

Electrónica Digital I
Grado en Ingeniería de
Tecnologías de Telecomunicación

Introducción a la
Electrónica Digital

Circuitos electrónicos

- El **objetivo de la electrónica** es la fabricación de circuitos (“maquinas”) que realicen una **amplia gama de operaciones**.
- En la actualidad los circuitos electrónicos son los que permiten **un menor costo, una alta velocidad de cómputo** y una **gran capacidad de integración** frente a otras tecnologías (mecánicas, electromagnéticas, fotónicas, cuánticas, etc).
- En un circuito electrónico las **magnitudes físicas externas** (presión, temperatura, etc) se transforman en **señales eléctricas** (voltaje, intensidad) mediante **sensores**. Los circuitos electrónicos **operan** con dichas señales y las **transforman** convirtiéndolas luego en otras magnitudes físicas.

Desarrollo de circuitos electrónicos

- **Física de Semiconductores:** fenómenos físicos en los materiales semiconductores. **Tecnología microelectrónica:** técnicas para la fabricación de componentes.
- **Dispositivos Electrónicos:** diodos, transistores, etc. Modelado, relación I-V, comportamiento en frecuencia, etc.
- **Circuitos y sus aplicaciones:**
 - **Analógicos:** amplificadores, rectificadores, filtros, fuentes, etc.
 - **Digitales:** puertas lógicas, ..., microprocesadores.

Características de los circuitos digitales

- Trabajan con **sistemas discretos**, por ejemplo un alfabeto (A, B, C ..., Z). Los circuitos digitales trabajan con un **sistema binario** de solo **dos dígitos 0, 1**. Los datos se codifican en base a estos dos dígitos (**codificación binaria**).

$$(270.75)_{10} \Rightarrow (100001110.110)_2$$

Colores = {Blanco, **Amarillo**, **Rojo**, **Verde**, **Azul**, Negro}

Blanco \Leftrightarrow 000; **Verde** \Leftrightarrow 100;

Amarillo \Leftrightarrow 010; **Azul** \Leftrightarrow 101;

Rojo \Leftrightarrow 011; Negro \Leftrightarrow 111;

Características de los circuitos digitales

- Permiten las **operaciones entre datos lógicos**: procesos de decisión basados en **verdadero (V)** y **falso (F)**, y operaciones sencillas del tipo **Y (AND)**, **O (OR)**.

X	Y	X AND Y
F	F	F
F	V	F
V	F	F
V	V	V

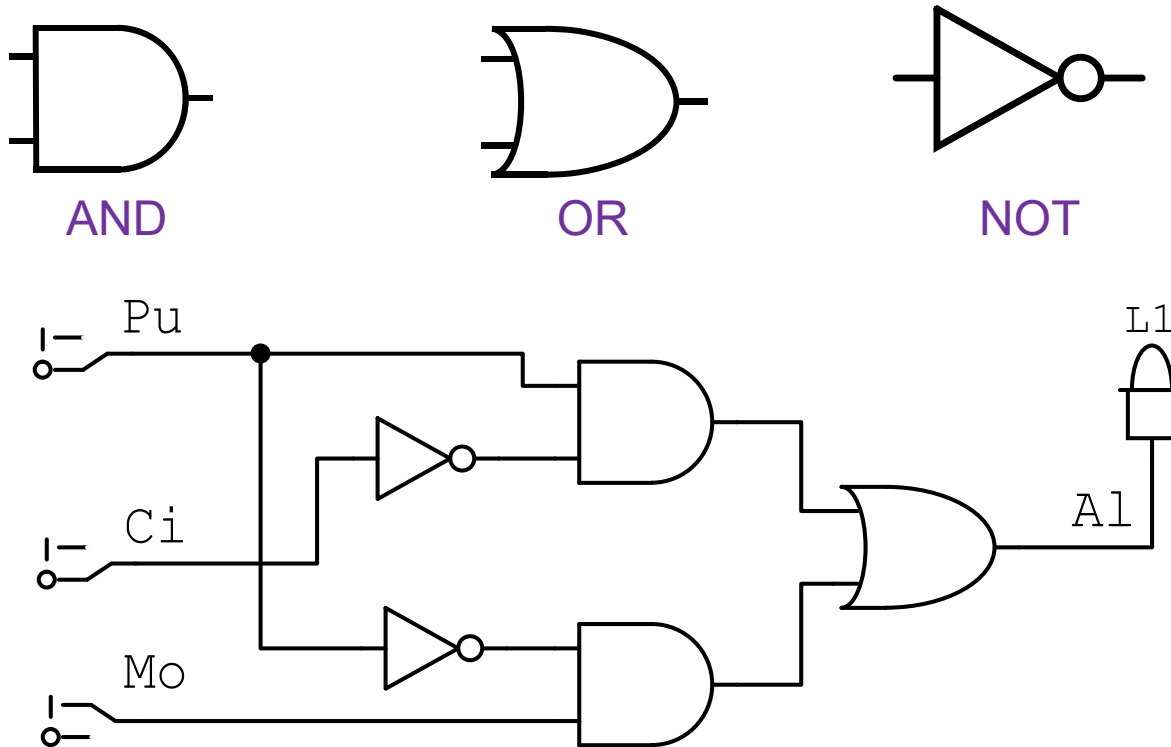
X	Y	X OR Y
F	F	F
F	V	V
V	F	V
V	V	V

X	NOT X
F	V
V	F

- En **1854** George Boole desarrolló las reglas que permitían expresar, manipular y simplificar problemas lógicos y filosóficos (**álgebra de Boole**). En **1937** Claude E. Shannon aplicó estas reglas al diseño de **circuitos de conmutadores** (relés) y de allí, al desarrollo de los circuitos digitales.

Características de los circuitos digitales

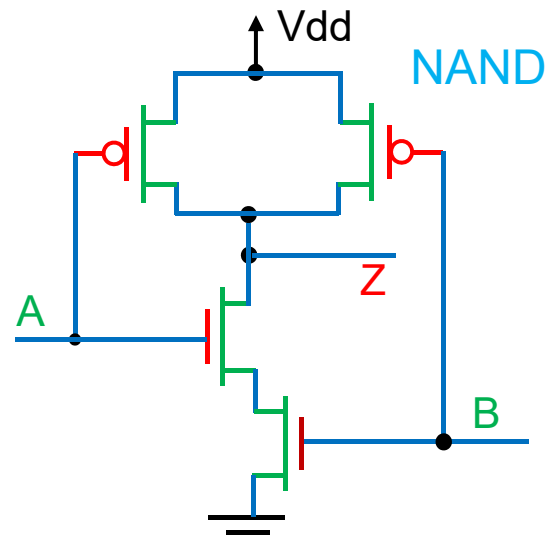
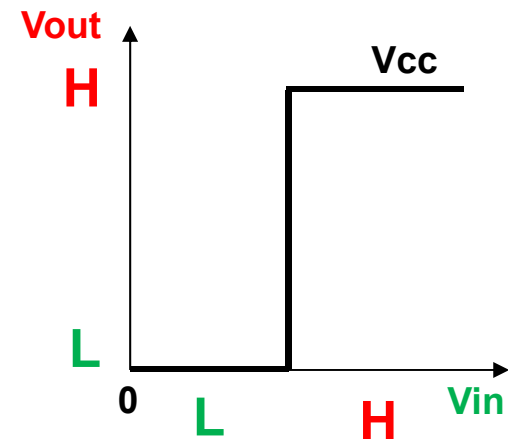
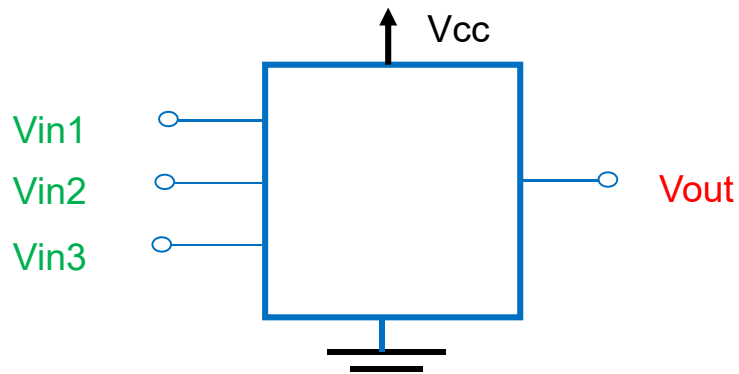
- Desde el punto de vista matemático los circuitos se denominan **circuitos lógicos**. Los circuitos lógicos están formados mediante la **conexión** de distintos elementos básicos, llamados “**puertas lógicas**”.



$$Al = (Pu \text{ AND } (\text{NOT } Ci)) \text{ OR } ((\text{NOT } Pu) \text{ AND } Mo)$$

Características de los circuitos digitales

- Diseño simple de circuitos electrónicos con alta inmunidad a problemas de ruido: tensiones altas (High) y bajas (Low).



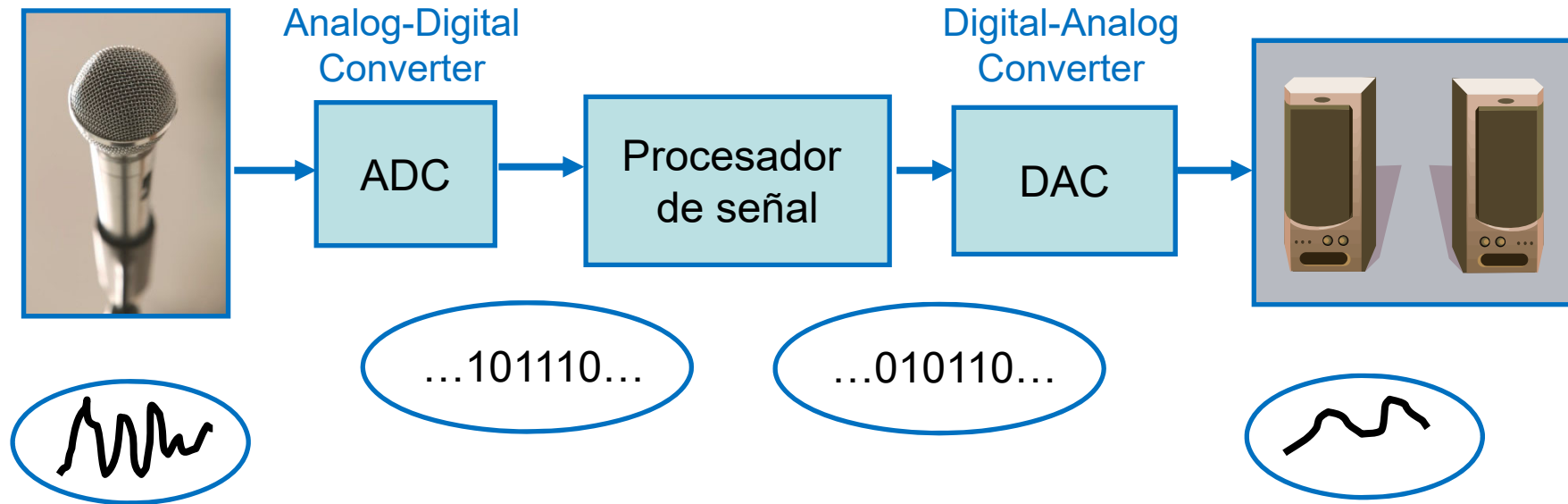
A	B	Z
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

Características de los circuitos digitales

- Estos tres elementos (datos, operaciones, circuitos) permiten realizar circuitos electrónicos digitales, donde se puede representar todo mediante 0s y 1s.

Valor Binario	Datos	Operaciones	Circuitos
0	0	Falso	Low
1	1	Verdadero	High

- Los circuitos digitales permiten operar con **datos analógicos**, mediante un proceso de **muestreo y cuantificación**.

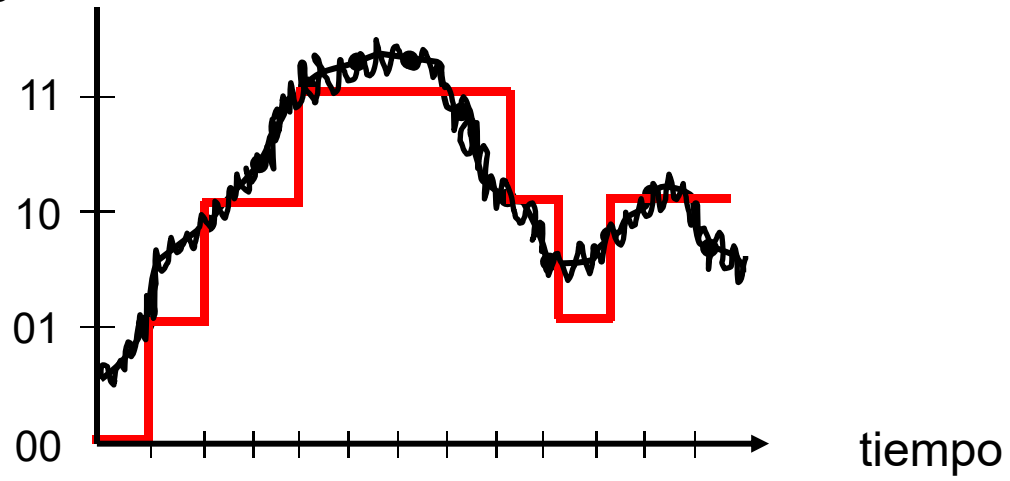


Se reduce el problema de **ruido analógico**, el ruido en los datos digitales no influye en su valor.

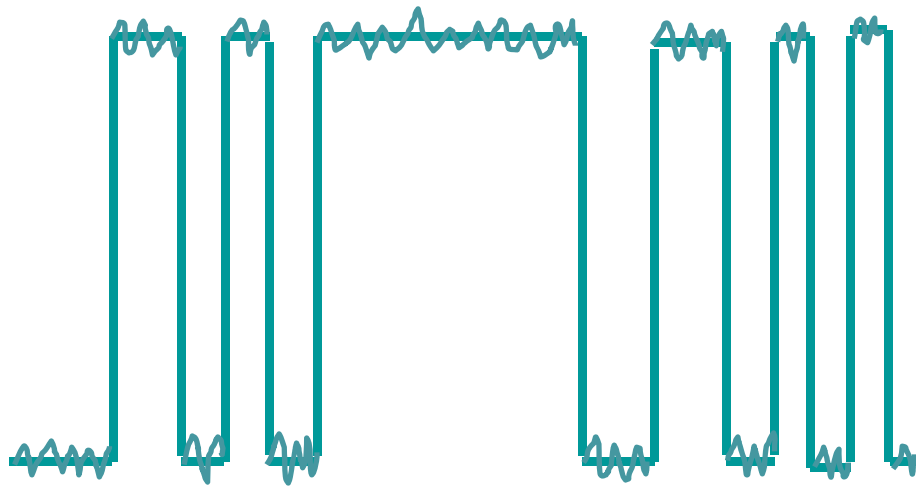
La **pérdida de precisión** del sistema digital debida al **error de cuantificación** debe ser **menor** que la debida al **ruido en el sistema analógico**.

Mejora el procesamiento de datos mediante circuitos más rápidos y flexibles.

voltaje



00 01 10 10 11 11 11 11 10 01 10 10 10

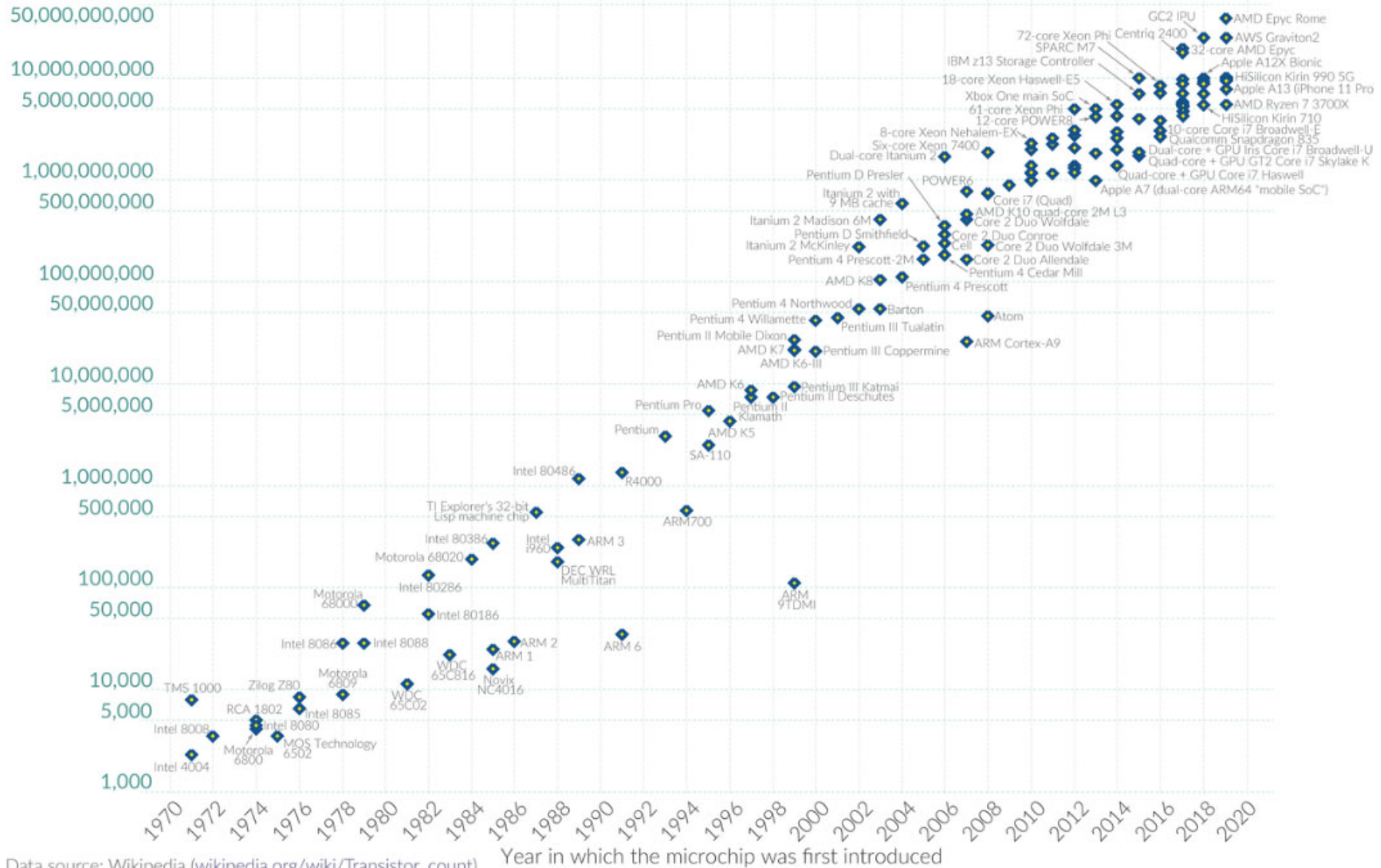


Características de los circuitos digitales

- Desde los primeros circuitos electrónicos digitales, el **número de puertas lógicas** en un circuito digital se ha **duplicado cada 18 meses** (ley de Moore).
- El **incremento del número de dispositivos** de los circuitos digitales conlleva nuevos **problemas de ingeniería** para el diseño de circuitos. Por ejemplo:
 - **Tecnologías** de circuitos electrónicos integrados: **full-custom, ASICs, circuitos programables**, etc.
 - Mejora de parámetros: **alta velocidad, baja potencia, bajo coste, tolerancia al fallo**, etc.
 - Diseño lógico: **herramientas CAD** de diseño digital, **síntesis lógica, síntesis de alto nivel, place and route**, etc.
 - **Verificación y prueba** de los circuitos: herramientas CAD de **simulación y test**, circuitos con **diseño para testabilidad**.

Características de los circuitos digitales

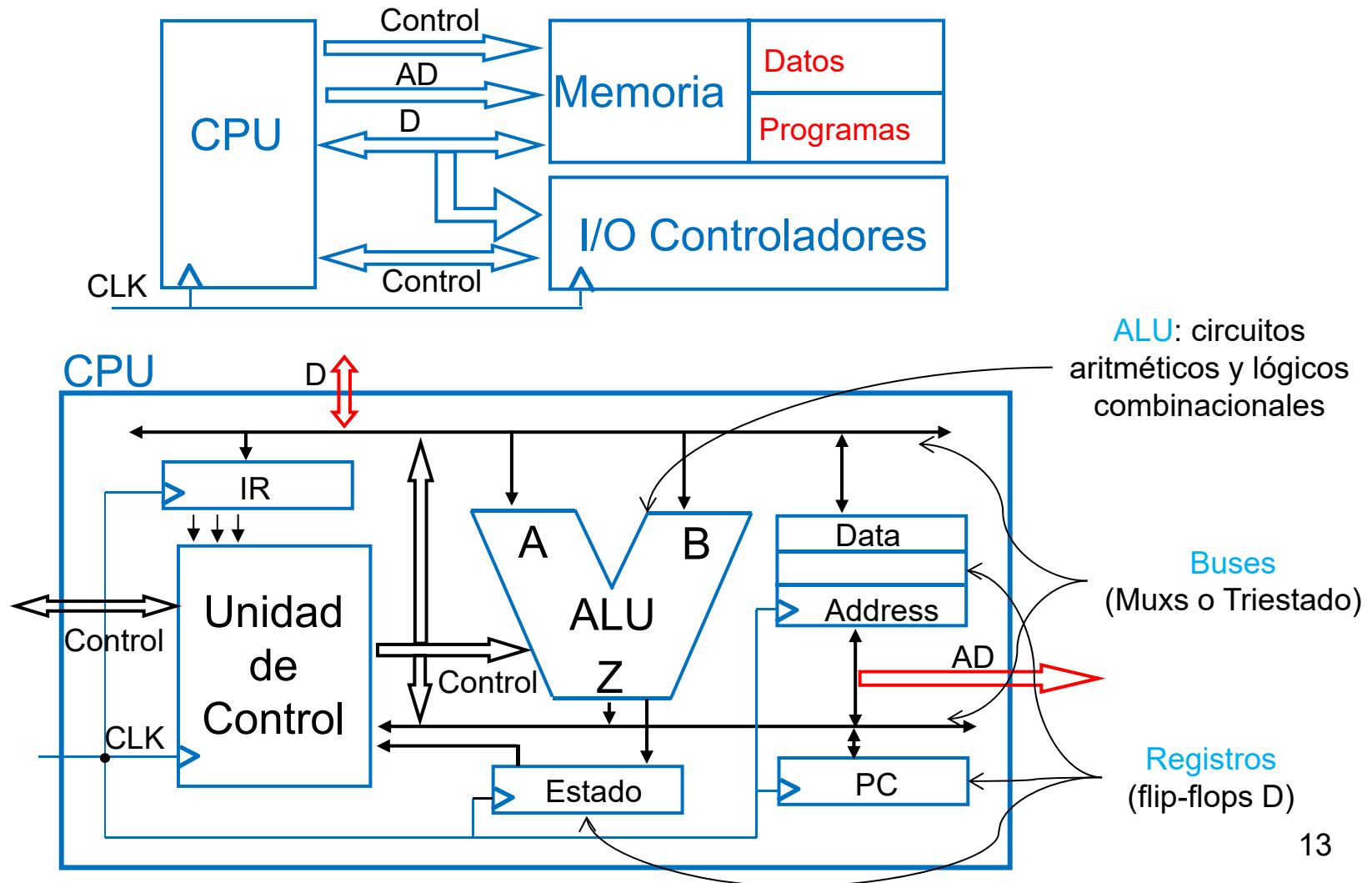
Transistor count



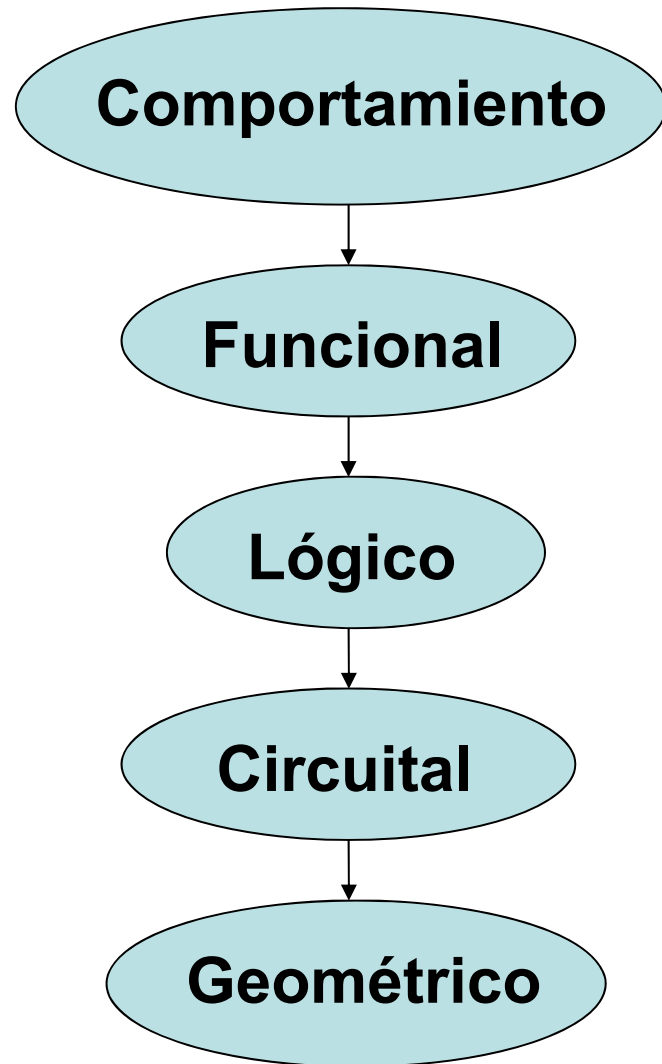
Data source: Wikipedia (wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

Características de los circuitos digitales

- Permiten el diseño de sistemas con alto grado de programación y de propósito general: un computador.



Descripción de un circuito digital



- **Comportamiento**. Mediante un lenguaje algorítmico.
- **Funcional**. Grandes bloques que realizan funciones lógicas típicas: sumadores, contadores, registros, memorias, etc.
- **Lógico**. Descripción a nivel de puertas lógicas y flip-flops.
- **Circuital**. Descripción en base a dispositivos electrónicos.
- **Geométrico**. Descripción en base a las capas de materiales que generan los dispositivos electrónicos.

Comportamiento

```
-- Definición de la entidad: entradas A y B, arrays de 8 bits.
-- Salida N numero entero que puede tomar valores entre 0 y 8.

ENTITY problema9 IS
    PORT ( a, b: IN BIT_VECTOR (8 DOWNT0 1); dh: OUT INTEGER RANGE 0 TO 8);
END problema9;

-- Definición del funcionamiento interno de la entidad.

ARCHITECTURE lazo OF problema9 IS

BEGIN

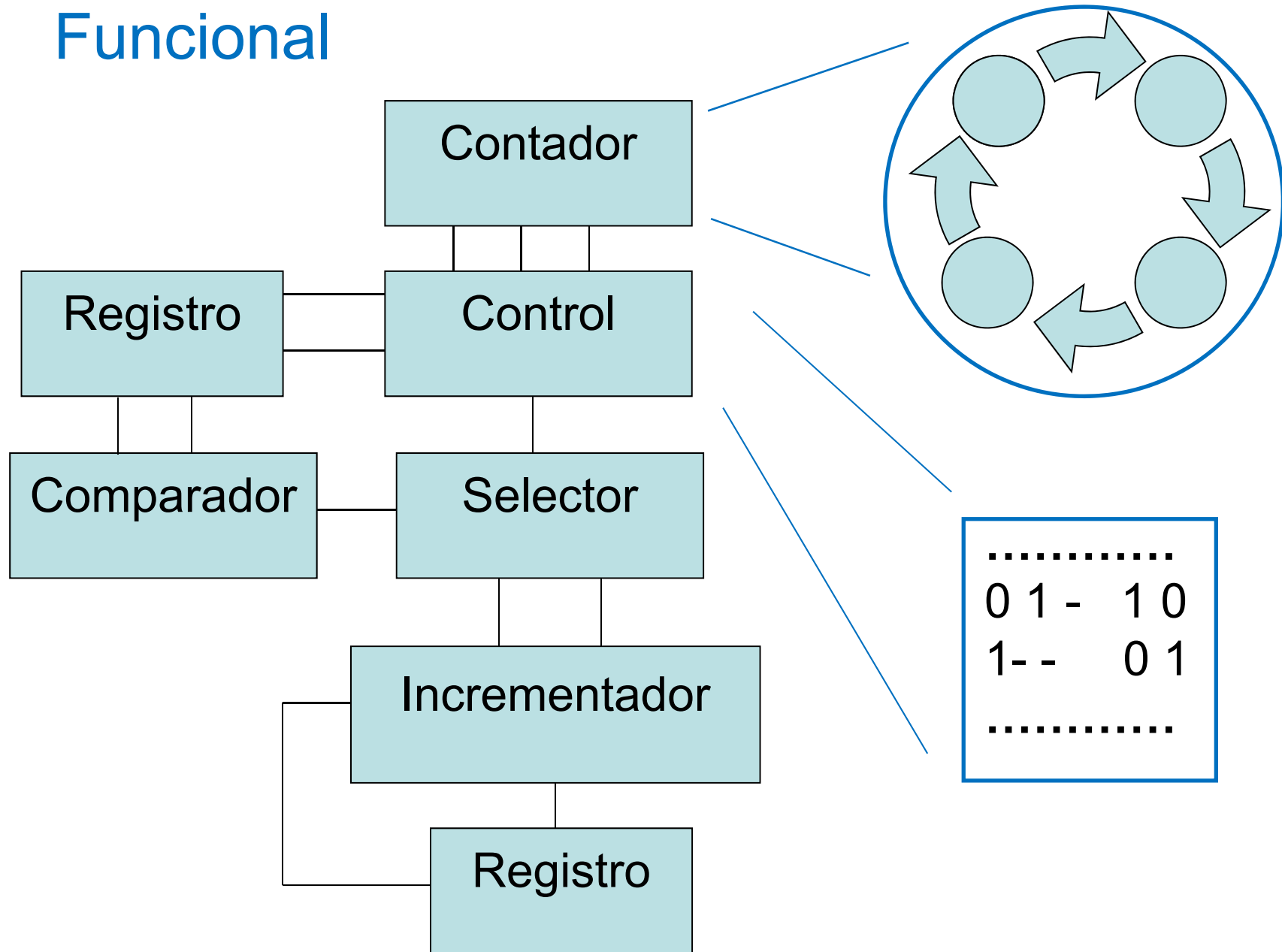
PROCESS (a, b) -- El proceso se activa al variar el valor de algún bit de A ó B

VARIABLE inter: INTEGER RANGE 0 TO 8; -- Variable intermedia para facilitar el cálculo.

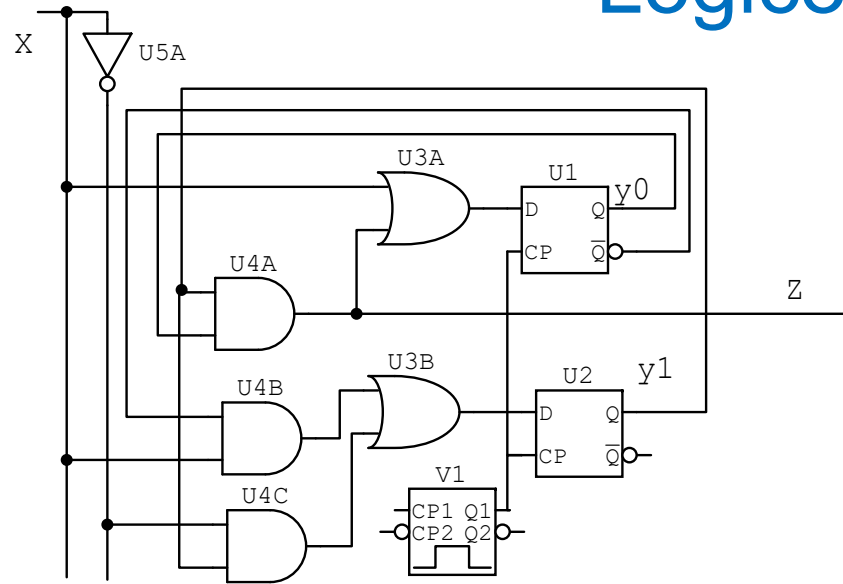
BEGIN
inter := 0; -- Inicializa el valor de las variables cada vez que arranca el proceso
FOR i IN 1 TO 8 LOOP -- Se comprueba cada bit mediante un lazo
    IF ( A(i) /= B(i) ) THEN -- Si los bit son distintos se incrementa la distancia de Hamming
        inter := inter + 1;
    END IF;
END LOOP;
dh <= inter AFTER 15 ns; -- Se carga el valor de la variable en la señal DH
END PROCESS;

END lazo;
```

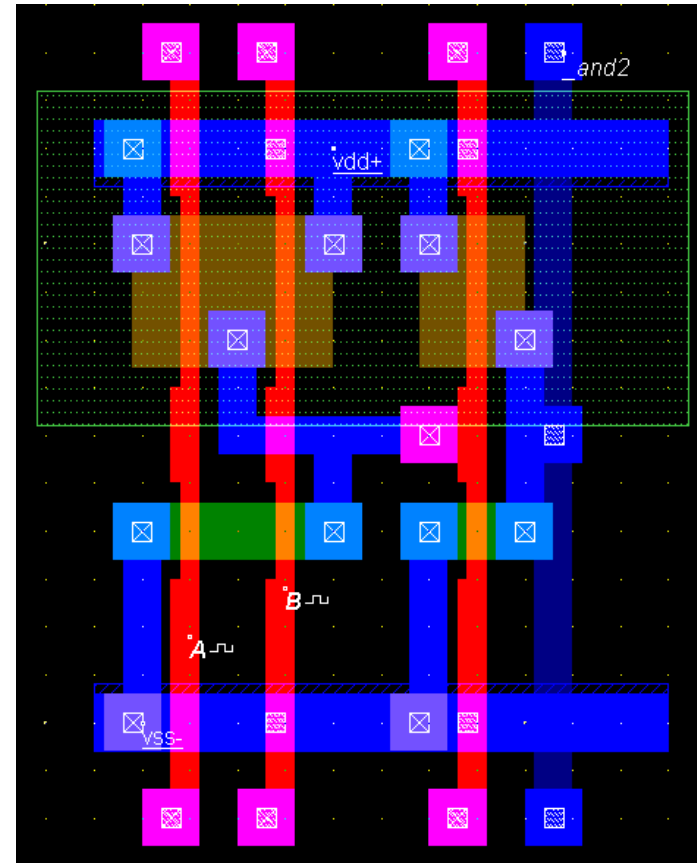
Funcional



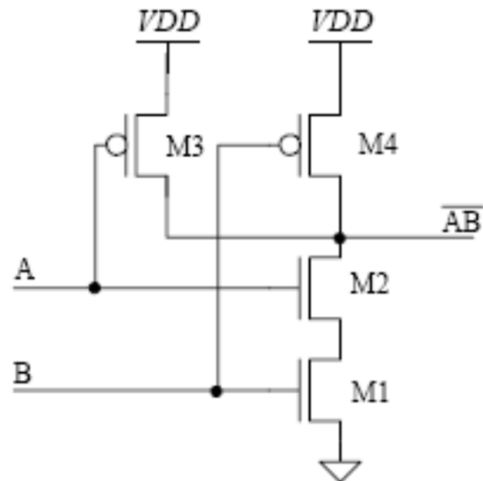
Lógico



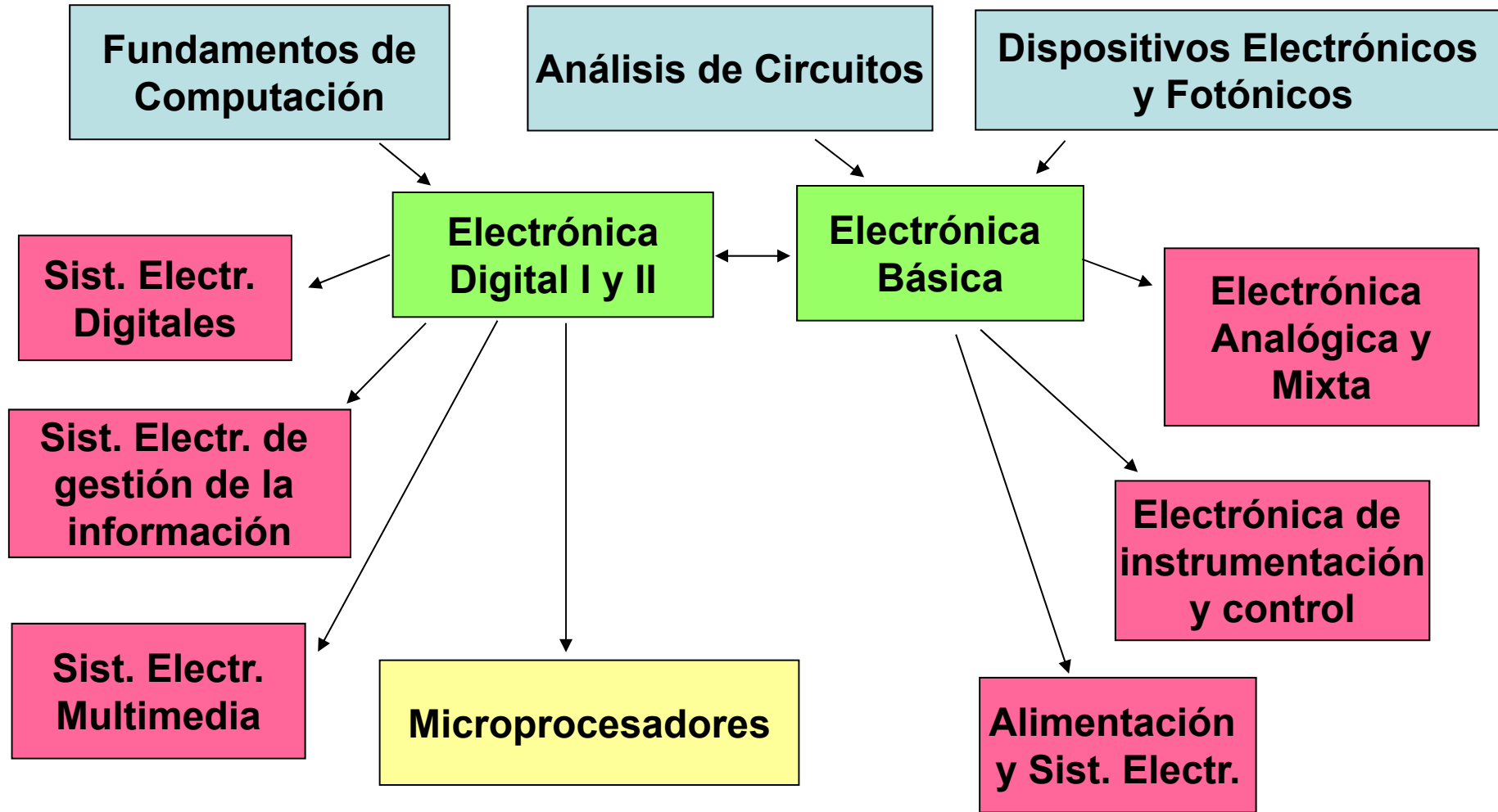
Geométrico



Circuital



Electrónica Digital en el Plan de Estudios



- **Contenidos** de la materia **Electrónica Digital I** (según la memoria del plan de estudios).
 - **Códigos y aritmética.**
 - **Álgebra de conmutación.**
 - **Puertas lógicas básicas y sus características.**
 - **Lógica combinacional (síntesis, análisis funcional y temporal).**
 - **Módulos combinacionales (PLAs, PALs, multiplexores, circuitos aritméticos, etc).**
 - **Módulo básico de circuitos secuenciales.**
 - **Circuitos secuenciales asíncronos.**
 - **Latches y flip-flops.**

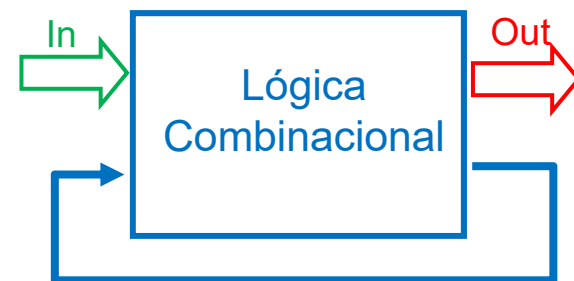
- Contenidos de la materia **Electrónica Digital II** (según la memoria del plan de estudios).
 - Concepto de FSM.
 - Síntesis, análisis funcional y temporal de circuitos secuenciales síncronos.
 - Módulos Secuenciales (registros, contadores, CPLDs, temporizadores).
 - Memorias.
 - Modelado en HDL.
 - Microprocesadores.

Clasificación de circuitos digitales

- **Circuitos combinacionales:** las salidas son funciones (lógicas) de las entradas actuales.
 - **Descripción** del circuito: **tabla de verdad, funciones lógicas.**
 - **Síntesis** del circuito: **mapa de Karnaugh, síntesis en dos niveles y multinivel.**
- **Circuitos secuenciales:** las salidas dependen de las entradas actuales y de las entradas anteriores. Se requiere **realimentación** en el circuito.
 - **Descripción** del circuito: **máquina de estado finito (FSM).**
 - **Síntesis** de circuito: **minimización de estados, asignación de estados, síntesis combinacional.**



Circuito Combinacional



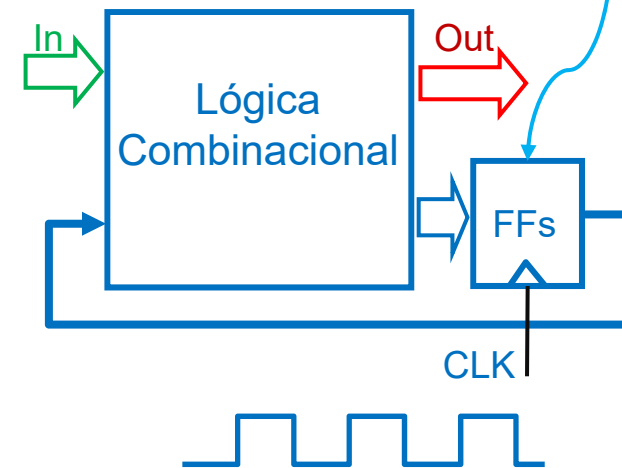
Circuito Secuencial

Clasificación de circuitos digitales

- **Circuitos secuenciales asíncronos:** las variaciones de cualquier entrada modifican el estado del circuito.
 - **Descripción** del circuito: **diagrama de flujo, diagrama STG.**
 - **Modelo matemático** complicado y restrictivo. **Problemas al sintetizar.**
- **Circuitos secuenciales síncronos:** el estado del circuito se modifica sólo mediante un **señal especial CLK (reloj).**
 - **Descripción** del circuito: **diagrama de estados, diagrama ASM.**
 - **Modelo matemático simple** y fácilmente **sintetizable**, con pocas restricciones temporales.



Flip-flops:
elementos
básicos
secuenciales



Programa de Electrónica Digital I

Escuela Superior de Ingeniería Industrial y de Telecomunicación
Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación
Curso 2021/2022. 2º curso. 1º cuatrimestre.

Programa de Electrónica Digital I

Tema 1. Sistemas numéricos y códigos binarios.

Números en binario. Aritmética binaria. Notación en complemento. Códigos binarios.

Tema 2. Funciones Lógicas.

Álgebra de conmutación. Operadores, puertas y funciones lógicas. Simplificación de expresiones lógicas. Tabla de verdad. Funciones incompletamente especificadas. Representación de circuitos lógicos.

Analizador lógico. Simuladores lógicos. Prácticas 1, 2 y 3.

Minimización de funciones lógicas. Mapa de Karnaugh. Síntesis lógica algorítmica.

Herramientas CAD de síntesis lógica. Prácticas 4 y 5.

Tema 3. Análisis y diseño de circuitos combinacionales.

Parámetros tecnológicos. Hojas de características. Análisis funcional y temporal. Implementación en dos niveles. Dispositivos programables. Implementación multinivel. Prácticas 6 y 7.

Módulos combinacionales. Multiplexores. Decodificadores. Codificadores. Sumadores. Comparadores. Diseño lógico con módulos combinacionales. Prácticas 8 y 9.

Tema 4. Elementos lógicos secuenciales.

Introducción a los circuitos secuenciales síncronos y asíncronos. Circuito S-R. Flip-flops: estructuras de reloj y tipos básicos. Parámetros temporales de los flip-flops. Práctica 10.

Criterios de evaluación.

Evaluación Continua:

- Prácticas de Laboratorio (30%)
- Resolución de problemas propuestos en clase (20%)
- Trabajos Prácticos (20%)
- Examen final (30%)

Para aprobar la asignatura se requiere obtener al menos un 3 sobre 10 en el examen final y que la media ponderada total sea, al menos, 5 sobre 10.

Los estudiantes que no superen las actividades de evaluación continua en la convocatoria ordinaria deberán realizar un nuevo examen final de continua (30%, nota mínima 3) en la convocatoria extraordinaria, para conseguir una nota de evaluación continua mayor de 5. Otra opción es realizar un examen final de la asignatura, consistente en un examen final escrito de recuperación (70%, nota mínima 5) y, opcionalmente (se puede mantener la nota de la evaluación continua), un examen final de prácticas (30%); se debe conseguir al menos 5 sobre 10 en la media ponderada de ambas notas.

Profesores.

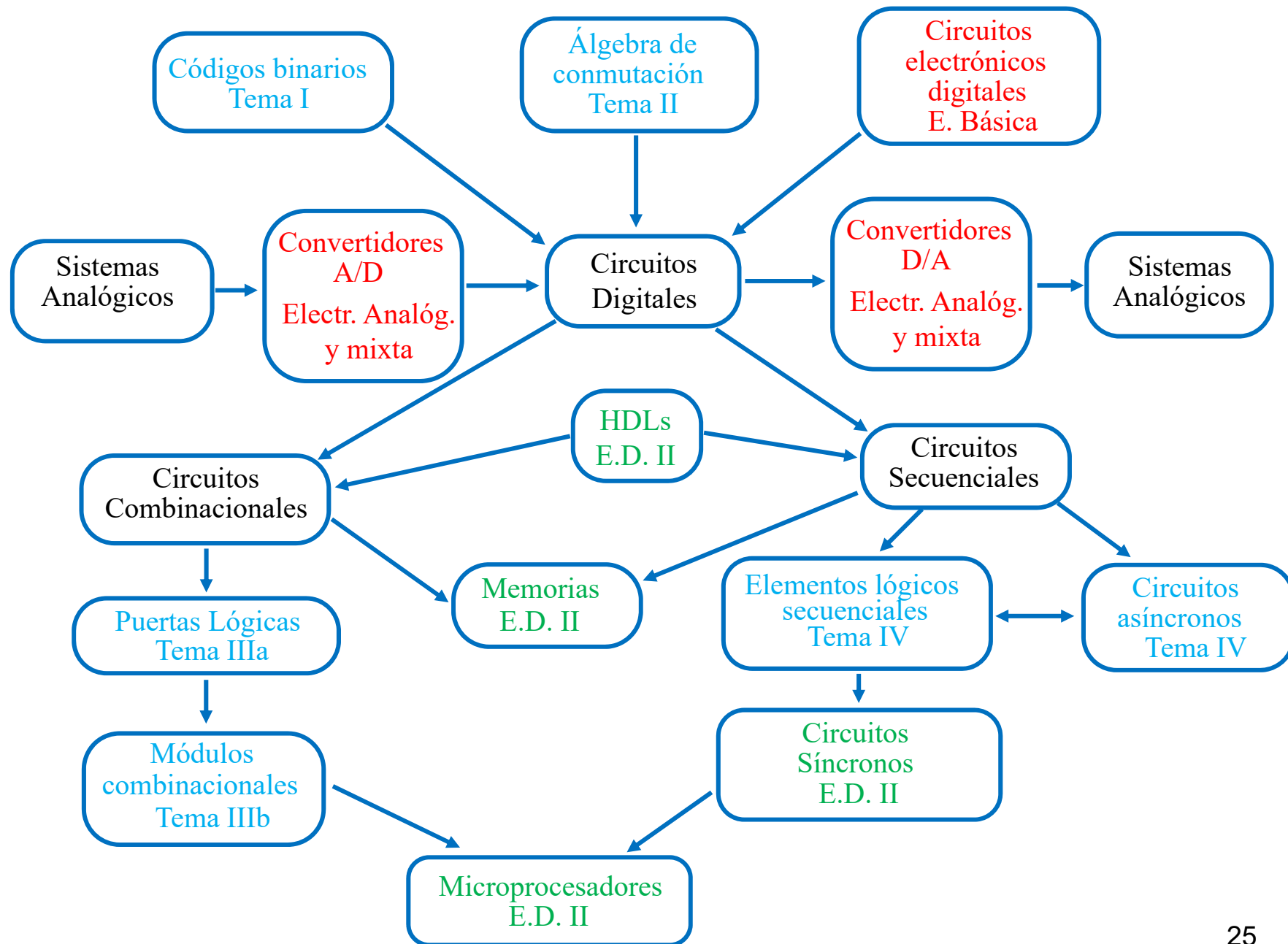
Miguel A. Manzano (profesor responsable, clases teóricas y prácticas).

Despacho 2051, Departamento de Electrónica y Computadores, Facultad de Ciencias. Teléfono: 942 201557. e-mail: manzanom@unican.es

José M. Solana (prácticas, e-mail: jose.solana@unican.es)

Bibliografía.

Floyd, T. L. (e-book, 2016, 2009, 2006, 2000, 1997). "Fundamentos de Sistemas Digitales". Prentice/Hall
Morris Mano, M. (e-book, 2013, 2007, 2003, 2001, 1987). "Diseño Digital". Prentice/Hall
Tocci, R. J. (e-book, 2007, 2003, 1996). "Sistemas Digitales: Principios y Aplicaciones". Prentice/Hall
Roth Jr., C. H. (2004). "Fundamentos de Diseño Lógico". Thomson
Katz, R. H. (2005, 1994). "Contemporary Logic Design". Benjamin/Cummings Publishing
Wakerly, J. F. (2006, 2001, 1992). "Diseño Digital. Principios y Prácticas". Prentice/Hall
Lloris, A., Prieto, A. (1996). "Diseño Digital". McGraw-Hill
Gajski, D. D. (1997). "Principios de Diseño Digital". Prentice/Hall
Brown, S., Vranesic, Z. (2006, 2000). "Fundamentos de Lógica Digital con Diseño VHDL". McGraw-Hill



Bibliografía

- **Página web** de la asignatura: **diapositivas** de las clases teóricas, **problemas** propuestos y **resueltos**, **guiones** de las **prácticas** y de los **trabajos**.

<http://personales.unican.es/manzanom/edigitali>

- **Moodle** (mismo contenido que la página web).
- **Bibliografía básica (C42, C51):**

Floyd, T. L. (e-book, 2016, 2006, 2000, 1997). "Fundamentos de Sistemas Digitales". Prentice/Hall (Pearson)

Morris Mano, M. (e-book, 2013, 2007, 2003, 2001, 1987). "Diseño Digital". Prentice/Hall (Pearson)

- Bibliografía complementaria (C42, C51):

Tocci, R. J. (e-book, 2007, 2003, 1996). “Sistemas Digitales: Principios y Aplicaciones”. Prentice/Hall (Pearson)

Wakerly, J. F. (2006, 2001, 1992). "Diseño Digital. Principios y Prácticas". Prentice/Hall (Pearson)

Roth Jr., C. H. (2004). “Fundamentos de Diseño Lógico”. Thomson

Katz R.H. (2005, 1994). “Contemporary Logic Design”. Ed. Benjamin/Cummings (Pearson)

Gajski , D. D. (1997). “Principios de Diseño Digital”. Prentice/Hall

Lloris, A., Prieto, A. (1996). "Diseño Digital". McGraw-Hill

Brown, S., Vranesic, Z. (2006, 2000). “Fundamentos de Lógica Digital con Diseño VHDL”. McGraw-Hill