Estructura de computadores
Programación en Ensamblador

LENGUAJE MÁQUINA

- Juego de instrucciones. Formatos
- Tipos de datos
- Modos de direccionamiento
- Tipos de instrucciones

ARQUITECTURA DEL 88110

- Banco de Registros
- Memoria principal
- Modos de direccionamiento
- Juego de instrucciones

LENGUAJE ENSAMBLADOR

- Sintaxis
- Mnemónicos y etiquetas
- Instrucciones y pseudoinstrucciones
- Macros

PROGRAMACIÓN EN ENSAMBLADOR

- Estructuras de datos: - Vectores y Matrices
  - Listas
- Subrutinas: - Paso de parámetros
  - Marco de pila
  - Recursividad

Problemas y tutorías

Dpto. Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos.
Universidad Politécnica de Madrid

Programación en Ensamblador
Documentación

1. Transparencias del tema (web)
2. Descripción del emulador 88110 (web+publicaciones)
3. Subrutinas: paso de parámetros y marco de pila (web+publicaciones)
4. Enunciados de problemas (web+publicaciones)

http://www.datsi.fi.upm.es/docencia/Estructura_09

Fundamentos de los computadores
Pedro de Miguel, Paraninfo/Thomson-2006 (capítulo 13)
Estructura de computadores: problemas y soluciones
García Clemente y otros, RAMA-2000 (capítulo 2)
Estructura de computadores: problemas resueltos
García Clemente y otros, RAMA-2006 (capítulo 3)

Solución de problemas:

http://www.datsi.fi.upm.es/88110

Lenguaje Máquina

• Programa está compuesto por datos e instrucciones almacenados en memoria

•**Instrucción máquina**: Es la función básica elemental que puede ejecutar un computador.

•Son cadenas de 1 y 0 (almacenadas en binario) y particulares de cada computador

•Propiedades:

- •Realizan una única y sencilla función
- •Tienen un número fijo de operandos
- •Autocontenidas: Contienen todo lo necesario para su ejecución (operación, operandos, dir. Resultado y dir. Sig instrucción)

Juego de instrucciones

• Conjunto de instrucciones que ejecuta directamente el computador.

•La codificación de las instrucciones deben encajar en pocos formatos.

•Formato de instrucción: Representación de una instrucción y especificación de cada campo:

- •Código de operación
- •Operandos (direcciones)

Tipos de datos

- Tipos de datos que maneja una instrucción:
  - Palabras: Es el tamaño privilegiado del computador (4 bytes)
  - Medias palabras (2 bytes)
  - Bytes: Cadenas de caracteres.

- Acceso a memoria:
  - Direccionable a **nivel de palabra**. Cada palabra tiene una dirección.

  - Direccionable a **nivel de byte**. Cada byte de memoria tiene una dirección.
    - Dos palabras consecutivas están separadas por el tamaño en bytes de la palabra.

    - Es el utilizado habitualmente.

Tipos de datos

•**Alineamiento a palabra**. La dirección para el acceso a palabra debe ser múltiplo del tamaño de la misma.

•Ordenación de los bytes de una palabra en memoria.

- •Little-Endian: Byte menos significativo de una palabra en la dirección menos significativa.

- •Big-Endian: Byte menos significativo de una palabra en la dirección más significativa.

Palabra: 0x10203040

Little-Endian

100	101	102	103
40	30	20	10

Big-Endian

100	101	102	103
10	20	30	40

Modos de direccionamiento

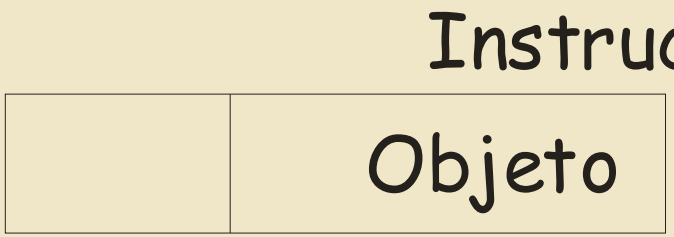
- Forma en la que se accede a una instrucción o dato.

- **OBJETO**: Instrucción o dato al que se desea acceder

- **DIRECCIÓN**: Lugar en el que reside el objeto. Puede estar almacenado en:
  - La instrucción.
  - Registro
  - Memoria

Direccionamiento Inmediato

- El objeto está contenido en la propia instrucción.



- **`ADD .R1,#4`** **`R1 ← R1 + 4`**

Direccionamiento Directo

• El objeto no está contenido en la propia instrucción. La instrucción contiene el lugar (dirección) donde está almacenado el objeto.

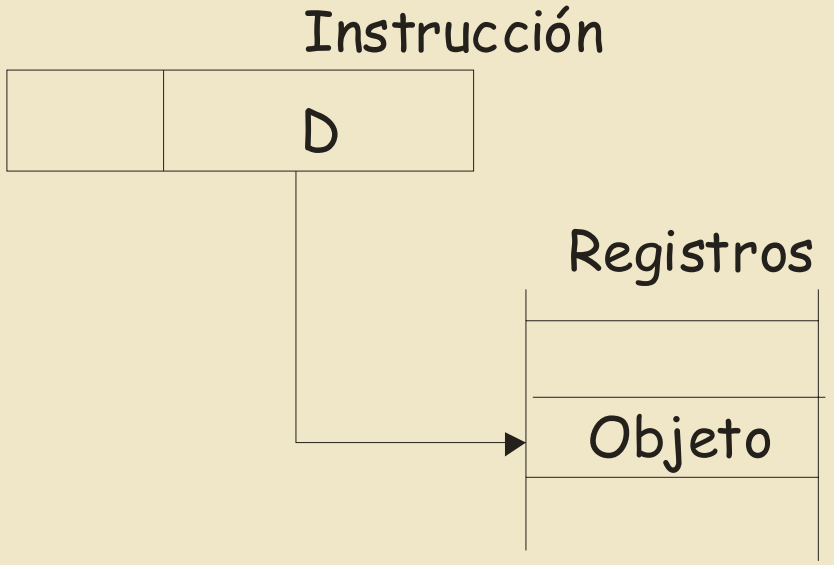
•**ABSOLUTO**: Si la instrucción contiene la dirección completa del objeto

•**RELATIVO**: Si la instrucción contiene la dirección del objeto de forma parcial. Todos los direccionamientos relativos lo son a memoria.

Direccionamiento Directo
Absoluto a Registro

• El objeto del direccionamiento está contenido en un registro. La instrucción contiene el registro que contiene el objeto del direccionamiento.

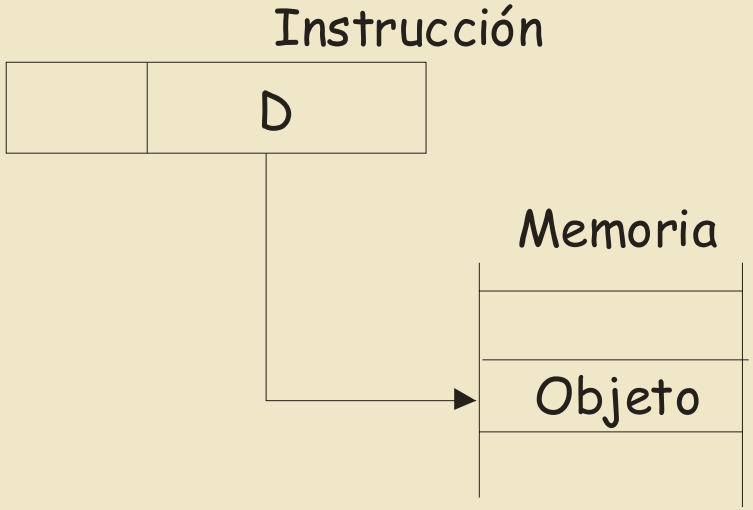
• **`ADD .R4,.R5`** **`R4 ← R4+R5`**



Direccionamiento Directo
Absoluto a Memoria

• El objeto del direccionamiento está contenido en una dirección de memoria. La instrucción contiene la dirección completa de memoria que contiene el objeto del direccionamiento.

•**LD .R4,/1000** **R4 ← M(1000)**



Direccionamientos Relativos

• El objeto del direccionamiento está contenido en una dirección de memoria. La instrucción contiene la dirección especificada en “partes”.

•Dependiendo de cómo se especifique la dirección:

- •Relativo a **registro base**
- •Relativo a **PC**
- •Relativo a **registro índice**

Direccionamiento Relativo a Registro Base

- La dirección de memoria viene especificada en dos partes:
  - **Registro Base**: Registro de propósito específico o general que contiene una dirección a memoria.
  - **Desplazamiento**: Valor entero con signo.

- La dirección efectiva se calcula:

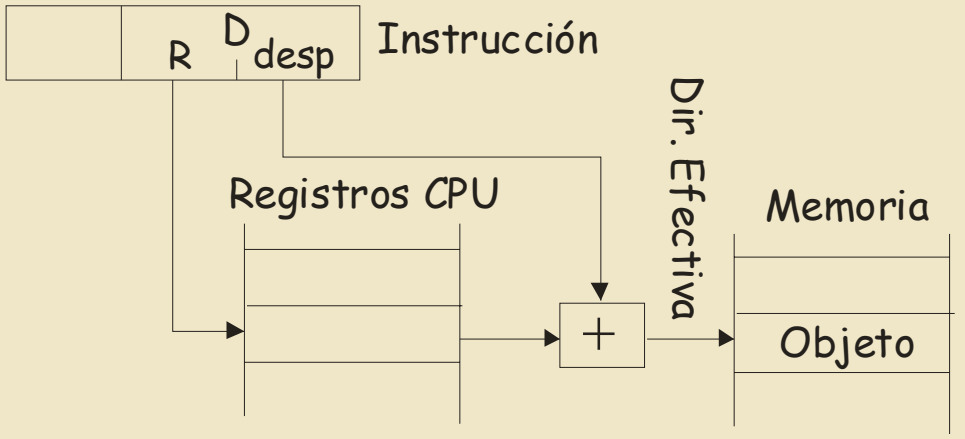
  Dir_Efectiva = Registro_Base + Desplazamiento

Direccionamiento Relativo
a Registro Base

- **`LD .R1,#4[.R7]`** **`R1 ← MEM(R7+4)`**

•El registro base se carga una dirección de memoria que contiene un conjunto de datos a los que se accede conociendo su posición relativa frente al comienzo de dicha zona: Estructuras de datos.

•El rango de direcciones al que se puede acceder está limitado por el tamaño del desplazamiento.



Direccionamiento Relativo a PC

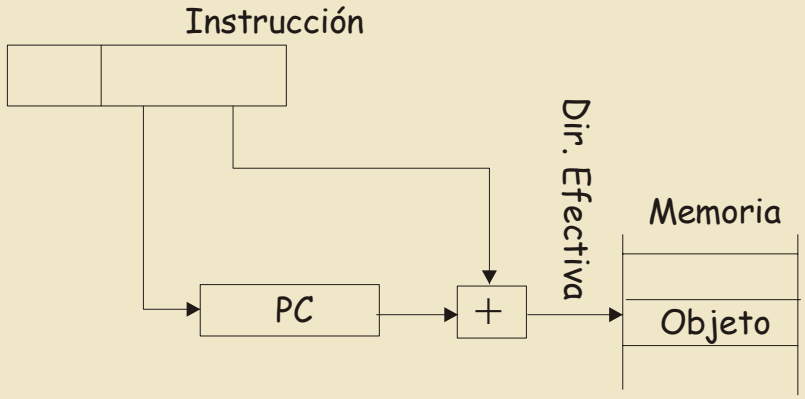
• Es un direccionamiento relativo a registro base en el que el registro base es el PC.

•El objeto de este direccionamiento suele ser direccionar instrucciones.

•Permite alcanzar instrucciones “cercanas” a la que se está ejecutando.

•Ejecución de saltos “cortos”

•**BR $10** **PC ← PC + 10**



Direccionamiento Relativo a Registro Índice

- Es un direccionamiento relativo a registro base en el que el registro base se modifica:
  - Preincremento
    - **`LD .R1,#8[++.R7]`** **R7 ← R7+4** **R1 ← MEM(R7+8)**
  - Predecremento
    - **`LD .R1,#8[--.R7]`** **R7 ← R7-4** **R1 ← MEM(R7+8)**
  - Postincremento
    - **`LD .R1,#8[.R7++]`** **R1 ← MEM(R7+8) R7 ← R7+4**
  - Postdecremento
    - **`LD .R1,#8[.R7--]`** **R1 ← MEM(R7+8) R7 ← R7-4**
- El tamaño del incremento/decremento es igual al tamaño del objeto transferido
- Útil para recorrer vectores y matrices

Direccionamiento Indirecto

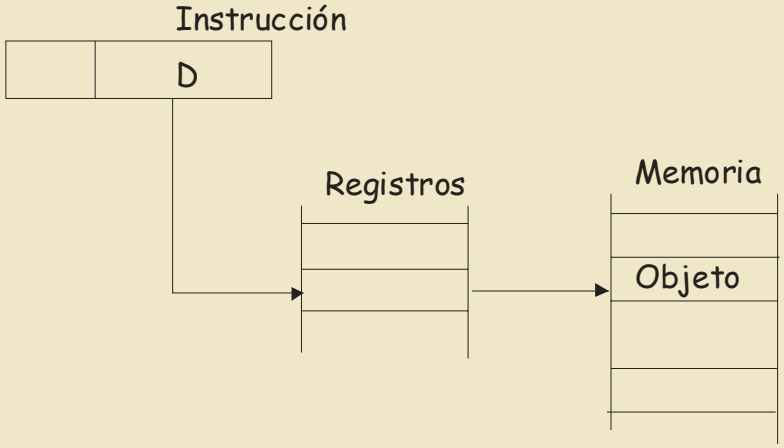
• La instrucción contiene la dirección donde está contenida la dirección donde se almacena el objeto.

a Registro

•La instrucción contiene la especificación del registro que contiene la dirección de memoria donde está almacenado el objeto

•**LD .R1,[.R4]**

R1 ← MEM(R4)

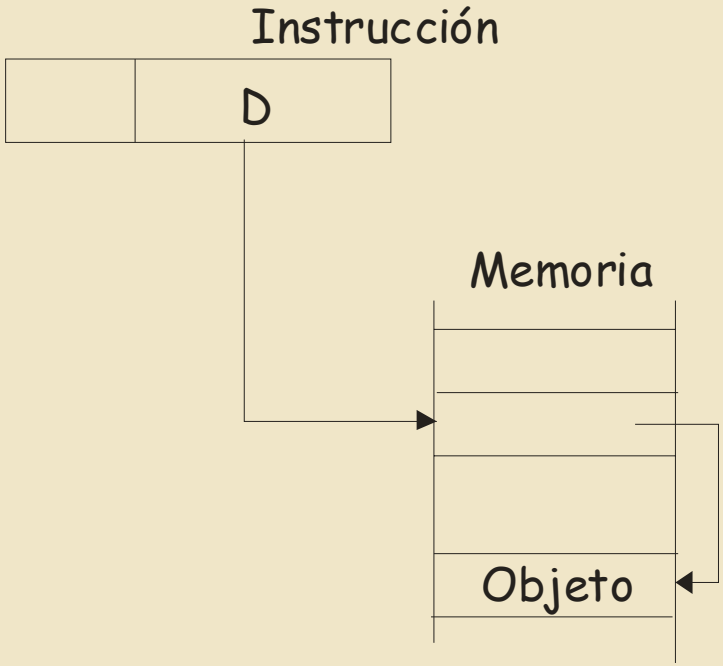


Direccionamiento Indirecto a Memoria

• La instrucción contiene una dirección de memoria donde está contenida la dirección donde se almacena el objeto.

•**LD .R1,[/1000]**

R1 ← MEM(MEM(1000))



Direccionamiento Implícito

• La instrucción no contiene ni la dirección ni el objeto que se usa en el direccionamiento.

•En máquinas de acumulador

•**ADDA .R1**

A ← A + R1

Juego de instrucciones

- Conjunto de instrucciones del computador.
- "Herramientas" con las que construir programas
- Debe ser completo y eficaz.
- Tipos:
  - Transferencia
  - Aritméticas
  - Lógicas
  - Bifurcaciones
  - Desplazamiento y rotación
  - De bit

Transferencia de datos

• Mueven datos entre registros, registros y posiciones de memoria y entre posiciones de memoria.

•No modifican los biestables de estado.

•LD, ST y MOVE

•LD .R2, #4[.R4]	**R2 ← MEM(R4+4)**
•ST .R2, #4[.R4]	**MEM(R4+4) ← R2**
•MOVE .R2,.R4	**R4 ← R2**
•MOVE [.R2],[.R4]	**MEM(R4) ← MEM(R2)**

•PUSH y POP

•PUSH .R1	**SP ← SP-4;MEM(SP) ← R1**
•POP .R1	**R1 ← MEM(SP); SP ← SP + 4**

Bifurcaciones

• Modifican la secuencia del programa. Lo habitual es que la siguiente instrucción que se ejecuta sea la siguiente en secuencia. En este caso no es así.

•No modifican los biestables de estado.

Incondicionales

• BR. Le sigue un direccionamiento a memoria cuyo objeto es la siguiente instrucción a ejecutar

•**`BR /1000`** **`PC ← 1000`**

•**`BR #4[.R4]`** **`PC ← R4+4`**

•**`BR $10`** **`PC ← PC + 10`** **¡¡ El PC apunta a la dirección de la siguiente instrucción `!!**

Bifurcaciones
Condicionales

- Bcc dir. Dir es un direccionamiento a memoria.

Si cc = 1 entonces se ejecuta la bifurcación
Si no se continúa en secuencia

- Cc: Z, NZ, C, NC, V, NV, P, N o alguna combinación de estos biestables.

- **BZ /1000** **Si Z = 1 PC ← 1000**
- **BNC #4[.R4]** **Si C = 0 PC ← R4+4**
- **BP $10** **Si S = 0 PC ← PC + 10**

Bifurcaciones
Con retorno

- Se utilizan para implementar saltos a subrutinas.

- Una vez realizada determinada función (subrutina) se debe retornar a la instrucción siguiente desde la que se bifurcó. Es necesario almacenar la dirección de retorno.

- CALL dir y RET

- En un registro de propósito general:

  - **`CALL /1000`** **`R1 ← PC ; PC ← 1000`**
  - **`RET`** **`PC ← R1`**
  - No permite llamadas anidadas

Bifurcaciones
Con retorno

- En la pila:

  - **CALL /1000** — **SP ← SP - 4; MEM(SP) ← PC ;**
    PC ← 1000
  - **RET** — **PC ← MEM(SP) ; SP ← SP + 4**
  - Permite llamadas anidadas
  - Si en la subrutina se trabaja con la pila, hay que tener en cuenta el modo de crecimiento de la pila y que la dirección de retorno ha quedado en la cima de la pila.

Aritméticas y Comparación

- **ADD .R1, .R2** — **R1 ← R1 + R2; mod. flags**
- **SUB .R1, .R2** — **R1 ← R1 – R2; mod. flags**
- **MUL .R1, .R2** — **R1 ← R1 · R2; mod. flags**
- **DIV .R1, .R2** — **R1 ← R1 / R2; mod. flags**
- **ADDC .R1, .R2** — **R1 ← R1 + R2 + c; mod. flags**
- **SUBC .R1, .R2** — **R1 ← R1 - R2 - c; mod. flags**
- **CMP .R1, .R2** — **R1 – R2 ; mod. flags**

Aritméticas y Comparación

- Fijan el modelo de ejecución del computador.

- Modelo Registro-Registro.
  - **ADD .R1,.R2** **R1 ← R1 + R2; mod. Flags**
  - **ADD .R1,#4** **R1 ← R1 + 4; mod. Flags**

- Modelo Registro-Memoria.
  - **ADD .R1,[.R2]** **R1 ← R1 + MEM(R2); mod. Flags**

- Modelo Memoria-Memoria.
  - **ADD [.R1],#4[.R2] MEM(R1) ← MEM(R1) + MEM(R2+4); mod. Flags**

- Definen el número de direcciones del computador.

Lógicas

- Realizan la operación lógica indicada por el mnemónico bit a bit.
- Establecen el modelo de ejecución del computador
- **`AND .R1,.R2  R1 ← R1 AND R2; mod. Flags`**
- **`XOR .R1,#4  R1 ← R1 XOR 4; mod. Flags`**
- **`OR .R1,.R2  R1 ← R1 OR R2; mod. Flags`**
- **`NOT .R1  R1 ← NOT R1; mod. Flags`**
- Se utilizan para trabajar con máscaras
- **`AND .R1, #1 ; Si Z = 1 el número es par`**

Desplazamiento

- Realizan desplazamientos de bits a izquierda/derecha.

- **Lógicos**.
  - **`SHL .R1`**

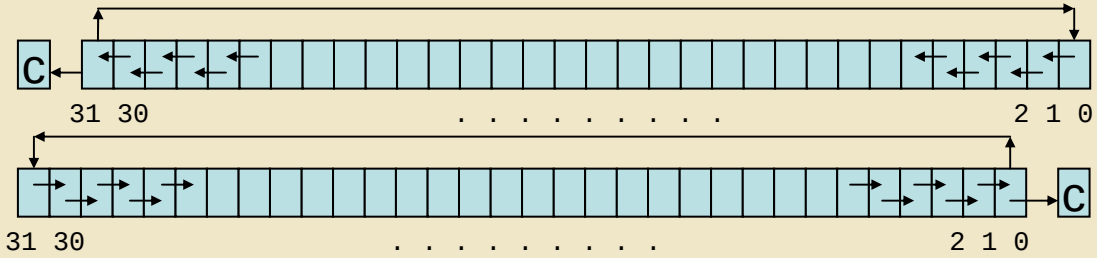
  - **`SHR .R1`**

- **Aritméticos**. Realizan una multiplicación por 2 (ASL) o división por 2 (ASR).

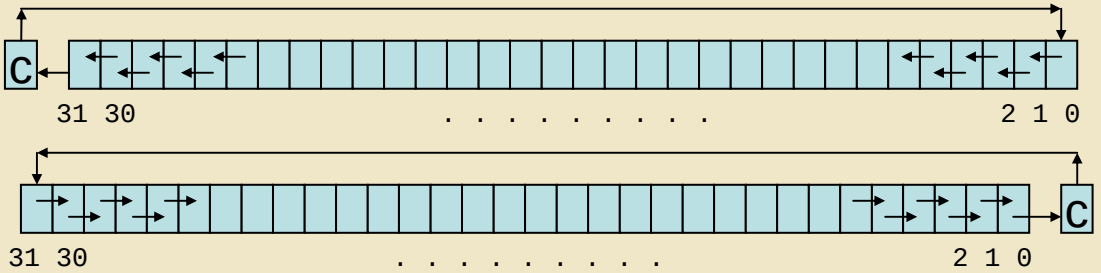
  - **`ASL .R1`** **`ASR .R1`**

Rotación

- Realizan rotaciones de bits a izquierda/derecha.
- **Rotación**.
  - **`ROL .R1`**
  - **`ROR .R1`**



- **Rotación con acarreo**.
  - **`ROLC .R1`**
  - **`RORC .R1`**



De bit

- Ejecutan operaciones con un bit: pone a 1 o a 0 un bit.
- **`CLR.I #3, .R1 ; Pone a 0 el bit 3 de R1`**
- **`SET.I #3, .R1 ; Pone a 1 el bit 3 de R1`**
- **`TEST.I #3, .R1 ; Z ← NOT(R1(3))`**

ARQUITECTURA 88110
Procesador

- Máquina de 3 direcciones (0: add 1: add B 2: add A,B)

```
add rD, rS1, rS2
rD ← rS1 + rS2
```

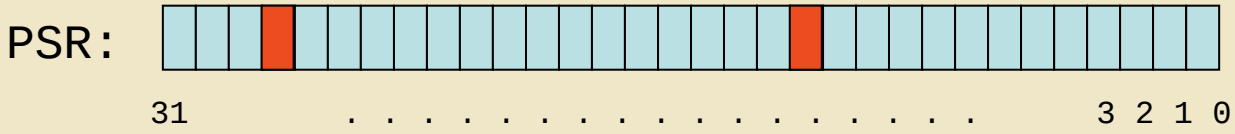
- Modelo de ejecución registro-registro (ALU, no jmp/ld/st)

```
Destino:   { Registro }
Origen:    { Registro + Registro
           { Registro + Inmediato
```

- Palabra de 32 bits
- ALU opera en complemento a 2
- Emulador: ejecución serie / superescalar

ARQUITECTURA 88110
Banco de Registros

- Banco general de 32 registros: `r0 .. r31`
  - `r0` cableado a 0 (siempre tiene valor 0)
  - `r1` guarda dirección de retorno de subrutina
  - accesibles por pares en operaciones de 64 bits
- PC
- PSR (*Processor Status Register*, registro de estado)



bit 12 → *overflow* en operaciones con enteros (`OVF`)
si `OVF==1` ➔ no se modifica `rD`
bit 28 → acarreo (*carry – borrow*)

- Registros que decidimos reservar para función particular:
  `r30` puntero de pila y `r31` puntero de marco de pila

ARQUITECTURA 88110
Memoria principal

- Almacena: Instrucciones + Datos

- Direccionable a nivel de byte
  1 palabra → 4 direcciones de memoria

- Bus de direcciones de 32 bits
  Máxima capacidad (teórica) → 2^{32} bytes = 4 GB
  { `0x00000000`
  { `0xFFFFFFFF`

- Capacidad del emulador:
  2^{18} direcciones = 2^{18} bytes = 256 KB
  { `0x00000000`
  { `0x0003FFFF`

ARQUITECTURA 88110
Modos de direccionamiento

- SÍ tiene:
  - Directo a registro: `.Ri`
  - Inmediato: `#aaaa`
  - Relativo a registro base: `#desp[.Ri]`
  - Relativo a PC: `$xx`
  - Indirecto a registro: `[.Ri]`

- NO tiene:
  - Absoluto: `/dir`
  - Relativo a registro índice: `++, --`
  - Indirecto a memoria: `[/dir]`
  - Relativo a pila: `push / pop`

ARQUITECTURA 88110
Direccionamiento directo a registro

```
add  r1, r2, r3     ; r1 ← r2 + r3
```

equivalente en máquina de 2 direcciones, IEEE 694:

```
ADD  .R7, .R9          ; ( add r7, r7, r9 )
```

ARQUITECTURA 88110
Direccionamiento inmediato

- Puede ser con/sin signo, ambos de 16 bits:

```
Con signo:  SIMM16
Sin signo:   IMM16
```

- Se puede expresar en decimal o hexadecimal
- Ejemplo:

```
add r1, r2, -13;
```

```
 13 en binario:      0000 1101
-13 en binario:    - 0000 1101
-13 en binario:      1111 0011
```

```
add  r1, r2, 0xFFF3   { [][][][] [][][][] r2
                      + FFFF FFF3 → r1

addu r1, r2, 0xFFF3   { [][][][] [][][][] r2
                      + 0000 FFF3 → r1
```

ARQUITECTURA 88110
Direccionamiento relativo reg. base

- Ejemplo en formato del estándar IEEE:

```
LD   .R1, #13[.R4]    R1 ← MEM(R4+13)
```

- Ejemplo en formato de 88110 (desplazamiento inmediato):

```
ld   r1, r4, 13       r1 ← MEM(r4+13)
st   r1, r4, 13       r1 → MEM(r4+13)
```

- Ejemplo en formato de 88110 (desplazamiento en registro):

```
ld   r1, r4, r10      r1 ← MEM(r4+r10)
st   r1, r4, r10      r1 → MEM(r4+r10)
```

ARQUITECTURA 88110
Direccionamiento relativo a PC

- Ejemplo:

```
br   7   ;      PC ← PC + 7*4
```

(desplazamiento: 26 bits / 16 bits)

- Ejemplo en formato del estándar IEEE:

```
        ADD     .7, .5
        BR      $desp           ; PC ← et1+desp
et1:    LD      .1, [.7]
```

- Ejemplo en formato de 88110:

```
        add     r7, r7, r5
et0:    br      D               ; PC ← et0 + 4*D
        ld      r1, r7, 0
```

ARQUITECTURA 88110
Direccionamiento indirecto a registro

En el 88110 solo existe en los saltos:

- Ejemplo en formato del estándar IEEE:

JMP **[.R10]** ; PC ← R10

- Ejemplo en formato del 88110:

jmp **(r10)** ; PC ← r10

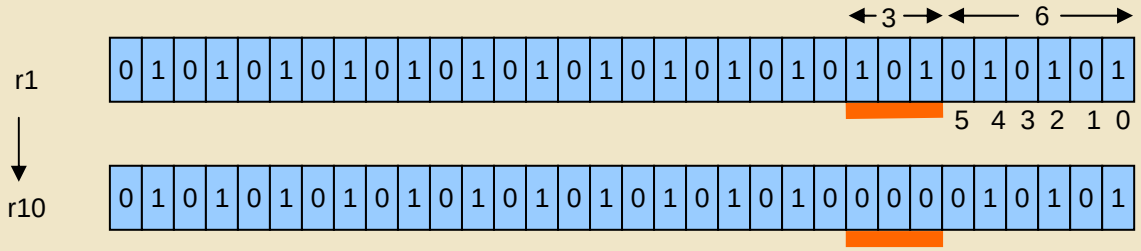
ARQUITECTURA 88110
Direccionamiento campos de bit

En ciertas instrucciones del 88110 se pueden seleccionar:

- bits individuales
- campos de bit

• Ejemplo en formato del estándar IEEE / 88110:

CLR.I3 .R10, .R1, 6 / clr r10, r1, 3<6>



• Otro ejemplo (bits individuales):

```
bb0  3, r8, 7 ;  Si (bit3 de r8)== 0 → PC ← PC + 4*7
```

ARQUITECTURA 88110
Juego de instrucciones

Tipos de instrucciones en el 88110:

- Lógicas (**`or, and, xor, mask`**)
- Aritméticas (**`add, sub, addu, subu, muls, mulu, divs, divu, cmp`**)
- Bifurcaciones (**`bb0, bb1, br, bsr, jmp, jsr`**)
- Transferencia (**`ld, st, ldcr, stcr, xmem`**)
- Campos de bit (**`clr, set, ext, extu, mak, rot`**)
- Coma flotante (**`fadd, fsub, fmul, fdiv, fcvt, flt, int, fcmp`**)

Instrucción específica del emulador: **`stop`**

ARQUITECTURA 88110
Instrucciones lógicas

Lógicas: **`or, and, xor, mask`**

INST	Operandos	Ext
or and	rD, rS1, rS2	c
xor	rD, rS1, IMM16	u
mask	rD, rS1, IMM16	u

`c: complemento a 1 de rS2`
`u: Opera con los 16 bits más significativos de rS1`

(NOTA: en las operaciones lógicas con `IMM16`, el dato inmediato se extiende con `0x0000` para `or`, `xor` y `mask` y con `0xFFFF` para la instrucción `and`)

ARQUITECTURA 88110
Instrucciones aritméticas (I)

Aritméticas: **add, sub, addu, subu,** muls, mulu, divs, divu, cmp

INST	Operandos	Ext	
add	rD, rS1, rS2	ci,co,cio	causan excep. overflow (OVF)
sub	rD, rS1, SIMM16		
addu	rD, rS1, rS2	ci,co,cio	
subu	rD, rS1, IMM16		

ci: opera con acarreo de entrada (bit28 de PSR)
co: actualiza el flag de acarreo (bit28 de PSR)
cio: equivale a usar ci+co

ARQUITECTURA 88110
Instrucciones aritméticas (II)

Aritméticas: `add, sub, addu, subu, muls, mulu, divs, divu, cmp`

```
muls   rD, rS1, rS2      ; excep. OVF

mulu { rD, rS1, rS2
     { rD, rS1, IMM16

mulu.d  rD, rS1, rS2     ; d.p. en rD

divs { rD, rS1, rS2      ; excep. div por 0
     { rD, rS1, SIMM16

divu { rD, rS1, rS2      ; excep. div por 0
     { rD, rS1, IMM16

divu.d  rD, rS1, rS2     ; d.p. en rS1 y rD
```

ARQUITECTURA 88110
Instrucciones aritméticas (III)

Aritméticas: `add, sub, addu, subu, muls, mulu, divs, divu, cmp`

```
cmp { rD, rS1, rS2
    { rD, rS1, SIMM16
```

rD	nh	he	nb	be	hs	lo	ls	hi	ge	lt	le	gt	ne	eq	0	0
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

(resto de bits a '0')

eq: 1 si y solo si rS1 = rS2
ne: 1 si y solo si rS1 ≠ rS2
gt: 1 si y solo si rS1 > rS2 (con signo)
. . . . . .

hi: 1 si y solo si rS1 > rS2 (sin signo)
. . . . . .

ARQUITECTURA 88110
Bifurcaciones/saltos

Bifurcaciones (**bb0, bb1, br, bsr, jmp, jsr**)

INST	Operandos	
bb0 bb1	B,rS1,D16 B,rS1,D16	PC ← PC+4*D16 si bit B de rS1= 0 / 1
br	D26	PC ← PC+4*D26
bsr	D26	r1←PC+4;PC←PC+4*D26
jmp	(rS1)	PC←rS1 (alineado)
jsr	(rS1)	r1←PC+4;PC←rS1 (alineado)

ARQUITECTURA 88110
Transferencia (memoria)

Transferencia (**ld, st, ldcr, stcr, xmem**)

INST	Operandos	Ext. / explicación
ld	rD, rS1, SIMM16 rD, rS1, rS2	b,bu h,hu d
st	rD, rS1, SIMM16 rD, rS1, rS2	b,h,d
ldcr	rD	rD ← PSR
stcr	rS1	PSR ← rS1
xmem	rD, rS1, rS2	rD ←→ MEM(rS1+rS2)

ARQUITECTURA 88110
Campos de bit

Campos de bit (**clr, set, ext, extu, mak, rot**)

INST	Operandos
clr set ext extu mak	rD, rS1, W5<O5> rD, rS1, rS2
rot	rD, rS1, <O5> rD, rS1, rS2

ARQUITECTURA 88110
Instrucciones de coma flotante

Coma flotante (**fadd, fsub, fmul, fdiv, fcvt, flt, int, fcmp**)

INST	Operandos	explicación
fadd.xxx fsub.xxx fmul.xxx fdiv.xxx	rD, rS1, rS2	x=s $\bar{x}$=d x=d $\bar{x}$=s
fcvt.x$\bar{x}$ flt.xs int.sx	rD, rS2	
fcmp.sxx	rD, rS1, rS2	

Pueden generar excepciones: Overflow/Underflow/NaN/Div0

ARQUITECTURA 88110
Ensamblador/Cargador

•Ensamblador: Programa que se encarga de “traducir” un programa escrito en lenguaje ensamblador a lenguaje máquina.

```
etiqueta:      instruccion_ensamblador        ; Comentarios
```

•**`Instrucción_ensamblador:`** Puede ser una instrucción-máquina o una pseudoinstrucción.

•Pseudoinstrucción:
- Instrucción para el programa ensamblador.
- No se traduce en una instrucción en memoria.
- Indica al ensamblador cómo debe generar el código-máquina.

ARQUITECTURA 88110
Pseudoinstrucciones

•Org n: Indica que el código que le sigue se almacene en la posición de memoria n.

•Res n: Indica que se reserven n bytes en memoria. N debe estar alineado a palabra.

•Data a, b, c, ...: Inicializa las posiciones de memoria con los valores a, b y c.

•Data “texto”: Inicializa las posiciones de memoria con la cadena de bytes texto. Asegura que la siguiente palabra en memoria está alineada (véase ejemplo).

•Low(etiqueta o inmediato): Devuelve los 16 bits menos significativos de la dirección asociada a la etiqueta o dato inmediato.

•High(etiqueta o inmediato): Devuelve los 16 bits más significativos de la dirección asociada a la etiqueta o dato inmediato.

ARQUITECTURA 88110
Ejemplo “data” (1)

```
INI:     ld    r3, r0, 400        ; “data.ens”
         or    r2,r0,low(numeros)
         or.u  r2,r2,high(numeros)
         stop
         org     400
         data    0x01020304

         org     412
         res 4
         data    "SSOO"
         data    "1234567890abcdefgh\n\0\t"
numeros: data    15, 0x7AF, -5
```

```
practica@avellano% 88110e -o data.bin data.ens
88110.ens-INFO: Compilando data.ens ...
88110.ens-INFO: Compiladas 12 lineas
88110.ens-INFO: Generando Codigo...
88110.ens-INFO: Programa generado correctamente
practica@avellano%
```

ARQUITECTURA 88110
Ejemplo “data” (2)

```
practica@avellano% mc88110 data.bin

 PC=0           ld       r03,r00,400      Tot. Inst: 0   ¡¡ Ciclo : 1
 FL=1 FE=1 FC=0 FV=0 FR=0
 R01 = 00000000 h R02 = 00000000 h R03 = 00000000 h R04 = 00000000 h
 R05 = 00000000 h R06 = 00000000 h R07 = 00000000 h R08 = 00000000 h
 R09 = 00000000 h R10 = 00000000 h R11 = 00000000 h R12 = 00000000 h
 R13 = 00000000 h R14 = 00000000 h R15 = 00000000 h R16 = 00000000 h
 R17 = 00000000 h R18 = 00000000 h R19 = 00000000 h R20 = 00000000 h
 R21 = 00000000 h R22 = 00000000 h R23 = 00000000 h R24 = 00000000 h
 R25 = 00000000 h R26 = 00000000 h R27 = 00000000 h R28 = 00000000 h
 R29 = 00000000 h R30 = 00000000 h R31 = 00000000 h
88110>
```

ARQUITECTURA 88110
Ejemplo “data” (3)

```
88110> e
        Fin ejecución
 PC=16          instrucción incorrecta    Tot. Inst: 4   ¡¡ Ciclo : 62
 FL=1 FE=1 FC=0 FV=0 FR=0
 R01 = 00000000 h R02 = 000001BC h R03 = 01020304 h R04 = 00000000 h
 R05 = 00000000 h R06 = 00000000 h R07 = 00000000 h R08 = 00000000 h
 R09 = 00000000 h R10 = 00000000 h R11 = 00000000 h R12 = 00000000 h
 R13 = 00000000 h R14 = 00000000 h R15 = 00000000 h R16 = 00000000 h
 R17 = 00000000 h R18 = 00000000 h R19 = 00000000 h R20 = 00000000 h
 R21 = 00000000 h R22 = 00000000 h R23 = 00000000 h R24 = 00000000 h
 R25 = 00000000 h R26 = 00000000 h R27 = 00000000 h R28 = 00000000 h
 R29 = 00000000 h R30 = 00000000 h R31 = 00000000 h
88110> v 400

       400       04030201     00000000     00000000     00000000
       416       53534F4F     31323334     35363738     39306162
       432       63646566     67680A00     09000000     0F000000
       448       AF070000     FBFFFFFF     00000000     00000000
       464       00000000     00000000     00000000     00000000

88110>
```

ARQUITECTURA 88110
Macroinstrucciones (“macros”)

•Conjunto de sentencias a las que se le asigna un nombre y se les pasa un conjunto de argumentos.

•Cuando aparece la invocación de la macro se sustituye en fase de ensamblado la macro por el conjunto de sentencias declarado en la macro cambiando los parámetros declarados por los que se pasan en la invocación.

```
Nombre_de_macro: MACRO(arg1, arg2, ..., argn)
    Conjunto de instrucciones
    Que componen la macro
ENDMACRO

swap: MACRO(ra,rb)
       or r1,ra,ra
       or ra,rb,rb
       or rb,r1,r1
ENDMACRO
```

ARQUITECTURA 88110
Macroinstrucciones (“macros”) II

•Una macro debe haberse definido previamente.

•Se permiten macros anidadas.

•No se permite la definición de etiquetas dentro de una macro.

•Se utilizan para encapsular pequeños fragmentos de código para los que no merece la pena construir una subrutina.

ESTRUCTURAS DE DATOS

Vectores: Ej. 1. Suma de los elementos de un vector

ESTRUCTURAS DE DATOS

Matrices: Ej. 2. Suma de los elementos cada columna de la matriz

ESTRUCTURAS DE DATOS

Listas: Ej. 3. Inserción de un nuevo elemento en una lista compacta y ordenada

ESTRUCTURAS DE DATOS

Listas: Ej. 4. Inserción de un nuevo elemento en una lista encadenada y ordenada

Subrutinas

•Parte de código cerrado, con especificación bien definida, que se puede utilizar desde varios puntos de un programa o diferentes programas.

•Una vez ejecutado el código de la subrutina se debe retornar “al lugar desde el que se llamó”.

•Activación de la subrutina:
- •Paso de parámetros.
- •Salvaguarda de registros. Habitualmente lo realiza el programa llamante.
- •Salvaguarda del PC
- •Bifurcación.

Subrutinas

- Tipos de variables que utiliza una subrutina:
  - Variables **globales**: Se crean cuando arranca el programa y tienen validez durante toda la vida del mismo. Cualquier subrutina puede acceder a estas variables.

  - Variables **locales** a una subrutina: Se crean cada vez que se activa la subrutina y se destruyen cuando se finaliza cada ejecución. Solo la subrutina que las crea puede acceder a ellas.

- Parámetro: Dato de entrada/salida de una subrutina que es necesario para su operación:
  - Por **valor**: Se pasa el dato necesario para su operación.
  - Por **dirección**: Se pasa la dirección de memoria en la que está contenido el dato/resultado necesario para la operación.

Subrutinas: Paso de parámetros
En registros

•El llamante y la subrutina “acuerdan” un conjunto de registros de propósito general para intercambiar los datos y resultados.

•Rápido

•Limitado en el tipo y el número de parámetros.

•Llamante

```
ld r2, r20, 0
ld r3, r20, 4
bsr suma
```

Subrutina

```
suma:  add r2, r2, r3
       jmp (r1)
```

Subrutinas: Paso de parámetros
En variables globales

•Llamante

```
num1:      res 4
num2:      res 4
bsr suma
```

Subrutina

```
suma:  or r20, r0, low(num2)
       or.u r20,r20,high(num2)
       ld r5,r20,0
       or r20, r0, low(num1)
       or.u r20,r20,high(num1)
       ld r6,r20,0
       add r5, r5, r6
       st r5, r20, r0
       jmp(r1)
```

Subrutinas: Paso de parámetros

En variables globales

•El llamante y la subrutina “acuerdan” un conjunto de variables globales, puesto que son visibles desde todas las subrutinas, para intercambiar los datos y resultados.

•Sencillo.
•Limitado en subrutinas de librería y genera problemas de reentrancia

Subrutinas: Paso de parámetros
En la pila

- Resuelve las limitaciones que tienen los sistemas anteriores.
- El llamante introduce los parámetros mediante PUSH
- Ejecuta la llamada a subrutina (CALL o bsr)
- La subrutina recoge los parámetros accediendo a la pila utilizando direccionamiento relativo a registro base.
- Si la dirección de retorno se almacena en la pila, se debe asegurar que al realizar el retorno, está en la cima de la pila.

Subrutinas: Paso de parámetros
En la pila

•Llamante

```
RESULT: RES 4
parámetro
    …
PUSH .R1
PUSH .R2
LD .R1,#RESULT
PUSH .R1
CALL /SUMA
```

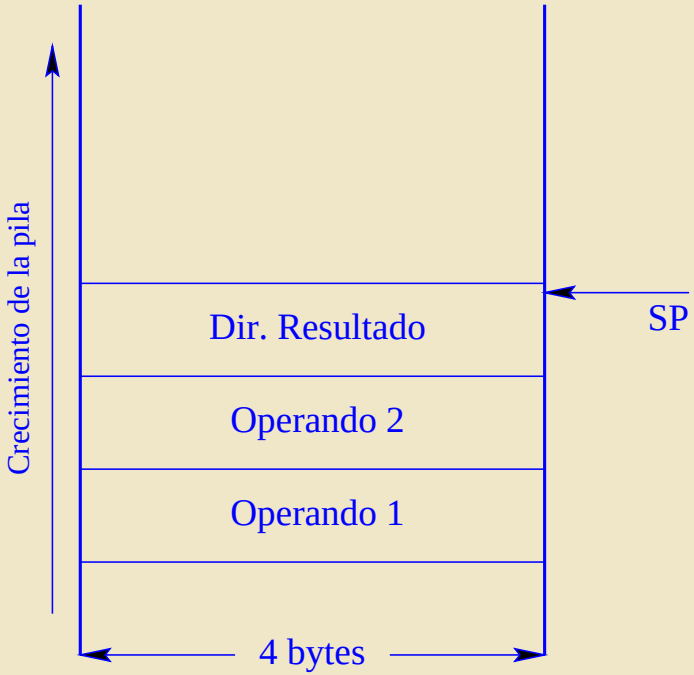
•

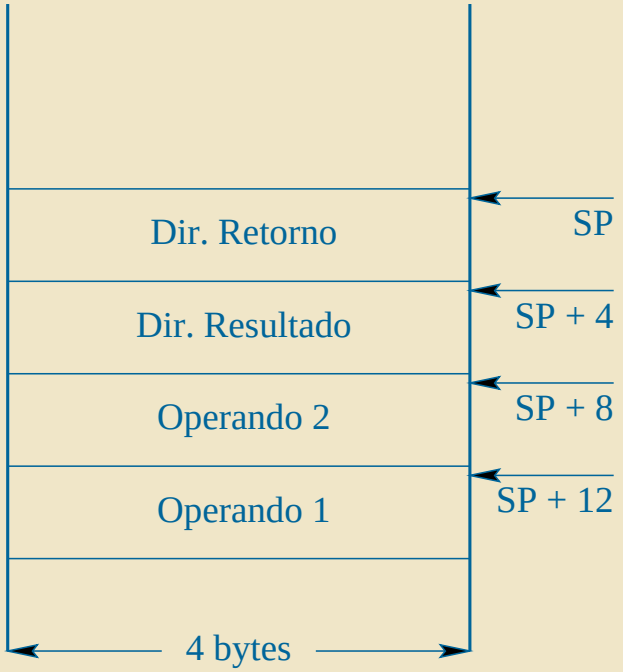
Subrutina

```
SUMA:  LD .R5, #8[.SP] ;

LD .R6, #12[.SP]; parámetro
ADD .R5, .R6
LD .R6, #4[.SP]
ST .R5,[.R6] ; resultado
RET
```

Subrutinas: Paso de parámetros
En la pila





88110: Gestión de la pila

- 88110 tiene limitaciones:
  - No tiene puntero de pila, por tanto no tiene PUSH ni POP: el número y tipos de parámetros es limitado.
  - Almacena la dirección de retorno en r1: el número de llamadas anidadas es limitado.
- Soluciones:
  - Se asigna un registro de propósito general como puntero de pila: r30.
  - Se crean dos macros: PUSH y POP
- El protocolo que se muestra en la siguiente transparencia es obligatorio si hay llamadas anidadas.

88110: Gestión de la pila

```
PUSH: MACRO(ra)
    subu r30, r30, 4
    st   ra, r30, 0
ENDMACRO

result: res 4
        …
PUSH(r1)
PUSH(r2)
or r1,r0,low(result)
or.u r1,r1,high(result)
PUSH(r1)
bsr suma
```

```
POP: MACRO(ra)
       ld   ra, r30, 0
       addu r30, r30, 4
     ENDMACRO

suma:  PUSH(r1)
       ld r5, r30, 8
       ld r6, r30, 12
       add r5, r5, r6
       ld r6, r30, 4
       st r5, r6, 0
       POP(r1)
       jmp(r1)
```

Marco de pila

•**Marco de pila:** Conjunto de datos privados a una subrutina que incluye, parámetros, dirección de retorno y variables locales.

•Es necesario conocer cómo se organiza la información en la pila en un lenguaje de alto nivel.

•En los ejemplos anteriores, si es necesario almacenar información en la pila el puntero de pila varía a lo largo de la ejecución de la subrutina

•Por ejemplo, el desplazamiento para acceder a un parámetro sería diferente en distintos puntos de una subrutina.

Marco de pila

•Se dedica un registro que apunta a una posición conocida del marco de pila: **puntero de marco de pila** (*frame pointer* o FP). En 88110 es r31.

•Si hay llamadas anidadas, cada una de las llamadas tendrá su propio FP.

•Al entrar en la subrutina hay que asegurar que el marco de pila de la subrutina llamante no se destruye.

•Se debe crear el espacio necesario para variables locales.

•Se deben realizar las inicializaciones de las variables locales.

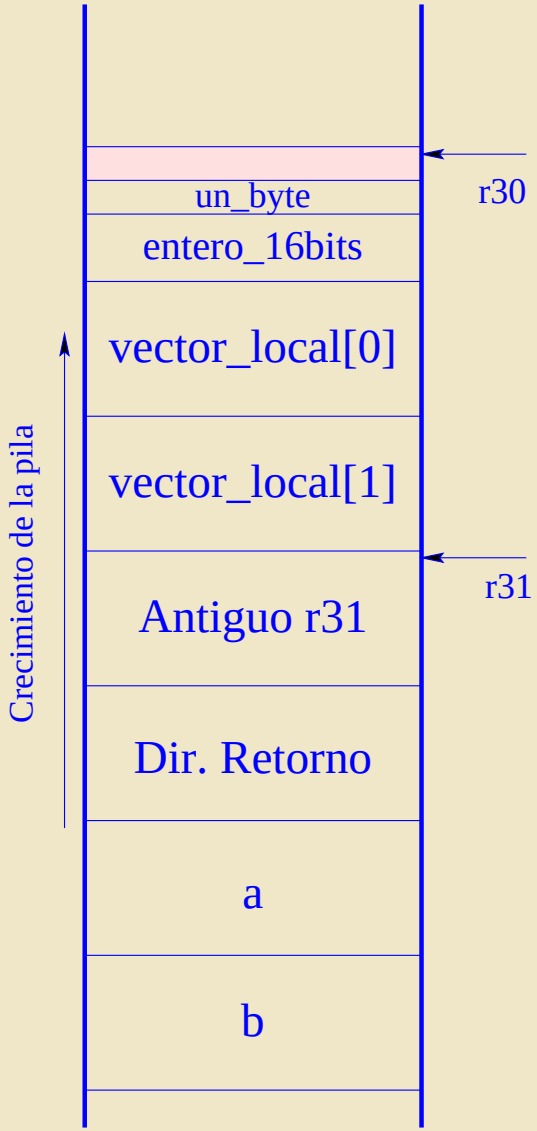
Marco de pila

```
void vector (int a[], int b [])
{
        int vector_local[2];        /* Vector de enteros
                                 de una palabra (4 bytes) */
        short entero_16bits = 0; //Entero de dos bytes
        char un_byte;        // Variable de un byte
        … … … …
```

Marco de pila: creación

```
vector: PUSH (r1)           ; Guarda la dir. de retorno
        PUSH(r31)           ; Guarda el puntero al marco
                            ; de pila del llamante
        or r31, r30, r0     ; Crea el nuevo marco de pila
                            ; a partir de SP (r30)
        subu r30, r30, 12   ; Reserva 12 bytes para
                            ; variables locales
        st.h r0, r31, -10   ; Inicializ. de entero_16bits
        ; Inicio del código de la subrutina
        ld r6, r31, 12      ; Acceso la dirección de
                            ; comienzo del vector b
        … … …
```

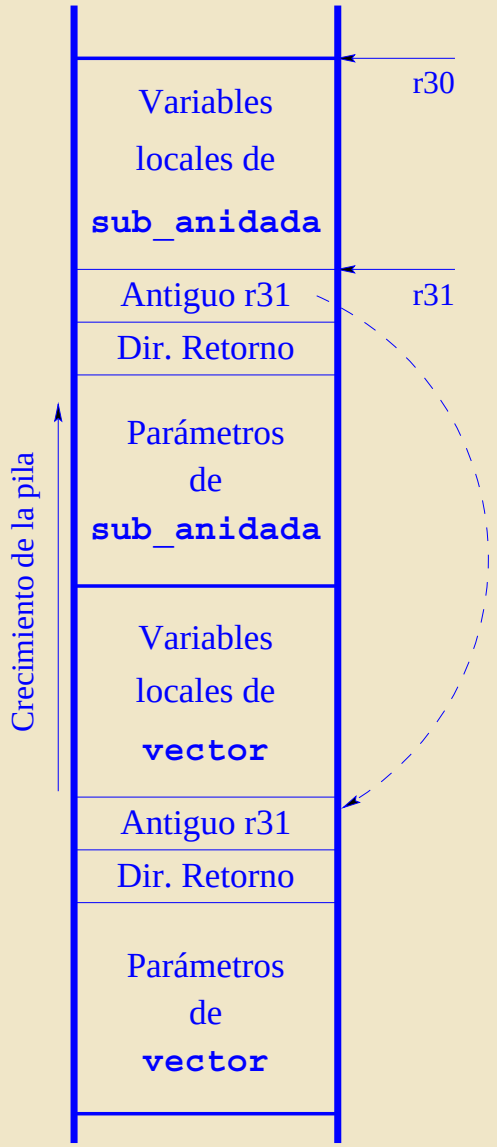
Marco de pila



Marco de pila: destrucción

```
or r30, r31, r0     ; Restaura el puntero de pila
                    ; (r30) al valor del puntero
                    ; de marco (r31)
POP(r31)            ; Recupera el puntero de
                    ; marco del llamante
POP(r1)             ; Recupera la dir. de retorno
jmp(r1)             ; Retorno de subrutina
```

Marco de pila



Parámetros: otras consideraciones

•El orden en el paso de parámetros es un acuerdo entre la subrutina llamante y la llamada.

•En el ejemplo anterior el parámetro a está en la cima de la pila al realizar la llamada a subrutina, tal y como lo realizan los lenguajes de programación de alto nivel.

•El parámetro que está en la cima siempre ocupa la misma posición en la pila independientemente del número de parámetros. Utilizando este se puede acceder al resto.

•Este acuerdo es útil para subrutinas con número variable de parámetros: printf de la librería de C.

Parámetros: funciones

- Funciones: subrutinas que tienen un valor de retorno:
  - Indica el estado de ejecución de la función.
  - Es una función matemática y es su resultado.

- Estos valores de retorno se utilizan inmediatamente:
  - Comprobar el estado.
  - Introducir el resultado en una expresión.

- Por estas razones se utilizan registros y, habitualmente, el valor de retorno no suele ser un tipo complejo de datos (estructura).

Recursividad

- Una subrutina recursiva es la que en su ejecución tiene llamadas a sí misma.

- La recursividad se utiliza para resolver
  - funciones matemáticas cuya definición es recursiva (por ejemplo el factorial).
  - Problemas que requieren almacenamiento en estructuras de datos recursivas (árboles, sistemas de ficheros basados en directorios, etc.)

- Hay que tener en cuenta:
  - Caso general: incluye la llamada a la propia función con diferentes parámetros a los que se recibieron.

  - Caso particular: no se realiza la llamada recursiva.