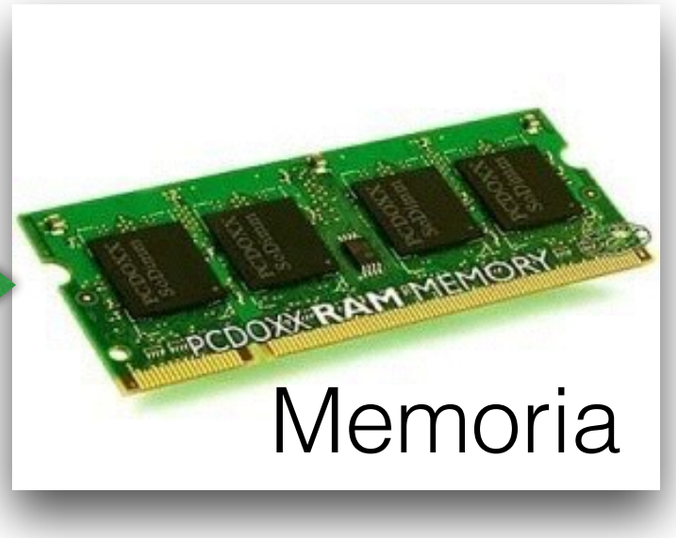


Programa en Lenguaje Máquina

Ensamblador

+

Dirección de Memoria
para cargar el Programa



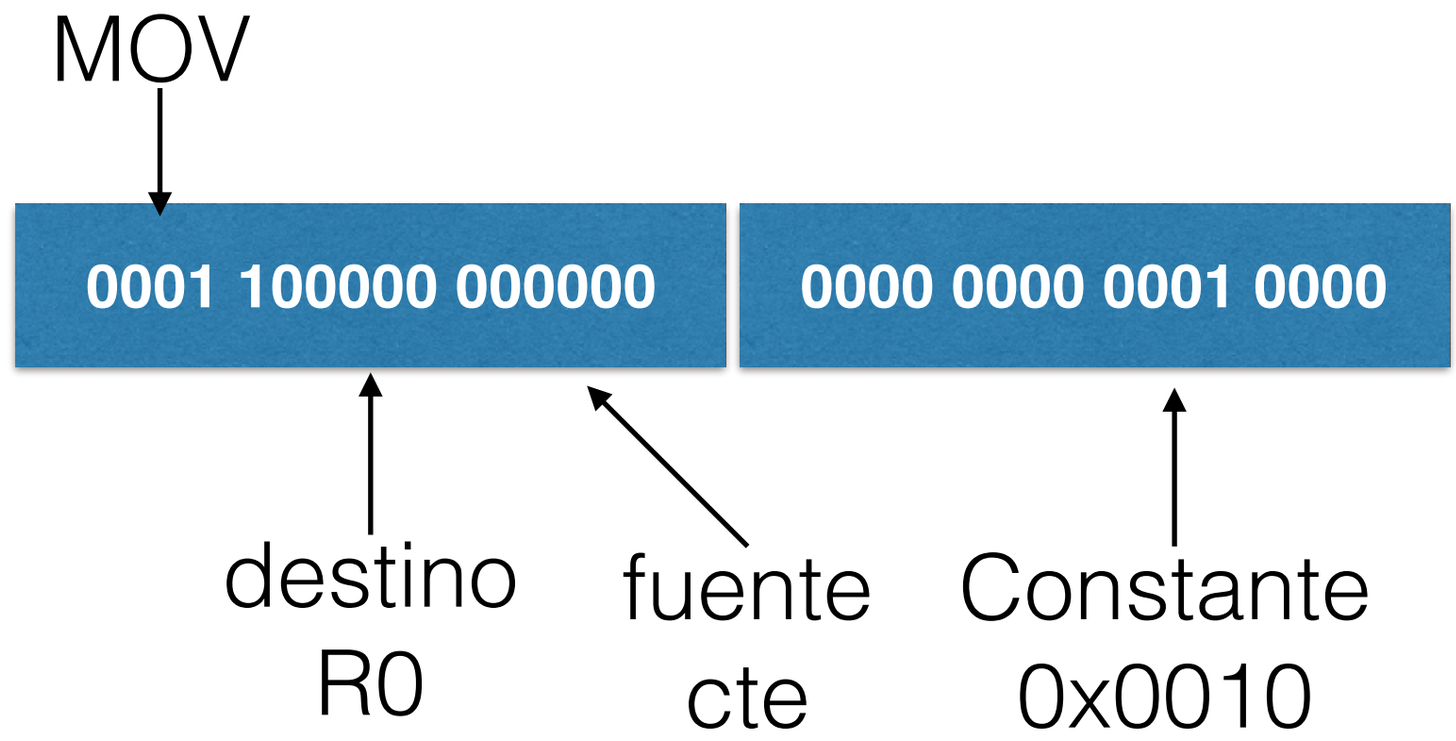
Programa cargado
en memoria

Ensamblador

1. MOV R0, 0x0010
2. MOV R1, 0x0001
3. ADD R0, R1

Ensamblador

1. MOV R0, 0x0010
2. MOV R1, 0x0001
3. ADD R0, R1



Ensamblador

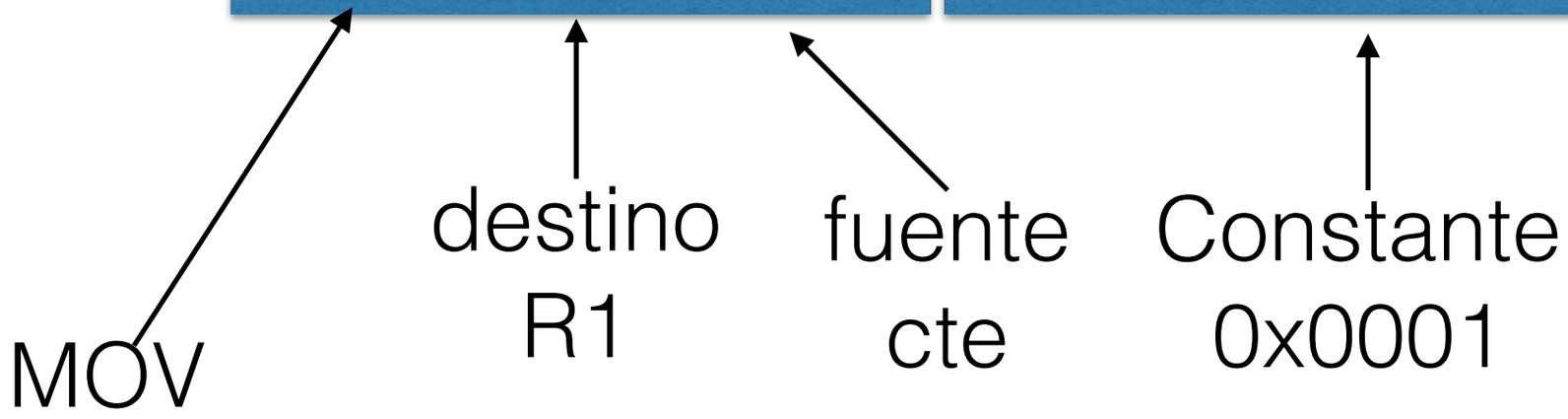
1. MOV R0, 0x0010

0001 100000 000000	0000 0000 0001 0000

2. MOV R1, 0x0001

0001 100001 000000	0000 0000 0000 0001

3. ADD R0, R1



Ensamblador

1. MOV R0, 0x0010

0001 100000 000000	0000 0000 0001 0000

2. MOV R1, 0x0001

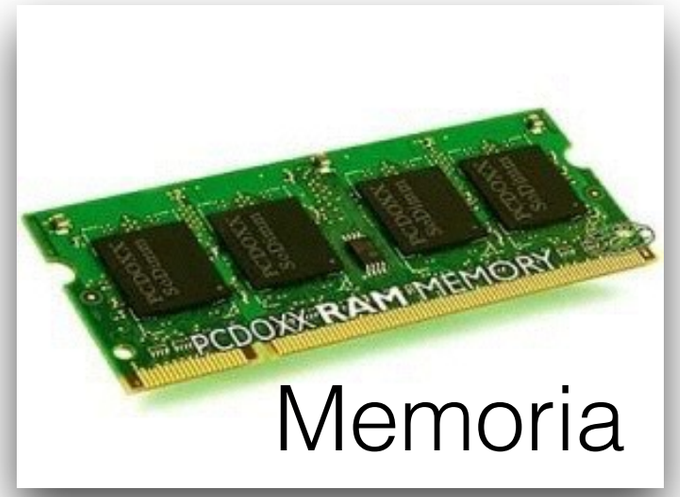
0001 100001 000000	0000 0000 0000 0001

3. ADD R0, R1

0010 100000 100001

Cargador

0001 100000 000000	0000 0000 0001 0000
0001 100001 000000	0000 0000 0000 0001
0010 100000 100001	



Memoria

Dirección de Carga: 0x0010

Cargador

0x000F	…	
0x0010	**0001 100000 000000**	MOV R0, 0x0010
0x0011	**0000 0000 0001 0000**	
0x0012	**0001 100001 000000**	MOV R1, 0x0001
0x0013	**0000 0000 0000 0001**	
0x0014	**0010 100000 100001**	ADD R0, R1
0x0015	…	

Memoria

Etiquetas

Inicio: MOV R0, 0x0010

MOV R1, 0x0001

ADD R0, R1

JMP **Inicio**

Etiquetas

Inicio: MOV R0, 0x0010

MOV R1, 0x0001

ADD R0, R1

JMP **Inicio**

+ Dirección de Carga
del Programa (0x0010)

Etiquetas

0x0010: MOV R0, 0x0010

0x0012: MOV R1, 0x0001

0x0014: ADD R0, R1

0x0015: JMP **Inicio**

+ Dirección de Carga
del Programa (0x0010)

Etiqueta	Valor
Inicio	0x0010

Etiquetas

0x0010: MOV R0, 0x0010

0x0012: MOV R1, 0x0001

0x0014: ADD R0, R1

0x0015: JMP **0x0010**

+ Dirección de Carga
del Programa (0x0010)

Etiqueta	Valor
Inicio	0x0010

Etiquetas

0x0010: MOV R0, 0x0010 | **0001 100000 000000** | **0000 0000 0001 0000**

0x0012: MOV R1, 0x0001 | **0001 100001 000000** | **0000 0000 0000 0001**

0x0014: ADD R0, R1 | **0010 100000 100001**

0x0015: JMP **0x0010**

+ Dirección de Carga
del Programa (0x0010)

Etiquetas

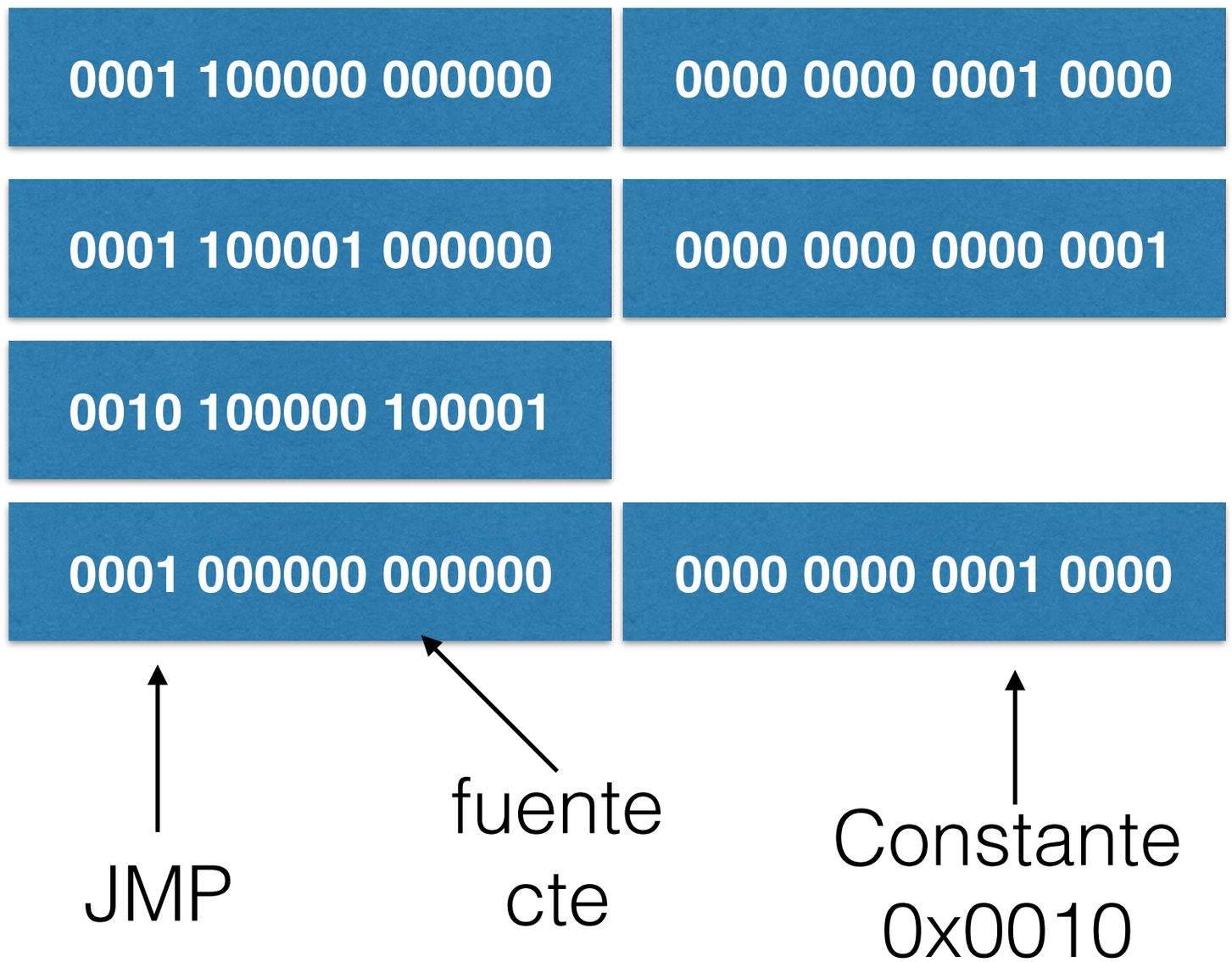
0x0010: MOV R0, 0x0010

0x0012: MOV R1, 0x0001

0x0014: ADD R0, R1

0x0015: JMP **0x0010**

+ Dirección de Carga del Programa (0x0010)



Etiquetas

0x0010:	**0001 100000 000000**
0x0011:	**0000 0000 0001 0000**
0x0012:	**0001 100001 000000**
0x0013:	**0000 0000 0000 0001**
0x0014:	**0010 100000 100001**
0x0015:	**0001 000000 000000**
0x0016:	**0000 0000 0001 0000**

¿Qué pasa si la dirección de carga es 0x0F01?

Etiquetas

0x0010:	**0001 100000 000000**
0x0011:	**0000 0000 0001 0000**
0x0012:	**0001 100001 000000**
0x0013:	**0000 0000 0000 0001**
0x0014:	**0010 100000 100001**
0x0015:	**0001 000000 000000**
0x0016:	**0000 0000 0001 0000**

¿Qué pasa si la dirección de carga es 0x0F01?

Rta: La codificación del Salto Absoluto es distanta

Saltos Relativos

Inicio: MOV R0, 0x0010

MOV R1, 0x0001

ADD R0, R1

JE **Inicio** # Salta si Z=1

+ Dirección de Carga
del Programa (0x0010)

Saltos Relativos

0x0010: MOV R0, 0x0010

0x0012: MOV R1, 0x0001

0x0014: ADD R0, R1

0x0015: JE **Inicio**

+ Dirección de Carga
del Programa (0x0010)

Etiqueta	Valor
Inicio	0x0010

Saltos Relativos

0x0010: MOV R0, 0x0010

0x0012: MOV R1, 0x0001

0x0014: ADD R0, R1

0x0015: JE **Inicio**

+ Dirección de Carga del Programa (0x0010)

¿Cuánto debe valer el PC para que se ejecute esta instrucción?

¿Cuál es el valor del PC luego de ejecutarse esta instrucción?

Saltos Relativos

0x0010: MOV R0, 0x0010

0x0012: MOV R1, 0x0001

0x0014: ADD R0, R1

0x0015: JE **Inicio**

+ Dirección de Carga del Programa (0x0010)

¿Cuánto debe valer el PC para que se ejecute esta instrucción?

Rta: PC=0x0010

¿Cuál es el valor del PC luego de ejecutarse esta instrucción?

Rta: PC=0x0016

Saltos Relativos

0x0010: MOV R0, 0x0010

0x0012: MOV R1, 0x0001

0x0014: ADD R0, R1

0x0015: JE **-6**

+ Dirección de Carga del Programa (0x0010)

¿Cuánto debe valer el PC para que se ejecute esta instrucción?

Rta: PC=0x0010

¿Cuál es el valor del PC luego de ejecutarse esta instrucción?

Rta: PC=0x0016

Saltos Relativos

0x0010: MOV R0, 0x0010 | **0001 100000 000000** | **0000 0000 0001 0000**

0x0012: MOV R1, 0x0001 | **0001 100001 000000** | **0000 0000 0000 0001**

0x0014: ADD R0, R1 | **0010 100000 100001**

0x0015: JE **-6**

+ Dirección de Carga
del Programa (0x0010)

Saltos Relativos

0x0010: MOV R0, 0x0010 | **0001 100000 000000** | **0000 0000 0001 0000**

0x0012: MOV R1, 0x0001 | **0001 100001 000000** | **0000 0000 0000 0001**

0x0014: ADD R0, R1 | **0010 100000 100001**

0x0015: JE **-6** | **11110001 xxxxxx**

+ Dirección de Carga del Programa (0x0010)

JE

desplazamiento -6 (complemento a 2 de 6bits)

Saltos Relativos

0x0010: MOV R0, 0x0010 | **0001 100000 000000** | **0000 0000 0001 0000**

0x0012: MOV R1, 0x0001 | **0001 100001 000000** | **0000 0000 0000 0001**

0x0014: ADD R0, R1 | **0010 100000 100001**

0x0015: JE **-6** | **11110001 111010**

+ Dirección de Carga del Programa (0x0010)

JE

desplazamiento -6 (complemento a 2 de 6bits)

Saltos

- Saltos **Absolutos**: Utilizan la dirección final del programa
    - El ensamblado (codificación) del programa es distinta de acuerdo a la dirección de carga.
        - Ejemplo: Saltar a la dirección 0xFF01
- Saltos **Relativos**: Utilizan un desplazamiento
    - El ensamblado (codificación) del programa es independiente de la dirección de carga
    - Ejemplos: Saltar 6 posiciones atrás, Saltar 15 posiciones hacia adelante, etc.

Ensamblador - Datos

- Para definir datos utilizamos el keyword “DW”(Define Word)

- DW no es una instrucción

- DW es una **directiva** al ensamblador

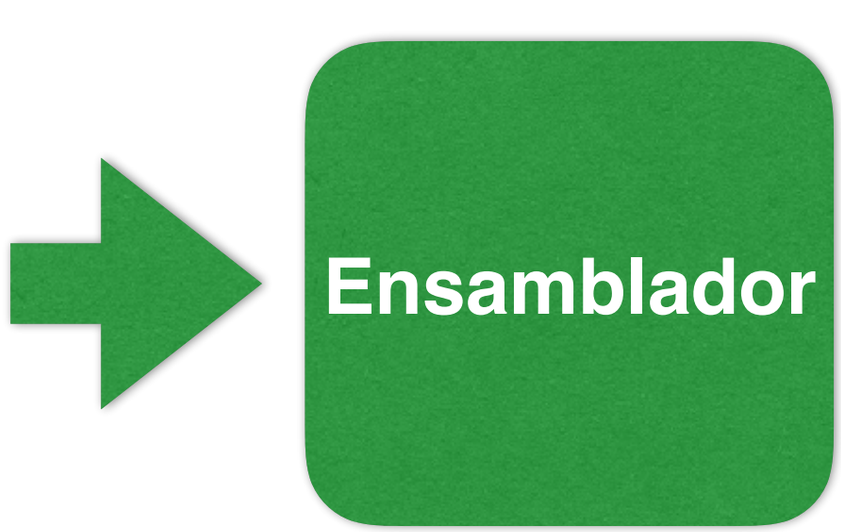
Ensamblador - Datos

V1: DW 0x001F

V2: DW 0x0FF0

ADD R0, [V1]

ADD R0, [V2]



+ Dirección de Carga del Programa (0x0010)

Ensamblador - Datos

V1: DW 0x001F

V2: DW 0x0FF0

ADD R0, [V1]

ADD R0, [V2]

+ Dirección de Carga
del Programa (0x0010)

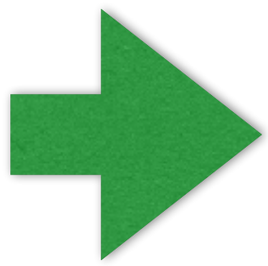
Ensamblador - Datos

0x0010: DW 0x001F

0x0011: DW 0x0FF0

0x0012: ADD R0, [V1]

0x0014: ADD R0, [V2]



Etiqueta	Valor
V1	0x0010
V2	0x0011

+ Dirección de Carga del Programa (0x0010)

Ensamblador - Datos

0x0010: DW 0x001F

0x0011: DW 0x0FF0

0x0012: ADD R0, [0x0010]

0x0014: ADD R0, [0x0011]

+ Dirección de Carga
del Programa (0x0010)

Ensamblador - Datos

0x0010: DW 0x001F

0x0011: DW 0x0FF0

0x0012: ADD R0, [0x0010]

0x0014: ADD R0, [0x0011]

+ Dirección de Carga
del Programa (0x0010)

0000 0000 0001 1111 Dato 0x001F

0000 1111 1111 0000 Dato 0x0FF0

Ensamblador - Datos

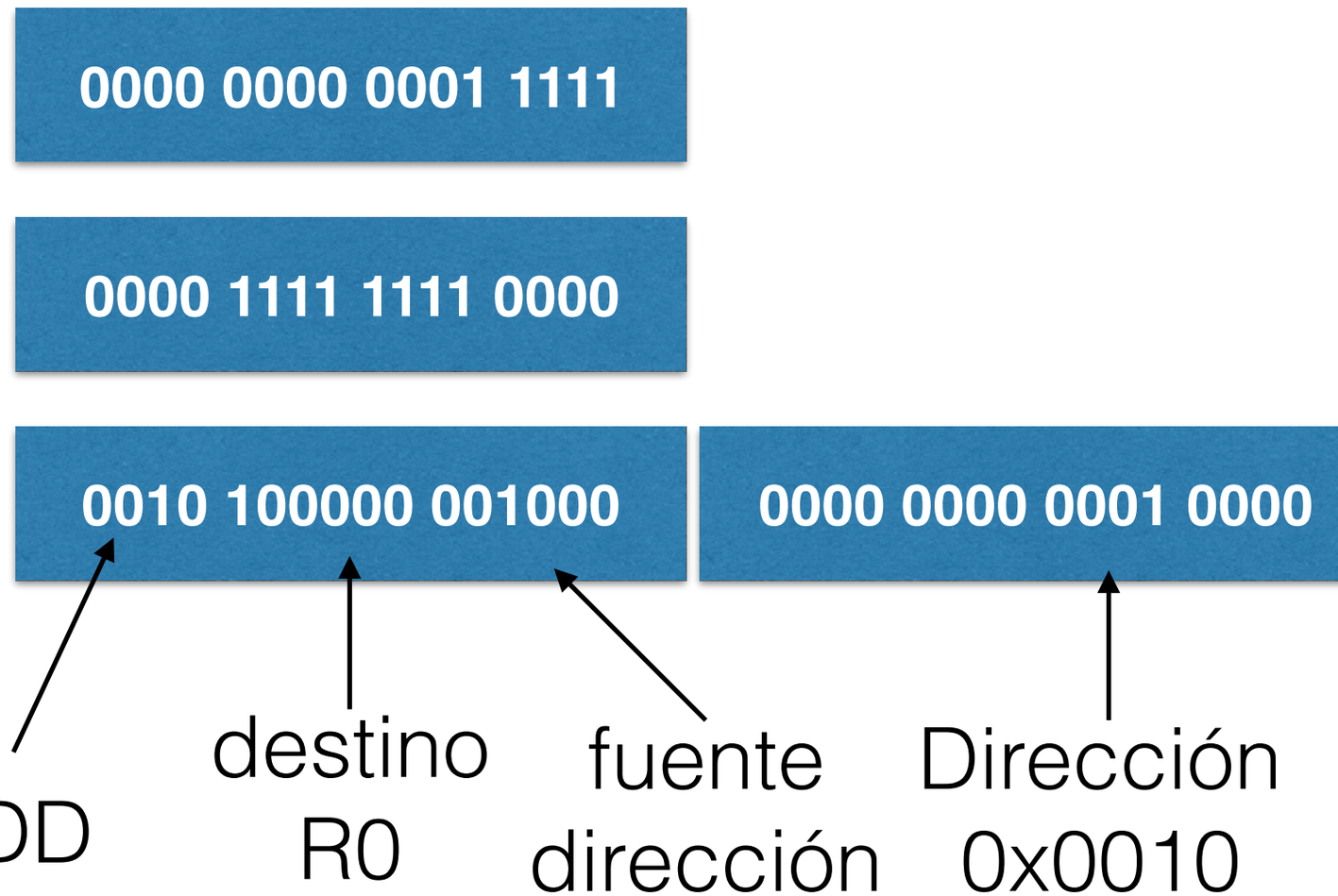
0x0010: DW 0x001F

0x0011: DW 0x0FF0

0x0012: ADD R0, [0x0010]

0x0014: ADD R0, [0x0011]

+ Dirección de Carga del Programa (0x0010)



Ensamblador - Datos

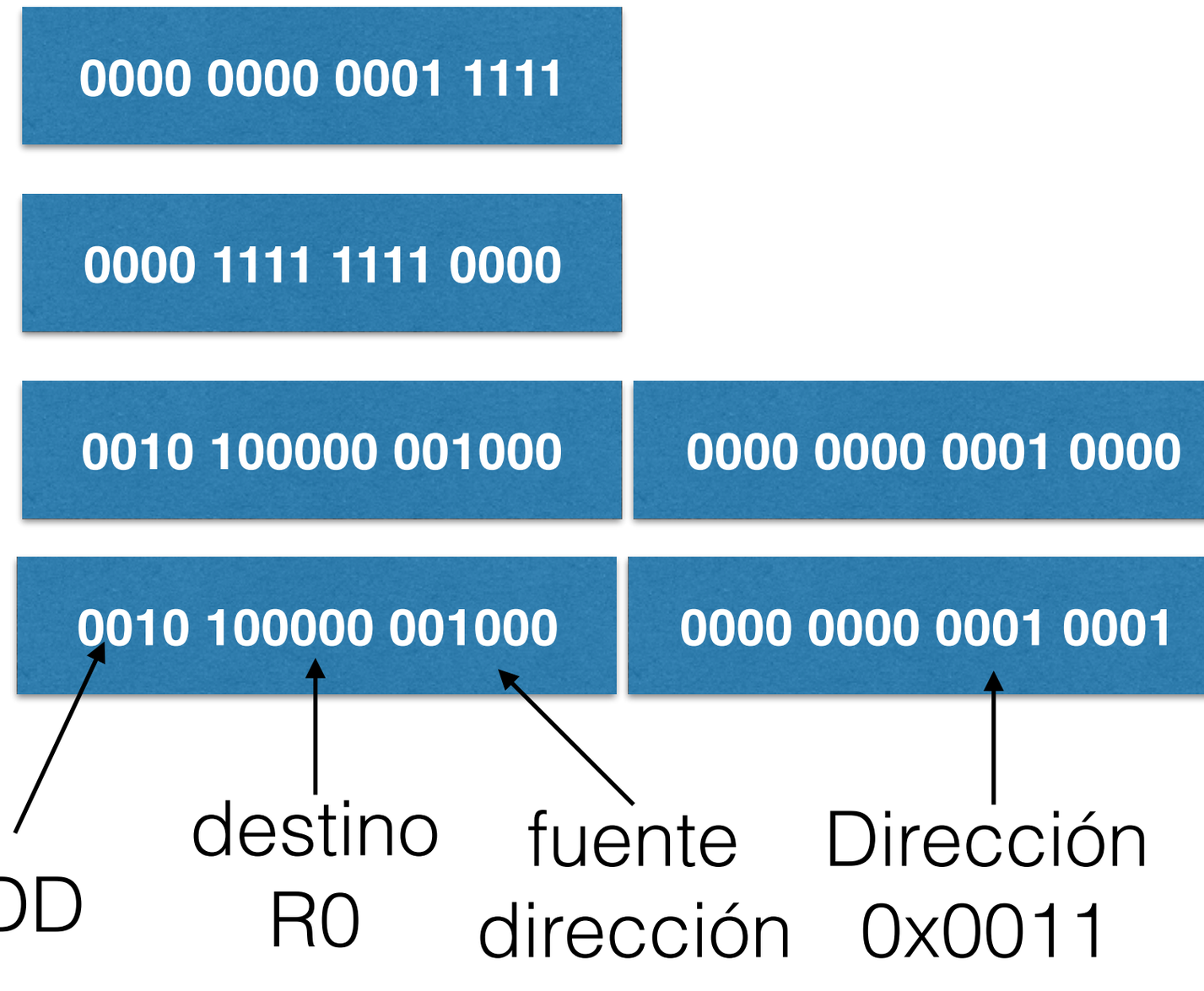
0x0010: DW 0x001F

0x0011: DW 0x0FF0

0x0012: ADD R0, [0x0010]

0x0014: ADD R0, [0x0011]

+ Dirección de Carga del Programa (0x0010)



Programa en Memoria

0x0010:	**0000 0000 0001 1111**
0x0011:	**0000 1111 1111 0000**
0x0012:	**0010 100000 001000**
0x0013:	**0000 0000 0001 0000**
0x0014:	**0010 100000 001000**
0x0015:	**0000 0000 0001 0001**

Resumen

- **Lenguaje** Ensamblador:
  - Forma más cómoda de escribir programas para una computadora
- **Programa** Ensamblador:
  - Transforma un programa ensamblador en su codificación en ceros y unos
  - Resuelve etiquetas
  - Posee “directivas” (ejemplo: para indicar datos)

Resumen

- Arquitectura Von Neuman
- Ciclo de Instrucción
- Máquina MARIE
- Máquina ORGA1
- Lenguaje Ensamblador ORGA1
- **Lenguaje** Ensamblador vs. **Programa** Ensamblador

Bibliografía

- Capítulo 5 – Tanenbaum
- Capitulo 4 y 5 – Null
- Capitulo 10 – Stallings