

Electrónica Digital I

Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación

Introducción a la Electrónica Digital

- El objetivo de la electrónica es la fabricación de circuitos que realicen una amplia gama de operaciones. Los circuitos también podrían realizarse en otras tecnologías (mecánicas, electromagnéticas, fotónicas, cuánticas, etc) pero en la actualidad los circuitos electrónicos son los que permiten un menor costo, una alta velocidad de cómputo y una gran capacidad de integración.
- 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: 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 sólo 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

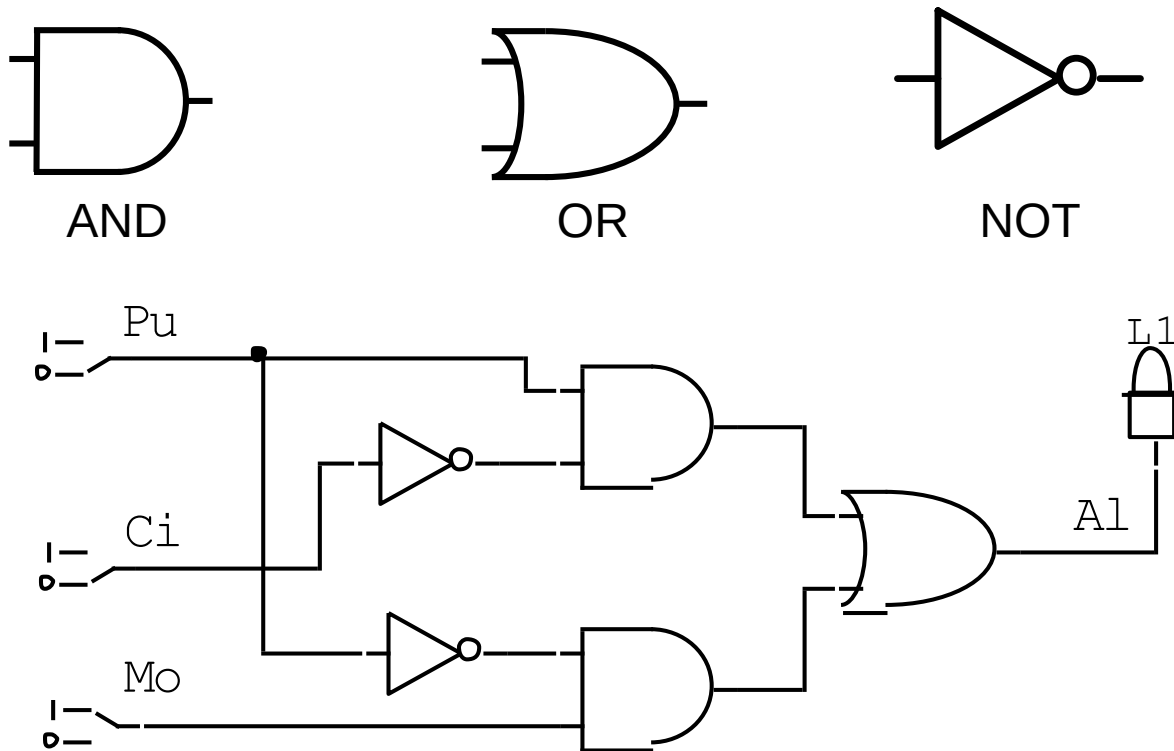
X	Y	X OR Y
F	F	F
F	V	V
V	F	V
V	V	V

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

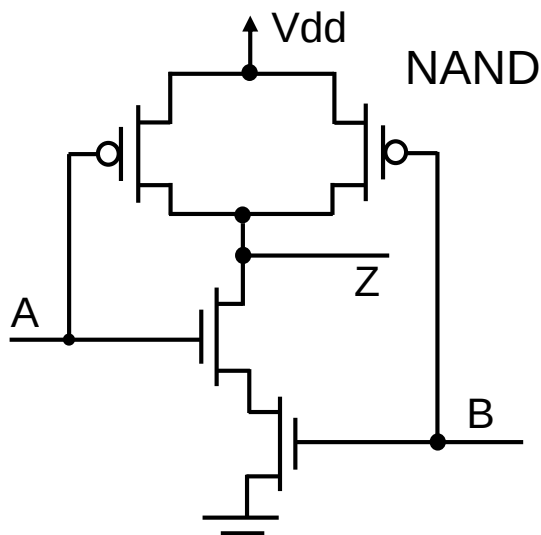
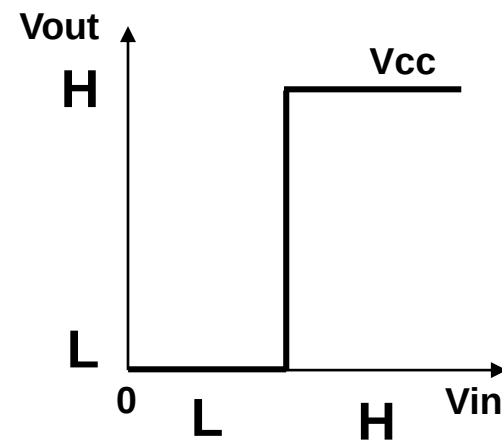
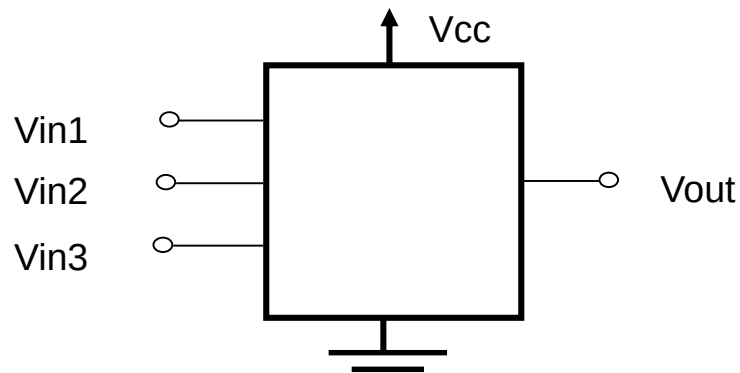
- Desde el punto de vista matemático los circuitos se denominan circuitos lógicos. Los circuitos lógicos están formados mediante la conexión de distintos elementos básicos, llamados “puertas lógicas”.



$$A1 = (Pu \text{ AND } (\text{NOT } Ci)) \text{ OR } ((\text{NOT } Pu) \text{ AND } Mo)$$

Características de los circuitos digitales

- Adecuados para circuitos electrónicos: diseño simple de circuitos con alta inmunidad a problemas de ruido: tensiones altas (**H**igh) y bajas (**L**ow).



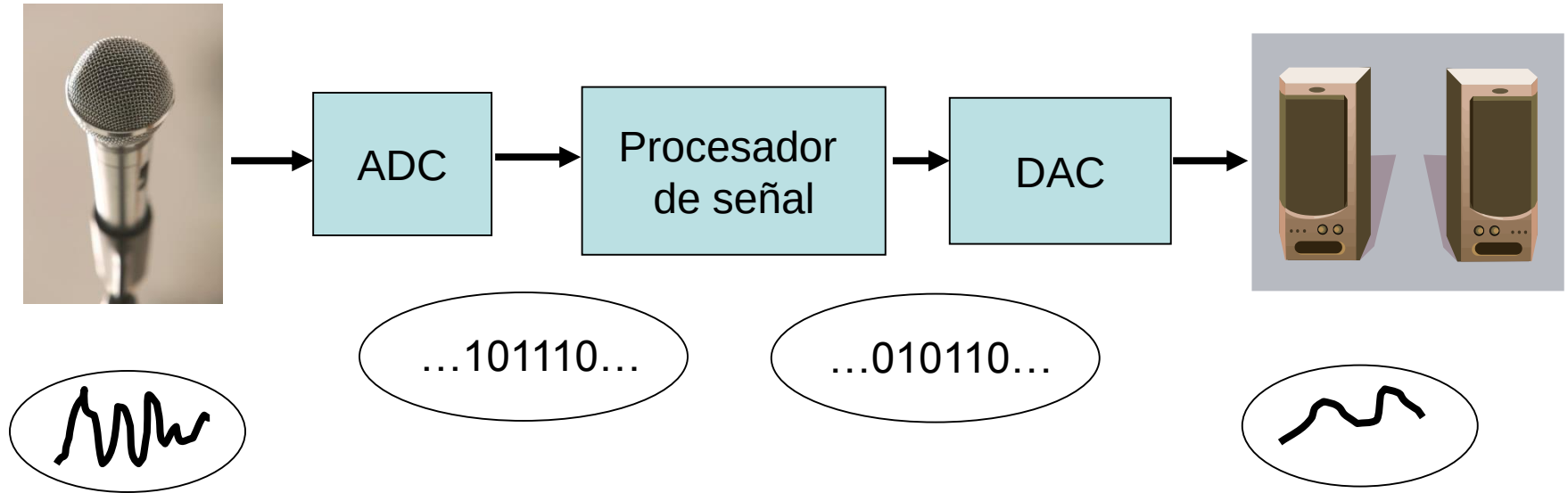
A	B	Z
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

Características de los circuitos digitales

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

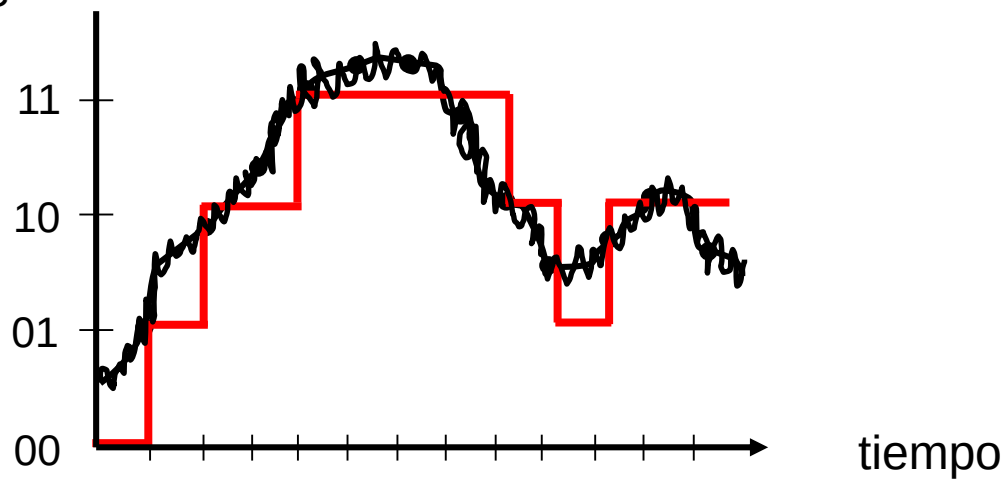
Valor Binario	Datos	Operaciones	Circuitos
0	0	Falso	Low
1	1	Verdadero	High

- Los circuitos digitales permiten la operación con datos analógicos, mediante un proceso previo de muestreo y cuantificación.

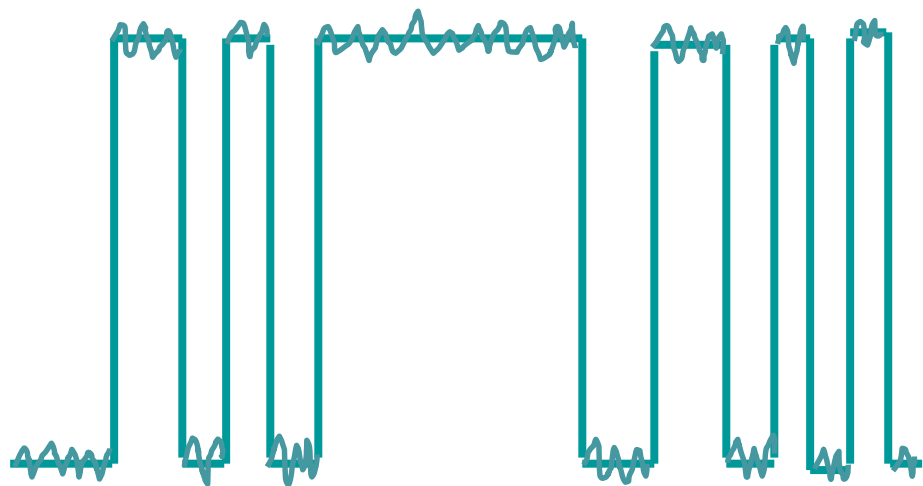


Se disminuyen los problemas de ruido analógico, ya que el ruido en los datos digitales no influye en su valor. La pérdida de precisión del sistema digital debida a la cuantificación es menor que la debida al ruido en el sistema analógico. Además, mejoran la manipulación de datos mediante circuitos más rápidos y flexibles.

voltaje



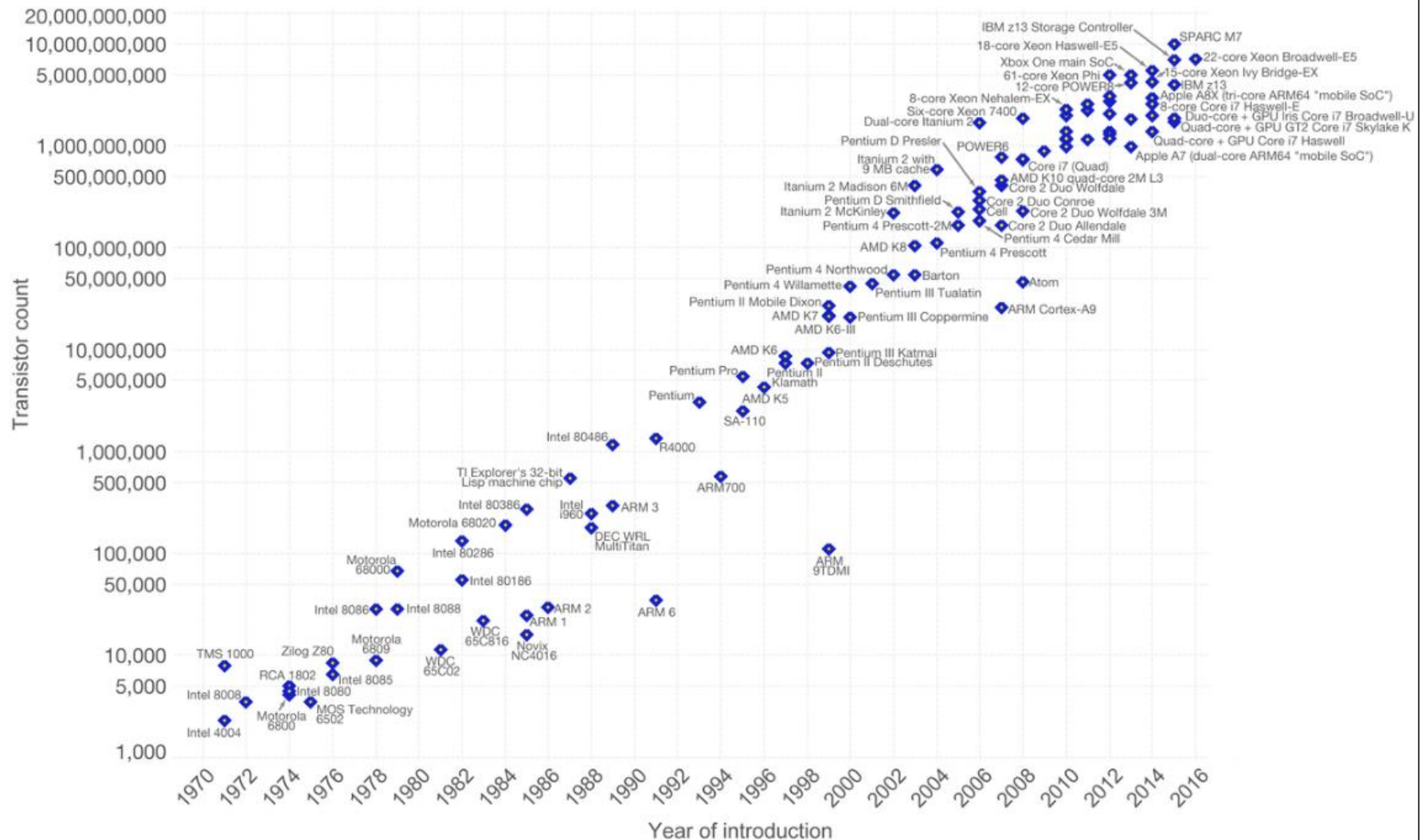
00 01 10 10 11 11 11 11 10 01 10 10 10



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 tamaño 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 y simulación lógica, síntesis de alto nivel, place and route, etc.
 - Verificación y prueba de los circuitos: herramientas CAD de test, circuitos con diseño para testabilidad.

Características de los circuitos digitales



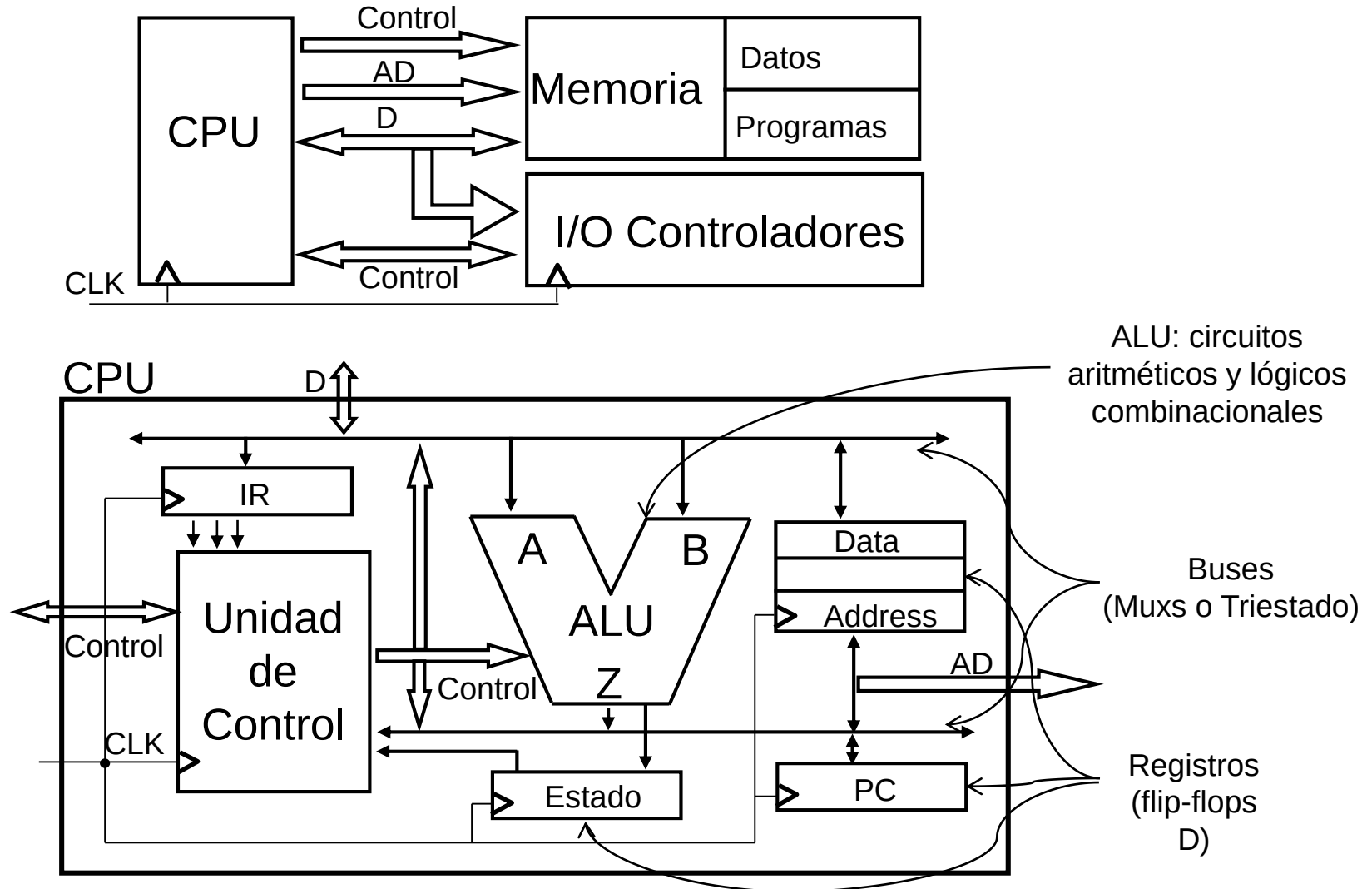
Data source: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

The data visualization is available at [OurWorldinData.org](https://ourworldindata.org). There you find more visualizations and research on this topic.

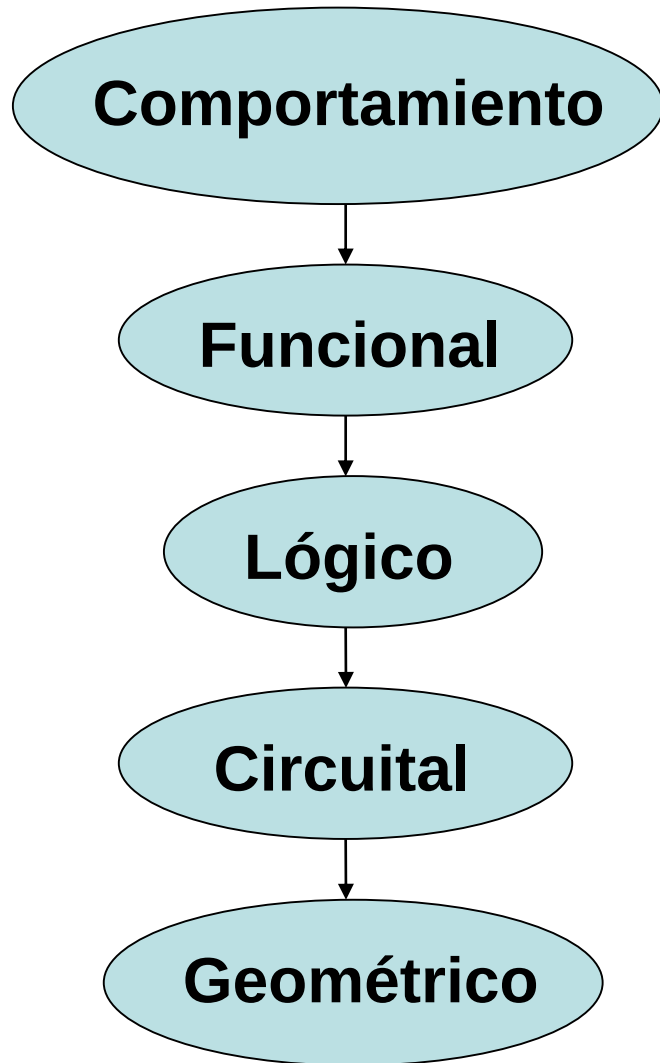
Licensed under CC-BY-SA by the author Max Roser.

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.

```
-- 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;
```

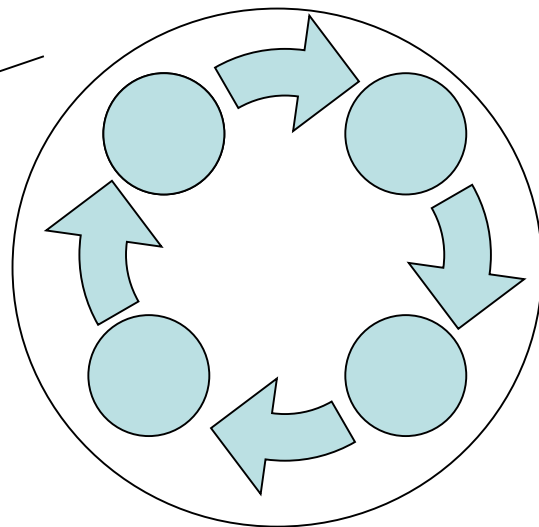
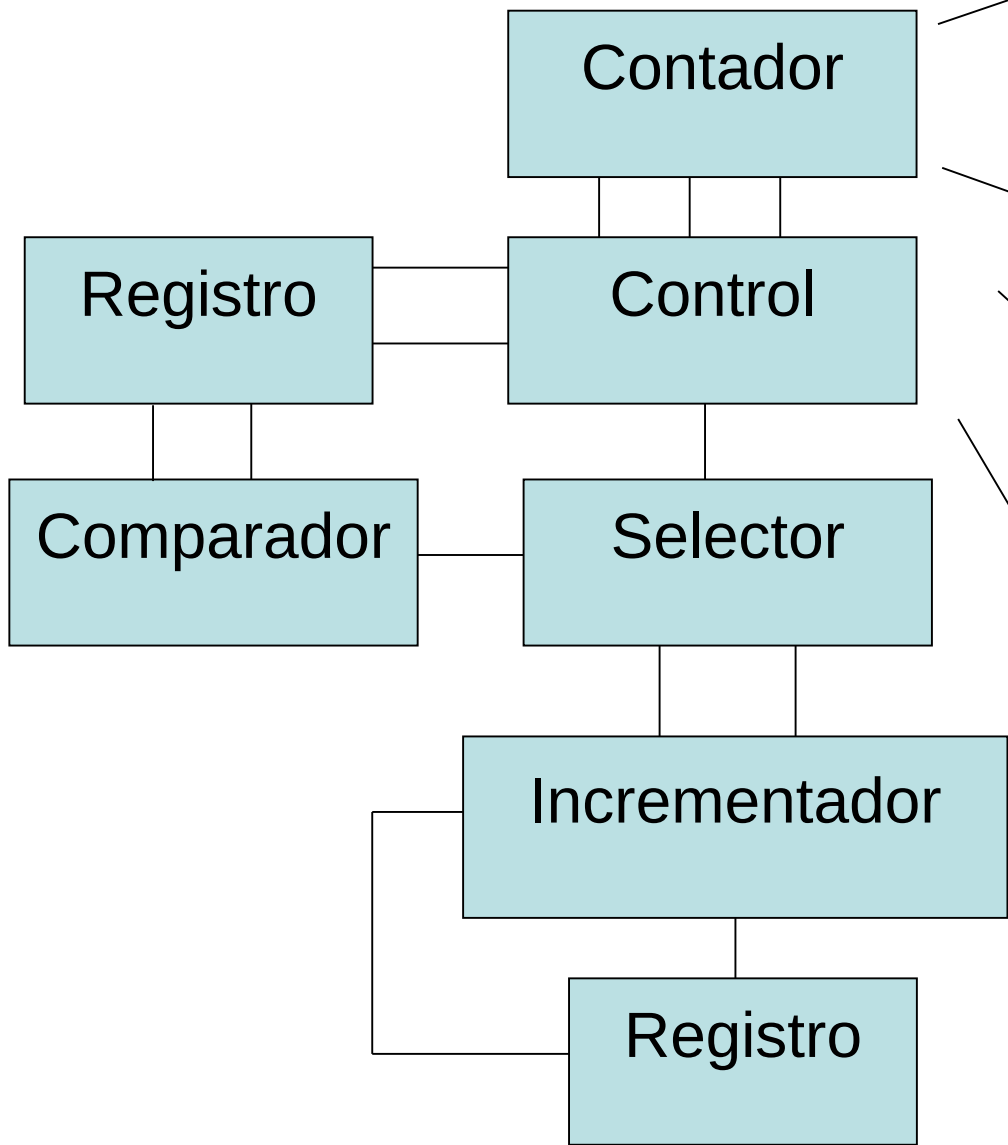
```
    END IF;
```

```
END LOOP;
```

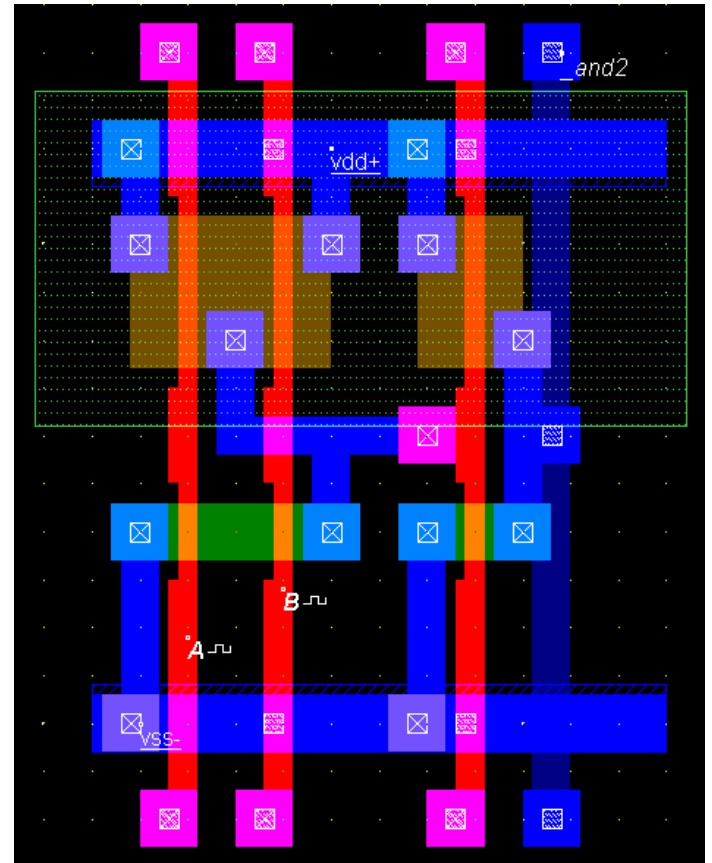
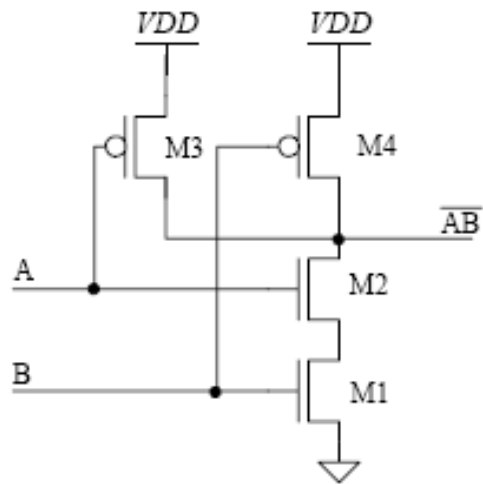
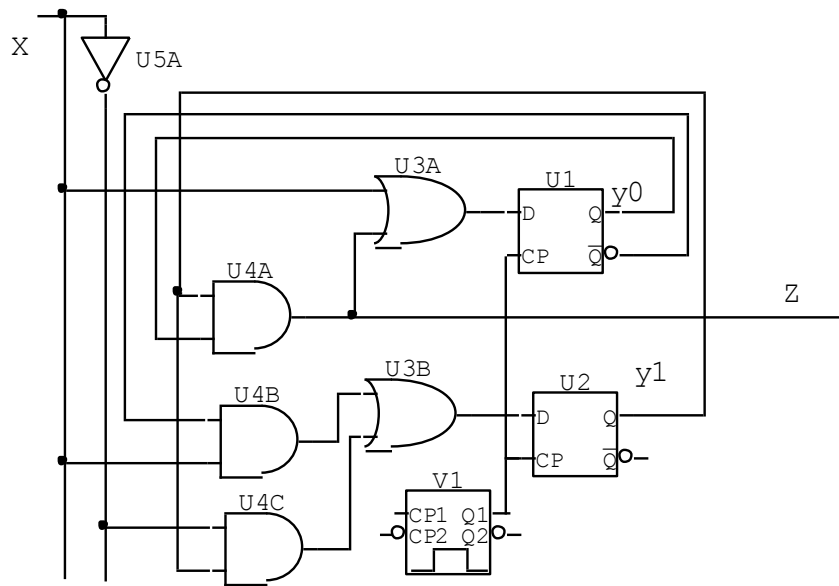
```
dh <= inter AFTER 15 ns; -- Se carga el valor de la variable en la señal DH
```

```
END PROCESS;
```

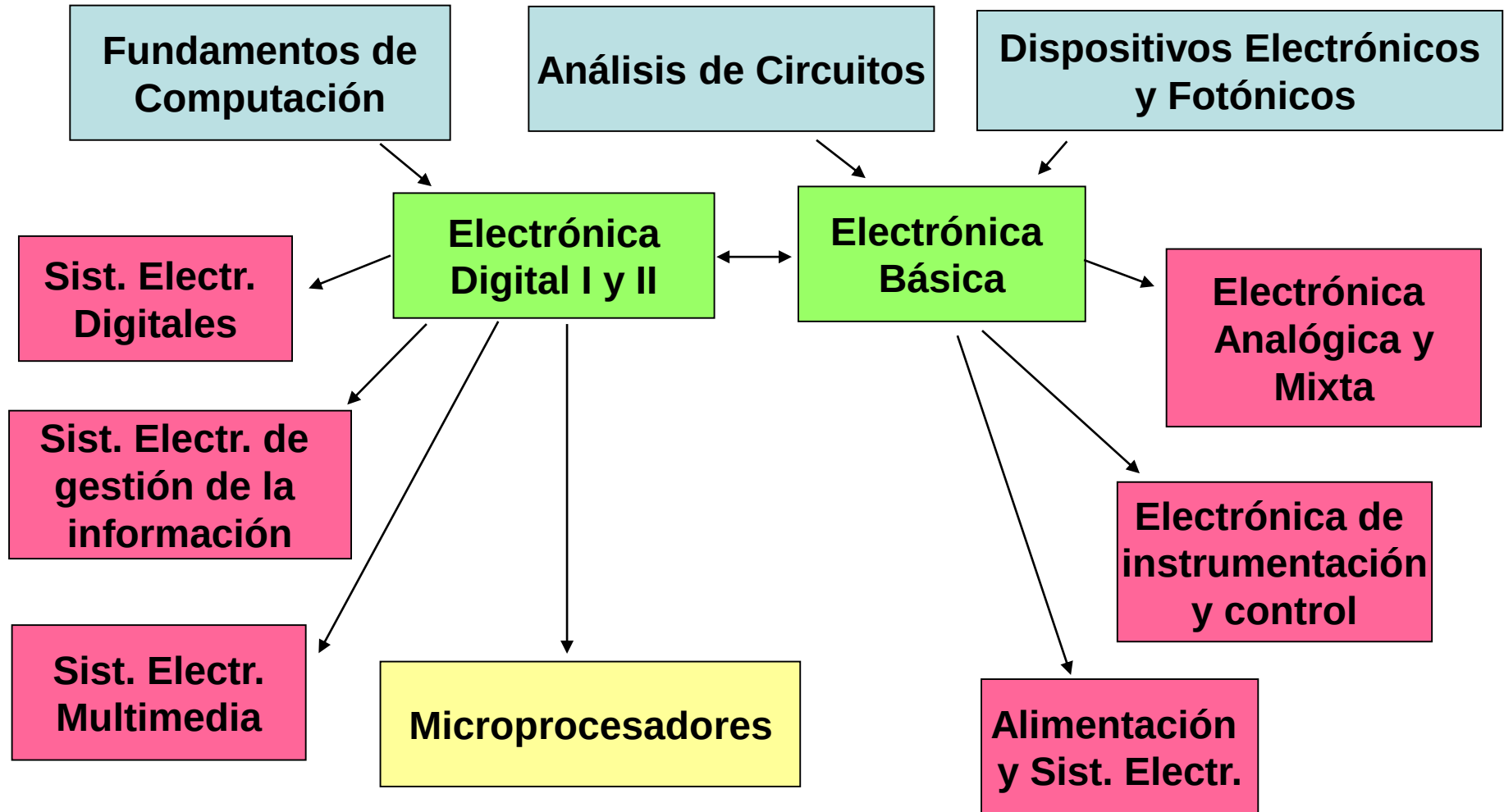
```
END lazo;
```



.....	
0 1 - 1 0	
1 - - 0 1	
.....	



Electrónica Digital en el Plan de Estudios

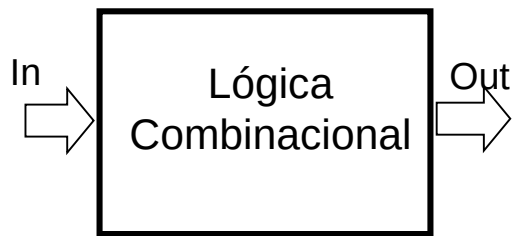


- Contenidos de la materia Electrónica Digital I (según la memoria del plan de estudios).
 - Códigos y aritmética.
 - Álgebra de conmutación.
 - Puertas lógicas básicas y sus características.
 - Lógica combinacional (síntesis, análisis funcional y temporal).
 - Módulos combinacionales (PLAs, PALs, multiplexores,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

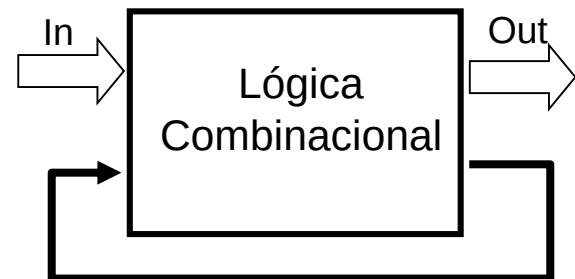
- Contenidos de la materia Electrónica Digital II (según la memoria del plan de estudios).
 - Concepto de FSM.
 - Síntesis, análisis funcional y temporal de circuitos secuenciales síncronos.
 - Módulos Secuenciales (registros, contadores, CPLDs, temporizadores).
 - Memorias.
 - Modelado en HDL.
 - Microprocesadores.

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.



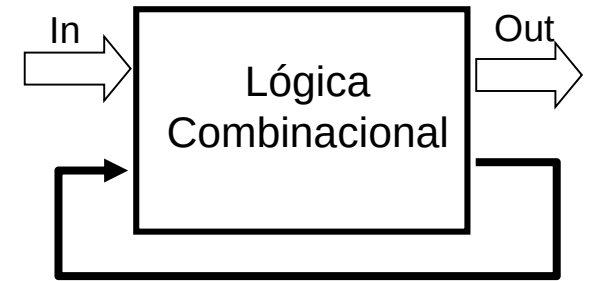
Circuito Combinacional



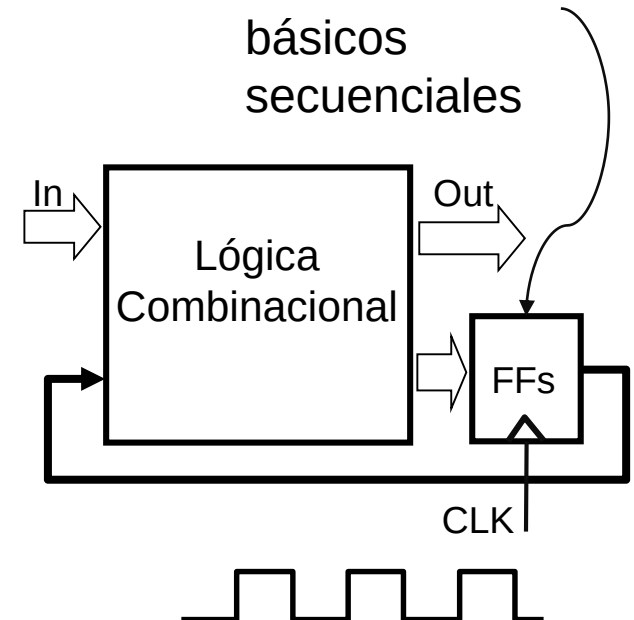
Circuito Secuencial

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 2020/2021. 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 5 sobre 10 en las prácticas de laboratorio, 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 examen final de la asignatura en la convocatoria extraordinaria, consistente en un examen final escrito de recuperación (70 %) y un examen final de prácticas (30%). Se deben aprobar ambos exámenes (al menos 5 sobre 10) para aprobar la asignatura. Este examen se superará con un 5 o más sobre 10. Una segunda opción consiste en hacer un nuevo examen final de continua (30%) para conseguir una nota de evaluación continua mayor de 5.

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. (2016, 2009, 2006, 2000, 1997). "Fundamentos de Sistemas Digitales". Prentice/Hall

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

Tocci, R. J. (2007, 2003, 1996). "Sistemas Digitales: Principios y Aplicaciones". Prentice/Hall

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

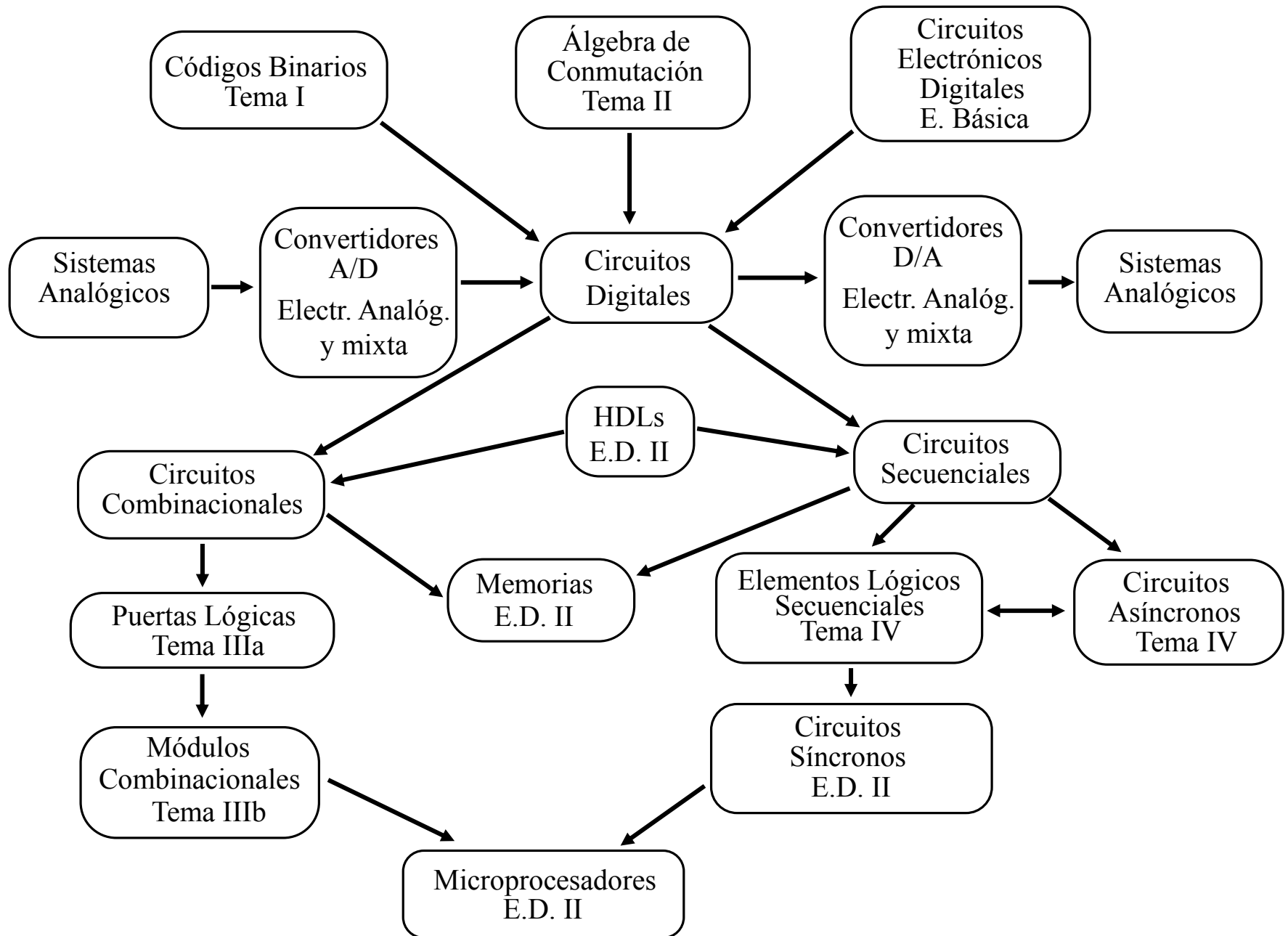
Katz, R. H. (2005, 1994). "Contemporary Logic Design". Benjamin/Cummings Publishing

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, guiones de las prácticas y de los trabajos.

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

- Moodle
- Bibliografía Básica (C42, C51):
Floyd, T. L. (2016, 2006, 2000, 1997). "Fundamentos de Sistemas Digitales". Prentice/Hall (Pearson)
Morris Mano, M. (2013, 2007, 2003, 2001, 1987). "Diseño Digital". Prentice/Hall (Pearson)

- Bibliografía complementaria (C42, C51):

Tocci, R. J. (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