

Orga II - Systems Programming

Resumen para el segundo parcial.

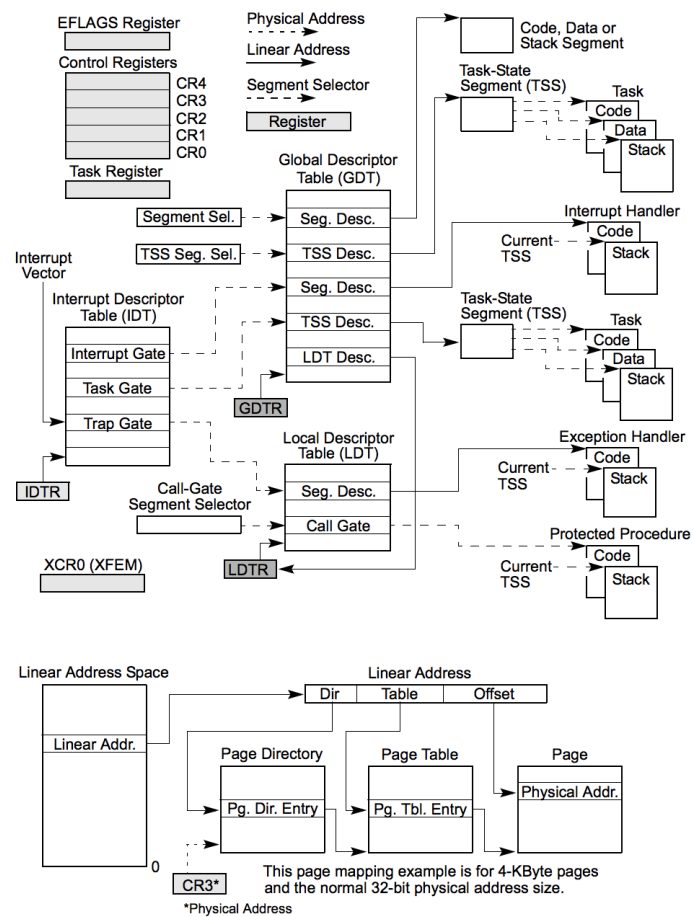
Contenidos

- [Orga II - Systems Programming](#)
 - [Contenidos](#)
- [Arquitectura](#)
 - [Overview](#)
 - [Registros](#)
 - [EFLAGS](#)
 - [CR0](#)
- [Modos](#)
 - [Modo real](#)
 - [Modo protegido](#)
- [Memoria](#)
 - [MMU](#)
 - [Segmentación](#)
 - [Paginación](#)
 - [Combinación](#)
 - [Ejemplo de mapa de memoria](#)
- [Tareas](#)
 - [Estructuras](#)
 - [TSS](#)
 - [Descriptor de TSS](#)
 - [TR](#)
 - [Despacho](#)
 - [Primera tarea](#)
 - [Conmutación](#)
 - [Anidamiento](#)
 - [Registros XMM](#)
 - [Scheduler](#)
- [Interrupciones](#)
 - [Fuentes](#)
 - [Hardware](#)
 - [Software](#)
 - [Internas \(Excepciones\)](#)
 - [IDT](#)
 - [Vectorización](#)
 - [Privilegios y stack](#)
 - [Código de error](#)
 - [Prioridades](#)
 - [Tipos predefinidos](#)
 - [Rutinas de atención](#)
 - [Instrucciones](#)
- [Protección](#)
 - [Segmentos](#)

- Limite
- Tipo
- Selectores nulos
- Privilegios
- Paginación
 - Privilegios
- Interrupciones
- Tareas
- Instrucciones
- C
 - Assembly Inline
 - Macros con parametros

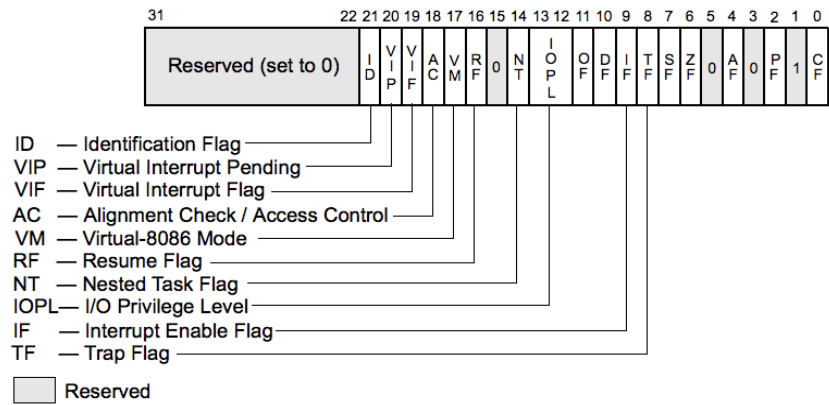
Arquitectura

Overview

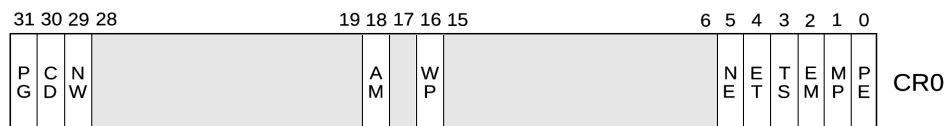


Registros

EFLAGS



CR0



- PG : Paging
- CD : Cache Disable
- NW : Not Write Through
- AM : Alignment Mask
- WP : Write Protect
- NE : Numeric Error
- ET : Extension Type
- TS : Task Switched
- EM : Emulation
- MP : Monitor Coprocessor
- PE : Protection Enable

Modos

Modo real

Para pasar de dirección lógica a física en modo real,

```
cs << 4 + offset
```

Esto es porque las direcciones son de 20 bits, y el selector de segmento son 16.

Modo protegido

Para cambiar de modo real a protegido,

1. Setear el bit PE de CR0

```
mov eax, cr0 ; Copia del valor de CR0 para setear el bit
or eax, 1 ; Prender el primer bit
mov cr0, eax ; Persistir el valor en CR0
```

1. Jump far a la siguiente instrucción
- ```
jmp <selector>:<offset>
```

1. Jump far a la siguiente instrucción

```
jmp <selector>:<offset>
```

## Memoria

Tipos de direcciones:

1. Física: Es la dirección que será decodificada por el hardware para acceder a memoria RAM o ROM según corresponda. El procesador pone esta dirección en los pines de address cuando su UC habilita la salida del bus de direcciones.
2. Virtual o Lineal
3. Logica

## MMU

La MMU (Memory Management Unit) es la encargada de traducir direcciones.

Está compuesta por dos unidades

- Unidad de Segmentación (Lógica -> Lineal)
- Unidad de Paginación (Lineal -> Física)

Donde la resolución de direcciones se hace de la siguiente forma:

Lógica  $\xrightarrow{\text{Segmentación}}$  Lineal  $\xrightarrow{\text{Paginación}}$  Física

## Segmentación

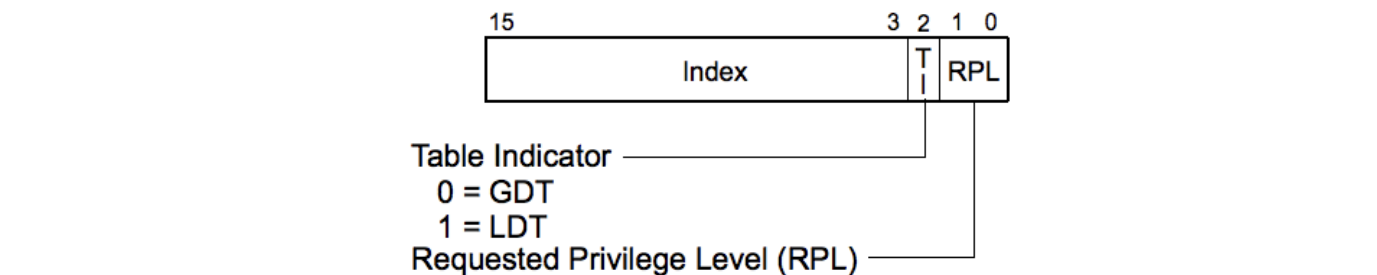
Una dirección en está compuesta de un *selector* de segmento, y un *offset*.

```
15 0 31 0
selector : offset
```

Con lo cual se necesitan 48 bits.

Selectores

Tienen el siguiente formato



Donde,

- **index** : Índice en la tabla de descriptores de segmento.

Como tiene 13, bits, cada tabla puede alojar  $2^{13}$  descriptores.

- **TI** - Table Indicator

Selecciona en que tabla de descriptores debe buscarse.

- **0** : GDT (Global Descriptor Table)
- **1** : LDT (Local Descriptor Table) *no se usa nunca*
- **RPL** - Requested Privilege Level

Nivel de privilegio que declara tener el dueño del segmento.

Selectores disponibles:

- **CS** : Code Segment
- **SS** : Stack Segment
- **DS** : Data Segment (default)
- **ES** : Datos
- **GS** : Datos
- **FS** : Datos

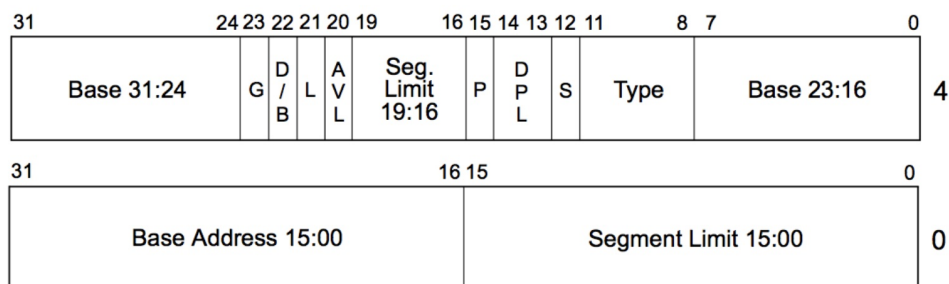
Estos tienen una parte escondida, donde se guardan datos de caché como la base, limite, y detalles de acceso.

Descriptores

Los selectores de segmento son una referencia a un descriptor de segmento. Estos se almacenan en una tabla, ya sea la GDT (Global Descriptor Table) o la LDT (Local Descriptor Table), cuya dirección está especificada en el **GDTR** y **LDTR**. Para cargarlos,

```
lgdt - Load GDT
lldt - Load LDT
```

El primer descriptor de la tabla debe ser nulo.



- **Base** (Partida en 3) Es la dirección en la cual comienza el segmento.
- **Limit** Es el máximo offset válido desde la base. (La última dirección válida, el tamaño del segmento - 1)

Atributos

- **G** : Granularity
  - **0** : El máximo offset es igual al límite
  - **1** : El limite está expresado en multiplos de 4K.

Luego el máximo offset se puede calcular de varias maneras

```
((limit + 1) * 4kb) - 1 ((limit + 1) << 12) - 1 (limit << 12) + 0xFFF
```

- **D/B** : Default / Big

- 0 : Default, segmento de 16 bits.
- 1 : Big, segmento de 32 bits.
- L : Solo utilizado en IA-32e.
- AVL : Available. No es usado para ningún proposito en específico, queda en el programador darle el uso apropiado.
- P : Present.
  - 1 : El segmento está presente en memoria RAM.
  - 0 : El segmento está en memoria virtual (disco).

Esto hace que genere una excepción #NP (Segment Not Present) para que luego el kernel realice elswap entre el disco y RAM.

- DPL : Descriptor Privilege Level.

Nivel de privilegio que debe tener el codigo que pretende acceder a este segmento, de 0 (más privilegiado) a 3 (menos privilegiado).

- S : System, *activo bajo*.

Define si es un segmento de código/datos o de sistema. Determina los valores posibles de Type .

- 0 : System.
- 1 : Codigo / Datos.
- Type : Depende de si es de sistema o de código / datos
  - Codigo / Datos

| Type Field |    |          |          |          | Descriptor Type | Description                        |
|------------|----|----------|----------|----------|-----------------|------------------------------------|
| Decimal    | 11 | 10<br>E  | 9<br>W   | 8<br>A   |                 |                                    |
| 0          | 0  | 0        | 0        | 0        | Data            | Read-Only                          |
| 1          | 0  | 0        | 0        | 1        | Data            | Read-Only, accessed                |
| 2          | 0  | 0        | 1        | 0        | Data            | Read/Write                         |
| 3          | 0  | 0        | 1        | 1        | Data            | Read/Write, accessed               |
| 4          | 0  | 1        | 0        | 0        | Data            | Read-Only, expand-down             |
| 5          | 0  | 1        | 0        | 1        | Data            | Read-Only, expand-down, accessed   |
| 6          | 0  | 1        | 1        | 0        | Data            | Read/Write, expand-down            |
| 7          | 0  | 1        | 1        | 1        | Data            | Read/Write, expand-down, accessed  |
|            |    | <b>C</b> | <b>R</b> | <b>A</b> |                 |                                    |
| 8          | 1  | 0        | 0        | 0        | Code            | Execute-Only                       |
| 9          | 1  | 0        | 0        | 1        | Code            | Execute-Only, accessed             |
| 10         | 1  | 0        | 1        | 0        | Code            | Execute/Read                       |
| 11         | 1  | 0        | 1        | 1        | Code            | Execute/Read, accessed             |
| 12         | 1  | 1        | 0        | 0        | Code            | Execute-Only, conforming           |
| 13         | 1  | 1        | 0        | 1        | Code            | Execute-Only, conforming, accessed |
| 14         | 1  | 1        | 1        | 0        | Code            | Execute/Read, conforming           |
| 15         | 1  | 1        | 1        | 1        | Code            | Execute/Read, conforming, accessed |

- A : Accesed
- Data
  - E : Expand Down, cuando va a ser utilizado como pila. El puntero de direcciones decrece a medida que va expandiendose el segmento.
  - W : Writable. Indica si el segmento de datos puede escribirse. Si está en 0 , contiene datos pero es Read Only.
- Code

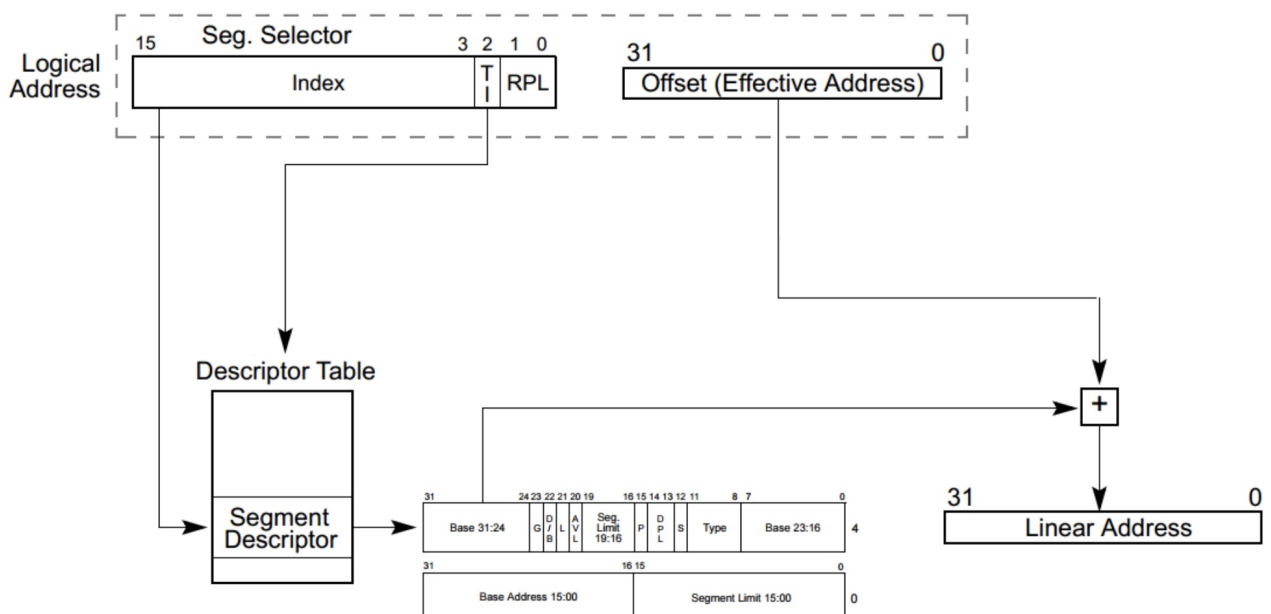
- C : Conforming. Ajustable Ajustan su nivel de privilegio al del código que lo invoca.
- R : Readable

◦ System

| Valor  | Descripción               |
|--------|---------------------------|
| 0b0000 | Reservado                 |
| 0b0001 | TSS de 16 bits disponible |
| 0b0010 | LDT                       |
| 0b0011 | TSS de 16 bits busy       |
| 0b0100 | Call Gate de 16 bits      |
| 0b0101 | Task Gate                 |
| 0b0110 | Interrupt Gate de 16 bits |
| 0b0111 | Trap Gate de 16 bits      |
| 0b1000 | Reservado                 |
| 0b1001 | TSS de 32 bits disponible |
| 0b1010 | Reservado                 |
| 0b1011 | TSS de 32 bits busy       |
| 0b1100 | Call Gate de 32 bits      |
| 0b1101 | Reservado                 |
| 0b1110 | Interrupt Gate de 32 bits |
| 0b1111 | Trap Gate de 32 bits      |

## Mecanismo

## GDT



1. El procesador ve el bit TI para ver a que tabla tiene que ir

2. Como es la GDT, busca en el GDTR la dirección base física donde comienza.
3. Indexa en la tabla con la parte del selector de segmento que indica el índice
4. El procesador lee el descriptor de segmento
5. La Unidad de protección realiza sus chequeos
6. El procesador suma el valor del offset contenido en la dirección lógica con la dirección base del segmento, así formando la dirección lineal.

## LDT

En la LDT es parecido, solo que usa el registro LDTR para indexar en la GDT, y luego el descriptor le dice donde está la LDT y el offset dentro de la misma es tomado del índice de la dirección.

## Cache

El procesador cuenta con registros de cache ocultos para no tener que ir cada vez a memoria a buscar las tablas.

## Flat

Un modo que se suele usar es la *segmentación flat* en la cual todos los segmentos abarcan toda la memoria.

## Paginación

Para habilitarla, hay que setear en 1 el bit 31 del CR0, PG. Si no se está en Modo Protegido, entonces se lanza una #GP

Tiene distintos modos

- 32 bits: Es el modo original del 80386.
- PSE: Permite tener tamaños de página mayores
- PAE
- IA-32e

El tamaño de página estándar es de 4KB.

## Estructuras

Es necesario poder almacenar

- Dirección base
  - Cada página comienza en una dirección siguiente a la del último byte de la anterior. Osea que inician en direcciones alineadas a 4KB.
  - Como  $4KB = 2^{12}$ , los 12 bits menos significativos de la dirección son siempre 0.
  - Se le llama entonces page frame a los bits mas significativos, que determinan la base.
- Limite: No es necesario especificarlo pues tienen tamaño fijo.
- Atributos

Entonces con 20 bits para la dirección base, 12 bits para los atributos se puede conformar un descriptor de páginas de 32 bits.

Como las páginas son de 4KB, ( $2^{12}$  bytes), al dividir el espacio lineal de 4GB ( $2^{32}$ ) en páginas quedan  $2^{20}$ . Esto llevaría a una tabla de descriptores muy grande,  $2^{20}$  descriptores de 4B son una tabla de 4MB, y habría una por tarea. Por esto se hace paginación por niveles.

1. Page Directory (PD): Ocupa 1 página (4KB) con lo cual puede almacenar hasta  $4KB / 4B = 1024$  Page Directory Entries (PDE).
2. Page Table (PT): Ocupan también 4KB, con lo que pueden almacenar 1024 Page Table Entries (PTE) de 4B cada uno.



Se piensa como un sistema de administración de memoria por tarea, de forma que cada una tenga su propia estructura de páginas. Esto robustece la seguridad del SO en la administración de memoria.

CR3

|     |                                            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |
|-----|--------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|-----------|---|---|---|---|---|
|     | 31                                         | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15        | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5         | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| CR3 | Dirección física del Directorio de Páginas |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Ignorados |    |    |    |    |    |   |   | P | P | Ignorados |   |   |   |   |   |
|     |                                            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |   |   | C | W |           |   |   |   |   |   |

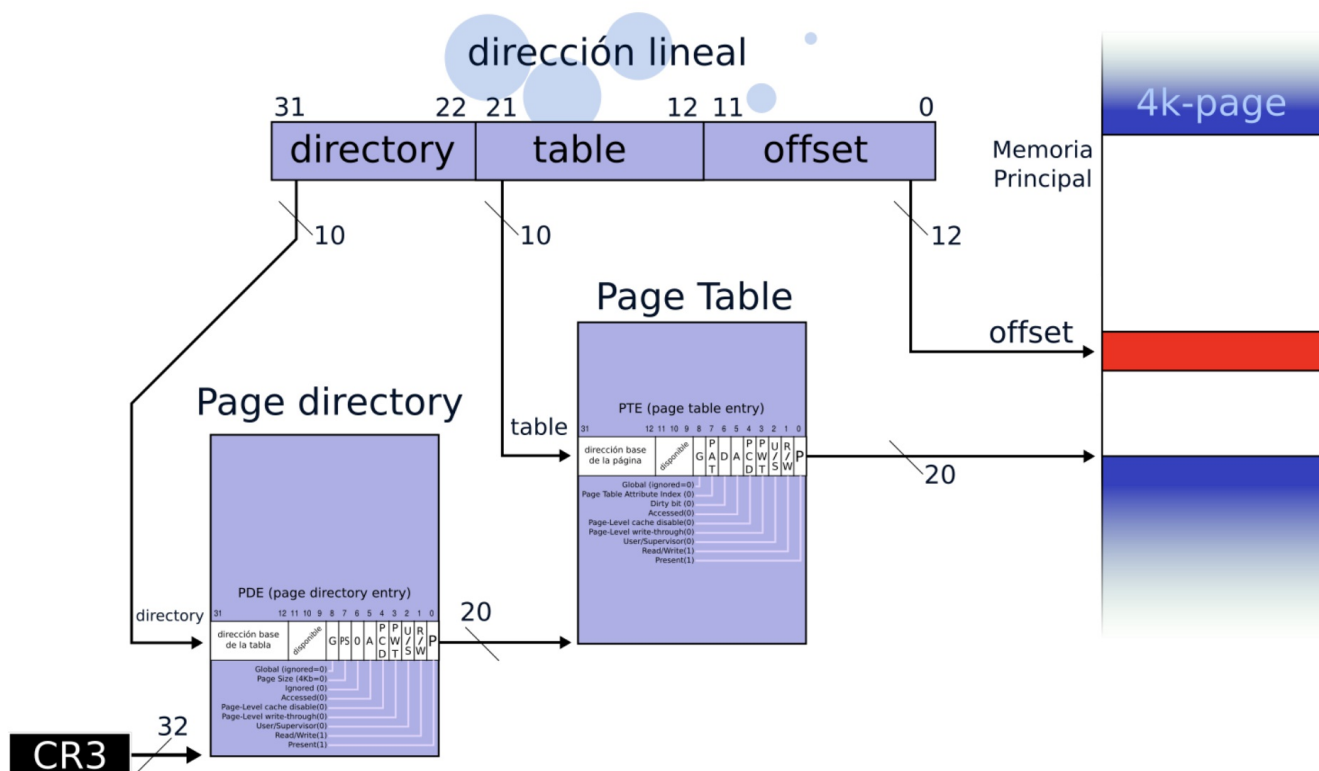
Se inicia una tarea con lo mínimo indispensable, una PD con una sola PT valida, y luego se van agregando PTEs dinámicamente, cada una habilitando 4KB más, hasta llegar a 4MB de memoria. Llegado a ese límite, si se solicita más, se crea otra PDE, que permite otros 4MB más.

## Traducción

El procesador necesita conocer para cada tarea la dirección física en donde se encuentra el Page Directory. Para esto está el registro de control **CR3**.

La dirección lineal se divide en tres campos:

- Índice en el PD
- Índice en el PT
- Offset dentro de la página



© David

## TLB

Cada vez que se quiere direccionar, es necesario acceder a memoria dos veces para leer el PDE y el PTE. Para evitarlo, en la unidad de paginación hay un cache de traducciones, el Translation Lookaside Buffer (TLB)

En este se guarda para un directorio y una tabla, la dirección física en la cual comienza la página.

```

directorio_1 tabla_1 dir_fisica_base
.
.
.
directorio_n tabla_n dir_fisica_base

```

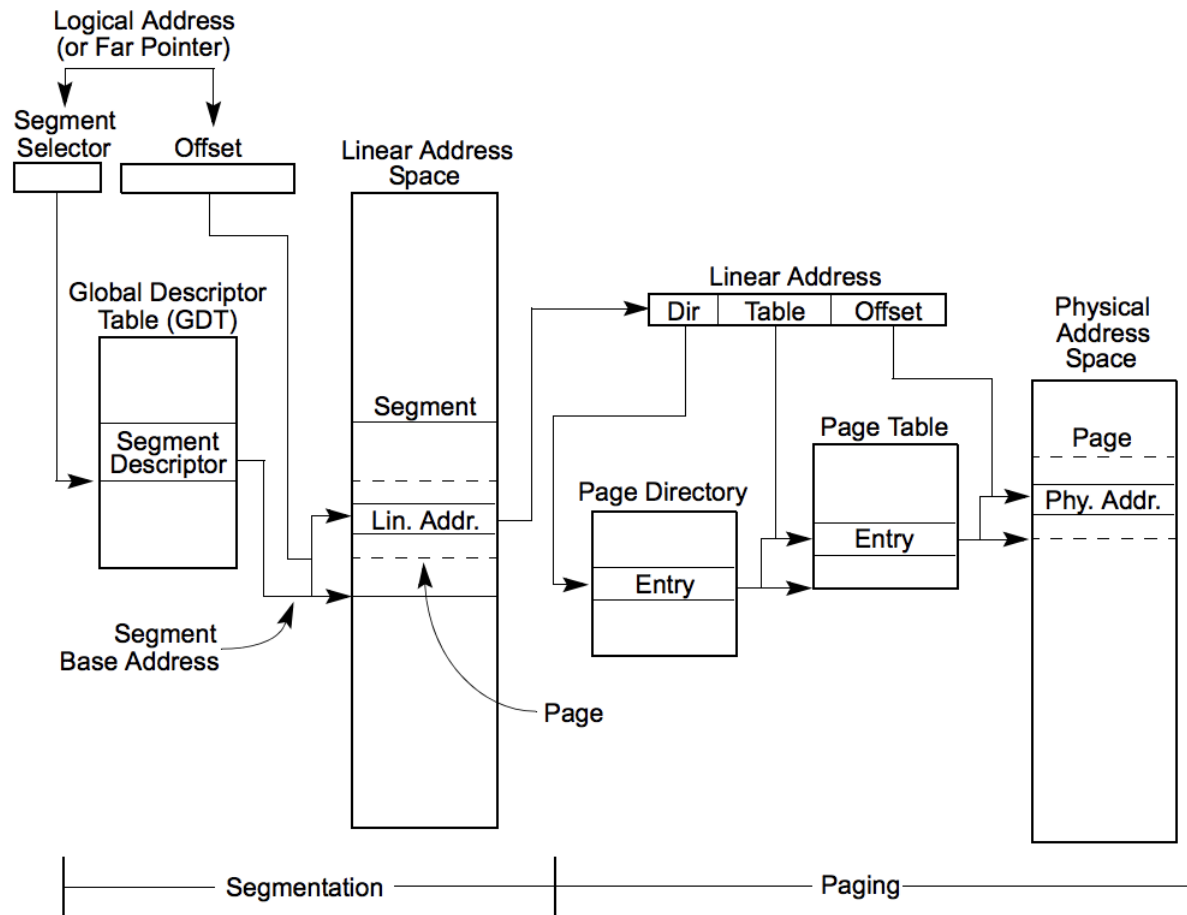
La escritura de un valor en el registro **CR3** flushea el contenido, excepto aquellas entradas que se setean como globales.

## Identity Mapping

Es el equivalente a segmentación flat, consiste en que la dirección lineal coincida con la física.

## Combinación

A fin de cuentas para resolver una dirección, se emplean ambos sistemas



## Ejemplo de mapa de memoria

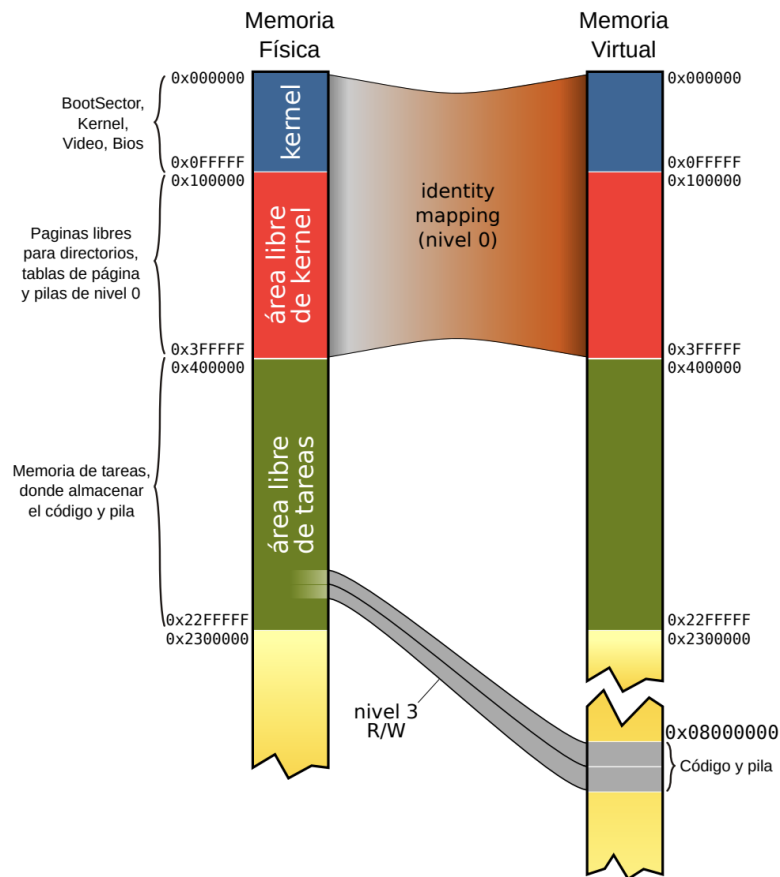


Figura 3: Mapa de memoria de la tarea

## Tareas

El SO tiene un scheduler que se encarga de conmutar entre una lista de tareas a ejecutar, ejecutando cada una por un intervalo fijo de tiempo, por lo general atado a interrupciones del clock.


- Tarea: Es una unidad de trabajo que un procesador puede despachar, ejecutar, y detener a voluntad.
- Espacio de ejecución: Es el conjunto de segmentos de código, datos y pila que componen a la tarea.
- Contexto de ejecución: Es el conjunto de valores de los registros internos del procesador. Para poder suspender la ejecución de una tarea y poder resumirla, es necesario almacenarlo.
- Espacio de contexto: Donde es almacenado el contexto de ejecución.

## Estructuras

### TSS

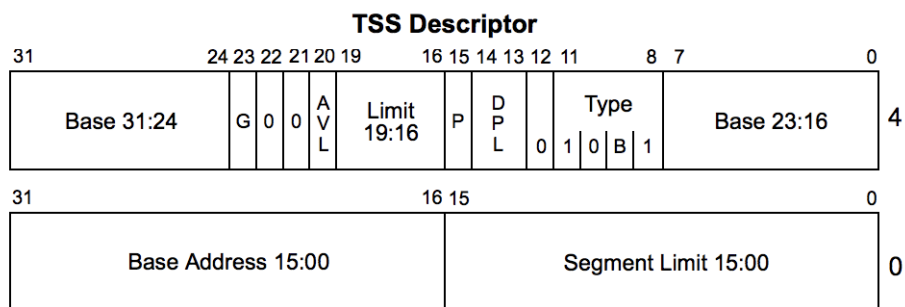
La TSS (Task State Segment) Es el lugar de memoria donde se guarda el contexto de cada tarea, su tamaño mínimo es 0x68 (su mínimo Limit es 0x67).

|                      |    |                      |       |
|----------------------|----|----------------------|-------|
| 31                   | 15 | 0                    |       |
| I/O Map Base Address |    | Reserved             | T 100 |
| Reserved             |    | LDT Segment Selector | 96    |
| Reserved             |    | GS                   | 92    |
| Reserved             |    | FS                   | 88    |
| Reserved             |    | DS                   | 84    |
| Reserved             |    | SS                   | 80    |
| Reserved             |    | CS                   | 76    |
| Reserved             |    | ES                   | 72    |
| EDI                  |    |                      | 68    |
| ESI                  |    |                      | 64    |
| EBP                  |    |                      | 60    |
| ESP                  |    |                      | 56    |
| EBX                  |    |                      | 52    |
| EDX                  |    |                      | 48    |
| ECX                  |    |                      | 44    |
| EAX                  |    |                      | 40    |
| EFLAGS               |    |                      | 36    |
| EIP                  |    |                      | 32    |
| CR3 (PDBR)           |    |                      | 28    |
| Reserved             |    | SS2                  | 24    |
| ESP2                 |    |                      | 20    |
| Reserved             |    | SS1                  | 16    |
| ESP1                 |    |                      | 12    |
| Reserved             |    | SS0                  | 8     |
| ESP0                 |    |                      | 4     |
| Reserved             |    | Previous Task Link   | 0     |

 Reserved bits. Set to 0.

El **EFLAGS** por defecto es `0x00000002` y con interrupciones habilitadas es `0x00000202`.

## Descriptor de TSS

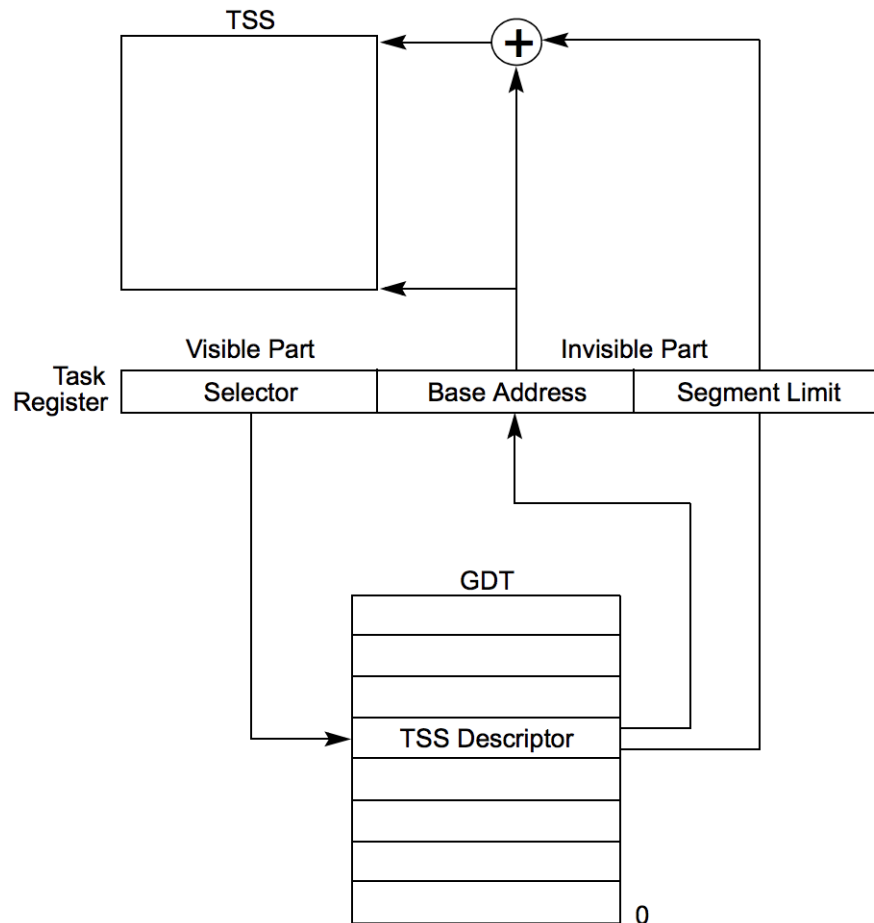


**AVL** Available for use by system software  
**B** Busy flag  
**BASE** Segment Base Address  
**DPL** Descriptor Privilege Level  
**G** Granularity  
**LIMIT** Segment Limit  
**P** Segment Present  
**TYPE** Segment Type

El bit **B** (Busy) sirve para evitar recursividad en el anidamiento de tareas.

## TR

En el Task Register se guarda selector de segmento de la GDT donde reside el descriptor de TSS de la tarea actual.



Se modifica mediante las instrucciones

```
ltr Load Task Register
str Store Task Register
```

Por ejemplo

```
mov ax, <selector>
ltr ax
```

## Despacho

El procesador puede despachar tareas de las siguientes formas:

- `call` a la tarea.
- `jmp` a la tarea.
- Call a un interrupt-handler task (procesador)
- Call a un exception-handler task (procesador)
- Return con `iret` cuando está prendido el flag NT de EFLAGS

Por ejemplo, con un `jmp`

```
jmp 0x20:0 ; El offset no importa
```

Pero si quisieramos hacerlo a un selector que no se puede poner como constante, es necesario hacerlo pasándolo por memoria. Esto es porque es de 48 bits.

```
selector: 0x0000
offset: 0x00000000

mov ax, selector
jmp far [offset] ; hacemos jmp a offset porque lo lee como little endian
```

## Primera tarea

---

Para despachar la primera tarea, es necesario crear una tarea inicial para proveer una TSS en donde el procesador pueda guardar el contexto al momento de conmutar la primera.

## Conmutación

---

- El procesador analiza el valor que se debe colocar en el registro CS como parte de la ejecución de un `jmp`, `call` o `iret` (con NT = 1). o al que obtiene de una interrupt gate o trap gate.
- Busca el descriptor de la TSS en la GDT
- Si es un Task Gate, vuelve a buscar en la GDT donde debe encontrar un descriptor de TSS.
- Si es un selector de TSS lo que intenta cargarse en el CS, busca en la GDT el descriptor de TSS.
- Emplea el TSS actual para almacenar el estado del procesador.
- Setea el bit `CR0.TS` (Task Switch)
- Carga el nuevo TR y descriptor
- Aplica el contexto almacenado en el nuevo TSS.

## Anidamiento

---

{{TODO}}

## Registros XMM

---

Los registros xmm no están en la TSS, ya que aumentaría los tiempos de conmutación entre tareas.

Lo que hace entonces el procesador, es que cada vez que ejecuta una instrucción que utiliza algún registro xmm, se fija si se realizó un task switch viendo el bit `CR0.TS`. Si hubo, genera una excepción `#NM`, en cuyo handler se switchea el banco de registros, y se limpia `CR0.TS`.

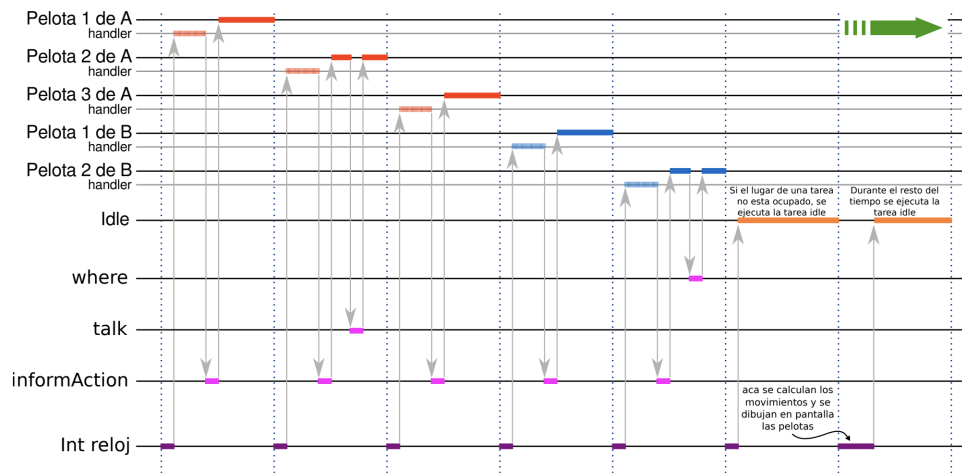
Para esto se usan las instrucciones

```
fxsave Guarda en memoria todos los registros xmm (bloque de 512 bytes)
fxrstr Recupera de memoria los registros xmm
```

## Scheduler

---

Ejemplo del juego



# Interrupciones

Las interrupciones pueden provenir de

- Hardware
- Software
- Internas

Y se identifican mediante un valor numérico de 8 bits denominado *tipo*. ( $2^8 = 256$  máx.)

## Fuentes

### Hardware

Señales eléctricas enviadas desde los dispositivos de hardware, generalmente manejadas por un controlador externo que las prioriza y envía a la CPU secuencialmente de acuerdo a ese criterio.

El tipo es provisto por el hardware que interrumpe a través del pin `INTR`.

Asincrónicas y no determinísticas.

### Software

Se producen cuando se ejecuta la instrucción `int <type>`. Luego el tipo Acompaña al opcode de la instrucción. Por ejemplo, `int 0x80` en linux.

Determinísticas.

### Internas (Excepciones)

Son conocidas como *excepciones*. Generadas por la propia CPU como consecuencia de una situación que le impide completar la ejecución de la instrucción en curso. Cada excepción tiene su tipo asociado (predefinido).

*Ej: División por cero, page fault, violación de protección, etc.*

### Clasificación

- Fault

Puede corregirse permitiendo al programa retomar la ejecución de esa instrucción sin perder continuidad. El procesador guarda en la pila la dirección de la instrucción que produjo la falla.



- Trap

Producida inmediatamente a continuación de una instrucción de trap. Algunas permite que el procesador retome la ejecución sin perder continuidad pero otras no. El procesador guarda en la pila la dirección de la instrucción a ejecutarse luego de la instrucción trapeada.

- Abort

No siempre puede determinar la instrucción que la causó, ni permite recuperar la ejecución de la tarea que la causó. Reporta errores severos de hardware o inconsistencias en estructuras de datos del sistema.

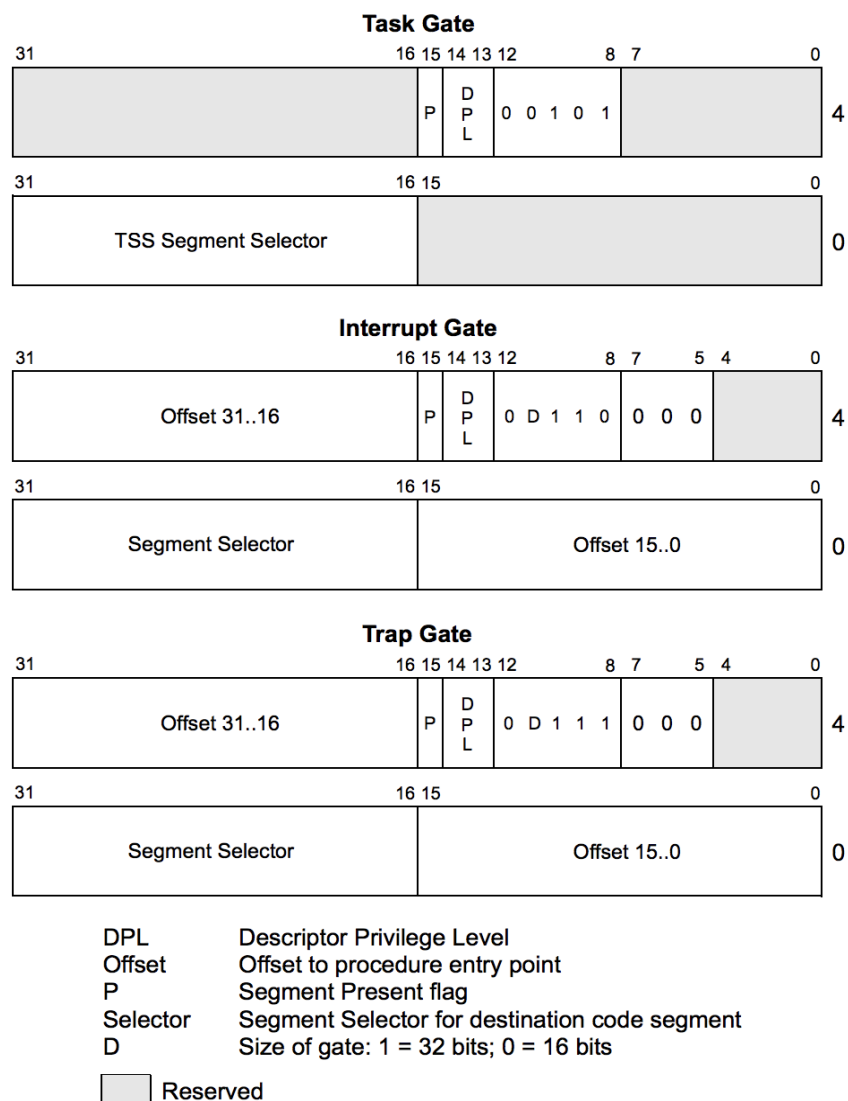
## IDT

Debe definirse una tabla en memoria llamada **IDT** (Interrupt Descriptor Table) la cual almacena descriptores de sistema ( $S = 0$ ).

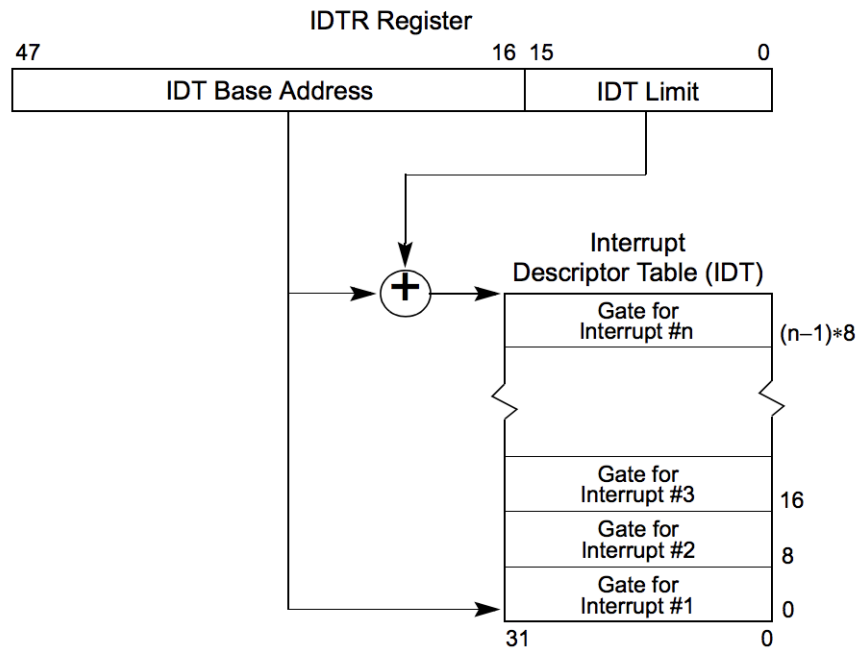
Solo tiene 256 entries ya que esa es la cantidad de tipos que reconoce.

- Interrupt Gate
- Trap Gate
- Task Gate

Si se definen en esta tabla descriptores que no sean esos, se genera una **#GP** al intentar de vectorizar esa interrupción.



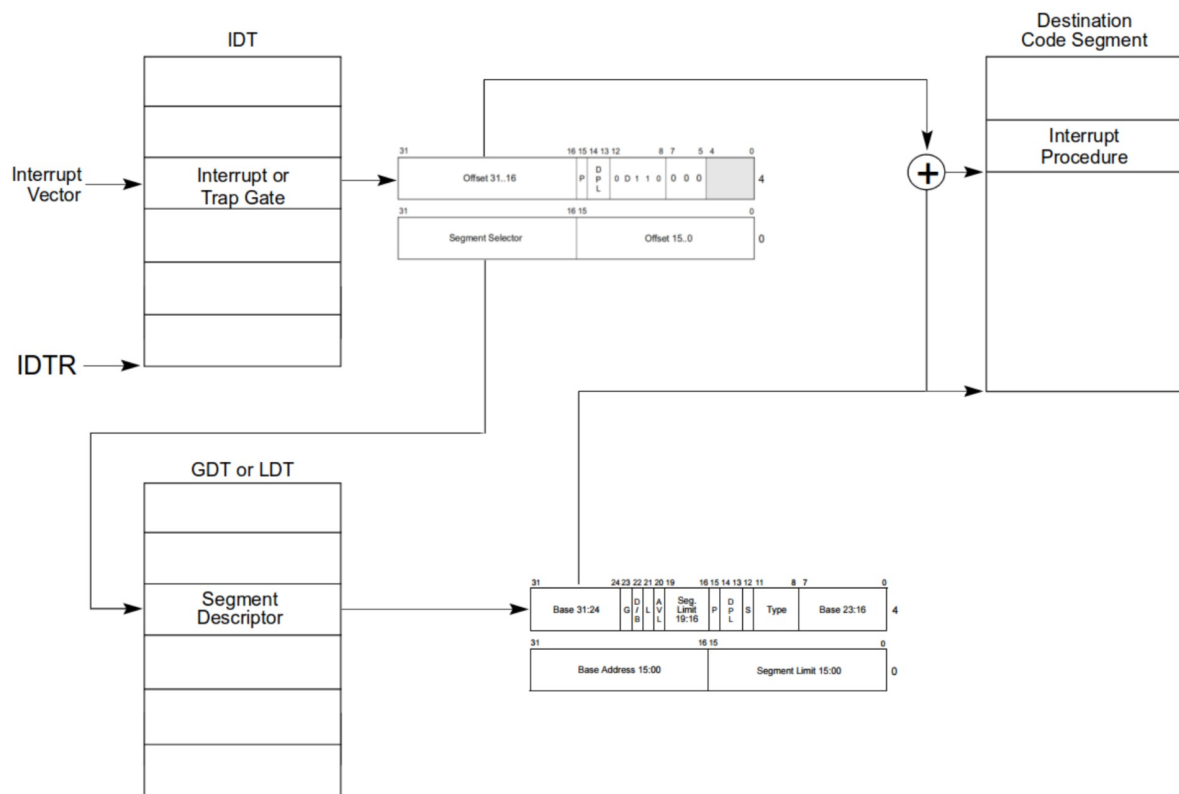
Para llegar a la **IDT** , se usa el registro **IDTR** .



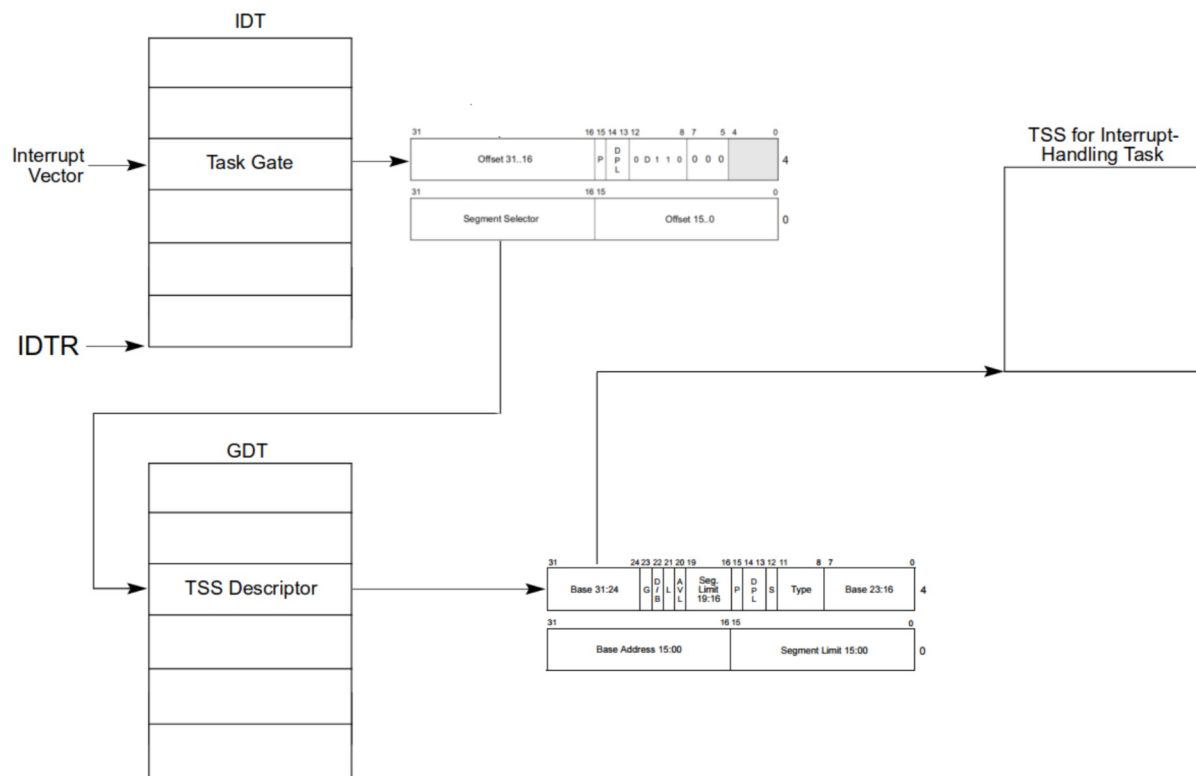
## Vectorización

Se llama vectorizar una interrupción al proceso de buscar su rutina de atención asociada.

En caso de que sea una interrupt o trap gate:



Y si es una task gate



## Privilegios y stack

Cuando el procesador hace `call` a la rutina de atención de interrupción, hay dos posibilidades, se puede o no realizar un cambio de privilegio.

Por ejemplo, si un código nivel usuario es interrumpida, la rutina de atención será de nivel supervisor, y entonces sucederá un cambio de privilegio.

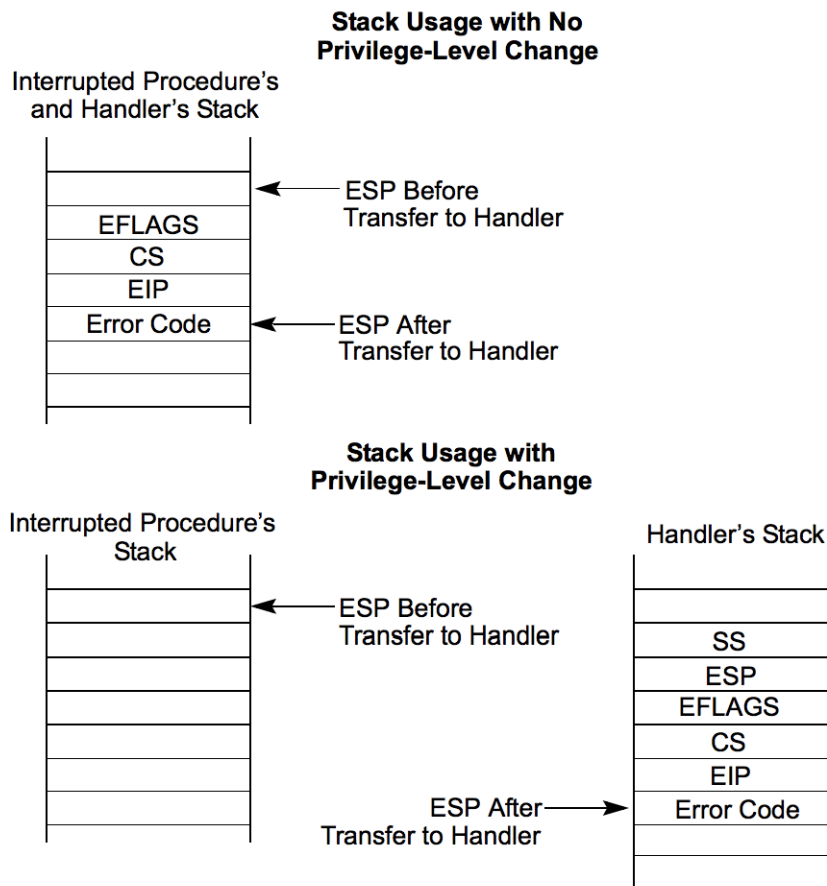
Al hacerse un cambio de privilegio, se hace un cambio de stack.

Con cambio de privilegio:

- Se obtiene el `SS` y el `ESP` de la `TSS` de la tarea actual (interrumpida).
- Se pushean en el nuevo stack.
- Se guarda el estado actual, `EFLAGS`, `CS`, `EIP` en el nuevo stack
- Si la excepción hace que se guarde un código de error, se pushea.

Sin cambio de privilegio:

- Se guarda el estado actual, `EFLAGS`, `CS`, `EIP` en el nuevo stack
- Si la excepción hace que se guarde un código de error, se pushea.



Para retornar de una rutina de atención se debe usar `iret` .

## Código de error

Está compuesto de 3 bits

|     |     |    |
|-----|-----|----|
| 0   | 1   | 2  |
| EXT | IDT | TI |

- **EXT** : External Event

Indica que la excepción fue causada por un evento externo al procesador.

- **IDT** : Descriptor Location

Indica que el campo Segment Selector Index se refiere a un descriptor de gate en la IDT, cuando está en 0 indica que dicho campo se refiere a un descriptor en la GDT o en la LDT de la tarea actual.

- **TI** : Table Indicator (GDT/LDT)

Solo cuando **IDT** está en 0. - 0 : GDT - 1 : LDT

## Prioridades

Que pasa cuando llega más de una interrupción?

| Priority    | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 (Highest) | Hardware Reset and Machine Checks<br>- RESET<br>- Machine Check                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2           | Trap on Task Switch<br>- T flag in TSS is set                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 3           | External Hardware Interventions<br>- FLUSH<br>- STOPCLK<br>- SMI<br>- INIT                                                                                                                                                                                                                            |
| 4           | Traps on the Previous Instruction<br>- Breakpoints<br>- Debug Trap Exceptions (TF flag set or data/I-O breakpoint)                                                                                                                                                                                    |
| 5           | Nonmaskable Interrupts (NMI)                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 6           | Maskable Hardware Interrupts                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 7           | Code Breakpoint Fault                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 8           | Faults from Fetching Next Instruction<br>- Code-Segment Limit Violation<br>- Code Page Fault                                                                                                                                                                                                          |
| 9           | Faults from Decoding the Next Instruction<br>- Instruction length > 15 bytes<br>- Invalid Opcode<br>- Coprocessor Not Available                                                                                                                                                                       |
| 10 (Lowest) | Faults on Executing an Instruction<br>- Overflow<br>- Bound error<br>- Invalid TSS<br>- Segment Not Present<br>- Stack fault<br>- General Protection<br>- Data Page Fault<br>- Alignment Check<br>- x87 FPU Floating-point exception<br>- SIMD floating-point exception<br>- Virtualization exception |

## Tipos predefinidos

Detalle sobre los tipos en la sección 6.15 del manual de *Intel Systems Programming Guide*.

| Vector | Mnemonic | Description            | Type      | Error Code | Source                                     |
|--------|----------|------------------------|-----------|------------|--------------------------------------------|
| 0      | #DE      | Divide Error           | Fault     | No         | div , idiv                                 |
| 1      | #DB      | Debug Exception Fault  | Trap      | No         | Instruction, data, and I/O breakpoints     |
| 2      | —        | NMI Interrupt          | Interrupt | No         | Nonmaskable external interrupt.            |
| 3      | #BP      | Breakpoint             | Trap      | No         | int3 instruction.                          |
| 4      | #OF      | Overflow               | Trap      | No         | into instruction.                          |
| 5      | #BR      | BOUND Range Exceeded   | Fault     | No         | bound instruction.                         |
| 6      | #UD      | Invalid Opcode         | Fault     | No         | ud instruction or reserved opcode.         |
| 7      | #NM      | Device Not Available   | Fault     | No         | FP ins WAIT/FWAIT instruction.             |
| 8      | #DF      | Double Fault           | Abort     | Yes (0)    | Cualquiera que genere, NMI, o INTR.        |
| 9      | -        | Reserved               | Fault     | No         | FP ins.                                    |
| 10     | #TS      | Invalid TSS            | Fault     | Yes        | Task switch or TSS access.                 |
| 11     | #NP      | Segment Not Present    | Fault     | Yes        | Cargar registros de segmentos o accederlos |
| 12     | #SS      | Stack-Segment Fault    | Fault     | Yes        | Stack operations and SS register loads.    |
| 13     | #GP      | General Protection     | Fault     | Yes        | Referencias a memoria y checks protección  |
| 14     | #PF      | Page Fault             | Fault     | Yes        | Any memory reference.                      |
| 15     | —        | Intel reserved.        | -         | No         | -                                          |
| 16     | #MF      | FPU Error              | Fault     | No         | FPU or WAIT/FWAIT instruction.             |
| 17     | #AC      | Alignment Check        | Fault     | Yes (0)    | Any data reference in memory.              |
| 18     | #MC      | Machine Check          | Abort     | No         | -                                          |
| 19     | #XM      | SIMD FP Exception      | Fault     | No         | SSE/SSE2/SSE3 floating-point instructions. |
| 20     | #VE      | Virtualization ex.     | Fault     | No         | EPT violations.                            |
| 21     | #CP      | Control Protection ex. | Fault     | Yes        | -                                          |
| 22-31  | —        | Intel reserved.        | -         | -          | -                                          |
| 32-255 | —        | User Defined           | Interrupt | -          | External interrupt or INT n instruction.   |

## Rutinas de atención

Deben realizar

1. Preservar los registros de la tarea interrumpida con pushad
2. Si es una interrupción de hardware, llamar pic\_finish para indicar que fue atendida.
3. Realizar la tarea correspondiente

4. Restaurar los registros con `popad`
5. Retornar de la interrupción con `iret`

## Instrucciones

- `pushad`

Pushes `EAX` , `ECX` , `EDX` , `EBX` , `ESP` (original value), `EBP` , `ESI` , y `EDI` .

- `in al/ax/eax imm8`

Input byte from `imm8` I/O port address into `AL/AX/EAX`.

## Protección

---

Cuando el procesador pasa a *modo protegido* se pone en funcionamiento la unidad de protección. Esta supervisa las operaciones internas del procesador, comprobando el cumplimiento de una serie de reglas que constituyen el entorno de protección necesario para implementar de manera eficiente la multitarea.

Cubren los siguientes chequeos

- Segmentos
  - Limite
  - Tipo
- Privilegios de segmentos y páginas
- Restricción del dominio de direccionamiento a las tareas
- Restricción de los puntos de entrada a los procedimientos
- Restricción en el uso del set de instrucciones.

## Segmentos

---

### Limite

Tiene en cuenta los atributos `G` , `D/B` y `ED` . Se le llama límite efectivo al resultado de tener todo eso en cuenta.

Sin `ED`

El límite efectivo será la última dirección a la cual se puede acceder dentro del segmento.

Se fija que el offset al que se quiere acceder no sea mayor al límite efectivo. Caso contrario, se genera una excepción `#GP` .

Ejemplos:

- Un `byte` cuyo offset sea mayor al límite efectivo.
- Una `word` cuyo offset sea mayor al límite efectivo - 1.
- Una `quadword` cuyo offset sea mayor que límite efectivo - 7.

Con `ED`

El límite efectivo es el último offset que no puede ser accedido ya que genera una `#GP` .

El rango de offsets válidos va de

- `D/B = 0` : (límite efectivo + 1) a `0xFFFF`
- `D/B = 1` : (límite efectivo + 1) a `0xFFFFFFFF`

Son usados para pilas.

## Tipo

Se toma en cuenta el atributo **S**.

No está permitido a la hora de cargar un segmento:

- Cargar en **CS** un selector cuyo descriptor corresponda a uno de datos.
- Cargar en **SS** o uno de datos (**DS**, **ES**, ...) un selector cuyo descriptor corresponda a uno de código con **R=0**.
- Cargar en **SS** un selector cuyo descriptor de segmento corresponde a uno de datos con **W=0**.
- Cargar en **LDTR** un selector que no corresponda a un descriptor de LDT.
- Cargar en **TR** un selector que no corresponda a un descriptor de TSS.

Durante la ejecución de instrucciones que acceden a segmentos con selectores ya cargados:

- No se puede escribir en un segmento de código.
- No se puede escribir dentro de un segmento de datos con **W=0**.
- No se puede leer un segmento de código si **R=0**.

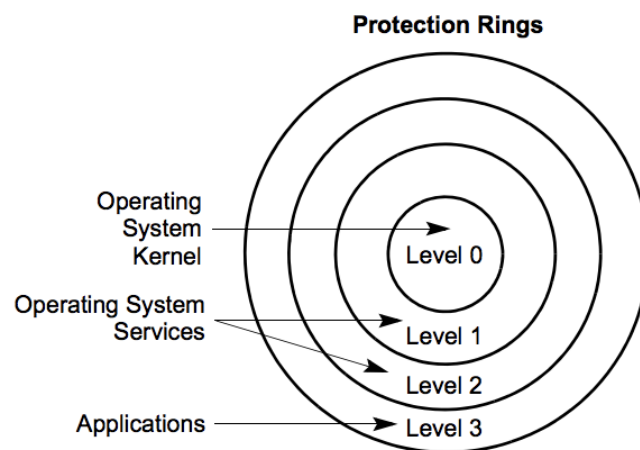
## Selectores nulos

Asignar un selector de segmento nulo en los registros de segmento **CS** o **SS** genera una excepción **#GP**.

Sin embargo, se puede asignar a **DS**, **ES**, **FS** o **GS**. Pero al intentar acceder al segmento, generará la excepción **#GP**.

Esto puede ser útil para detectar accesos a registros de segmento no utilizados, o para prevenir accesos no deseados a segmentos de datos.

## Privilegios



Lo menor numérico es lo más privilegiado. El uso real que tienen es que todo lo kernel es 0, user 3, y el medio no se usa.

Los accesos entre segmentos están regidos por reglas que contemplan los niveles de privilegio. Se chequean cuando se carga el selector en el registro de segmento.

## Tipos

- **DPL** : Descriptor Privilege Level

Nivel de privilegio del segmento a ser accedido (especificado en el descriptor).



- Datos / Call Gate / TSS: Indica el máximo valor numérico (min privilegio) que debe tener el código de una tarea para acceder.
- Codigo no conforming: Nivel que debe tener una tarea para accederlo, exactamente.
- Codigo conforming: Indica el mínimo valor numérico que debe tener el código para poder acceder al apuntado.
- **CPL** : Current Privilege Level

Nivel de privilegio del segmento de código que estamos ejecutando. El procesador lo mantiene en el caché hidden del selector, ya que se lo leyó directo de la tabla de descriptores.

- **RPL** : Requested Privilege Level

Es el valor que se escribe en los primeros dos bits de los selectores. Este puede ser cambiado por el programador.

- **EPL** : Effective Privilege Level

Se queda con el *menos* privilegiado entre el **CPL** y el **RPL** . (Es decir, el máximo numérico)

$$EPL = \text{Max}(\text{CPL}, \text{RPL})$$

Esto quiere decir que una tarea no puede hacerse la viva y poner que es kernel cuando en realidad es user, porque el CPL lo toma de una caché oculta que no tiene forma de modificar. Por lo tanto su EPL seguirá siendo 3.

Nivel adecuado

Para saber si tenemos el nivel adecuado,

- Segmento de datos:  $EPL \leq DLP$
- Segmento de código:
  - Non-conforming:  $EPL = DPL$
  - Conforming:  $CPL \geq DPL$

Donde las comparaciones son por valor numérico. Si no se cumple alguna, **#GP** .

## Paginación

### Privilegios

Se combina con segmentación.

Hay dos niveles

- **U/S = 0** : Usuario (Corresponde a CPL 0, 1, 2)
- **U/S = 1** : Supervisor (CPL 3)

Cualquier violación al sistema de protección de páginas genera un **#PF** .

- El modo supervisor puede acceder a todas las páginas, y en modo usuario solo a las que son de usuario.
- El modo supervisor también puede escribir en cualquier página, aunque sea read only (  $R/W = 0$  ).

Para evitar esto, hay un bit en CR0, **CR0.WP** (*Write Protect*). Cuando está en 1 impide que el procesador escriba en una página Read Only.

- El procesador chequea la protección en el *Page Directory* y también en cada *Page Table*.

Combinación

| Page-Directory Entry |             | Page-Table Entry |             | Combined Effect |             |
|----------------------|-------------|------------------|-------------|-----------------|-------------|
| Privilege            | Access Type | Privilege        | Access Type | Privilege       | Access Type |
| User                 | Read-Only   | User             | Read-Only   | User            | Read-Only   |
| User                 | Read-Only   | User             | Read-Write  | User            | Read-Only   |
| User                 | Read-Write  | User             | Read-Only   | User            | Read-Only   |
| User                 | Read-Write  | User             | Read-Write  | User            | Read/Write  |
| User                 | Read-Only   | Supervisor       | Read-Only   | Supervisor      | Read/Write* |
| User                 | Read-Only   | Supervisor       | Read-Write  | Supervisor      | Read/Write* |
| User                 | Read-Write  | Supervisor       | Read-Only   | Supervisor      | Read/Write* |
| User                 | Read-Write  | Supervisor       | Read-Write  | Supervisor      | Read/Write  |
| Supervisor           | Read-Only   | User             | Read-Only   | Supervisor      | Read/Write* |
| Supervisor           | Read-Only   | User             | Read-Write  | Supervisor      | Read/Write* |
| Supervisor           | Read-Write  | User             | Read-Only   | Supervisor      | Read/Write* |
| Supervisor           | Read-Write  | User             | Read-Write  | Supervisor      | Read/Write  |
| Supervisor           | Read-Only   | Supervisor       | Read-Only   | Supervisor      | Read/Write* |
| Supervisor           | Read-Only   | Supervisor       | Read-Write  | Supervisor      | Read/Write* |
| Supervisor           | Read-Write  | Supervisor       | Read-Only   | Supervisor      | Read/Write* |
| Supervisor           | Read-Write  | Supervisor       | Read-Write  | Supervisor      | Read/Write  |

**NOTE:**

\* If CR0.WP = 1, access type is determined by the R/W flags of the page-directory and page-table entries. If CR0.WP = 0, supervisor privilege permits read-write access.

## Interrupciones

Se tiene el privilegio necesario para hacer `int <type>` si `CPL <= DPL`, tomando el `DPL` del descriptor de la IDT. Sino `#GP`.

Al tratarse de interrupciones por hardware, se ignoran los bits de `DPL`.

## Tareas

Para ver si se puede efectuar la conmutación, `CPL <= DPL`, tomando el `DPL` del descriptor de la TSS.

También es necesario que `B = 0` (i.e que no esté corriendo ya).

Sino, `#GP`.

## Instrucciones

El Registro `EFLAGS` contiene el campo `IOPL` (bits 12 y 13) que determina el nivel de privilegio que debe tener la tarea en curso para acceder a la E/S. Luego pueden ejecutarse `IN`, `OUT`, `INS`, `OUTS`, sii `CPL = IOPL`.

Las instrucciones que en modo protegido solo pueden ejecutarse desde privilegio 0 son:

- `LGDT` - Cargar registro GDTR
- `LLDT` - Cargar registro LDTR
- `LTR` - Cargar registro TR
- `LIDT` - Cargar Registro IDTR
- `MOV` - si destino es un Registro deControl
- `MOV` - si destino es un Registro de Debug
- `LMSW` - Escribir en el Machine Status
- `Word` (parte baja de CR0)
- `CLTS` - Clear Flag Task-Switched en CR0
- `INVD` - Invalidar Cache sin Write Back
- `WBINVD` - Invalidar Cache con Write Back

- C

```
#define PDE_INDEX(virtual) virtual >> 22
```

