

# Estructura de Computadores

## Indice

Tema 1: [Introducción a la Asignatura Estructura de Computadores.](#)

Tema 2: [Arquitectura de Von Neumann.](#)

Tema 3: Representación Digital de la Información: [Los Datos: ASCII , N° Naturales, N° Enteros](#)

Tema 4: Operaciones Aritméticas y Lógicas: [Nº Naturales, Nº Enteros, Operaciones Lógicas](#)

Tema 5: Representación Digital de la Información: [las Instrucciones.](#)

Tema 6: Programación en Lenguaje Ensamblador (x86): [Construcciones básicas de los lenguajes de alto nivel.](#)

Ejercicios Teoría: [Ejercicios Propuestos Temas 1-6](#)

Programas ASM Propuestos: [Al finalizar el 1º Parcial](#)

Tema 3: [Representación de los Datos: Números Reales](#)

Tema 7: [Unidad Central de Proceso.](#)

Tema 8: [Mecanismos de Entrada/Salida](#)

Tema 9: [Unidad de Memoria.](#)

## Tema 1 : Introducción a la Asignatura Estructura de Computadores.

### Indice.

- Profesorado
- Organización Académica
  - Programa
  - Prácticas
  - Ejercicios
  - Evaluación
  - Metodología

## Profesorado

- Profesor Cándido Aramburu Mayoz.
  - Doctor Ingeniero Telecomunicación (UPNA-Universidad Politécnica de Madrid)
  - Empresa Ikusi S.A. (Sistemas de Telemedida 1989)
  - Profesor Titular UPNA (Dpto Ingeniería Electrónica y Comunicaciones 2000)
- Profesor Teoría: Carlos Juan de Dios
- Profesor Prácticas: Andrés Garde
  - <https://www.etsit.upm.es/>
  - <https://www.velatia.com/es/empresas-que-forman-velatia/ikusi/>
  - <https://www.unavarra.es/eu/sites/Portada/home.html>

## Organización Académica

# Aulas y Horarios

- Aulas
  - Teoría: G91 → A019, G1 → A113, G2 → A122
  - Prácticas: P91 → A015, P1 → A305, P2 → E-ISM, P3 → E-ISM
  - E-ISM : Edificio “Las Encinas” , lado derecho entre la Biblioteca y el Rectorado) en el Sótano, Laboratorio de Informática “ISM”
- Horario
  - Teoría: G91(L-15:00), G1(X-17:00), G2(L-17:00)
  - Prácticas: P91(X-19:00), P1(J-17:00), P2(M-19:00), P3(M-17:00)

# Tutorías

- Despacho: Edificio Los Tejos 2 Planta: Despacho 2028 (Prof. Candido Aramburu)
- Miaulario → correo interno
- [Tutorías](https://www.unavarra.es/pdi?uid=364&dato=tutorias) [<https://www.unavarra.es/pdi?uid=364&dato=tutorias>]
  - Lunes (10-13) y Miércoles (10-13)

# Programa de la Asignatura

- [Ficha Web Upna](https://www.unavarra.es/ficha-asignaturaDOA?languageld=100000&codPlan=240&codAsig=240306&anio=2023) [<https://www.unavarra.es/ficha-asignaturaDOA?languageld=100000&codPlan=240&codAsig=240306&anio=2023>]
  - Programa en 3 partes
    - i. **C**
    - ii. **C**
    - iii. Otros:

# Bibliografía

- Fundamentos de Electrónica Digital. Cecilio Blanco

# Metodología

- Trabajo en clase: principalmente Ejercicios con su teoría asociada

# Prácticas

- Tipo de prácticas:

# Ejercicios

- x

# Evaluación

- Sistema de Evaluación:

- 35% teoría , 35% prácticas, 15% programación en papel, 15% otros

# Tema 2 : Arquitectura de Von Neumann

## Indice

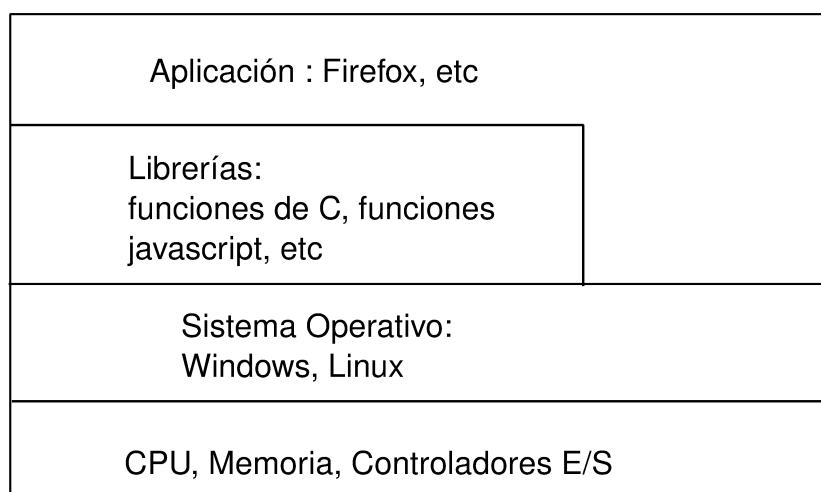
- P
- O

## Qué conocemos de una computadora

- CPU? 3GHz? RAM? Memoria? 12GB? Disco Duro? Tarjeta gráfica? Pantalla? Ethernet? Placa base?
- Hardware, Software, Firmware? BIOS? Windows? Linux?
- Cuál es su arquitectura? Qué se entiende por arquitectura?

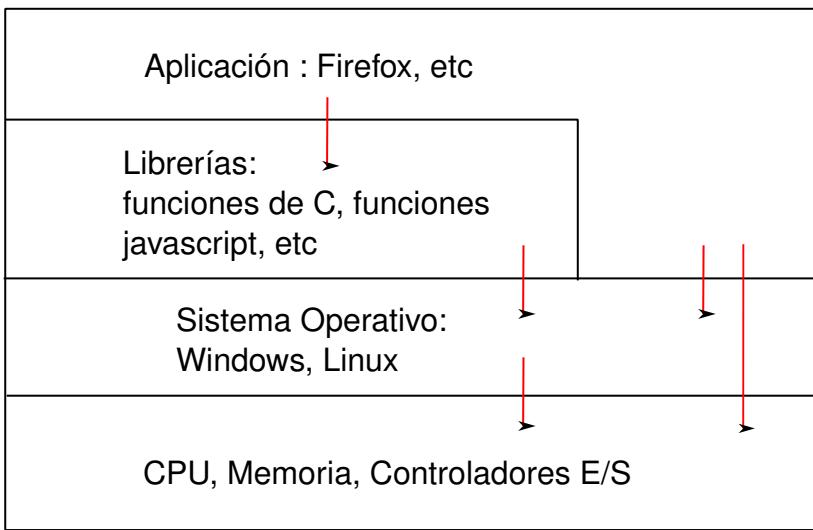
## Organización de una computadora: niveles

- Los elementos básicos de una computadora desde el punto de vista del programador se pueden organizar por NIVELES:
  - del nivel más bajo y cercano a la máquina al nivel más alto y cercano al programador.



## Organización de una computadora: llamadas

- Cada nivel llama a un nivel inferior



## Organización de un automóvil: concepto de Abstracción

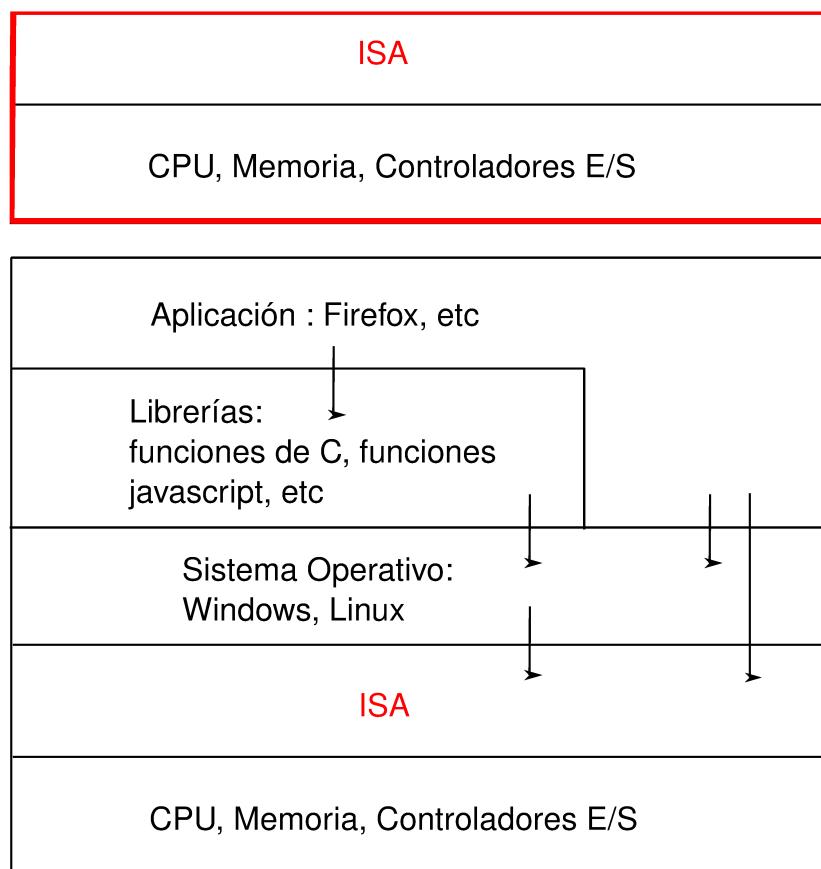
- Un símil sería la relación entre un conductor y el coche. El coche físico (motor,ventilador,ejes,inyector,válvulas,caja de cambios,etc...) se **ABSTRAE** y para el conductor un coche son unos pedales, una palanca de cambios y un volante. La Arquitectura del coche también se podría describir por niveles, del nivel más bajo al nivel más alto, al más abstracto.
- El conductor conduce (programa) una máquina ABSTRACTA: acelera,frena,cambia y gira. No tiene por qué saber que la máquina real, la física, lleva aceite, ni siquiera tiene que saber que son necesarias unas ruedas.
- Gracias a la abstracción las máquinas se acercan en su uso a los humanos.
- Es necesario saber el **QUE** hace una máquina y no el **COMO** lo hace.

## Organización de una computadora: ISA

- El Hardware de la computadora tiene como función interpretar y ejecutar un conjunto de instrucciones con el objeto de procesar datos para obtener algún tipo de resultado.
  - lenguaje de la máquina : lenguaje binario
  - las instrucciones y los datos de la máquina están en lenguaje binario: 0,1
  - instrucciones máquina: P.ej sumar dos datos (números enteros) →
    - instrucción suma de 2 más 5 en código máquina: 0101010001000010101010101
    - misma instrucción máquina pero en lenguaje ensamblador (texto): add 2,5
    - La CPU mediante sus circuitos electrónicos digitales realiza la suma binaria de los dos datos binarios
- **I.S.A** : Instruction Set Architecture
  - Arquitectura del Conjunto de Instrucciones máquina de una computadora
  - Conjunto: sumar, restar, mover un dato, saltar a una instrucción de memoria
  - Arquitectura:
    - instrucciones: qué operaciones? ¿cuál es el tamaño de una instrucción? ¿cuantos operandos tiene? ¿cuál es su código binario? ¿cómo se hace referencia a un operando?
    - datos: tipo de datos: enteros? reales? su tamaño? su codificación?

## Organización de una computadora: ISA

- El Hardware de la computadora tiene como nivel superior las instrucciones máquina que es capaz de ejecutar y los datos máquina que es capaz de ejecutar



## Organización de una computadora: ISA

- Un programador de bajo nivel , pej los creadores de sistemas operativos, de compiladores, etc..., necesitan conocer la ISA de la máquina.
- La programación de un sistema operativo como Windows y Linux, en los lenguajes C y el lenguaje ensamblador, requiere conocer la arquitectura ISA.
- Los manuales ISA de un microprocesador tienen toda la información que necesita el programador, por lo tanto el programador de bajo nivel no necesita conocer todo el hardware interno de la CPU, de la memoria y de los controladores de entrada salida, sino únicamente la información disponible en el manual ISA.
- Para el programador la máquina es la ISA, el programador ve una máquina ABSTRACTA, ve la FUNCION de la máquina, QUÉ hace la máquina...y no COMO lo hace.
- En el laboratorio programaremos en lenguaje del nivel más bajo, es decir, en el lenguaje de la máquina pero no en binario sino en modo texto mediante el lenguaje ensamblador. Las operaciones de las instrucciones de la máquina en lenguaje ensamblador se expresan mediante mnemónicos como ADD, SUB, LOAD, MOV ... que son reducciones de palabras inglesas.
- Buscar en google los manuales isa de intel x86 de 64 bits que son ejecutados por los microprocesadores de intel: core i3, core i5, core i7, etc...

## Una máquina abstracta y muchas reales: compatibilidad

- De la misma forma que cuan do aprendemos a conducir (pedales+cambio+volante) nos sirve para cualquier coche, la **arquitectura del conjunto de instrucciones** es la misma para múltiples

procesadores.

- La ISA amd64 ó x86-64 es la misma para todos los procesadores de Intel (core,xeon,etc...) o de AMD (Ryzen, etc). De esta forma un programa binario que se ejecute en un core-i7 también lo puede hacer en un Ryzen 9.HON

## Programa en lenguaje texto: suma de los 5 primeros números enteros

- Algoritmo  $\sum_{i=1}^5 i$
- Lenguaje de texto Python

```
sum(range(5,0,-1))
```

## Programa en lenguaje texto: suma de los 5 primeros números enteros

```
/*
Programa: sum1toN.c
Descripción:
    1+2+3+4+...+N
*/
#include <stdlib.h>
int main ()
{
    short N=5,y;
    while(N>=0)
        y+=N--;
    exit(y);
}
```

```
/* Programa Fuente: sum1toN.java
compilación: javac sum1toN.java -> sum1toN.class
ejecución -> java -cp . sum1toN
*/
public class sum1toN {
// método main encapsulado en la clase class
    public static void main(String[] args) {
        System.out.println("Suma de Números enteros");
        int x=5, suma=0;
        while (x >= 0 ) {
            System.out.print( x );
            System.out.print(",");
            suma=suma+x;
            x--;
        }
    }
}
```

```

        System.out.print("\n");
        System.out.print("suma="+suma);
        System.out.print("\n");
    }
}

```

## Módulo binario: en código binario

```

gcc -o sum1toN sum1toN.c
-> genera el módulo ejecutable sum1toN para la arquitectura x86-64 +
ls -l sum1toN -> 16696 bytes
file sum1toN
sum1toN: ELF 64-bit LSB shared object, x86-64, version 1 (SYSV),
dynamically linked, interpreter /lib64/ld-linux-x86-64.so.2,
BuildID[sha1]=8df3de7b9ba05ceb7861b39d703c8ef11161284a, for GNU/Linux 3.2.0,
not stripped

```

```

gcc -m32 sum1toM sum1toN.c
-> genera el módulo ejecutable sum1toN para la arquitectura x86-32
hexdump sum1toN
00000000 457f 464c 0102 0001 0000 0000 0000 0000
00000010 0003 003e 0001 0000 1060 0000 0000 0000
00000020 0040 0000 0000 0000 3978 0000 0000 0000
00000030 0000 0000 0040 0038

```

programa ejecutable en código **hexadecimal**, más compacto que el binario

1<sup>a</sup> columna: direcciones, apuntan o hacen referencia a un byte

2<sup>a</sup> columna:

--- 4 dígitos hexadecimales del contenido. Si cada dígito hexadecimal equivale a 4 bits, dos dígitos hex equivalen a 1 byte.

--- 457f: 2 bytes de código ejecutable

--- No podemos interpretar el código binario, pero el procesador x86-64 sí.

## Interpretación del código binario (del programa sum1toN)

- Desensamblador: convierte el código binario en código texto ENSAMBLADOR
- objdump -d sum1toN

Disassembly of section .text:

```

0000000000001060 <_start>:
1060: f3 0f 1e fa          endbr64
1064: 31 ed                xor    %ebp,%ebp
1066: 49 89 d1              mov    %rdx,%r9
1069: 5e                   pop    %rsi
106a: 48 89 e2              mov    %rsp,%rdx

```

```

106d: 48 83 e4 f0        and    $0xfffffffffffffff0,%rsp
1071: 50                  push   %rax
1072: 54                  push   %rsp
1073: 4c 8d 05 86 01 00 00 lea    0x186(%rip),%r8
107a: 48 8d 0d 0f 01 00 00 lea    0x10f(%rip),%rcx
1081: 48 8d 3d c1 00 00 00 lea    0xc1(%rip),%rdi
1088: ff 15 52 2f 00 00    callq *0x2f52(%rip)
108e: f4                  hlt
108f: 90                  nop

```

.....

0000000000001149 <main>:

```

1149: f3 0f 1e fa        endbr64
114d: 55                  push   %rbp
114e: 48 89 e5            mov    %rsp,%rbp
1151: 48 83 ec 10        sub    $0x10,%rsp
1155: 66 c7 45 fc 05 00  movw   $0x5,-0x4(%rbp)
115b: eb 19                jmp   1176 <main+0x2d>
115d: 0f b7 45 fc        movzwl -0x4(%rbp),%eax
1161: 89 c2                mov    %eax,%edx
1163: 83 ea 01            sub    $0x1,%edx
1166: 66 89 55 fc        mov    %dx,-0x4(%rbp)
116a: 89 c2                mov    %eax,%edx
116c: 0f b7 45 fe        movzwl -0x2(%rbp),%eax
1170: 01 d0                add    %edx,%eax
1172: 66 89 45 fe        mov    %ax,-0x2(%rbp)
1176: 66 83 7d fc 00    cmpw   $0x0,-0x4(%rbp)
117b: 79 e0                jns   115d <main+0x14>
117d: 0f bf 45 fe        movswl -0x2(%rbp),%eax
1181: 89 c7                mov    %eax,%edi
1183: e8 c8 fe ff ff    callq  1050 <exit@plt>
1188: 0f 1f 84 00 00 00 00 nopl   0x0(%rax,%rax,1)
118f: 00

```

1<sup>a</sup> columna: dirección de referencia a la instrucción

2<sup>a</sup> columna: código máquina en hexadecimal

3<sup>a</sup> columna: código de operación de la instrucción en **lenguaje ensamblador**

4<sup>a</sup> columna: operandos de la instrucción en **lenguaje ensamblador**.

## Lenguaje Ensamblador

- Es el lenguaje máquina traducido del binario a TEXTO para poder programar módulos fuente los programadores
- El formato de la instrucción ensamblador se compone principalmente de 2 campos:
  - campo del código de operación mediante MNEMONICOS como push(insertar),mov(mover),add(sumar),jmp(saltar),jne(saltar si not equal), etv

- campo de los operandos de la operación: son referencias a memoria donde está el operando ó se pone el propio operando

## Institute Advanced Machine (IAS)

- [John von Neumann](https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_de_von_Neumann) [https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina\_de\_von\_Neumann]

  - Matemático húngaro 1903
  - Proyecto Manhattan → Bomba atómica
  - Concepto de Arquitectura von Neumann de un Computador

- [Arquitectura de von Neumann](https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_de_Von_Neumann) [https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura\_de\_Von\_Neumann]

  - [máquina ENIAC](https://es.wikipedia.org/wiki/ENIAC) [https://es.wikipedia.org/wiki/ENIAC]: programa cableado
  - [máquina EDVAC](https://es.wikipedia.org/wiki/EDVAC) [https://es.wikipedia.org/wiki/EDVAC]: programa almacenado → \*unidad de memoria
    - arquitectura von neumann: unidad de procesamiento + unidad de memoria + unidad de entrada salida
    - [youtube EDVAC](https://www.youtube.com/watch?v=jhlSElbxO0E) [https://www.youtube.com/watch?v=jhlSElbxO0E]

## Repertorio de la máquina IAS: tabla

*Table 1. Instruction Set I*

Instruction name	Instruction name	Op Code	Description	Register Transfer Language (RTL)
S(x)→A	LOAD M(X) C+	1	copy the number in Selectron location x into AC	AC ← M[x]
S(x)→A	LOAD -M(X) C-	2	same as #1 but copy the negative of the number	AC ← ~M[x]+1
S(x)→A	LOAD  M(X)  cM	3	same as #1 but copy the absolute value	AC ←  M[x]
S(x)→A	LOAD - M(X)  c-M	4	same as #1 but subtract the absolute value	AC ← AC- M[x]
S(x)→A	ADD M(X) h+	5	add the number in Selectron location x into AC	
S(x)→A	SUB M(X) h-	6	subtract the number in Selectron location x from AC	
S(X)→	ADD  M(X)  AhM	7	same as #5, but add the absolute value	
S(X)→	SUB  M(X)  Ah-M	8	same as #7, but subtract the absolute value	

## Repertorio de la máquina IAS: tabla

*Table 2. Instruction Set II*

Instruction name	Instruction name	Op Code	Description	Register Transfer Language (RTL)
S(x)→R	LOAD MQ,M(X)	9	copy the number in Selectron location x into AR	
R→A	LOAD MQ	A	copy the number in AR to AC	
S(x)*R→A	MUL M(X)	B	Multiply the number in Selectron location x by the number in AR. Place the left half of the result in AC and the right half in AR.	
A/S(x)→R	DIV M(X)	C	Divide the number in AC by the number in Selectron location x. Place the quotient in AR and the remainder in AC.	
Cu→S(x)	JUMP M(X,0:19)	D	Continue execution at the left-hand instruction of the pair at Selectron location x	
Cu`→S(x)	JUMP M(X,20:39)	E	Continue execution at the right-hand instruction of the pair at Selectron location x	
Cc→S(x)	JUMP+ M(X,0:19)	F	If the number in AC is >= 0, continue as in #D. Otherwise, continue normally.	
Cc`→S(x)	JUMP+ M(X,20:39)	10	If the number in AC is >= 0, continue as in #E. Otherwise, continue normally.	

## Repertorio de la máquina IAS: tabla

Table 3. Instruction Set III

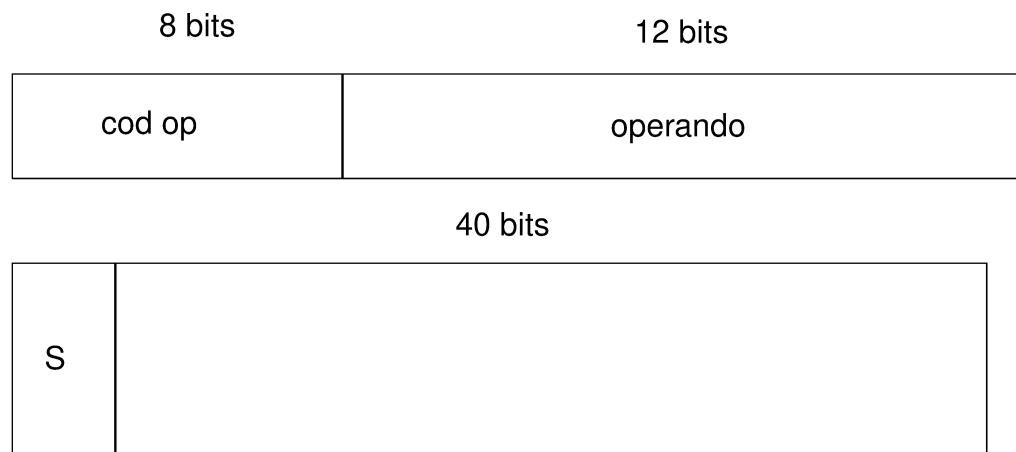
Instruction name	Instruction name	Op Code	Description	Register Transfer Language (RTL)
At→S(x)	STOR M(X)	11	Copy the number in AC to Selectron location x	
Ap→S(x)		12	Replace the right-hand 12 bits of the left-hand instruction at Selectron location x by the right-hand 12 bits of the AC	
Ap`→S(x)		13	Same as #12 but modifies the right-hand instruction	
L	LSH	14	Shift the number in AC to the left 1 bit (new bit on the right is 0)	
R	RSH	15	Shift the number in AC to the right 1 bit (leftmost bit is copied)	
halt		0	Halt the program (see paragraph 6.8.5 of the IAS r)	

## Repertorio de la máquina IAS: explicación

- En la versión original no había código ensamblador, se programaba directamente en lenguaje máquina.
  - La 1<sup>a</sup> columna: MNEMÓNICOS del lenguaje ensamblador del simulador académico IASSIM

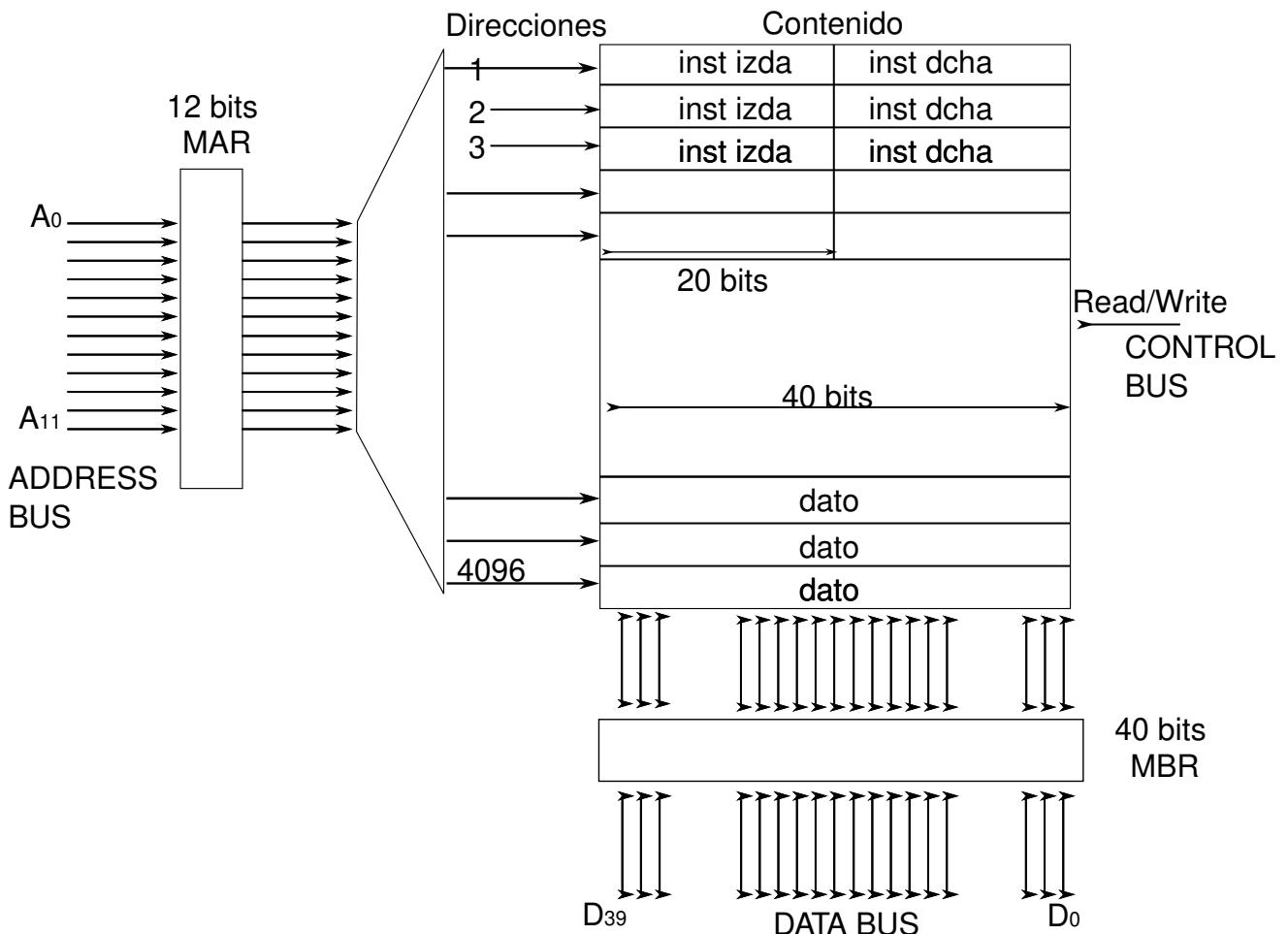
- En la 2<sup>a</sup> columna, los **MNEMONICOS** (LOAD,ADD,SUB,etc) de las operaciones de las instrucciones se corresponden con los diseñados por el libro de texto de William Stalling.
- La 3<sup>a</sup> columna describe la instrucción mediante el lenguaje de texto convencional
- La última columna describe la instrucción mediante un lenguaje de transferencia entre registros RTL

## IAS de la máquina ISA



- Formato de datos
  - longitud de 40 bits
  - números enteros con signo: código complemento a 2
- Instrucciones: Sólo tiene 16 instrucciones por lo que el procesador es muy sencillo.
- Formato de las instrucciones
  - Tamaño fijo de 20 bit
  - la instrucción esta organizada en 2 campos: el campo de operaciones y el campo de operando
  - campo de operación: longitud de 8 bits → operaciones del tipo sumar,mover,saltar
  - campo de operando: longitud de 12 bits

## Memoria de la máquina IAS



La memoria almacena el programa que ha de ejecutar la CPU

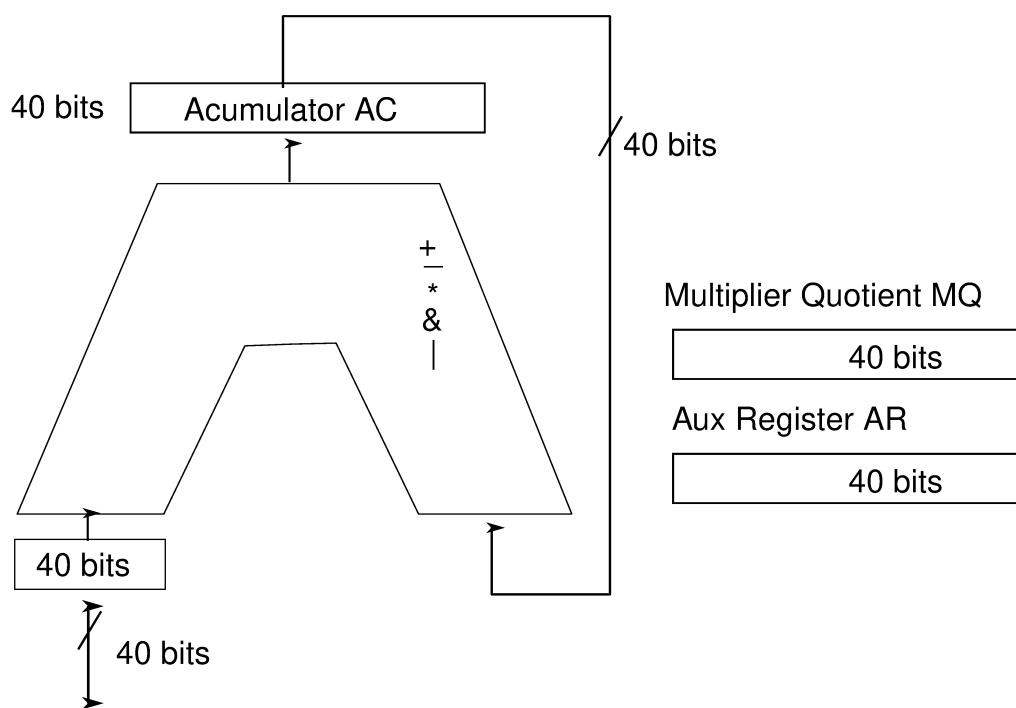
El programa se encuentra codificado en lenguaje binario

El programa es una secuencia de instrucciones y datos

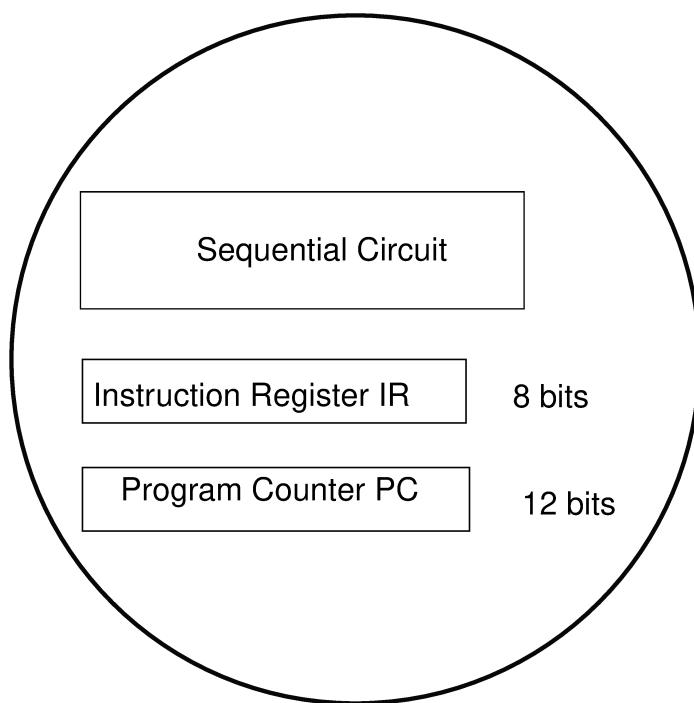
Los puertos de la memoria son MAR y MBR

La dirección de memoria en código binario es la entrada del circuito decodificador que activa una de sus salidas

## ALU de la máquina IAS



## Unidad de Control de la máquina IAS



La unidad de control es el circuito digital microelectrónico que lleva a efecto el ciclo de instrucción de cada instrucción ciclo de instrucción: cada instrucción pasa por 3 fases

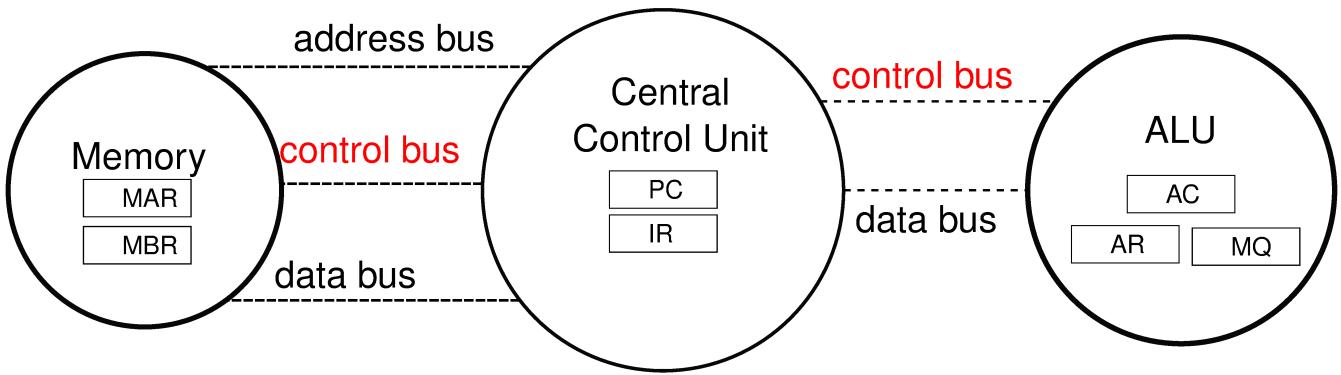
- captura de la instrucción por la unidad de control
- intepretación de la instrucción por la unidad de control
- ejecución de la instrucción por la unidad de control

circuito secuenciador: electrónica para la secuencia de fases del ciclo de instrucción

IR: almacena la instrucción a interpretar

PC: apunta a la siguiente instrucción que tiene que comenzar su ciclo de instrucción

## Unidad de Control de la máquina IAS



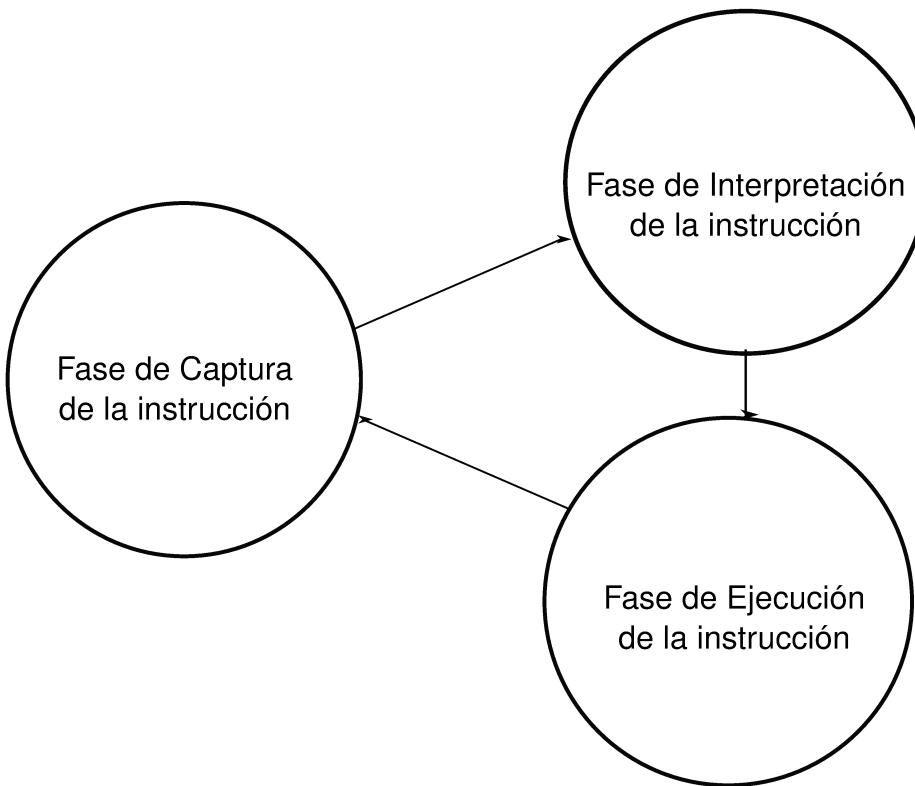
bus de datos: 40 hilos

bus de direcciones: 12 hilos

bus de control (memoria): micro-órdenes de lectura y escritura

bus de control (ALU): micro-órdenes de operaciones de suma, resta, and, or, etc..

## Ciclo de instrucción



- Ejecución de un programa en la máquina IAS de von Neumann
  - Las instrucciones se ejecutan una detrás de otra, secuencialmente
  - Todas las instrucciones pasan por las distintas fases del ciclo de instrucción.

## Ciclo de instrucción: Animación

- Programa en lenguaje máquina
- 3 instrucciones
- Ruta de datos: transferencia de instrucciones y de datos a través de los registros y los buses
- Buses externos al procesador: buses de conexión entre el chip procesador y la tarjeta de memoria → buses de direcciones, datos y lectura/escritura
- Buses internos al procesador: microbuses entre registros, ALU y unidad de control

- Se va a visualizar la transferencia de información entre registros a través de la ruta de datos de la computadora
- [Animación del ciclo instrucción](https://www.youtube.com/watch?v=04UGopESS6A) [https://www.youtube.com/watch?v=04UGopESS6A]

## Tema 3 : Representación Digital de la Información: los DATOS

### Indice

- Información: números, caracteres, imagen, sonido, etc ..
- Prefijos
- Digitalización de las señales
- Números
  - Sistemas posicionales: base 10 (decimales), base 2 (binaria), base 16 (hexadecimal)
  - Naturales: bases 10,2,8,16 . Conversión entre bases
  - Enteros: Signo Magnitud, Complemento a la base
  - Operaciones aritméticas: Suma,Resta
  - Operaciones lógicas: not, and, or, xor, desplazamiento de bits.
- Caracteres
  - Alfanuméricicos y Signos de Puntuación
  - ASCII standard y extendido

## Representación Científica y Prefijos de las Unidades

*Table 4. Prefijos*

Prefijos	Tera	Giga	Mega	Kilo	mili	micro	nano	pico
Base 10 → magnitudes:m,gr,Hz, ..	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$
Base 2 → magnitudes: Byte	$2^{40}$	$2^{30}$	$2^{20}$	$2^{10}$	—	—	—	—

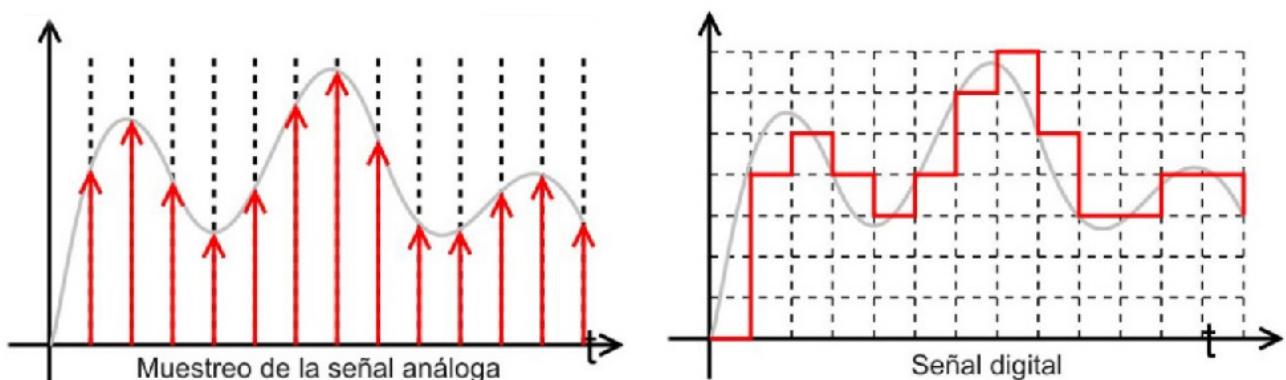
- Ejemplo: representar la magnitud=1000000000Hz debidamente
  - Notación científica →  $10^9$ Hz
  - Debidamente: Notación científica con prefijos f=1GHz → T=1/f= $10^{-9}$ seg= 1ns
- Ejemplo: capacidad de la memoria en Bytes
  - 1KB → 1 Kilo-Byte →  $2^{10}$  Bytes → 1024 Bytes
  - 16KB → 16 Kilo-Bytes →  $2^4$  \*  $2^{10}$  Bytes →  $2^{14}$  Bytes → 4096 Bytes
  - 1MB → 1 Mega-Byte →  $2^{20}$  Bytes → 1048576 Bytes

## Señales: Conversión Analógica Digital

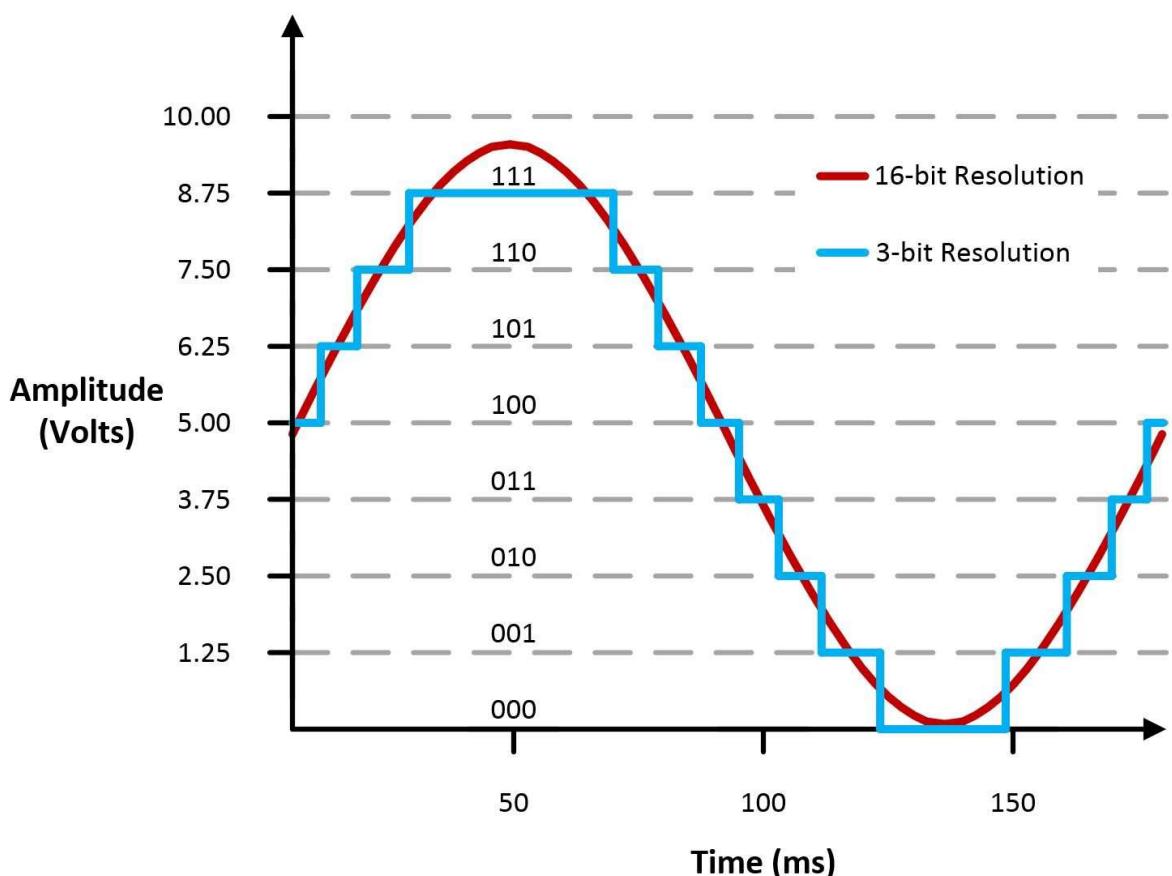
# Analogica vs Digital

- Señal Continua
  - Amplitud:  $\infty$  valores posibles en el rango
  - Tiempo:  $\infty$  valores posibles en el rango
- Señal Discreta ó Digital
  - Amplitud: finitos valores posibles en el rango
  - Tiempo: finitos valores posibles en el rango

## Señales : Muestreo y Cuantificación



## Codificación

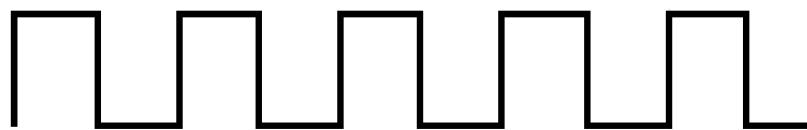


Calcular para las resoluciones de 3 bit y 16 bits cual es el mínimo incremento de señal codificable o error de

cuantificación: con 3 bits el número de niveles es  $2^3=8$  niveles y el mínimo relativo es  $2^{-3}=1/8$ ; con 16 bits el número de niveles es  $2^{16}$  y el mínimo relativo es  $2^{-16}=1/65536$ .

Representación de los números en código binario : [Tema 3 : Representación Digital de la Información: los DATOS](#)

## Señales Binarias : Abstractas

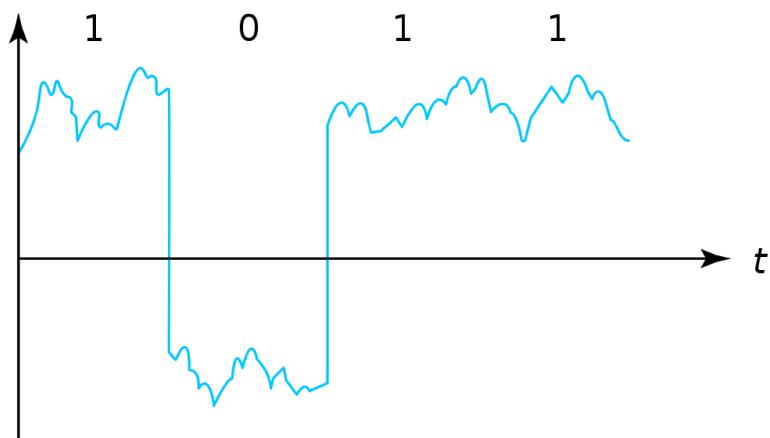


Eje ordenada: valores abstractos (0/1, High/Low, ON/OFF, etc ...).

Cronograma: Representación temporal de las señales digitales binarias.

Esa representación típica de los libros de texto, pizarra de clase, etc ... es ideal ya que físicamente siempre habrá distorsión.

## Señales Binarias : Físicas



Eje ordenada: magnitudes físicas (mV ó mA).

La señal física está distorsionada por causas como pej: línea larga de transmisión (efectos capacitivos e inductivos).

Un ejemplo típico de distorsión son los tiempos de subida y bajada, que no son nulos sino del orden de unos nanosegundos.

La distancia considerable entre los dos niveles (binario) a la entrada del receptor hace fácil la discriminación entre el '0' y el '1'.

# Digitalización de las Señales

## Ventajas

- Calidad: Fácil de recuperar a pesar de la distorsión
- Almacenamiento: Fiabilidad, Diversidad Formatos
- Compatibilidad: Diversidad de Equipos (PC, móvil, coche, etc)
- Procesamiento: Sencillo, Flexible
- Coste: Barato (componentes)

## Abstracción

- Niveles: el 0 y el 1
- Lógica binaria
  - Matemáticas: Algebra de Boole

# Tema 3 :Representación de los Caracteres

## Representación de los Caracteres

- Tipos de Caracteres:
  - Alfanuméricos: a,b,...z,0,1,...9,A,B...Z
  - Signos de Puntuación: !"#\$%&/()=
  - de Control: Salto de Línea (\n), Find de Fichero (EOF), Fin de String (\00, ...)
- Formatos
  - ASCII: standard y extendido
  - Unicode: UTF-8

## ASCII Standard

2	3	4	5	6	7	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120		
0:	0	@	P	`	p	0:	(	2	<	F	P	Z	d	n	x		
1:	!	1	A	Q	a	q	1:	)	3	=	G	Q	[	e	o	y	
2:	"	2	B	R	b	r	2:	*	4	>	H	R	\	f	p	z	
3:	#	3	C	S	c	s	3:	!	+	5	?	I	S	]	g	q	{
4:	\$	4	D	T	d	t	4:	"	,	6	@	J	T	^	h	r	
5:	%	5	E	U	e	u	5:	#	-	7	A	K	U	_	i	s	}
6:	&	6	F	V	f	v	6:	\$	.	8	B	L	V	'	j	t	~
7:	'	7	G	W	g	w	7:	%	/	9	C	M	W	a	k	u	DEL
8:	(	8	H	X	h	x	8:	&	0	:	D	N	X	b	l	v	
9:	)	9	I	Y	i	y	9:	'	1	;	E	O	Y	c	m	w	
A:	*	:	J	Z	j	z											
B:	+	;	K	[	k	{											
C:	,	<	L	\	l												

```
D: - = M ] m }
E: . > N ^ n ~
F: / ? 0 _ o DEL
```

American Standard Code for Information Interchange

Alfabeto anglosajón

7 bits  $\rightarrow 2^7 = 128$  caracteres : 0x00 hasta 0x1F son 32 caracteres de control y el resto alfanuméricos

En hexadecimal rango [0x00-0x7F]

En decimal rango [0-127]

Upna : 0x55706E61

año 2023: 0x61—6F2032303233

## ASCII Extendido

- Para poder representar caracteres de otras culturas Europeas es necesario expandir el standard con 1 bit más
- ASCII 8 bits  $\rightarrow 2^8 = 256$  caracteres
- [Python Interpreter Shell](https://www.programiz.com/python-programming/online-compiler/) [<https://www.programiz.com/python-programming/online-compiler/>]

```
ord('A')
hex(ord('A'))
hex(ord('\n'))
chr(65)
chr(0x41)
[hex(ord(c)) for c in "Hola"]
[chr(c) for c in [0x48, 0x6f, 0x6c, 0x61, 0x20, 0x4d, 0x75, 0x6e, 0x64, 0x6f]]
[hex(ord(c)) for c in "ñ"]
[hex(ord(c)) for c in "\n \t"]
```

- La ñ tiene el código ASCII 0xF1

## Tema 3: Representación de los Números NATURALES

### Representación de los Números Decimales

- Decimal
  - 10 dígitos : 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
  - Pesos con base 10 :  $10^n$  donde n es la posición del dígito dentro del número
- Ejemplo: número 5421

Table 5. Número 5421

Representación:	los símbolos 5421			
Posiciones:	3	2	1	0
Pesos:	$10^3 \rightarrow 1000$	$10^2 \rightarrow 100$	$10^1 \rightarrow 10$	$10^0 \rightarrow 1$
Dígitos:	5	4	2	1

<b>Valores : ponderación</b>	5*1000=cinco mil	4*100=cuatro cientos	5*10=cincuenta	1*1=uno
<b>Valor:</b>	5*1000+4*100+5*10+1= cinco mil cuatrocientos cincuenta y uno			

## Representación de los Valores Naturales en Código Binario

- ¿Número? ¿Valor? ¿Código? ¿Representación?
  - 2 dígitos : 0,1
  - Pesos con base 2 :  $2^n$  donde n es la posición del dígito dentro del número: ....-1024-512-256-128-64-32-16-8-4-2-1...
- Ejemplo: número 0b1011

Table 6. Número 0b1011

<b>Representación:</b>	los símbolos 1011			
<b>Posiciones:</b>	3	2	1	0
<b>Pesos:</b>	$2^3 \rightarrow 8$	$2^2 \rightarrow 4$	$2^1 \rightarrow 2$	$2^0 \rightarrow 1$
<b>Dígitos:</b>	1	0	1	1
<b>Valores : ponderación</b>	$1*8=ocho$	$0*4=cero$	$1*2=dos$	$1*1=uno$
<b>Valor:</b>	ocho+cero+dos+uno= once			

## Representación de los Valores Naturales en Código Binario

- ¿Cómo se representa en binario el valor 123.125? b1111011.001
- ¿Cómo se calcula el valor del número binario b1111011.001?
- Parte Entera: divisiones sucesivas por la base 2
- Parte Fracción: multiplicaciones sucesivas por la base 2

## Representación de los Valores Naturales en Código Octal

- Dígitos: 0,1,2,3,4,5,6,7
- Posiciones y Pesos
- ¿Cómo se representa en octal el valor 123.125? 0o173.1
- ¿Cómo se calcula el valor del número octal 0o173.1?
- Parte Entera: divisiones sucesivas por la base 8
- Parte Fracción: multiplicaciones sucesivas por la base 8

## Representación de los Valores Naturales en Hexadecimal

- Dígitos: 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F \_ el valor de A es 10, B→11, C→12, D→13, E→14, F→15
- Posiciones y Pesos

- ¿Cómo se representa en hexadecimal el valor 123.125? 0x7B.2
- ¿Cómo se calcula el valor del número octal 0x7B.2?
- Parte Entera: divisiones sucesivas por la base 16
- Parte Fracción: multiplicaciones sucesivas por la base 16

## Calculadora de Python

- [Python Interpreter Shell](https://www.programiz.com/python-programming/online-compiler/) [https://www.programiz.com/python-programming/online-compiler/]

```
bin(123)
oct(123)
hex(123)
int(0b1111011)
int(0o173)
int(0x7B)
```

## Conversiones entre el sistema binario y sistemas con base potencia de 2

- Conversión Binaria-Hexadecimal
  - base  $16=2^4$
  - grupos de 4 bits empezando por la dcha
  - b1111011 → 111 - 1011 → 0x7B
- Conversión Hexadecimal-Binaria
  - grupos de 4 bits
- Conversión Binaria-Octal
  - base  $8=2^3$
  - grupos de 3 bits empezando por la dcha
  - b1111011 → 1 - 111 - 011 → 0o173
- Conversión Octal-Binaria
  - grupos de 3 bits

## Tema 4 : Operaciones Aritméticas con los Números NATURALES

### Suma binaria

- Suma  $10011011 + 00011011 = 10110110$

Llevadas -->

1 1 1 1

$$\begin{array}{r}
 1 0 0 1 1 0 1 1 \quad \text{--sumando} \\
 + 0 0 0 1 1 0 1 1 \quad \text{--sumando}
 \end{array}$$

Valor suma      1 0 1 3 2 1 3 2 <- ¿cómo se representan los valores de cada posición?

\*\*\*\*\*

Resultado -->    1 0 1 1 0 1 1 0 <--suma

- **LLEVADA**

- Valor suma: el valor 3 de la posición 1  $\rightarrow 3 \cdot 2^1 = 6 \rightarrow 110$ 
  - el dígito 1 de la posición 1 es el resultado
  - el dígito 1 de la posición 2 es la LLEVADA
- Conclusión: Cuando la suma en una posición específica tiene un valor es mayor o igual a la base hay que restar **n** veces la base y el valor **n** será la llevada a sumar en la posición siguiente.

## Resta binaria

- Resta  $10110110 - 10011011 = 00011011$

Sumar crédito al minuendo

2 2 2 2

1 0 1 1 0 1 1 0 <--minuendo  
- 1 0 0 1 1 0 1 1 <--sustraendo

Sumar llevada al sustraendo

1 1 1 1

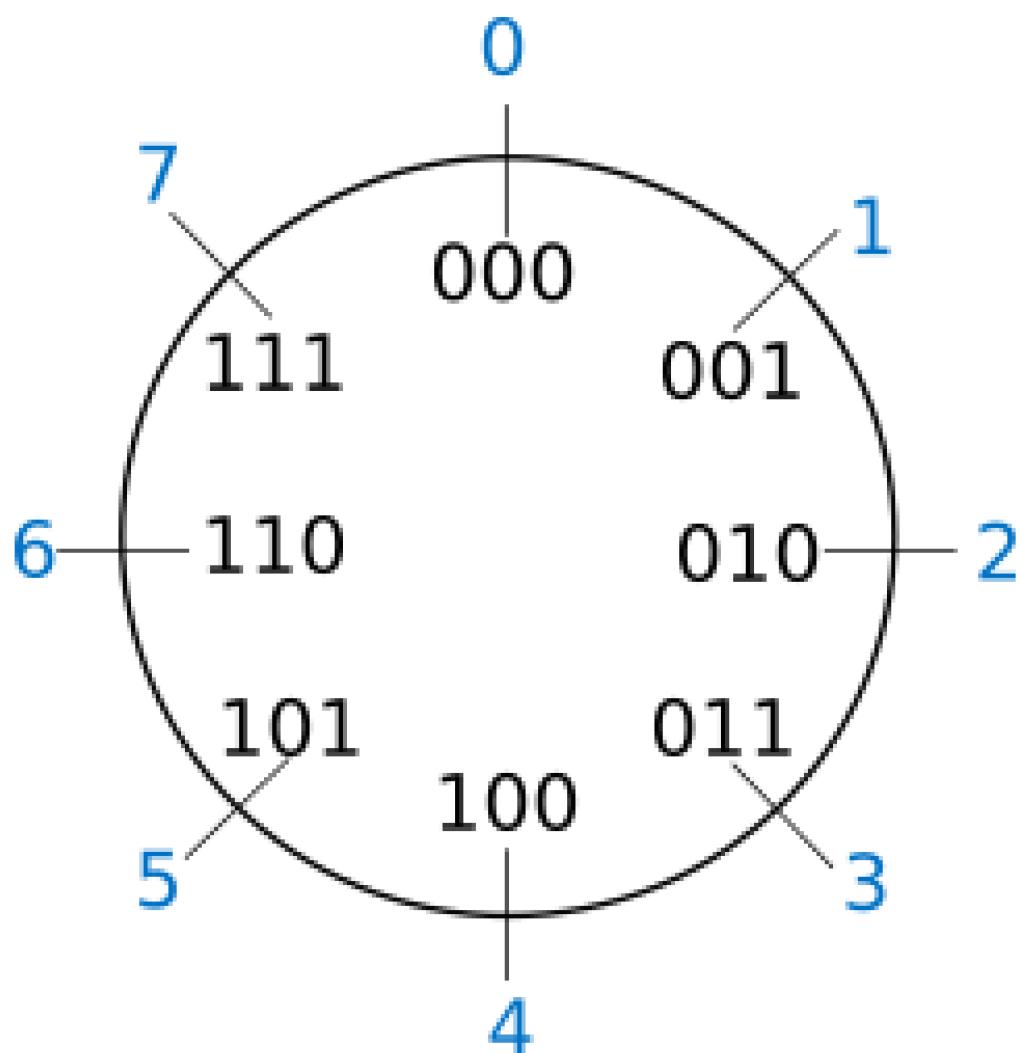
\*\*\*\*\*

Resta

0 0 0 1 1 0 1 1

- Cuando en una posición específica el minuendo es menor que el sustraendo se suma la base al minuendo antes de realizar la resta y se suma la llevada al sustraendo de la posición siguiente.

## Aritmética Modular: la rueda



Representación binaria de números con 3 dígitos.  
 $2^3$  : 8 combinaciones posibles, → MODULO 8  
 Ejemplo:  
 cuentakilómetros del coche.  
 Ejemplo: registro de 3 celdas → limitado a 8 combinaciones posibles.  
 ¿Cuál es la siguiente combinación a 111?,  
 $111+1 = ?$ .  
 Calcular la representación del valor 33 en módulo 8 → Resto( $33/8$ )=1 → en binario 001  
 33 pasos en la rueda equivale al número 001 → aritmética modular en módulo 8

## Operaciones aritméticas: Hexadecimal

- Base hexadecimal
  - $0xD1B + 0xFF = 0x181A$
  - $0xE53 - 0xBA9 = 0x2A9$

# Tema 3 :Representación de los Números ENTEROS

## Representación de Números con Valores Enteros

- Signo-Magnitud
- Complemento a la base

## Representación en Signo-Magnitud

- Signo → un bit (Binary digit)
- Base 2 :
  - valores positivos: el signo el **bit 0** en la posición MSB (More Significant Bit) y resto de bits representa el mód

- valores negativos: el signo el **bit 1** (base-1) en la posición MSB (More Significant Bit) y resto de bits representa el módulo
- Ejemplo +123 → 0b01111011 y -123 → 0b11111011
- Dibujar la tabla y la rueda con todos los valores con sus representaciones.
- ¿Cuantas representaciones son posibles? ¿Es simétrico el rango de valores representado? ¿Cuantas representaciones tiene el cero?
- ¿Cuál es la relación entre los números positivos y negativos?
- Extender el número de bits del número sin cambiar su valor

## Extensión del signo en Signo-Magnitud

- Números positivos
  - ¿Cuánto vale un cero a la izda?
  - Extender el valor '+123' a 12 bits → 000001111011
- Números negativos
  - ¿Cuánto vale .... a la izda?
  - Extender el valor -123 a 12 bits → Convertimos el valor positivo en negativo
    - 100001111011

## Representación en complemento a la base 2 : C2

- Signo → un dígito
- Base 2: Complemento a 2 → **C2**
- Valores positivos: Definición: igual que los valores positivos en código Signo-Magnitud
- Valores negativos: Definición: Hay que restar el código del valor en positivo del minuendo 0000000 (base)
  - Ejemplo '+123' → 0b01111011 y -123 → **00000000-01111011** = 0b100000101
  - **Alternativa 1** a la definición: El código del valor negativo se puede calcular invirtiendo los bits del código del valor positivo y después sumarle 1
    - Equivale a calcular el C1 y sumarle 1
  - **Alternativa 2** a la definición: El código del valor negativo se puede calcular a partir del código del valor positivo
    - empezando por la dcha repetir los bits hasta el primer uno e invertir el resto de bits

## Representación en complemento a la base 2 : C2

- ¿Cuál es la relación entre los números positivos y negativos?
  - El C2 de un número positivo es el código C2 de su valor en negativo
  - El C2 de un número negativo es el código C2 de su valor en positivo
  - Dibujar la tabla y la rueda con todos los valores con sus representaciones.
  - ¿Cuantas representaciones son posibles? ¿Es simétrico el rango de valores representado? ¿Cuantas representaciones tiene el cero?
  - Extender el número de bits del número sin cambiar su valor → Extensión del bit de SIGNO

## Extensión del signo en C2

Table 7. Razonamiento de la extensión de signo de un número negativo: números de 3 bits

Valor	C2 sin extensión	C2 con extensión
+33	0100001	00100001
-33	0000000 -0100001 ----- 1011111	00000000 -00100001 ----- 11011111

- Aplicamos la definición para los dos ejemplos, el segundo caso es una extensión del primero ya que hemos añadido un dígito más al minuendo y al sustraendo:
  - Se observa que en el C2 con extensión, al hacer la resta y extender con un 0 más el minuendo y el sustraendo, provoca la extensión con un bit más en la resta de valor 1 en el dígito más significante. Según añado ceros al minuendo y sustraendo, aparecen unos en la resta sin alterar su valor.

## Asimetría del rango en C2: -4 con 3 bits

- Con números de 3 bits el formato S-M es simétrico con valores en el rango (+3,-3), en cambio el formato C2 tiene el rango (+3,-4)
- En C2 el valor +4 se representa como 0b0100 y necesita por lo tanto 4 bits, no se puede representar con 3 bits, y el valor -4 se representa con el C2(0100), es decir, 1100 también con 4 bits. El 1100 se puede comprimir ya que tiene el signo extendido con la repetición de 1 de bit más significativo, por lo que la representación 100 es la representación del -4

## Complemento a 2 : Ejemplos

- 0b101010101 está en C2 → ¿Cuál es su valor?
  - como es negativo no es un sistema posicional
  - tenemos que calcular el valor negativo a través del valor positivo
  - La representación del valor positivo es el C2 del valor negativo
    - $C2(0b101010101) = 0b010101011$  cuyo valor es  $2^7+2^5+2^3+2^1+2^0=128+32+8+2+1=+171$
    - El valor de 0b101010101 es -171
- Si la representación de -123 es 0b100000101 ¿cuál es la de '+123' ?
  - $C2(0b100000101)=0b01111011$  representa el valor '+123'

## Número en complemento a 2 y base hexadecimal



Un número binario se puede representar en hexadecimal y hacer la interpretación en complemento a 2. Hay que tener cuidado con las extensiones del signo

- Calcular el valor del número 0xAAA si dicho número tiene formato en complemento a 2
  - si lo convertimos a binario el número empieza por 1, luego es negativo
  - para saber su valor calculo su complementario C2 y tendrá la representación del positivo
    - $0x000-0xAAA = 0x556 \rightarrow 5*16^2+5*16^1+5*16^0 = 5*256+5*16+5 = 1280+80+5 = '+213' \rightarrow 0xAAA$  tiene de valor -213

# Número en complemento a 2 y base hexadecimal

- Realizar la suma de los números en formato complemento a 2: 0x80+0x80
  - sumar sin extender el signo de los operandos ¿Hay overflow?



Extender el número 0x80. ¿ Por qué hay que tener cuidado ?

- sumar extendiendo un dígito el signo de los operandos 0x80

## Extensión del signo en C2: problema de la BASE

Table 8. Extensión del Signo del Nº 0x80 en C2 en binario, hexadecimal y octal

NºBits	Binario	Hexadecimal
8	10000000	1000_0000 → 0x80
9	110000000	1111_1000_0000 → 0xF80
10	1110000000	1111_1000_0000 → 0xF80
11	11110000000	1111_1000_0000 → 0xF80
12	111110000000	1111_1000_0000 → 0xF80
13	1111110000000	1111_1111_1000_0000 → 0xFF80

# Tema 4 :Operaciones Aritméticas con los números ENTEROS

## Operaciones Aritméticas: Suma y Resta

### Operaciones aritméticas en C2

- Suma
  - Se realiza de la misma manera como se ha visto para números naturales.
  - Si hay llevada en el MSBit, NO se tiene en cuenta, se elimina.
  - A=0b11011011. Suma A+A

Llevadas -> 1 1 1 1 1 1

$$\begin{array}{r} 11011011 \\ + 11011011 \\ \hline \end{array} \quad \text{(Valor -37)}$$

Valor suma 2 1 3 2 1 3 2  
\*\*\*\*\*

Resultado --> 1 0 1 1 0 1 1 0 --(Valor -74)

- Resta
  - La resta de números con signo se puede realizar de dos formas: A-B ó A-B = A+(-B)

- A = 0b00110110 y B = 0b10011011
- Si hay llevada en el MSBit, no se tiene en cuenta, se elimina.

```

Crédito 2 2 2 2
      1 0 1 1 0 1 1 0<--(Valor -74)
      - 1 1 0 1 1 0 1 1<--(Valor -37)

LLevada 1 1 1 1 1 1
*****  

Resta    1 1 0 1 1 0 1 1 (Valor -101)

```

## Operaciones aritméticas C2: Overflow o Desbordamiento

- A = 0b00110110 y B = 0b10011011 → Calcular A-B
- Con 8 bits el máximo valor es 01111111 de valor  $2^7-1=128-1=127$
- La resta A-(B)=A+(-B)=54+103=157>127 → **Overflow o Desbordamiento**

```

Crédito 2 2 2 2
      0 0 1 1 0 1 1 0<--(Valor = 54)
      - 1 0 0 1 1 0 1 1<--(Valor = -103)

LLevada 1 1 1 1
*****  

Resta    1 0 0 1 1 0 1 1 (Valor -101)

```

- El valor -101 en lugar de la resta correcta +157 es debido a que el resultado esta fuera de rango →
- Observarmos que hemos hecho la SUMA de dos números POSITIVOS y el resultado ha sido NEGATIVO

## Operaciones aritméticas C2: Overflow



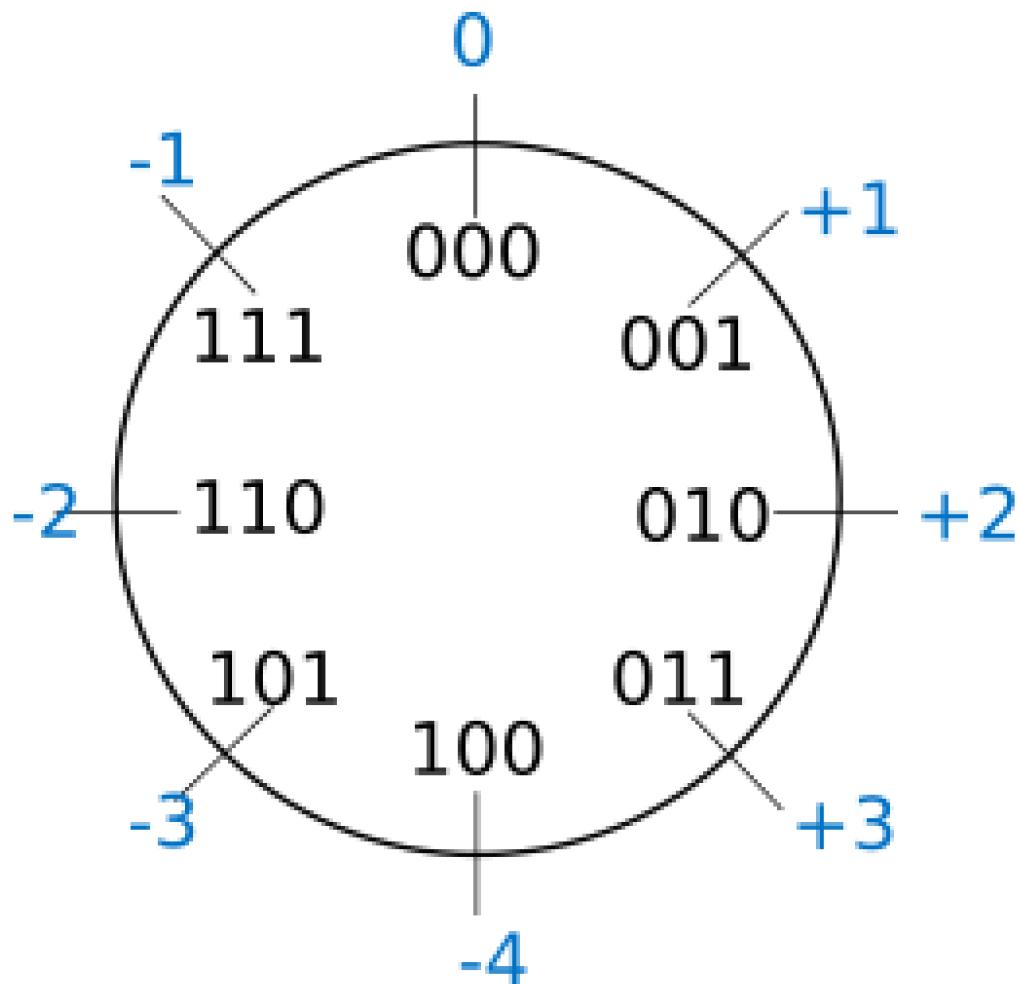
Al realizar la suma de dos valores con el mismo signo si el resultado es de signo contrario hay overflow

## Operaciones aritméticas C2: Overflow

- Overflow: la operación requiere operandos con mayor número de bits manteniendo el valor para que el resultado sea correcto.
- Si dos operandos a sumar tienen diferente signo nunca hay overflow
- Si dos operandos a sumar tienen el mismo signo y resultado tiene signo contrario : **Error de Overflow**.
- Ejemplo:
  - Operandos de 1 byte : 01111111+01111111=11111110 → sumandos positivos y resultado negativo

- Solución: **Extensión del signo** : Operandos 9 bits  $\rightarrow 001111111+001111111=011111110$
- la repetición del bit más significativo no altera el valor de la representación
- el bit más significativo es 0 si es positivo y 1 si es negativo. Por lo tanto, 01010 equivale a 01010 ó 001010 ó 0....0001010. Por lo tanto, 1010 equivale a 11010 ó 111010 ó 1....111010

## C2: Representación gráfica del Overflow

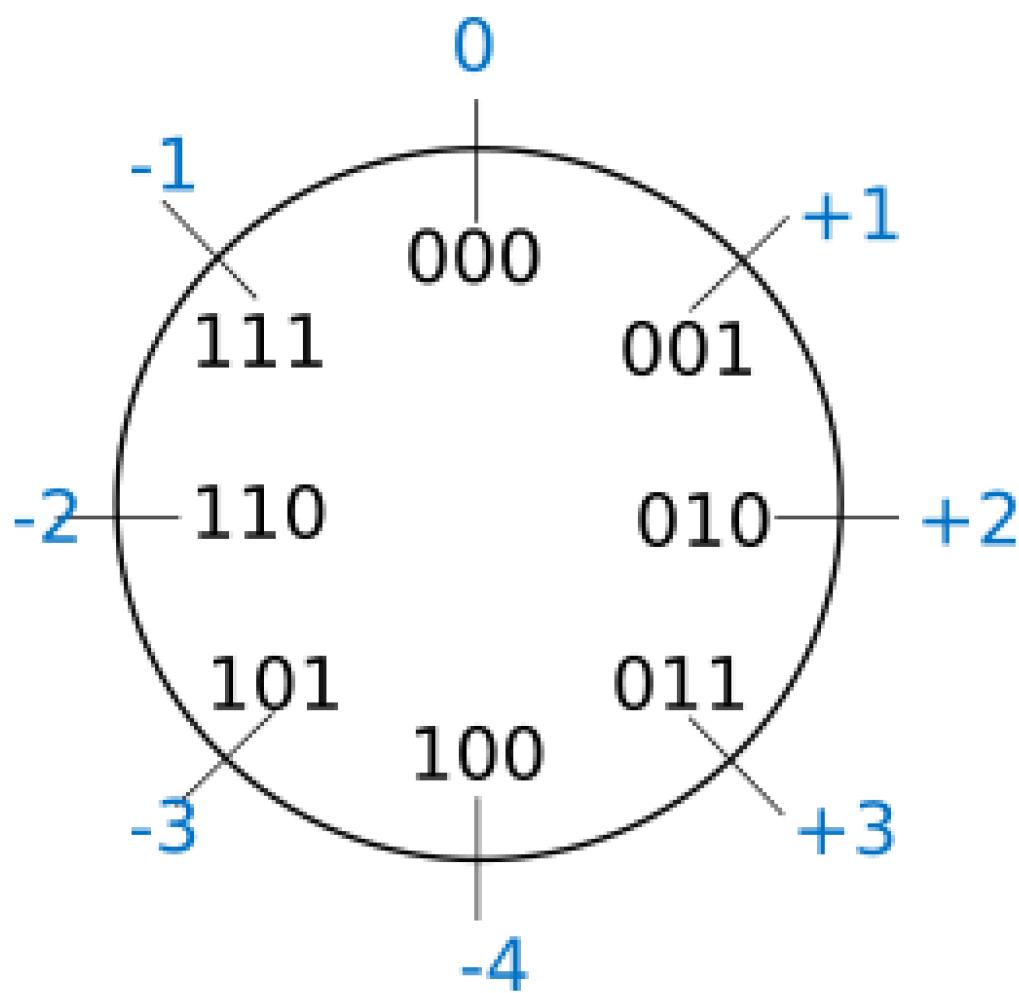


Si a partir de la posición 010 nos movemos dos posiciones en sentido horario llegamos a la posición 100.

Si a 010 le sumamos el valor 2 nos da como resultado 100

Por lo tanto  
 $010 + 010 = 100$ , es decir,  
 $2 + 2 = -4 \rightarrow \text{overflow}$  ya que el +4 necesita 4 bits y estamos trabajando con 3 bits únicamente.

## Aritmética Modular de valores representados en Complemento a 2



Representación de números binarios de 3 bits en C2  
 Operaciones de suma y resta modular → método gráfico  
 A partir de la posición 001 si nos movemos en sentido horario (SUMA modular) 2 posiciones obtenemos la posición 011, es decir,  $1+2=3$   
 A partir de la posición 110 si nos movemos en sentido horario (SUMA modular) 9 posiciones obtenemos la posición 111, es decir,  $-2+9=-1$   
 A partir de la posición 110 si nos movemos en sentido antihorario (RESTA modular) 4 posiciones obtenemos la posición 010, es decir,  $-2-4=+2$   
 Los errores de **overflow** se resuelven aumentando el número de bits de la

representación, pero siempre existirá un rango que si lo traspasamos dará overflow.

## Comparación S-M, y C2

Table 9. Números de 3 bits

Valor	S-M	C2
+3	011	011
+2	010	010
+1	001	001
0	000	000
	100	---
-1	101	111
-2	110	110
-3	111	101
-4	-	100

## Tema 4 :Operaciones Lógicas

- Operadores
  - Operadores aritméticos: suma, resta, multiplicación, ...

- Operadores lógicos: or (suma), and (producto), negación, or exclusiva, etc...
- Operadores comparadores: > (...mayor que..), < (...menor que..), == (...igual a..), etc
- Operadores de desplazamiento: >> (desplazar hacia la derecha), << (desplazar hacia la izquierda)

## Tablas de la Verdad de los operadores NOT, OR, AND, XOR

Table 10. NOT

x	$z = \bar{x}$
0	1
1	0

Table 11. OR

x	y	$z = x + y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Table 12. AND

x	y	$z = x \cdot y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Table 13. XOR

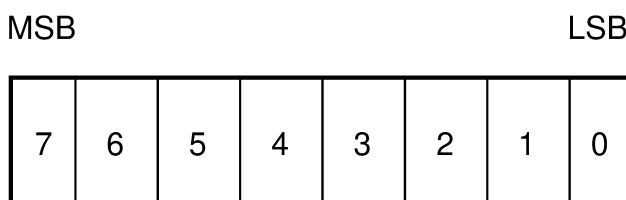
x	y	$z = x \oplus y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

## Tema 5: Representación Digital de la Información: las INSTRUCCIONES

### Registro

- Un registro es un circuito que funciona como una unidad de memoria y que almacena un único dato o una instrucción máquina.
- Los registros:

- 'almacenan' una palabra formada por una secuencia de bits.
- son una array de celdas en una dimensión, donde cada celda almacena un bit.
- Su tamaño normalmente es un múltiplo de 8 bytes y recibe un nombre para poder ser referencia, por ej RAX
  - 8 bits: 1 Byte
  - 16 bits: Word. Por razones históricas.(recordad que el tamaño de una palabra en otro contexto depende de la máquina de que se trate)
  - .
  - 32 bits: double word
  - 64 bits: quad word
- Las celdas se enumeran empezando por cero.
- LSB: Least Significant Bit es el bit de menor peso
- MSB: Most Significant Bit es el bit de mayor peso



## Lenguaje RTL: operador transferencia

- El lenguaje RTL es un Lenguaje para la descripción de INSTRUCCIONES MAQUINA: Register Transfer Language (RTL)
- El lenguaje RTL tiene como objetivo poder expresar las instrucciones máquina que ejecuta la CPU como sumar(ADD),restar(SUB),mover(MOV), etc. La descripción se realiza a nivel de transferencia de datos entre 'registros' internos de la CPU o entre registros internos y la memoria externa.
- La operación de **transferencia** se representa con una flecha de derecha a izquierda
  - Operador transferencia  $\leftarrow$
  - Sentencia transferencia:  $R2 \leftarrow R1$
  - A  $R1$  se le llama registro fuente y a  $R2$  registro destino
  - Interpretación: Copiamos o Transferimos el contenido del registro  $R1$  en el registro  $R2$

## Lenguaje RTL: otras sentencias

Sentencia Condicional:

If ( $K1=1$ ) then  $R2 \leftarrow R1$

$K1:R2 \leftarrow R1$

La transferencia o copia se realiza únicamente si  $K1$  es verdad, es decir, si  $K1$  vale el valor lógico 1 (TRUE).

Sentencia Concurrente:

Operador coma

$K3:R2 \leftarrow R1, R3 \leftarrow R1$

Si  $K3$  es verdad el contenido de  $R1$  se copia en  $R2$  y  $R3$

# Sintaxis de las instrucciones en el lenguaje INTEL

- El formato de las instrucciones en lenguaje ensamblador se conoce como 'sintaxis' de las instrucciones.
- SINTAXIS ASM: Etiqueta-Código de Operación- Operando1- Operando2- Comentario
- Arquitecturas x86-64 y x86

Table 14. Sintaxis Intel: Estructura

label:	op_mnemonic	operand_destination	,	operand_source	#comment
--------	-------------	---------------------	---	----------------	----------

## Sintaxis de las instrucciones en el lenguaje INTEL : Ejemplo

- Ejemplo:

```
bucle: sub    rsp,16          ;RSP <- RSP-16. Resta
       je     bucle           ;je: jump equal:
                           ;salto si la última operación dió resultado
cero
suma:  add    eax,esi         ;EAX <- EAX+M[ESI] . Sumar
       mov    ax,[resultado]  ;AX <- M[resultado].
                           ;Copiar en el registro AX el contenido de la
                           ;posición de memoria resultado

resultado: "reserva de memoria"
```

# Sintaxis de las instrucciones en el lenguaje de la compañía telefónica AT&T

- SINTAXIS ASM: Etiqueta-Código de Operación- Operando1- Operando2- Comentario
- Arquitecturas x86-64 y x86

Table 15. Sintaxis AT&T: Estructura

label:	op_mnemonic	operand_source	,	operand_destination	#comment
--------	-------------	----------------	---	---------------------	----------

- La gran diferencia con el lenguaje de Intel son el orden de los dos operandos
- Otra pequeña diferencia son los prefijos de los operandos para indicar el modo de direccionar el operando

## Sintaxis de las instrucciones en el lenguaje AT&T : Ejemplo

- Ejemplo:

```
bucle: sub    $16,%rsp        ;RSP <- RSP-16. Resta
       je     bucle           ;je: jump equal:
                           ;salto si la última operación dió resultado
```

```

cero
suma: add    %esi,%eax          ;EAX <- EAX+M[ESI] . Sumar
      mov    resultado,%ax       ;AX <- M[resultado].
                                ;Copiar en el registro AX el contenido de la
                                posición de memoria resultado

resultado: "reserva de memoria"

```

## Sintaxis AT&T

La sintaxis del lenguaje ensamblador depende del "traductor" del proceso de ensamblaje (**assembler**) utilizado, en este caso, se utiliza el assembler GAS.

**ETIQUETA:** Se especifica en la primera columna. Tiene el sufijo ":"

**CODIGO DE OPERACION:** Se utilizan símbolos mnemónicos que ayudan a interpretar intuitivamente la operación.

Pej: ADD sumar, MOV mover, SUB restar, ...

**OPERANDO FUENTE Y/O DESTINO:**

dato alfanumérico: representación alfanumérica → 16

direcciónamiento inmediato: prefijo \$

dirección de memoria externa: etiqueta → resultado

direcciónamiento directo

registros internos de la CPU: %rax,%rbx,%rsp,%esi,..

El prefijo "%" significa que el nombre hace referencia a un registro

tamaño del dato operando: sufijos de los mnemónicos:

q(quad):8 bytes, l(long):4 bytes, w(word):2 bytes, b(byte):1 byte.

Sin sufijo se toma la limitación del tamaño del registro referenciado  
y si no hay limitación el traductor avisa del error

## Operandos: Modo de Direcciónamiento

- Direcciónamientos:

**INMEDIATO:** El valor del operando está ubicado inmediatamente después del código de operación de la instrucción. Únicamente se especifica el operando fuente.

sintaxis: el valor del operando se indica con el prefijo \$ .

ejemplo: **movl \$0xabcd1234, %ebx.** El operando fuente es el valor 0xABCD1234

**REGISTRO:** El valor del operando está localizado en un registro de la CPU.

sintaxis: Nombre del registro con el prefijo %.

ejemplo: **movl %eax, %ebx.** El operando fuente es el REGISTRO EAX y el destino es el REGISTRO EBX

**DIRECTO:** La dirección efectiva apuntando al operando almacenado en la Memoria Principal es la dirección absoluta referenciada por la etiqueta especificada en el campo de operando. El programador utiliza el direcciónamiento directo pero el compilador lo transforma en un direcciónamiento relativo al contador de programa. Ver direcciónamiento con desplazamiento.

sintaxis: una etiqueta definida por el programador

ejemplo: **je somePlace .** Salto a la dirección marcada por la etiqueta somePlace si el resultado de la operación anterior activa el flag ZF=1 del registro RFLAG.

INDEXADO: El valor del operando está localizado en memoria. La dirección efectiva apuntando a Memoria es la SUMA del valor del registro\_base MAS scale POR el valor en el registro\_índice, MAS el offset. 'EA=Offset+R\_Base+R\_índice\*Scale'

sintaxis: lista de valores separados por coma y entre paréntesis (base\_register, index\_register, scale) y precedido por un offset.

ejemplo: **movl \$0x6789cdef, -16(%edx, %eax, 4)** . La dirección efectiva del destino es **EDX + EAX\*4 - 16**.

## Operandos: Modo de Direccionamiento

- Direccionamientos:

INDIRECTO: Si el modo general de indexación lo particularizamos en (base\_register) entonces la dirección del operando no se obtiene mediante una indexación sino que la dirección efectiva es el contenido de rdx y por lo tanto se accede al operando indirectamente.

sintaxis: (base\_register)

ejemplo: **movl \$0x6789cdef, (%edx)** . La dirección efectiva del destino es EDX. EDX es un puntero.

RELATIVO: registro base más un offset: El valor del operando está ubicado en memoria. La dirección efectiva del operando es la suma del valor contenido en un registro base más un valor de offset.

sintaxis: registro entre paréntesis y el offset inmediatamente antes del paréntesis.

ejemplo: **movl \$0xaabbccdd, -12(%eax)** . La dirección efectiva del operando destino es EAX-12

## Operandos: Modo de Direccionamiento

- Direccionamientos **prohibidos**
  - En la misma instrucción los campos operando fuente y el operando destino no pueden hacer referencia a direcciones de memoria
- Ejemplos de direccionamientos prohibidos ó erróneos:
  - mov dato,suma → siendo dato y suma dos direcciones de la memoria
  - mov (%edx),suma → siendo EDX un puntero a memoria y suma una dirección de memoria

## Modos de direccionar los operandos: Ejemplos

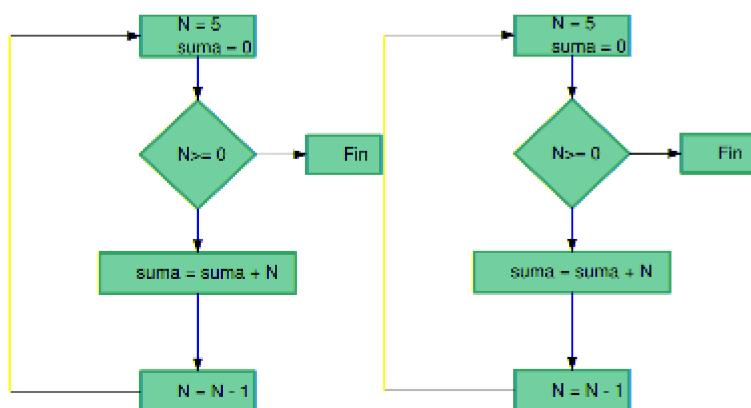
Table 16. Modos de Direccionamiento de los Operandos

Direccionamiento Operando	Valor Operando	Nombre del Modo
\$0	Valor Cero	Inmediato
%rax	RAX	Registro
loop_exit	M[loop_exit]	Directo
data_items(,%rdi,4)	M[data_item + 4*RDI]	Indexado
(%rbx)	M[RBX]	Indirecto
(%rbx,%rdi,4)	M[RBX + 4*RDI]	Indirecto Indexado

- M[loop\_exit]: directo ya que loop\_exit es una dirección de memoria externa y M indica la memoria externa.
- M[RBX]: indirecto ya que RBX es una dirección de memoria interna y M indica memoria externa: A la mem. externa se accede a través de la mem. interna.

## Programa sum1toN: Organigrama

- Calcular la suma de los 5 primeros números naturales



## Programa sum1toN en lenguaje C

```

/*
Programa:      sum1toN.c
Descripción:   realiza la suma de la serie 1,2,3,...N

Arquitectura del Procesador: La programación de este algoritmo en lenguaje C NO
DEPENDE de la arquitectura del procesador ¿Por qué y Cómo es posible?
Lenguaje:      C99
Descripción:   Suma de los primeros 5 números naturales
Entrada:       Definida en una variable
Salida:        Sin salida
Compilación:   gcc -m32 -g -o sum1toN sum1toN.c -> -g: módulo binario depurable
                -> -m32: módulo binario
arquitectura x86-32 bits
S.O:           GNU/linux 4.10 ubuntu 17.04 x86-64
Librería:      /usr/lib/x86_64-linux-gnu/libc.so
CPU:           Intel(R) Core(TM) i5-6300U CPU @ 3.0GHz
Compilador:    gcc version 6.3
Ensamblador:   GNU assembler version 2.28
Linker/Loader:  GNU ld (GNU Binutils for Ubuntu) 2.28
Asignatura:    Estructura de Computadores
Fecha:         20/09/2017
Autor:         Cándido Aramburu
*/

```

```

#include <stdio.h> // cabecera de la librería de la función printf()

// función de entrada al programa
void main (void)
{
    // Declaración de variables locales
    char suma=0;
    char n=0b101;
    // bucle
    while(n>0){
        suma+=n;
        n--;
    }
    printf("\n La suma es = %d \n",suma);
}

```

## Programa sum1toN para la máquina x86 en lenguaje AT&T

- Lenguaje ensamblador ATT para la arquitectura x86-32

```

### Programa: sum1toN.s
### Descripción: realiza la suma de la serie 1,2,3,...N
### Arquitectura del Procesador: x86 32 bits
### Compilación
###     gcc -m32 -g -nostartfiles -o sum1toN sum1toN.s
### o como alternativa
###     Ensamblaje as --32 --gstabs sum1toN.s -o sum1toN.o
###     linker -> ld -melf_i386 -I/lib/i386-linux-gnu/ld-linux.so.2 -o sum1toN
sum1toN.o -lc

## Declaración de variables
.section .data

n: .int 5

.global _start

## Comienzo del código
.section .text
_start:
    mov $0,%ecx # ECX implementa la variable suma
    mov n,%edx
bucle:
    add %edx,%ecx
    sub $1,%edx
    jnz bucle

```

```
    mov %ecx, %ebx # el argumento de salida al S.O. a través de EBX según
convenio

    ## salida
    mov $1, %eax # código de la llamada al sistema operativo: subrutina exit
    int $0x80     # llamada al sistema operativo

.end
```

## Programa sum1toN para la máquina x86 en lenguaje Intel

- Lenguaje ensamblador INTEL y assembler nasm

```
;;; Programa: sum1toN.asm
;;; Descripción: realiza la suma de la serie 1,2,3,...N
;;; Arquitectura del Procesador: x86 32 bits
;;; Lenguaje INTEL
;;; Assembler NASM

;;; nasm -hf -> ayuda de la opción f
;;; Ensamblaje nasm -g -f elf sum1toN.asm -o sum1toN.o
;;; linker -> ld -m elf_i386 -o sum1toN sum1toN.o

BITS 32 ; cpu MODE
; Declaración de variables
section .data

n: dd 5 ; 4 bytes

global _start

; Comienzo del código
section .text
_start:
    mov ecx,0 ; ECX implementa la variable suma
    mov edx,[n] ; EDX implementa es un alias de la variable n
bucle:
    add ecx,edx
    sub edx,1
    jnz bucle

    mov ebx, ecx ; el argumento de salida al S.O. a través de EBX según
convenio

    ; salida
    mov eax,1 ; código de la llamada al sistema operativo: subrutina exit
    int 0x80     ; llamada al sistema operativo
```

# Tema 6: Programación en Lenguaje Ensamblador (x86): Construcciones básicas de los lenguajes de alto nivel.

## Arquitecturas x86 i386 x86-64 amd64

- La arquitectura de Intel x86 de 32 bits comenzó en el año 1985 con el microprocesador 80386 qué más adelante fue renombrado como "i386"
- x86-64 (también conocido como x64, x86\_64, AMD64 e Intel 64) es la versión de 64 bits del conjunto de instrucciones x86. La especificación fue creada por AMD
- Linux denomina a la arquitectura x86 como i386 y a la arquitectura x86-64 como amd64.
- En esta asignatura se va a trabajar principalmente con la arquitectura x86 ya que las prácticas se realizan en esta arquitectura de 32 bits.

## ISA x86

- El objetivo de este capítulo es tener los conocimientos necesarios para la programación de bajo de nivel (lenguaje ensamblador) de la arquitectura de 32 bits de Intel: x86
- Fases en el proceso de traducción (compilación, ensamblaje, módulos fuente, módulo objeto, módulo ejecutable, enlazado, resolución de referencias, bibliotecas, sistema operativo, etc) del módulo fuente y carga en memoria del módulo ejecutable.
- El programador de bajo de nivel necesita el conocimiento de la ISA, es decir:
  - Registros de propósito general internos de la CPU
  - Registro de estado o registro de flags
  - Direccionamiento de la memoria principal
  - Diferencia entre la memoria interna (registros) y la memoria externa (memoria principal)

## ISA x86

- El programador de bajo de nivel necesita el conocimiento de la ISA, es decir:
  - Tipos de datos y su formato: enteros complemento a 2
  - Tamaño de los operandos: sufijos b,w,l,q de los mnemónicos
  - Alineamiento de los datos en la memoria: little endian
  - Modos de direccionamiento: inmediato, directo, etc
  - Sintaxis del lenguaje "AT&T"
  - Directivas del traductor assembler "as"

## Ejercicios

- [sum1toN.s](#) [./as\_code/sum1toN.s]
  - Programa inicial de referencia
  - sección de datos y sección de instrucciones: directivas .section .data y .section .text
  - direccionamientos: inmediato, a registro y directo
  - estructura de un bloque: saltos incondicionales y condicionales

- etiqueta global
- llamada a funciones del sistema operativo y paso del argumento por registro
- comentarios en lenguaje C y pseudocódigo

## Ejercicios

- [sum1toN\\_v2.s](#) [./as\_code/sum1toN\_v2.s]
  - Declaración de variables: En la sección de datos reservar memoria para el dato e inicializarlo. Directivas .byte, 2byte, 4byte
  - instrucción de salto condicional: jnz ó jne
- [sum1toN\\_v3.s](#) [./as\_code/sum1toN\_v3.s]
  - Directiva .string: reserva de memoria e inicialización con caracteres ASCII
  - llamada a funciones de la librería standard de C como "puts()" y pase de argumentos a través de la pila
- [sum1toN\\_v4.s](#) [./as\_code/sum1toN\_v4.s]
  - llamada a la función "exit()" de la librería standard de C

## Ejercicio

- [sum1toN\\_v5.s](#) [./as\_code/sum1toN\_v5.s]
  - Macros con la directiva .equ
  - Inicializar una array de datos con los diez primeros números enteros impares y sumarlos
- [sum1toN\\_v6.s](#) [./as\_code/sum1toN\_v6.s]
  - Macros con la directiva .equ
  - Inicializar una array de datos con los diez primeros números enteros impares y sumarlos
  - Bucle con la instrucción "cmp"
  - [x86](https://www.felixcloutier.com/x86/) [https://www.felixcloutier.com/x86]: [cmp](https://www.felixcloutier.com/x86/cmp) [https://www.felixcloutier.com/x86/jcc] , [jcc](https://www.felixcloutier.com/x86/jcc)
  - Visualizar el resultado con la función printf() de la librería standard de C

## Ejercicio

- [sum1toN\\_v6.s](#) [./as\_code/sum1toN\_v6.s]
  - Pasar los dos argumentos a través de la pila insertando primero el último argumento printf(1º arg, 2º arg)
- [sum1toN\\_v7.s](#) [./as\_code/sum1toN\_v7.s]

```
### Descripción: Macros con la directiva .equ
###           Inicializar una array de datos con los diez primeros números
enteros impares y sumarlos
###           bucle con la instrucción "cmp"
###           Visualizar el resultado con la función printf() de la librería
standard de C
###           Pasar los dos argumentos a través de la pila insertando primero el
```

## Subrutinas

### Introducción

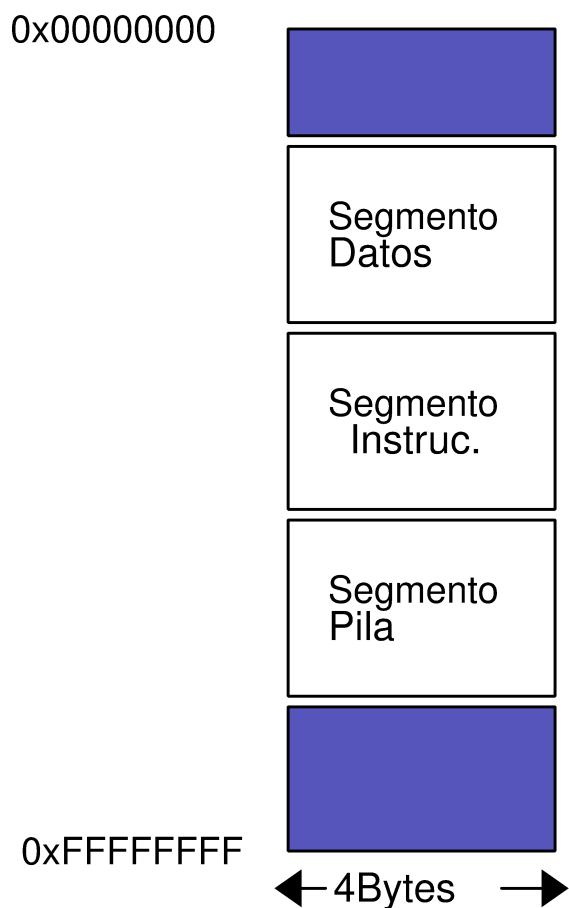
- A las funciones de los lenguajes de alto nivel en el nivel máquina se les llama subrutinas
- Las subrutinas son bloques de código que pueden ser llamadas desde otro bloque para su ejecución y posterior retorno a la sentencia siguiente al punto de llamada.
- A las subrutinas se les pueden pasar parámetros o argumentos a través de unidades de memoria de diferentes formas:
  - En la arquitectura x86 los parámetros se pasan a través de la pila

### La pila a nivel máquina x86

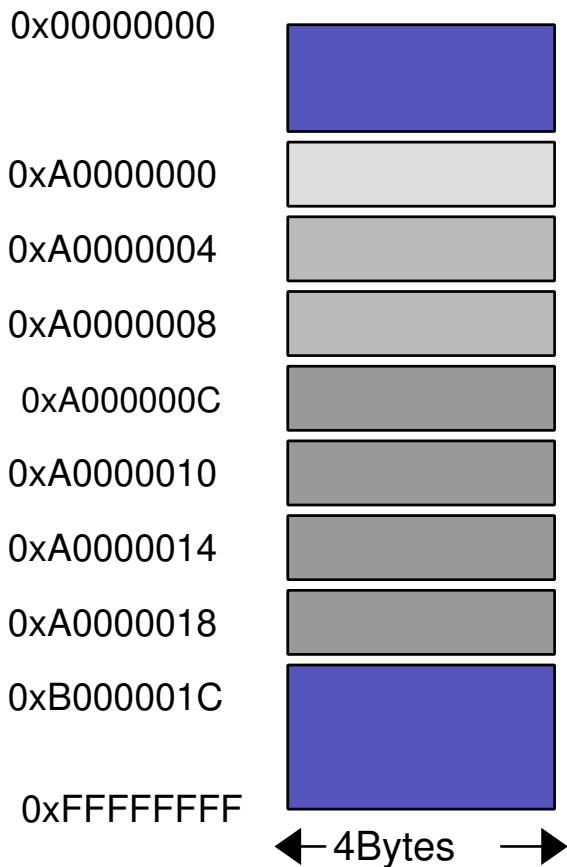
- Es una estructura de datos que se construye en la **memoria principal** y constituye una sección diferente (stack section) de la sección de datos y sección de texto.
- La pila es una 'sección' del programa en ejecución en la memoria principal. A diferencia de la sección de datos y la sección de instrucciones la pila se crea en tiempo de ejecución ,no durante la carga en memoria.
- En la pila los datos se van insertando (apilando) secuencialmente y también se van extrayendo (desapilando)
- Es una estructura de datos tipo LIFO (last input first output): El último elemento apilado es el primero que se puede extraer.
- La instrucción para insertar un dato el **PUSH** y para extraer es **POP**.

```
push %eax # se inserta en la pila y se apila el contenido de EAX  
pop %ebx # se extrae de la pila el último dato apilado y se guarda en EBX  
push etiqueta # ¿Da error? ¿Por qué?
```

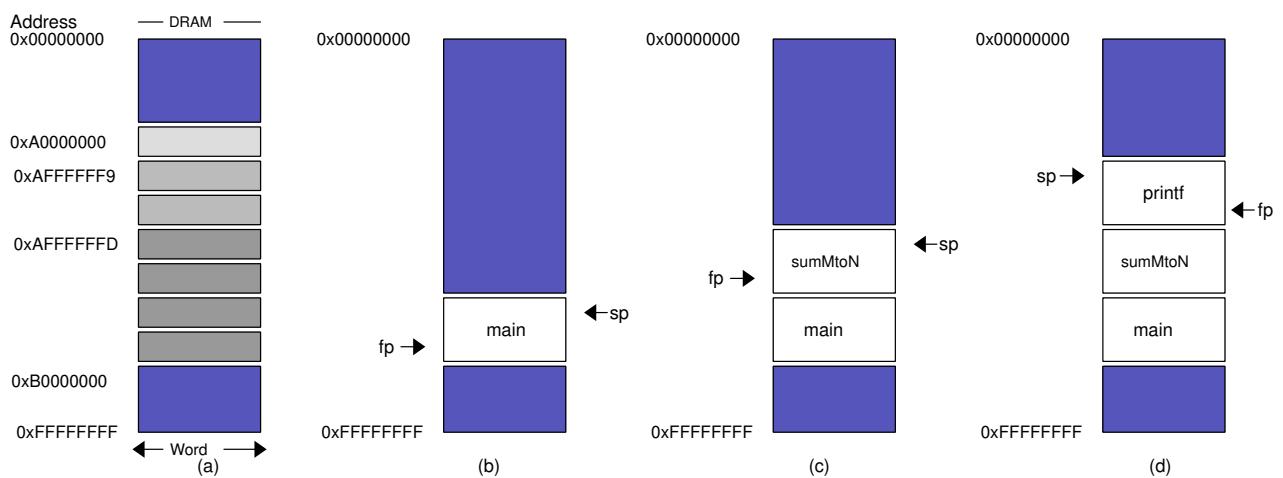
### La pila a nivel máquina x86



- [pila](#) [./pila.html]
- La anchura de la pila son 32 bits
- Se apila en el sentido decreciente de las direcciones de memoria



## Anidamiento de llamadas a funciones: FRAME



- Cada rutina o subrutina tiene que generar por programa su propio segmento dentro de la sección stack.

## Punteros del Frame Activo

- fp: frame pointer y sp: stack pointer
- el puntero fp apunta a la parte baja del frame activo y el sp apunta a la parte alta (último dato apilado) del frame activo

- En la arquitectura x86 el la función fp la realiza el registro **EBP** (Bottom Pointer) y la función sp la realiza el registro **ESP**

## Anidamiento de Llamadas a funciones: FRAME

- Un ejemplo típico de anidamiento de funciones son las subrutinas recurrentes o recursivas.
- De aquí en adelante según se van aprendiendo los diferentes conceptos, ponerlos en práctica con [La Animación de Recursión](https://diveintosystems.org/book/C8-IA32/recursion.html) [<https://diveintosystems.org/book/C8-IA32/recursion.html>]: Analizar la función sumr en C y en ASM. Bajar al apartado 8.6.1. Animation: Observing How the Call Stack Changes.
- Ejercicio propuesto al final del capítulo: sum1toN.s como subrutina recursiva

## Pase de los argumentos y Llamada a la Subrutina

- función en lenguaje C: sumMtoN(M,N)
- Primero se pasa el último argumento de la subrutina y el último argumento en pasar es el primer argumento de la subrutina
- A continuación se llama a la subrutina
- Código de pase de argumentos y llamada a la subrutina

```
main:
    xxxx xxx
    xxxx xxx
    push N
    push M
    call sumMtoN
    xxxx xxx
    xxxx xxx
```

- Estado de la pila después de insertar los argumentos y antes de ejecutarse la instrucción "call" → ¿?

## Conservación de la dirección de retorno

- El procesador durante el ciclo de instrucción de "call" inserta la dirección de retorno en la pila y salta a la dirección de comienzo de la subrutina introduciendo la dirección de la subrutina en el contador de programa.
- Estado de la pila después de ejecutarse el **call** → ¿?

## Comienzo de la Subrutina: Prólogo

- Es necesario conservar el fp de la rutina que realiza la llamada para una vez finaliza la subrutina volver a activar el frame de la rutina que llama.

```
sumMtoN:
    push %ebp
```

- El epílogo consisten activar un nuevo frame apuntando los dos punteros sp y fp al primer dato insertado.
- Instrucciones del Prólogo

```
sumMtoN:  
    push %ebp  
    mov %esp,%ebp  
    XXX XXX
```

- Estado de la pila: → ¿?

## Variables locales

- Las variables locales se definen en la pila después del prólogo reservando la memoria necesaria. Esto se realiza moviendo el stack pointer tantos bytes como ocupen las variables locales

## Recuperación de los Argumentos

- Pasar los argumentos de la pila a un registro para poder ser utilizados. Por ejemplo a los registros ECX y EDX en el caso de tener sólo 2 argumentos.

## Fin de la subrutina: Epílogo

- El epílogo consiste en desactivar el frame de la subrutina, activar el frame de la rutina que realizó la llamada y saltar a la dirección de retorno.
- Desactivar el frame de la subrutina: Que el sp apunte a la misma dirección que el bp.
- Activar el Frame de la rutina: Actualizar el bp con el valor anterior al de la subrutina.
- Saltar a la dirección de retorno: El sp ha de estar apuntando a donde se encuentra la dirección de retorno antes de ejecutar la instrucción `ret`
- Código del epílogo:

```
XXX XXX  
mov %ebp,%esp  
push %ebp  
ret
```

- las instrucciones del epílogo son el proceso inverso del prólogo
- Estado de la pila: → ¿?

## Valor de retorno

- El valor de retorno no se pasa a través de la pila, se pasa a través del registro EAX

## Preservación de los registros

- Es necesario preservar los registros EAX, ECX y EDX antes de llamar a la subrutina: la subrutina podrá utilizarlos libremente
- Es necesario preservar los registros EBX,ESI,EDI,ESP,EBP en caso de ser utilizados por la subrutina. Su valor ha de ser el mismo antes y después de la llamada a la subrutina.

# Anidamiento de llamadas a funciones: FRAME RECURRENTE

- Comprender completamente [La Animación de Recursión](https://diveintosystems.org/book/C8-IA32/recursion.html) [<https://diveintosystems.org/book/C8-IA32/recursion.html>]: Analizar la función sumr en C y en ASM. Bajar al apartado 8.6.1. Animation: Observing How the Call Stack Changes.
- Ejercicio: Desarrollar el código "sum1toN.s" como subrutina recursiva

## Ejemplo: Subrutina sumMtoN.s

- Código:

```
## Subrutina sumMtoN.s
### Descripción: el shell de linux llama a la función main() y este llama a la
subrutina suma()
    el shell de linux pasa a main() los strings de la línea de comandos
pero aquí no se utilizan
    main() se va a definir como una subrutina (prologo,epilogo,etc ...)
    suma() tiene dos argumentos M y N y calcula la suma de números enteros desde
M hasta N
###
### gcc -m32 -o sumMtoN sumMtoN.s
### Ensamblaje as --32 -o sumMtoN.o sumMtoN.s
### linker -> ld -e main -melf_i386 -I/lib/i386-linux-gnu/ld-linux.so.2 -o sumMtoN
sumMtoN.o

### manual de instrucciones x86 -> https://www.felixcloutier.com/x86/

.section .data
M: .byte 3
N: .byte 10
resultado: .byte 0

## el shell de linux llama a main()
## el shell como función llamante ha preservado eax, ecx y edx

.global main
.section .text
main:
## prologo de main
push %ebp
mov %esp,%ebp
## variable local de main
sub $4,%esp
## como función que ha sido llamada por el shell preserva ebx, esi y edi para el
shell
    push %edi
    push %esi
    push %ebx
```

```

## capturar argumentos de la funcion llamante (linea de comandos del shell)
## en este caso no utilizo los argumentos
## podría procesar los argumentos del shell y utilizar cualquiera de los registros
eax,ebx,ecx,edx,esi,edi
## en este caso no hay proceso

## Voy a llamar a suma() y empiezan los preparativos
## preservar los registros que puede utilizar suma() libremente
push %edx
push %ecx
push %eax

## pasar los argumentos a suma()
movb N,%ecx ## segundo argumento
    push %ecx
movb M,%edx ## primer argumento
    push %edx

## Llamar a la subrutina
call suma

## Guardar el resultado de suma()
movb %al,resultado

## recuperar los registros salvados antes de la llamada suma()
pop %eax
pop %ecx
pop %edx

## podría procesar los datos y utilizar cualquiera de los registros
eax,ebx,ecx,edx,esi,edi y la variable resultado
## En este caso no proceso nada, tengo el resultado en AL

## Finalizo la funcion main() como toda subrutina retornando a la función
## llamante, en este caso el shell de linux
## como funcion que ha sido llamada por el shell recupera ebx, esi y edi para
el shell
    pop %ebx
    pop %esi
    pop %edi

## Retorna un valor al shell a traves de EAX por CONVENIO
movb resultado,%al

## epilogo de main
mov %ebp,%esp      # frame anterior
pop %ebp

ret

```

```
### Funcion que calcula la suma de numeros de enteros en la secuencia entre dos
limites dados
.type suma, @function
.section .text
suma:
## Pasos iniciales antes del procesamiento de los argumentos de suma()
## prologo: genera un nuevo frame para suma()
push %ebp
movl %esp,%ebp

# una variable local de 4 bytes para suma()
subl $4,%esp

## preserva los registros utilizados por main()
push %edi
push %esi
push %ebx

## captura de argumentos de la función suma()
movb 8(%ebp),%al      #1º argumento
movb 12(%ebp),%cl     #2º argumento

## algoritmo de la subrutina suma(): suma desde el 1º arg hasta el 2º arg
## se pueden utilizar cualquiera de los registros eax,ebx,ecx,edx,esi,edi
## utilizo "al" como suma parcial y "bl" como sumando
movb %al,%bl
bucle:
inc %bl
addb %bl,%al
cmpb %bl,%cl
jg bucle

## el resultado esta en AL por CONVENIO

## Comienza el retorno a la función llamante main()
## recupera los registros salvados para main()
pop %ebx
pop %esi
pop %edi

## epilogo
mov %ebp,%esp          # frame anterior
pop %ebp
ret                   # recuperar dirección de retorno

.end
```

# Ejercicio

- [sumMtoN\\_preservar.s](#) [./as\_code/sumMtoN\_preservar.s]
  - Convertir el bloque sumMtoN en una subrutina
- [recursion.c](#) [./as\_code/recursion.c]
  - Convertir la función recursion.c en una subrutina recursiva

## LLamadas al Sistema

### Funciones del sistema

- Privilegios del sistema, no del usuario: acceso al hardware (por ejemplo acceder a la pantalla para imprimir una imagen , acceder al disco para escribir un fichero, arrancar o finalizar un proceso, etc ...)
- Volcar el contenido de la cabecera "/usr/include/asm/instd\_32.h"

```
exit 1
fork 2r
open 5
close 6
```

## LLamada y pase de los argumentos

- El código de identificación de la función se pasa a través del registro EAX
- Los argumentos de la función se pasan a través de los registros EBX,ECX,EDX,ESI,EDI,EBP y en ese orden.
- La llamada se realiza con la instrucción **int \$0x80**
- Ejemplo con el servicio "exit":

```
mov $1,%eax
mov $0,%ebx
int $0x80
```

- Ejercicio: código ensamblador con servicio "write" según el prototipo del manual "man 2 write"

## Ejercicios Propuestos Temas 1-6

- En los apuntes [on line](#) [[https://kandido.github.io/eecc\\_book.html](https://kandido.github.io/eecc_book.html)], en la sección III de "Ejercicios de Teoría" se invita a realizar como mínimo los ejercicios especificados en la "Lista mínima de ejercicios" de los cuales en clase se realizarán los siguientes:
  - Arquitectura de Von Neumann: 1.1,1.2,1.3,1.4 y 1.6 (no programar en lenguaje ensamblador IASSim)
  - Representación de los Datos: 2,3,4 y 5
  - Programación en Lenguaje ensamblador AT&T: 1.1, 1.2, 2.2.

# Ejercicios de Prácticas I

- Datos:
  - Todos los números enteros de todos los ejercicios tendrán un tamaño de 2 bytes.
  - Dado el string "The United Nations Convention on the Rights of the Child is an important agreement by countries who have promised to protect children's rights." contar el número de veces que aparece la letra "a"
  - Dado el array de números enteros: 0xFFFF,0x03,0x7FA0,0x87BC,0xBA34,0xFA,0x732 buscar el número con el valor negativo de menor módulo
  - Dado el array lista\_A : 12,-33,45 y el array lista\_B: 76,89,-65 generar el array lista\_D suma de los elementos de lista\_A y lista\_B
  - Dado el array lista\_A : 12,-33,45 y el array lista\_B: 76,89,-65 generar el array lista\_C formado el encadenamiento de lista\_A y lista\_B
- Llamadas al Sistema
  - Imprimir en la pantalla el mensaje "Hola Mundo" mediante un programa en asm at&t:
    - Mediante las funciones de C printf y puts según los prototipos de los manuales "man 3 printf" y "man 3 puts"
    - Mediante la función del sistema "write" según el prototipo del manual "man 2 write"

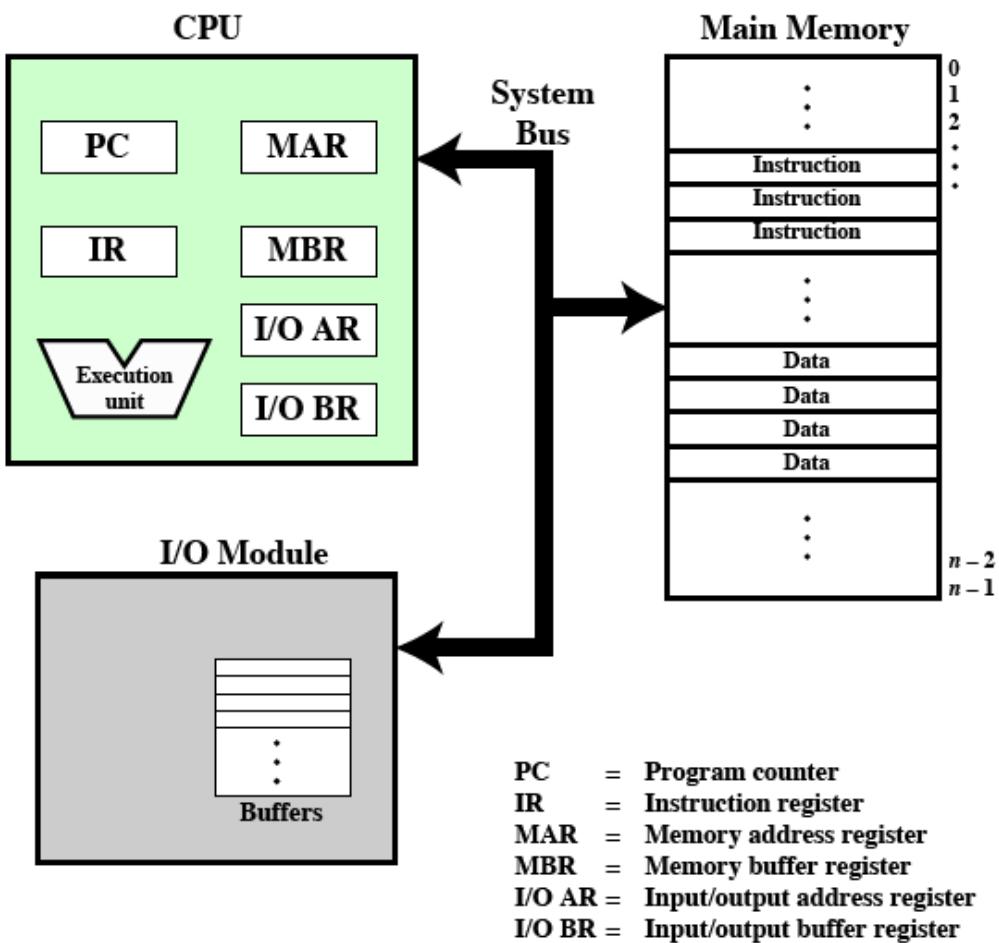
## Tema 3 Representación de los Datos: Números Reales

## Tema 7 Unidad Central de Proceso

- Introducción
- Fases de ejecución de una instrucción
- Ruta de datos
- Segmentación
- Arquitecturas CISC, RISC y VLIW
- Conjunto de instrucciones

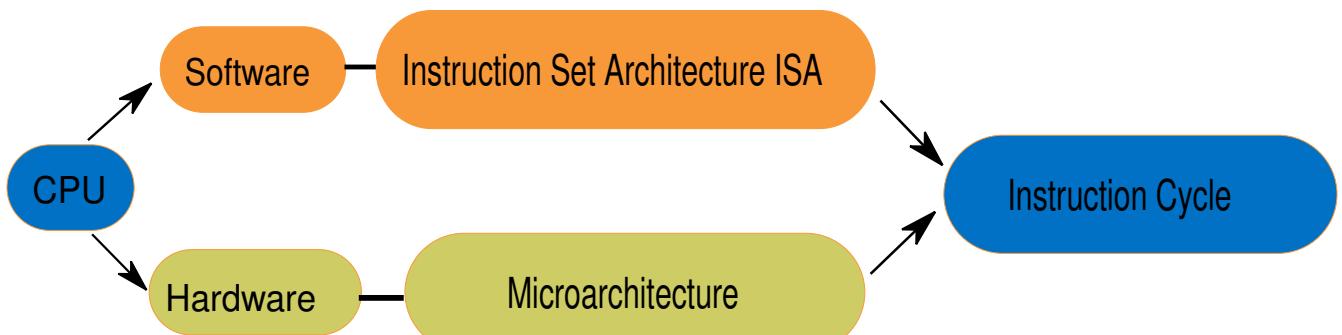
## Introducción

- El objetivo principal de la CPU es la implementación del ciclo de instrucción. Es el soporte hardware para poder llevar a cabo todas las operaciones que conllevan las instrucciones de un programa.
- Nombres: Procesador, microprocesador (El componente electrónico básico es el transistor con un tamaño en sus orígenes del orden de la micra), ..
- Central porque la computadora tiene varios procesadores: Por ejemplo el controlador de la memoria y los controladores de los periféricos.
- La CPU es una de las unidades básicas que conforman la arquitectura Von-Neumann (CPU-MP-IO) y Buses.



Logo 1. IAS\_Architecture

## Puntos de Vista: SW vs HW



Logo 2. Puntos de Vista: SW y HW

## Puntos de Vista: SW vs HW

- La CPU se puede ver desde el punto de vista del **programador** o desde el punto de vista del diseñador de procesadores (microarquitectura)
- Desde el punto de vista del programador interesa conocer:
  - La Arquitectura del Repertorio de Instrucciones (ISA): Formatos de datos e instrucciones, operaciones, modos de direccionamiento, registros, direccionamiento de la memoria, alineamiento de los datos, etc
  - Modos de Funcionamiento de la CPU: modo superusuario, modo usuario, modo interrupción.

- Desde el punto de vista de la Microarquitectura u organización interna de la CPU.
  - Las unidades básicas de la CPU son: Unidad de Control (UC), y la Ruta de Datos (ALU,FPU,MMU,Registros y circuitos de enrutamiento como multiplexores, conmutadores, etc).
  - La Unidad de Control se encarga de la gestión de las operaciones a realizar, mediante microórdenes, para completar el ciclo de instrucción. Electrónicamente es un circuito digital secuenciador cuyas secuencias son las fases del ciclo de instrucción.
    - Las microórdenes son señales digitales binarias.

## Fases de ejecución de una instrucción

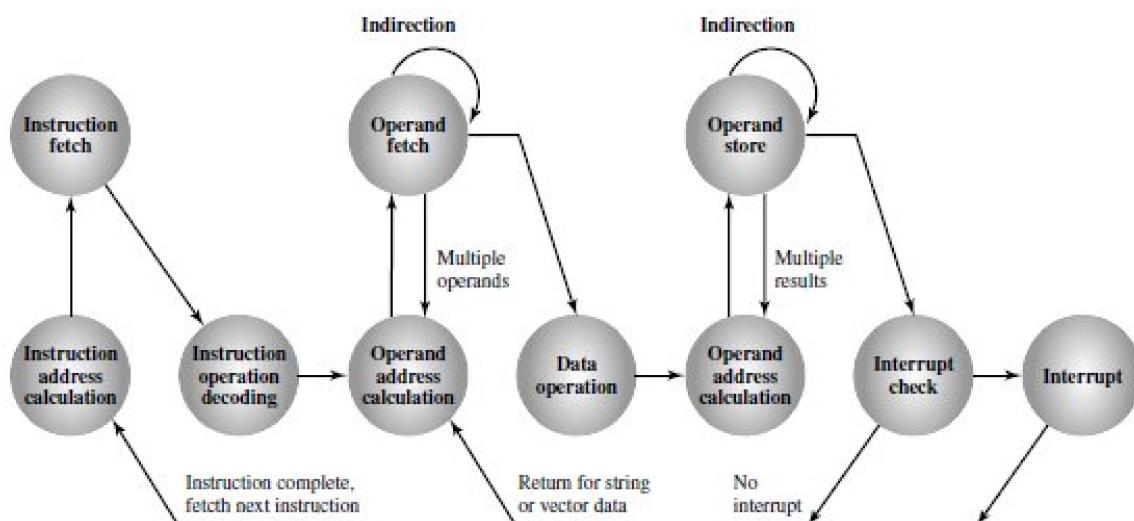


Figure 12.5 Instruction Cycle State Diagram

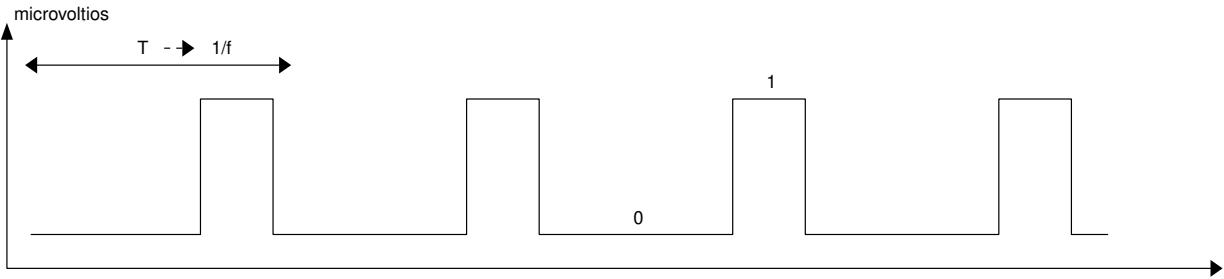
Logo 3. Diagrama de Estados del Ciclo de Instrucción

I-nstruction and O-operand

I-Fetch / I-Decode / O-Fetch / I-Execute / O-Write / I-Interrupt / Next-I

## Sincronismo de las operaciones: señal de reloj

- Señal de Reloj: Señal binaria (niveles 0 y 1) periódica (cada ciclo de la señal se repite)
- Físicamente es una señal electrónica: puede ser una tensión (microvoltios) ó una corriente (microamperios)



- Flancos de reloj: Cambio de nivel 0→1 (positivos) o 1→0 (negativos)
- El reloj se utiliza para poder sincronizar las operaciones de los circuitos electrónicos
  - Pej : instantes en que cambian las salidas de un registro
  - Pej : instantes en que cambian las salidas de la memoria
  - Pej : instantes en que cambian las microórdenes de la unidad de control
- El objetivo es facilitar el diseño de los circuitos electrónicos digitales con que se implementan

## Unidad de Control y Ruta de datos

- Primero diseñaremos la Ruta de Datos de cada Instrucción y finalmente la Unidad de Control que gestiona la ruta de datos de cada instrucción
- Es necesario diseñar una ruta de datos diferente para cada instrucción y una única Unidad de Control para todas las instrucciones

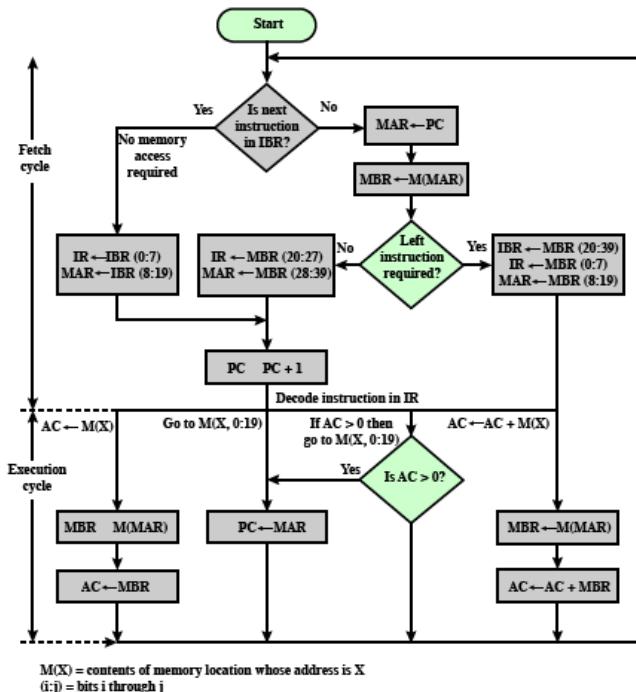
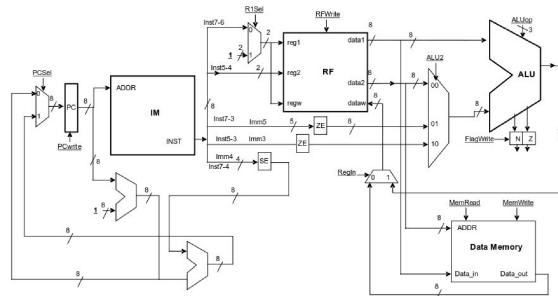


Figure 2.4 Partial Flowchart of IAS Operation

Logo 4. IAS Operation

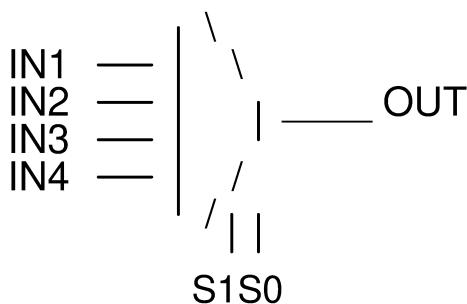
## Rutas de Datos



Logo 5. Data Path Single Cycle

## Rutas de Datos

- Los bloques que forman parte de la ruta de datos se encuentran interconectados uno a uno mediante hilos (pistas o cables)
- En la imagen se distinguen los hilos de la ruta de datos de los nombres de las microoperaciones (subrayados)
- Inst7-6 : son los bits 7-6 del campo de operación para cada instrucción → Dependiendo del valor de estos dos bits la ruta de datos cambia
- InstM-N: son la secuencia de bits M(M-1) hasta N del campo de operaciones para cada instrucción. Mismo concepto que para Inst7-6
- Función del multiplexor:
- se conecta sólo una de las 4 entradas a la salida. La entrada INx se selecciona con S1S0



## Unidad de Control: Microoperaciones y Ruta de Datos

- La Unidad de Control gobierna la ruta de datos para completar todas las fases del ciclo de instrucción de cada instrucción ISA
- Microoperaciones: operaciones realizadas por la CPU internamente, al ejecutar cada fase del ciclo de instrucción de una Instrucción Máquina.

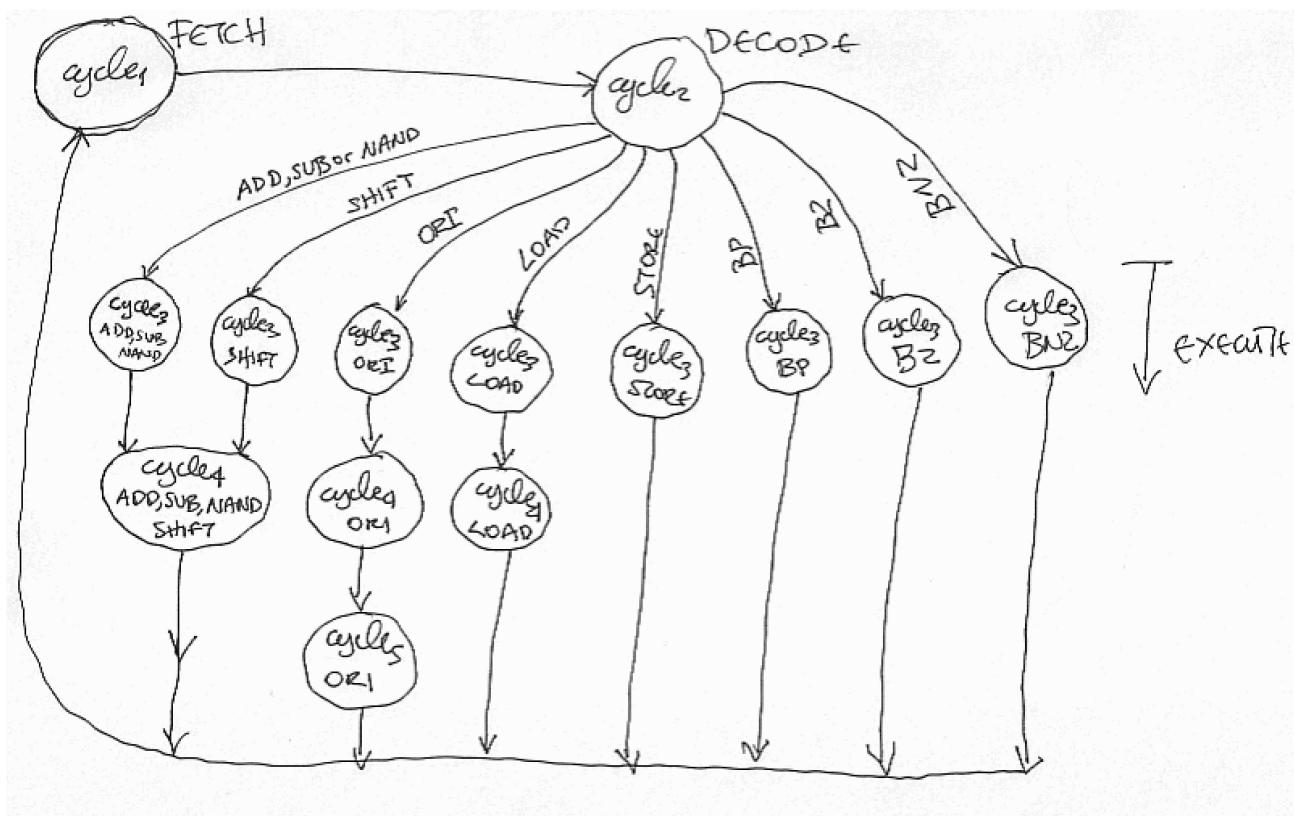
- Ejemplos de microoperaciones: escribir en el registro MAR, orden de lectura a la MPrincipal, leer de MBR, interpretar de IR, incrementar PC, etc
- Microoperaciones síncronas con el flanco positivo del reloj del secuenciador (unidad de control) de la cpu

## Unidad de Control: Secuenciador o Máquina de Estados Finitos

INSTRUCTION	Inputs			Outputs									
	INST0-3	N	Z	PCSel	PCWrite	RegWrite	MemRead	R1Sel	MemWrite	ALU2	RFin	ALUop	
LOAD	0000	X	X	0	1	1	1	0	0	X	1	XXX	
STORE	0010	X	X	0	1	0	0	0	1	X	X	XXX	
ADD	0100	X	X	0	1	1	0	0	0	00	0	000	
SUB	0110	X	X	0	1	1	0	0	0	00	0	001	
NAND	1000	X	X	0	1	1	0	0	0	00	0	011	
ORI	X111	X	X	0	1	1	0	1	0	01	0	010	
SHIFT	X011	X	X	0	1	1	0	0	0	10	0	100	
BZ	0101	X	0	0	1	0	0	X	0	X	X	XXX	
	0101	X	1	1	1	0	0	X	0	X	X	XXX	
BNZ	1001	X	0	1	1	0	0	X	0	X	X	XXX	
	1001	X	1	0	1	0	0	X	0	X	X	XXX	
BPZ	1101	0	X	1	1	0	0	X	0	X	X	XXX	
	1101	1	X	0	1	0	0	X	0	X	X	XXX	

- El circuito electrónico controlador es un secuenciador digital síncrono o máquina de estados finitos
- La tabla presenta las entradas y salidas del secuenciador para cada instrucción
- Las entradas del secuenciador son: el código del campo de operaciones de la instrucción, el código del registro de flags, la etapa del ciclo de instrucción y el RELOJ.
- La salida es el conjunto de microoperaciones para esa entrada que cambiará sincronamente con el RELOJ.

## Unidad de Control: Secuenciador o Máquina de Estados Finitos



- Cada instrucción tiene su propia secuencia
- En cada fase será necesario ejecutar las microoperaciones para completar dicha fase
- La unidad de control se diseña para que cada fase se complete en un ciclo de reloj

## Unidad de control: micro-operaciones

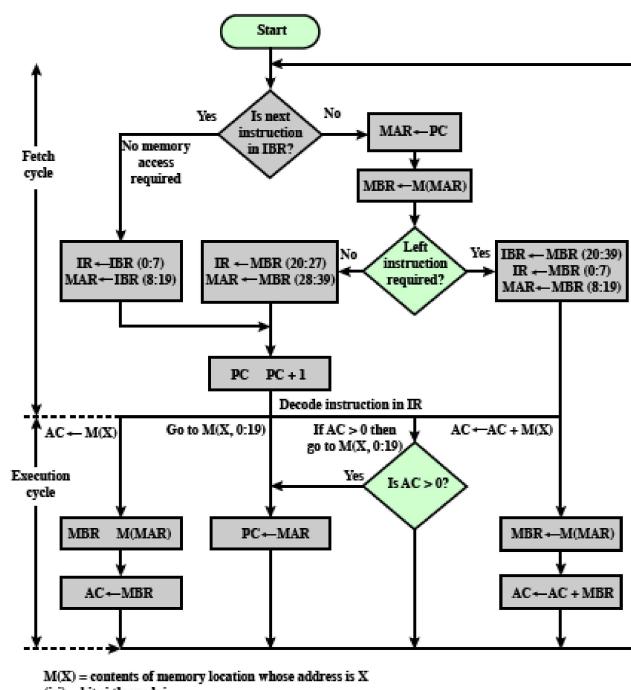


Figure 2.4 Partial Flowchart of IAS Operation

Logo 6. IAS Operation

# Microarquitecturas: RISC y CISC

- CISC: Complex Instruction Set Computer
  - Intel
  - elevado número de códigos de operación
  - instrucciones máquina que realizan operaciones "complejas" y múltiples modos de direccionamiento complejos
  - Ventajas: fácil de compilar, módulo binario reducido
  - Inconvenientes: Unidad de Control compleja, alto consumo y elevado coste
  - Aplicación : servidores
- RISC: Reduced Instruction Set Computer
  - ARM
  - reducido número de códigos de operación
  - operaciones "sencillas" y modos de direccionamiento sencillos
  - Ventajas: unidad de control sencilla, bajo consumo y bajo coste
  - Inconvenientes: no puede competir en número de procesos a ejecutar y a alta velocidad,
  - Aplicación: computación portátil

## Microarquitectura Segmentada

- Pipeline → tuberías
- Ejemplo de la cadena para la limpieza automática de coches
- Múltiples fases del ciclo de instrucción ejecutándose simultáneamente: paralelismo
- Calcular el Throughput: instrucciones ejecutadas por unidad de tiempo

## Arquitectura VLIW vs Superscalar

- VLIW: Very Large Instruction Word
- Superscalar
- Múltiples Unidades de Ejecución: ¿Cómo se distribuyen las instrucciones para cada Unidad de Ejecución?

## Investigar la microarquitectura del ordenador personal

- Herramientas

## Tema 8: Mecanismos de Entrada/Salida

## Tema 9: Unidad de Memoria

### Introducción

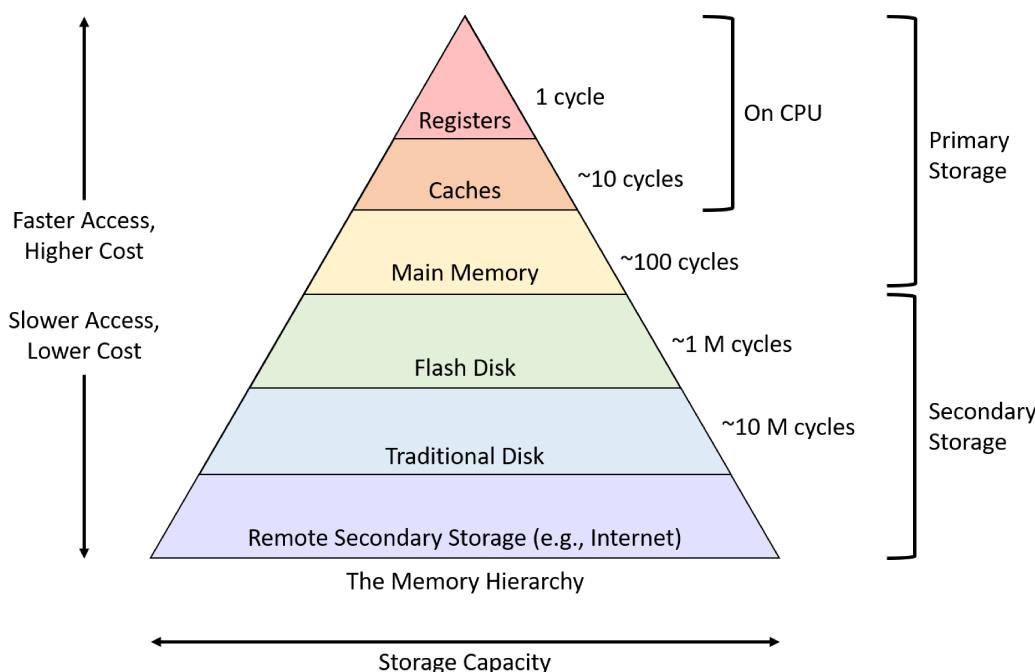
- ¿Qué hemos visto relacionado con la Memoria de una Computadora ?

- John von Neumann 1950 : Computadora con programa almacenado
  - Unidad de Memoria: programación binaria → Instrucciones máquina y datos
  - Arquitectura von Neumann: CPU+Unidad de Memoria+I/O+buses
- Memoria: Registros de la CPU y Memoria Principal (Externa a la CPU)
- Ciclo de Instrucción: Captura de Instrucciones y Operandos de la Memoria Principal
- Objetivo de la Memoria Principal:
  - Aumentar la Capacidad de Almacenamiento: En las computadoras multiproceso se ejecutan simultáneamente múltiples programas (centenares) que han de estar accesibles a la CPU.
  - Reducir la Latencia (tiempo de acceso o captura): Hay instrucciones que la cpu ejecuta en un ciclo de reloj (del orden de 1 ns) y el tiempo de captura de la instrucción o dato es del orden de 100 ciclos de reloj.

## Perspectivas de estudio

- La memoria es estudiada desde puntos de vista diferentes dependiendo del entorno de estudio.
- Sistemas Operativos: Gestor de Memoria Virtual
- Compilador, Linker,...: secciones de memoria ( datos, instrucciones, pila, ...), resolución de direcciones de etiquetas, etc
- ISA: etiquetas, modos de direccionamiento, tamaño de los datos, instrucciones de movimiento de bloques de datos, directivas, etc
- Programador: Variables ordinarias, arrays, estructuras de datos, etc
- Hardware: Organización y Estructura de la Memoria

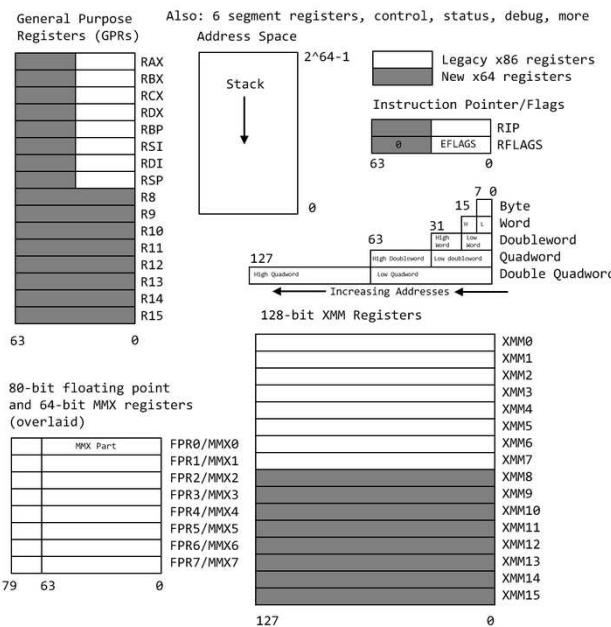
## Jerarquía de Memoria



Logo 7. Jerarquía de Memoria

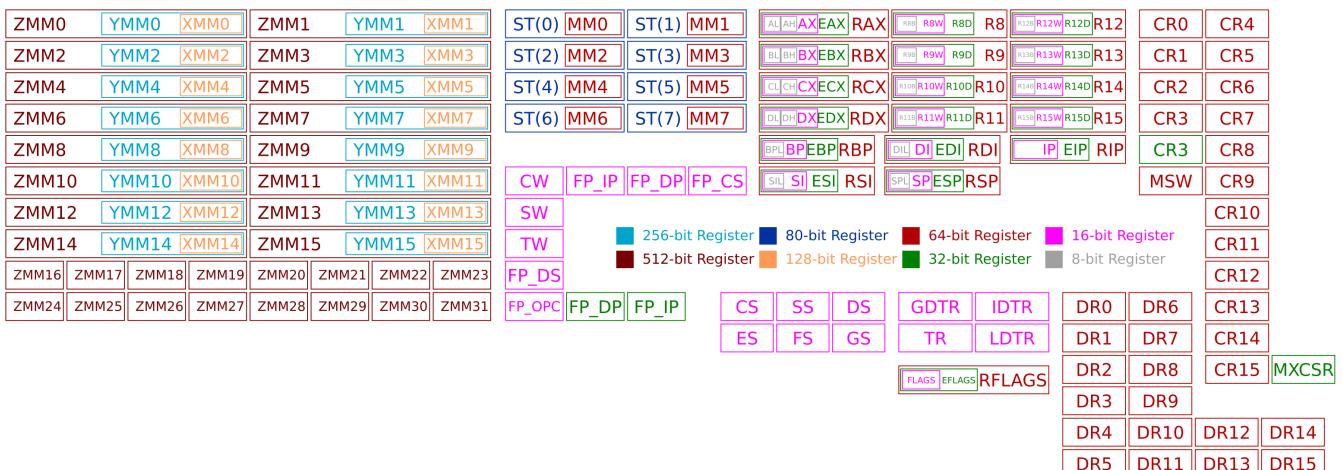
- Capacidad vs Latencia
- Concepto de Caching

# Registros



Logo 8. Registros x86

# Registros



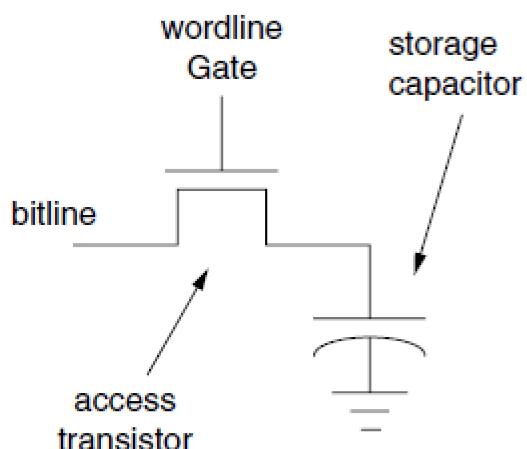
Logo 9. Registros arquitectura amd64

# Memoria de Semiconductor

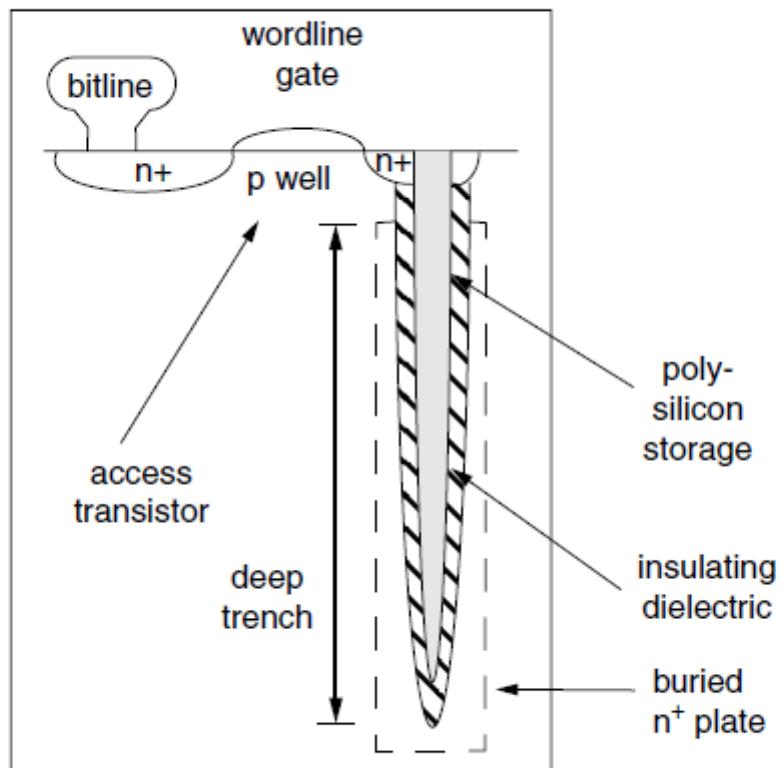
Memory Type	Category	Erasure	Write Mechanism	Volatility
Random-access memory (RAM)	Read-write memory	Electrically, byte-level	Electrically	Volatile

Memory Type	Category	Erasure	Write Mechanism	Volatility
Read-only memory (ROM)	Read-only memory	Not possible	Masks	Nonvolatile
Programmable ROM (PROM)			Electrically	
Erasable PROM (EPROM)	Read-mostly memory	UV light, chip-level		
Electrically Erasable PROM (EEPROM)		Electrically, byte-level		
Flash memory		Electrically, block-level		

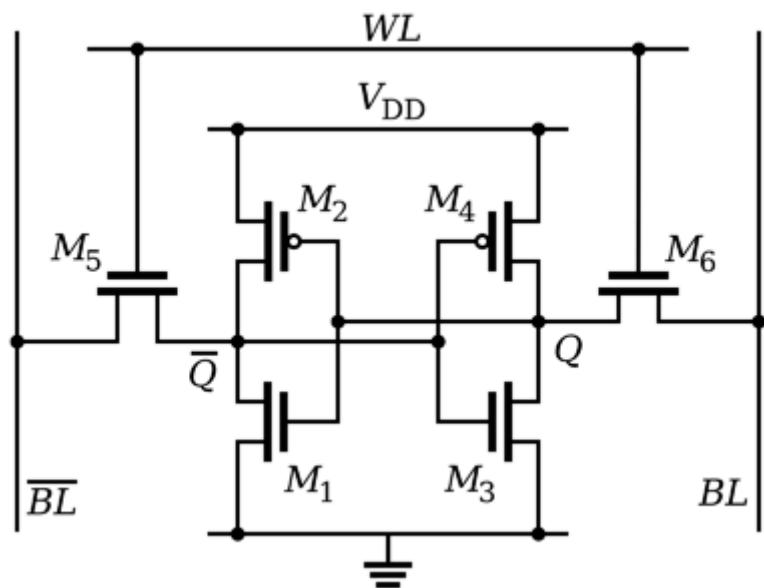
## Memoria RAM Dinámica: Celda DRAM



- Celda DRAM: 1 Transistor (14nm) y 1 Condensador (3nm)
- Celda de área reducida y bajo consumo → alto nivel de integración → Memoria Principal
- Fugas de carga del condensador: necesidad de reescritura (Refresco) → Estado Dinámico



## Memoria RAM eStática: Celda SRAM

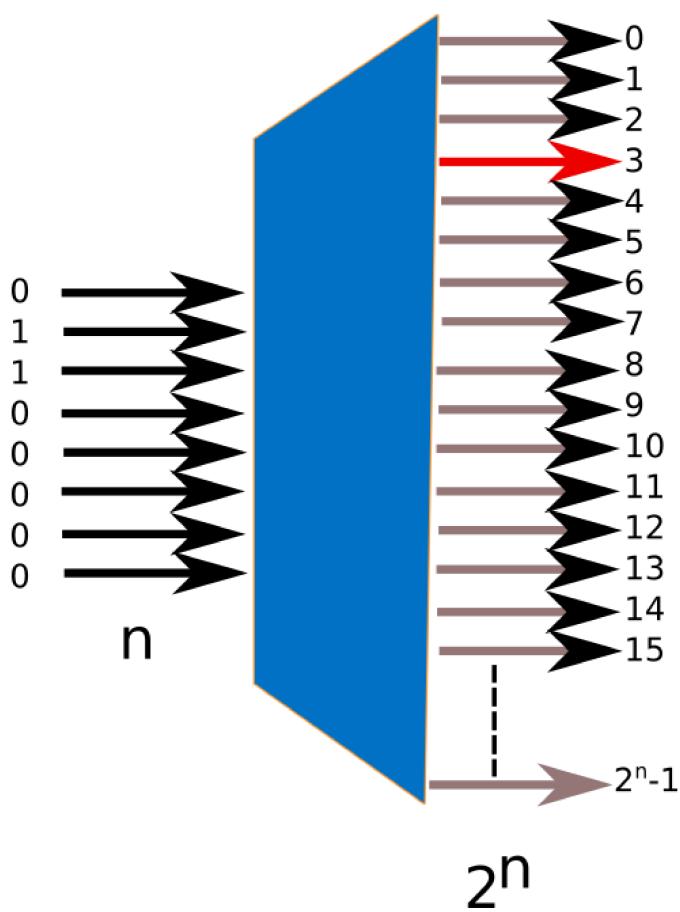


Logo 10. SRAM-cell

- Celda SRAM : 6 Transistores
- Memoria Caché: latencia reducida
- Sin fugas: Estado Estático

## Memoria DRAM: Demultiplexor

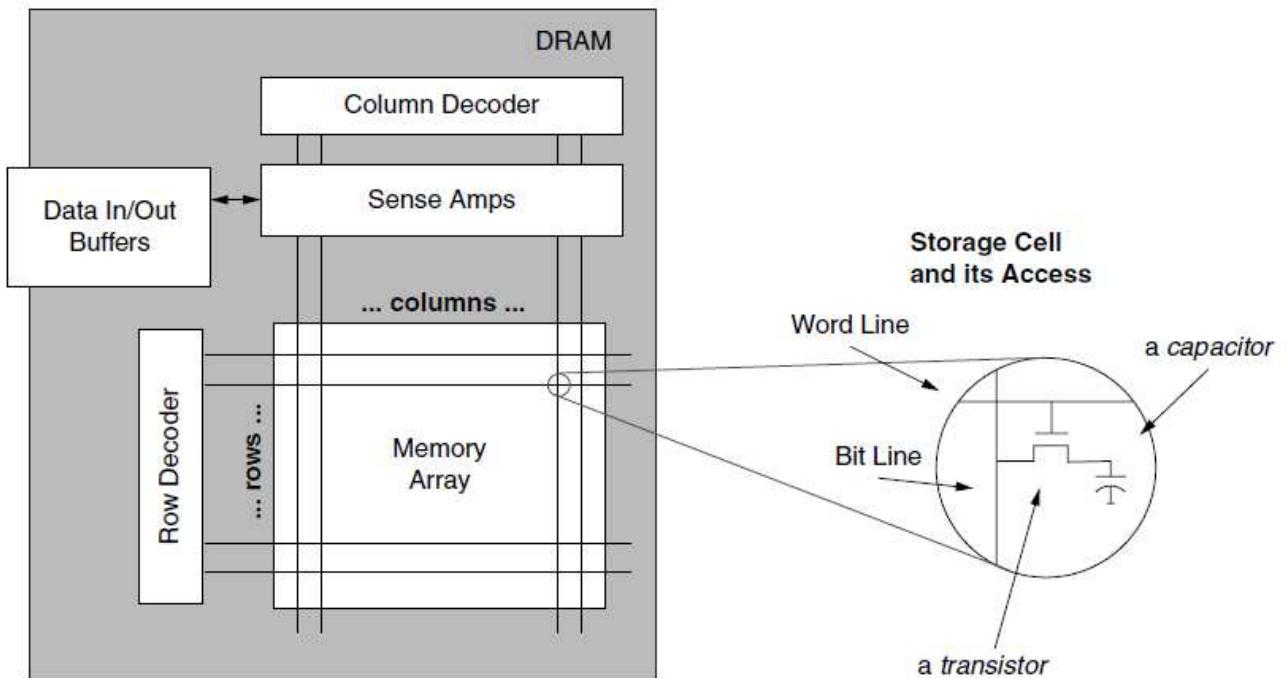
- ¿Cómo se pueden organizar y estructurar miles de millones de celdas?
- Una memoria con un bus de direcciones de 30 hilos qué decodificador necesitaría?
  - Con 30 hilos se pueden direccionar  $2^{30}$  bits
  - Entrada binaria: 30 hilos
  - Salida decimal:  $2^{30} = 1.073.741.824$  salidas → IMPOSIBLE DE FABRICAR en un chip



Logo 11. Demultiplexor del bus de Direcciones

## Memoria DRAM: Array Bidimensional

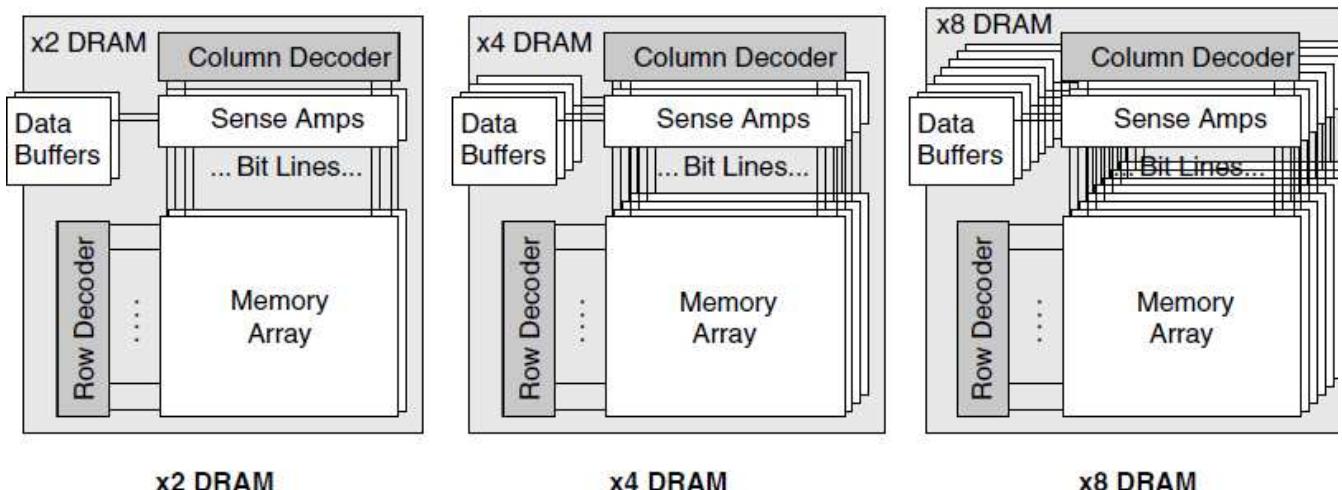
- Solución
  - $2^{30} = 2^{15} * 2^{15}$
  - $2^{15} = 32.768$
  - La solución son dos multiplexores de 15 entradas y 32.768 salidas cada uno.
  - La organización de las celdas es una matriz de dos dimensiones. Filas y Columnas cuya intersección es una celda de memoria.
  - De los 30 hilos del bus de direcciones 15 son la entrada del multiplexor de Filas y las otras 15 del multiplexor de columnas
- Otros Componentes: Amplificador de Salida y Buffer I/O de datos



Logo 12. Array 2D

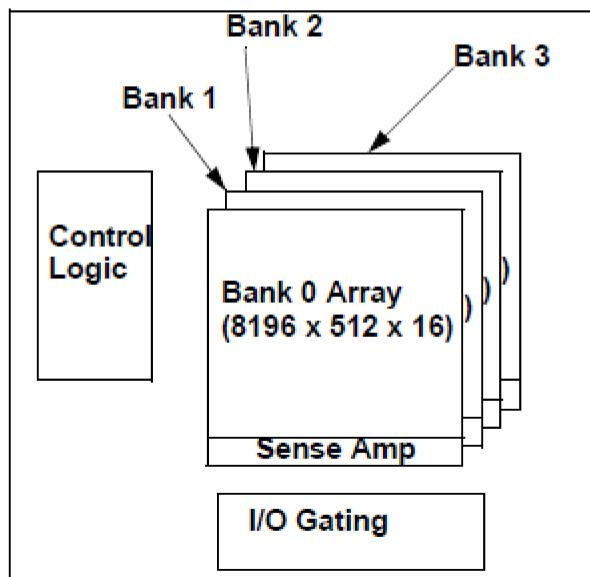
## Memoria DRAM: Banco

- Con un Array tenemos datos de un sólo bit
- Mediante el agrupamiento de N arrays tenemos datos de N bits → xN
- Agrupando múltiples arrays organizamos las celdas de memoria en 3 dimensiones
- Un agrupamiento de arrays recibe el nombre de **Bank**



## Memoria DRAM: Chip

- Un chip de memoria consiste en el agrupamiento de múltiples Bancos
- Un chip de memoria tiene un **Buffer I/O** para todos los bancos. Almacena el dato a escribir o leer
- El tamaño del Buffer I/O se indica mediante el prefijo xN

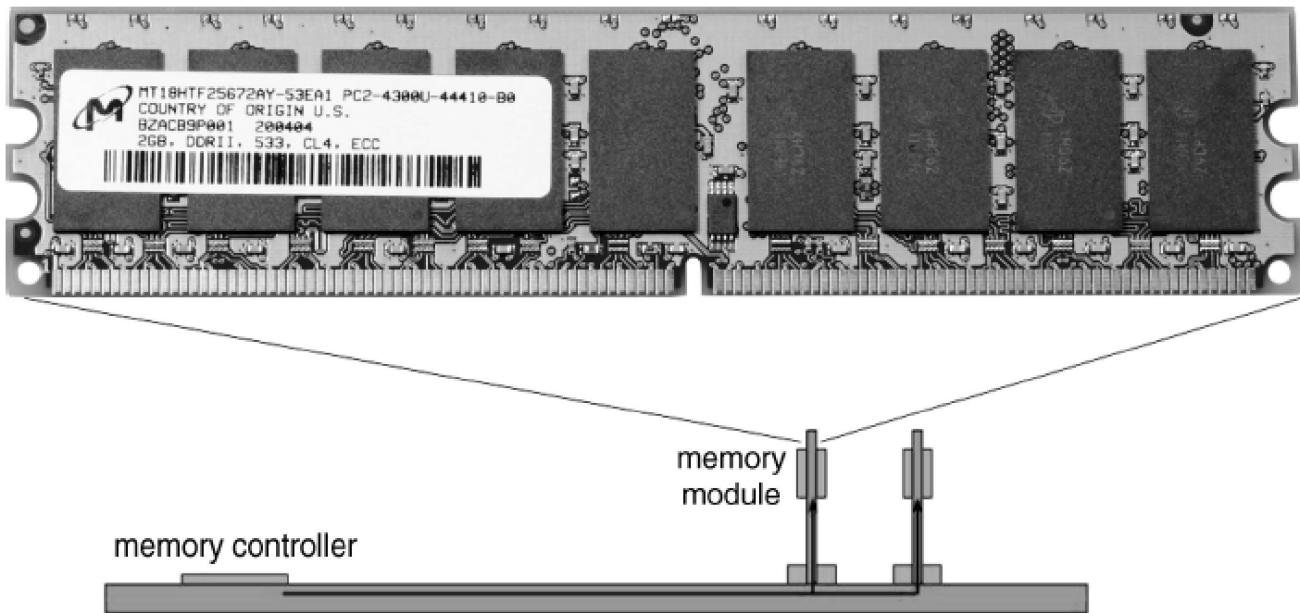


Logo 13. Chip

## Memoria DRAM: Ejemplo de un Chipx16

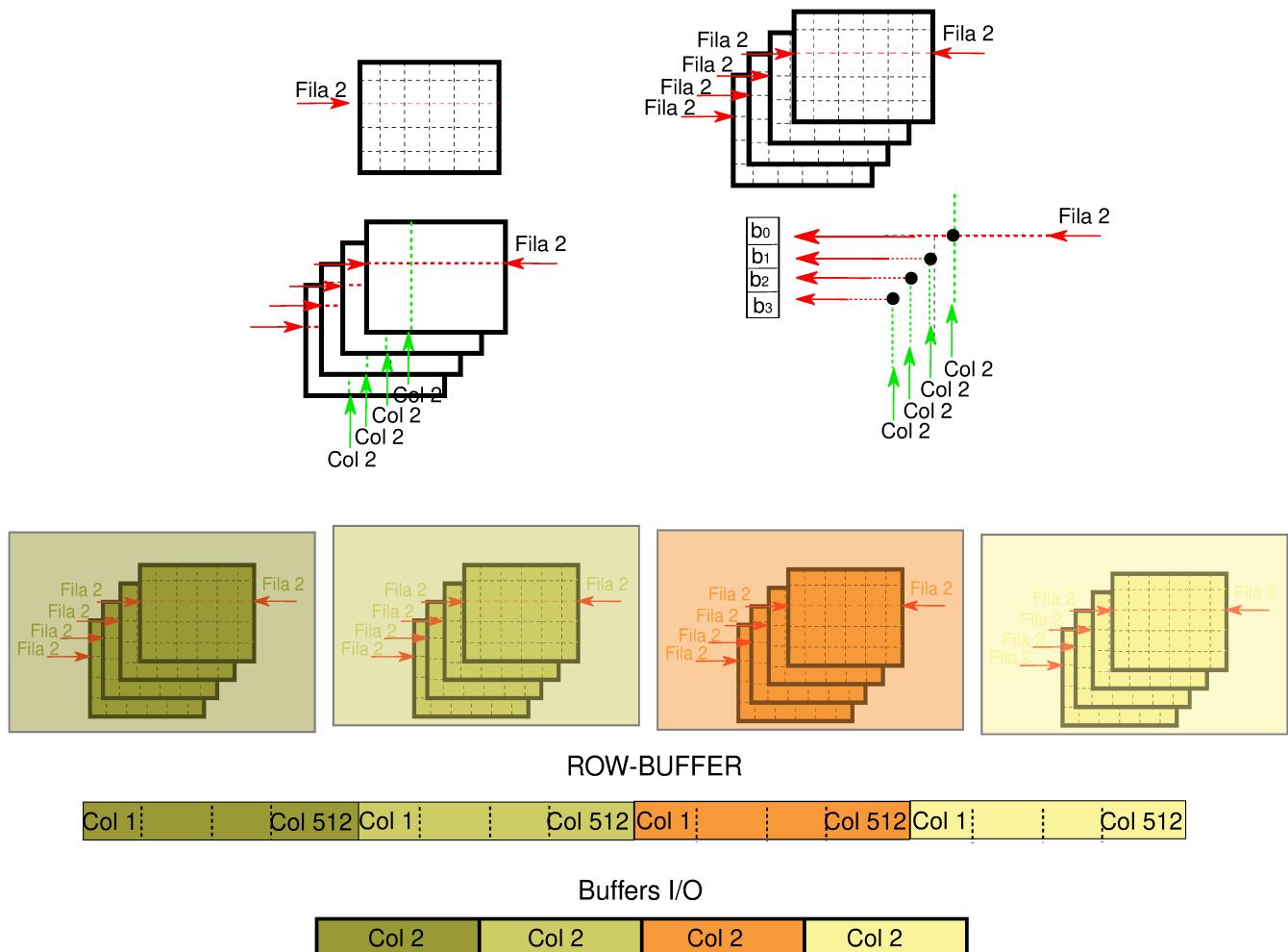
- Control Logic: Circuitería para Direccionamiento, Lectura, Escritura, Refresco, ...
- Un banco  $\rightarrow$  3D:  $8196 \times 512 \times 16 \rightarrow$  Filas x Columnas x N°\_de\_Arrays/Banco  $\rightarrow 2^{13} \times 2^9 \times 16$ 
  - Demultiplexor del direccionamiento de Filas : 13 entradas y 8196 salidas
  - Demultiplexor del direccionamiento de Columnas: 9 entradas y 512 salidas
  - Capacidad de Memoria del Banco:  $2^{22} \times 16\text{bits} = 2^{22} \times 2^1\text{Bytes} = 2^{23}$  Bytes =  $2^3 \times 2^{20} = 8\text{MB}$
  - Bus de direcciones:  $2^{23} \rightarrow 23$  hilos
  - **Espacio de Direcciones**  $\rightarrow$  (Fila,Columna)  $\rightarrow$  Se seleccionan 2 Bytes de forma NO Lineal.
- **Ejemplo:** Dirección Lineal 0x7A4E6B de un byte
  - Espacio no lineal: (Fila 111-1010-0100-11 , Columna 10-0110-1010)  $\rightarrow$  (0x1E93 , 0x26B)
  - Se seleccionan 2 bytes para las direcciones lineales 0x7A4E6A y el 0x7A4E6B ubicados en la posición (0x1E93 , 0x26B) del Banco
- Chip
  - Buffer i/o del chip= 16 bits de datos = 2Bytes
  - Capacidad de Memoria del chip: 4 Bancos x 8MB = 32MB
  - Espacio de direcciones NO lineal (**Banco,Fila,Columna**)
  - La lógica electrónica del Chip debe de realizar la conversión: espacio lineal  $\rightarrow$  espacio no lineal

## Memoria DRAM: Tarjeta ó Módulo DIMM



- DIMM: Dual In-Line Memory Module : Chips por las dos caras de la tarjeta

## Row Buffer

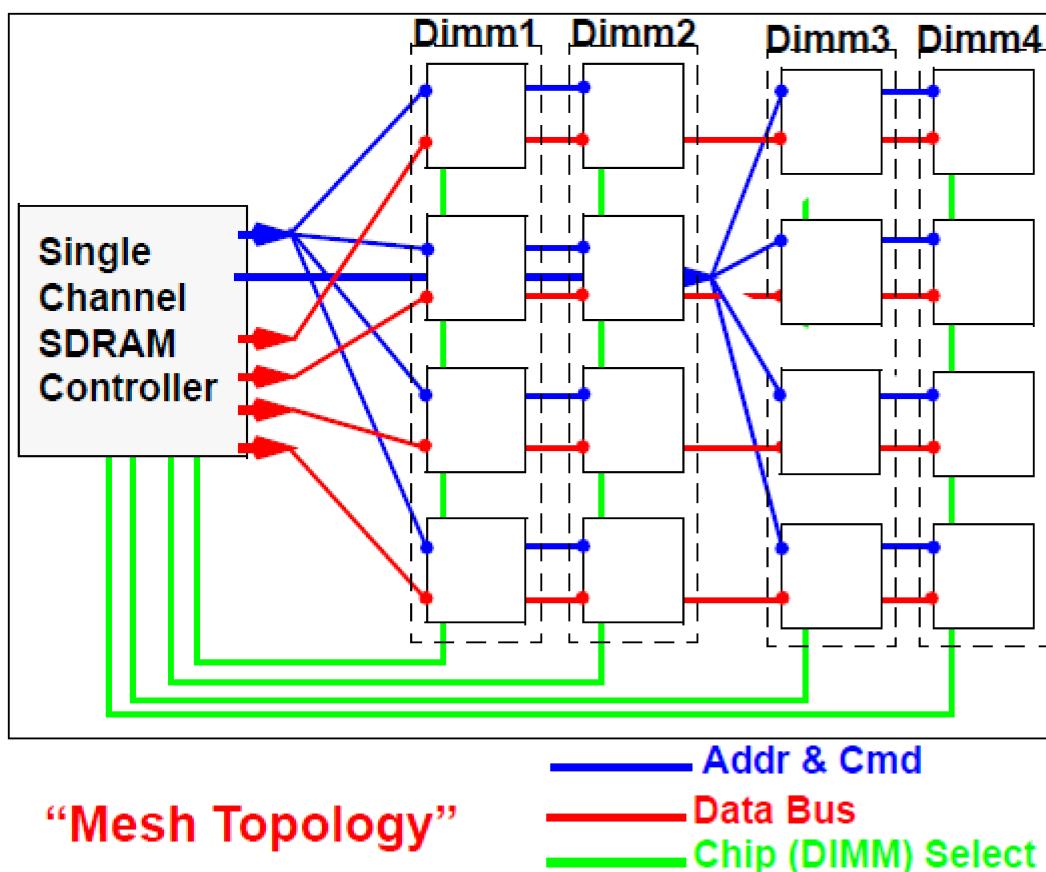


## Row Buffer

- Actúa como caché dentro del propio módulo de memoria DRAM
- Capturas sucesivas de operandos → no es necesario volver a leer los condensadores
- Optimización al programar estructuras de datos

## Memoria DRAM: Rank

# Memory System Organization



Chip Select: Activa los chips para que se conecten a los buses

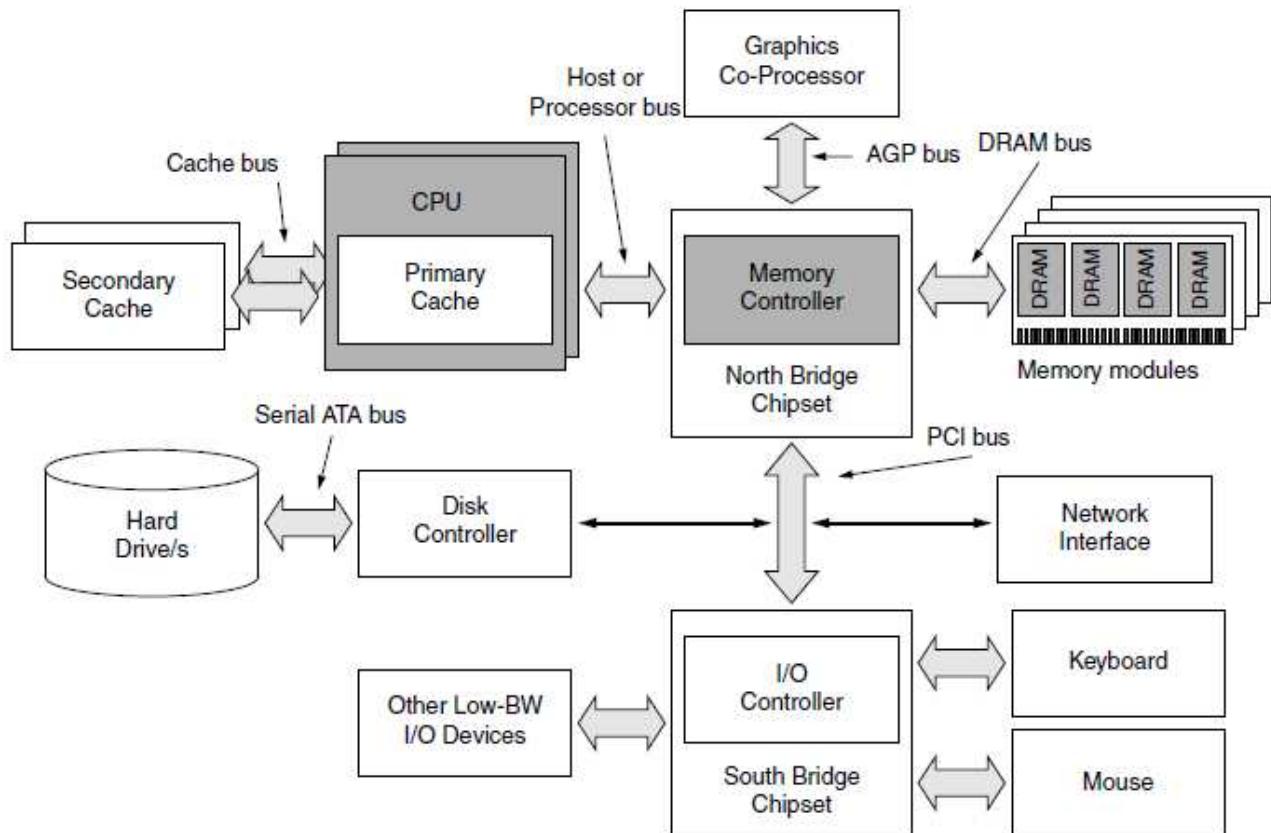
## Espacios de Direcccionamiento de Memoria

- Espacio de Direcciones: Formato del modo de direccionamiento
  - Ejemplo no lineal: Prof Cándido Aramburu, Dpto Ingeniería Eléctrica y Comunicaciones, Campus Arrosadía, UPNA, Av/Cataluña, Pamplona 31006, Navarra
  - Ejemplo lineal : DNI 17.987.XXX
- Programador lenguaje ensamblador: espacio de memoria en secciones, etiquetas, ...
- Programa lenguaje binario : espacio de memoria virtual → direccionamiento lógico no lineal → (sección datos , dirección 0x000012AF)
- CPU: espacio de memoria virtual → direccionamiento lógico no lineal → (segmento datos, dirección 0xBC007100)

- Módulo DRAM → espacio (rank, bank, row, column)

## Controlador de Memoria

- Unidad Intermedia entre la CPU y los módulos de Memoria DRAM
- Realiza tareas de: Refresh, Sincronismo de la transferencia de datos, Traductor de espacios de direcciones: virtual, lineal, no lineal, etc



## Memoria DRAM: Channel

- Un canal de memoria selecciona un grupo de tarjetas DIMM. Cada canal tiene su propio espacio de direccionamiento.
- El Controlador de Memoria puede operar simultáneamente con diferentes canales

## Controlador de Memoria DRAM

- Unidad Memory Management Unit (MMU): traduce la dirección virtual lógica en una dirección física lineal
- Traductor físico lineal a físico no lineal (canal, rank, bank, row, column)

## Intel® 82946GZ Graphics and Memory Controller Hub

El manual del controlador de memoria de Intel ( Intel ® 946 Express Chipset Family año 2006) en el apartado 1.3.2 (System Memory Interface) dice:

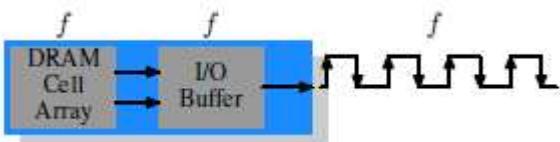
- The (G)MCH integrates a system **memory** DDR2 (Double Data Rate 2 generation) **controller** with two, 64-bit wide interfaces. Capabilities of the system memory interface include:
- Supports 256-Mb, 512-Mb, and 1-Gb technologies for x8 and x16 devices
- Supports four banks for all DDR2 devices up to 512-Mbit density. Supports eight banks for 1-Gbit DDR2 devices

- By using 1 Gb technology in Dual Channel Interleaved Mode, the largest **memory capacity** possible is 4 GB. (16 K rows x 1 K columns x 1 cell/(row x column) x 8 b/cell x 8 banks/device x 8 devices/DIMM-side x 2 DIMM-sides/channel x 2 channels x 1 B/8 b x 1 G/1024 M x 1 M/(KxK)  
 $= (2^{14} \text{ rows} \times 2^{10} \text{ columns} \times 1 \text{ cell}/(\text{row} \times \text{column}) \times 2^3 \text{ b/cell} \times 2^3 \text{ banks/device} \times 2^3 \text{ devices/DIMM-side} \times 2^1 \text{ DIMM-sides/channel} \times 2^1 \text{ channels} \times 1 \text{ Byte}/8\text{bits} \times 1 \text{ KB}/1024\text{B} \times 1 \text{ MB}/1024\text{KB} \times 1 \text{ GB}/1024\text{MB} = 2^{(14+10+3+3+3+1+1-3-10-10)} \text{ GB} = 2^{35-33} \text{ GB} = 4 \text{ GB}$
- Maximum DRAM address decode space is 4 GB (assuming 36-bit addressing)
- Supports up to 32 simultaneous **open pages** per channel (assuming 4 ranks of 8 bank devices)

## Sincronismo de la Memoria DRAM : SDRAM

- La transferencia de datos entre la CPU y los módulos DRAM se realiza de forma síncrona con el reloj propio del bus de memoria.
- El flanco del reloj es el patrón de comienzo y fin de las operaciones
- **DDR (Double Data Rate)**
  - Permite transferir el bit tanto en el flanco de **bajada** como de **subida** del reloj (**doble bombeo**)
  - Arquitectura amd64 → Bus de datos de 64 bits conectado al **Buffer i/o** de la memoria
- Frecuencia del buffer i/o
  - El buffer i/o de la memoria pude ir a frecuencias x2, x4 y x8 respecto de la frecuencia de acceso a la celda.
  - **Supercelda ó Macrocelda:** Ahora una selección (fila,columna) de un array supone no la seleccion de 1 celda sino la de una macrocelda de 2, 4 u 8 CELDAS de cada Banco.
- DDR1: una macrocelda de  $2^1$  celdas → 2 celdas
  - 1<sup>a</sup> Generación: año 2000
  - El buffer i/o del chip tiene 2 registros, cada uno de 64 bits.
- DDR2: una macrocelda de  $2^2$  celdas → 4 celdas
  - 2<sup>a</sup> Generación: año 2006
  - El buffer i/o del chip tiene 4 registros
- DDR3: una macrocelda de  $2^3$  celdas → 8 celdas
  - 3<sup>a</sup> Generación: año 2011
  - El buffer i/o del chip tiene 8 registros
- DDR4: una macrocelda de  $2^4$  celdas → 16 celdas
  - 4<sup>a</sup> Generación: año 2014
  - El buffer i/o del chip tiene 16 registros
- DDR5: una macrocelda de  $2^5$  celdas → 32 celdas
  - 5<sup>a</sup> Generación: año 2020
  - El buffer i/o del chip tiene 32 registros

## Sincronismo de la Memoria DRAM : Synchronous DRAM → SDRAM



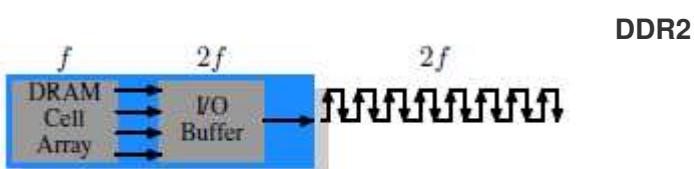
### DDR

En cada acceso a la macrocelda se leen  $2^1$  celdas, es decir, dos datos. Los 2 datos se almacenan en los 2 registros del buffer i/o

En el período del reloj del bus de memoria  $f_{bm}$  se realizan 2 transferencias (una en el flanco de bajada y otra en el flanco de subida), a través del bus de datos, de 64 bits (8Bytes) cada una.

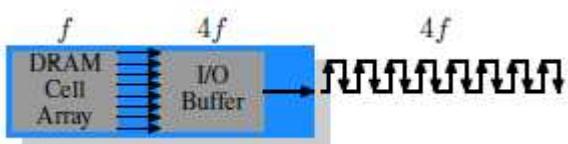
Las 2 transferencias de los 2 registros i/o necesitan por lo tanto 1 período a la frecuencia  $f_{bm}$ . Durante el período  $f_{bm}$  que dura el vaciado de los 2 registros i/o es necesario el acceso una macrocelda, por lo que la frecuencia de acceso a la macrocelda  $f_a = f_{bm}$

La frecuencia efectiva (frecuencia de transferencia de datos de 8Bytes) del bus de memoria  $f_{ebm}$  es el doble de la frecuencia  $f_{bm}$  por realizarse dos transferencias en un período  $\rightarrow f_{ebm} = 2f_{bm} = 2f_a \rightarrow f_{ebm}$  transferencias por segundo  $\rightarrow f_{ebm} * 8\text{Bytes}$  por segundo



### DDR2

## Sincronismo de la Memoria DRAM : Synchronous DRAM → SDRAM



### DDR3

En cada acceso a la macrocelda se leen  $2^3$  celdas, es decir, 8 datos. Los 8 datos se almacenan en los 8 registros del buffer i/o

En el período del reloj del bus de memoria  $f_{bm}$  se realizan 2 transferencias (una en el flanco de bajada y otra en el flanco de subida), a través del bus de datos, de 64 bits (8Bytes)cada una.

Las 8 transferencias de los 8 registros i/o necesitan por lo tanto 4 períodos a la frecuencia  $f_{bm}$ .

Durante los 4 períodos  $f_{bm}$  que dura el vaciado de los 8 registros i/o es necesario el acceso una macrocelda, por lo que la frecuencia  $f_{bm} = 4f_a$

La frecuencia efectiva del bus de memoria  $f_{ebm}$  es el el doble de la frecuencia  $f_{bm}$  por realizarse dos transferencias en un período  $\rightarrow f_{ebm} = 2f_{bm} = 8f_a \rightarrow f_{ebm}$  transferencias por segundo  $\rightarrow f_{ebm} * 8\text{Bytes}$  por segundo

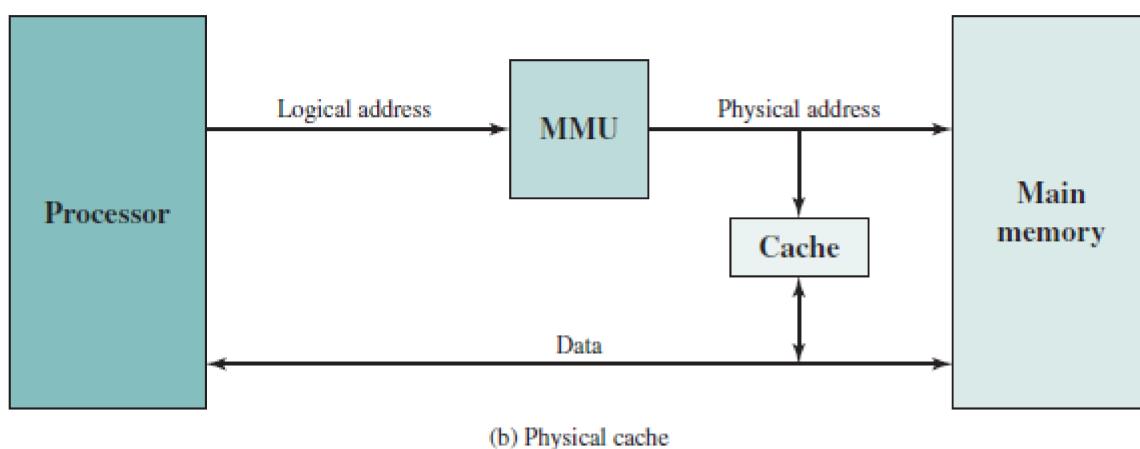
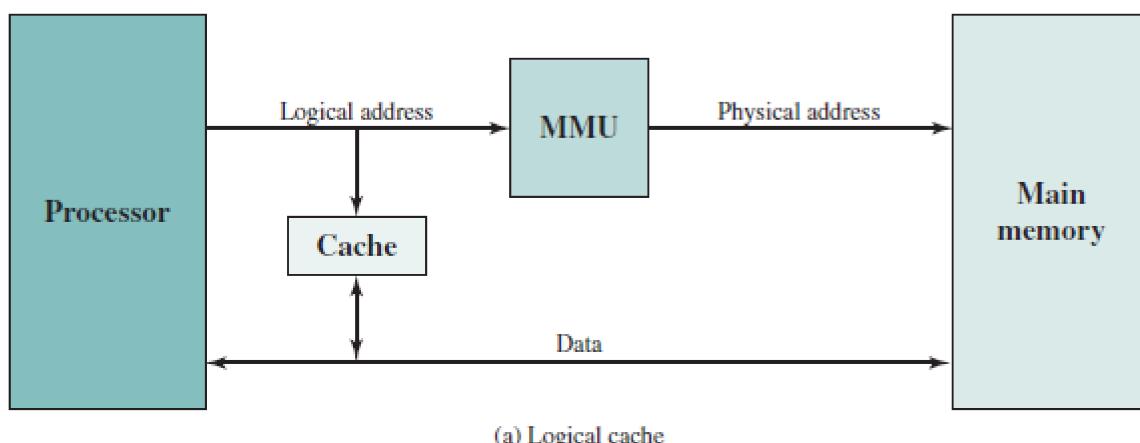
## Sincronismo de la Memoria DRAM: Nominación de los módulos de memoria

- PC2-6400 (DDR2-800) 5-5-5-16
  - DDR 2<sup>a</sup> generación → Macroceldas de 4 celdas → Buffer i/o de 4 registros
  - Ancho de banda BW = 6400 MB/s
  - $f_{ebm} = 800\text{MHz} \rightarrow BW=8\text{Bytes/transferencia} * 800 * 10^6 \text{transferencias/seg} = 6400 \text{MB/s}$
  - $f_{bm}=f_{ebm}/2=400\text{MHz} \rightarrow f_a=f_{ebm}/4=200\text{MHz}$
  - 5-5-5-16 : diferentes tiempos de sincronismo (tCL-tRCD-tRP-tRAS) del bus de control expresados en número de ciclos de reloj ( $1/f_{bm} = 2.5\text{ns}$ )  $\rightarrow tRAS=16 * 2.5\text{ns}=40\text{ns} \rightarrow$  da una idea del orden del tiempo de latencia o tiempo de acceso a la memoria.

- Si a la CPU le llegan datos a la frecuencia de 800MHz quiere decir que las fases de captura de instrucciones y operandos duran como mínimo 1/800 microsegundos → 1.25 nanosegundos
- PC3-6400 (DDR3-800) 5-5-5-10
  - DDR 3<sup>a</sup> generación → Macroceldas de 8 celdas → Buffer i/o de 8 registros
  - Ancho de banda BW = 6400 MB/s
  - $f_{ebm} = 800\text{MHz} \rightarrow BW = 8\text{Bytes/transferencia} * 800 * 10^6 \text{transferencias/seg} = 6400 \text{MB/s}$
  - $f_{bm} = f_{ebm}/2 = 400\text{MHz} \rightarrow f_a = f_{ebm}/8 = 100\text{MHz}$
  - 5-5-5-10 : diferentes tiempos de sincronismo (tCL-tRCD-tRP-tRAS) del bus de control expresados en número de ciclos de reloj ( $1/f_{bm} = 2.5\text{ns}$ ) → tRAS=10\*2.5ns=25ns

## Memoria Cache

### Memoria Cache : Arquitectura



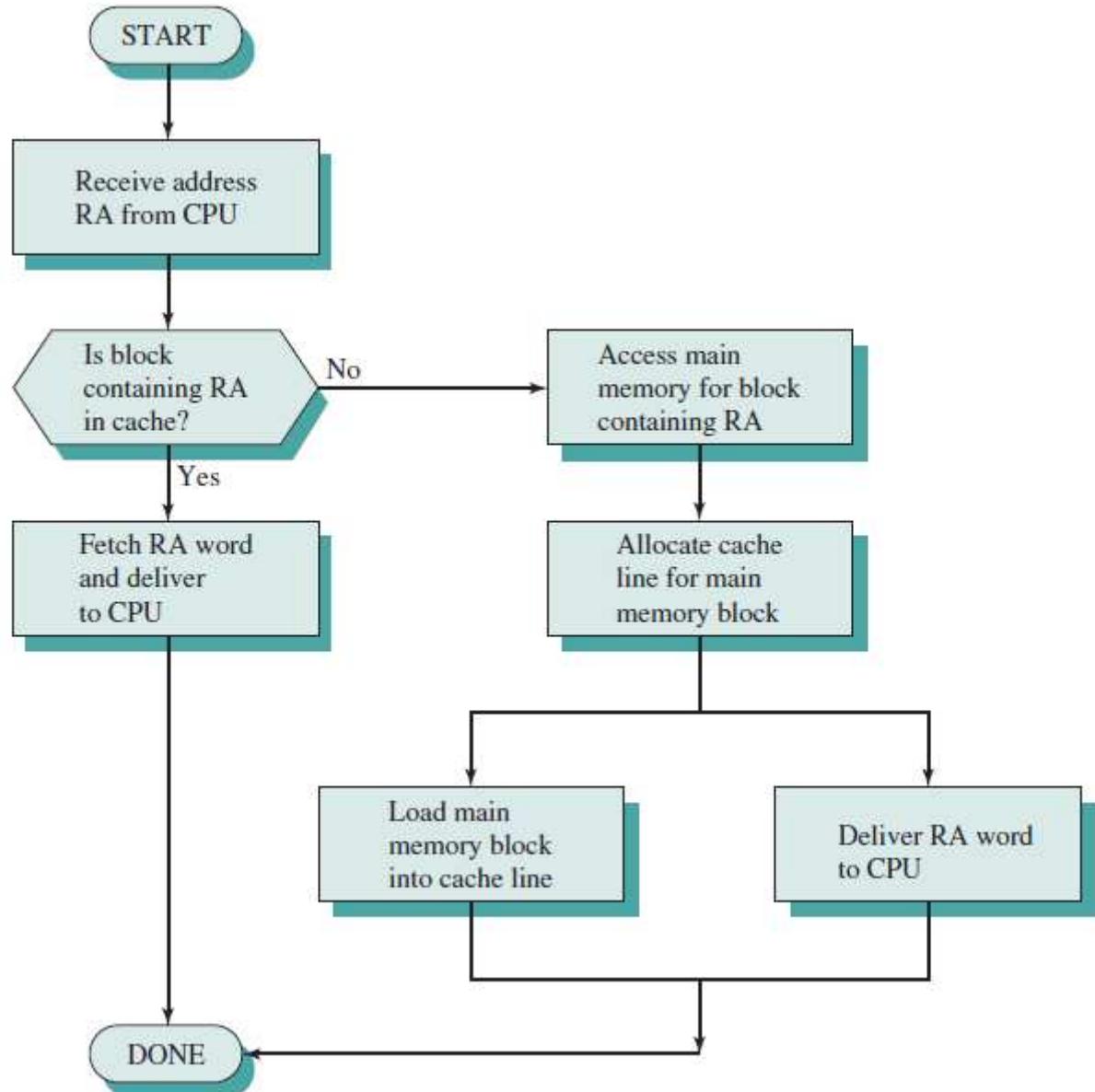
**Figure 4.7** Logical and Physical Caches

### Memoria Cache : Introducción

- Función:
  - Reducir la latencia de las fases de captura del ciclo de instrucción
- Implementación:
  - Memoria estática → la latencia caché es un 10% la latencia de la memoria DRAM

- Unidades:
  - MMU: Memory Management Unit → traducción de direcciones virtuales (lógicas no lineales) a direcciones físicas (líneales)
  - Memoria dinámica SDRAM → memoria principal
  - Memoria estática SRAM → memoria caché
  - La interfaz entre la CPU y la Memoria SDRAM es el controlador de memoria SDRAM
  - La interfaz entre la CPU y la Memoria Caché es el controlador de memoria caché

## Memoria Cache: Read Operation



## Memoria Caché: Organización

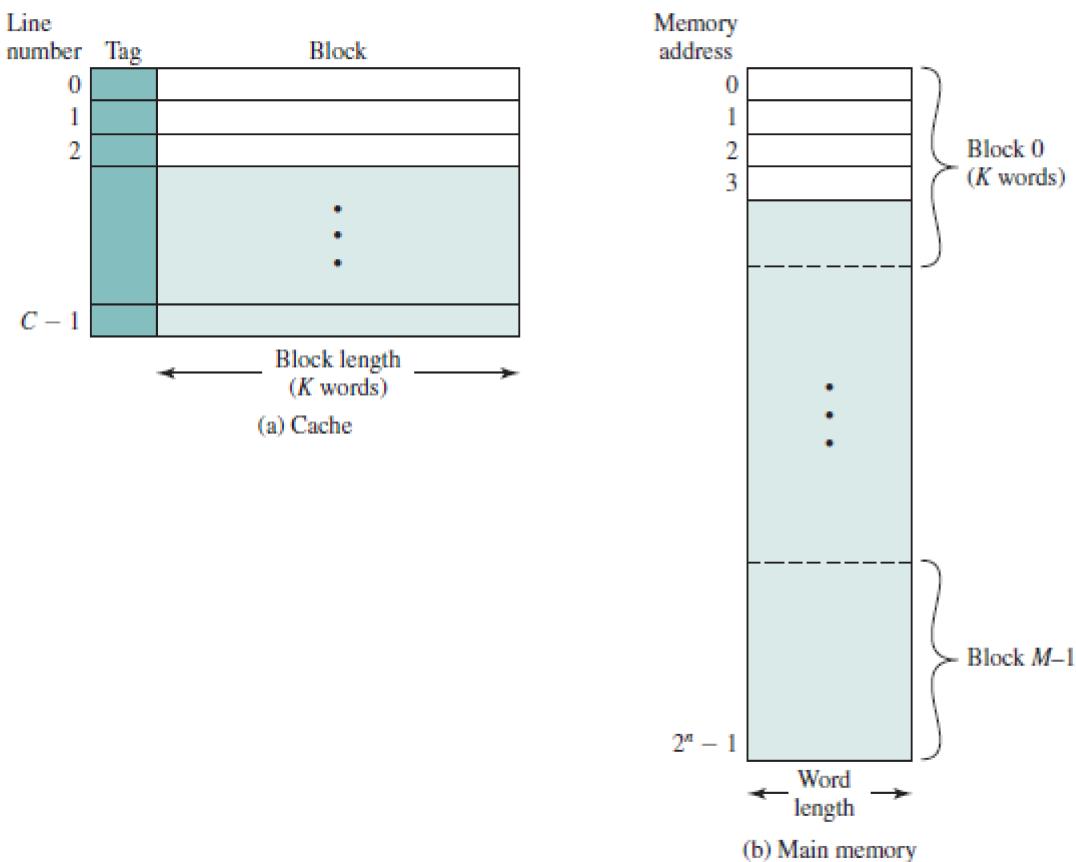


Figure 4.4 Cache/Main Memory Structure

## Memoria Caché: bloques, líneas, palabras

- La memoria principal:
  - se organiza en bloques y direcciones de bloque: cada bloque se divide en palabras y cada palabra en bytes
- la memoria caché:
  - se organiza en líneas y direcciones de la línea
  - cada línea de la memoria caché se corresponde con un bloque de la memoria principal según la función de correspondencia del controlador de la caché
  - el bloque de la línea por lo tanto se organiza en palabras y las palabras en bytes
  - cada línea tiene dos campos: la marga TAG y el bloque de la memoria principal correspondiente
  - el campo TAG de una línea informa sobre qué bloque principal corresponde a dicha línea caché

## Funciones de correspondencia: directa, totalmente asociativa, asociativa por conjuntos

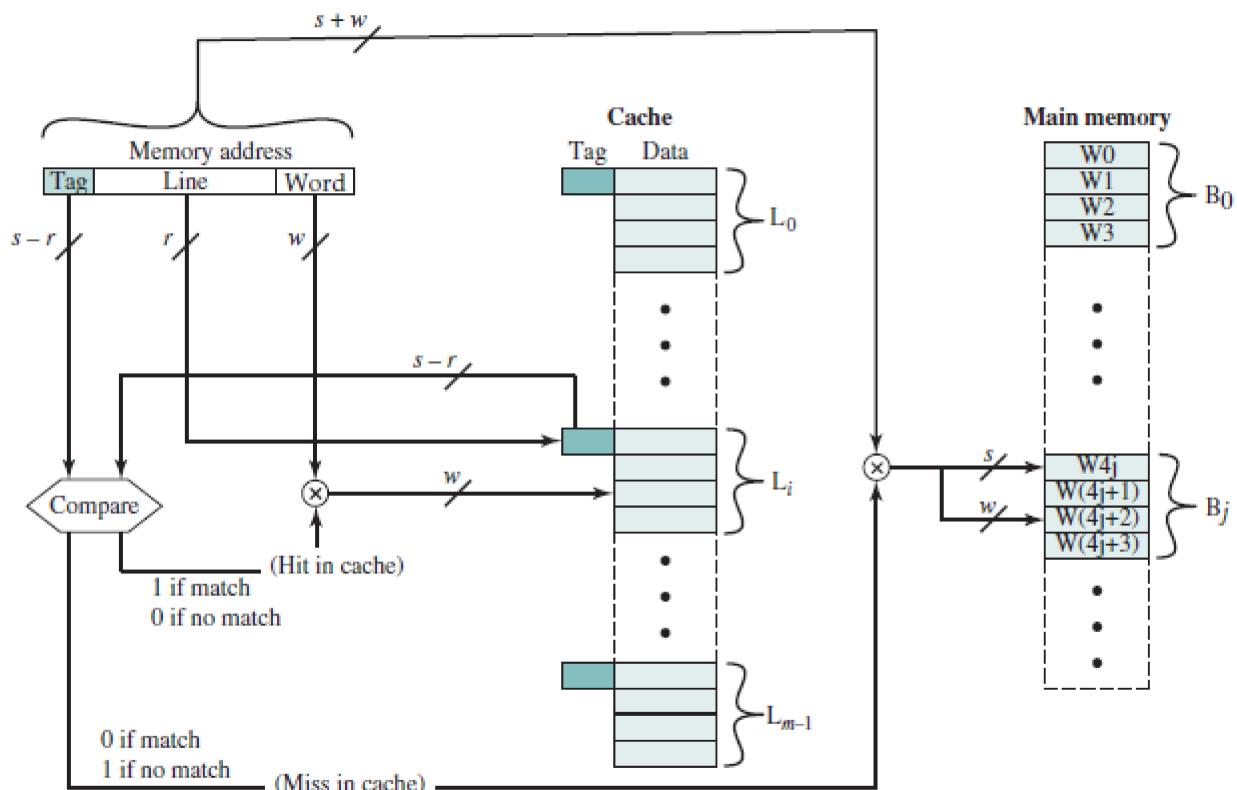
- Función directa
  - A cada bloque principal le corresponde una **dirección fija** de una línea
- Función totalmente asociativa
  - Cada bloque puede copiarse en **cualquier** dirección de línea
- Función asociativa por conjuntos
  - Cada bloque principal puede copiarse de manera libre dentro un pequeño conjunto de líneas

## Ejemplo: Función de correspondencia directa

- Enunciado:
  - m : capacidad de la memoria caché : 64KB
  - Word size : 1 byte
  - K: Palabras / bloque : 4
  - M : capacidad de la memoria principal : 16 MB
  - ¿Correspondencia de la dirección MP 0xA912AB?
- MP
  - Formato dirección MP : Bloque-Palabra
  - Dirección línea caché:  $64KB = 2^{16} \rightarrow 16\text{bits}$
  - Dirección MP:  $16MB = 2^{24} \rightarrow 24\text{bits}$
  - Dirección Bloque MP: 1 línea  $\leftrightarrow$  1 bloque  $\rightarrow 16\text{bits}$
  - Dirección palabra : 4 palabras  $\rightarrow 2^2 \rightarrow 2\text{bits}$
- Direccionamiento bloque-palabra
  - los primeros 22 bits son el bloque y los 2 últimos bits la palabra
  - hay  $2^{22}$  bloques que se pueden corresponder con una de las  $2^{16}$  líneas
  - de los 22 bits de bloque los últimos 16 son la dirección de línea y los 6 primeros son el TAG

## Ejemplo: Función de correspondencia directa

- Función de **correspondencia directa**:
  - el bloque 0 se corresponde con la línea de dirección 0 y así sucesivamente
  - el bloque 1 se corresponde con la línea de dirección 1
  - el bloque  $(2^{16}-1)$  se corresponde con la línea de dirección  $(2^{16}-1)$
  - el bloque  $2^{16}$  se corresponde con la línea de dirección 0
  - el bloque "j" se corresponde con la línea de dirección  $i = j \text{ MOD}[m]$



**Figure 4.9** Direct-Mapping Cache Organization

## Ejemplo: Función de correspondencia directa

- Direcciones de los bloques
  - el bloque "j" se corresponde con la dirección  $j \cdot 4$
  - multiplicar por  $2^2$  equivale a un desplazamiento de 2 bits hacia la izda
  - dividir por  $2^2$  equivale a un desplazamiento de 2 bits hacia la derecha
- Dirección MP 0xA912AB → 1010 1001 0001 0010 1010 1011
  - Dirección de bloque 1010 1001 0001 0010 1010 10 → 10 1010 0100 0100 1010 1010 : 0x2A44AA
  - Dirección de palabra 11 : 3
  - Método 1º: Dirección de línea 01 0001 0010 1010 10 → 0100 0100 1010 1010 → 0x44AA
  - Método 2º: 0x2A44AA MOD  $[2^{16}]$  → Resto de 0x2A44AA /  $2^{16}$ 
    - $0x2A44AA / 2^{16} = 0x00002A.44AA \rightarrow \text{Resto} = 0x0.44AA \cdot 2^{16} = 0x44AA$
    - Divi=Coc\*Disor+Resto → Divi/Coc=Disor+Resto/Coc → Resto=Fracción\*Cociente

## Ejemplo: Función de correspondencia Asociativa Total

- No hay función de correspondencia ya que a los bloques principales se le puede asignar cualquier línea.
- Se le correspondería una línea que no estuviera ocupada por un bloque
- Si están todas ocupadas es necesaria una "política de reemplazo": Por ejemplo la línea que más tiempo lleva sin ser accedida por la CPU conocida como política "least-recently used (LRU)"

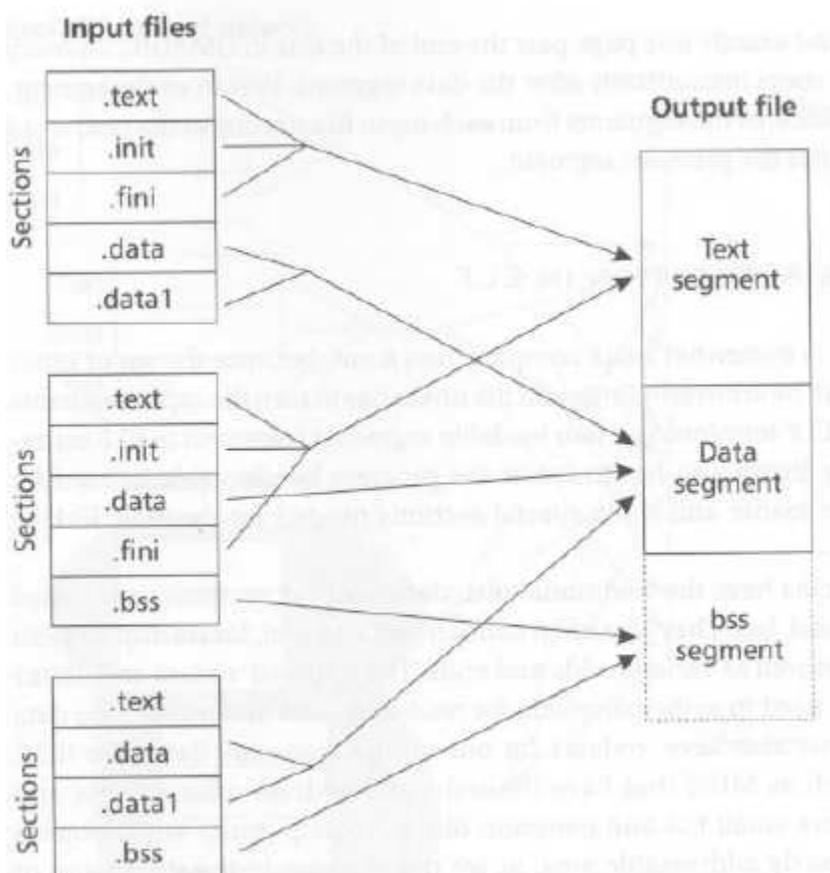
## Política de Escritura en la Caché

- Si la CPU escribe un resultado en una línea de la caché, su bloque principal correspondiente no será

idéntico por lo que será necesario copiar la línea de la caché en el bloque principal correspondiente. Es necesaria una política de reescritura para indicar cuál es el momento de realizar dicha copia, si justo después de haber modificado la línea de la caché o más tarde.

## Memoria Virtual

### Memoria Virtual lógica: Secciones y Segmentos

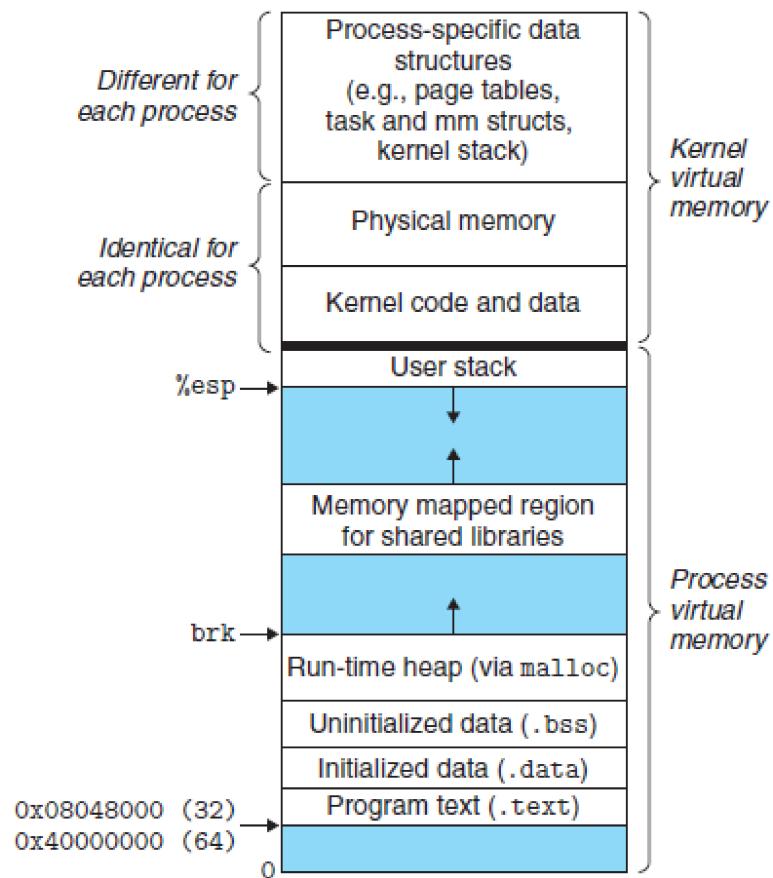


La memoria virtual de un programa binario está organizada en segmentos de datos, instrucciones, pila, heap, etc. La memoria virtual de los módulos binarios antes de ser linkados están organizados en secciones de datos, instrucciones, pila, heap, etc. El linker resuelve los valores de direcciones de las etiquetas de cada sección y los entrelaza. Posteriormente el linker agrupa las diferentes secciones se en segmentos.

FIGURE 4.9 • ELF linking.

### Memoria Virtual lógica: Mapa de Memoria en un entorno Linux

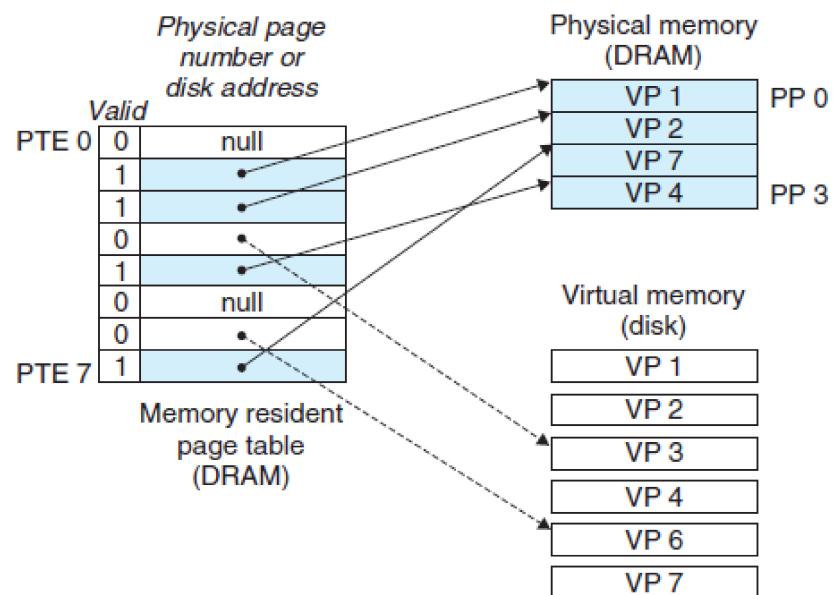
**Figure 9.26**  
The virtual memory of a Linux process.



## Memoria Virtual lógica: Paginación

El espacio de direcciones virtual es un espacio abstracto que se partitiona de forma lógica en páginas y la unidad MMU traduce las direcciones de página virtual en direcciones físicas de la memoria DRAM

**Figure 9.4**  
Page table.



## Mecanismos de Entrada/Salida