

## MEMORIAS

### 1 INTRODUCCIÓN

Una unidad de memoria es un conjunto de celdas de almacenamiento junto con los circuitos asociados que se necesitan para ingresar y sacar la información de almacenamiento. La memoria almacena información binaria en grupos de bits que se denominan *palabras*. Una palabra en la memoria es una entidad de bits que se introducen o se sacan del almacenamiento como una unidad. Una palabra de memoria es un grupo de números 1 y 0 que puede representar un número, un código de instrucción, uno o mas caracteres alfanuméricos o cualquier otra información en código binario. La mayor parte de las memorias de las computadoras utilizan palabras cuyo número de bits es un múltiplo de 8, por lo tanto, una palabra de 16 bits contiene dos bytes, y una palabra de 32 bits está formada de cuatro bytes. La capacidad de las memorias en las computadoras comerciales por lo general se define como la cantidad total de bytes que pueden almacenarse.

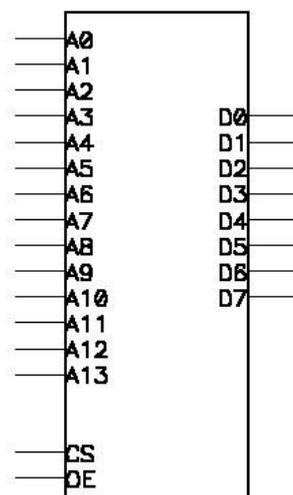
La estructura interna de una unidad de memoria está especificada por el número de palabras que contiene y la cantidad de bits en cada palabra. Una líneas especiales de entrada, llamadas líneas de direccionamiento, seleccionan una palabra particular. A cada palabra en la memoria se le asigna un número de identificación, llamado una dirección, que comienza en cero y continua con 1, 2, 3, hasta  $2^k-1$  donde  $k$  es la cantidad de líneas de dirección. Se selecciona una palabra específica en al memoria, al aplicar la dirección binaria de  $k$  bits a las líneas de dirección.

Se utilizan dos tipos principales de memoria en los sistemas de computadoras: memoria de acceso aleatorio RAM (random-access memory), y memorias de sólo lectura ROM (read-only memory).

#### 1.1 Memorias ROM

Como su nombre lo indica, una memoria de sólo lectura (ROM) es una unidad de memoria que sólo ejecuta la operación de lectura; no tiene la posibilidad de escritura. Esto implica que la información binaria almacenada en una ROM se hace permanente durante la producción del hardware de la unidad y no puede alterarse escribiendo diferentes palabras en ella.

Una ROM  $m \times n$  es un arreglo de celdas binarias organizadas en  $m$  palabras de  $n$  bits cada una. Una ROM tiene  $k$  líneas de entrada de dirección para seleccionar una de  $2^k = m$  palabras de memoria, y  $n$  líneas de salida, una para cada bit de la palabra. En la figura se muestra una rom de  $k=14$  y  $n = 8$ .



Es fácil observar que con una ROM se puede implementar cualquier función lógica de  $k$  variables de entrada y  $n$  salidas. Basta con especificar el "contenido" de la ROM de manera que los  $n$  bits de cada palabra (posición del array) correspondan al valor de la función en el punto (que coincide con el índice del array).

La ROM no necesita una línea de control de lectura, porque en cualquier momento las líneas de salida proporcionan en forma automática los  $n$  bits de la palabra seleccionada por el valor de dirección. Además, una vez que se establece la función entre las entradas y las salidas, esta permanece dentro de la unidad, aún cuando la corriente se apague y se encienda de nuevo.

La ROM tiene un amplio campo de aplicaciones en el diseño de sistemas digitales. Cuando se emplea en un sistema de computadora como una unidad de memoria, la ROM se utiliza para almacenar programas fijos que no van a alterarse y para tablas de constantes que no están sujetas a cambio.

## 1.2 Variantes Tecnológicas

Las ROMs así construidas tienen el inconveniente que una vez que se fabrican no es posible cambiar su contenido.

Esto no sería un problema significativo cuando usamos las ROMs como circuito combinatorio. Sin embargo el uso habitual de las ROMs es el de almacenar programas fijos (ej: las rutinas de inicio de un computador, el programa almacenado de un controlador de un semáforo, un ascensor, un lavarropas, etc). Los programas tienen correcciones y mejoras constantes, por lo que es poco práctico (y poco rentable) tener que producir nuevas ROMs cada vez que hay un cambio.

Por ello se fueron desarrollando con el tiempo nuevos circuitos que dieran respuesta a esta situación: por un lado fueran memorias permanentes (no perdieran su contenido al quedar sin energía eléctrica) y por otro pudiera ser modificado su contenido de alguna forma.

### 1.2.1 PROM

Las PROM son **Programmable ROM**. Una PROM es una ROM cuyo contenido puede ser definido a posteriori de construida, mediante una actividad de programación que se realiza utilizando un circuito electrónico especial (un Programador de PROMs).

En esencia son ROMs que tienen en su entrada  $D_{ij}$  a las ANDs de selección una conexión tanto a ground (0) como a  $V_{cc}$  (1). Esta conexión está realizada mediante un fusible, el cual se quema al momento de "programar" el contenido de la PROM. Si quiero grabar un 0 quemo el fusible de la conexión a  $V_{cc}$  y si quiero grabar un 1 quemo el fusible de la conexión a tierra.

Estos fusibles no pueden reconstruirse. Cuando se graba una PROM con un cierto contenido no hay marcha atrás.

### 1.2.2 EPROM

Si bien las PROMs significaron un avance, el hecho de no tener "vuelta atrás" aún significaba una restricción para el uso intensivo de PROMs en el almacenamiento de programas. De esa necesidad no del todo satisfecha surgió la tecnología de las EPROM (**Erasable PROM**).

Una EPROM es una ROM que puede ser borrada. El mecanismo de borrado es totalmente distinto al de programación e implica un proceso de exposición del circuito a luz ultravioleta por varios minutos. La gran ventaja es que puede reutilizar las EPROMs muchas veces borrando su contenido y grabando uno nuevo.

Para ello las EPROM disponen de una ventana transparente en el encapsulado cerámico ó plástico del circuito integrado.



Tomado de Wikipedia © Bill Bertram 2006

Esa ventana expone el propio chip de silicio, de forma de poder irradiar adecuadamente el material con luz ultravioleta de forma de revertir las modificaciones físico-químicas producidas por el proceso de grabación por impulsos eléctricos, mediante un dispositivo específico: Programador de EPROMs.

Esta ventana está normalmente tapada de forma de evitar exponer el silicio a la luz normal (que contiene componentes ultravioletas) para que el contenido de la EPROM no se altere.



De todos modos como el fenómeno también se produce ante la presencia de otro tipo de radiaciones (como los rayos cósmicos) que no pueden detenerse con una etiqueta, el contenido de las EPROMs termina alterándose con el tiempo (aunque, por suerte, este tiempo es sumamente largo, de varias decenas de años).

Como se dijo su principal uso es el almacenamiento de los programas permanentes de un sistema. Su capacidad de desde algunos kilobits hasta del orden de 8 Megabits. Muchas veces están organizadas en palabras de 8 bits (byte).

### 1.2.3 EEPROM

Las EPROM si bien solucionan el problema de la re-usabilidad de este tipo de memorias, todavía tienen el inconveniente que este proceso es sumamente lento, complejo y requiere retirar la EPROM del sistema para realizar el borrado.

Es así que surgieron las EEPROM (**E**lectrical **EP**ROM), o sea una EPROM cuyo proceso de borrado se hace eléctricamente y puede efectuarse sin retirar el circuito integrado del sistema. Posee otra diferencia importante con la EPROM: una EEPROM normalmente tiene la capacidad de borrar cada bit en forma individual (también hay implementaciones que borran una palabra completa en cada operación de borrado).

Típicamente se utilizan para almacenar los datos de configuración de un sistema. Tienen una capacidad de hasta del orden de 128 kbits. Es frecuente que estén organizadas en palabras de un solo bit.

### 1.2.4 Flash EEPROM / Flash EPROM / Flash Memory

Este tipo de memoria es una variante de las EEPROM que se desarrolló con el objetivo de mejorar el tiempo de borrado, de forma de habilitar su uso para aplicaciones de almacenamiento masivo.

Si bien el nombre está asociado al concepto de velocidad (lo que se corresponde con lo antedicho), el nombre se origina en la similitud que uno de sus creadores veía entre el proceso de borrado y el destello del flash de una cámara de fotos.

Su aplicación más difundida es la de almacenamiento masivo (reemplazo de discos duros o disquetes), ya que su tiempo de acceso es varios órdenes de magnitud menor que la de dichos dispositivos. Las capacidades de los chips llegan en la actualidad a del orden de 256 Gbits, y están organizados en palabras de 8 ó, más habitualmente, 16 bits.



En la foto siguiente se puede ver la parte interna de una Memoria USB, que actualmente se usa para almacenar información en forma transportable (lo que antes se hacía con disquetes).



## 2 MEMORIAS RAM

### 2.1 Introducción

Como vimos anteriormente lo normal es utilizar conjuntos de bits, organizados en **palabras** de **n** bits. Cuando la memoria es de una sola palabra recibe el nombre de **Registro** (también puede recibir el nombre de **Latch**) cuando tiene múltiples recibe la denominación genérica de **RAM**.

En general una memoria RAM es un array de **2<sup>m</sup> palabras** de **n** bits, de forma similar a lo que ya analizamos para las ROMs, salvo que en esta oportunidad se comportan como un arreglo (array) tal como los conocemos en las materias de programación (si escribo un valor en una posición y leo esa posición el valor que leo es el que escribí).

El nombre RAM es una sigla que corresponde a Random Access Memory. Este nombre no es del todo feliz y seguramente fue elegido históricamente por tres causas:

- para diferenciar estos dispositivos de las primeras memorias que funcionaban de modo "secuencial" (para leer una posición había que leer previamente todas las anteriores). Lo de Random estaría apuntando al tipo de acceso "directo" a la posición requerida.
- para que se pareciera a la sigla de la "memoria" ROM, lo que seguramente llevó a Random (por la R) en vez de Direct, que sería lo correcto. Pensemos que nadie querría almacenar información en un dispositivo que la devolvería en forma aleatoria, por lo que definitivamente las memorias RAM **no** son Random.
- por esa manía existente en la industria informática de nombrar a las cosas utilizando tres letras.

Nota: en francés a las memorias RAM se las llama "memoire vivre" (memoria viva) y a las ROM se las llama "memoire morte" (memoria muerta), términos que parecen mucho mas apropiados a las características de estos dispositivos.

### 2.2 Tipos de Memoria

Hay distintos tipos de organizaciones de memorias del tipo RAM. Los elementos que determinan estas variantes son:

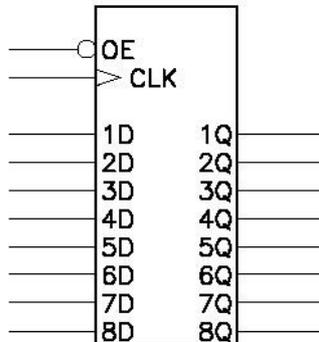
- si los datos de entrada (lo que se va a escribir) y de salida (lo que se lee) comparten los mismos caminos físicos o están separados.
- si tienen mas de una única palabra de n bits.
- si requieren de circuitos de "refresco" (veremos qué significa esto mas adelante).

Cuando se tiene una memoria de una única palabra, con entradas y salidas diferenciadas se habla de **Latch** o **Registro**, cuando se tienen multiples palabras y no se requiere de circuitos de "refresco", se habla en general de **SRAM**, por **Static RAM** (otro nombre para la polémica, ¿cómo algo que puede ser modificado recibe el nombre de "estático"?). Lo normal son las SRAM que tienen la entrada y salida coincidentes en las conexiones, mientras que las de múltiples palabras con entradas y salidas diferenciadas, si bien existen, están reservadas a aplicaciones específicas (ej: memorias para tarjetas de video). Finalmente las memorias de múltiples palabras que necesitan circuito de refresco, reciben el nombre de **DRAM** por **Dynamic RAM** (no existen memorias tipo Registro que sean a su vez Dinámicas).

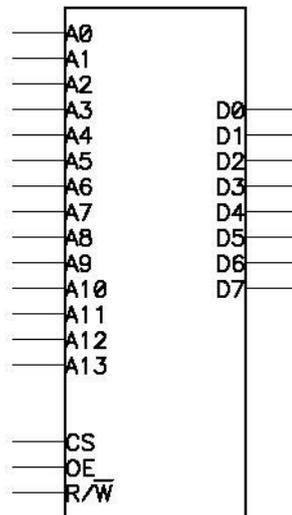
Nota: la denominación "Static" se comenzó a utilizar para diferenciar a las memorias clásicas a partir del momento en que aparecieron las memorias "Dynamic", término que hace referencia a su necesidad de contar con un circuito de "refresh" (refresco).

Los símbolos de los distintos tipos de memoria son:

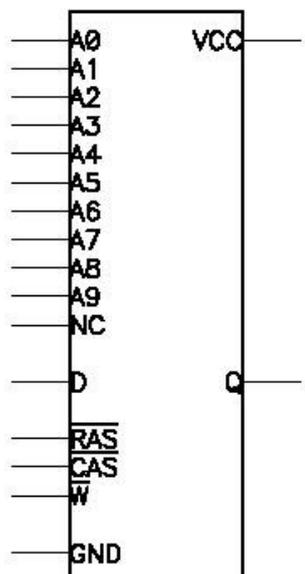
Registro (ó Latch):



Static RAM:



Dynamic RAM:



## 2.3 Dynamic RAM (DRAM)

Aunque en la práctica se realiza una optimización a nivel del circuito con transistores que implementa el circuito lógico mostrado para el elemento de memoria, se requieren al menos 6 transistores para construir cada bit de una memoria del tipo SRAM. Dado que en cada momento de la evolución de la tecnología la cantidad de transistores que se pueden colocar en un mismo chip está limitada por la tecnología disponible en ese momento, es un dato muy importante el número de transistores que se requieren para cada bit, ya que una disminución en ese número tiene un inmediato impacto en la capacidad del chip de memoria obtenido.

A este punto se dirige el diseño de las DRAM. Estas memorias utilizan una propiedad de los transistores: la existencia de la junta entre la base y el emisor (o entre el gate y el source) produce como efecto lateral la formación de un condensador (capacidad parásita). Normalmente la existencia de este condensador es un efecto no deseado, ya que la acumulación de carga eléctrica que se produce en él perjudica la velocidad de conmutación del transistor (ya que para cambiar su estado de conducción hay que desalojar la carga acumulada en este condensador parásito y eso lleva su tiempo). Sin embargo los inventores de las DRAM utilizaron esa propiedad para "guardar" un bit en forma de carga acumulada en ese capacitor "parásito".

Esto lleva a que en este tipo de memorias se requiera solamente un transistor por cada bit a almacenar. Este hecho ha resultado determinante para el éxito de este diseño, ya que permite hasta 6 veces mayores capacidades de almacenamiento para cada estadio tecnológico de la fabricación de chips y ha disimulado las notorias complicaciones de la circuitería auxiliar requerida por estas memorias para funcionar.

La particular forma de almacenar la información le dan ciertas características propias a estos dispositivos.

Por un lado la lectura es destructiva: al "leer" se quita la carga almacenada lo que genera una corriente por el transistor que es lo que en definitiva se detecta. La forma de mantener la información que contenía la memoria es grabando nuevamente el mismo valor. Por suerte para los diseñadores de sistemas que quieran utilizar estas memorias el propio circuito interno de los chips de este tipo se encarga de este trabajo (cada vez que se lee se hace simultáneamente una operación de escritura).

Por otro lado la carga almacenada se va perdiendo con el tiempo. Dado que ningún dispositivo es perfectamente no conductor, siempre existen las denominadas "corrientes de fuga" que hacen que luego de un cierto período de tiempo la carga acumulada desaparezca (y con ella la información almacenada). Para remediar esto las memorias deben ser "refrescadas", es decir se debe periódicamente grabar nuevamente la información para que ésta no se pierda. Dada la naturaleza del procedimiento de lectura de la memoria, esta "regrabación" se logra simplemente leyendo la memoria. Esta lectura periódica debe ser realizada con un período menor al tiempo de pérdida de la carga (tiempo de descarga del "capacitor parásito" que almacena la información).

Teniendo como objetivo primario minimizar el tiempo requerido para refrescar un chip completo de DRAM, y de paso disminuir la cantidad de "patitas" necesarias para el circuito integrado (en el pasado este fue un problema técnico a resolver, dado que los primeros encapsulamientos disponibles tenían un número acotado de pines), estas memorias están organizadas en forma matricial y la dirección se presenta separada en fila (row) y columna (column).

## 2.4 Parámetros

En las memorias RAM hay distintos aspectos que caracterizan el comportamiento de la misma, su aplicabilidad a una función específica y la posibilidad de ser insertada en determinado circuito. Los más importantes son:

- capacidad (en bits)
- organización (cuantas palabras de qué tamaño)
- tiempo de acceso en lectura (cuanto tiempo pasa desde que se le presenta una dirección y las señales de control que correspondan hasta que presenta el contenido en la salida)
- tiempo de acceso de escritura (cuanto tiempo pasa desde que se le presenta una dirección, el dato a escribir y las señales de control que correspondan hasta que le memoria adopta el nuevo valor y está en condiciones de iniciar un nuevo ciclo de escritura)
- tipo de tecnología (estática ó dinámica, en definitiva si requieren o no de un circuito de refresco)
- capacidad de retener la información sin estar alimentadas de energía

Los tiempos de acceso en algunos casos son presentados en base a la frecuencia de reloj a la que pueden trabajar. La frecuencia de reloj está muy ligada a la velocidad de transferencia de información que puede tener una memoria sincrónica (aunque, como veremos, no siempre la relación es lineal ya que juegan otros factores arquitectónicos de la solución).

## 2.5 Variantes Tecnológicas

A continuación veremos algunas variantes tecnológicas que existen de los tipos de memoria básicos vistos.

### 2.5.1 SRAM

Es la tradicional memoria ya mencionada. Tiene menores tiempos de acceso (en general) que la memoria basada en tecnología dinámica. Tiene el inconveniente de ocupar mas espacio (requiere más transistores) y ser más cara.

### 2.5.2 DRAM

Es la memoria dinámica original. Hoy en día ya no se construyen chips DRAM "clásicos", ya que han sido superados por distintas mejoras al diseño. Son más económicas que las SRAM, pero más lentas, en particular por el uso de la técnica de direccionamiento matricial en base al CAS y al RAS (columna y fila por separado).

### 2.5.3 FPM DRAM

Una de las primeras mejoras al diseño DRAM fue el denominado **Fast Page Mode**, donde se optimizaba al acceso, permitiendo múltiples CAS para el mismo RAS. De esta forma se mejoraba sensiblemente el tiempo de acceso. El nombre se debe a que cada fila se puede asociar a una página de un libro: una vez que encontré una "palabra" (un bit) en una "pagina" (fila del chip) las siguientes palabras (bits) las encontraré más rápido si están en la misma página (fila).

### 2.5.4 EDO DRAM

Las DRAM **Enhanced Data Out** son una mejora sobre las FPM, consistente en

acelerar el acceso al próximo bit, iniciando una lectura por adelantado al bit contiguo al accedido en un momento dado. De esta forma se ahorra la espera por la circuitería interna de detección de la carga de almacenamiento.

### 2.5.5 BEDO DRAM

Las **Burst EDO** son una mejora, relativamente menor, sobre las EDO, para cuando las lecturas son en modo de ráfaga (burst).

### 2.5.6 SDRAM

Las **Synchronous DRAM** utilizan un reloj para marcar los tiempos de los ciclos de lectura o escritura y mantener en sincronismo la memoria con el resto del sistema (en particular con la CPU). Este sincronismo le permite mejorar los tiempos de acceso respecto a las memorias EDO. En la actualidad todas las memorias DRAM son del tipo sincrónico.

Las SDRAM se sub-clasifican en función de la frecuencia del reloj para la que están diseñadas, para lo que se utiliza una clasificación propuesta por Intel en su especificación del computador tipo PC:

PC-66: reloj de 66 MHz

PC-100: reloj de 100 MHz

PC-133: reloj de 133 MHz

### 2.5.7 RDRAM

Las **Rambus DRAM** son la propuesta de un fabricante para diseños de DRAM de alta frecuencia (y por lo tanto altas velocidades de transferencia). Los chips de memoria están implementados de forma de utilizar ambos flancos del reloj a los efectos de sincronizar las transferencias. Las frecuencias de reloj disponibles van desde 300 MHz (equivalentes a 600 MHz), 350 MHz (equivalentes a 700 MHz), 400 MHz (equivalentes a 800 MHz), 533 MHz (equivalente a 1066 MHz) hasta 600 MHz (equivalente a 1200 MHz).

La tecnología que utilizan estas memorias fue diseñada por la empresa Rambus que licenció sus patentes a distintos fabricantes, entre ellos Intel. Los problemas legales y los juicios que inició contra distintos fabricantes de memorias (reclamando que la tecnología DDR desarrollada mas tarde por otros "copia" conceptos de su diseño y por tanto infringen sus patentes) son tan o incluso más conocidos que sus productos.

### 2.5.8 DDR SDRAM

Estas memorias utilizan ambos flancos del reloj para realizar las operaciones, de allí que reciben el nombre de **Double Data Rate** (Transferencia de Datos Doble). Son un desarrollo estándar realizado por un conjunto de fabricantes para enfrentar el diseño patentado de Rambus.

Por razones de mercadeo los nombres comerciales de este tipo de memorias han sido bastante confusos, en particular porque hacen mención a la "frecuencia equivalente" que tendría una memoria SDRAM "clásica" que solo hiciera una operación por ciclo.

Las versiones disponibles comercialmente son:

DDR-200: reloj de 100 MHz (equivale a 200 MHz, también denominada PC-200)

DDR-266: reloj de 133 MHz (equivale a 266 MHz, también denominada PC-266)

DDR-333: reloj de 167 MHz (equivale a 333 MHz, también denominada PC-333)

DDR-400: reloj de 200 MHz (equivale a 400 MHz, también denominada PC-400)

### 2.5.9 DDR2 SDRAM

Son la evolución tecnológica de las DDR, con un diseño pensado en aumentar la frecuencia de trabajo. Son técnicamente incompatibles (trabajan a otro voltaje de alimentación y poseen un encapsulado totalmente distinto).

Las variantes disponibles son:

DDR2-400: reloj de 200 MHz (equivale a 400 MHz, también denominada PC2-3200)

DDR2-533: reloj de 266 MHz (equivale a 533 MHz, también denominada PC2-4200)

DDR2-667: reloj de 333 MHz (equivale a 667 MHz, también denominada PC2-5300)

DDR2-800: reloj de 400 MHz (equivale a 800 MHz, también denominada PC2-6400)

DDR2-1066: reloj de 533 MHz (equivale a 1066 MHz, también denominada PC2-5300)

DDR2-1200: reloj de 600 MHz (equivale a 1200 MHz, también denominada PC2-9000)

### 2.5.10 DDR3 SDRAM

Son el siguiente paso en la evolución tecnológica de las DDR, con mayor frecuencia de trabajo y menor consumo (basado en un voltaje de trabajo menor). También son técnicamente incompatibles con las DDR2 y las DDR.

Las variantes disponibles son:

DDR3-800: reloj de 400 MHz (equivale a 800 MHz, también denominada PC3-6400)

DDR3-1066: reloj de 533 MHz (equivale a 1066 MHz, también denominada PC3-8500)

DDR3-1333: reloj de 667 MHz (equivale a 1333 MHz, también denominada PC3-10600)

DDR3-1600: reloj de 800 MHz (equivale a 1600 MHz, también denominada PC3-12800)

### 2.5.11 VRAM

Para los controladores de video de los computadores se utiliza un tipo especial de memoria (ya sea basada en tecnología SRAM o DRAM), que se denomina Video RAM y cuya característica principal es contar con "doble puerta". Es decir son dispositivos que

pueden ser leídos a la misma vez que escritos (en direcciones distintas). Esto es útil para poder mantener el refresco de la información en el monitor a una velocidad constante (leyendo) a la misma vez que el programa actualiza la información a desplegar en la pantalla (escribiendo).

Este tipo de memoria son como los "latch" pero organizados en múltiples palabras.

## 2.6 Módulos de Memoria

Los computadores modernos implementan sus sistemas de memoria principal en base a módulos de memoria. Estos módulos son pequeñas tarjetas de circuito impreso que disponen de los chips de memoria en cantidad y organización adecuada para el tamaño de palabra soportado por la arquitectura del procesador utilizado. Estas tarjetas de circuito se insertan en zócalos (memory sockets) previstos en las placas principales (motherboards) de los computadores a tales efectos.

Algunos ejemplos de estos módulos son:

### SIMM:

Estos fueron los primeros módulos en imponerse en la industria del PC. La sigla significa **Single In-line Memory Module**, ya que si bien la placa de circuito tenía contactos en ambas caras estos eran en realidad redundantes. Existieron en dos variantes:

- 30 contactos ó pines (para buses de memoria de 8 bits)



- 72 contactos ó pines (para buses de memoria de 32 bits)



### DIMM:

Fueron la evolución de los SIMM asociados con la aparición de las SDRAM y las arquitecturas de memoria de 64 bits (aun para procesadores de 32 bits). La sigla significa **Dual In-line Memory Module**.

Existen variantes con distinta cantidad de contactos.

- 168 contactos ó pines (utilizado con memorias SDRAM)



- 184 contactos ó pines (utilizado con memorias DDR)



- 240 contactos ó pines (utilizado con memorias DDR2)



Los módulos DD3 también utilizan 240 contactos, aunque como son incompatibles eléctricamente, tiene la "mueca" de identificación (cortes en forma de "media luna" que poseen en ambos extremos y en el medio) en otro lugar para evitar confusiones.

También existen alternativas a cada uno de los tipos anteriores con menor cantidad de contactos (logrando módulos más pequeños físicamente) diseñados para equipos portátiles (Notebooks, Palms, etc.).

A su vez existen distintas denominaciones de acuerdo al tipo de chip SDRAM que utilicen y en particular a la velocidad de transferencia que poseen (expresada en Mbytes/seg.):

*PC-1600*: reloj de 100 MHz (equivale a 200 MHz, usa chips DDR-200)

*PC-2100*: reloj de 133 MHz (equivale a 266 MHz, usa chips DDR-266)

*PC-2700*: reloj de 167 MHz (equivale a 333 MHz, usa chips DDR-333)

*PC-3200*: reloj de 200 MHz (equivale a 400 MHz, usa chips DDR-400)

*PC2-3200*: reloj de 200 MHz (equivale a 400 MHz, usa chips DDR2-400)

*PC2-4200*: reloj de 266 MHz (equivale a 533 MHz, usa chips DDR2-533)

*PC2-5300*: reloj de 333 MHz (equivale a 667 MHz, usa chips DDR2-667)

*PC2-6400*: reloj de 400 MHz (equivale a 800 MHz, usa chips DDR2-800)

*PC2-8600*: reloj de 533 MHz (equivale a 1066 MHz, usa chips DDR2-1066)

*PC2-9000*: reloj de 600 MHz (equivale a 1200 MHz, usa chips DDR2-1200)

*PC3-6400*: reloj de 400 MHz (equivale a 800 MHz, usa chips DDR3-800)

*PC3-8500*: reloj de 533 MHz (equivale a 1066 MHz, usa chips DDR3-1066)

*PC3-10600*: reloj de 667 MHz (equivale a 1333 MHz, usa chips DDR3-1333)

**PC3-12800:** reloj de 800 MHz (equivale a 1600 MHz, usa chips DDR3-1600)

También existen variantes respecto al voltaje de alimentación (5 Volts, 3.3 Volts, 1.5 Volts) y respecto a si son "bufferados" (también se los denomina "registrados") ó no. Los módulos "registrados" disponen de circuitería adicional que amplifica las señales entre el modulo de memoria y el controlador de memoria de la placa principal, dotando de mayor estabilidad y confiabilidad al circuito. Ambas características se reconocen por la posición de las muescas de codificación.

### RIMM:

Son los módulos utilizados para memorias con tecnología Rambus. También hay variantes con distinta cantidad de contactos.

- 184 contactos ó pines (utilizado en sistemas de memoria con buses de 16 bits)



- 232 contactos ó pines (utilizado en sistemas de memoria con buses de 32 bits)

