Módulo 09

Modos de Direccionamiento (Pt. 2)

Organización de Computadoras
Depto. Cs. e Ing. de la Comp.
Universidad Nacional del Sur

Copyright

Contenidos

- Tipos de instrucciones
- Formato de instrucción
- Modos de direccionamiento
  - Directo vs. Indirecto
  - Absoluto vs. Relativo
- Código automodificable
- Código independiente de la posición
- La arquitectura **OCUNS**

Modos implementados en HW

- Los diseñadores de las arquitecturas han ensayado diversos modos de direccionamiento para atender a estos cuestionamientos
- No obstante, pocas arquitecturas implementan la totalidad de los modos de direccionamiento
- En general se adopta un subconjunto que es implementado en hardware, dejando el resto para ser simulado vía software

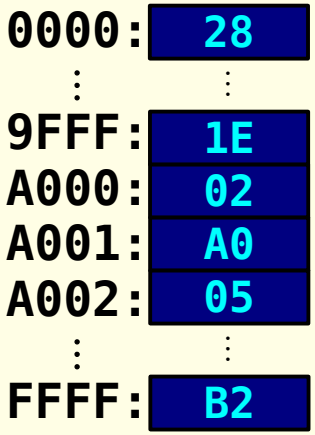
Modos implementados en HW

- Por caso, el Motorola **6809** implementa en **HW**:

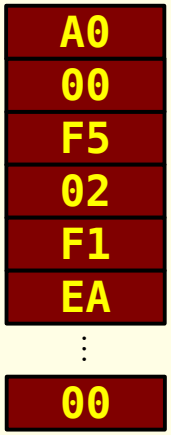
Nombre	Mnemónico	Op. Accedido
Registro	**Ri**	**Ri**
Registro Indirecto	**(Ri)**	**M[Ri]**
Absoluto	**addr**	**M[addr]**
Absoluto Indirecto	**(addr)**	**M[M[addr]]**
Inmediato	**#const**	**const**
Auto-incremento	**(Ri)+**	**M[Ri]; Ri++**
Auto-decremento	**-(Ri)**	**--Ri; M[Ri]**
PC Relativo	**PC(const)**	**M[PC + const]**
Base	**Ri(addr)**	**M[Ri + addr]**
Indexado	**addr(Ri)**	**M[addr + Ri]**
Base indexado	**Ri(Rj)**	**M[Ri + Rj]**

Inmediato

- Interpretación: el contenido del campo argumento es el operando
- Ejemplos:
  - **add #5** (pila)
  - **add R0, #5** (**CISC**)
  - **add R0, R0, #5** (**RISC**)



memoria



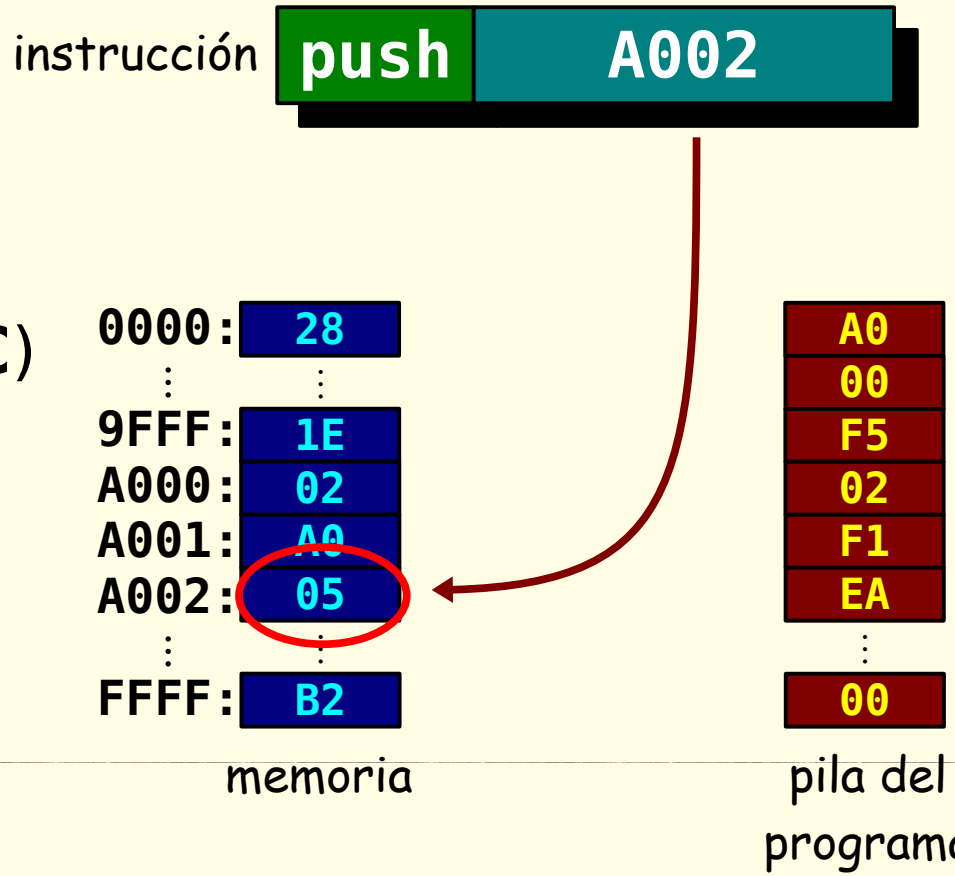
pila del programa

Inmediato

- Características:
  - También se lo conoce como modo literal
  - Altamente eficiente, pues no requiere acceder a memoria (el operando es obtenido al acceder inicialmente a memoria para traer la instrucción)
  - El rango puede estar acotado a la cantidad de bits disponibles en el formato de la instrucción
  - Se lo utiliza para operar con valores constantes
  - En caso de no estar soportado por el hardware, se lo puede simular a nivel de lenguaje ensamblador

Absoluto

- Interpretación: el contenido del campo argumento es la ubicación en memoria del operando
- Ejemplos:
  - **`push A002`** (stack)
  - **`mov R0, [A002]`** (**CISC**)
  - **`load R0, A002`** (**RISC**)



Absoluto

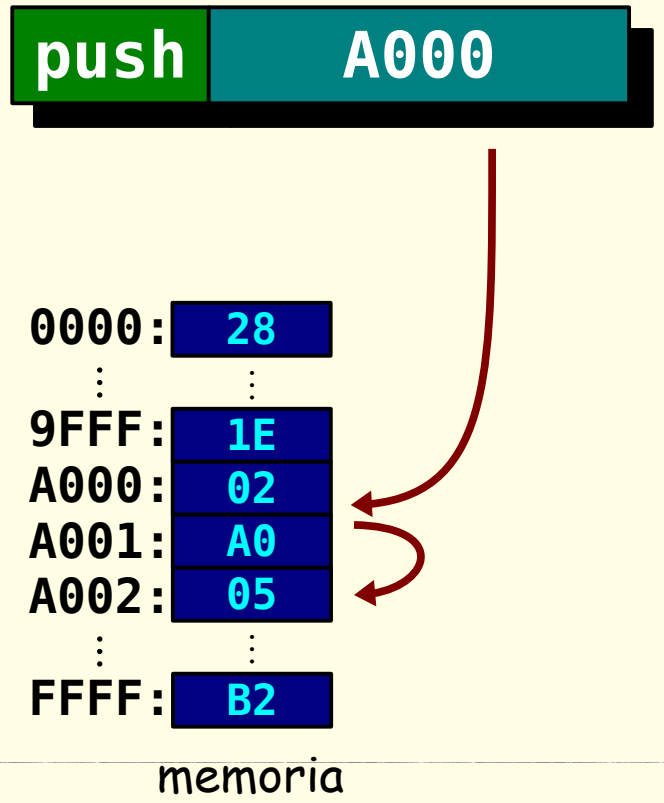
- Características:
  - También se lo conoce como modo memoria directo
  - Implica un acceso adicional a memoria (aparte del acceso inicial para traer la instrucción)
  - La instrucción contiene la dirección efectiva del argumento
  - El espacio de direcciones está acotado por la cantidad de bits permitidos por el formato de instrucción
  - No es práctico para recorrer estructuras de datos (¿por qué razón?)

Código automodificable

- El modo directo es apropiado para acceder a tipos de datos simples (por caso, variables), no así a tipos de datos complejos
  - Para recorrer tipos complejos (tales como arreglos o registros), tenemos que modificar en tiempo de ejecución al campo argumento de la instrucción
  - Este tipo de código se lo denomina automodificable
  - El emplear código automodificable complica la interpretación del significado de un programa
  - La alternativa más adecuada consiste en hacer uso de referencias indirectas

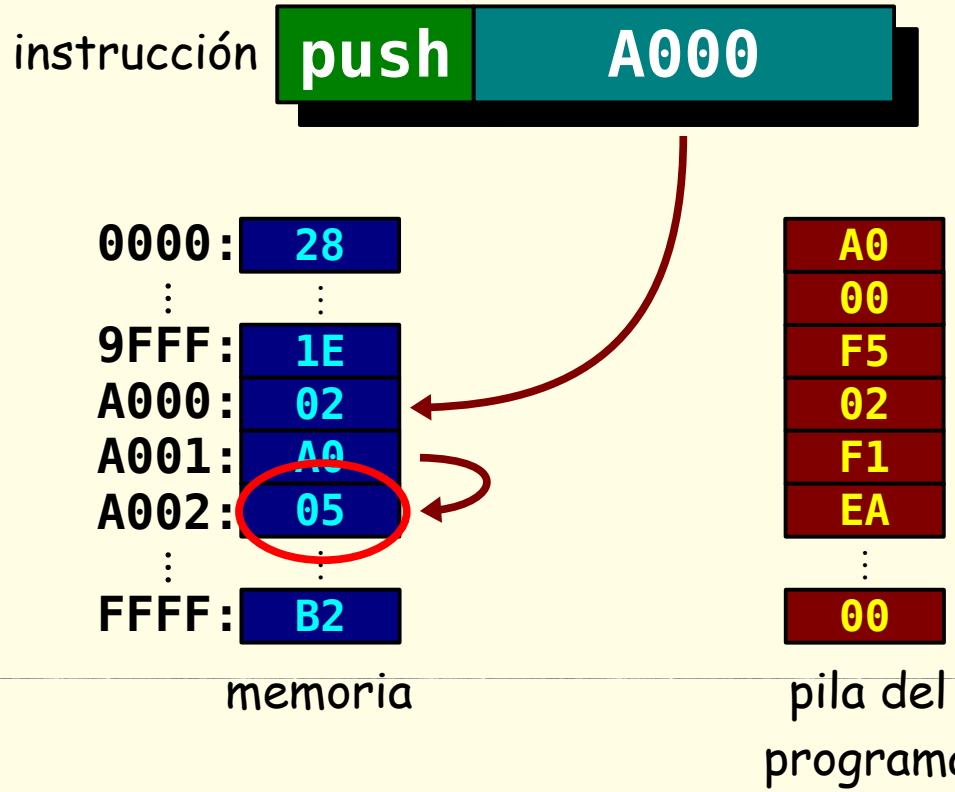
Directo vs. indirecto

- La idea detrás del modo indirecto consiste en agregar un paso adicional en la búsqueda del argumento:
  - En el modo directo accedemos al valor deseado
  - En el indirecto accedemos a una dirección de memoria en la cual encontraremos el valor deseado
- Este paso adicional implica un segundo acceso a memoria



Absoluto indirecto

- Interpretación: el contenido del campo argumento es la ubicación en memoria de la dirección del operando
- Ejemplo:
  - **push (A000)** (stack)

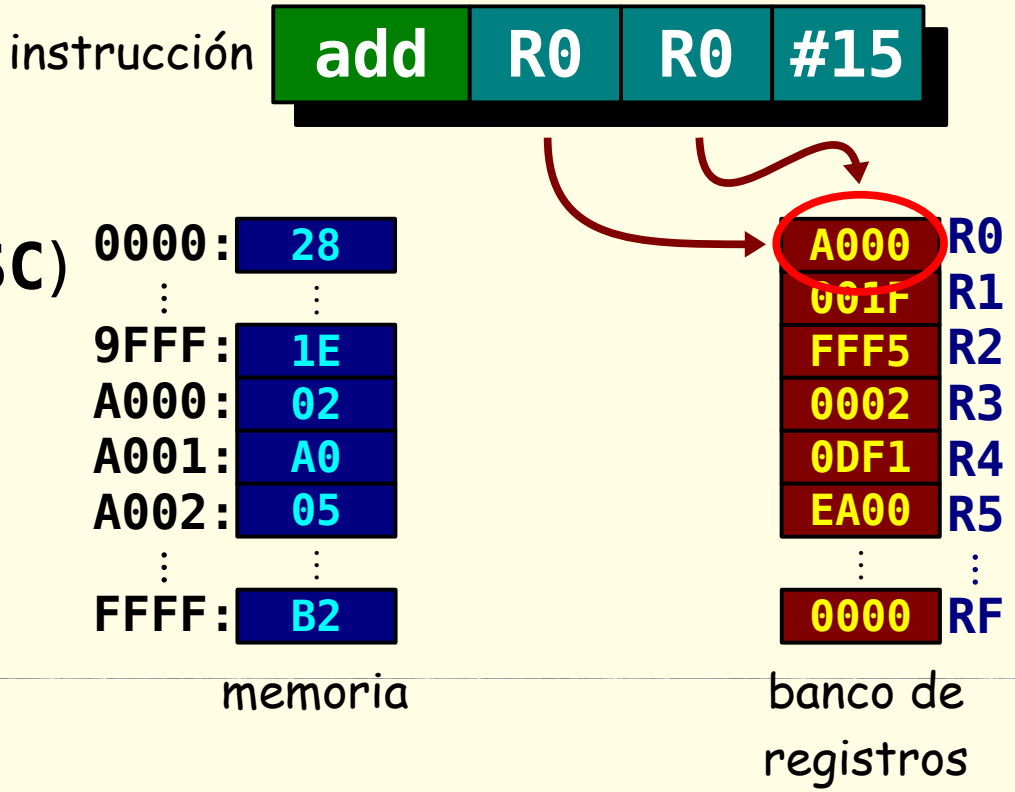


Absoluto indirecto

- Características:
  - También se lo conoce como memoria indirecto
  - Implica dos accesos adicionales a memoria (aparte del acceso inicial para traer la instrucción)
  - Extremadamente flexible, permite recorrer cualquier estructura de datos, si bien está actualmente en desuso por lo oneroso en tiempo de ejecución
  - De ser requerida su flexibilidad, se lo puede simular haciendo uso de otros modos de direccionamiento

Registro

- Interpretación: el contenido del campo argumento es la ubicación del operando dentro del banco de registros
- Ejemplos:
  - **`add R0, #15`** (**CISC**)
  - **`add R0, R0, #15`** (**RISC**)

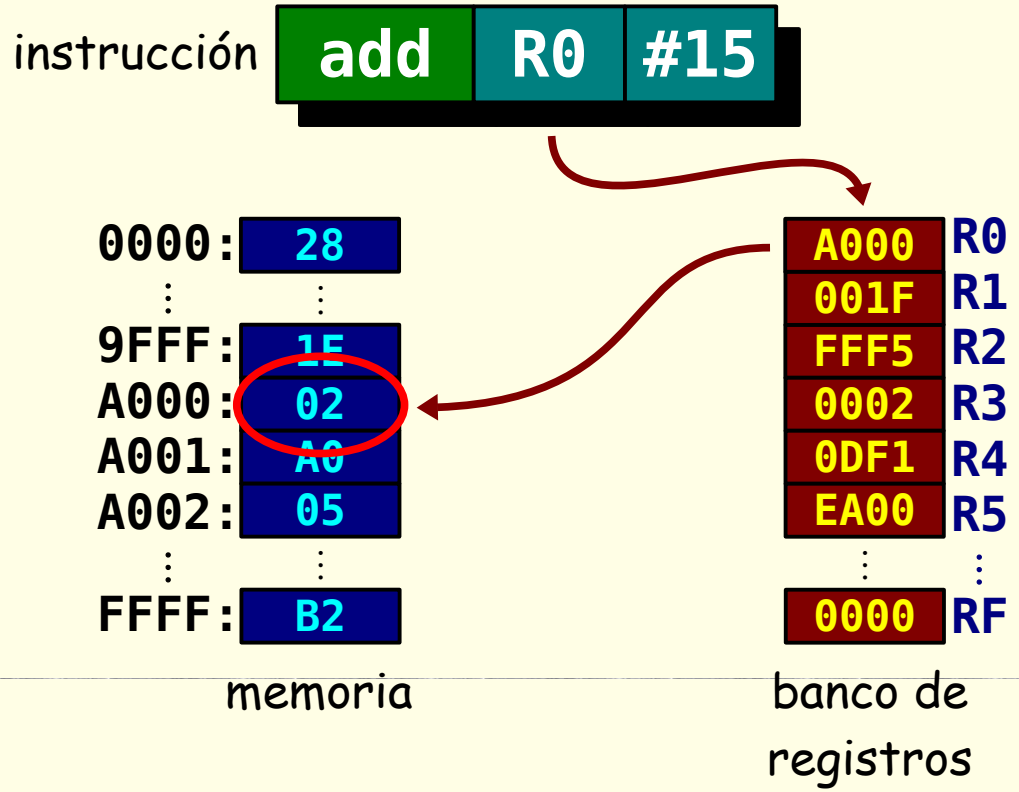


Registro

- Características:
  - También se lo conoce como registro directo
  - Análogo al modo absoluto, usando al banco de registros del procesador como espacio de direcciones
  - Altamente eficiente ya que no requiere acceder a memoria (aparte del acceso inicial)
  - Se puede codificar con muy pocos bits (puesto que direcciona un espacio bastante acotado)
  - Junto al modo registro indirecto permite simular otros modos de direccionamiento

Registro indirecto

- Interpretación: el contenido del campo argumento es la ubicación dentro del banco de registros de la dirección del operando
- Ejemplo:
  - **add [R0], #15** (**CISC**)

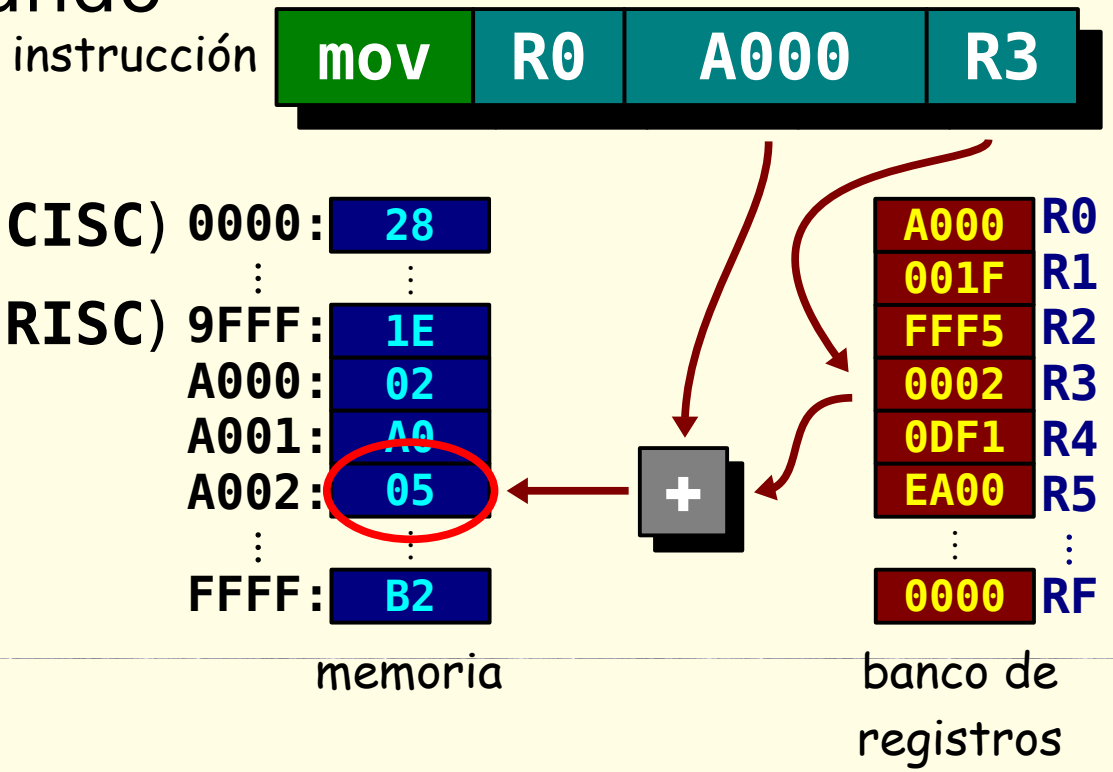


Registro indirecto

- Características:
  - Análogo al modo absoluto indirecto, pero recuperando la dirección del operando del banco de registros
  - Se puede codificar con muy pocos bits (puesto que direcciona un espacio bastante acotado)
  - No obstante, al ser indirecto retiene la capacidad de direccionar la totalidad del espacio de direcciones
  - Resulta altamente flexible, permitiendo recorrer estructuras de datos complejas
  - Más eficiente que el modo absoluto indirecto, ya que sólo requiere un acceso a memoria (aparte del inicial)

Indexado

- Interpretación: el campo argumento contiene una dirección de base fija y un desplazamiento variable que sumados dan la ubicación en memoria del operando
- Ejemplo:
  - `mov R0, [A000+R3]` (CISC)
  - `load R0, A000(R3)` (RISC)

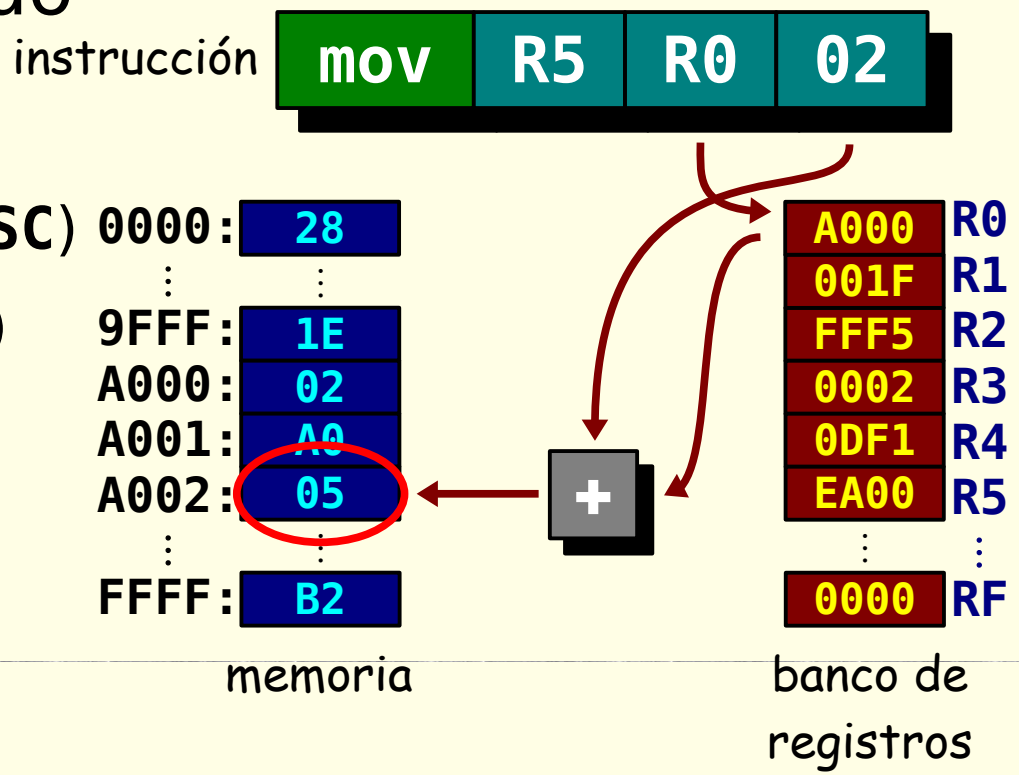


Indexado

- Características:
  - Relativamente eficiente, puesto que requiere sólo un acceso a memoria (aparte del acceso inicial)
  - La dirección de base de la estructura tiene que ser una dirección completa
  - El desplazamiento para poder variar se debe almacenar en un registro del procesador
  - Está pensado para recorrer múltiples elementos de una única estructura de datos

Base

- Interpretación: el campo argumento contiene un desplazamiento fijo y una dirección de base variable que sumados dan la ubicación en memoria del operando
- Ejemplo:
  - `mov R5, [R0 + 02]` (CISC)
  - `load R5, R0(02)` (RISC)



Base

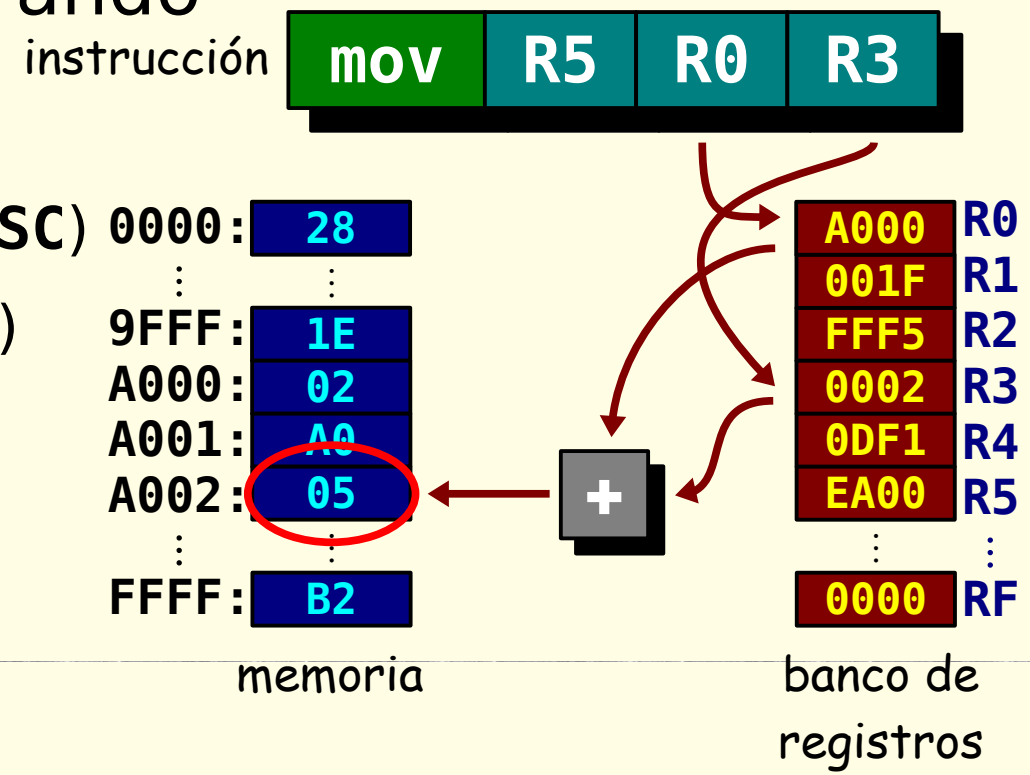
- Características:
  - Relativamente eficiente, puesto que requiere sólo un acceso a memoria (aparte del acceso inicial)
  - La base para poder variar se debe almacenar en un registro del procesador
  - El desplazamiento usualmente está acotado a una cierta cantidad de bits
  - Usualmente se codifica este desplazamiento en dos complemento
  - Está pensado para acceder a un único elemento en múltiples estructuras de datos

¿Base o indexado?

- Un error frecuente (incluso en el final) consiste en confundir los modos base e indexado
- La clave para distinguirlos radica en observar qué codificamos dentro de la instrucción:
  - En el modo indexado codificamos una dirección completa, esto es, un entero positivo que necesita de tantos bits como bits tengan las direcciones de memoria
  - En el modo base codificamos un desplazamiento signado, el cual es práctico incluso en caso de contar con pocos bits

Base-indexado

- Interpretación: el campo argumento contiene una dirección de base y un desplazamiento, ambos variables, que sumados dan la ubicación en memoria del operando
- Ejemplo:
  - `mov R5, [R0 + R3]` (CISC)
  - `load R5, R0(R3)` (RISC)



Base-indexado

- Características:
  - Relativamente eficiente, puesto que requiere sólo un acceso a memoria (aparte del acceso inicial)
  - Tanto la base como el desplazamiento para poder variar deben ser almacenados en sendos registros del procesador
  - Máxima flexibilidad, permite recorrer múltiples elementos almacenados en múltiples estructuras de datos

Base-indexado indirecto

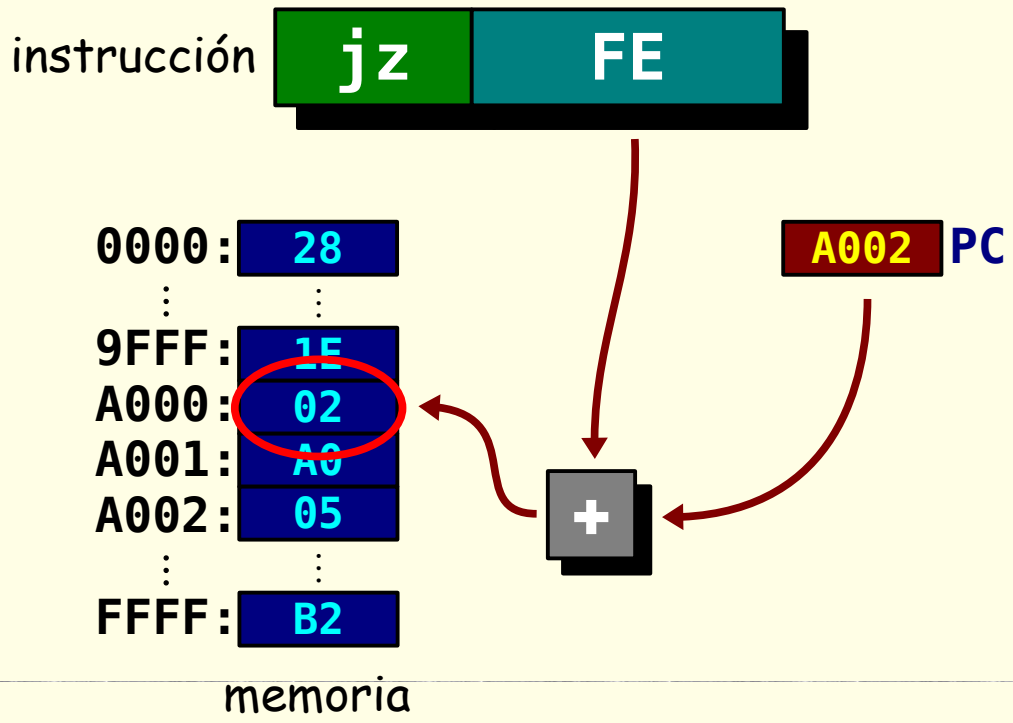
- La combinación de los modos base-indexado y absoluto indirecto genera dos posibles modalidades de uso:
  - Pre-indexado indirecto: el registro base y el registro índice son sumados para obtener la dirección en memoria de la dirección del operando
  - Post-indexado indirecto: el registro base contiene la dirección en memoria de un valor el cual sumado al registro índice permiten obtener la dirección del operando

Base-indexado indirecto

- Características:
  - La misma crítica realizada acerca del modo absoluto indirecto se aplica en este nuevo contexto
  - La modalidad pre-indexado indirecto es útil para acceder a tablas de interrupciones
  - La modalidad post-indexado indirecto es útil para acceder a los campos de un registros, ya que por lo general éstos son gestionados a través de un puntero (es decir, la dirección en memoria del comienzo de la estructura)

PC relativo

- Interpretación: el campo argumento contiene un desplazamiento fijo el cual debe ser sumado al contenido del registro **PC** para obtener la dirección referida
- Ejemplo:
  - `jz label`



PC relativo

- Características:
  - Requiere un único acceso a memoria (aparte del acceso inicial para traer la instrucción)
  - El desplazamiento, un entero signado, suele estar representado en dos complemento
  - Los saltos condicionales usualmente hacen uso de este modo de direccionamiento para hacer referencia al destino de los mismos

Código independiente de la posición

- Los modos de direccionamiento base y relativo permiten la construcción de código cuyo funcionamiento es independiente de la posición en la cual termine siendo cargado en memoria
- Este tipo de código se denomina justamente independiente de la posición, o bien **PIC** (por su sigla en inglés, Position Independent Code)
- La clave a fin de obtener este tipo de código radica en evitar toda forma de direccionamiento absoluto

Código independiente de la posición

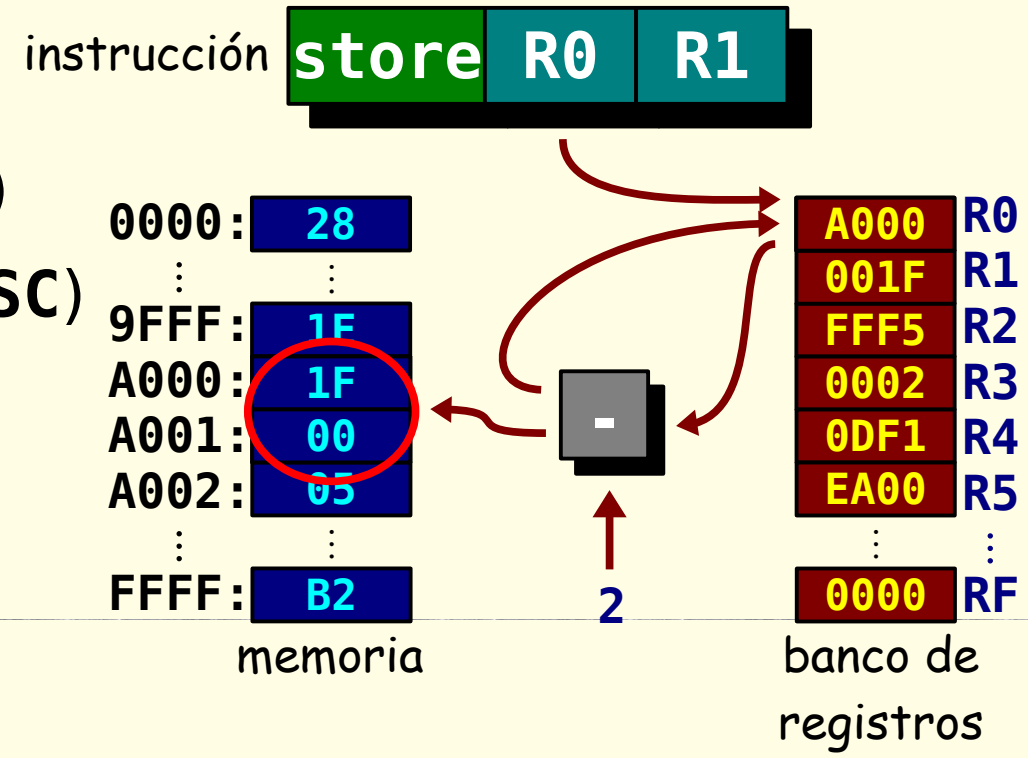
- El advenimiento de modelos avanzado de gestión de memoria hizo que este tipo de código sea relevante solo en ciertos dominios de aplicación muy específicos
  - Por caso, las librerías de vinculación dinámica, que son compartidas por múltiples aplicaciones al mismo tiempo
  - Esta también es una característica deseable para el código creado con el objeto de ser ejecutado en dispositivos embebidos (algo frecuente en el internet de las cosas o **IoT** por su sigla en inglés)

Código independiente de la posición

- El código independiente de la posición se clasifica en dos grandes categorías:
  - Estático: cuando el código inicialmente puede ser cargado en cualquier locación de memoria, pero una vez cargado en memoria deja de ser relocable
  - Dinámico: cuando el código puede ser cargado en cualquier locación de memoria y de ser necesario también puede ser relocado en todo momento
- En general, para obtener código **PIC** dinámico se debe hacer uso exclusivo de referencias relativas

Auto-decrement

- Interpretación: el campo argumento contiene una referencia a un registro el cual primero es decrementado y luego es usado como la dirección en memoria del operando
- Ejemplo:
  - `mov -(R0), R1` (CISC)
  - `store R1, -(R0)` (RISC)



Auto-decrement

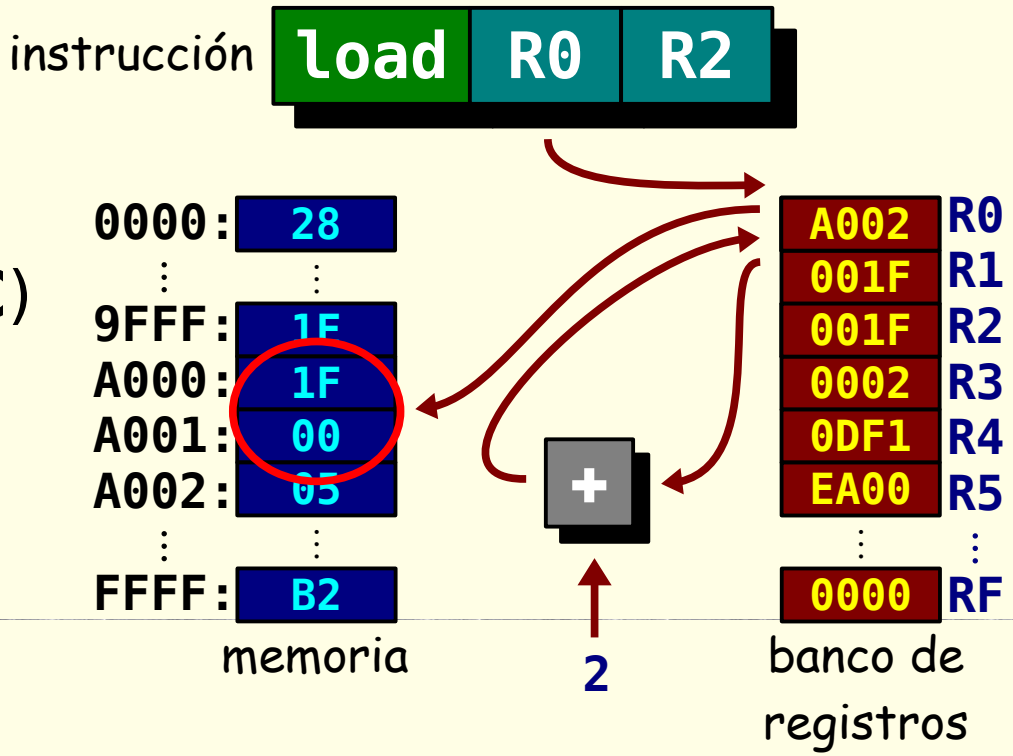
- Características:
  - Relativamente eficiente, puesto que requiere sólo un acceso a memoria (aparte del acceso inicial)
  - Equivale a ejecutar la siguiente secuencia de instrucciones (asumida una arquitectura de 16 bits):

```
dec R0; dec R0; store R1, (R0)
```

  - Permite gestionar con facilidad una estructura de pila, especialmente a la hora de implementar la operación de apilado (**push**)

Auto-increment

- Interpretación: el campo argumento contiene una referencia a un registro es usado como la dirección en memoria del operando y luego es incrementado
- Ejemplo:
  - `mov R2, (R0)+` (CISC)
  - `load R2, (R0)+` (RISC)



Auto-increment

- Características:
  - Relativamente eficiente, puesto que requiere sólo un acceso a memoria (aparte del acceso inicial)
  - Equivale a ejecutar la siguiente secuencia de instrucciones (nuevamente, asumida una arquitectura de 16 bits):

```
load R2, (R0); inc R0; inc R0
```

  - Permite gestionar con facilidad una estructura de pila, especialmente a la hora de implementar la operación de desapilado (**pop**)

La arquitectura OCUNS

- La arquitectura **OCUNS** nos servirá de banco de prueba sobre el cual pondremos en práctica las nociones recién introducidas acerca de los modos de direccionamiento
  - Es una arquitectura estilo **RISC**
  - Sus instrucciones son de tamaño fijo de 16 bits
  - El espacio de direcciones es de 256 bytes
  - Cuenta con 16 registros de propósito general, si bien el registro **F** se encuentra cableado a cero
  - No existe físicamente, es de papel y lápiz

Set de instrucciones

Opcode	Descripción	Formato	Pseudocódigo
0	add (add)	**I**	`R[d] ← R[s] + R[t]`
1	sub (subtract)	**I**	`R[d] ← R[s] - R[t]`
2	and (and)	**I**	`R[d] ← R[s] & R[t]`
3	xor (xor)	**I**	`R[d] ← R[s] ^ R[t]`
4	lsh (left shift)	**I**	`R[d] ← R[s] << R[t]`
5	rsh (right shift)	**I**	`R[d] ← R[s] >> R[t]`
6	load (load)	**I**	`R[d] ← mem[offset + R[s]]`
7	store (store)	**I**	`mem[offset + R[d]] ← R[s]`
8	lda (load address)	**II**	`R[d] ← addr`
9	jz (jump zero)	**II**	`if (R[d] == 0) PC ← PC + addr`
A	jg (jump greater)	**II**	`if (R[d] > 0) PC ← PC + addr`
B	call (jump and link)	**II**	`R[d] ← PC; PC ← addr`
C	jmp (jump register)	**III**	`PC ← R[d]`
D	inc (increment)	**III**	`R[d] ← R[d] + 1`
E	dec (decrement)	**III**	`R[d] ← R[d] - 1`
F	hlt (halt)	**III**	`exit`

Formato de instrucción

- El formato de instrucción adoptado hace uso de la técnica de expansión del opcode para determinar el tipo y número de los argumentos

FORMATO	15 14 13 12	11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
I	0 × × ×	dest. d	src. s	src. t/off.
II	1 0 × ×	dest. d	address addr	
III	1 1 × ×	dest. d	-	

  - Nótese que en este caso en particular no se está usando esta técnica para ir en busca de bits adicionales para el opcode

Modos de direccionamiento

- La arquitectura **OCUNS** cuenta con un reducido número de modos de direccionamiento:
  - El modo registro directo está disponible en las operaciones aritmético lógicas (formatos **I**, **II** y **III**)
  - El modo registro más desplazamiento está disponible en las instrucciones de transferencia de información desde y hacia memoria (formatos **I** y **II**)
  - El modo absoluto y **PC**-relativo está disponible en las instrucciones de transferencia de control (formato **II**)

Lenguaje máquina

- Consideremos el siguiente fragmento de programa en lenguaje ensamblador:

```
add R0, R1, R2
sub R3, R4, R5
hlt
```

- El lenguaje máquina asociado resulta:

```
add R0, R1, R2 ➡ 0000000000010010 = 0012h
sub R3, R4, R5 ➡ 0001001101000101 = 1345h
hlt            ➡ 1111000000000000 = F000h
```

Naturaleza RISC

- La naturaleza **RISC** de la arquitectura **OCUNS** se evidencia por caso en el hecho de que no cuenta con el modo inmediato
- Por caso, ¿de qué manera se puede poner a cero el registro **R0**?
  - `add R0, RF, RF`
  - `sub R0, R1, R1`
  - `xor R0, R2, R2`
  - …

Otras características

- Esta arquitectura seguirá siendo usada como banco de prueba de los restantes conceptos de bajo nivel que veremos en las siguientes clases:
  - Proceso de ensamblado de un programa
  - Vinculación y carga en memoria
  - Relocación dinámica de código
  - El rol del sistema operativo en la atención de las interrupciones y de los traps
  - Llamada a procedimientos y pasaje de parámetros
  - Programación de bajo nivel de la entrada/salida

¿Preguntas?