



# Organización de Procesadores

## Introducción

Alejandro Furfaro

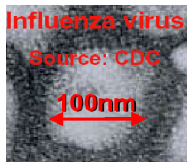
Agosto de 2014

## 1 Tecnología de Integración

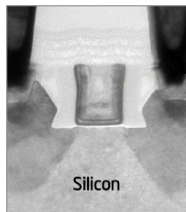
## 2 Arquitectura de Computadores

- Instruction Set Architecture (ISA)
- Organización y Hardware

# Evolución



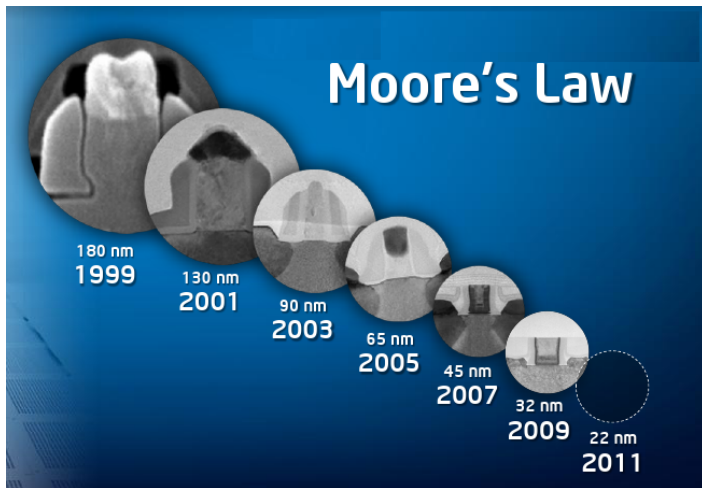
**Figura:** Vista microscópica de una célula del virus de la gripe



**Figura:** Vista en un Microscopio termoelectrónico de un CMOS de 32 nm high-K gate

En 2013 se espera tener lista la primer implementación con transistores MOS tri-gate en 22nm.

# Evolución



**Figura:** Evolución de las tecnologías de integración. ©Cortesía Intel

# Tendencias tecnológicas

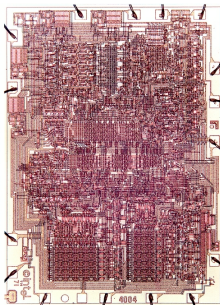
La tarea de un diseñador es permanente e inevitablemente moldeada por el rumbo de las tecnologías

- 1 La densidad de transistores por unidad de superficie aumenta 35 % por año en promedio. (Otra forma de la ley de Moore). Además el tamaño del die aumenta 10 a 20 % por año. Esto deriva en un crecimiento en la cantidad de transistores de entre 40 % y 55 % de un año a otro.
- 2 La velocidad de clock actualmente no crece a este ritmo. Parecería haber alcanzado un techo.
- 3 La capacidad de almacenamiento de las memorias DRAM crece a razón de un 40 % por año.
- 4 Los discos rígidos aumentan su capacidad 25 a 30 % por año. Su costo por bit de almacenamiento se mantiene entre 50 y 100 veces por debajo del costo de un bit de memoria DRAM

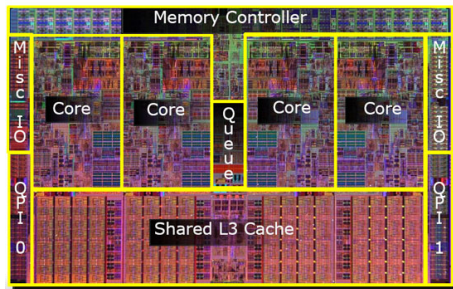
# Scaling

- El proceso de un circuito integrado está caracterizado por un solo parámetro: *tamaño*, que es el mínimo valor en la dimensión de un transistor en las dimensiones  $x$  o  $y$ .
- El tamaño de un transistor en 1971 era de 10 micrones. Actualmente es de 0,032 micrones: 1250 veces mas pequeño...
- Los transistores se cuentan por  $mm^2$  de silicio, de modo que podemos esperar una función de incremento del tipo cuadrática.
- Otro parámetro importante en un transistor es su rendimiento. Este aspecto es mas complejo. Al disminuir el tamaño en sentido vertical un transistor requiere reducir su tensión de alimentación. De otro modo su rendimiento decae o puede dañarse. Como no es posible cambiar la tensión de operación cada vez que se reduce la escala, la mejora en el rendimiento con cada avance en scaling no es cuadrática, sino que tiende a ser lineal.

# Scaling

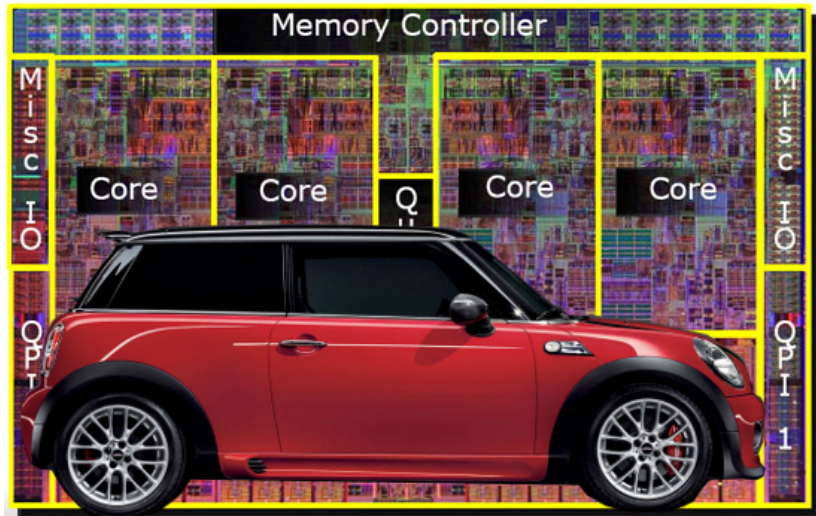


**Figura:** Procesador 4004, 2300 transistores 10 micrones. 1971  
©Cortesía Intel



**Figura:** Procesador Core i7, 2.000.000.000 transistores 22 nm. 2012 ©Cortesía Intel

# Scaling



**Figura:** Dimensiones de un core i7 construido con la tecnología del 4004



# Scaling

funcionamiento. . .

- A medida que disminuye el parámetro *tamaño*, los transistores ganan linealmente en rendimiento, pero los “alambres” que conectan los diferentes componentes que conforman los buses internos se transforman en un problema.
- Los caminos de señal, en las escalas actuales y a las frecuencias de trabajo actuales generan:
  - 1 Delays. Debido a que finalmente son un medio de transmisión con una resistencia y capacidad de distribuida, responsables de la constante de tiempo RC que hace que la señal inyectada en un extremo se propague al otro con demoras.
  - 2 picoJoules de energía disipados en cada “cable”. Cientos de millones de transistores requieren cientos de millones de cables conectores, que consumen solo algunos pocos Pico Joules cada uno. Hagan cuentas. . .

# Scaling

- A pesar de que los “alambres” también se acortan a medida que reducimos las dimensiones, sus efectos no se reducen en consecuencia. Es un aspecto muy complejo en el diseño, por donde pasar un bus. Su cercanía con otros componentes afecta sus propios parámetros RC.
- Los delays consumen fracciones de un ciclo de clock para transportar la señal eléctrica entre sus extremos.
- La disminución en la escala ha transformado a el delay en uno de los factores mas críticos en el diseño de Microprocesadores.
- Dos de las mas de 20 etapas del pipeline del Procesador Pentium IV desarrollado en 2001 tienen como objeto, compensar delays.

# Consumo

- La alimentación en un circuito integrado moderno es un tema de consideración por varios factores.
- Se debe distribuir la tensión de alimentación a todo el circuito integrado. Esto motiva desde hace mas de una década que los circuitos integrados dediquen una buena cantidad de terminales de conexión a  $V_{cc}$  y Tierra.
- La potencia que se disipa en un transistor CMOS en conmutación, es proporcional a la Capacidad de carga del dispositivo, al cuadrado de la tensión de alimentación y a la frecuencia de conmutación. Su expresión viene dada por:

$$P_d = \frac{1}{2} C_c V^2 f_c \quad (1)$$

Para procesadores destinados a dispositivos portátiles, para dimensionar la capacidad de una batería y su tiempo de duración, mas que la potencia, interesa la energía en Joules, que viene dada por:

$$E_d = C_c V^2 \quad (2)$$

# Consumo

## Conclusiones de (1) y (2)

- 1 La tensión de alimentación se redujo en los últimos 30 años de 5V a 0,85V. Esto por sí solo es una reducción drástica en el consumo de un transistor.
- 2 La capacidad de carga depende de la cantidad de dispositivos que se conecten a la salida de un transistor y de la tecnología de integración empleada.
- 3 Para una tarea fija, reducir la frecuencia de clock disminuye la potencia disipada pero no tiene efecto con la energía consumida.

# Entonces:

## ¿Por que razón es un problema el Consumo?

- El incremento en la cantidad de transistores CMOS por  $mm^2$  de superficie tiene preeminencia por sobre los ahorros de energía individuales de cada transistor debidos al cambio de tecnología.
- Por lo tanto cada vez es mas crítico el manejo del consumo.
- El procesador 4004 de Intel en 1971 tenía poco mas de 2300 transistores y su consumo era de algunas décimas de Watts. Su clock era de 108 KHz (si... leyó bien... Kilo Hertz)
- El procesador Pentium IV Extreme Edition desarrollado en 2001 (30 años después), llegó a consumir 135 Watts. Claro. Tenía cerca de 40 millones de transistores y un clock de 3GHz
- Por lo tanto cada vez existen mas limitaciones tanto con la distribución de la alimentación como con el ahorro de potencia y energía.

# Tendencias en reducción del Consumo

- La mayoría de los procesadores actuales contiene bloques de hardware para control de consumo, que se encargan de mantener alimentados solo los bloques funcionales que se necesitan en cada momento. Por ejemplo: Si el procesador no está ejecutando operaciones de Punto Flotante, entonces la Unidad de Punto Flotante se mantiene apagada.
- A pesar de que un transistor esté al corte, existe una corriente de fuga (likage) que circula de todos modos, de modo que interesa determinar la Potencia estática, relacionada con esta corriente:

$$E_e = I_e V^2 \quad (3)$$

- $V$  = Tensión de Alimentación,  $I_e$  = corriente de fuga (likage). Cada transistor tiene así una componente adicional de potencia cuando está en corte.
- A medida que aumenta la cantidad de transistores esta corriente se hace mas significativa.
- En 2006 los principales diseñadores establecieron como meta que esta corriente represente solo el 25 % del consumo total del chip. Aún así los modelos de mas alto rendimiento no lograron esta marca.

# Arquitectura vs Microarquitectura

## Arquitectura

Es el conjunto de recursos accesibles para el programador, que por lo general se mantienen a lo largo de los diferentes modelos de procesadores de esa arquitectura (puede evolucionar pero la tendencia es mantener compatibilidad hacia los modelos anteriores).

- Registros
- Set de instrucciones
- Estructuras de memoria (descriptores de segmento y de página p. ej.)

## Micro Arquitectura

Es la implementación en el silicio de la arquitectura. Lo que está detrás del set de registros y del modelo de programación. Puede ser muy simple o sumamente robusta y poderosa. Camba de un modelo a otro dentro de una misma familia.

# Arquitectura vs Microarquitectura

## Ejemplo

La arquitectura IA-32 se inicia con el procesador 80386 en 1985, y llega hasta los procesadores Intel Core i7, i5, i3, ATOM y Xeon actuales.

En el camino han pasado diferentes generaciones de Micro-Arquitectura para mas de 25 modelos de procesadores.



# Definición de la Arquitectura de un Computador

- Es sin dudas la tarea mas ardua de un diseñador.
- Se trata de definir los aspectos mas relevantes en la arquitectura de un computador que maximicen su rendimiento, sin dejar de satisfacer otras limitaciones impuestas por los usuarios, como un costo económico que lo haga accesible, o un consumo de energía moderado.
- Comprende el diseño del set de instrucciones, el manejo de la memoria y sus modos de direccionamiento, los restantes bloques funcionales que componen el CPU, el diseño lógico, y el proceso de implementación
- La implementación comprende el diseño del circuito integrado, su encapsulado, montaje, alimentación y refrigeración.

# Definición de la Arquitectura de un Computador

## skills necesarios

No es posible realizar esta tarea con éxito sin tener manejar de manera solvente varias tecnologías diferentes:

- Diseño lógico.
- Tecnología de encapsulado
- Funcionamiento y diseño de compiladores y de Sistemas Operativos.

# Temario

1 Tecnología de Integración

2 Arquitectura de Computadores

- Instruction Set Architecture (ISA)
- Organización y Hardware

# Definiendo un ISA

Nos referimos a *Instruction Set Architecture*, como el set de instrucciones visibles por el programador. Es además el límite entre el software y el hardware.

**Clases de ISA.** ISAs con Registros de Propósito general vs. Registros dedicados. ISAs registro-memoria vs. ISAs Load Store.

**Direccionamiento de Memoria.** Alineación obligatoria de datos vs. administración de a bytes.

**Modos de Direccionamiento.** Como se especifican los operandos.

**Tipos y tamaños de operandos.** Enteros, Punto Flotante, Punto Fijo. Diferentes tamaños y precisiones.

**Operaciones.** Pocas Simples (RISC) o Muchas Complejas (CISC).

**Instrucciones de control de flujo** Saltos condicionales, calls.

**Longitud del código** Instrucciones de tamaño fijo vs. variable.

# Temario

## 1 Tecnología de Integración

## 2 Arquitectura de Computadores

- Instruction Set Architecture (ISA)
- Organización y Hardware

# Microarquitectura = Organización + Hardware

## Organización

Se refiere a los detalles de implementación de la ISA. Es decir

- Organización e interconexión de la memoria.
- Diseño de los diferentes bloques de la CPU y para implementar el set de instrucciones.
- Implementación de paralelismo a nivel de Instrucciones, y/o de datos.

Podemos así encontrar procesadores que poseen la misma ISA pero una organización muy diferente. Ejemplo: Los procesadores AMD FX y los Intel Core i7, tienen la misma ISA, sin embargo organizan su caché y su motor de ejecución de maneras diferentes.

## Hardware

Se refiere a los detalles de diseño lógico y tecnología de fabricación. Existen procesadores con las mismas ISA y organización, pero que a nivel de hardware y diseño lógico de detalle son muy diferentes. Ejemplo: el Pentium 4, diseñado para desktop, y el Pentium 4 M para notebooks. Este tenía una cantidad de lógica para control del consumo de energía que hacía su hardware muy diferente del otro.