

# IEE240 – Organización y Arquitectura de Computadoras

MSc. Stefano Romero

# Motivación

¿Qué rol cumplen las computadoras hoy en día?

- Las ciencias de la computación están más enfocadas en la resolución de algoritmos complejos que en el desarrollo mismo del hardware
- Para comprender porqué un algoritmo es computacionalmente irrealizable, o entender porqué es tan lento, se debe ver el problema desde el punto de vista de la computadora.
- Intentar optimizar un sistema informático sin entenderlo primero es como intentar sintonizar tu automóvil vertiendo un elixir en el tanque de gasolina: tendrás suerte si funciona por completo cuando hayas terminado.
- Optimización del programa y ajuste del sistema son quizás las motivaciones más importantes para aprender cómo funcionan las computadoras.

# Otras grandes motivaciones

- Desarrollo de compiladores: Entendimiento del entorno del hardware del compilador.
- Modelamiento de grandes y complejos sistemas: Entendimiento de la aritmética de punto flotante y como funciona en la práctica.
- Diseño de periféricos: Conocimiento de cómo la computadora interactúa con su entrada y salida.
- Desarrollo de sistemas embebidos: Limitación de recursos, compensación de tiempo, espacio y precio.
- ...
- Finalmente, es el entendimiento de la interacción del hardware con el software y a través del mismo.

# Capítulo 1

## Conceptos básicos

- Organización de computadoras:

Es la forma en que varios circuitos y componentes se unen para crear sistemas informáticos funcionales. Está relacionado a cómo se controla la computadora y su estudio ayuda a responder cómo funciona una computadora.

- Arquitectura de computadoras:

Se enfoca en la estructura y comportamiento del sistema de la computadora. Se centra en la lógica y los aspectos abstractos de la implementación del sistema visto por el programador. Su estudio ayuda a responder cómo diseñar una computadora.

# Capítulo 1

## Conceptos básicos - Arquitectura de computadora de una máquina

- Es la combinación del hardware más el set de instrucciones de arquitectura (ISA, por sus siglas en inglés). El ISA es el interfaz acordada entre todo el software que se ejecuta en la máquina y el hardware que lo ejecuta.
- Las características de ISA se pueden enlistar como las siguientes:
  - Clases de instrucciones: Transferencia de data, ALU (ADD, SUB, AND, OR), punto flotante, etc.
  - Operaciones y acceso en memoria (Register, Immediate, Displacement, etc.).
  - Tamaño y tipos de datos que maneja (Binary Integer (8-bit,...,-64-bit), BCD, punto flotante, etc.).

# Capítulo 1

## Componentes principales de un computador

- Procesador:
  - Permite interpretar y ejecutar programas.
- Memoria:
  - Para grabar data y programas.
- Dispositivos de E/S.
  - Transferencia de datos de y para el mundo.

# Capítulo 1

## Desarrollo histórico

### Generación cero: Máquinas de cálculo mecánico 1642-1945

- Wilhelm Schickard inventó el Calculating Clock Sumar y restar números hasta 6 dígitos.
- Blaise Pascal inventó el Pascaline para sumar y restar con acarreo.
- Charles Babbage diseñó la máquina diferencial para mecanizar la solución de polinomios por métodos de diferencia. El diseño permitía imprimir tarjetas perforadas.
- Ana Byron sugiere que se escribe el diseño para calcular números.
- Joseph Jacquard, inspirado por el trabajo de Babbage, inventó un telar programmable que producía patrones en una tela.
- Hermann Hollerith creó una máquina para codificar y compilar datos del censo de 1890.

# Capítulo 1

## Desarrollo histórico

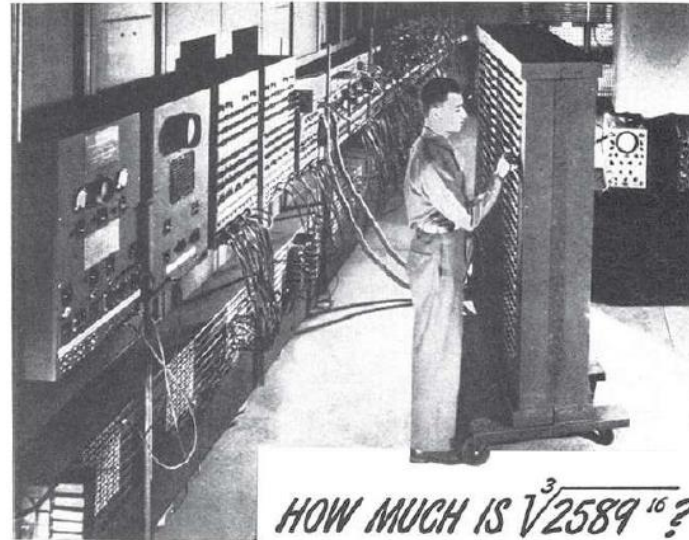
### 1era generación: Tubos de vacío 1945-1953

- Konrad Zuse retomó el trabajo de Babbage añadiendo electricidad y mejoras al diseño mecánico. La Z1 usó reles electromecánicos en lugar de engranajes. Por costos, se utilizaban películas descartadas en lugar de tarjetas, pero el diseño estaba propuesto para tubos de vacío.
- Posteriormente, se construyó ABC (atanasoff berry computer) y ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), siendo el segundo la primera computadora de propósito general.
- ENIAC tenía 17,468 tubos de vacío, ocupaba 1800 m<sup>2</sup>, pesaba 30 toneladas, consumía 174 kW y tenía una capacidad de 1000 bits de información.



# Capítulo 1

## Desarrollo histórico



*HOW MUCH IS  $\sqrt[3]{2589^{16}}$ ?*

**The Army's ENIAC can give you the answer in a fraction of a second!**

Think that's a stumper? You should see *some* of the ENIAC's problems! Brain twisters that if put to paper would run off this page and feet beyond . . . addition, subtraction, multiplication, division—square root, cube root, any root. Solved by an incredibly complex system of circuits operating 18,000 electronic tubes and tipping the scales at 30 tons!

The ENIAC is symbolic of many amazing Army devices with a brilliant future for you! The new Regular Army needs men with aptitude for scientific work, and as one of the first trained in the post-war era, you stand to get in on the ground floor of important jobs

**YOUR REGULAR ARMY SERVES THE NATION  
AND MANKIND IN WAR AND PEACE**

which have never before existed. You'll find that an Army career pays off.

The most attractive fields are filling quickly. Get into the swim while the getting's good! 1½, 2 and 3 year enlistments are open in the Regular Army to ambitious young men 18 to 34 (17 with parents' consent) who are otherwise qualified. If you enlist for 3 years, you may choose your own branch of the service, of those still open. Get full details at your nearest Army Recruiting Station.



U.S. Army, 1946.

Figura 1.1 Publicidad de ENIAC [1]

# Capítulo 1

## Desarrollo histórico

### 2da generación: Transistores 1954-1962

- Tres investigadores del Laboratorio de Bell inventaron el transistor. Este componente electrónico es de bajo consumo y muchísimo más pequeño que los tubos de vacío.
- Esto marcó un punto de quiebre dado que las computadoras disminuyeron su precio considerablemente y terminaban siendo más confiables.
- Sin embargo, el tamaño seguía siendo una limitación por lo que solo las universidades, gobiernos y grandes empresas podían asumir el costo.
- Principales marcas en esta generación:
  - IBM
  - Digital Equipment Corporation (DEC)
  - Univac( ahora Unisys)

# Capítulo 1

## Desarrollo histórico

### 3era generación: Circuitos Integrados 1963-1970

- Jack Kilby inventó el circuito integrado hecho a base de germanio.
- Posteriormente, Robert Noyce hizo lo mismo pero con silicio.
- Los primeros circuitos integrados permitieron la existencia de docenas de transistores en un solo integrado de silicio más pequeño que un transistor.
- Se fabricaron computadoras más rápidas, pequeñas y baratas con grandes ganancias en procesamiento.
- Los usuarios de máquinas más pequeñas podían actualizar a sistemas más grandes sin reescribir su software.
- Se introdujo la multiprogramación, el tiempo compartido, interrupciones, etc.

# Capítulo 1

## Desarrollo histórico

### 3era generación: Circuitos Integrados 1963-1970

Características	Modelo 30	Modelo 40	Modelo 50	Modelo 65	Modelo 75
Tamaño máximo de memoria (bytes)	64K	256K	256K	512K	512K
Velocidad de transferencia de datos procedentes de la memoria (MB/segundo)	0,5	0,8	2,0	8,0	16,0
Tiempo de ciclo del procesador ( $\mu$ /segundo)	1,0	0,625	0,5	0,25	0,2
Velocidad relativa	1	3,5	10	21	50
Número máximo de canales de datos en un canal (KB/segundo)	250	400	800	1.250	1.250

Tabla 1.1 Características de la familia Sistema/360 [2]

# Capítulo 1

## Desarrollo histórico

### 4ta generación: VLSI 1970 - ?

- Los circuitos integrados tienen un hardware específico dependiendo el nivel de su integración:
  - SSI (small-scale integration): 10-100 componentes.
  - MSI (medium-scale integration): 100-1,000 componentes.
  - LSI (large-scale integration): 1,000- 10,000 componentes.
  - VLSI (verylarge-scale integration): más de 10,000 componentes.
- En 1971, Intel creo el primer microprocesador: el 4004. Adicionalmente, introdujo la memoria RAM.

# Capítulo 1

## Desarrollo histórico

	1971	1972	1974	1978	1982	1985	1989	1993	1995	1997
Procesador	4004	8008	8080	8086	286	386	486	Pentium	Pentium Pro	Pentium II
Velocidad	108 KHz	800 KHz	2 MHz	5 MHz	6 MHz	16 MHz	25 MHz	66 MHz	200 MHz	300 MHz
Transistores	2300	3500	4500	29000	134000	275000	1.2 m	3.1 m	5.5 m	7.5 m

Tabla 1.2 Evolución de procesadores [3].

# Capítulo 1

## Desarrollo histórico

	1998	1999	2000	2001	2003	2006	2008	2008	2010	2012
Procesador	Celeron	Pentium III	Pentium 4	Xeon	Pentium M	Core 2 Duo	Core 2 Duo	Atom	2da g	3era g
Velocidad	266 MHz	600 MHz	1.5 GHz	1.7 GHz	1.7 GHz	2.66 GHz	2.4 GHz	1.86 GHz	3.86 GHz	2.9 GHz
Transistores	7.5 m	9.5 m	42 m	42 m	55 m	291 m	410 m	47 m	1.16 b	1.4 b

Tabla 1.3 Evolución de procesadores [3].

# Capítulo 1

## Desarrollo histórico

- 1965: Moore observó que el número de componentes por circuito integrado se duplicaba.
- 1975: “Cada 2 años se duplica el número de transistores en un microprocesador” (Ley de Moore).

¿De qué se trata realmente la ley de Moore?

¿Semiconductores? ¿Computadoras? ¿Rendimiento? ¿Física? ¿Electrónica?

- Se trata principalmente de economía y termina en un sentido literal porque el crecimiento exponencial en el recuento de transistores no puede continuar para siempre.
- 1990: “El costo del equipo de capital para construir semiconductores se duplicará cada cuatro años” (Ley de Rock).



# Capítulo 1

## Desarrollo histórico

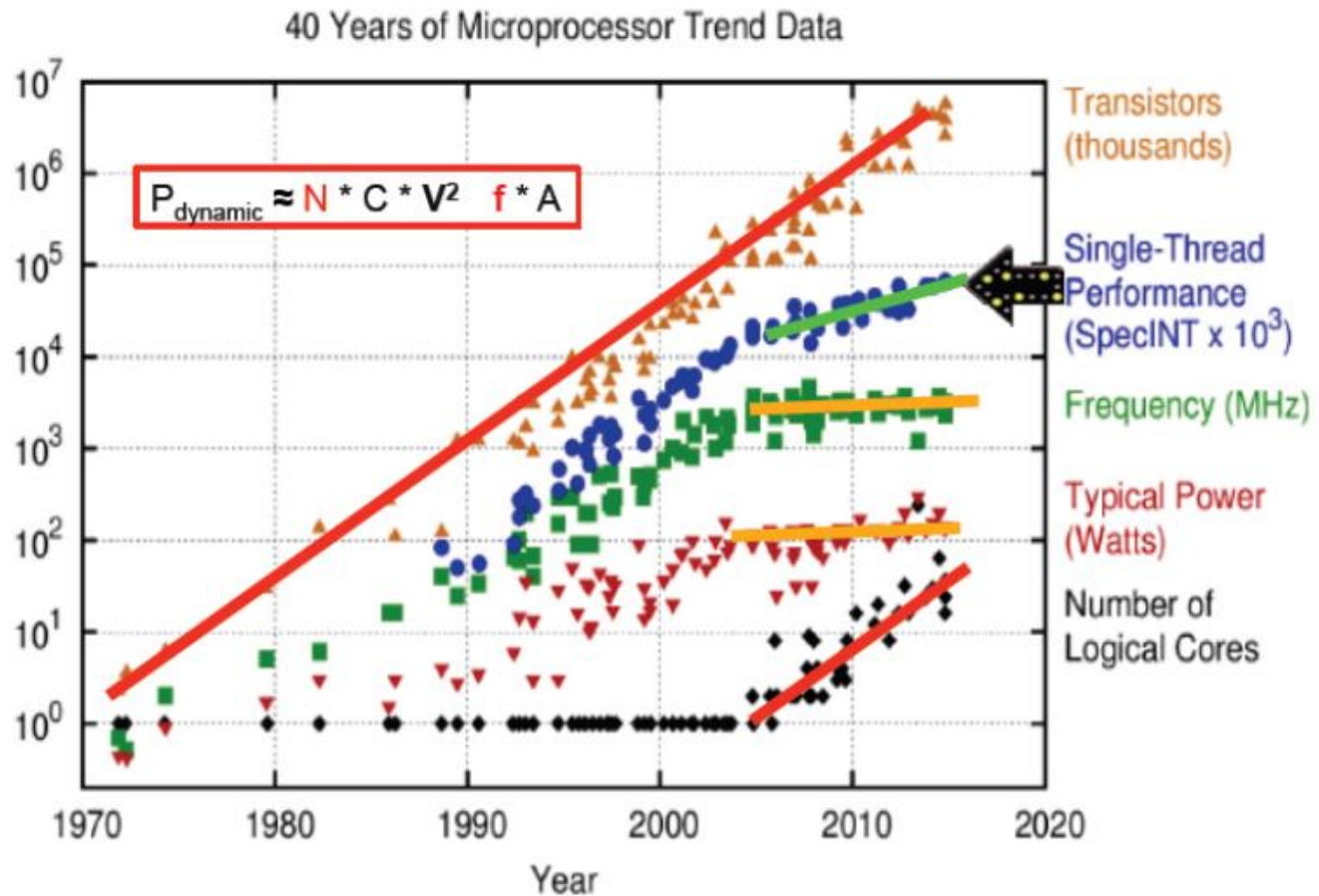


Figura 1.2 Fallo de la escala de Dennard a mediados de la década de 2000 [4]

# Capítulo 1

## Desarrollo histórico

- La ley de Moore continuará mientras la industria pueda seguir llenando sus dispositivos con nuevas funcionalidades. Este esfuerzo continuo en torno a la ley de Moore se puede realizar en tres frases:
  1. **More Moore:** Es la estrategia de reducir continuamente el transistor hacia abajo. Se caracteriza por miniaturizar los componentes. Esta tendencia fue de la mano con la escala de Dennard y la evolución del transistor a ser más frío y consumir menos energía.
  2. **More Than Moore:** Examina la oportunidad de integrar innumerables funciones en el nivel del sistema, que normalmente incluye funcionalidades no digitales tales como analógica, radio frecuencia, sensor, entre otros. Mejora la eficiencia de integración general, hace que un sistema sea capaz de soportar más funciones y, al mismo tiempo, reduce el costo general del sistema. En esencia, evoluciona de lo "más barato, mejor y más rápido" de More Moore a "mejor y más completo"
  3. **Beyond Moore:** Surge de la pregunta: ¿qué sucede cuando el efecto cuántico entra en juego y la escala continua ya no es posible? Su desarrollo comprende distintos enfoques de arquitectura, nuevas tecnologías para reemplazar los transistores o ideas de formas de computación (neuromórfica, aproximada o superconductora).

# Capítulo 1

Visión por niveles abstracción del computador

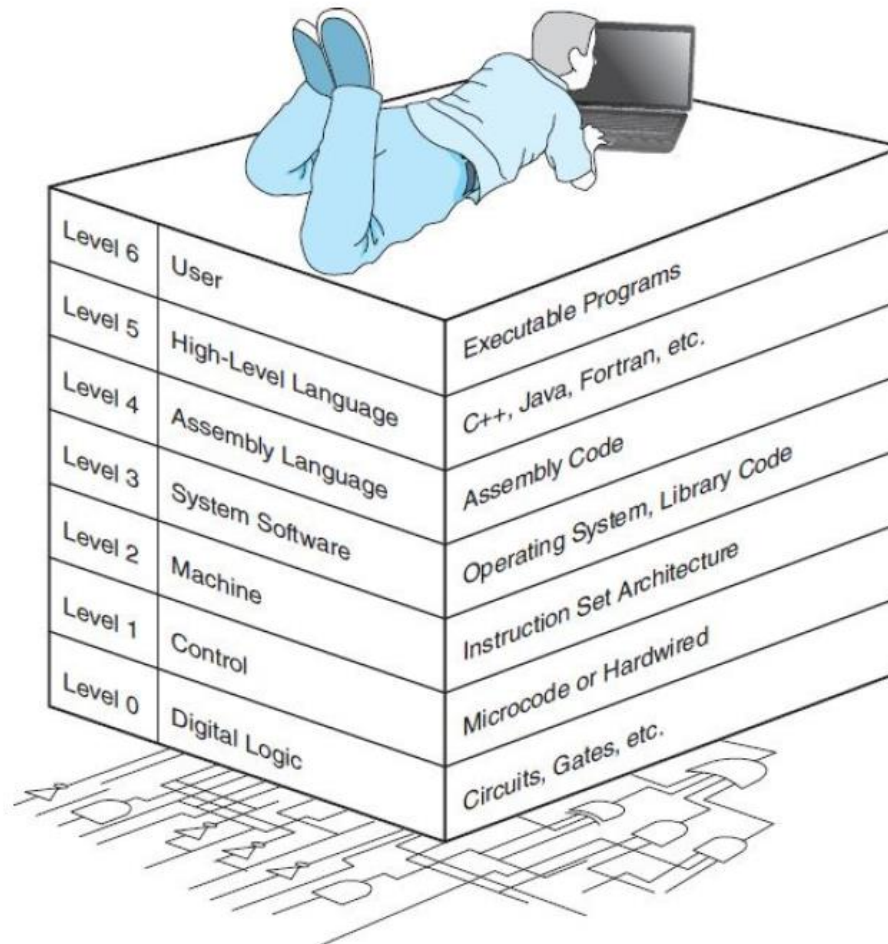


Figura 1.3 Niveles de abstracción del computador [1]

# Capítulo 1

## Modelo Von Neumann

- Publicado y publicitado por John von Neumann. Propuesto por John W. Mauchly y J. Presper Eckert.
- La arquitectura Von Neumann fue el primer diseño de computadora en utilizar el concepto de un programa almacenado en memoria.
- Principales características:
  - Tres sistemas de hardware:
    - 1) CPU con unidad de control, ALU, registros y contador de programa.
    - 2) Memoria principal, con programas que controlan la operación de la computadora.
    - 3) Sistema de E/S.
  - Capacidad para llevar a cabo el proceso de instrucción secuencial.
  - Contiene una sola ruta, física o lógica, entre el sistema de memoria principal y la unidad de control de la CPU, lo que obliga a la alternancia de instrucciones y ciclos de ejecución (cuello de botella de von Neumann).

# Capítulo 1

## Modelo Von Neumann

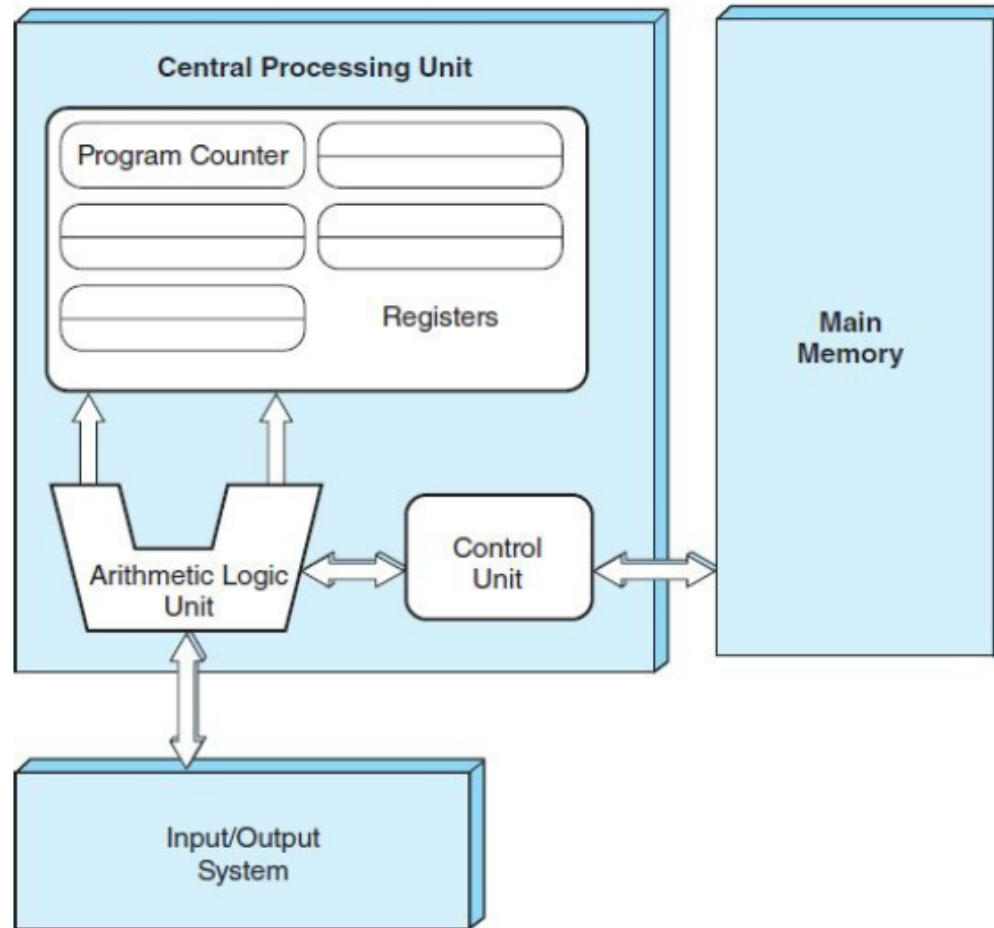


Figura 1.4 Arquitectura de Von Neumann [1]

# Capítulo 1

## Modelo Von Neumann

- La idea de Von Neumann ha sido extendida a que los programas y los datos se almacenen en un medio de almacenamiento de acceso lento, como un disco duro, y puedan copiarse a un medio de almacenamiento volátil y de acceso rápido como la RAM antes de su ejecución.
- Siendo así, Von Neumann se ha simplificado utilizando el modelo de buses del sistema: bus de datos e instrucciones, bus de direcciones y bus de control.
- La ventaja de esta arquitectura es que ejecuta instrucciones de forma secuencial por lo que son extremadamente adecuadas para procesamiento secuencial.
- La desventaja es que se puede formar un cuello de botella.

# Capítulo 1

## Modelo Von Neumann

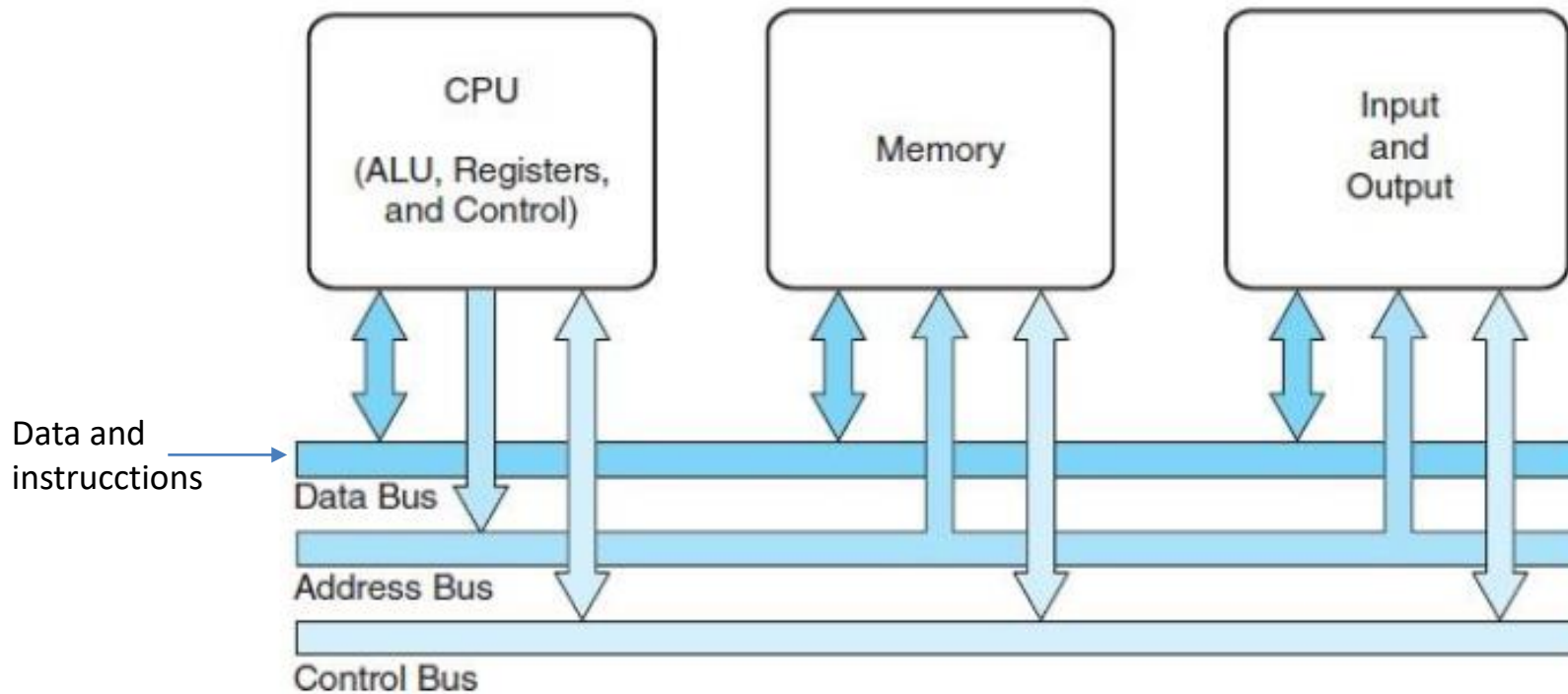


Figura 1.5 Arquitectura de Von Neumann utilizando un sistema de buses.[1]

# Capítulo 1

## Modelos alternativos a Von Neumann

- Arquitectura Harvard:
  - Basada en la computadora Mark Harvard I.
  - Datos e instrucciones tienen su propio bus y su propio almacenamiento separado, por lo que la transferencia paralela es posible.
  - Ventaja: No se presenta el cuello de botella de von Neumann ya que el procesamiento es paralelo y hay mayor ancho de banda.
  - Desventaja: Se deben proporcionar mecanismos para cargar por separado el programa que se ejecutará en la memoria de instrucciones y cualquier información que se operará en la memoria de datos.
  - Comúnmente se utilizan en microcontroladores, sistemas embebidos, entre otros.



# Capítulo 1

## Modelos alternativos a Von Neumann

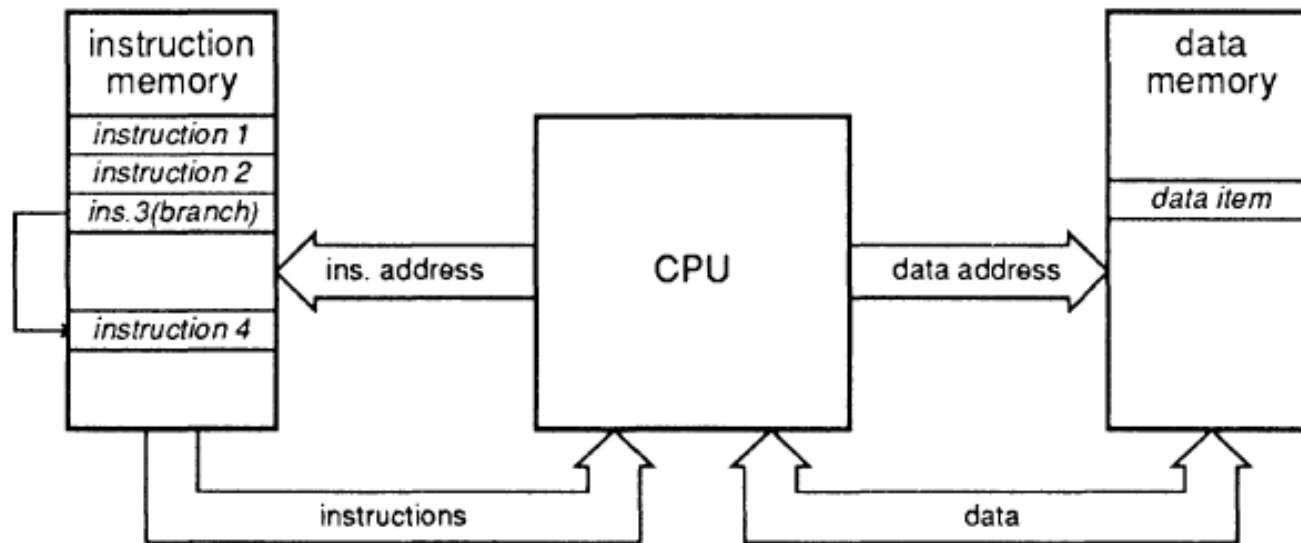


Figura 1.6 Arquitectura Harvard.[5]

# Capítulo 1

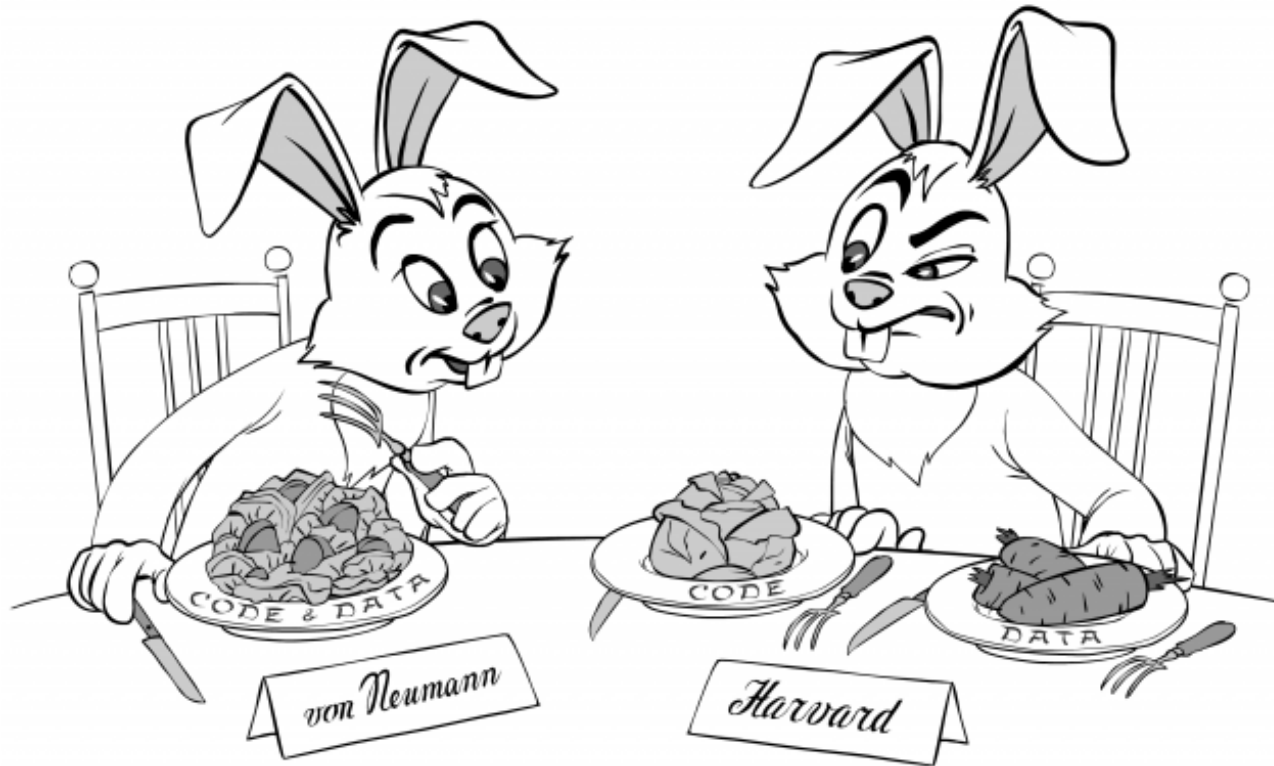


Figura 1.7 Imagen extraída de “Modified Harvard Architecture: Clarifying Confusion” [6]

# Capítulo 1

## Modelos alternativos a Von Neumann

- Arquitectura Harvard modificada:
  - Principales características:
    - Caché dividida.
    - Acceso a la memoria de instrucción como data.
    - Leer instrucciones de la memoria de la data.
  - Para lectura, se pueden colocar datos constantes en el espacio de instrucciones.
  - Para escritura, se puede escribir espacio de instrucciones durante la ejecución.
  - Esta arquitectura también está diseñada para diferentes tipos de sistemas embebidos (Familia AVR) o microcontroladores (COP8).

# Capítulo 1

## Modelos alternativos a Von Neumann

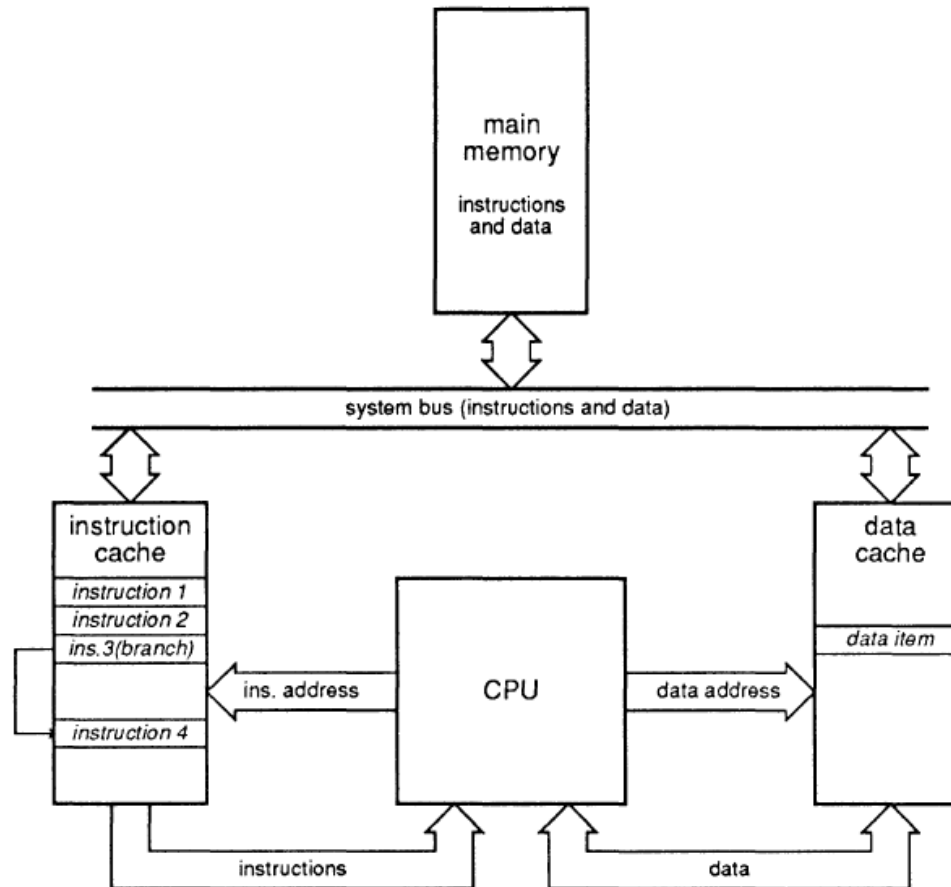


Figura 1.8 Arquitectura Harvard Modificada.[5]

# Capítulo 1

## Bibliografía

- [1] Null, L, et al. *The essentials of computer organization and architecture*. Jones & Bartlett Publishers, 2014.
- [2] Stallings, W. *Computer organization and architecture: designing for performance*. Pearson Education India, 2003.
- [3] <https://www.intel.com/content/www/us/en/history/historic-timeline.html>
- [4] Conte, T., "IEEE rebooting computing initiative & international roadmap of devices and systems," in Proc. IEEE Rebooting Computer Architecture 2030 Workshop.
- [5] FURBER, S. *VLSI RISC architecture and organization*. Routledge, 2017.
- [6] <http://ithare.com/modified-harvard-architecture-clarifying-confusion/>
- [7] Xiu, Liming. "Time Moore: Exploiting Moore's Law From The Perspective of Time." *IEEE Solid-State Circuits Magazine* 11.1 pp: 39-55, 2019.