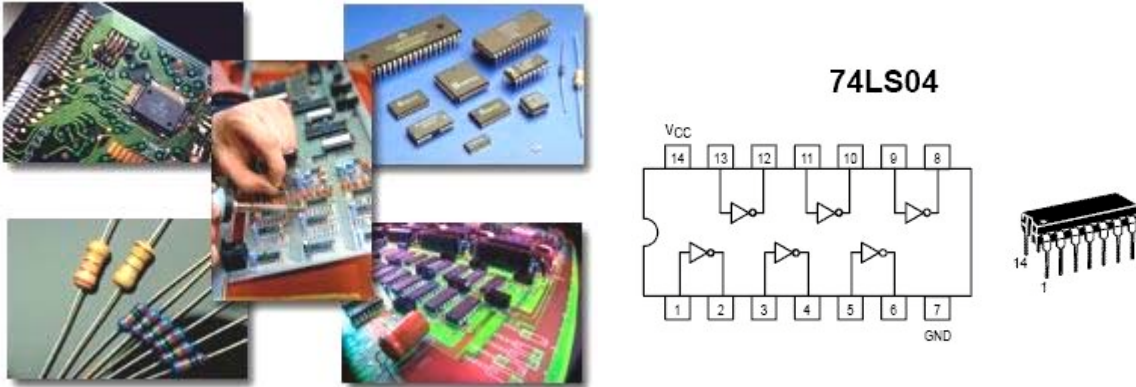


## CURSO

# *Curso Completo de Electrónica Digital*



Este curso de larga duración tiene la intención de introducir a los lectores más jóvenes o con poca experiencia a la **Electrónica Digital**, base para otras ramas de la electrónica, como pueden ser los microcontroladores o los programadores lógicos Programables (PLC).

¡¡Sugerimos al lector no perderse la oportunidad de coleccionarlos!!

**Departamento de Electronica y Comunicaciones**  
**Universidad Pontifica de Salamanca en Madrid**  
**Prof. Juan González Gómez**

## **Índice general**

### **1. Introducción**

- 1.1. Electrónica
- 1.2. Tipos de electrónica
  - 1.2.1. Electrónica Analógica
  - 1.2.2. Electrónica digital
- 1.3. Circuitos y sistemas digitales
- 1.4. Organización de los apuntes

### **2. Sistemas de representación**

- 2.1. Introducción
- 2.2. Conceptos
- 2.3. Algunos sistemas de representación
  - 2.3.1. Sistema octal (Base 8)
  - 2.3.2. Sistema binario (Base 2)
  - 2.3.3. Sistema hexadecimal (Base 16)

- 2.4. Generalización
- 2.5. Tabla de conversión para los sistemas decimal- binario- hexadecimal
- 2.6. Circuitos digitales y el Sistema binario
- 2.7. Sistema binario y sistema hexadecimal
- 2.8. Bits y electrónica
- 2.9. Otros sistemas de representación
- 2.10. Terminología
- 2.11. Ejercicios resueltos
- 2.12. Ejercicios

### **3. Algebra de Boole**

- 3.1. Introducción
- 3.2. Las operaciones del Álgebra de Boole
  - 3.2.1. La operación +
  - 3.2.2. La operación (-)
  - 3.2.3. La negación
- 3.3. Las propiedades del Álgebra de Boole
- 3.4. Teoremas importantes
- 3.5. Funciones booleanas
  - 3.5.1. Funciones reales y funciones booleanas
  - 3.5.2. Funciones booleanas y tablas de verdad
- 3.6. Formas canónicas
  - 3.6.1. Primera forma canónica
  - 3.6.2. Segunda forma canónica
- 3.7. Simplificación de funciones booleanas
  - 3.7.1. Introducción
  - 3.7.2. Método analítico de simplificación de funciones
  - 3.7.3. Método de Karnaugh
- 3.8. La operación Xor
- 3.9. Resumen
- 3.10. Ejercicios

### **4. Circuitos Combinacionales**

- 4.1. Introducción
- 4.2. Puertas lógicas
  - 4.2.1. Puertas básicas
  - 4.2.2. Otras puertas
  - 4.2.3. Circuitos integrados
  - 4.2.4. Otras tecnologías
- 4.3. Diseño de circuitos combinacionales
  - 4.3.1. El proceso de diseño
  - 4.3.2. Implementación de funciones con cualquier tipo de puertas
  - 4.3.3. Implementación de funciones con puertas NAND
  - 4.3.4. Implementación de funciones con puertas NOR

- 4.4. Aplicación: Diseño de un controlador para un robot seguidor de línea
- 4.4.1. Introducción
- 4.4.2. Especificaciones
- 4.4.3. Diagrama de bloques
- 4.4.4. Tabla de verdad
- 4.4.5. Ecuaciones booleanas del circuito
- 4.4.6. Implementación del circuito
- 4.5. Análisis de circuitos combinacionales
- 4.6. Resumen
- 4.7. Ejercicios

## **5. Circuitos MSI: Multiplexores y demultiplexores**

- 5.1. Introducción
- 5.2. Multiplexores
  - 5.2.1. Conceptos
  - 5.2.2. Multiplexores y bits
  - 5.2.3. Multiplexores de 1 bit y sus expresiones booleanas
- 5.3. Demultiplexores
  - 5.3.1. Conceptos
  - 5.3.2. Juntando multiplexores y demultiplexores
  - 5.3.3. Demultiplexores y bits
  - 5.3.4. Demultiplexores de 1 bit y sus expresiones booleanas
- 5.4. Multiplexores con entrada de validación (ENABLE)
  - 5.4.1. Entrada de validación activa a nivel alto
  - 5.4.2. Entrada de validación activa a nivel bajo
- 5.5. Extensión de multiplexores
  - 5.5.1. Aumento del número de entradas
  - 5.5.2. Aumento del número de bits por canal
- 5.6. Implementación de funciones con MX's
  - 5.6.1. Método basado en el Algebra de Boole
  - 5.6.2. Método basado en la tabla de verdad
  - 5.6.3. Implementación de funciones con multiplexores con entrada de validación
- 5.7. Resumen
- 5.8. Ejercicios

## **6. Codificadores, decodificadores y comparadores**

- 6.1. Introducción
- 6.2. Codificadores
  - 6.2.1. Conceptos
  - 6.2.2. Ecuaciones
- 6.3. Decodificadores
  - 6.3.1. Conceptos
  - 6.3.2. Tablas de verdad y Ecuaciones
  - 6.3.3. Entradas de validación
  - 6.3.4. Tipos de decodificadores según sus salidas

- 6.4. Aplicaciones de los decodificadores
  - 6.4.1. Como Demultiplexor
  - 6.4.2. Implementación de funciones
- 6.5. Resumen de implementación de funciones
- 6.6. Comparadores
  - 6.6.1. Conceptos
  - 6.6.2. Comparador de dos bits
  - 6.6.3. Comparador de números de 4 bits
  - 6.6.4. Extensión de comparadores
- 6.7. Resumen
- 6.8. Ejercicios

## **7. Circuitos Aritméticos**

- 7.1. Introducción
- 7.2. Circuitos sumadores
  - 7.2.1. Sumadores de números de 1 bit
  - 7.2.2. Sumadores de números de más de 1 bit
- 7.3. Circuitos restadores
  - 7.3.1. Restador en ca1
  - 7.3.2. Restador en ca2
- 7.4. Sumador/restador
  - 7.4.1. En ca1
  - 7.4.2. En ca2
- 7.5. Aplicación de los sumadores: transcodificadores
- 7.6. Resumen
- 7.7. Ejercicios

## **8. Biestables**

## **9. Registros**

## **10. Contadores**

## **11. Autómatas Finitos**

## **12. Solución a los ejercicios propuestos**

- 12.1. Sistemas de representación
- 12.2. Algebra de Boole

## Introducción

Antes de entrar en los detalles de esta asignatura, es interesante tener una perspectiva mayor, para entender el contexto de esta asignatura, en qué fundamentos se basa y cómo se relaciona con el resto de las asignaturas.

### 1.1. Electrónica

Esta asignatura trata sobre **Electrónica**. La Electrónica estudia el comportamiento de los *electrones* en diversos medios, y se aplican estos conocimientos para conseguir que “**los electrones hagan lo que nosotros queramos**”. Así por ejemplo, si construimos un circuito electrónico constituido por una pequeña bombilla, una pila y un interruptor (figura 1.1) y lo conectamos, lograremos que los electrones circulen por todo el circuito y que al atravesar la bombilla parte de ellos se conviertan en luz. **¡¡Hemos conseguido que los electrones nos obedezcan!!**

Para “*dominar*” a los electrones, es necesario crear *circuitos electrónicos*, formados por materiales conductores (cables) que unen todos los componentes del circuito, de la misma manera que hay tuberías de agua que recorren nuestras casas, uniendo diferentes elementos: grifos, llaves de paso, el contador del agua...

**El objetivo de la electrónica aplicada es construir circuitos electrónicos para que los electrones se comporten de la manera que a nosotros nos interese.**

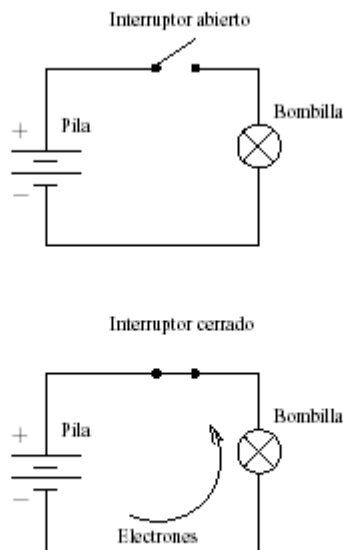


Figura 1.1: Un circuito electrónico muy simple: pila, interruptor y bombilla

## 1.2. Tipos de electrónica

### 1.2.1. Electrónica Analógica

Uno de los grandes retos del hombre es el de *manipular, almacenar, recuperar y transportar* la **información** que tenemos del mundo en el que vivimos, lo que nos permite ir progresando poco a poco, cada vez con más avances tecnológicos que facilitan nuestra vida y que nos permiten encontrar respuestas a preguntas que antes no se podían responder. Ahora estamos viviendo un momento en el que esa capacidad de *manipulación, almacenamiento, recuperación y transporte* de la **información** está creciendo exponencialmente, lo que nos convierte en lo que los sociólogos llaman la “**Sociedad de la información**”, y que tendrá (de hecho ya tiene) grandes implicaciones sociales. Con la aparición de la electrónica las posibilidades para desarrollar esas capacidades aumentaron considerablemente. Para comprender los principios de la *electrónica analógica*, nos centraremos en un ejemplo concreto: **la manipulación, almacenamiento, recuperación y transporte de una voz humana.**

Cuando hablamos, nuestras cuerdas vocales vibran de una determinada manera, lo que originan que las moléculas del aire también lo hagan, chocando unas con otras y propagando esta vibración. Si no existiesen esas moléculas, como en el espacio, el sonido no se podría propagar.

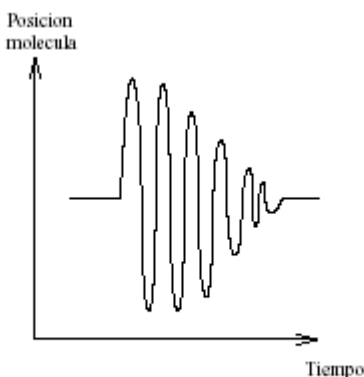


Figura 1.2: Un trozo de una señal acústica

Si medimos la vibración de una de estas moléculas, durante un intervalo corto de tiempo, y la pintamos, podría tener una pinta como la que se muestra en la figura 1.2. A esta vibración la llamaremos **señal acústica**.

Cuando esta señal acústica incide sobre un **micrófono**, aparece una **señal eléctrica** que tiene una forma *análoga* a la de la señal acústica. Las vibraciones de las moléculas se han convertido en variaciones del voltaje, que al final se traducen en vibraciones de los electrones.

Es decir, que con los micrófonos lo que conseguimos es que **los electrones vibren de una manera análoga a cómo lo hacen las moléculas del aire** (ver figura 1.3).

Esta nueva señal eléctrica que aparece, se denomina **señal analógica**, puesto que es *análoga* a la señal acústica original. De esta manera, con señales eléctricas conseguimos imitar las señales del mundo real. Y lo que es más interesante, conseguimos que la información que se encuentra en la vibración de las moléculas del aire, pase a los electrones. Cuanto mejor sea el micrófono, más se parecerá la señal eléctrica a la acústica, y la información se habrá “copiado” con más fidelidad.

**La electrónica analógica trata con este tipo de señales, análogas a las que hay en el mundo real, modificando sus características (ej. amplificándola, atenuándola, filtrándola...).**

Fijémonos en el esquema de la figura 1.4. La persona que habla emite una **señal acústica** que es convertida en una **señal electrónica analógica** por el micrófono. Estas dos señales son muy parecidas, pero la que sale del micrófono es más pequeña. Por ello se introduce en un circuito electrónico, llamado amplificador, que la “agranda” (la ha *manipulado*). A continuación esta señal se puede *registrar* en una cinta magnética de audio. Lo que se graba es una “copia” de la señal, pero ahora convertida a señal magnética. En cualquier momento la señal se puede volver a *recuperar*, convirtiéndose de señal magnética nuevamente a señal eléctrica. Una parte del sistema se ha llamado “sistema de transmisión-recepción” indicándose con esto que la señal eléctrica se puede *transportar* (Por ejemplo el sistema telefónico). Finalmente se introduce por un altavoz que realiza la conversión inversa: pasar de una señal eléctrica a una acústica que se puede escuchar.

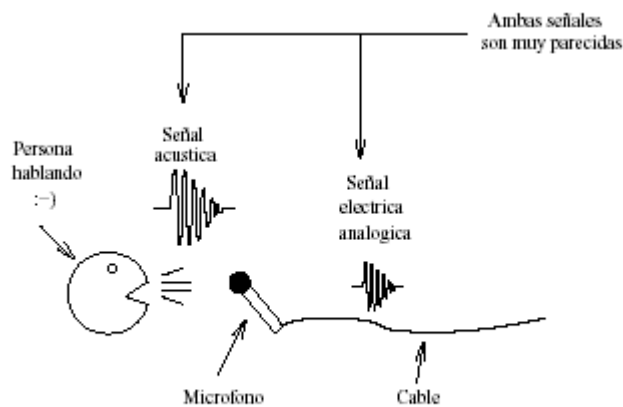


Figura 1.3: Conversión de una señal acústica en una señal eléctrica

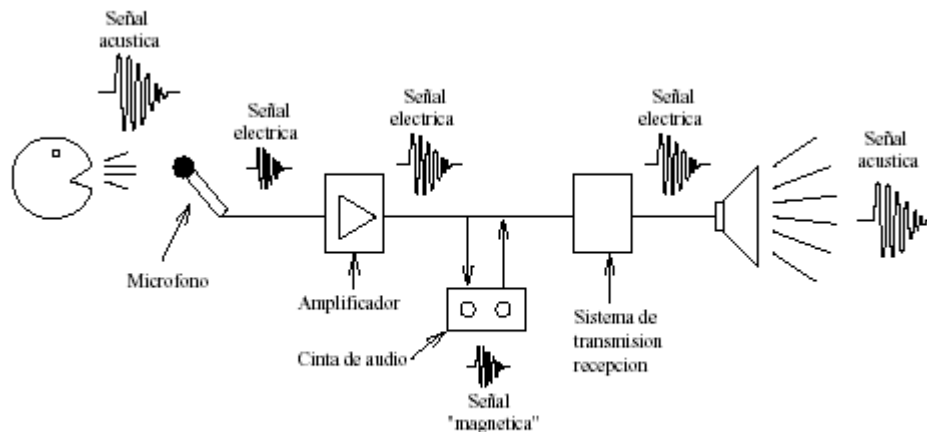


Figura 1.4: Un sistema de tratamiento de voz, con electrónica analógica

### Los problemas de los sistemas analógicos son:

1. La información está ligada a la forma de la onda. Si esta se degrada, se pierde información
2. Cada tipo de señal analógica necesita de unos circuitos electrónicos particulares (No es lo mismo un sistema electrónico para audio que para vídeo, puesto que las señales tienen características completamente diferentes).

**En las señales analógicas, la información se encuentra en la forma de la onda.**

### 1.2.2. Electrónica digital

Existe otra manera de *modificar, almacenar, recuperar y transportar* las señales, solucionando los problemas anteriores. Es un enfoque completamente diferente, que se basa en **convertir las señales en números**.

Existe un teorema matemático (teorema de muestreo de Nyquist) que nos garantiza que **cualquier señal se puede representar mediante números**, y que con estos números se puede **reconstruir** la señal original.

De esta manera, una señal digital, es una señal que está descrita por números. Es un conjunto de números. Y la **electrónica digital** es la que trabaja con señales digitales, o sea, con números.

Son los números los que se *manipulan, almacenan, recuperan y transportan*.

Reflexionemos un poco. Estamos acostumbrados a escuchar el término televisión digital, o radio digital. ¿Qué significa esto? **!!!Significa que lo que nos están enviando son números!!!!**



Que la información que nos envían está en los propios números y no en la forma que tenga la señal que recibidos. ¿Y qué es un sistema digital?, un sistema que trabaja con números. ¿Y un circuito digital? Un circuito electrónico que trabaja con números. ¡¡Y sólo con números!!

Si nos fijamos, con un ordenador, que es un sistema digital, podemos escuchar música o ver películas. La información que está almacenada en el disco duro son números.

En la figura 1.5 se muestra un sistema digital. La **señal acústica** se convierte en una **señal eléctrica**, y a través de un **convertor analógico-digital** se transforma en números, que son procesados por un **circuito digital** y finalmente convertidos de nuevo en una **señal electrónica**, a través de un **convertor digital-analógico**, que al atravesar el altavoz se convierte en una **señal acústica**.

El utilizar circuitos y sistemas que trabajen sólo con números tiene una ventaja muy importante: se pueden realizar manipulaciones con independencia de la señal que se esté introduciendo: datos, voz, vídeo... Un ejemplo muy claro es internet. Internet es una red digital, especializada en la transmisión de números. Y esos números pueden ser datos, canciones, vídeos, programas, etc... La red no sabe qué tipo de señal transporta, “sólo ve números”.

**La electrónica digital trabaja con números. La información está en los números y no en la forma de señal. Cualquier señal siempre se puede convertir a números y recuperarse posteriormente.**

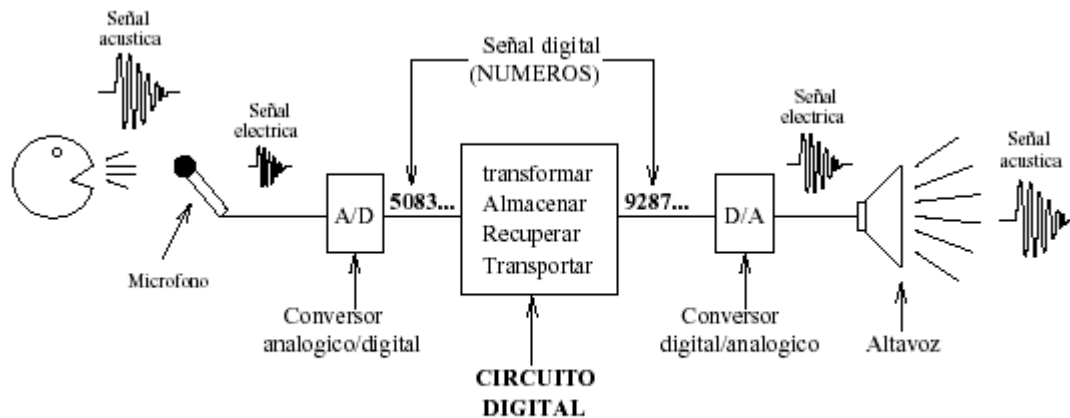


Figura 1.5: Sistema digital

### 1.3. Circuitos y sistemas digitales

Ya podemos entender de lo que trata esta asignatura. En ella estudiaremos y diseñaremos **circuitos digitales**, que manipulan números. Existen unos **números en la entrada** y nuestro circuitos generará otros **números de salida** (figura 1.6). Algunos números se considerarán como datos y otros se usarán para el control del propio circuito.

No nos preocuparemos de dónde vienen estos números, pero ya sabemos que o bien vendrán de otro sistema digital, o bien de una *señal analógica* que se ha convertido a números (se ha digitalizado).

**Un circuito digital realiza manipulaciones sobre los números de entrada y genera unos números de salida.**

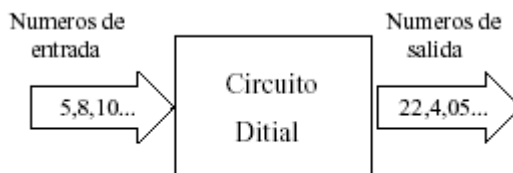


Figura 1.6: Un circuito digital genérico

## 1.4. Organización de los apuntes

En la introducción hemos visto la importancia que tienen los **números** en los *sistemas digitales*.

En el capítulo 2 veremos las diferentes formas de representar un número y en concreto nos centraremos en el **sistema binario**. Para poder diseñar circuitos digitales, que manipulen números en binario, primero habrá que manejar las matemáticas que hay detrás: el **álgebra de boole**, que se verá en el capítulo 3. Describiremos un tipo de circuitos, los **circuitos combinacionales**, mediante **funciones booleanas** y en el capítulo 4 veremos cómo se pueden implementar mediante **puertas lógicas**. En el capítulo 5 describiremos otros circuitos combinacionales más complejos, constituidos a partir de puertas lógicas, pero que se pueden considerar como componentes electrónicos: multiplexores, demultiplexores, codificadores, decodificadores, comparadores... y en el capítulo 7 cómo es posible realizar **operaciones aritméticas**. A partir del capítulo 8 se empiezan a ver **circuitos secuenciales**, que se caracterizan porque pueden “recordar” o almacenar números.

Los **biestables** nos permiten almacenar 1 bit de información y agrupándolos en **registros** (capítulo 9) almacenamos más información. Finalmente estudiaremos los **contadores** (capítulo 10) y los **autónomas finitos** (capítulo 11).

*Continuará .....*

